



**KURKUMİN İÇEREN DİYETLERİN YUMURTA
TAVUKLARINDA PERFORMANS, YUMURTA KALİTE
KRİTERLERİ VE YUMURTA SARISI YAĞ ASİDİ
KOMPOZİSYONU İLE YAĞ ASİDİ DESATÜRİZASYONU VE ÇOK
UZUN ZİNCİRLİ YAĞ ASİTLERİ ELONGASYONU
GENLERİNİN TANIMLANMASI, KARAKTERİZASYONU
VE BU GENLERİN EKSPRESYON SEVİYELERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

Büşra DURLU

Danışman: Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ

Doktora Tezi

Zootekni Ana Bilim Dalı

2024

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ZOOTEKNİ ANA BİLİM DALI

**KURKUMİN İÇEREN DİYETLERİN YUMURTA TAVUKLARINDA
PERFORMANS, YUMURTA KALİTE KRİTERLERİ VE YUMURTA SARISI YAĞ
ASİDİ KOMPOZİSYONU İLE YAĞ ASİDİ DESATÜRAZ VE ÇOK UZUN ZİNCİRLİ
YAĞ ASİTLERİ ELONGASYONU GENLERİNİN TANIMLANMASI,
KARAKTERİZASYONU VE BU GENLERİN EKSPRESYON SEVİYELERİ
ÜZERİNE ETKİLERİ**

(Effects of Diets Containing Curcumin on Performance, Egg Quality Criterias, Egg Yolk Fatty Acid Composition, and Identification, Characterization and Expression Levels of Fatty Acid Desaturase and Very Long-Chain Fatty Acid Elongation of Genes in Laying Hens)

DOKTORA TEZİ

Büşra DUMLU

Danışman: Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ

Erzurum
Mayıs, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Büşra DUMLU tarafından hazırlanan “*Kurkumin İçeren Diyetlerin Yumurta Tavuklarında Performans, Yumurta Kalite Kriterleri ve Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonu ile Yağ Asidi Desatüraz ve Çok Uzun Zincirli Yağ Asitleri Elongasyonu Genlerinin Tanımlanması, Karakterizasyonu ve Bu Genlerin Ekspresyon Seviyeleri Üzerine Etkileri*” başlıklı çalışması 23/ 05 / 2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yemler ve Hayvan Besleme Ana Bilim Dalı, Zootekni Bilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Muhlis MACİT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Abdulkadir BAYIR <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Güray ERENER <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Filiz KARADAŞ <i>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 10825

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ danışmanlığında sunulan “*Kurkumin İçeren Diyetlerin Yumurta Tavuklarında Performans, Yumurta Kalite Kriterleri ve Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonu ile Yağ Asidi Desatüraz ve Çok Uzun Zincirli Yağ Asitleri Elongasyonu Genlerinin Tanımlanması, Karakterizasyonu ve Bu Genlerin Ekspresyon Seviyeleri Üzerine Etkileri*” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	12	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Metot	20	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	8	20
Sonuçlar	5	20
Tezin Geneli	13	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Büşra DURLU	Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ
23.5.2024	23.5.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez, Atatürk Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FDK-2022-10825 nolu proje olarak desteklenmiştir. Finansal desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Doktora tez konusunun belirlenmesi, yürütülmesi ve tez haline getirilmesi aşamalarında yardımlarını esirgemeyen öğrencisi olmaktan onur duyduğum çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ş. Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin planlanmasından savunma aşamasına kadar geçen süreçte her türlü desteğini esirgemeyen Doktora Tez İzleme Komitesi üyelerinden Sayın Prof. Dr. Muhlis MACİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine bu tezin planlanmasında, *ELOVL* ve *FADS* genlerinin tanımlanması ve karakterizasyonunda her türlü yardım ve desteğini aldığımız Doktora Tez İzleme Komitesi üyelerinden Sayın Prof. Dr. Abdulkadir BAYIR'a olumlu ve yol gösterici katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora çalışmamın gen ekspresyon seviyelerinin belirlenmesi ve qPZR çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mehtap BAYIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşamım boyunca olduğu gibi akademik yaşamımda da maddi-manevi yanımda olan kıymetli aileme, başta annem Safiye DUMLU'ya ve babam Sadık DUMLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Büşra DUMLU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KURKUMİN İÇEREN DİYETLERİN YUMURTA TAVUKLARINDA PERFORMANS, YUMURTA KALİTE KRİTERLERİ VE YUMURTA SARISI YAĞ ASİDİ KOMPOZİSYONU İLE YAĞ ASİDİ DESATÜRİZASYON VE ÇOK UZUN ZİNCİRLİ YAĞ ASİTLERİ ELONGASYONU GENLERİNİN TANIMLANMASI, KARAKTERİZASYONU VE BU GENLERİN EKSPRESYON SEVİYELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Büşra DURLU

Danışman: Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ

Amaç: Araştırma yumurta tavuğu rasyonlarına farklı seviyelerde kurkumin ilavesinin performans özellikleri, yumurta kalite kriterleri ve yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu ile ve yağ asidi desaturaz (*FADS*) ve çok uzun zincirli yağ asitleri elongasyonu (*ELOVL*) genlerinin tanımlanması, karakterizasyonu ve mRNA transkripsiyonlarına etkilerini tespit etmek amacıyla yürütülmüştür.

Yöntem: Denemede 68 haftalık yaşta 40 adet Hy-Line Brown yumurta tavuğu kullanılmıştır. Hayvanlar beş gruba ayrılmış ve her grup 8 tekrardan oluşmuştur. Birinci grup bazal yemle (K0), diğer gruplar ise bazal yeme sırasıyla 100 (K100), 200 (K200), 300 (K300) ve 400 (K400) mg/kg kurkumin ilave edilen diyetlerle beslenmişlerdir. Bireysel olarak kafeslerde tutulan hayvanlara on haftalık deneme süresince yem ve su *ad-libitum* olarak verilmiştir. Deneme periyodu boyunca iki haftada bir yapılan ölçümlerle performans özellikleri ve yumurta kalite kriterleri belirlenmiştir. Her alt gruptan alınan yumurta örneklerinde yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu tespit edilmiştir. Deneme öncesi *ELOVL* ve *FADS* genlerinin doku spesifik dağılımlarının belirlenmesi için primer tasarlanması yapılmıştır. Deneme sonunda kesilen hayvanların karaciğer doku örnekleri alınarak *FADS* ve *ELOVL* genlerinin ekspresyon seviyeleri belirlenmiştir.

Bulgular: Deneme sonunda, diyetle kurkumin ilavesinin yem tüketimi, yumurta verimi ve yemden yararlanma oranı üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Yumurta ağırlığının K300 mg/kg grubunda önemli derecede ($p<0,05$) arttığı belirlenmiştir. Yumurta iç kalite kriterlerinin en önemlisi olan Haugh Birimi K100 grubunda, ak oranı ise K200 grubunda en yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). 0-70. günler arasında diyetle kurkumin ilavesiyle kırılma mukavemetinin azaldığı ve en düşük değerin kurkumin 400 grubunda olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,01$). Yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu bakımından kurkuminin her bir seviyesinin farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. En yüksek linoleik, linolenik ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) oranı K100 grubunda olurken, en yüksek dokosaheksaenoik asit (DHA) oranı K200 grubunda bulunmuş ve bunu K100 grubu takip etmiştir. Yumurta tavuklarına ait bazı dokularda *ELOVL* genlerinin ortalama ekspresyon değerleri incelenmiş ve karaciğerde *ELOV2*, *ELOVL6*, *FADS1a*, *FADS1b* ve *FADS2* genlerinin en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. *ELOVL3* ve *FADS6* genlerinin en yüksek ekspresyon düzeyleri ise adipoz dokusunda tespit edilmiştir.

Kurkuminin karaciğer dokusunda *ELOVL* gen ekspresyonları üzerine etkileri incelendiğinde, en yüksek *ELOVL1* ve en düşük *ELOVL2* gen ekspresyon düzeyinin K200 ve K300 gruplarında olduğu görülmüştür. *ELOVL3* ve *ELOVL4* genlerine ait ekspresyon oranları önemsiz olurken en yüksek *ELOVL5* değeri K400 grubunda bulunmuştur. Diyetle 100 mg/kg kurkumin ilavesinin *ELOVL6* ve *ELOVL7* gen ekspresyon düzeylerini önemli düzeyde artırdığı gözlemlenmiştir. Kurkuminin diyetle ilavesi *FADS1a* gen ekspresyon seviyesini K0 grubuna göre önemli derecede ($p<0,01$) düşürmüştür. *FADS1b* ekspresyon düzeyi K400; *FADS6* ekspresyon düzeyi ise K300 grubunda en yüksek değere ulaşmıştır ($p<0,05$). Diyetle 100 mg/kg kurkumin ilavesi *FADS1c* ve *FADS2* seviyelerinde önemli derecede artış göstermiştir.

Sonuç: Mevcut çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda yumurta tavuğu diyetine kurkumin ilavesinin performans özellikleri ile yumurta kalite kriterleri üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Deneme sonuçlarına ait tüm veriler birlikte ele alındığında, yumurta iç kalite kriterlerinden Haugh Birimi ile yumurta sarısı yağ asitlerinden linoleik asit, linolenik asit, PUFA ve DHA üzerine önemli etkisinden dolayı kurkuminin 100 mg/kg seviyesinin yumurtlayan tavukların diyetinde kullanımının uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyoenformatik, Kurkumin, Lipit metabolizması, Nutrigenomik, Yumurta tavuğu

Mayıs 2024, 123 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

EFFECTS OF DIETS CONTAINING CURCUMIN ON PERFORMANCE, EGG QUALITY CRITERIAS, EGG YOLK FATTY ACID COMPOSITION, AND IDENTIFICATION, CHARACTERIZATION AND EXPRESSION LEVELS OF FATTY ACID DESATURASE AND VERY LONG-CHAIN FATTY ACID ELONGATION OF GENES IN LAYING HENS

Büşra DUMLU

Supervisor: Prof. Dr. Şaziye Canan BÖLÜKBAŞI AKTAŞ

Purpose: The research was carried out to determine the effects of different levels of curcumin supplementation to laying hen diets on performance traits, egg quality criteria, egg yolk fatty acid composition and identification, characterisation and mRNA transcription of fatty acid desaturase (*FADS*) and elongation of very long chain fatty acids (*ELOVL*) genes.

Method: In the experiment, 40 Hy-Line Brown laying hens aged 68 weeks were used. The animals were divided into five groups and each group consisted of 8 replicates. The first group (C0) was fed with basal feed and the other groups were fed with diets supplemented with 100 (C100), 200 (C200), 300 (C300) and 400 (C400) mg/kg curcumin, respectively. Feed and water were given ad-libitum to the animals kept individually in cages during the ten-week experiment. Performance characteristics and egg quality criteria were determined by measurements made every two weeks during the experimental period. Yolk fatty acid composition was determined in egg samples taken from each subgroup. Primer design was performed to determine the tissue specific distribution of *ELOVL* and *FADS* genes before the experiment. At the end of the experiment, liver tissue samples of slaughtered animals were taken and the expression levels of *FADS* and *ELOVL* genes were determined.

Findings: At the end of the experiment, it was determined that the addition of curcumin to the diet had no effect on feed intake, egg production and feed conversion ratio. Egg weight increased significantly ($p<0,05$) in C300 mg/kg group. Haugh Unit, which is the most important egg internal quality criteria, was found to be the highest in the C100 group and the albumen ratio was found to be the highest in the C200 group ($p<0,05$). It was observed that the breaking strength decreased with the addition of curcumin to the diet between the 0-70th days and the lowest value was observed in the curcumin 400 group ($p<0,01$). It was determined that each level of curcumin gave different results in terms of egg yolk fatty acid composition. The highest ratio of linoleic, linolenic and polyunsaturated fatty acids (PUFA) was found in C100 group, while the highest ratio of docosahexaenoic acid (DHA) was found in C200 group, followed by C100 group. The average expression values of *ELOVL* genes in some tissues of laying hens were analysed and it was observed that *ELOV2*, *ELOVL6*, *FADS1a*, *FADS1b* and *FADS2* genes had the highest values in liver. The highest expression levels of *ELOVL3* and *FADS6* genes were found in adipose tissue.

When the effects of curcumin on *ELOVL* gene expressions in liver tissue were examined, it was observed that the highest *ELOVL1* and the lowest *ELOVL2* gene expression levels were in the C200 and C300 groups. While the expression rates of *ELOVL3* and *ELOVL4* genes were insignificant, the highest *ELOVL5* value was found in the C400 group. It was observed that the addition of 100 mg/kg curcumin to the diet significantly increased *ELOVL6* and *ELOVL7* gene expression levels. The addition of curcumin to the diet significantly ($p<0,01$) decreased the *FADS1a* gene expression level compared to the K0 group. *FADS1b* expression level was highest in the C400 group and *FADS6* expression level was highest in the C300 group ($p<0,05$). The addition of 100 mg/kg curcumin to the diet significantly increased *FADS1c* and *FADS2* levels.

Results: According to the results obtained from the present study, it was determined that the addition of curcumin to the diet of laying hens had no negative effect on performance characteristics and egg quality criteria. Considering all the data of the trial results together, it was concluded that 100 mg/kg of curcumin would be appropriate to use in the diet of laying hens due to its positive effect on Haugh Unit, one of the egg internal quality criteria, and linoleic acid, linolenic acid, PUFA and DHA, one of the egg yolk fatty acids.

Keywords: Bioinformatics, Curcumin, Lipid metabolism, Nutrigenomics, Laying Hens

May 2024, 123 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	11
MATERYAL VE METOT	21
Materyal	21
Hayvan materyali	21
Yem materyali	21
Barınak koşulları	22
Çalışmada kullanılan alet ve ekipmanlar	23
Metot	24
Deneme gruplarının oluşturulması, bakımı ve beslenmesi	24
Araştırmada kullanılan yemlerin besin madde içeriklerinin belirlenmesi	25
Genel performans özelliklerinin belirlenmesi	26
Bazı önemli yumurta iç ve dış kalite kriterlerinin belirlenmesi	26
Yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi	27
Nutrigenomik örneklemeleri	29
Genlerin doku spesifik dağılımlarının belirlenmesi için yapılan örneklemeler	30
İstatistik analizler	40
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
Genel Performans Özelliklerine Ait Bulgular.....	41
Canlı ağırlık değişimi.....	41
Yem tüketimi.....	41
Yumurta ağırlığı.....	42
Yumurta verimi (%).....	43
Yemden yararlanma oranı	44

Mortalite.....	46
Yumurta İç ve Dış Kalite Kriterlerine Ait Bulgular.....	46
Yumurta ağırlığı.....	46
Yumurta sarı rengi	46
Haugh Birimi.....	47
Ak oranı.....	48
Sarı oranı	49
Kabuk oranı	49
Kabuk kalınlığı.....	50
Kırılma mukavemeti	51
Kırık-çatlak yumurta oranı.....	52
Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonuna Ait Bulgular.....	52
Hedef Genlerin ORF Bölgelerinin Klonlanmasına Ait Bulgular.....	55
Filogenetik ağaç yapımına ait bulgular.....	56
Korunmuş gen sentenisine ait bulgular.....	61
Gen Ekspresyon Analizlerine Ait Veriler	65
<i>ELOVL</i> gen ailesi ekspresyonunun dokuya özgü etkisi	65
<i>FADS</i> gen ailesi ekspresyonunun dokuya özgü etkisi	75
Kurkuminin <i>ELOVL</i> gen ailesi ekspresyonu üzerine etkisi	80
Kurkuminin <i>FADS</i> gen ailesi ekspresyonu üzerine etkisi.....	84
SONUÇ.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	108

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kurkuminin Biyolojik Aktiviteleri ve Bunların Potansiyel Sağlık Yararlarına Etkileri	6
Tablo 2. Denemede Kullanılan Bazal Yemin Bileşimi (%) ve Besin Madde Kompozisyonu (%)	22
Tablo 3. Çalışmada Tanımlanan Genler ve Bu Genlere Ait Primerler	38
Tablo 4. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Canlı Ağırlık Değişimine Etkisi (g)	41
Tablo 5. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Günlük Ortalama Yem Tüketimine Etkisi (g).....	42
Tablo 6. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Ağırlık Değerlerine Etkisi (g)	43
Tablo 7. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Verimi Değerlerine Etkisi (%).....	44
Tablo 8. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yemden Yararlanma Oranlarına Etkisi (g /g).....	45
Tablo 9. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Ağırlık Değerleri (g).....	46
Tablo 10. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Sarısı Rengine Etkileri.....	47
Tablo 11. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Haugh Değerlerine Etkileri	48
Tablo 12. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Ak Oranına Etkileri	48
Tablo 13. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Sarı Oranına Etkileri....	49
Tablo 14. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Oranına Etkileri	50
Tablo 15. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Kalınlığı Değerlerine Etkileri (mm)	51
Tablo 16. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Kırılma Mukavemetine Etkileri (kg/cm ²)	51
Tablo 17. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonu Üzerine Etkisi (%).....	53
Tablo 18. Yumurta Tavuklarına Ait Bazı Dokularda <i>ELOVL</i> Genlerinin Ortalama Ekspresyon Değerleri.	68

Tablo 19. Yumurta Tavuklarına Ait Bazı Dokularda <i>FADS</i> Genlerinin Ortalama Ekspresyon Değerleri	76
Tablo 20. Kurkuminin Karaciğer Dokusunda <i>ELOVL</i> Gen Ekspresyonlarına Etkisi.....	82
Tablo 21. Kurkuminin Karaciğer Dokusunun <i>FADS</i> Gen Ekspresyonları Üzerine Etkisi	84



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kurkuminoidlerin kimyasal yapısı 1: kurkumin, 2: demetoksi kurkumin, 3: bisdemetoksi kurkumin, 4: siklokurkumin.	4
Şekil 2. Kurkuminin yağ asidi metabolizması üzerindeki etkileri: beyin ve karaciğerde metabolik dönüşüm yolları.	8
Şekil 3. Hayvan tartımı.	21
Şekil 4. Kümes içerisinden görüntü.	23
Şekil 5. Tartımda kullanılan teraziler.	23
Şekil 6. Araştırmanın deneme desenine ait şema.	24
Şekil 7. Yem karışımının oluşturulması ve yemleme yapılması.	25
Şekil 8. Yem örneklerinin analizi.	25
Şekil 9. Yumurta kalite analizleri.	27
Şekil 10. Numunelerden toplam yağ ekstraksiyon işlemi.	28
Şekil 11. Yağ asidi metil esterlerinin hazırlanışı.	29
Şekil 12. Nutrigenomik analiz öncesi hazırlıklar.	30
Şekil 13. Tavuğun kafatasının açılmış hali ve beyin+hipotalamus.	30
Şekil 14. Tavuğa ait bazı doku örnekleri.	31
Şekil 15. Dokuların homojenize edilmesi.	32
Şekil 16. Dokuların parçalanmasından önce ve sonraki görüntüleri.	32
Şekil 17. Santrifüj sonrası süpernatans oluşumu (3 fazlı kısım).	33
Şekil 18. Etanol ile yıkama işlemi ve RNA'ların saflaştırılması aşaması.	34
Şekil 19. Nanodrop ölçümleri.	34
Şekil 20. Primerlerin sulandırılması.	35
Şekil 21. cDNA'ların elde edilmesi.	36
Şekil 22. cDNA'ların PZR ve jelde yürütme işlemi.	36
Şekil 23. qPZR çalışma kabini.	39
Şekil 24. qPZR analizinin yapım aşamaları.	39
Şekil 25. <i>ELOVL</i> genine ait filogenetik ağaç (Neighbour Joining).	59
Şekil 26. <i>FADS</i> genine ait filogenetik ağaç oluşumu (Neighbour Joining).	60
Şekil 27. <i>ELOVL1</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	61
Şekil 28. <i>ELOVL2</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	61
Şekil 29. <i>ELOVL3</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	62
Şekil 30. <i>ELOVL4</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	62
Şekil 31. <i>ELOVL5</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	63

Şekil 32. <i>ELOVL6</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.....	63
Şekil 33. <i>ELOVL7</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.....	63
Şekil 34. <i>FAD2</i> genine ait korunmuş gen sentenisi.	64
Şekil 35. <i>FADS6</i> ait korunmuş gen sentenisi.....	64
Şekil 36. Farklı 15 dokuya ait gen örneklerinin qPZR uygulaması ile elde edilen doku spesifik analizi amplifikasyon görüntüsü.	65
Şekil 37. <i>ELOVL1</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	69
Şekil 38. <i>ELOVL2</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	70
Şekil 39. <i>ELOVL3</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	70
Şekil 40. <i>ELOVL4</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	71
Şekil 41. <i>ELOVL5</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	71
Şekil 42. <i>ELOVL6</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	72
Şekil 43. <i>ELOVL7</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.	72
Şekil 44. <i>FADS1a</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.....	77
Şekil 45. <i>FADS1b</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.....	77
Şekil 46. <i>FADS1c</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.....	78
Şekil 47. <i>FADS2</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.....	78
Şekil 48. <i>FADS6</i> geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.....	79
Şekil 49. Karaciğer gen örneklerinin qPZR uygulaması ile elde edilen delta delta city analizi amplifikasyon görüntüsü.....	81
Şekil 50. Kurkuminin artan konsantrasyonlarının karaciğer dokusu <i>ELOVL</i> gen ekspresyonlarına ait Ct değerlerinin karşılaştırmalı analizi.	83
Şekil 51. Kurkuminin artan konsantrasyonlarının karaciğer dokusunun <i>FADS</i> gen ekspresyonlarına ait Ct değerlerinin karşılaştırmalı analizi.	86

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
µL	Mikrolitre
ω	Omega
AA	Araşidonik Asit
ACAD	Asil-CoA Dehidrojenaz
ACC	Asetil CoA Karboksilaz
ACYL	ATP-Sitrat Liyaz
AFB1	Aflatoksin B1
ALA	Alfa-Linolenik Asit
AOAC	Resmi Tarımsal Kimyagerler Derneği
BAT	Kahverengi Yağ Dokusu
bp	Baz çifti
cDNA	Tamamlayıcı DNA
Ct	Eşik Döngüsü
DHA	Dokosaheksaenoik Asit
DNA	Deoksiribonükleik Asit
DPA	Dokosapentaenoik Asit
ELOVL	Çok Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin Elongasyonu
EPA	Eikosapentaenoik Asit
ETA	Eikosatetraenoik Asit
FADS	Yağ Asidi Desatüraz
FAS	Yağ Asidi Sentazı
FCR	Yem Dönüşüm Oranı
g	Gram
GHR	Büyüme Hormonu Reseptörü
hnRNA	Heterojenik RNA
HDL	Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein
IGF-1	İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü
kg	Kilogram
LA	Linoleik Asit
LC-PUFA	Uzun Zincirli Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
LDL	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein

mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mRNA	Messenger Ribonukleik Asit
MSTN	Miyostatin
MUFA	Tekli Doymamış Yağ Asitleri
NCBI	National Center for Biotechnology Information
ORF	Open Reading Frame
PPAR	Peroksizom Proliferatörüyle Aktifleştiren Reseptör
Ppm	Milyonda bir birim
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
PZR	Polimeraz Zincir Reaksiyonu
qPZR	Gerçek Zamanlı Polimeraz Zincir Reaksiyonu
RT-PZR	Reverse Transkripsiyon-Polimeraz Zincir Reaksiyonu
SDA	Stearidonik Asit
SFA	Doymuş Yağ Asitleri
SREBP-1c	Sterol Regülatör Element Bağlayıcı Protein-1c
TBP	TATA Box Binding Protein
VLC-PUFA	Çok Uzun Zincirli Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
WAT	Beyaz yağ dokusu

GİRİŞ

Sağlıklı bir yaşam, gelişim, fiziksel ve zihinsel fonksiyonların devamlılığı, ancak dengeli ve yeterli beslenme ile sağlanabilmektedir (Avcu 2017). Literatür bildirişleri, sağlıklı beslenen toplumların genellikle büyük medeniyetler kurduklarını göstermektedir. Benzer şekilde, yeterli beslenemeyen toplumlar geri kalmış olarak nitelendirilirken, iyi beslenen ülkeler ilerlemiş olarak tanımlanmaktadır (Çelebi ve Karaca 2006). Besinlerin temel fonksiyonları, organizmanın metabolik ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda biyolojik ve fizyolojik olarak aktif olan bileşikler sayesinde sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir. Besin maddesi gereksinimlerini karşılamakla birlikte ek sağlık yararları da sunan bu tür maddelere “fonksiyonel besin maddeleri” denilmektedir (Ramakrishna *et al.* 2020; Banwo *et al.* 2021).

Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, sağlık ve hastalıklar arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde ortaya koymuştur. Hastalıkların insan popülasyonları içindeki dağılımını, sıklığını ve bu hastalıkların nedenlerini inceleyen bir bilim dalı olan epidemiyoloji alanındaki çalışmalar, beslenmenin kronik hastalıkların önlenmesindeki rolüne işaret etmektedir (Réhault-Godbert *et al.* 2019).

Yeterli ve dengeli beslenme için gerekli olan enerji, protein, vitamin ve minerallerin karşılanmasında hayvansal gıdalar önemli bir yere sahip olup kanatlı hayvan yetiştiriciliğinin, bu ihtiyacı karşılamadaki payı oldukça büyüktür. Günümüzde tüketicilerin fiziksel ve zihinsel sağlıkları için daha faydalı olan fonksiyonel gıdaları tercih etmeleri bilim insanlarını bu alanda çalışmaya yöneltmiştir (Babicz-Zielin' ska 2006). Bu nedenle hayvansal ürün ihtiyacını karşılamak için verimin yanı sıra ürün kalitesini artırma ve fonksiyonel ürünler elde etme çalışmaları da yoğun bir şekilde devam etmektedir. Hayvansal gıdalar arasında yumurta, özellikle içerdiği makro ve mikro besin maddeleri açısından mükemmel bir besin kaynağıdır (Zhang *et al.* 2020).

İnsan vücudunun gereksinim duyduğu hemen hemen tüm besin maddelerini en uygun miktar ve oranda içeren yumurtadaki toplam besin maddelerinin yaklaşık %33'ünü lipidler oluşturmaktadır. Bu lipidlerin %63,1 gibi büyük bir kısmını proteinlere bağlı bulunan trigliseridler, %29,7'sini fosfolipidler, %4,9'unu serbest kolesterol, %1,3'ünü ester kolesterol ve %0,9'unu da serbest yağ asitleri meydana getirmektedir (Çelebi ve Karaca 2006). Yumurtanın sağlık üzerindeki etkileri, özellikle de zengin fosfolipit içeriği sayesinde,

diyetlerde potansiyel biyoaktif lipid kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, fosfolipitler; inflamasyonu azaltma, kolesterol metabolizmasını düzenleme ve yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) fonksiyonlarını iyileştirme gibi çeşitli yollarla vücut sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Bu özellikler, yumurtayı beslenme açısından değerli kılarak, kardiyovasküler sağlık başta olmak üzere genel sağlık üzerinde olumlu etkilere sahip olabilecek bir gıda maddesi olarak öne çıkarmaktadır (Weihrauch 1983; Blesso 2015).

Belirli hastalıklarla beslenme arasındaki ilişkiler araştırılırken en fazla üzerinde durulan ve sorgulanan besin maddesi yağlar olmuştur. Araştırmalarda özellikle yağ asitlerinin doymuş mu yoksa doymamış mı olduğu, cis veya trans konfigürasyonlarına sahip olup olmadıkları gibi özelliklerin yanı sıra, yağların kolesterol ve esansiyel yağ asidi içerikleri ve oksidatif stabiliteleri üzerinde de durulmaktadır. İnsan beslenmesinde önemli role sahip olan yağlar, sadece yüksek enerji kaynağı olmayıp, yağda çözünen vitaminleri ve omega-3 (ω -3) yağ asitleri gibi fonksiyonel bileşikler içerimleri nedeniyle de oldukça önemlidir (Çakmakçı ve Kahyaoğlu 2012).

Yumurta sarısındaki lipidlerin %30-35'i doymuş yağ asitleri (SFA), %40-45'i tekli doymamış yağ asitleri (MUFA), %20-25'i ise çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA)'nden oluşmaktadır. Standart yem karışımlarıyla beslenen tavukların yumurtaları, daha yüksek oranda ω -6 PUFA ve daha düşük oranda ω -3 PUFA içermektedir (Amjad *et al.* 2017). Geleneksel yumurtaların yağ asidi bileşimi genellikle ihtiyacı karşılayamayacak miktarda olduğundan son araştırmalar yumurtayı doğal bir ω -3 PUFA kaynağı haline getirebilmek için ω -3 PUFA ile zenginleştirme olanaklarını incelemeye odaklanmıştır (Radanović *et al.* 2023).

Yumurtanın ω -3 yağ asidi içeriği, tavukların beslenme düzenine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Özellikle ω -3 açısından zenginleştirilmiş diyetlerle beslenen tavukların yumurtaları, daha yüksek ω -3 yağ asidi içerebilmektedir. ω -3 yağ asitlerinin temel olarak üç ana türü vardır. Bunlardan uzun zincirli olanı alfa-linolenik asit (ALA, 18:3n-3) ile onun türevleri olan uzun zincirli eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5n-3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, 22:6n-3)'tir. Bunların haricinde stearidonik asit (SDA, 18:4n-3), eikosatetraenoik asit (ETA, 20:4n-3), dokosapentaenoik asit (DPA, 22:5n-3) gibi türleri de mevcuttur. Düzenli tüketimleriyle özellikle romatizma ve bazı kanser türlerini önleme ve serum kolesterol düzeyini düşürme gibi sağlık üzerine önemli faydaları bulunmaktadır. Ayrıca arteroskleroz oluşumunu geciktirme ve damarlarda meydana gelen trombozu engelleme yoluyla kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi ve azaltılmasının yanında, sinir sistemi gelişimi, normal büyüme gelişme ve erken dönemlerde zeka gelişimi üzerine de pozitif etkilerinin olduğu bilinmektedir. ω -3 içeriği 30 mg ile 200 mg arasında değişen standart bir tavuk yumurtasını ALA, EPA ve

DHA bakımından zenginleştirmeye yönelik başarılı birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Yalcin ve Unal 2010; Dalle Zotte *et al.* 2015; Ehr *et al.* 2017; Kralik *et al.* 2021).

Memeliler, bitkisel kaynaklı olan ALA dahil esansiyel ω -3 yağ asitlerini kendileri üretemedikleri veya sınırlı düzeyde ürettikleri için diyet yoluyla almak zorundadırlar. Vücut, sınırlı düzeyde de olsa ALA'yı, EPA ve DHA'ya dönüştürebilir. Sağlık için bu kadar önemli olan ω -3 yağ asitleri, insan ve diğer memelilerde ω -1 metil grubu ile ω -7 metil grubu karbon atomu arasında çift bağ oluşturan enzim bulunmadığı için sentezlenememektedir. Bu nedenle canlıların ω -3 yağ asidi ihtiyaçlarını diyet yoluyla karşılamaları hayati önem taşımaktadır. Kaldı ki tavukların linoleik asitten (LA) elengasyon ve desatürasyon sonucu araşidonik asidini (AA), ALA'dan ise EPA, DPA ve DHA gibi ω -3 serisi yağ asitlerini sentezleme bakımından birçok canlıya göre daha üstün olduğu bildirilmiştir (Gregory *et al.* 2013). Bu üstünlük *ELOVL* ve *FADS* enzim ailelerinin katalizlediği uzama ve desatürasyon süreçleri sayesinde mümkün olmaktadır.

Yağ asitlerinin daha fazla uzaması ve desatürasyonu, çok uzun zincirli yağ asitlerinin elongasyonu (*ELOVL*) tarafından kodlanan enzimlerin yanı sıra, uzun ve çok uzun zincirli yağ asitlerinin sentezi sırasında uzama döngüsündeki hız sınırlayıcı adımda *ELOVL*'ler için gerekli olan yağ asidi desatüraz 1 (*FADS1*) ve yağ asidi desatüraz 2 (*FADS2*) tarafından katalize edilmektedir (Liu *et al.* 2019).

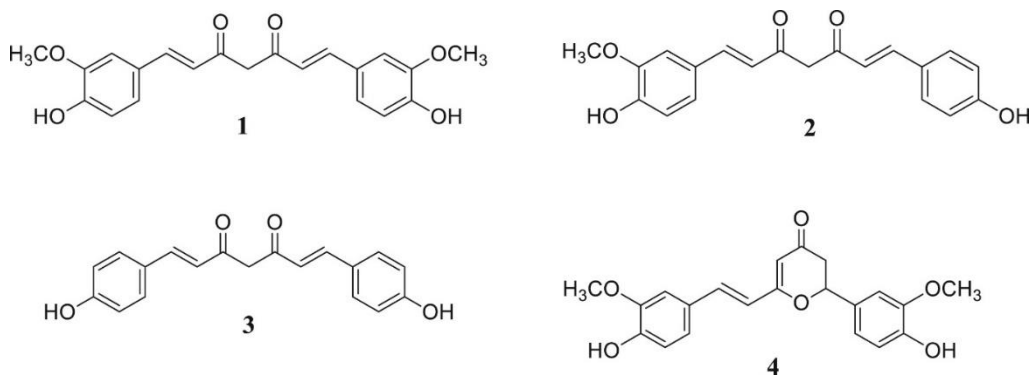
ELOVL gen ailesi, substrat spesifikliğı, doku dağılımı ve regülasyonu ile genel yağ asidi uzamasının belirleyicisi ve hücrel lipid kompozisyonunun hayati düzenleyicileri olan yedi izoformdan (*ELOVL1-7*) oluşmaktadır (Ma *et al.* 2017). *ELOVL* gen ailesi üyelerinin her birinin farklı görevleri bulunmaktadır. Örneğin *ELOVL6*, tavuk karaciğeriindeki de novo lipogeneze katılmakta (Claire D'Andre *et al.* 2013) ve endojen SFA sentezinin son adımını düzenleyen *ELOVL6* enzimini kodlamaktadır. Yine uzun zincirli yağ asitlerinin uzamasında, özellikle insan retinasından eksprese edilen *ELOVL4* geni ve beyinde eksprese edilen *ELOVL2* ve *ELOVL5* genleri de rol almaktadır (Jakobsson *et al.* 2006). Bu ailenin başka bir üyesi olan *ELOVL5*, uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin (LC-PUFA) hepatik sentezinden sorumludur (Wang *et al.* 2014; Feng *et al.* 2020). Ayrıca bu gen, EPA ve DHA dahil olmak üzere ω -3 PUFA' nin yanı sıra ω -6 PUFA'nın biyosentezinde de önemli bir rol oynamaktadır (Fu *et al.* 2018). Tavuklardaki *ELOVL5*'in ördek ve hindi gibi diğer kanatlı hayvanlardan farklı olarak DPA tetrakosapentaenoik asit (24:5n-3)'e uzatılabildiğı bildirilmiştir. Bu nedenle, tavuğun da balık gibi diyetsel bir EPA ve DHA kaynağı olabileceğı ileri sürülmüştür.

Yağ asidi desatürazlar, yüksek oranda doymamış yağ asitlerinin biyosentezi için gerekli olan cis çift bağlarının hidrokarbon zincirlerine, yani bölgeye özgü girişini katalize etmektedir

(Park *et al.* 2009). LC-PUFA elde etmek için esansiyel yağ asitlerinde çift bağ oluşturan Δ -5 ve Δ -6 desatürazlar, sırasıyla *FADS1* ve *FADS2* genleridir (Nakamura and Nara 2004). *FADS1* ve *FADS2*, LC-PUFA biyosentezi işleminin kritik adımlarında önemli katalitik roller oynamaktadırlar (Lattka *et al.* 2010b; Zhang *et al.* 2016). *FADS2* geni, LC-PUFA sentezinde AA ve DHA üretimine yol açan metabolik yolda hız sınırlayıcı olan enzimi kodlamaktadır (Sprecher 2000; Huang *et al.* 2015).

Diyete ilave edilen sesamin ve likopen gibi bazı biyolojik aktif bileşiklerin *FADS* ve *ELOVL* enzimlerini aktive ederek ALA'dan DHA oluşumunu artırma potansiyeline sahip olduğu da bildirilmiştir (Fujiyama-Fujiwara *et al.* 1992; Wu *et al.* 2015). Bu aktif bileşikler ile verim ve ürün kalitesini artırmak mümkündür. Söz konusu bileşiklerden birisi de kurkumindir.

“Altın baharat” olarak da bilinen Hindistan ve diğer Güney Asya ülkelerinde yetişen zerdeçal (*Curcuma longa*) bitkisinin köklerinden hazırlanan sarı tozun bir bileşeni olan kurkumin (diferüloilmetan veya 1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion), sadece gıdaları renklendirmek ve tatlandırmak amacıyla değil, aynı zamanda farmasötik bir ajan olarak da kullanılmaktadır (Moghaddam *et al.* 2018). Zerdeçalda bulunan kurkuminoidler Şekil 1’de gösterildiği gibi kurkumin (en biyoaktif olanı), demetoksi kurkumin, bisdemetoksi kurkumin ve siklokurkumindir (Shahrajabian and Sun 2023). Kurkumin, diferüloilmetan (%94 C₂₁H₂₀O₆), demetoksikurkumin (%6 C₂₀H₁₈O₅) ve bis-demetoksikurkumin (%0,3 C₁₉H₁₆O₄)’den oluşan bir kurkuminoid karışımıdır (Vo *et al.* 2021). Kurkumin, kurkuminoidlerin toplam ağırlığının yaklaşık %77-80’ini meydana getirmektedir. Desmetoksikurkumin kurkuminoid karışımının yaklaşık %17’sini, bisdesmetoksikurkumin ise kurkuminoidlerin en az bulunan üyesi olup, karışımın yaklaşık %3’ünü oluşturmaktadır (Ruby *et al.* 1995; Alves *et al.* 2019).



Şekil 1. Kurkuminoidlerin kimyasal yapısı 1: kurkumin, 2: demetoksi kurkumin, 3: bisdemetoksi kurkumin, 4: siklokurkumin (Trujillo *et al.* 2013; Nouredin *et al.* 2019).

Kurkuminin biyolojik olarak oksidasyon ve Michael ekleme reaksiyonu olmak üzere iki tane temel kimyasal reaksiyonu bulunmaktadır. Oksidasyon reaksiyonunda kurkumin en reaktif oksijen türlerini (ROS) temizleyebilmekte ve böylece normal hücrelerde antioksidan aktivite

özelliği kazandırmaktadır. Michael ekleme reaksiyonunda ise glutatyon ve diğer nükleofillerle reaksiyona giren iyi bir Michael alıcısı olarak antikanserojen etki gösterebilmektedir (Nabavi *et al.* 2013; Priyadarsini 2014). Kurkumin aynı zamanda kanserin çeşitli evrelerine etki edebilen ve hücrel yolları çeşitli hedefler aracılığıyla direkt veya indirekt olarak etkileyen çok yönlü bir moleküldür. Bu etkileri, genler ve proteinler üzerindeki düzenleyici rolü ile sağlanmaktadır. Kurkumin, büyüme faktörleri, reseptörler, kinazlar ve enzimler gibi çeşitli moleküler hedeflere etki etmektedir. Kurkuminin bu geniş etki spektrumu, onu nörodejeneratif hastalıklar, artrit, alerji, inflamatuvar bağırsak hastalığı, AIDS, sedef hastalığı, diyabet, multiple skleroz, kardiyovasküler hastalıklar ve akciğer fibrozunu içeren bir dizi sağlık sorununun tedavisinde değerli kılmaktadır. Bu çok yönlülük, kurkuminin tıbbi potansiyelini öne çıkarmakta ve onu çeşitli hastalıkların tedavisinde umut verici bir aday yapmaktadır (Prasad *et al.* 2014).

Antiinflamatuvar, antitümoral, antimikrobiyal, antioksidan, immünostimülan, antihepatotoksik, antihiperlipidemik, antiviral, serbest radikal süpürücü ve lipid peroksidasyonundan korumak ve anti-Alzheimer hastalığı (Khan *et al.* 2012; Galli *et al.* 2018; Nouredin *et al.* 2019) gibi özelliklere sahip olan kurkumin, epigenetik modülatör olarak hareket etme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir (Hassan *et al.* 2019). Kurkumin anti-inflamatuvar etkisi ile aşırı lipoliz ve yağ dokusundan lipid dönüşümünün inhibisyonunu sağlayarak plazma serbest yağ asitlerinin oranını ve zararlı etkilerini azaltmaktadır. Ek olarak kurkuminin hipolipidemik ve hipoglisemik etkiler ile lipid profilini iyileştirdiği de bildirilmiştir (El-Moselhy *et al.* 2011).

Belli düzeyde fayda sağlarken, vücuda fazla alındığında toksik olan hatta ters etki yapan anlamında kullanılan hormetik terimi kurkumin için geçerli değildir. Çünkü genel olarak, sayısız in vitro, in vivo ve klinik çalışma sonuçları, kurkumin ve kurkuminoidlerin güvenliği ve iyi tolere edilebilirliği yönünde olmuştur. Kurkumin toksik olmayan, mutajenik olmayan ve ABD tarafından “genel olarak güvenli olarak kabul edilen” (GRAS) bir madde olarak sınıflandırılmıştır (Bairwa *et al.* 2014). Ayrıca farklı araştırmalar oral uygulamanın güvenli olduğunu kanıtlamıştır (Leong *et al.* 2014). Kurkumin, yüksek dozlarda bile toksik değildir; bugüne kadar hiçbir hayvan ve insan çalışmasında herhangi bir toksisite göstermemiş olup 6-7 g’lık yüksek dozlarda bile kurkuminin güvenliğini gösteren klinik kanıtlar bulunmaktadır (Soleimani *et al.* 2018).

Kurkuminin biyolojik aktiviteleri ve bunların potansiyel sağlık yararlarına ilişkin genel bir bakış sağlayacak bilgiler sunulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Kurkuminin Biyolojik Aktiviteleri ve Bunların Potansiyel Sağlık Yararlarına Etkileri

Etki Mekanizması	Açıklama	Potansiyel Uygulamalar	İlgili Araştırma Konuları	Kaynaklar
Serbest Radikal Süpürme	Kurkumin, hücreleri oksidatif stresten koruyup, ROS ve RNS gibi zararlı serbest radikalleri nötralize ederek antioksidan savunmayı güçlendirir. Bunu, elektron veya hidrojen atomu transferi yoluyla radikalleri stabilize ederek gerçekleştirir.	Kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar, kanser önleme	Oksidatif stresin incelenmesi, antioksidan kapasitenin ölçülmesi	(Aggarwal <i>et al.</i> 2007; Menon and Sudheer 2007; Cox <i>et al.</i> 2015; Akaishi and Abe 2018)
NF-κB Yolunun İnhibisyonu	Kurkumin, inflamasyonun ana düzenleyicisi olan NF-κB'nin sitoplazmadan çekirdeğe taşınmasını engelleyerek ve NF-κB'nin DNA'ya bağlanmasını inhibe ederek inflamatuvar yanıtı azaltır.	İnflamatuvar hastalıklar, otoimmün hastalıklar, kanser	İnflamasyon mekanizmaları, NF-κB aktivasyonunun inhibisyonu	(Aggarwal and Sung 2011; Li <i>et al.</i> 2019; Liczbiński <i>et al.</i> 2020)
Sitokinlerin Modülasyonu	İnflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde kritik olan sitokinlerin (TNF-α, IL-1, IL-6) üretimi üzerinde modülatör etki gösterir. Bunu, transkripsiyon faktörlerinin aktivitesini modüle ederek gerçekleştirir.	Artrit, sepsis, deri hastalıkları	Sitokin profillerinin modülasyonu, inflamasyonun azaltılması, İmmün modülasyon	(Bright 2007; Hatcher <i>et al.</i> 2008; Kakhkhaie <i>et al.</i> 2019)
COX-2 ve LOX Enzimlerinin İnhibisyonu	İnflamasyonla ilişkili olan COX-2, LOX ve iNOS enzim aktivitelerini doğrudan inhibe ederek prostaglandinlerin ve lökotrienlerin üretimini azaltır, böylece inflamasyon ve ağrıyı hafifletir.	Ağrı yönetimi, inflamatuvar hastalıklar	Enzimatik inhibisyon, antiinflamatuvar ilaç geliştirme	(Chainani-Wu, 2003; Goel <i>et al.</i> 2008; Memarzia <i>et al.</i> 2021)
Apoptozun İndüklenmesi ve Hücre Döngüsünün Düzenlenmesi	Çeşitli hücre ölümü sinyal yollarını aktive ederek ve hücre döngüsü regülatörlerini etkileyerek apoptozu indükler. Buda, kanser hücrelerinin proliferasyonunu engeller.	Kanser tedavisi, kemoterapi destekleyici	Kanser biyolojisi, hücre ölümü mekanizmaları	(Guo <i>et al.</i> 2013; Mortezaee <i>et al.</i> 2019)
Metal İyonlarının Şelasyonu	Demir ve bakır gibi metal iyonlarını bağlayarak, bu metallerin katalize ettiği serbest radikal oluşumunu önleyerek oksidatif hasarı azaltır. Bu mekanizma, özellikle nörodejeneratif hastalıkların önlenmesinde önemlidir.	Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı	Metal homeostazisi, nöroproteksiyon, Nörodejenerasyon	(Baum and Ng, 2004; Huat <i>et al.</i> 2019; Gulcin and Alwasel 2022; Babić Leko <i>et al.</i> 2023)

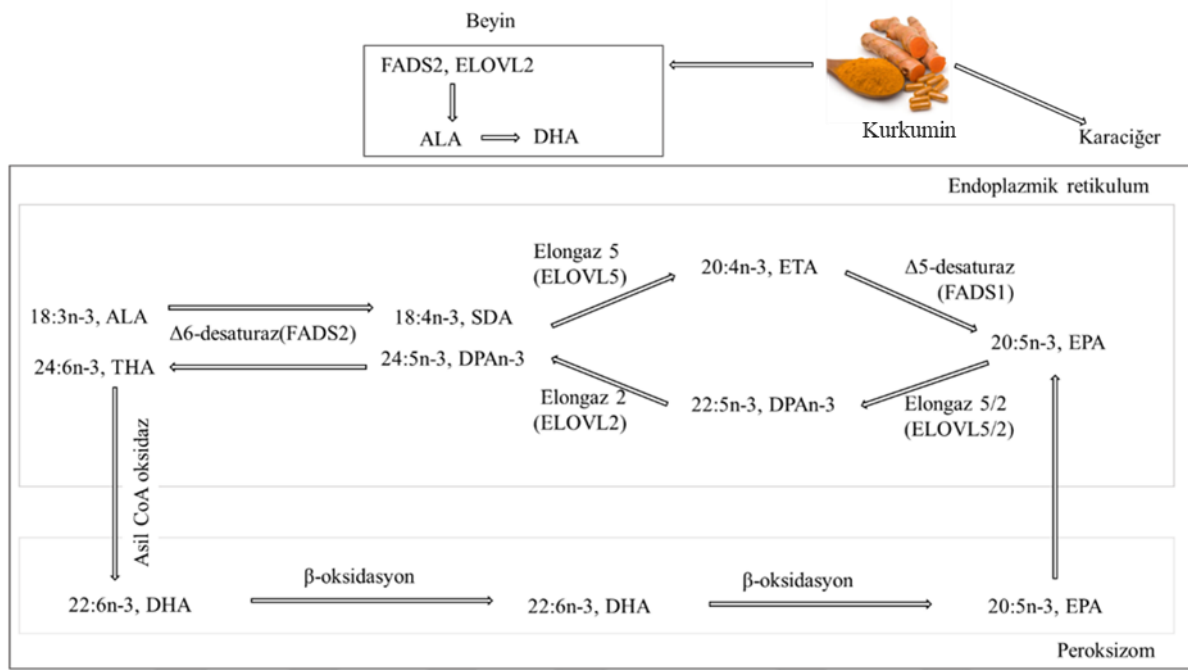
Tablo 1. (Devamı)

Protein Kinaz Yollarının Modülasyonu	Hücre içi sinyalizasyon yollarını, özellikle çeşitli protein kinaz yollarını etkileyerek modüle eder. Bu, hücrel fonksiyonlar üzerinde geniş kapsamlı etkilere sahiptir.	Kanser, metabolik hastalıklar, diyabet	Hücrel sinyalizasyon, terapötik hedefler, Hedef odaklı terapiler	(Goel <i>et al.</i> 2008; Ravindran <i>et al.</i> 2009; Kerimi and Williamson 2016; Lambring <i>et al.</i> 2023)
Hücre İçi Sinyal Yollarının Modülasyonu	Wnt/ β -katenin, JAK/STAT, MAPK ve PI3K/Akt gibi önemli hücrel sinyal yollarını etkileyerek, hücre proliferasyonu, hayatta kalma ve apoptoz gibi temel hücrel işlevleri düzenler.	Hücre proliferasyonu, kanser, inflamasyon	Moleküler biyoloji, sinyal yollarının inhibisyonu, moleküler hedefler	(Shishodia <i>et al.</i> 2005, 2013; Wang <i>et al.</i> 2019)

Kurkumin, çeşitli moleküler ve hücrel yollar üzerinden PUFA oluşumunu artırma mekanizmasını 4 şekilde gösterebilmektedir. İlki “Enzim Aktivitelerinin Modülasyonu” yolu ile PUFA metabolizmasında rol oynayan çeşitli enzimlerin aktivitelerini etkileyebilmesidir. Örneğin, ω -3 ve ω -6 yağ asitlerinin metabolizmasında kritik roller oynamaktadır. Desatüraz ve elongaz enzimlerinin ekspresyonunu veya aktivitesini artırarak, ALA gibi uzun zincirli ω -3 yağ asitlerinin daha uzun zincirli EPA ve DHA’ya dönüşümünü teşvik edebileceği düşünülmektedir (Wu *et al.* 2015). İkinci yol ise güçlü “Anti-inflamatuar ve Antioksidan Etki” ye sahip olan, kurkuminin, inflamasyon ve oksidatif stresin PUFA metabolizması üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilmesidir. Bu durum, EPA ve DHA gibi yağ asitlerinin biyosentezini dolaylı olarak destekleyebilir (Saw *et al.* 2010). Üçüncü olarak “Hücre Sinyallemesine Etkisi” ile kurkumin, hücre içi sinyal yollarını etkileyerek gen ekspresyonlarını modüle edebilmektedir. Bu, özellikle nükleer faktörler ve transkripsiyon faktörleri üzerinden, PUFA sentezini etkileyen genlerin ekspresyonunu artırarak gerçekleşebilir. Örneğin, kurkumin Nrf2 (NF-E2 ile ilişkili faktör 2) gibi antioksidan yanıt elementlerini aktive ederek oksidatif stresle mücadelede rol oynayan enzimlerin ekspresyonunu artırabilir. Bu da dolaylı olarak PUFA metabolizmasını desteklemektedir (Choi *et al.* 2008; Chen *et al.* 2006). Son olarak ise “Lipid Metabolizmasını Düzenleme” yolu ile kurkumin, lipid metabolizmasını düzenleyen moleküller üzerinde etkili olabilmektedir (Calder 2012). Bu, lipidlerin yıkımını ve sentezini kontrol eden yolları etkileyerek, PUFA’nın vücutta daha etkin kullanımını ve depolanmasını sağlamaktadır (Ntambi and Bené 2001).

Tavuklarda, yağ asitlerinin yeniden sentezinin %90’ından fazlası karaciğerde gerçekleşir. Bu nedenle karaciğer metabolizmasının tavuk gelişimi ve yumurtlama performansı

üzerinde kritik bir etkisi vardır. Karaciğer lipid metabolizmasının fizyolojik süreçleri tavukta kapsamlı bir şekilde çalışılmış olmasına rağmen altta yatan mekanizmalar belirsizliğini korumaktadır. Sentezlenme olayı karaciğerdeki ALA biyosentez yolu ve beyinde bu süreç üzerinde kurkuminin potansiyel etkisi ile başlamaktadır. Memelilerde bu süreç, uzamayı (*ELOVL*), desatürasyonu (*FADS2*) ve β -oksidasyonu (*Acox1* ve *17 β -HSD4* ile) içermektedir.



Şekil 2. Kurkuminin yağ asidi metabolizması üzerindeki etkileri: beyin ve karaciğerde metabolik dönüşüm yolları (Sergeant *et al.* 2023).

Şekil 2’de, görüldüğü üzere kurkuminin *FADS* (yağ asidi desatüraz) ve *ELOVL* (yağ asidi zinciri uzatma enzimi) aileleri gibi spesifik genler aracılığıyla ve farklı enzimlerle işlenerek karaciğerde daha uzun zincirli yağ asidi oluşturmak için ALA’dan DHA sentezi sürecinde iki aşama vardır. Birinci aşama, *ELOV5* gibi uzatmalar yoluyla bir dizi uzatmayı ve *FADS1* (A5-desatüraz) ve *FADS2* (A6-desatüraz) gibi desatürazlar yoluyla desatürasyonu kapsamaktadır. İlk aşama ALA’nın, EPA’ya dönüşümüyle sonuçlanmaktadır. İkinci aşama, EPA’nın, DPA’ya ve son olarak DHA’ya dönüşümünü içermektedir. Ayrıca kurkuminin beyinde *FADS2* ve *ELOVL2* enzimlerini uyararak ALA’nın DHA’ya dönüşümünü artırabileceğine ve ALA’nın beyinde doğrudan DHA’ya dönüşebileceğine dair bir hipotez simgelenmektedir.

Kurkuminin beyinde ve karaciğerde DHA’yı arttırmak (*ELOVL2* ve *FADS2*’nin artışıyla bağlı olarak), DHA sentezi yolunda yer alan enzimleri yükseltmek, kaygı benzeri davranışları azaltmak gibi özellikleri çalışmalar neticesinde belirlenmiştir (Wu *et al.* 2015). EPA + DHA ile zenginleştirilmiş bir diyet ile ALA bakımından zenginleştirilmiş bir diyetin beyinde ω -3 yağ asidi sentezi üzerine etkisi araştırılmış ve benzer miktarda uzun zincirli ω -3 yağ asitleri elde

etmek için, ALA'nın miktarının 33,5 katı kadar EPA + DHA tüketilmesi gerektiği rapor edilmiştir (Talahalli *et al.* 2010). Yapılan çalışmalar tavuk diyetlerinin ω -3 yağ asitleri ile zenginleştirilmesinin vücutta yağ birikimini azalttığını da göstermiştir (Beckford *et al.* 2017).

Kümes hayvanlarından elde edilen et ve yumurtaların, ω -3 PUFA ile güçlendirilmesi, genel beslenme kalitesini artırma ve dünya çapında insan sağlığını destekleme açısından önem taşımaktadır. Kanatlı eti ve yumurtasının yağ asidi profili, diyet yoluyla EPA ve DHA açısından kolaylıkla zenginleştirilebilir (Mihelic *et al.* 2020). Yapılan çalışmada etlik piliç diyetlerine eklenen ayçiçek yağının yerine balık yağı eklenmesi sonucu kas dokularında EPA ve DHA oranlarının 40 kat artış gösterdiği bildirilmiştir (Kalakuntla 2017). Sıçanlar ve balıklar üzerinde yapılan çalışmalar diyete kurkumin ilavesinin EPA ve DHA sentezini artırdığını rapor etmiştir (Wu *et al.* 2015; Sugasini and Lokesh 2017; Ji *et al.* 2021). Ancak yumurta tavuklarında uzun zincirli yağ asidi olan ALA'nın EPA ve DHA'ya dönüşümünü moleküler düzeyde inceleyen çalışma sayısının oldukça sınırlı olduğu, *FADS* ve *ELOVL* genlerinin de canlılarda elongasyon ve desaturasyon proseslerinde kilit rollerinin bulunduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Nakamura ve Nara 2004; Lattka *et al.* 2010a; Zhang *et al.* 2016).

ELOVL gen ailesinin özelleştirilmiş çeşitlerin ıslahına genetik katkısını ve farklı dokularda lipid birikimini düzenlemedeki potansiyel rollerini ortaya koymak için yapılan bir çalışmada, *ELOVL* genlerindeki genetik varyasyonların tavuklarda ticari çeşitlerin ıslahına katkıda bulunduğu ve *ELOVL2-6*'nın vücut ağırlığı, karkas veya yağ birikimi, *ELOVL3*'ün ise kas içi yağ içeriği ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca *ELOVL5* hariç *ELOVL* genlerinin transkripsiyon seviyelerinin, tavuk karaciğeri ve hipotalamusunda östrojen tarafından düzenlendiği ve hipotalamusun, karaciğer, abdominal yağ ve pectoralisteki *ELOVL1-6*'nın ekspresyon seviyeleri, abdominal yağ ağırlığı, abdominal yağ yüzdesi, karaciğer lipid içeriği ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Hayvancılıkta, *ELOVL*'lerdeki genetik varyasyonların sırt yağı veya kas içi yağ asidi kompozisyonu ile ilişkili olduğu, fakat *ELOVL* gen ailesinin tavukların ıslahı ve farklı dokularda lipid birikimi üzerindeki etkilerinin tam olarak bilinmediği Wang *et al.* (2022) tarafından bildirilmiştir.

Yapılan literatür taraması sonucunda, kurkuminin *FADS* ve *ELOVL* genlerinin tanımlanması, karakterizasyonu ve *FADS/ELOVL* gen ekspresyonlarına etkileriyle ilgili yumurta tavukları üzerinde yapılmış herhangi bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Yapılan ön araştırmalar neticesinde tavuk genomunun 5 adet *FADS* (*FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2* ve *FADS6*) ve 7 adet *ELOVL* (*ELOVL1-7*) geni içerdiği belirlenmiştir. Bu çalışmada farklı seviyelerde kurkumin ilave edilen diyetlerin tavukların performans, yumurta kalite özellikleri ve yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu ile *FADS* ve *ELOVL* gen ekspresyon

seviyeleri üzerine etkisi incelenmiştir. Böylece kurkuminin bir yem katkı maddesi olarak yumurta tavuğu diyetlerinde kullanılabilirliği ve en uygun kullanım oranı ayrıntılı bir biçimde araştırılmıştır.

Bu çalışma ile, yağ asidi biyosentezinde önemli görevler üstlenen 5 adet *FADS* ve 7 adet *ELOVL* geninin ilk kez in silico analizlerle tanımlanması, moleküler olarak karakterize edilmesi ve kurkuminin doğal bir agonist olarak hareket edip etmeyeceğinin belirlenmesi ve böylece hedef genlerin transkripsiyonel kontrolü ile ilgili daha sonra yapılacak çalışmalara öncülük etmesi amaçlanmıştır.



KURAMSAL TEMELLER

Tavuklarda kurkumin uygulamalarının büyüme ve gelişme performansı, yemden yararlanma, yumurta sarısı yağ asit kompozisyonuna etkileri ile uzun zincirli yağ asidi olan ALA'nın EPA ve DHA'ya dönüşümünü moleküler düzeyde inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca yapılan literatür taramasında kurkuminin *FADS* ve *ELOVL* genlerinin ekspresyonlarına etkileriyle ilgili yumurta tavuklarında yapılan herhangi bir çalışmaya da rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu bölümde genel olarak kurkuminin çeşitli hayvanlarda uygulanması ve yağ asidi dönüşümü ile ilgili yürütülmüş olan araştırmaların sonuçlarına da yer verilmiştir.

Kurkumin, zerdeçalın ana aktif bileşeni olarak, çoğu biyolojik etkiyi tek başına gerçekleştirebilecek çok yönlü bir moleküldür. Kurkuminin kendisi ve onun doğal türevleri dışında, spesifik bileşiklerin etki mekanizmaları genellikle kurkumin molekülünün bütün olarak etkileşimleri üzerinden açıklanmaktadır. Kurkumin, gen ekspresyonlarını değiştirerek veya doğrudan etkileşim yoluyla çeşitli sinyal yollarını ve transkripsiyon faktörlerini modüle etmektedir. Kurkumin inflammatuar sitokinler, büyüme faktörleri ve reseptörleri, adezyon molekülleri, apoptoz ile ilgili proteinler ve hücre döngüsü proteinleri gibi çok sayıda moleküler hedef üzerinde etki göstermektedir. Kurkuminin bu çok yönlü etkileşimi, kanser, artrit, alerji, ateroskleroz (damar sertliği), yaşlanma, nörodejeneratif hastalıklar gibi çeşitli hastalıkların önlenmesinde potansiyel terapötik etkileri belirleyerek tedavi sağlamaktadır (Shishodia 2013).

Yumurta tavuklarında kurkumin içeren diyetler kullanılarak yapılan çalışmalarda, kurkuminin yağ asidi metabolizmasında rol oynayan genlerin ekspresyonunu düzenlediği görülmüştür. Mandard *et al.* (2004) genlerin promotör bölgelerinde, bazen de intronik dizilimlerinde yer alan nükleer reseptörlere spesifik doğal veya sentetik ligandların hedef genlerin transkripsiyonel kontrolünü sağlayabildiğini bildirmişlerdir.

Oldukça fazla tüketilen kanatlı etinde PUFA oranı yüksek olup doku yağ asidi bileşiminin diyetinkini büyük oranda yansıttığı bildirilmiştir. Bu nedenle tavuğun diyeti manipüle edilerek uzun zincirli ω -3 çoklu doymamış yağ asitlerinin içeriği artırılabilir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, EPA ve DHA ile zenginleştirilmiş kanatlı etinin gıda zincirinde olumlu bir potansiyele sahip olduğu ileri sürülmüştür (Gibbs *et al.* 2009).

FADS ve *ELOVL* genleri yağ asitlerinin dönüşümünde etkilidir. Bu genler, uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin biyosentezinde önemli rol oynayan enzimleri kodlamaktadır. *FADS* genleri, yağ asitlerine çift bağların eklenmesinden sorumlu olan yağ açıl desaturaz

enzimlerini kodlamakta, *ELOVL* genleri ise zincirlerine karbon atomları ekleyerek yağ asitlerini uzatan elongaz enzimlerini kodlamaktadır. Bu enzimlerin aktivitesi, EPA, DHA ve AA gibi LC-PUFA'ların üretimi için gereklidir. ALA'nın EPA ve DHA'ya metabolizması desatürasyon ve uzama gerektirmektedir (Gregory and James 2014).

ELOVL1'den *ELOVL7*'ye kadar olan çok uzun zincirli yağ asitlerinin (*ELOVL*'ler) elongazı, uzun zincirli yağ asidi (LCFA > C16) sentezinden sorumludur. Aynı zamanda farklı dokularda yağ birikiminin ayrılmaz bir parçası olan kompleks lipidlerin sentezinde önemli bir rol oynayan LCFA'ların karbon zinciri uzama reaksiyonundaki ilk hız sınırlayıcı enzimdir. *ELOVL* genlerinde meydana gelen genetik değişikliklerin, tavuklarda vücut ağırlığı, karkas nitelikleri ve yağ depolanması üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Wang *et al.* 2022).

Bazı çalışmalarda, etlik piliç embriyolarında ve civcivlerde adipoz birikimi ve metabolizmasında uzama ve desatürasyon genlerinin potansiyel rolleri, *ELOVL* ve *FADS* genlerinin düzenlenmesi tanımlanmış ve bunların yağ oluşumu ve metabolizması üzerindeki etkilerine vurgu yapılmıştır (Mihelic *et al.* 2020; Wang *et al.* 2022). ω -3 ve ω -6 çoklu doymamış yağ asitlerinin sentezinde anahtar bir gen olan *ELOVL5*'in, yumurta tavuğu karaciğerinde yüksek düzeyde eksprese edildiği ve östrojen tarafından düzenlendiği tespit edilmiştir (Zhang *et al.* 2017). Yağ asitlerinin *ELOVL3* ekspresyonunu düzenleyerek sığır iskelet kası kaynaklı hücre farklılaşmasını desteklediği gösterilmiştir (Xu *et al.* 2018). Domuz yağının keten tohumu yağı ile değiştirilmesinin tavuk göğüs kasındaki gen ekspresyonu üzerindeki etkileri incelenmiş ve *ELOVL* genlerinin keten tohumu yağı diyetlerinde önemli ölçüde yüksek olduğu bulunmuştur (Gou *et al.* 2020).

Uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin (LC-PUFA'lar, $\geq$ C20) biyosentezi, sırasıyla yağ asidi desatüraz ve uzun zincirli yağ asidi uzatıcısı enzimlerin etkisine dayanmaktadır (Sprecher 2000). Bu enzimler sırasıyla *FADS* ve *ELOVL* gen aileleri tarafından kodlanmaktadır. *FADS* gen ailesi, poliansatüre yağ asitlerinin (PUFA'ların) farklı pozisyonlarına çift bağlar ekleyen desatüraz enzimlerini kodlar. Bu enzimlerin çoklu işlevlerinin koordinasyonu, PUFA'ları ve uzun zincirli PUFA'ları (LC-PUFA'ları) desatüre etmek için sıklıkla gereklidir. Uzama enzimlerini kodlayan genler, memelilerde yedi üyesi bulunan *ELOVL* gen ailesinden gelir. Örneğin, *ELOVL1*, 3, 6 ve 7 SFA'ların ve MUFA'ların uzamasında rol alırken, *ELOVL2*, 4 ve 5 PUFA'ların uzamasını sağlamaktadır (Sun *et al.* 2021).

Tavuk, elongaz enzimlerinin işlevsel olarak karakterize edildiği tek kümes hayvanıdır. *ELOVL5*, tavukların diğer hayvanlardan daha fazla DHA sentezlemesini sağlayabilecek benzersiz DPA-24:5n-3 aktivitesine sahiptir. Yapılan bir çalışmada tavuk *ELOVL5*'in, DPA'yı 24:5n-3'e kadar uzatabilmesi açısından kemirgen *ELOVL5*'ten farklı olduğunu, bunun *ELOVL2*

DPA uzatma aktivitesiyle birlikte tavukların diğer türlere göre daha fazla 24:5n-3 ve ardından daha fazla DHA sentezlemesine olanak sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Gregory *et al.* 2013). Bu bulgular, diyet manipölasyonları ve ilgili enzimatik süreçlerin anlaşılması yoluyla tavuklarda EPA ve DHA'nın dönüşümünü arttırmaya yönelik potansiyel stratejiler olduğunu göstermektedir. Ayrıca ALA'nın diyet alımının artırılmasının ve gerekli elongaz enzimlerinin sağlanmasının, tavuklarda ALA'nın EPA ve DHA'ya dönüşümünü artırabileceğini göstermektedir.

Kurkuminin elangasyon ve desatürasyon üzerine olan etkileri tavuklarda henüz çalışılmamıştır. Ancak gerek etlik piliç gerekse yumurta tavuğu diyetlerine kurkumin ilavesinin performans, verim ve ürün kalitesi üzerine etkileri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Tavuklarda EPA ve DHA dönüşümünün artırılması birçok çalışmanın ilgi odağı olmuştur. Yumurta tavuğu diyetlerine kenevir tohumu ve kenevir tohumu yağı ilavesinin diyet ALA seviyesini artırdığı, yumurta sarısı, karaciğer ve kan plazmasındaki yağ asidi profilini etkilediği ve sonuç olarak çeşitli dokularda ω -3 yağ asitleri düzeylerini artırdığı tespit edilmiştir (Neijat *et al.* 2016). Ayrıca EPA ve DHA besin öğelerinin yumurta tavukları üzerindeki etkilerine odaklanan başka bir çalışmada, bu yağ asitlerinin diyetle sağlanmasının performans, yumurta kalitesi ve yumurta sarısı yağ asidi profilini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Gao *et al.* 2021).

Nassef *et al.* (2019) EPA ve DHA yağ asitlerinin yumurta tavuklarında performans ve yumurta sarısı yağ asidi profili üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada kontrol grubunu soya yağı, muamele grubunu ise EPA ve DHA içeren diyetlerle beslemişler ve muamele grubunun kontrol grubuna göre daha az yemle daha fazla yumurta ürettiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca bu diyetler yumurtalardaki toplam çoklu doymamış ve ω -3 FA miktarını artırmıştır. Diğer taraftan ω -6 ile ω -3 FA oranının 5:1'e düşürülmesiyle yumurta trigliseritleri, toplam kolesterol ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) ile ilişkilendirilen kolesterol azalmıştır. Bu bulgular, EPA ve DHA'nın tavuk yemlerinde kullanılmasının performans, yumurta sarısı yağ asidi profili ve kolesterol üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu ve insan sağlığını iyileştirmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Hang *et al.* (2018) yavaş büyüyen tavukların diyetlerine 20, 40, 60 veya 80 mg/kg düzeyinde kurkuminoid ilavesinin performans, et kalitesi ve et yağ asidi profili üzerine etkilerini incelemişler, diyetle kurkuminoid seviyesinin artırılmasının yemden yararlanmayı iyileştirdiğini, göğüs eti oranını artırdığını, göğüs ve but derisinde daha sarı bir rengin elde edildiği bildirmişlerdir. Ayrıca 20 ve 40 mg/kg kurkuminoid ilavesinin göğüs etindeki LA içeriğini artırdığı, C22:6n-3 (DHA) içeriğini ise azalttığı rapor edilmiştir.

Yumurta tavukları (Cui *et al.* 2022) ve etlik piliçlerde (Xie *et al.* 2019) kurkuminin lipogenez ve lipolizde yer alan genlerin ekspresyon seviyelerini etkileyerek karın ve karaciğer yağını azalttığını gösteren çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Cui *et al.* (2022) yumurta tavuğu diyetlerine eklenen kurkuminin karaciğer yağ metabolizması ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmışlar ve kurkuminin lipid metabolizmasını düzenleyerek, karın bölgesindeki yağ birikimini azalttığını, karaciğerde lipid metabolizması ile ilgili genlerin ekspresyonunu düzenleyerek antioksidan kapasitenin artırılmasına katkıda bulunduğunu ve toplam kolesterol düzeylerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Li *et al.* (2024) yumurta tavuklarının yemlerine farklı dozlarda (0, 100, 200, 400 ve 800 mg/kg) kurkumin ilavesinin yumurta iç ve dış kalitesi ile lipid metabolizması üzerine etkilerini araştırmışlar ve 200 mg/kg kurkumin takviyesinin yumurta kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Bu iyileşme, albümin yüksekliği, sarı rengi, Haugh birimi ve yumurta kabuğu kalınlığı gibi parametrelerde gözlenmiştir. Aynı zamanda, 200 mg/kg kurkumin takviyesi hepatik yağ metabolizmasını düzenlemiş, karın bölgesinde yağ birikimini azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca kurkumin ilavesinin karaciğer sağlığını iyileştirerek yağ metabolizmasını ve antioksidan kapasitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Liu *et al.* (2020) sıcak stresi altında bulunan yumurta tavuklarının diyetine kurkumin ilavesinin yumurta verimi, yumurta kalitesi, biyokimyasal göstergeler, hormon seviyeleri ve bağışıklık aktivitesi üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonuçları, 150 mg/kg kurkumin takviyesinin, kontrol grubuna kıyasla yumurta üretimi, yumurta kabuk kalınlığı, yumurta kabuk mukavemeti ve yumurta akı yüksekliğini anlamlı olarak artırdığını göstermiştir.

Galli *et al.* (2018) ticari yumurta tavuklarının diyetine farklı seviyelerde eklenen kurkuminin koksidioza karşı koruyucu etkileri ile yumurta kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada, kurkuminin yumurtanın özgül ağırlık ve sarı oranını artırdığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda, muamele gruplarındaki yumurtaların sarı rengi kontrol grubuna göre daha soluk bulunmuştur. Fakat 50 mg/kg kurkumin kullanılan grupta kurkumin oranındaki artışa bağlı olarak sarı renk pigmentlerinde artış gözlemlenmiştir.

Bir başka araştırmada, yumurta tavuğu diyetine çörek otu (*Nigella sativa*), sarımsak (*Allium sativa*) ve zerdeçal (*C. longa*) ilavesinin üretim performans ve yumurta kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmada %1 oranında çörek otu, sarımsak ve zerdeçal karışımının yumurta verimini ve yumurta ağırlığını önemli düzeyde artırdığı, yumurta kalitesini

iyileştirdiği, yumurta sarısı kolesterol ve trigliserid seviyelerini düşürdüğü belirlenmiştir (Singh *et al.* 2019).

Kosti *et al.* (2020) yumurta talebini karşılamak amacıyla yetiştiriciler tarafından uygulanan yem stratejileri ve bu stratejilerin tavuklarda yol açabileceği metabolik ve diğer stresler üzerine etkilerine odaklandıkları araştırmada, yeme %1, %2 ve %4 oranında zerdeçal ilavesinin yumurtada kolesterol seviyesini sırasıyla %16, %24 ve %25 oranında azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüksek karbonhidrat içeren diyetle beslenen ve cinsel olgunluğa ulaşmadan 30 gün önce zerdeçal tozu takviye edilen tavuklarda yumurta veriminin kontrol grubuna göre %20 daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Kartikasari (2013) yumurta tavuğu ve etlik piliç diyetlerine ALA eklenmesinin, performans ve ürünlerin duysal özelliklerini değiştirmeden yumurta ve ette ω -3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (ω -3 LCPUFA) birikimini artırıp artırmayacağını incelemişler ve ALA ile zenginleştirilmiş diyetlerin hem yumurta hem de et ürünlerinde EPA seviyelerini artırdığını bildirmişlerdir. ALA seviyesi %3'e ulaştığında, DHA ve DPA seviyelerinin de arttığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ALA'nın ω -3 LCPUFA'ya dönüşümünün türden türe farklılık gösterdiğini ve ALA ile zenginleştirilmiş diyetlerin yumurta ve ette ω -3 PUFA kaynaklarını artırabileceğini ortaya koymuştur. Duysal testler, ALA ile zenginleştirilmiş diyetlerin yumurta ve tavuk göğsü etinin kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yapmadığını göstermiştir.

Nm *et al.* (2018) doğal bir büyüme destekleyici olarak kurkumin ve zerdeçal içeren lipofilik zerdeçal ekstraktının standartlaştırılmış formülasyonunun etkinliğini incelemişlerdir. Bir günlük yaştaki etlik civcivler üzerinde yapılan araştırma sonunda ekstraktın performans özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir.

Sugiharto *et al.* (2011) zerdeçal ekstresinin etlik piliçlerde kan parametreleri, performans ve karın yağı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, civcivlere 5 farklı dozda zerdeçal ekstresini oral olarak vermişler ve zerdeçal ekstresinin etlik piliçlerde hemoglobin üretimini artırma potansiyeline sahip olduğunu, ancak eritrosit konsantrasyonu, hematokrit seviyeleri, yem dönüşüm oranı (FCR) ve karın yağı gibi diğer parametreler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Bir diğer araştırmada, zerdeçal tozu ile zenginleştirilmiş diyetin etlik piliçlerin büyüme performans ve karkas özellikleri ile kan parametreleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Cobb-400 etlik piliç civciv yemlerine sırasıyla 2,5g, 5g ve 7,5g/kg düzeyinde zerdeçal tozu ilave edilmiştir. 42 gün süren deneme sonunda, 7,5g/kg zerdeçal tozu içeren diyeti tüketen grup en

yüksek canlı ağırlık artışı ve en iyi yemden yararlanma oranına sahip olmuştur. Ayrıca en düşük karın yağ oranı ve en yüksek karkas verimi bu grupta tespit edilmiştir (Shohe *et al.* 2019).

Nouzarian *et al.* (2011) kurkumin içeriği %1,16 olan zerdeçal tozu takviyesinin etlik piliçlerde performans ve karkas özellikleri ile serum biyokimyasal parametreler üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, zerdeçal tozu ilavesinin canlı ağırlık kazancı ve günlük yem tüketimini etkilemediğini ancak, yemden yararlanma oranını iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca zerdeçal tozu ilavesinin hayvanların abdominal yağ, karaciğer ağırlığı ve serum trigliserid konsantrasyonunda belirgin bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir.

Rajput *et al.* (2013) yem takviyesi olarak farklı oranlarda kurkumin kullanılmasının etlik civcivlerde performans, bağırsak morfolojisi, yağ metabolizması ve besin kullanımı üzerindeki etkilerini incelemişler ve 200 mg/kg kurkumin ilavesinin, performans özellikleri ile yağ metabolizmasını iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Al-Jaleel (2012) etlik piliç diyetlerine farklı seviyelerde (%0, %0,25, %0,50, %1 ve %1,5) *C. longa* takviyesinin performans ve bazı fizyolojik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişler ve diyetle %0.50 zerdeçal takviyesinin canlı ağırlığı ve yemden yararlanma oranını iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Xie *et al.* (2019) diyet yoluyla alınan kurkuminin etlik piliçlerin karaciğer lipid metabolizması üzerindeki etkilerini incelemek için yürüttükleri çalışmada 1200 adet bir günlük civciv gruplara ayrılarak sırasıyla 500 mg/kg, 1,000 mg/kg ve 2,000 mg/kg kurkumin içeren diyetlerle beslenmişler ve kurkuminin karaciğer ve plazma lipid profillerini iyileştirerek, lipogenez ve lipoliz ile ilgili genlerin ekspresyon seviyelerinin modülasyonu abdominal yağ birikimini azaltmada önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir.

Hafez *et al.* (2022) 2 haftalık yaştaki Cobb 500 etlik piliçleri 100 ve 200 mg/kg kurkumin içeren diyetlerle beslemişler ve 200 mg/kg kurkumin ilavesinin, karaciğer dokularında insulin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1), büyüme hormonu reseptörü (GHR), miyostatin (MSTN) ve leptin mRNA ekspresyonlarını düzenleyerek stres altındaki büyüme ile ilgili gen ekspresyonlarını olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Bu bulgular, kurkuminin stresli koşullar altında barındırılan tavuklarda büyümeyle ilgili gen ekspresyonlarını düzenleyerek stres etkisini hafifletebileceğini göstermektedir.

Yarru *et al.* (2009) aflatoksin B1 (AFB1) ile beslenen etlik piliçlerin karaciğer gen ekspresyonu seviyelerindeki değişiklikler üzerine kurkuminin etkisini incelemişler ve AFB1 ile beslenen civcivlerin karaciğerlerinde antioksidan, biyotransformasyon ve bağışıklık sistemi genlerinin ekspresyonundaki değişiklikler üzerinde kurkuminin kısmi koruyucu etkisinin

olduğunu bildirmişlerdir. Aflatoksin, yem tüketimi ve canlı ağırlık kazancını azaltırken ($P<0,05$), göreceli karaciğer ağırlığını artırmıştır ($P<0,05$). AFB1’li diyetle kurkumin eklenmesi, AFB1’in performans ve karaciğer ağırlığı üzerindeki olumsuz etkilerini hafiflettiği ileri sürülmüştür.

Etlik piliçlerde AFB1’in zararlı etkilerini hafifletmek için kurkuminoidlerin kullanıldığı başka bir çalışmada, diyetle belli bir düzeyde zerdeçal tozu (%2,55 oranında toplam kurkuminoid içeren) ilave edilmiştir. Deneme sonunda kurkuminoid ilavesinin ağırlık kazancı ve yem verimliliğini (YYO) önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca AFB1 ile beslenen tavuklarda gözlenen karaciğer ağırlığındaki artış, diyetle kurkuminoid eklenmesiyle anlamlı şekilde azalmıştır (Gowda *et al.* 2009). Benzer sonuçlar Fan *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada da gözlenmiştir.

Galli *et al.* (2020) etlik piliçlerin yemlerine kurkumin ve bazı fitojenik maddelerin eklenmesinin etkilerini inceledikleri çalışmada, kurkumin ve timol, sinamaldehit, karvakrol gibi mikroenkapsüle edilmiş fitojenik bileşenlerin, etlik piliçlerin sağlığı ve et kalitesi üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir. Bu katkı maddelerinin, etlik piliçlerde antioksidan seviyesini yükselterek lipid peroksidasyonunu azaltıp SFA’ların miktarını düşürdüğünü, PUFA ve MUFA içeriğini ise artırdığını bildirilmiştir. Ayrıca kurkuminin göğüs kasındaki LA dahil, bazı yağ asitlerinin seviyesini artırdığı gözlemlenmiştir.

Xie *et al.* (2019) kurkuminin etlik piliçlerin karaciğerindeki lipid metabolizması üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, 1000 ve 2000 mg/kg kurkumin içeren diyetlerle beslenen gruplarda kurkuminin yağ asidi sentazı (FAS), sterol regülatör element bağlayıcı protein-1c (SREBP-1c), asetil CoA karboksilaz (ACC) ve ATP-sitrat liyaz (ACLY) gibi lipid metabolizması ile ilgili genlerin ekspresyon seviyelerini etkilediğini tespit etmişlerdir. Özellikle, 2000 mg/kg kurkumin grubunda, lipogenez ve lipolizle ilgili bu genlerin ekspresyon düzeylerinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir.

Etlik piliç diyetlerine farklı oranlarda (%0, %0,25, %0,50, %0,75) eklenen zerdeçal rizomu tozunun etkilerinin incelendiği bir çalışmada, muamele gruplarına ait but etindeki SFA ve trigliserid seviyelerinin azaldığı, HDL kolesterol seviyesinin ise arttığı bildirilmiştir (Daneshyar *et al.* 2011).

Salah *et al.* (2021) sıcak stresi altındaki etlik piliç diyetlerine kurkumin eklemenin enerji metabolizması, beyin monoaminleri ve kas oksidatif stabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sıcak strese maruz bırakılan ve diyetlerine kurkumin (100 mg/kg diyet) ilave edilen hayvanların göğüs eti veriminin önemli ölçüde arttığı, abdominal yağ yüzdesinin

azaldığı, göğüs ve but kaslarında doymamış yağ asitleri (MUFA ve PUFA) seviyelerinin önemli ölçüde iyileştiği bildirilmiştir.

Gregory and James (2014) ördekler ve hindilerdeki yağ asidi zinciri uzatma enzimlerinin incelendiği bir çalışmada, bir maya ekspresyon sistemi kullanarak söz konusu hayvanların tavuklardakine benzer şekilde diyetteki ALA'dan EPA ve DHA'yı sentezleme potansiyeline sahip olduklarını bildirmişlerdir.

Reda *et al.* (2020) Japon bıldırcınları üzerinde yaptıkları çalışmada, nano-kurkumin seviyelerinin performans özelliklerine etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Özellikle nano-kurkumin verilen gruplarda, kontrol grubuna kıyasla canlı ağırlık artışının belirgin bir şekilde yükseldiği, yem tüketiminin azaldığı ve yemden yararlanmanın iyileştiği kaydedilmiştir.

Ji *et al.* (2021) diyetle farklı oranlarda (%0, %0,02, %0,04 ve %0,06) eklenen kurkuminin büyük sarı şarlatanlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneme sonunda kurkumin ilavesinin büyümeyi teşvik ettiği, hepatik lipid oranını azalttığı ve antioksidan aktiviteyi artırdığı bulunmuştur. Araştırmacılar ayrıca, kurkuminin karaciğerdeki ω -6 PUFA ve ω -3 PUFA oranını artırdığını, SFA miktarını ise azalttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, kurkuminin PUFA sentezinde hız sınırlayıcı enzimler olan *elovl4*, *elovl5* ve $\Delta 6$ fad ekspresyonunu artırdığı gözlemlenmiştir.

Torres *et al.* (2020) *Sparus aurata* ve *Solea senegalensis* post-larvalarının uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (LC-PUFA) ve çok uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin (VLC-PUFA) biyosentezinde yer alan genlerin (*elovl4*, *fads2*, *elovl5*) beslenme yoluyla düzenlenmesini araştırmışlardır. Çalışmada, balıklara farklı oranlarda LC-PUFA içeren üç inert mikro-diyet uygulayarak bu genlerin ekspresyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gen ekspresyonları üzerinde yapılan analizler, *fads2*, *elovl5*, *elovl4a* ve *elovl4b* genlerinin diyetle alınan LC-PUFA miktarına bağlı olarak düzenlenebileceğini ortaya koymuştur. Özellikle, *elovl4*'ün beslenmeyle düzenlenmesinin her iki balık türünde de farklı ve türe özgü olduğu belirlenmiştir.

Shao *et al.* (2012) tarafından yapılan çalışma, fareler üzerinde yüksek yağlı diyetin neden olduğu vücut ağırlığı artışı ve insülin direnci üzerine kurkuminin etkilerini ve bu etkilerin altında yatan mekanizmaları araştırmışlardır. Sonuçlar, kurkuminin glikoz kullanımını iyileştirdiğini, vücut ağırlığı ve yağ kazancını önemli ölçüde azalttığını ve insülin direnci gelişimini engellediğini göstermiştir.

Sıçanlar üzerinde yapılan bir çalışmada, sıçanlar kontrol diyeti, ALA diyeti, zerdeçal diyeti (500 ppm kurkumin) ve ALA + zerdeçal diyeti ile 3,5 hafta beslenmiş ve kurkuminin

ALA'dan DHA sentezini arttırdığını ve hem karaciğer hem de beyin dokularında *FADS2* ve elongaz 2 gibi DHA sentezinde yer alan enzimlerin seviyelerini yükselttiği rapor edilmiştir (Wu *et al.* 2015).

Martínez-Morúa *et al.* (2013) antioksidan ve anti-inflamatuar özelliklere sahip bir bileşik olan kurkuminin, yüksek yağlı diyetle beslenen obez fareler üzerinde oksidatif stres ve mitokondriyal disfonksiyona yol açabileceğini, ancak kurkuminin bu obezite kaynaklı durumları önleyebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, doğal kurkuminin antioksidan ile anti-inflamatuar özelliklere sahip sentetik bir türevinin, yüksek yağlı diyetle beslenen farelerdeki karaciğer yağlanması üzerindeki etkileri incelenmiş ve kurkumin türevinin farelerde vücut ve karaciğer ağırlığının artışı önlediği ve yüksek karaciğer trigliserid seviyesini azalttığı rapor edilmiştir (Lee *et al.* 2020).

Tavuklarda Leghorn, Ross 308 ve bunların melezi karaciğer lipid metabolizmasının mukayeseli olarak araştırıldığı bir çalışmada, serbest yağ asitleri, trigliseridler, fosfolipidler, *FADS2* gen ekspresyonu ve $\Delta 6$ -desaturaz enzim aktivitesine odaklanılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile farklı tavuk genotiplerinin lipid metabolizmalarında belirgin farklılıkların olduğu ortaya koyulmuştur. Bu farklılıkların, beslenme ve genetik yapının tavukların lipid metabolizması üzerindeki etkilerinin farklı olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Cartoni Mancinelli *et al.* 2022).

Kurkumin takviyesinin karaciğerdeki lipid metabolizmasını düzenleyici etkileri üzerine yapılan araştırmalarda, bu bileşiğin hayvan beslemede potansiyel faydalarını ortaya koymanın yanı sıra kurkuminin karaciğerde lipid sentezinde yer alan önemli genler ve enzimler üzerinde düzenleyici etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Yapılan araştırmalarda, yumurta tavuğu diyetlerine 150mg/kg ve 2g/kg kurkumin takviyesinin sterol ekspresyon düzenleyici protein-1c (SREBP-1c), asetil koenzim A karboksilaz (ACC), FAS ve malik enzimin (ME) mRNA ekspresyonunu azalttığı rapor edilmiştir. Bu düşüş, kurkuminin karaciğerdeki lipid metabolizması enzimlerinin aktivitesini azaltarak hepatik yağ metabolizmasını düzenlemesine yol açmaktadır. Böylece, kurkumin yumurta tavuklarında yağ asidi sentezi ve β -oksidasyonunda yer alan genlerin ekspresyonunu modüle edebilmekte, bu da potansiyel olarak karın yağ birikiminde azalmaya ve lipid metabolizmasının iyileşmesine yol açmaktadır (Puvača *et al.* 2018, Gu *et al.* 2021; Cui *et al.* 2022). Ayrıca kurkuminin peroksizom proliferatörüyle aktifleştirilen reseptör alfa (PPAR α), PPAR γ ve çeşitli asil-CoA dehidrojenazlar (ACAD) dahil olmak üzere yağ asidi β -oksidasyonu ile ilgili genlerin transkripsiyonunu yukarı doğru düzenlediği belirtilmiştir. Bu etkiler, kurkuminin yağ asidi metabolizmasında önemli roller oynayan genler üzerindeki

düzenleyici etkisinin yanı sıra potansiyel olarak hayvanların sağlığını ve ürün kalitesini iyileştirme kapasitesini göstermektedir (Arshami *et al.* 2013; Nosrati-Oskouie *et al.* 2021; Pan *et al.* 2022). Bu bulgular, kurkuminin hayvan diyetlerine eklenmesinin, özellikle yağ metabolizmasını düzenlemeye ve antioksidan kapasiteyi artırmaya yardımcı olarak, tavukların sağlığını iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır. Kurkuminin bu etkileri, hayvan beslenmesi stratejilerinde yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine ve hayvansal ürünlerin besin değerinin artırılmasına katkıda bulunabilmektedir.

Kurkumin, çeşitli hayvan modellerinde yapılan araştırmalarda yağ asidi metabolizması, performans özellikleri ve sağlık üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. Özellikle, etlik piliçler ve yumurta tavuklarında, kurkuminin lipid metabolizmasını düzenleyici, antioksidan kapasitesini artırıcı ve bazı durumlarda büyüme ve gelişimi destekleyici etkilere sahip olduğu anlaşılmıştır. Ancak kurkuminin yumurta tavuklarında *FADS* ve *ELOVL* gibi spesifik yağ asidi metabolizmasıyla ilişkili genler üzerindeki etkileri detaylı olarak araştırılmamıştır. Mevcut literatür incelemesi, kurkuminin gen ekspresyonu ve yağ asidi metabolizmasını modüle edebileceğini göstermekle birlikte, yumurta tavuklarında *FADS* ve *ELOVL* genleri üzerindeki doğrudan etkilerini araştıran spesifik çalışmaların eksikliğini vurgulamaktadır. Bu durum, kurkuminin bu önemli genler üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için daha derinlemesine araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yumurta tavuklarında *FADS* ve *ELOVL* genleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla gelecekte yapılacak olan çalışmalar, kurkuminin hayvan diyetlerinde kullanımının ve yumurta kalitesi, yağ asidi profili ve genel sağlık üzerindeki faydalarının daha iyi anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Hayvan materyali

Araştırmada kullanılan hayvan materyali Atatürk Üniversitesi Gıda ve Hayvancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü (GHUAM) Tavukçuluk Şubesi'nden temin edilmiştir. Denemede toplam 40 adet 68 haftalık yaşta Hy-Line Brown ticari yumurta tavuğu kullanılmıştır. Canlı ağırlıkları tespit edilen hayvanlar her birinde 8 adet tavuk bulunan 5 gruba ayrılarak her bir kafeste bir tavuk olacak şekilde bireysel kafeslere yerleştirilmiştir (Şekil 3). Hayvanların kullanımı için gerekli izinler GHUAM'dan (Belge No: E-43216829-020-2200094536); çalışmanın yürütülmesi için gerekli onay ise Atatürk Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Tarih: 29.03.2022 / Karar No: 59).



Şekil 3. Hayvan tartımı.

Yem materyali

Denemede kullanılan karma yem (yumurta kafes tavuğu 2. dönem yemi) ticari bir yem fabrikasından; kurkumin (%99 saflık derecesinde) ise yine ticari bir firmadan (Grenera Nutrients Pvt Ltd) temin edilmiştir.

Yemin kimyasal analizleri Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yem Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Denemede kullanılan yemlerin bileşimi (%) ve besin madde kompozisyonu (%) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Denemede Kullanılan Bazal Yemin Bileşimi (%) ve Besin Madde Kompozisyonu (%)

Yem Ham Maddeleri	Ham Madde Oranları
Sarı Mısır (%8,5 HP)	62,99
Soya Fasülyesi Küspesi (%45 HP)	16,57
Mısır Gluten Unu (%60 HP)	7,98
Mermer Tozu	10,18
DCP (%18 P)	1,44
Vitamin-Mineral karması*	0,25
Tuz	0,22
Sodyum Bikarbonat	0,16
L-Lisin	0,11
DL-Metiyonin	0,10
Bazal Yemin Besin Madde Kompozisyonu (%)	
Kuru Madde	88,41
Ham Protein	16,52
Ham yağ	2,20
Ham kül	12,07
Ham selüloz	2,78
D-Metiyonin	0,38
Metiyonin	0,40
Lisin	0,76
ME, kkal/kg	2726
Bazal Yemin Analizle Elde Edilen Besin Madde Kompozisyonu (%)	
Kuru Madde	88,78
Ham Protein	17,02
Ham yağ	2,43
Ham kül	11,74
Ham selüloz	3,18

*Diyetin her kilogramında: 12 000 IU vitamin A; 2 500 IU vitamin D3; 30 IU vitamin E; 4 mg vitamin K3; 3 mg vitamin B1; 6 mg vitamin B2; 30 mg niasin; 10 mg kalsiyum D-pantotenat; 5 mg vitamin B6; 0,015 mg vitamin B12; 1 mg folik asit; 0,050 mg D-biotin; 50 mg vitamin C; 300 mg kolin klorid; 80 mg manganez; 60 mg demir; 60 mg çinko; 5 mg bakır; 0,5 mg kobalt; 2 mg iyot; 0,15 mg selenyum.

Barınak koşulları

Deneme boyunca tavuklar 60x60x50cm boyutlu kafeslerde bireysel olarak yemlemeye tabi tutulmuştur. Toplam 40 kafes, her kafes sırası 4 katlı ve arkalı önlü olacak şekilde her grupta 8 adet kafes belirlenmiştir. Her bir kafes bölmesinde bireysel yemlik, 2 adet nipel suluk başlığı ve yine birbirine karışmayacak şekilde tellerle sabitlenmiş yumurtalık kısmı bulunmaktadır. Kafes tabanı ızgaralı olup altında toplanan gübre otomatik gübre sıyırıcı ile günlük olarak temizlenmektedir. Çalışma alanındaki kafeslerden genel bir görüntü Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Kümes içerisinden görüntü.

Çalışmada kullanılan alet ve ekipmanlar

Bireysel kafes düzeninin oluşturulması amacıyla kafes yemlik ve yumurtalık aralıklarına ayraç olarak tahta setler ve teller kullanılmıştır. Deneme boyunca yumurtaların tartımında $\pm 0,001$ g hassasiyetli terazi, yem ve hayvanların tartımı için ise $\pm 0,1$ g hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır. Tavukların tartımında kullanılan terazi ve tartım işlemine ait görsel şekil 5'te sunulmuştur.



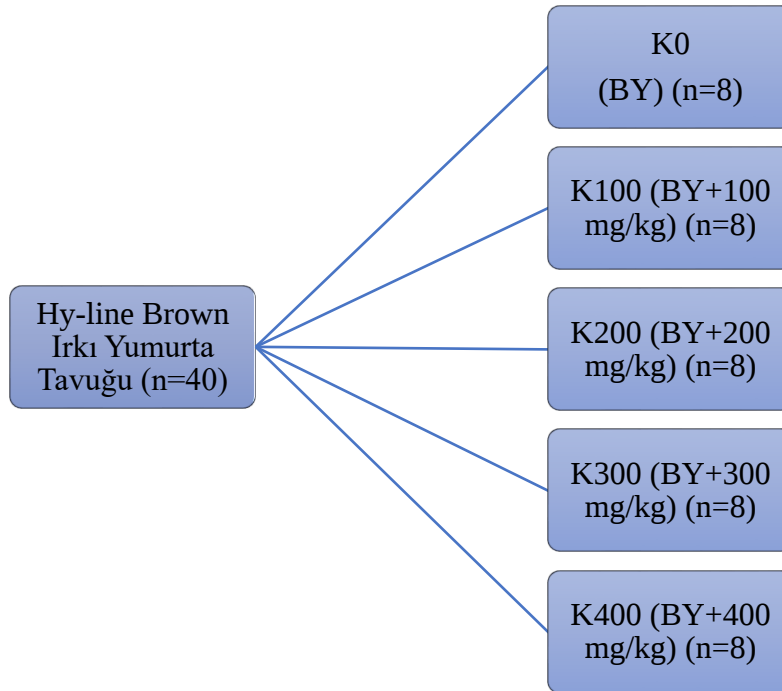
Şekil 5. Tartımda kullanılan teraziler.

Metot

Deneme gruplarının oluşturulması, bakımı ve beslenmesi

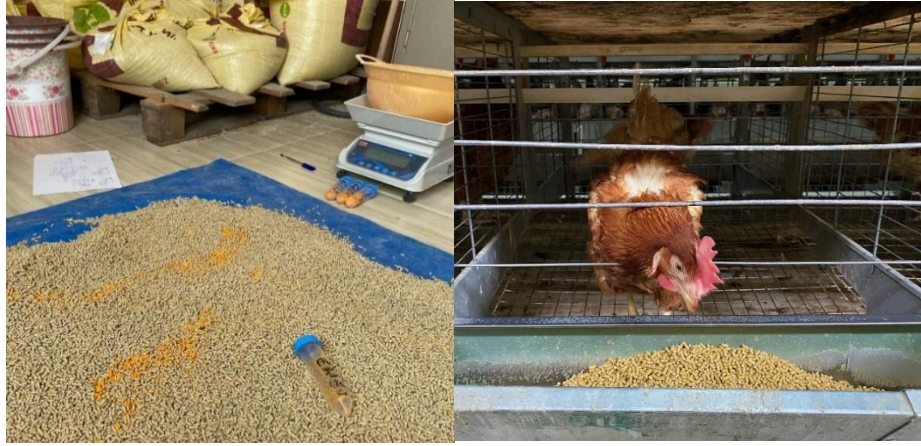
Söz konusu araştırma Atatürk Üniversitesi Gıda ve Hayvancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğüne bağlı Tavukçuluk şubesinde, yumurta tavuklarının farklı seviyelerde kurkumin içeren diyetlerle beslenmesi ve laboratuvar çalışmaları (yumurta kalite kriterlerinin ve yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi, *FADS* ve *ELOVL* genlerinin tanımlanması, karakterizasyonu ve *FADS/ELOVL* genlerinin nutrigenomiği) olmak üzere iki farklı aşamada yürütülmüştür. Nutrigenomik çalışmalarda gen ekspresyonu parametrelerini olumsuz yönde etkileyen başta stres olmak üzere, kümes içi çevre şartlarının negatif etkisini olabildiğince minimize edecek şekilde ortam oluşturulması için tüm imkanlar sağlanmıştır. Deneme süresince 16 saat aydınlatma ve 8 saat karanlık uygulanmıştır. Bazal yeme ilave edilen kurkumin, kimyasal yapısını korumak için güneş geçirmeyen serin ve vakumlu paketlerde muhafaza edilmiştir. Diyetlerde kullanılan kurkumin, GHUAM Tavukçuluk Şubesi'nde önce 0,5 kg'lık yeme ilave edilerek ön karmalar hazırlanmış, daha sonra hazırlanan ön karmalar her grup için ayarlanan yemlere homojen olarak karıştırılarak serin ve kuru bir depoda muhafaza edilmiştir.

On haftalık deneme süresince bireysel olarak barındırılan hayvanlara yem ve su *ad libitum* olarak sunulmuştur. Araştırmanın deneme desenine ait şema Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Araştırmanın deneme desenine ait şema (K: Kurkumin, BY: Bazal Yem, n: Hayvan sayısı).

Denemede kontrol grubu bazal yemle, muamele grupları ise bazal yeme sırasıyla 100, 200, 300 ve 400 mg/kg kurkumin ilave edilerek oluşturulan diyetlerle beslenmiştir. Yem karışımının oluşturulması ve yemlemeye dair görsel Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yem karışımının oluşturulması ve yemleme yapılması.

Araştırmada kullanılan yemlerin besin madde içeriklerinin belirlenmesi

Araştırmada kullanılan yemlerden (2. dönem kafes yumurta tavuğu yemi) örnekler homojen olarak alınmış ve Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yem Analiz Laboratuvarı’nda analize tabi tutulmuştur. Kimyasal kompozisyonu belirlenecek olan örnekler 1 mm’lik bir eleğin geçireceği boyuta kadar öğütülmüştür. Daha sonra, yem örneklerinin kuru madde, ham protein, ham yağ ve ham kül içerikleri Weende Analiz Sistemine uygun olarak Resmi Tarım Kimyagerleri Derneği (AOAC 1998) tarafından belirtilen yöntemlere göre analiz edilmiştir. Ham selüloz içeriği ise Crampton and Maynard (1938) tarafından geliştirilen yöntemle, ANKOM 200 Fiber Analyzer cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Analizlerin yapımı aşamasında çekilen görüntüler Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Yem örneklerinin analizi.

Genel performans özelliklerinin belirlenmesi

Canlı ağırlık değişiminin belirlenmesi

Deneme gruplarında yer alan hayvanlar, deneme başında ve sonunda bireysel olarak $\pm 0,1$ g hassasiyetindeki elektronik terazi ile tartılarak canlı ağırlıklar belirlenmiştir. Toplam canlı ağırlık değişimi, deneme sonundaki canlı ağırlıktan deneme başındaki canlı ağırlığın çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Canlı Ağırlık Değişimi (g)} = \text{Deneme sonu canlı ağırlık (g)} - \text{Deneme başı canlı ağırlık (g)}$$

Yem tüketiminin belirlenmesi

İki haftada bir aynı saatte, sabah yemleme yapılmadan önce yemliklerde kalan yem miktarı bu süre zarfında hayvanlara verilen yem miktarında çıkarılarak elde edilen miktarlarının gün sayısına bölünmesiyle günlük yem tüketim değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Yem Tüketimi (g)} = \frac{\text{Verilen yem miktarı (g)} - \text{Artan yem miktarı (g)}}{\text{Gün sayısı}}$$

Yumurta verimi ve yumurta ağırlığının belirlenmesi

Her gün toplanıp kaydedilen yumurta sayısından yararlanarak iki haftada üretilen yumurta sayısı tespit edilip gün sayısına bölünerek yumurta verimi yüzde olarak belirlenmiştir.

$$\text{Yumurta Verimi (\%)} = \frac{\text{Üretilen yumurta sayısı}}{\text{Gün sayısı}} \times 100$$

Yemden yararlanma oranının belirlenmesi

Her gruba ait kafeslerde 14 günlük yem tüketimlerinin yine aynı sürede üretilen yumurta miktarına (g) (% yumurta verimi x ortalama yumurta ağırlığı (g)) bölünmesiyle yemden yararlanma oranları hesaplanmıştır.

$$\text{Yemden Yararlanma Oranı} = \frac{\text{Toplam tüketilen yem miktarı (g)}}{\% \text{Yumurta verimi} \times \text{Yumurta ağırlığı (g)}}$$

Bazı önemli yumurta iç ve dış kalite kriterlerinin belirlenmesi

On dört günde bir her bir grup için toplanan bütün yumurtaların kalite analizleri Veteriner Fakültesi Zootečni ve Hayvan Besleme Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yumurta ağırlığı, yumurta verimi, yumurta sarısı, Haugh birimi, kabuk kalınlığı, ak oranı, sarı oranı, kabuk oranı ve kırılma mukavemeti gibi yumurta iç ve dış kalite parametreleri için her bir kafesten alınan yumurta örnekleri oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Analiz sırasında çekilen görseller Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Yumurta kalite analizleri.

Yumurta ağırlık, renk, Haugh birimi ve kırılma mukavemeti gibi özellikler Nabel-Digital Egg Tester/Det-6000 cihazı kullanılarak otomatik olarak tespit edilmiştir. Yumurta ak, sarı ve kabuğu tartılarak yumurta ağırlığına bölünüp % ak, sarı ve kabuk oranları bulunmuştur. Kabuk kalınlığının ölçümünde yumurta kabukları ters çevrilerek kurutma kağıtları üzerinde kurutulmuş ve zarları çıkarılarak küt, sivri, yan kısımları dijital kumpas ile ölçülüp ortalaması alınmıştır.

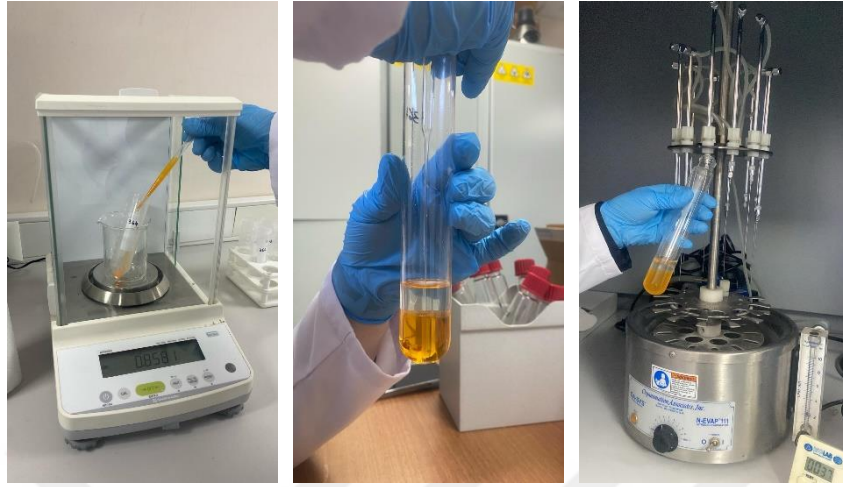
Yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi

Örneklerden yağ ekstraksiyonu ve yağ miktarının belirlenmesi

Örneklerden alınan yaklaşık 1 gram yumurta sarısı, yağ ekstraksiyonu için homojenize edilmek üzere tüplere yerleştirilmiştir. Dokuların daha iyi parçalanabilmesi için 20 ml solvent eklenmiş ve 60 saniye boyunca bir homojenizatör kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Homojenizasyon sonrası, karışıma vakum uygulanarak süzölmüş ve elde edilen çözelti ayrı bir cam tüpe aktarılmıştır. Bu aşamada, çözeltiye karışım hacminin %2'si kadar $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisi ilave edilmiştir. Daha sonra, cam tüplere yüksek saflıkta nitrojen gazı doldurulmuş ve 1 dakika boyunca vortex yapılarak karıştırılmıştır. Bu işlem tekrar edilerek tüpler nitrojen gazı ile doldurulmuş ve hava almayacak şekilde sıkıca kapatılmıştır. Tüpler, faz ayrımının sağlanabilmesi için 24 saat boyunca ışıktan uzak ve oda sıcaklığında bekletilmiştir.

İnkübasyon sonrası, tüplerin alt fazı dikkatlice yeni cam tüplere transfer edilmiştir. Alt fazın tamamen toplanmasının ardından, içine kloroform eklenmiş ve azot gazı yardımıyla bir ısıtılmalı evaporatörde solvent buharlaştırılmaya başlanmıştır. Bu süreç boyunca, cam tüplerin ağırlıkları 0,0001 hassasiyete sahip terazi ile kaydedilmiştir. Kloroform ve solventin bir kısmı buharlaştırıldıktan sonra, geriye kalan çözelti ısıtma durdurularak daha küçük 10 ml'lik cam deney tüplerine aktarılmış ve buharlaştırma işlemine devam edilmiştir. Tüm solvent

buharlaştırıldıktan sonra, cam tüplerin ağırlıkları sabit bir değere ulaşana kadar periyodik olarak tartılmıştır. Son olarak, yaklaşık 0,5-1,0 ml kloroform eklenerek tüpler azot gazı altında sıkıca kapatılarak ve -20°C’de saklanmıştır (Şekil 10) (Folch et al. 1957).



Şekil 10. Numunelerden toplam yağ ekstraksiyon işlemi.

Yağ ekstraksiyonu için solvent hazırlanması

Metanol-kloroformun 2:1 oranında karıştırılmasıyla ve her litreye 0,25 gram butilhidroksitoluen (BHT) eklenmesiyle hazırlanan solvent karışımı yağ ekstraksiyonu sürecinde kullanılmaktadır.

Yağ asidi metil esterlerinin (FAME) hazırlanması

Örneklerden, toplam yağ analizi sonrası elde edilen saf yağların Metcalfe and Schmitz (1961) tarafından geliştirilen metoda göre yağ asidi profili belirlenmiştir. Bu işlemde, yağ içeren tüplere 1,5 ml 2 M NaOH solüsyonu eklenip ardından tüpler nitrojen gazıyla doldurulmuştur. Daha sonra, bu numuneler 80°C’de 60 dakika boyunca inkübe edilerek sabunlaşma işlemi tamamlanmıştır. İnkübasyondan sonra, örneklerin oda sıcaklığında soğutulmasını takiben, her birine 2 ml %14’lük BF₃ solüsyonu ilave edilerek tekrar nitrojen gazı ile doldurulup 30 dakika daha 80°C’de bekletilmiştir. Soğutma işleminden sonra, her örneğe 1 ml hekzan eklenip vorteks ile karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra 1 ml distile su eklenerek yeniden vorteks yapılmıştır. Son olarak, bir kez daha 1 ml hekzan eklenip faz ayrımı sağlanarak üst faz, sodyum sülfat içeren yeni deney tüplerine aktarılmıştır. Bu işlem, hekzan tabakasının ayrılmasını sağlamaktadır. Örnekler 2 ml’lik cam viallere aktarılıp nitrojen gazı altında kapaklar kapatılmıştır. Vialler daha sonra gaz kromatografi (GC) ile analiz edilmek üzere -20°C’de saklanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Yağ asidi metil esterlerinin hazırlanışı.

Yağ asitlerinin tayini

Yağ asitleri, yağ asidi profillerinin belirlenebilmesi için Supelco Component FAME standart karışımına göre kalibre edilmiş ve gaz kromatografi (GC) ile incelenmiştir. Analiz sırasında, FAME standartlarına göre elde edilen piklerin zamanlarına göre yağ asitlerinin yüzdesel dağılımı belirlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Bu yöntemle, yağ asitlerinin detaylı bir profilinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Nutrigenomik örneklemeleri

Deneme sonunda her gruptan 6 hayvan seçilip GHUAM Tavukçuluk Şubesi'nde kesilerek (n=30) karaciğerleri çıkarılmıştır. Her bir karaciğer dokusunda aynı noktadan olacak şekilde alınan örnekler buz içerisinde bulunan daha önceden hazırlanmış 1 ml RNAlater içeren 2 ml'lik DNase/RNase free tüplerine konularak Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Laboratuvarına getirilmiştir. 24 saat -20 °C'de bekletilen örnekler daha sonra analiz edilinceye kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Alınan karaciğer örneklerinde *FADS* ve *ELOVL* genlerinin mRNA transkripsiyonları yapılmıştır. Örneklerin hayvanlardan alınması ve dokuların tüpler içinde analiz öncesi donmuş hali Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Nutrigenomik analiz öncesi hazırlıklar.

Genlerin doku spesifik dağılımlarının belirlenmesi için yapılan örneklemeler

Kontrol grubundaki 3 adet tavuktan karaciğer, böbrek, göğüs kası, adipoz, beyin, göz, deri, kalp, bacak kası, taşlık, yumurtalık, dalak, akciğer, bezel mide ve ince bağırsak olmak üzere toplam 15 dokudan örnek alınarak *ELOVL* ve *FADS* genlerinin ekspresyon düzeyleri belirlenmiştir. Dokuların alımı esnasında sterilizasyona çok önem verilmiş, her doku alımında bistüri ve makas etanol ile dezenfekte edilmiştir. Hem nutrigenomik hem de biyoinformatik analizler için yaklaşık 1 g ağırlığında örnekler alınmıştır. Örnekler, 1 ml RNAlater içeren 2 ml'lik DNase/RNase free tüplerin içine konulup bir gece -20 °C'de bekletildikten sonra buz içerisinde, analizlerin yapıldığı Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Laboratuvarı'na taşınıp burada analizlere kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Şekil 13'te tavuk kafatasının açılmış hali ve beyin+hipotalamus bölgesine ait dokular verilmiştir. Şekil 14'te ise tavuğa ait karaciğer, akciğer, dalak, bezel mide, yumurtalık, kalp ve göz gibi organlardan örnekler sergilenmiştir.



Şekil 13. Tavuğun kafatasının açılmış hali ve beyin+hipotalamus.



Şekil 14. Tavuğa ait bazı doku örnekleri.

Tavuk genomunda ELOVL ve FADS genlerinin belirlenmesi

EVOLV ve *FADS* genlerinin belirlenmesinde Biyoteknoloji Enformasyon Ulusal Merkezi (NCBI; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) ve Ensembl (www.ensembl.org) veri tabanlarından faydalanılmıştır. Bilindiği üzere balıklar ile kuşlar yakın akrabadırlar. Bu nedenle NCBI genom veri tabanında her bir hedef gen için ayrı ayrı daha önceden tanımlanmış zebra balığı (*Danio rerio*) *fads* ve *elovl* amino asit dizilimleri kullanılarak yapılan tBLASTn (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) araması neticesinde tavuk genomunda *FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2*, *FADS6*, *ELOVL1*, *ELOVL2*, *ELOVL4*, *ELOVL5*, *ELOVL6* ve *ELOVL7* genleri belirlenmiştir. Ancak NCBI genom veri tabanının son versiyonu (release: 248, oluşturma tarihi 15 Şubat 2022, erişim tarihi: 12 Nisan 2022) tavuk *ELOVL3* genini içermemektedir. *ELOVL3* genine ulaşabilmek için bu kez Ensembl genom veri tabanında BLASTp araması yapılmış (<https://www.ensembl.org/Multi/Tools/Blast?db=core>) ve tavuk *ELOVL3* genine ulaşılmıştır. *FADS1a* ve *FADS1b* genleri daha önceki çalışmalarda belirlenmesine rağmen *FADS1c* geni bu çalışmada ilk kez tavuk genomunda belirlenmiş ve karakterize edilmiştir. Karakterizasyonu tamamlanan genler Biyoteknoloji Enformasyon Ulusal Merkezi (NCBI; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) veri tabanına yüklenmiştir.

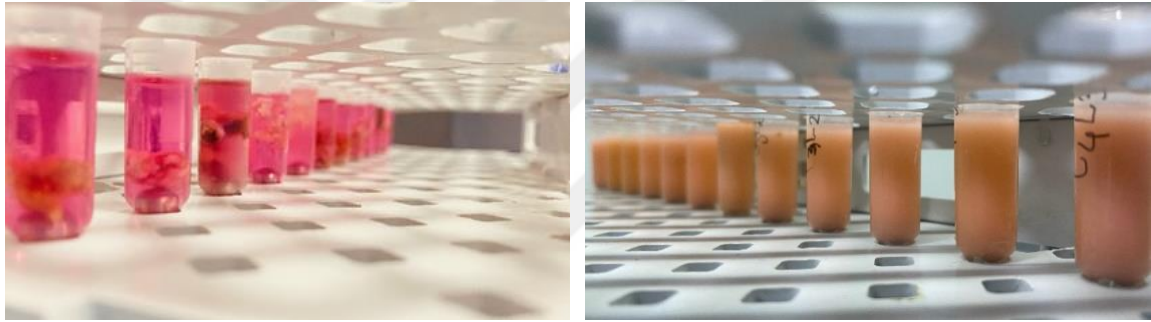
Toplam RNA izolasyonu

Analiz için derin dondurucudan çıkarılan dokular Atatürk Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü Laboratuvarı'nda TissueLyser cihazında (doku öğütücü) steril demir bilyelerle homojenize edilmiştir. Dokuların eppendorf tüplere alınması ve parçalanması işlemlerine dair görseller Şekil 15'te verilmiştir. Homojenizasyon işlemi sonrasında dokular inkübasyona bırakılmıştır.



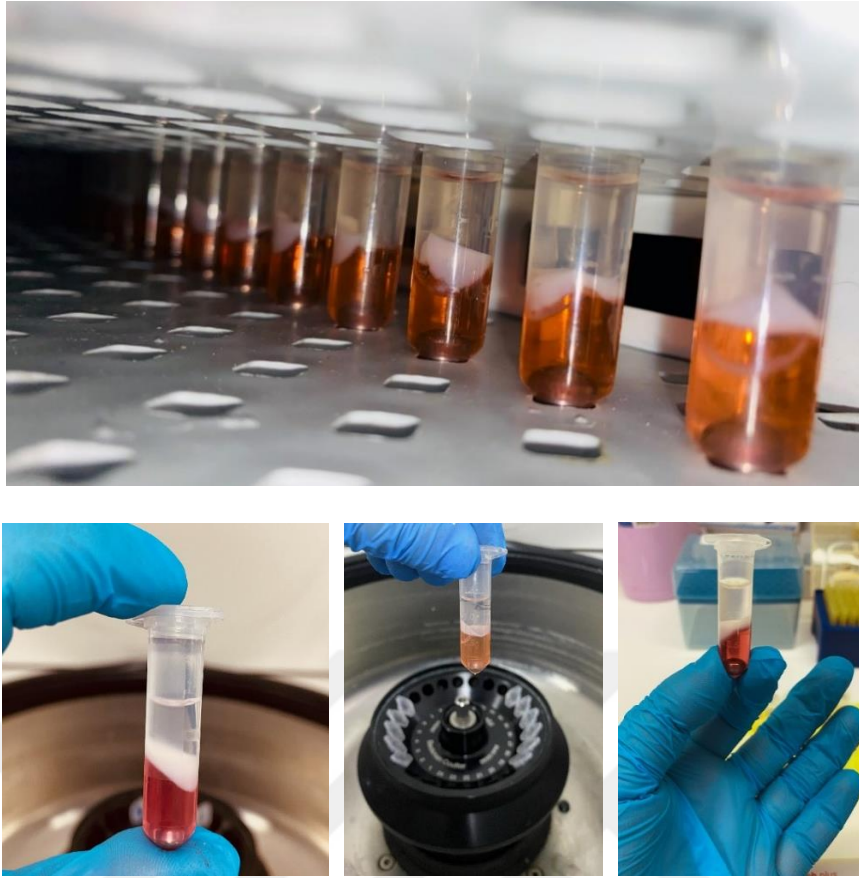
Şekil 15. Dokuların homojenize edilmesi.

Homejenizasyon işlemi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra tüplerdeki dokuların nasıl görüldüğüne dair görsel Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Dokuların parçalanmasından önce ve sonraki görüntüleri.

İnkübasyon (15-30 °C’de 5 dakika) işleminden sonra 0,2 ml kloroform eklenerek 15 sn iyice çalkalanması sağlanmıştır. İkinci bir inkübasyonun (yine 15-30 °C’de 2-3 dakika) ardından numuneler 12500 rpm’de 15 dakika +4 °C’de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası şeffaf üst fazı tamamen alınarak 2 ml’lik steril DNase/RNase free tüplere aktarılmıştır. Santrifüj sonrasında elde edilen süpernatant kısmı Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Santrifüj sonrası süpernatans oluşumu (3 fazlı kısım).

Sonra bu tüplere izopropanol alkol 0,5 ml ilave edilip, elde çalkalanarak 15-30 °C’de 10 dakika boyunca inkübasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra tekrar 12500 rpm’de 10 dakika +4 °C’de santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir. Santrifüj işleminden sonra süpernatantlar uzaklaştırılarak 1 ml %75’lik -20 °C’de muhafaza edilen etanol ile yıkanarak çok kısa süreli vortekslenip 9500 rpm’de 5 dakika +4 °C’de tekrar santrifüj edilmiştir. Süpernatantlar tekrar uzaklaştırıldıktan sonra tüplere yapışmış olan RNA’ları steril ortamda sıvılardan tamamen uzaklaştırmak için kurutma cihazında 5-10 dakika 37 °C’de bekletilerek tam kuru pelet elde edilmiştir. Etanol ile yıkama işlemi ve saf RNA’ların kurutularak elde edilmesine dair aşamalar Şekil 18’de verilmiştir. Tüpler içerisinde RNA’lar üzerine 40 µL RNase free su ilave edilerek 55-60 °C’de 10 dakika inkübe edilip çalışılacak güne kadar -80 °C’de muhafaza edilmiştir (Bayır *et al.* 2015).



Şekil 18. Etanol ile yıkama işlemi ve RNA'ların saflaştırılması aşaması.

Toplam RNA'nın kantitatif tayini

RNA'nın kantitatif tayini NanoDrop spektrofotometre ile (Thermo Scientific, Multiskan Go) yapılmıştır. Bu amaçla örneklerin 260 ve 280 nm dalga boyunda köre karşı absorpsanları okunmuştur. Okunan değerlerin OD260/OD280 oranı 2'den küçük ise o izolasyon tekrar edilerek uygun değerler aralığında sonuçlar alınmıştır. Reverse transkripsiyon basamağına geçebilmek için bu oranın 2 civarında olması gerekmektedir (Sharma *et al.* 2003) (Şekil 19).

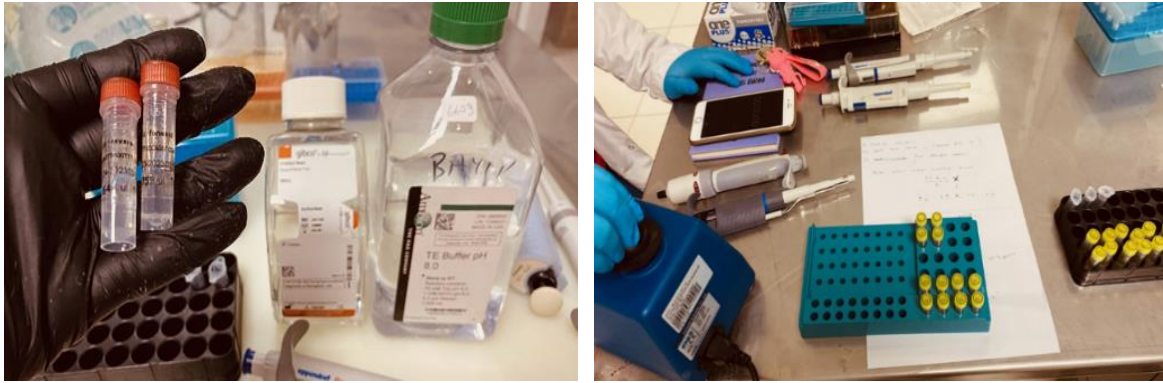


Şekil 19. Nanodrop ölçümleri.

ELOVL ve FADS genlerinin cDNA'larının klonlanması

cDNA klonlamanın ilk aşaması, tavuk *ELOVL* ve *FADS* genlerinin open reading frame (ORF) bölgeleri için primerlerin dizayn edilmesidir. Bu amaçla ORF'lerin 5' ucuna start kodunu ve 3' ucuna stop kodunu içerecek şekilde primer çiftleri NCBI Primer BLAST programı (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>) kullanılarak tasarlanmış ve her bir hedef genin ORF'si reverse transkripsiyon-polimeraz zincir reaksiyonu ile klonlanmıştır. Primerler 1/10 oranında sulandırılarak hem stok (-20 °C'de) hem de çalışmada kullanılmak

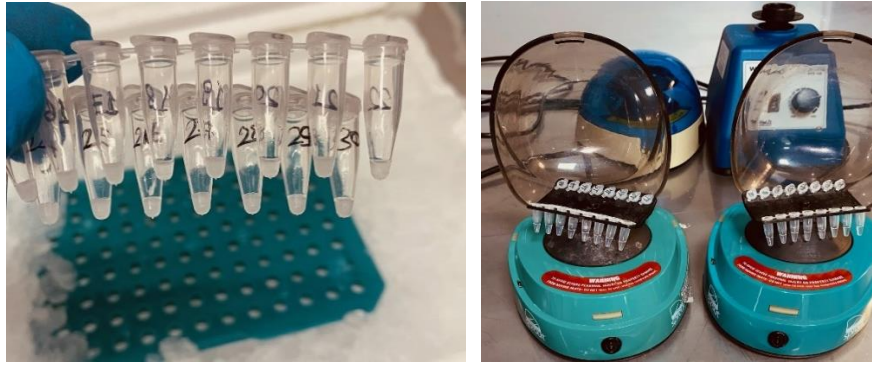
üzere (+4 °C’de) belirli şartlarda muhafaza edilmiştir. Primer çiftlerinin sulandırılmasına ait resim Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Primerlerin sulandırılması.

Reverse transkripsiyon-polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PZR)

cDNA sentezi için Omniscript Reverse Transkripsiyon kiti kullanılmıştır. Bu amaçla, 0,2 ml’lik steril-DNase/RNase free polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) tüplerine 2 µL 10 X reverse transkripsiyon tamponu, 2 µL Omniscript Reverse Transkripsiyon kiti, 2 µL Oligo dT, 2 µL dNTP, 12 µL DNase/RNase free saf su ve 1 µL toplam RNA (- 80 °C’den alınarak buzda çözündürülmüş) eklenerek PZR cihazına yerleştirilmiş ve 37 °C’de 60 dakika bekletilmiştir. Başarılı bir RT-PZR işlemi için PZR cihazına optimum olan miktar 2 µg RNA/örnek konulmuştur. Standart prosedür olarak tüplere 1 µL toplam RNA eklenmelidir. RT-PZR işlemi için tüm örneklerde bu miktar eşit olmalıdır. Ancak bu oran çok çeşitlilik gösterebilmektedir. Nitekim tüm dokulardaki saflaştırma işlemi aynı derecede başarılı olamayabilir veya dokular eşit oranda RNA içermeyebilir. Bu nedenle bir örnek için 1 µL toplam RNA yeterli olurken başka bir örnek için bu rakam 13 µL olabilmektedir. Standart metoda göre saf su ve toplam RNA miktarının toplam 13 µL olması gerekmektedir. Örnekteki toplam RNA konsantrasyonuna göre bu rakam 12 µL DNase/RNase free saf su ve 1 µL toplam RNA olabileceği gibi 0 µL DNase/RNase free saf su ve 13 µL toplam RNA’da olabilmektedir. Tüm bu hesaplamalar http://www.molbiol.edu.ru/eng/scripts/01_03.html internet adresinden bulunan hesaplama aracı kullanılarak yapılmıştır (Bayır *et al.* 2015). RNA’ların çözündürülüp cDNA’ların elde edilmesi aşamalarına dair detaylar görsel olarak Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21. cDNA'ların elde edilmesi.

Çalışmada kullanılan tüm genler için “melting temperature” olarak adlandırılan T_m değeri tasarlanan primerin DNA'ya bağlanacağı spesifik optimum sıcaklığı belirlemek amacıyla reverse ve forward primerlerin T_m sıcaklık ortalamalarının ± 4 °C'si alınarak 8 farklı T_m sıcaklığında gradient PZR yapılmıştır. Reaksiyon sonucunda ortaya çıkan ürünler %2'lik agaroz jelde yürütülerek optimum sıcaklık en çok PZR ürününün bulunduğu sıcaklığa göre belirlenmiştir. Normal PZR ve kantitatif PZR analizlerinde belirlenen bu T_m sıcaklığı kullanılmalıdır. PZR analizleri için steril-nükleaz free 0,2 ml'lik PZR tüplerine 22 μ L Platinum PZR Supermiks, 1 μ L forward primer, 1 μ L reverse primer ve 1 μ L cDNA eklenerek gerçekleştirilmiştir. Kullanılan 35 döngülük PZR protokolü ise 95 °C'de 2 dakika (başlangıç denatürasyonu), denatürasyon (95 °C'de 20 saniye), annealing (her bir gen için optimum T_m sıcaklığında 30 saniye), elongasyon (72 °C'de 30 saniye) ve son elongasyon (72 °C'de 5 dakika) (Cameron *et al.* 2012) şeklindedir. Besleme denemelerinden hepatik mRNA ekspresyonu için QuantiTect SYBR Green PZR kiti kullanılarak C_t değeri belirlenmiş olup gen transkriptlerinin kararlı durum seviyelerini ölçmek için $-\Delta\Delta C_t$ yöntemi kullanılmıştır (Livak and Schmittgen 2001).Yapılan PZR ve agaroz jelde yürütme işlemine dair detaylar Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 22. cDNA'ların PZR ve jelde yürütme işlemi.

ELOVL ve FADS genlerinin cDNA dizilim analizleri

RT-PZR ile klonlanan genlerin dizilim analizleri için 30 µL PZR ürünü, 30 µL forward ve 30 µL reverse primer 3 adet steril-nükleaz free tüpe konularak özel bir şirkete gönderilmiştir. Tüm örnekler dizilim analizine gönderilmeden önce PZR ürünleri son bir kez %2'lik agaroz jelde yürütülerek primerlerin hedeflenen bölgelere bağlandığından emin olunmuştur (Bayır *et al.* 2015).

Klonlanan cDNA'ların genomik organizasyonunun belirlenmesi

Aynı gen ailesine ait üyelerin farklı türlerdeki ekzon/intron sayıları ve büyüklükleri büyük olasılıkla korunmuştur. Homolog genlerin ekzon/intron bölgeleri kullanılarak manuel olarak tavukta ekzon/intron lokasyonları belirlenmiştir (Bayır *et al.* 2015).

ELOVL ve FADS genlerinin doku spesifik dağılımlarının belirlenmesi için primer tasarlanması

Hedef genlerin ekzon/intron bağlanma bölgeleri belirlendikten sonra NCBI Primer BLAST programı kullanılarak “ekzon-ekzon kavşak” yöntemine göre primerler tasarlanmıştır. Bu yöntemde primerlerden birisi mutlaka iki komşu ekzonundan birinin bitiş noktasını ötekisinin ise başlangıç noktasını kapsayacak şekilde dizayn edilmelidir. Böylece PZR ürünlerine heterojenik RNA (hnRNA)'nın veya genomik DNA'nın bulaşmaması sağlanmıştır. Tavuk genomunda bulunan *ELOVL* ve *FADS* genlerinin erişim numaraları ve primer dizimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada Tanımlanan Genler ve Bu Genlere Ait Primerler

Gen İsmi	Forward ve Reverse Primer dizilimleri (5'-3')	Erişim Kodu
<i>ELOVL1</i>	F: CCCTCAGGATGGTCAGTGTT R: CTCCAGGGCAGAACAGAGTG	ENSGALT00010055248.1
<i>ELOVL2</i>	F: CTGACATCCGGGTAGCCAAG R: TCGTGGCATGGTGATACACA	ENSGALT00010025608.1
<i>ELOVL3</i>	F: GGCCTTGTTCAAGTGCCATT R: CCCAGTTCCAGGACTTTGCT	ENSGALT00010048924.1
<i>ELOVL4</i>	F: TGGAGCATCCGAGACAAACG R: TGGCAGACATAGCTGTACCC	ENSGALT00010005664.1
<i>ELOVL5</i>	F: TGGACCCAGAGATCCCAGA R: GCCCCTGCATGAGAATGGTT	ENSGALT00010004776.1
<i>ELOVL6</i>	F: GCTGTCTTCAGTATATTCGGTGC R: CCAGCCACCATGTCCTTGTA	ENSGALT00010008775.1
<i>ELOVL7</i>	F: ATCAAAGATGCCGATCCGAG R: TTCTTAGGGCTGTAGGCGAC	ENSGALT00010035361.1
<i>FADS1a</i>	F: ACTGTCCAGGCCAGGCT R: TCGGAAGCAGTTGGGTTTCG	ENSGALT00010063288.1
<i>FADS1b</i>	F: ACCGTTGCTCAGATCCAGATG R: AAGCTGAACAGGAGAGGGTG	ENSGALT00010063226.1
<i>FADS1c</i>	F: TGACCATTTCAGGTCCAG R: CGGAAGCAGTTGGGTTTGGA	XM_040673222.2
<i>FADS2</i>	F: TGCAACTTCCCAGGCCAG R: TTCCACCAGTTTGAGAGGC	ENSGALT00010063331.1
<i>FADS6</i>	F: GTGGTCTGCCCTGCTCTG R: GAGGCCGATGTGCTGGAATA	ENSGALT00071777.1
TBP (Referans)	F: CAGGAGCAAAAAGCGAGGAAC R: TGCTGGTGTGTGAGTACCAA	ENSGALG00010007866

Hedef genlerinin amino asit ürünlerinin belirlenmesi

Her bir genin sekans dizilim analizi neticesinde elde edilen sonuçların amino asit ürünleri ExPasy çevirim aracı ile belirlenmiştir (<http://web.expasy.org/translate/>) (Bayır *et al.* 2015).

Klonlanan genlerin amino asit dizilimlerinin karşılaştırılması ve filogenetik analizler

ELOVL/FADS genlerinin kodladığı amino asit dizilimleri ile diğer türlerde bu genlerin ürettiği amino asit dizilimlerinin mukayesesi CLUSTAL W çoklu karşılaştırma programı ile yapılmıştır (Thompson *et al.* 1994). Hedef tür ile diğer omurgalıların amino asit dizilimleri arasındaki ortaklıklar BLOSUM62 matriks algoritması ile karşılaştırılmıştır (Gromiha 2010). MEGA 5 programı kullanılarak oluşturulan Neighbour-Joining filogenetik ağaç ile tavuklarda

ELOVL ve *FADS* amino asitleri ile diğer türlerin *ELOVL/FADS/lovlfads* amino asitleri arasındaki filogenetik ilişkiler incelenmiştir (Tamura *et al.* 2011).

mRNA transkriptlerinin doku spesifik dağılımlarının belirlenmesi için kantitatif PZR (qPZR) analizleri

Gen transkriptlerinin miktarlarını, qPZR cihazı otomatik olarak kopya sayısı/ μ L olarak vermektedir. Çalışma boyunca, qPZR analizlerinin hazırlık aşamasında özel olarak üretilmiş olan ve Şekil 23'te gösterilen kabin kullanılmıştır.



Şekil 23. qPZR çalışma kabini.

qPZR analizde SYBR Green PZR Kit'i kullanılmıştır. Her bir örnek için 2, her bir doku için 6 tekrerrür yapılmıştır. Analizlerde kullanılan qPZR tüpleri içerisinde 10 μ L SYBR Green, 5 μ L DNase/RNase free saf su, 2 μ L forward primer, 2 μ L reverse primer ve 1 μ L cDNA bulunmaktadır. qPZR analizlerinde kullanılan kimyasallarda veya cDNA'larda kirlenme ihtimaline karşı cihaza yerleştirilen tüplerden biri kör olarak kullanılmıştır (kör tüpünün toplam hacmi 19 μ L olacak ve cDNA hariç diğer tüm kimyasalları ise örneklerle eşit oranda içerecek şekilde ayarlanmıştır). qPZR için kullanılmakta olan strip tüplere örneklerin uygulanması ve cihaza yerleştirilmesine dair görseller Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24. qPZR analizinin yapım aşamaları.

Uygulanan qPZR analizinde başlangıç denatürasyonu için alınan numuneler 95 °C’de 15 dakika ve denatürasyon için 95 °C’de 20 saniye, annealing için her bir genin primerlerinin en iyi çalıştığı farklı sıcaklıklarda 30 saniye, elongasyon işlemi için 72 °C’de 30 saniye ve son olarak toplam döngü sayısı 40 olacak şekilde uygulanmıştır.

TATA box binding protein (TBP) geninin tavukların tüm dokularında stabil olarak dağılım gösterdiği ve qPZR çalışmaları için en uygun referans gen olduğu bildirilmiştir (Na *et al.* 2021). Bu nedenle her bir genin transkript sayıları TBP geninin (Ensembl gen numarası: ENSGALG00010007866) transkript sayısına bölünerek optimize edilmiştir.

Nutrigenomik çalışmalar için qPZR analizleri

Nutrigenomik çalışmaları için qPZR analizlerinde de SYBR Green PZR Kit’i kullanılmıştır. qPZR analizleri tüplere ayrı ayrı 10 µL SYBR Green, 5 µL nükleaz free saf su, 2 µL forward primer, 2 µL reverse primer ve 1 µL cDNA eklenerek gerçekleştirilmiştir. Uygulanan kırk döngülük qPZR analizinin prosedüründe başlangıç denatürasyonu için alınan numuneler 95 °C’de 15 dakika, denatürasyonda 95 °C’de 20 saniye, annealing için her bir genin optimum Tm sıcaklığında 30 saniye, elongasyon için ise 72 °C’de 30 saniye olacak şekilde uygulanmıştır.

qPZR sonuçlarının değerlendirilmesi

qPZR sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla, qPZR verileri, kontrol grubu ve kontrol genlerine karşı hedef genlerin mRNA ekspresyonundaki değişimin belirlendiği etkinlik $2^{-\Delta\Delta C_t}$ Pfaffl (2001) metoduna göre analiz edilmiş ve normalize edilmiş değerler istatistik analizlerde kullanılmıştır.

İstatistik analizler

Araştırma sonunda elde edilen verilerin analizleri, Genel Linear Model prosedürü ile SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arasında önemli bulunan ortalamaların önem kontrolleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş *et al.* 1983).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yumurta tavuklarının yemlerine farklı seviyelerde (0, 100, 200, 300 ve 400 mg/kg) ilave edilen kurkuminin performans özellikleri, yumurta kalitesi ve yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu ile *FADS* ve *ELOVL* genlerinin tanımlanması, karakterizasyonu ve mRNA transkripsiyonlarına etkilerinin incelendiği çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilmiştir.

Genel Performans Özelliklerine Ait Bulgular

Canlı ağırlık değişimi

Grupların deneme başı ve deneme sonu canlı ağırlık değerleri ile canlı ağırlık değişimlerine ait sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Hem deneme başı hem de deneme sonu canlı ağırlık değerleri ile canlı ağırlık değişimi bakımından gruplar arasında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Canlı Ağırlık Değişimine Etkisi (g)

Gruplar	Deneme Başı CA	Deneme Sonu CA	CAD
K0	2079,50	2079,50	00,00
K100	2050,25	2025,50	-24,75
K200	2060,50	2109,50	49,00
K300	2060,75	2029,00	-31,75
K400	2072,65	2119,25	47,00
SH	11,62	20,00	17,89
ÖD	ös	ös	ös

CA: Canlı ağırlık, CAD: Canlı ağırlık değişimi, K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, ös: Önemsiz

Yem tüketimi

Günlük yem tüketim değerlerine ait ortalama ve standart hataların sunulduğu Tablo 5'te diyet farklı seviyelerde kurkumin ilavesinin tüm günlerde yem tüketimi üzerine önemli bir etkisinin ($P>0.05$) olmadığı görülmüştür.

Tablo 5. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Günlük Ortalama Yem Tüketimine Etkisi (g)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	115,16	117,60	118,05	111,51	112,49	115,03
K100	108,17	109,07	111,94	107,67	111,21	109,55
K200	110,69	121,22	117,30	118,36	119,46	117,40
K300	114,08	118,76	112,02	119,13	116,45	116,14
K400	103,11	119,95	117,99	113,12	106,77	112,33
SH	3,309	2,106	2,215	2,540	2,316	1,133
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	ös

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, ös: Önemsiz

Yumurta tavukları üzerinde kurkumin ile yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda daha çok zerdeçal kullanılmıştır. Mevcut çalışma ile benzer olarak Li *et al.* (2024) yumurta tavuğu yemlerine farklı oranlarda kurkumin; Radwan *et al.* (2008), Park *et al.* (2012a), Hassan (2016), Moorthy *et al.* (2009) ve Zadeh *et al.* (2022) ise zerdeçal ilavesinin yem tüketimi üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Halbuki Malekizadeh *et al.* (2012) yumurta tavuğu diyetlerine %1 oranında zerdeçal ilavesinin kontrol grubuna göre yem tüketimini azalttığını tespit etmişlerdir.

Aynı şekilde Gowda *et al.* (2008), Rajput *et al.* (2013) ve Ali *et al.* (2010) zerdeçalın etlik piliçlerde yem tüketimini azalttığını bildirmiş olmalarına rağmen Akbarian *et al.* (2012) yem tüketiminin muamelelerden etkilenmediğini gözlemlemişlerdir.

Zhang *et al.* (2015), Ürüsan ve Bölükbaşı (2017), Nm *et al.* (2018) ve Galli *et al.* (2020) kurkumin ilavesinin etlik piliçlerde oksidatif stres belirteçlerini azalttığını ve genel sağlık durumunu iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Kurkuminin yem tüketimi üzerinde doğrudan bir etkisinin olmaması konsantrasyon seviyesine bağlı olabilir. Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda yem tüketimi ile ilgili farklı bildirişlerin olması kurkuminin etkisinin doza bağlı olarak farklı etkileşim mekanizmalarına sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Yumurta ağırlığı

Yumurta ağırlığı, yumurta üretiminin önemli bir parametresidir. Çünkü bu kalite kriteri hem ticari değeri hem de tüketici tercihlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Yumurta ağırlığının artırılması, genellikle beslenme stratejileri ve diyet katkı maddeleri aracılığıyla ile olmaktadır. Yumurta tavuğu yemlerine farklı seviyelerde kurkumin ilavesinin yumurta ağırlığı üzerine olan

etkisi Tablo 6’da verilmiştir. İki haftalık ölçümler sonucunda yumurta ağırlığı bakımından gruplar arasında önemli bir fark bulunmazken 0-70. günler arasında yumurta ağırlığının muamelelerden önemli derecede ($p<0,05$) etkilendiği tespit edilmiştir. 0-70 günlerde en yüksek yumurta ağırlığı 300 mg/kg kurkumin ilave edilen grupta bulunmuştur.

Tablo 6. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Ağırlık Değerlerine Etkisi (g)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	64,16	64,23	62,58	65,15	64,65	64,14 ^{ab}
K100	62,77	61,64	64,93	62,35	63,15	62,92 ^b
K200	64,29	64,85	64,38	64,43	65,71	64,73 ^{ab}
K300	64,33	66,60	65,79	66,04	67,51	66,10 ^a
K400	63,31	62,07	62,27	65,28	62,73	63,08 ^b
SH	0,906	0,832	0,670	0,744	0,805	0,354
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,03*

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *: ($p<0,05$), ös: Önemsiz

Mevcut çalışmada 0-70 günler arasında diyet 300 mg/kg kurkumin ilavesinin yumurta ağırlığını artırdığı gözlemlenmiştir. Fakat mevcut çalışmaya benzer olarak Radwan *et al.* (2008) yumurta tavuğu diyetine %1; Park *et al.* (2012a) ise %0,5 zerdeçal ilavesinin yumurta ağırlığını önemli düzeyde artırdığını bildirmişlerdir. Ancak Zadeh *et al.* (2022) yumurta tavuğu yemlerine %0,25 ve %0,5 düzeyinde zerdeçal ilavesinin yumurta ağırlığını düşürdüğünü bulmuşlardır.

Li *et al.* (2024) yumurta tavuğu yemlerine kurkumin; Park *et al.* (2012a) ise %0,1 ve %0,25 zerdeçal ilavesinin yumurta ağırlığını etkilemediği rapor edilmiştir.

Yumurta verimi (%)

Yumurta verim değerlerine ait ortalamalar Tablo 7’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde tüm günlerde yumurta verimi bakımından gruplar arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir.

Tablo 7. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Verimi Değerlerine Etkisi (%)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	85,88	90,38	86,63	85,88	86,71	87,10
K100	84,00	84,75	92,86	84,13	88,63	86,72
K200	87,50	93,00	90,25	93,75	85,50	90,00
K300	89,00	85,88	89,38	88,63	85,63	87,67
K400	93,00	91,00	94,00	90,67	89,67	91,76
SH	1,677	1,679	1,635	2,103	1,807	0,795
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	ös

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, ös: Önemsiz

Bu çalışmayla benzer olarak, Li *et al.* (2024) yemlere kurkumin; Moorthy *et al.* (2009), Hassan (2016) ve Singh *et al.* (2019) ise zerdeçal ilavesinin yumurta verimi üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Mevcut çalışmadan farklı olarak Radwan *et al.* (2008) ve Park *et al.* (2012a) ise diyet zerdeçal ilavesinin yumurta verimini önemli düzeyde artırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmaların aksine Zadeh *et al.* (2022) yemlere zerdeçal ilavesinin yumurta verimini önemli derecede düşürdüğünü, hatta doz artışıyla beraber verimin daha da azaldığını rapor etmişlerdir. Zadeh *et al.* (2022) performans değerleri ile ilgili olumsuz bildirişleri zerdeçalın tiroid hormonları üzerine olan etkisi ile ilişkilendirmişlerdir. Bu araştırmacılar yeme katılan zerdeçala bağlı olarak artan metabolizma hızının vücut ısını artıracağını ve performans için harcanması gereken enerjinin ısı artışı yoluyla kaybolacağını ve bunun da verime yansıtacağını ileri sürmüşlerdir.

Liu *et al.* (2020) sıcak stresi altında bulunan yumurta tavuklarının diyetine kurkumin ilavesinin yumurta verimi üzerine olumlu etki gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Yemden yararlanma oranı

Grupların yemden yararlanma oranına ait ortalamalar standart hataları ile birlikte Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yemden Yararlanma Oranlarına Etkisi (g /g)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	2,13	2,05	2,20 ^a	2,09	2,03	2,10
K100	2,07	2,15	1,86 ^b	2,12	2,02	2,05
K200	1,99	2,04	2,04 ^{ab}	1,98	2,15	2,04
K300	2,00	2,10	1,92 ^b	2,06	2,09	2,04
K400	1,80	2,15	2,02 ^{ab}	1,93	1,90	1,96
SH	0,068	0,051	0,037	0,060	0,057	0,025
ÖD	ös	ös	0,03*	ös	ös	ös

K0: kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *: ($p<0,05$), ös: Önemsiz

Yemden yararlanma oranı, hayvan beslemede önemli bir parametredir. Çünkü bu oran, verilen yemin ne kadar etkili bir şekilde verime dönüştürüldüğünü göstermektedir. Daha yüksek yemden yararlanma oranları, yemin daha verimli kullanıldığını ve dolayısıyla daha az israf edildiğini ifade etmektedir. Tablo 8 incelendiğinde yemlere farklı seviyelerde kurkumin ilavesinin 14, 28, 56 ve 70. günlerde ve 0-70 günler arasında yemden yararlanma oranı üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür. 42. günde yapılan ölçümlerde diyet 100 ve 300 mg/kg kurkumin ilavesinin yemden yararlanma oranını önemli derecede ($p<0,05$) iyileştirdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın genel sonuçlarıyla benzer olarak Li *et al.* (2024) yumurta tavuğu diyetlerine değişen oranlarda (100, 200, 400 ve 800 mg/kg) kurkumin ilavesinin yemden yararlanma oranını etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Moorthy *et al.* (2009) %0,1, Hassan (2016) ise %2 oranında zerdeçal ilavesinin yemden yararlanma oranı üzerine bir etkisinin olmadığını bildirmiş olmalarına rağmen diyetteki zerdeçal oranının %4'e çıkarılmasıyla yemden yararlanma katsayısının kötüleştiğini rapor etmişlerdir. Aynı şekilde Zadeh *et al.* (2022) diyet %0,25 ve %0,5 düzeyinde zerdeçal ilavesinin yemden yararlanma oranını olumsuz yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmaların aksine Radwan *et al.* (2008), yumurta tavuğu yemlerine %0,5 ve %1 düzeyinde zerdeçal; Al-Jaleel (2012) ise etlik piliç yemlerine zerdeçal; Rajput *et al.* (2013) ise etlik piliç yemlerine kurkumin ilavesinin yemden yararlanma oranını iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Benzer olarak yavaş büyüyen tavukların diyetlerine kurkumin ilavesinin yemden yararlanma oranını iyileştirdiği bildirilmiştir (Hang *et al.* 2018)

Mevcut çalışmada, 42. günde 100 ve 300 mg/kg kurkumin seviyesinin yemden yararlanma oranında meydana getirdiği iyileşme, kurkuminin optimal dozlarının spesifik etkilerinin olabileceğini göstermektedir (Kosti *et al.* 2020). Ayrıca bu çalışma ile kurkuminin dört farklı seviyesinin yemden yararlanma üzerine olumsuz etki etmediği tespit edilmiştir. Bu durum, kurkuminin biyolojik etkisinin olduğunu ve belirli bir eşik değer üzerinde veya altında farklı etkiler

sergileyebileceğini göstermektedir (Gupta et al. 2011). Ancak kurkuminin biyolojik etki mekanizması ve optimal dozunun belirlenmesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Mortalite

Deneme gruplarında ölümler düzenli olarak takip edilmiş, fakat söz konusu sürede herhangi bir ölüm gerçekleşmediği için mortalite oranları hesaplanmamıştır.

Kurkuminin bazı performans özellikler üzerinde anlamlı bir etki göstermemesinin nedeni yeme ilave edilen kurkumin miktarı, tavukların yaşı (yumurtlamanın son dönemi) veya kümes içi şartlarının farklı olmasından kaynaklı olabilir. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçların bugüne kadar yapılan çalışmalarda bildirilen bulgulardan farklı olması ise hayvanların sağlık durumu, stres seviyesi, yumurtlama dönemi, ırkı veya genotip gibi faktörler ile kurkumin veya zerdeçalın dozlarına bağlı olabilir.

Yumurta İç ve Dış Kalite Kriterlerine Ait Bulgular

Yumurta ağırlığı

Kalite kriterleri için alınan yumurta örneklerine ait yumurta ağırlıkları Tablo 9’da sunulmuştur. Tablo incelendiğinde iki haftada bir yapılan tartımlarda yumurta ağırlıkları arasında önemli fark tespit edilmemiştir. Ancak 0-70.günler arasında gruplar arasındaki fark önemli ($p<0,01$) olup en yüksek yumurta ağırlığı K200 ve K300 gruplarında bulunmuştur.

Tablo 9. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Ağırlık Değerleri (g)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
Kur 0	63,80	63,39	62,60	64,93	65,40	64,02 ^{ab}
Kur 100	61,95	62,95	63,41	61,61	62,64	62,51 ^b
Kur 200	63,36	64,80	64,93	64,90	66,05	64,76 ^a
Kur 300	63,41	65,85	65,86	65,08	64,99	65,04 ^a
Kur 400	62,40	60,98	62,28	63,68	62,75	62,41 ^b
SH	1,30	0,757	0,471	0,481	0,549	0,260
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,01*

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *: ($p<0,05$), ös: Önemsiz

Yumurta sarı rengi

Yumurta sarısı rengi, tüketici tercihlerini doğrudan etkileyebilen önemli bir kalite kriteridir. 14, 28, 42, 56 ve 70. günler ile genel (0-70. gün) yumurta sarısı renk değerleri Tablo

10'da verilmiştir. Gruplar arasında söz konusu özellikler bakımından önemli bir fark tespit edilmemiştir.

Tablo 10. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Yumurta Sarısı Rengine Etkileri

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	10,00	9,50	9,38	9,75	9,83	9,68
K100	9,57	10,00	9,60	9,43	9,50	9,61
K200	9,71	9,14	9,57	10,33	10,33	9,79
K300	9,00	9,43	10,14	10,00	10,00	9,69
K400	9,71	9,43	8,86	9,57	9,43	9,40
SH	0,184	0,211	0,180	0,173	0,176	0,083
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	ös

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, ös: Önemsiz

Mevcut çalışmada kurkuminin yumurta sarı rengi üzerine etkisiyle ilgili olarak elde edilen sonucun aksine Jaelani *et al.* (2021) ve Zadeh *et al.* (2022) yumurta tavuğu yemlerine zerdeçal ilavesinin yumurta sarı rengini artırdığını rapor etmişlerdir. Benzer olarak zerdeçalın yumurta sarı rengi üzerine olan olumlu etkisi birçok araştırmacı tarafından gözlemlenmiştir (Radwan *et al.* 2008; Park *et al.* 2012a; Hassan 2016; Li *et al.* 2024). Nuningtyas *et al.* (2020) yem katkı maddesi olarak kullanılan kurkuminin, yumurtanın yansıma kolorimetresini ve renk stabilitesini iyileştirme yeteneğine sahip olduğunu ve yemdeki pigmentlerin biyoyararlanımını artırabileceğini savunmuşlardır. Bu bildirişi destekleyen bazı araştırmalarda da kurkumin oranının artışına bağlı olarak sarı renk pigmentlerinde artış gözlemlendiği ifade edilmiştir (Galli *et al.* 2018; Marchiori *et al.* 2019).

Haugh Birimi

Tablo 11'de deneme gruplarına ait ortalama Haugh Birimi değerleri verilmiştir. Deneme sonuçlarına göre, 14, 28, 42 ve 70. günlerde gruplar arasında Haugh Birimi bakımından önemli olmazken 56. gün ile 0-70. günlerde elde edilen değerler bakımından gruplar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. ($p < 0,05$). Hem 56. günde hem de 0-70. günler arası genel değerler incelendiğinde en yüksek Haugh Birimi değerine K100 grubu sahip olmuştur.

Tablo 11. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Haugh Değerlerine Etkileri

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	78,79	80,35	77,19	76,38 ^c	77,92	78,12 ^{bc}
K100	81,89	81,50	81,96	91,11 ^a	85,50	84,61 ^a
K200	85,67	84,20	79,50	79,18 ^c	84,20	82,60 ^{ab}
K300	78,83	81,06	74,81	87,43 ^b	78,00	79,99 ^{abc}
K400	77,79	75,19	75,73	77,99 ^c	79,76	77,29 ^c
SH	1,710	1,576	1,903	1,965	1,661	0,793
ÖD	ös	ös	ös	0,05*	ös	0,02*

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *:p<0,05, ös: Önemsiz

Haugh Birimi, yumurta akının kalitesini belirleyen bir kriterdir (Haugh 1937; Narushin *et al.* 2021). Haugh Birimi değerinin yüksek olması yumurtanın daha taze ve yüksek kaliteli olduğunu göstermektedir.

Park *et al.* (2012a) yumurta tavuğu diyetlerine farklı düzeylerde zerdeçal; Li *et al.* (2024) ise 200 mg/kg kurkumin ilavesinin albümin yüksekliğini artırarak Haugh Birimini önemli derecede olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Bu durum albüminin mineral ve nem içeriği ile kurkuminin antioksidan etkisinden kaynaklanmış olabilir (Park *et al.* 2012a).

Bu çalışmaların aksine diyet 200 mg zerdeçal ilavesinin Haugh Birimini etkilemediğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Radwan *et al.* 2008; Hassan 2016; Galli *et al.* 2018).

Ak oranı

Deneme gruplarına ait ortalama yumurta ak oranı Tablo 12’de verilmiştir. 14, 28, 42, 56 ve 70. günlerde ak oranı değerleri bakımından farklılıklar önemsiz olurken gruplar arasında farklılıklar önemli (p<0,01) bulunmuştur. En yüksek ak oranı değerine K300 grubu sahip olmuştur.

Tablo 12. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Ak Oranına Etkileri

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	61,19	59,92	56,19	59,51	59,19	59,15 ^c
K100	61,57	60,50	60,58	61,71	61,09	61,14 ^{ab}
K200	61,11	62,31	58,60	58,40	59,48	60,04 ^{bc}
K300	62,97	63,29	60,54	61,86	62,31	62,22 ^a
K400	60,79	59,77	57,90	60,96	58,26	59,53 ^{bc}
SH	0,441	0,874	0,732	0,443	0,530	0,289
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,00**

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, **: p<0,01, ös: Önemsiz

Mevcut çalışmadan farklı olarak ak ağırlığını Li *et al.* (2024) yumurta tavuğu rasyonlarına dört farklı seviyede kurkumin ilavesinin ak ağırlığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Ak oranı ile ilgili yapılmış çalışma sayısı yok denecek kadar az olduğundan mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar istenilen düzeyde karşılaştırmalı tartışılamamıştır.

Sarı oranı

Ortalama yumurta sarı oranına ait değerler Tablo 13'te verilmiştir. Diyetle farklı düzeylerde kurkumin ilavesinin 14, 28, 42, 56 ve 70. günlerde sarı oranı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Genel (0-70 gün) değerler bakımından gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$). K300 grubunda yumurta sarı oranının K0 grubuna göre oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 13. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Sarı Oranına Etkileri

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	27,57	28,69	31,88	28,09	28,72	29,04 ^a
K100	27,03	28,30	28,32	27,07	27,61	27,61 ^{ab}
K200	27,08	26,69	29,31	29,10	28,31	28,06 ^{ab}
K300	25,69	25,26	28,54	27,07	26,39	26,57 ^b
K400	28,21	27,79	30,70	27,83	30,08	28,92 ^a
SH	0,385	0,713	0,666	0,367	0,478	0,251
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,01**

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyetle 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyetle 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyetle 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyetle 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, **: $p<0,01$, ös: Önemsiz

Söz konusu çalışmada kurkuminin K300 grubu dışında kalan gruplarda sarı oranı üzerine etkili olmadığı görülmüştür. Li *et al.* (2024) diyetle 100, 200, 400 ve 800 mg/kg kurkumin ilavesinin sarı ağırlığını etkilemediğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Liu *et al.* (2020) sıcak strese maruz kalan yumurta tavuğu diyetlerine 100, 150 ve 200 mg/kg kurkumin ilavesinin sarı ağırlığını değiştirmedeğini bildirmişlerdir. Rosa *et al.* (2020) da soğuk strese maruz bıraktıkları tavukların diyetine 200 mg/kg kurkumin ilavesinin sarı ağırlığına etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Kabuk oranı

Deneme gruplarına ait ortalama kabuk oranı değerleri Tablo 14'te verilmiştir. Denemenin 14, 28, 42 ve 70. günlerinde kabuk oranı bakımından gruplar arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Fakat denemenin 56. günü ile 0-70. günler arasında diyetle kurkumin

ilavesinin kabuk oranını önemli derecede ($p<0,01$) düşürdüğü tespit edilmiştir. 56. günde en düşük kabuk oranı K100, K300 ve K400 gruplarında olurken, 0-70 günler arasında K100 ve K300 gruplarında görülmüştür.

Bazı araştırmacılar kurkuminin, serbest radikalleri etkisiz hale getirme, oksidatif stresi azaltma, anti-inflamatuvar etkiler gösterme, inflamasyona bağlı hasarı azaltma, hücre koruyucu etkileri gibi özellikleri sayesinde kabuk oranının korunmasına yardımcı olabileceğini ileri sürmüştür (Aggarwal and Harikumar, 2009; Gupta *et al.* 2011). Mevcut çalışmada kurkuminin bazı seviyelerinin kabuk oranını düşürdüğü görülmüştür. Fakat söz konusu çalışmanın aksine Galli *et al.* (2018) yumurta tavuğu diyetlerine 30 ve 50 mg/kg kurkumin; Radwan *et al.* (2008) ise zerdeçal ilavesinin kabuk oranını etkilemediğini bildirmişlerdir. Marchiori *et al.* (2019) da soğuk strese maruz bırakılan bıldırcın rasyonlarına kurkumin ilavesinin yumurta kabuk oranı üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

Tablo 14. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Oranına Etkileri

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	11,24	11,40	11,94	12,40 ^a	12,09	11,81 ^a
K100	11,40	11,20	11,10	11,22 ^b	11,31	11,26 ^b
K200	11,81	11,00	12,09	12,51 ^a	12,22	11,90 ^a
K300	11,34	11,45	10,92	11,07 ^b	11,30	11,22 ^b
K400	11,00	12,44	11,40	11,22 ^b	11,66	11,54 ^{ab}
SH	0,171	0,251	0,173	0,189	0,154	0,085
ÖD	ös	ös	ös	0,02*	ös	0,03*

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *: $p<0,05$, ös: Önemsiz

Kabuk kalınlığı

Kabuk kalınlığındaki değişimler ve kurkuminin kabuk kalınlığı üzerine potansiyel etkileri Tablo 15'te sunulmuştur. İki hafta arayla yapılan ölçümler sonucunda gruplar arasında kabuk kalınlığı bakımından önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Ancak 0-70. günler arası genel değerler incelendiğinde gruplar arasında kabuk kalınlığı bakımından meydana gelen farklılıklar çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. En düşük değere K100 ve K300 grupları, en yüksek değere ise K400 grubu sahip olmuştur.

Tablo 15. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Kalınlığı Değerlerine Etkileri (mm)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	0,371	0,397	0,401	0,400	0,396	0,393 ^{ab}
K100	0,371	0,387	0,393	0,377	0,357	0,376 ^c
K200	0,393	0,388	0,394	0,416	0,407	0,399 ^a
K300	0,388	0,356	0,363	0,363	0,386	0,372 ^c
K400	0,382	0,368	0,383	0,382	0,399	0,383 ^{bc}
SH	0,003	0,005	0,005	0,007	0,006	0,002
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,00**

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, **:p<0,01, ös: Önemsiz

Mevcut çalışmada diyet kurkumin ilavesinin K200 grubu dışındaki muamele gruplarında kabuk kalınlığını K0 grubuna göre düşürdüğü saptanmıştır. Liu *et al.* (2020) sıcak strese tabi tutulan yumurta tavuklarının diyetine farklı düzeylerde kurkumin ilavesinin kabuk kalınlığını önemli derecede artırdığını bildirmişlerdir. Yüksek enerjili diyetlerle beslenen yumurta tavuklarının diyetine zerdeçal tozu ilavesinin yumurta kabuğu kalınlığını artırdığı Mirbod *et al.* (2017) tarafından bildirilmiştir. Yumurta tavukları üzerinde yürütülen başka bir çalışmada, diyet %0,10, 0,25 ve 0,50 oranlarında eklenen zerdeçalın yumurta kabuk kalınlığına herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır (Park *et al.* 2012a).

Kırılma mukavemeti

Yumurta kabuk kırılma mukavemetine ait grup ortalamaları Tablo 16’da gösterilmiştir. İki haftada bir yapılan ölçümler incelendiğinde gruplar arasında kırılma mukavemeti bakımından önemli bir farklılık olmamıştır. Fakat 0-70. günler arası genel ortalamaya bakıldığında zaman diyet kurkumin ilave edilmesiyle kırılma mukavemetinin azaldığı ve en düşük değer K400 grubunda olduğu gözlemlenmiştir (p<0,01).

Tablo 16. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Ortalama Kabuk Kırılma Mukavemetine Etkileri (kg/cm²)

Gruplar	14. gün	28. gün	42. gün	56. gün	70. gün	Genel (0-70. gün)
K0	4,54	4,64	4,17	4,09	4,05	4,30 ^a
K100	3,79	4,03	3,33	3,43	3,84	3,69 ^{bc}
K200	4,39	4,20	3,99	4,18	3,65	4,09 ^{ab}
K300	4,40	3,72	3,42	3,47	3,75	3,77 ^{bc}
K400	3,97	3,67	3,16	3,18	3,56	3,51 ^c
SH	0,140	0,152	0,157	0,175	0,151	0,071
ÖD	ös	ös	ös	ös	ös	0,00**

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi, SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, **:p<0,01, Ös: Önemsiz

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, standart bir yumurtada kırılma mukavemetinin 2,7 ila 4,9 kg/cm² arasında değiştiği bildirilmiştir (Voisey and MacDonald 1978). Mevcut çalışmada kurkuminin kabuk kırılma direncini K0 grubuna göre düşürdüğü görülse de, Voisey and MacDonald (1978)'ın bildirdiği değerlere göre kabuk kırılma mukavemeti sonuçları standartların altına düşmemiştir. Mevcut çalışma sonuçlarının aksine bazı araştırmacılar yumurta tavuğu (Galli *et al.* 2018; Li *et al.* 2024) ve bıldırcın (Marciori *et al.* 2019) diyetlerine kurkumin ilavesinin kabuk kırılma mukavemeti üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Bu çalışmalardan farklı olarak Liu *et al.* (2020) sıcak strese maruz bırakılan tavukların diyetine kurkumin ilavesinin kabuk kırılma mukavemetini kontrol grubuna göre önemli düzeyde artırdığını rapor etmişlerdir. Park *et al.* (2012a) ise yumurta tavuğu diyetine eklenen zerdeçalın (% 0,10, 0,25 ve 0,50) kırılma mukavemeti üzerine etki etmediğini tespit etmişlerdir.

Genel anlamda yumurta kalite kriterlerinin beslenmeden önemli derecede etkilenmediği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Radwan *et al.* 2008; Park *et al.* (2012a; Hassan 2016; Galli *et al.* 2018).

Kırık-çatlak yumurta oranı

Yumurta dış kalite özelliklerinden olan yumurta kabuğu kırık-çatlak oranları deneme gruplarında düzenli olarak takip edilmiş, fakat deneme süresi boyunca kırık ve çatlak yumurtalara rastlanılmadığı için kırık-çatlak yumurta oranı hesaplanmamıştır.

Yumurta kalite kriterleri bakımından bugüne kadar yapılan çalışma sonuçlarının kendi aralarında ve mevcut çalışma ile değişkenlik göstermesi yumurta tavuğu yemlerine ilave edilen kurkumin veya zerdeçal seviyesinin, bakım şartlarının, denemede kullanılan hayvanların yaş, ırk ve genotipleri ile yumurtlama dönemlerinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonuna Ait Bulgular

Gruplara ait yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu Tablo 17'de verilmiştir. Miristik asit ve palmitoleik asit haricinde yumurta sarısı yağ asit kompozisyonunun kurkumin ilavesinden önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Palmitik asit düzeyi kurkumin seviyesiyle beraber artmış ve en yüksek değer K300 ve 400 gruplarında tespit edilmiştir ($p<0,01$). Diyetle kurkumin ilavesi stearik asit seviyesini önemli düzeyde ($p<0,01$) düşürmüş ve en düşük değer K100 grubunda görülmüştür. Yine en düşük oleik asit oranı K100 grubunda tespit edilmiştir. Tablo 17'de görüldüğü gibi linoleik asit ve linolenik asit bakımından gruplar arasındaki fark çok önemli ($p<0,01$) olmuştur. Her iki yağ asidi içinde en yüksek değer K100 grubunda tespit edilmiştir. Fakat kurkumin seviyesindeki artışa bağlı olarak bu yağ asitlerinin

oranında önemli düzeyde azalma görülmüştür. Araşidonik asit bakımından gruplar arasında önemli derecede ($p<0,05$) farklılık bulunmuş ve en düşük değere K400, en yüksek değere ise K300 grubu sahip olmuştur. En yüksek DHA oranı K200 grubunda bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer muamele grupları ile K0 grubu arasında DHA değeri bakımından farklılık tespit edilmemiştir. EPA değerleri bakımından gruplar arasındaki fark önemli ($p<0,01$) olmasına rağmen diyetle 100 ve 300 mg/kg kurkumin ilavesi EPA oranını düşürmüştür.

Tablo 17. Farklı Seviyelerde Kurkumin İçeren Diyetlerin Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonu Üzerine Etkisi (%)

Yağ asidi	K0	K100	K200	K300	K400	SH	ÖD
Miristik asit (14:0)	2,02	2,12	1,85	1,86	1,79	0,044	ös
Palmitik asit (16:0)	22,40 ^{bc}	21,79 ^c	22,93 ^{ab}	23,27 ^a	23,15 ^a	0,139	0,002**
Palmitoleik asit (16:1n-7)	2,21	2,28	2,42 ^{ab}	2,41	2,60	0,049	ös
Stearik asit (18:0)	8,37 ^a	7,64 ^c	7,89 ^{bc}	8,17 ^{ab}	7,88 ^{bc}	0,066	0,003**
Oleik asit (18:1n-9)	40,05 ^{ab}	37,79 ^c	39,33 ^b	41,22 ^a	40,47 ^{ab}	0,292	0,001**
Linoleik asit (18:2n-6)	17,74 ^b	20,98 ^a	18,67 ^b	16,05 ^c	17,34 ^{bc}	0,373	0,000**
Linolenik asit (18:3n-3)	1,05 ^b	1,10 ^a	0,858 ^c	0,780 ^d	0,846 ^c	0,028	0,000**
Araşidonik asit (20:4n-6)	2,07 ^{ab}	2,15 ^{ab}	2,10 ^{ab}	2,21 ^a	1,97 ^b	0,026	0,023*
DHA (22:6n-3)	1,150 ^c	1,153 ^b	1,18 ^a	1,13 ^d	1,02 ^e	0,017	0,013*
EPA (20:5n-3)	0,31 ^a	0,26 ^b	0,27 ^b	0,25 ^b	0,30 ^a	0,006	0,001**
SFA	32,80 ^a	31,56 ^b	32,68 ^a	33,31 ^a	32,83 ^a	0,157	0,011*
MUFA	42,26 ^{bc}	40,07 ^c	41,76 ^b	43,64 ^a	43,07 ^{ab}	0,303	0,001**
PUFA	22,33 ^{bc}	25,64 ^a	23,08 ^b	20,42 ^d	21,49 ^{cd}	0,399	0,000**
ω -3	2,51 ^a	2,50 ^a	2,30 ^b	2,16 ^c	2,17 ^c	0,037	0,000**
ω -6	19,82 ^{bc}	23,13 ^a	20,77 ^b	18,26 ^d	19,31 ^{cd}	0,371	0,000**
ω -3/ ω -6	0,126 ^a	0,108 ^c	0,112 ^c	0,118 ^b	0,112 ^c	0,001	0,000**
DHA/EPA	3,74 ^c	4,50 ^a	4,10 ^b	4,56 ^a	3,35 ^d	0,10	0,000**

K100: Diyetle 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyetle 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyetle 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyetle 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a-b-c-d-e}: Aynı satırda farklı harf taşıyan ortalamalar arasında fark önemli bulunmuştur. *: $p<0,05$ ve **: $p<0,01$ ÖD: Önem durumu; ös: Önemsiz; EPA: Eikosapentaenoik asit, DHA: Dokosaheksaenoik asit, SFA: Doymuş yağ asitleri, MUFA: Tekli doymamış yağ asitleri, PUFA: Çoklu doymamış yağ asitleri

SFA, MUFA ve PUFA oranları bakımından gruplar arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur. Diyetle 100 mg/kg kurkumin ilave edilen grupta SFA ve MUFA değeri en düşük; PUFA değeri ise en yüksek düzeyde saptanmıştır. ω -3 ve ω -6 bakımından gruplar arasındaki farklılık önemli ($p<0,01$) olmuş ve en yüksek ω -3 değeri K0 ve K100 gruplarında, en yüksek ω -6 oranı ise yalnızca K100 grubunda gözlemlenmiştir. En yüksek ω -3/ ω -6 oranı K0 grubunda; en yüksek DHA/EPA oranı ise K100 ve K300 gruplarında tespit edilmiştir.

Kurkuminin lipid metabolizmasını düzenleyici etkileri ilk olarak balıklarda rapor edilmiştir (Morais *et al.* 2012). Yumurta tavuklarında kurkuminin yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi ile ilgili yapılan çalışma sayısı son derece sınırlı olduğundan

mevcut çalışmanın bulguları daha çok yumurta tavuğu dışındaki hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalarda bildirilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Marchiori *et al.* (2019) soğuk strese maruz bırakılan yumurta tavuğu diyetlerine 30 mg/kg toz halinde; 3 ve 5 mg/kg enkapsüle kurkumin ilavesinin yumurta sarısında stearik asit ve linoleik asit düzeyini etkilemediğini, SFA'yı azalttığını, MUFA, PUFA, linolenik asit ve DHA düzeylerini ise artırdığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar, araşidonik asit düzeyinin yalnızca 10 mg/kg enkapsüle kurkumin tüketen grupta yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Hang *et al.* (2018) etlik piliç rasyonlarına farklı düzeylerde kurkumin ilavesinin göğüs etinde yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, 20 ve 40 mg/kg kurkumin ilave edilen gruplarda oleik ve linoleik asit düzeyinin kontrol grubundan daha yüksek; DHA seviyesinin ise daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, ω -6 oranının kurkumin ilave edilen gruplarda daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Salaha *et al.* (2019) sıcak strese maruz kalmış etlik piliç rasyonlarına kurkumin ilavesinin göğüs eti oleik, linoleik, linolenik ve DHA düzeylerini koruduğunu bildirmişlerdir.

Mevcut çalışmada, tekli doymamış yağ asitlerinden oleik asit K100 grubunda en düşük seviyede bulunmuştur. Yine K100 grubunda stearik düzeyinin en düşük; linoleik ve linolenik asit oranının ise en yüksek olduğu tespit edilmiştir. *ELOVL6* ve *ELOVL7* genlerinin SFA ve MUFA'nın elangasyonundan sorumlu olduğu daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Matsuzaka *et al.* 2007; Li *et al.* 2022; Wang *et al.* 2022). Tablo 20 incelendiğinde, *ELOVL6* ve *ELOVL7* gen ekspresyon düzeylerinin K100 grubunda en yüksek seviyede olması da araştırmacıların bildirişlerini desteklemiştir.

K300 grubunda linoleik asit düzeyi en düşük olurken, aynı grupta araşidonik asit seviyesi K0 grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar linoleik asidin, araşidonik aside dönüşmesinden kaynaklanmış olabilir. Mevcut çalışmada, K300 grubunda PUFA'nın elangasyonundan sorumlu olan *ELOVL5* gen ekspresyon değerlerinin (Tablo 20) K0 grubundan daha yüksek olması da bu durumu desteklemektedir.

Söz konusu çalışmada, SFA ve MUFA bakımından en düşük değerler, PUFA açısından ise en yüksek değer K100 grubunda bulunmuştur. Bu sonuç SFA ve MUFA'nın kurkuminin etkisiyle PUFA'ya dönüştüğünü göstermektedir. Ji *et al.* (2021) şarlatanların diyetine kurkumin ilavesinin karaciğer dokusunda ω -3 PUFA ve ω -6 PUFA oranını artırdığını, SFA oranını ise azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kurkuminin lipid akümüülasyonunu azalttığı bildirilmiştir. Araştırmacılar ω -3 ve ω -6'nın artmasını azalan SFA'ya bağlamışlardır.

Normal sağlıklı beyin gelişimi için gerekli olan DHA, yapısal olarak beyin gri maddesindeki yağ asitlerinin kabaca üçte birini oluşturur ve (O'Brien and Sampson 1965). DHA

eksikliğinde anksiyete, alzheimer, majör depresif bozukluklar ve dikkat eksikliği gibi birçok problem meydana gelmektedir (Astarita *et al.* 2010; Bhatia *et al.* 2011; Chen and Su 2013; Mcnamara *et al.* 2013). Bu nedenle, ω -3 yağ asitleri beyin sağlığında ve bilişsel hastalıkların genel olarak önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu çalışmada, K200 grubunda linolenik asit düzeyi oldukça düşük olurken DHA oranı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Diyete 200 mg/kg kurkumin ilavesinin linolenik asidin DHA'ya dönüşümünü teşvik ettiği düşünülmektedir. *ELOVL4* ve *ELOVL5* genlerinin PUFA'nın elangasyonundan sorumlu olduğu çok sayıda araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Nakamura and Nara 2004; Zhang *et al.* 2016). Tablo 20 incelendiğinde *ELOVL5* gen ekspresyon düzeyinin K200 grubunda K0 grubuna göre önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacıların bildirişleri mevcut çalışmadan elde edilen sonuçları desteklemektedir. Wu *et al.* (2015) ratları alfa-linolenik asit (ALA), ALA+250 ppm ve ALA+500 ppm kurkumin ilave edilen diyetlerle beslendikleri çalışmalarında, karaciğer dokusunda en yüksek DHA değerini ALA+250 ppm kurkumin içeren diyetlerle beslenen grupta tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, *in vivo* olarak kurkuminin ALA'nın DHA'ya dönüşümünü artırabileceğini ve buna bağlı olarak karaciğerde DHA'nın artacağını rapor etmişlerdir. Yine aynı çalışmada, kurkuminin karaciğerde *FADS2* enzim düzeyini önemli düzeyde artırdığı bildirilmiştir. Mevcut çalışmada da *FADS2* gen ekspresyon düzeyinin K0 grubunda daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 21). Kurkuminin 300mg/kg seviyesi dışındaki seviyelerin K0 grubuna göre *FADS2* gen ekspresyonunu artırdığı gözlemlenmiştir.

K200 grubunda EPA oranının K0 grubundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, omurgalılarda EPA'nın $\Delta 4$ fad vasıtasıyla DHA'ya dönüştüğü bildirilmiştir (Li *et al.* 2010; Morais *et al.* 2012). Mevcut çalışmada K200 grubunda EPA'nın düşük, DHA'nın ise en yüksek seviyede bulunması EPA'nın DHA'ya dönüşebilmesiyle açıklanabilir.

Araya *et al.* (2010) oksidatif stresin, karaciğer *FADS2* ve $\Delta 5$ desaturaz aktiviteleriyle ters ilişkili olduğunu ve plazma antioksidan aktivitesindeki azalmanın, karaciğer *FADS2*'nin doğrudan inaktivasyonunu veya azaltılmış ekspresyonunu destekleyebileceği hipotezini öne sürmüşlerdir. Wu *et al.* (2015) ise Araya *et al.* (2010) tarafından ileri sürülen bu hipotezi yani kurkuminin *FADS2* seviyeleri üzerindeki etkisini dolaylı olarak onun antioksidan özellikleriyle ilişkilendirmişlerdir.

Hedef Genlerin ORF Bölgelerinin Klonlanmasına Ait Bulgular

Klonlanan ORF'ler NCBI veri tabanına yüklenmiştir. *FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2*, *FADS6*, *ELOVL1*, *ELOVL2*, *ELOVL3*, *ELOVL4*, *ELOVL5*, *ELOVL6* ve *ELOVL7* ORF dizilimlerinin NCBI erişim numaraları sırasıyla PP601336, PP601337, PP601338, PP601339,

PP601340, PP601341, PP601342, PP601343, PP601344, PP601345, PP601346 ve PP601347'dir.

Filogenetik ağaç yapımına ait bulgular

Hedef tür ile diğer omurgalıların amino asit dizilimleri arasındaki ortaklıklar BLOSUM62 matrisi algoritması ile karşılaştırılmıştır (Gromiha 2010). Ağaç yapımında Neighbour Joining metodu kullanılmıştır.

Filogenetik inceleme, gen ailelerinin tarih öncesindeki yayılımını ve türlerin ortak atalarını aydınlatmaktadır. Bu sayede belirli bir taksonomik grup içindeki filogenetik ilişkilerin anlaşılması sağlanmaktadır (O'Brien *et al.* 1999). *ELOVL* gen ailesi, uzun zincirli yağ asitlerinin biyosentezinde rol oynamaktadır (Wang *et al.* 2023). Bu gen ailesi, tavuk *ELOVL* genleri ve diğer türlerle olan ortologlardan oluşmaktadır. Bu filogenetik ağaç, *ELOVL* genlerinin genetik dizilimleri arasındaki homolojiyi (benzerliği) göstermektedir. Örneğin bootstrap değerinin gittikçe artması, genetik materyalin büyük oranda benzer olduğunu ve yakın evrimsel ilişkileri olduğunu; bootstrap değerinin gittikçe azalması da genetik materyalin daha farklı ve uzak evrimsel akrabalıkları işaret etmektedir.

Filogenetik ağaca ait tavuk *ELOVL* geni ile diğer ortologlar arasındaki benzerlik oranları Şekil 25'te verilmiştir. Filogenetik ağaçtaki *ELOVL* genlerinin bootstrap değerleri, tavuk ve diğer türler arasında karşılaştırıldığında, genel olarak yüksek oranda benzerlikler göstermektedir. Bu benzerlikler, genlerin evrimsel süreçte korunmuş fonksiyonlara sahip olduğunu bildirmektedir. Örneğin, *Gallus gallus ELOVL* genlerinin çeşitli türlerle olan ortologları arasındaki yüksek benzerlikler (örneğin, *ELOVL1-7*), bu gen ailelerinin omurgalılar arasında önemli evrimsel roller oynadığını göstermektedir. Nitekim benzer dizileri paylaşan gen aileleri, temel biyolojik süreçlerde aynı fonksiyonları gösterebilen homolog gen gruplarıdır (Hallett and Lagergren, 2000; Mehraban *et al.* 2014).

Gallus gallus, türüne ait *ELOVL1* geninin bootstrap değerleri, hindi (*Meleagris gallopavo*) ile %100 yüksek düzeyde genetik benzerliğe sahipken, kaz (*Anser brachyrhynchus*) ile %99, ördek (*Anas platyrhynchos*) ile %98 oranında benzerlik göstermektedir. Böylece mevcut çalışma ile *ELOVL1* geninin kuşlarda yüksek oranda korunduğu belirlenmiştir.

Gallus gallus ve bıldırcın (*Coturnix japonica*) *ELOVL2* genleri arasındaki bootstrap değeri %100'dür. Bu genin bu iki tür arasında yüksek düzeyde korunduğunu göstermektedir. *A. brachyrhynchus* ve *A. platyrhynchos ELOVL2* genleri ile memeliler (*Mus musculus* ve *Homo sapiens*) ve balıklar (*Danio rerio* ve *Carassius auratus*) kendi içinde farklı gruplar oluşturmaktadır.

Gallus gallus ve *M. gallopavo* *ELOVL3* genleri %100 benzerlik ile memelilerden ayrı bir grupta yer almaktadır. *A. brachyrhynchus* ve *A. platyrhynchus* genleri, kuş türleri içinde ama biraz daha farklı bir alt grupta konumlanmıştır. *Gallus gallus* *ELOVL3* geni, *H. sapiens* ve *M. musculus* genleri %100 benzerlik ile çok yakın bir ilişki göstererek bu türlerin genetik yakınlığını vurgulamaktadır.

Gallus gallus ve *C. japonica* *ELOVL4* genleri arasında %90; *A. platyrhynchus* ve *A. brachyrhynchus* arasında %100; *H. sapiens* ve *M. musculus* arasında %100 benzerlik bulunmuştur. *ELOVL4* geni bu yüzdelik oranlarla, özellikle kuşlar ve memeliler arasında yüksek oranda korunmuştur.

Gallus gallus *ELOVL5* geni, *C. japonica* %80; *A. platyrhynchus* ve *A. brachyrhynchus* %100; *H. sapiens* ve *M. musculus* türleri arasında %99 benzerlik göstermektedir. Bu sonuçlar *ELOVL5* geni için kuşlar ve memeliler arasında evrimsel olarak genlerin korunduğunu göstermektedir.

Gallus gallus *ELOVL6* geni, *A. platyrhynchus* %98; *A. brachyrhynchus* %46; *H. sapiens* ve *M. musculus* arasında sırasıyla %100 ve %85 benzerlik belirtilmiştir. Bu da kuşların *ELOVL6* geninin korunma derecesinin değişken olduğunu gösterir.

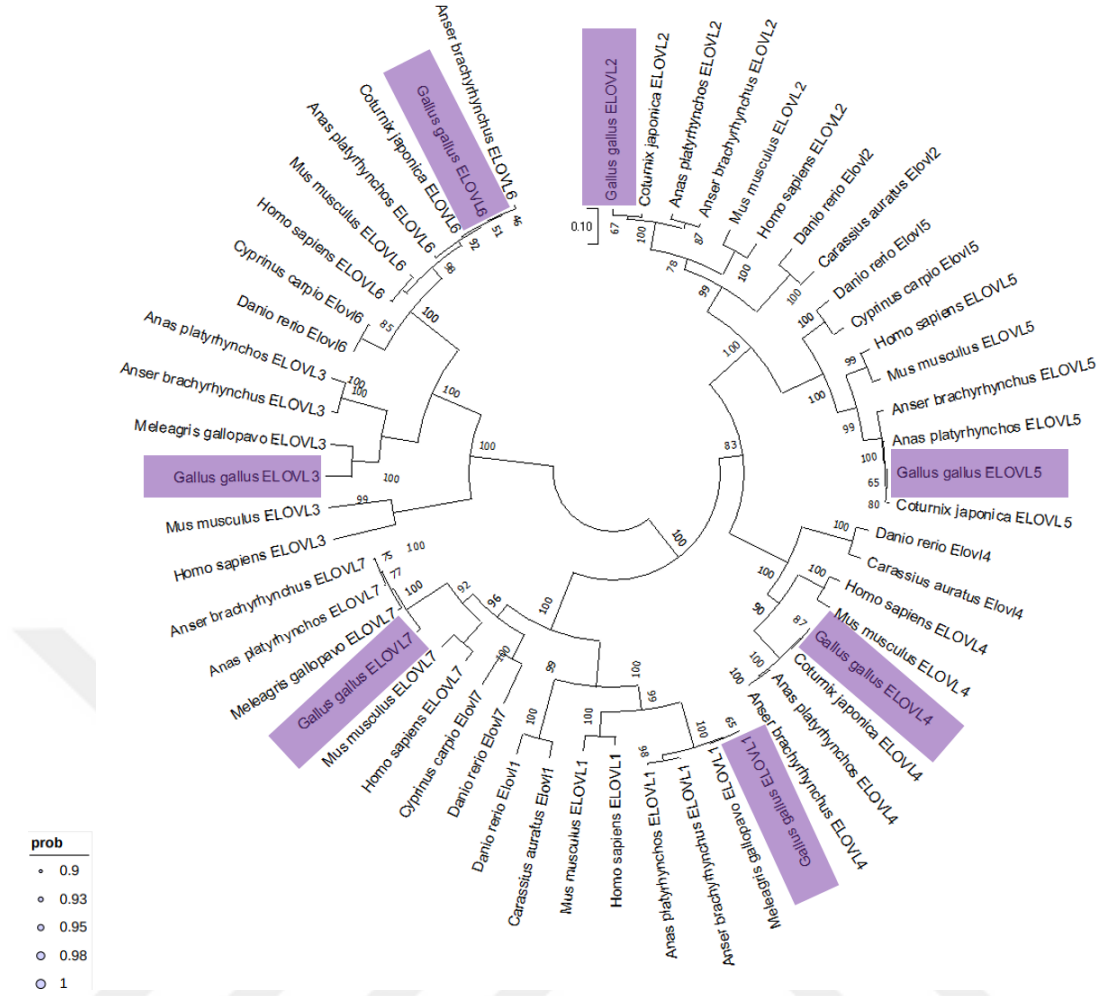
Gallus gallus *ELOVL7* geni, *M. gallopavo* ile %100 benzerlik ile çok yakın ilişki göstermekte olup, *A. platyrhynchus* %77 ve *A. brachyrhynchus* ise %75 benzerlik bulunmuştur. Benzerlik oranı ile *ELOVL7* geninin kuş türleri arasında farklı koruma derecelerine sahip olduğu belirtilmiştir. *H. sapiens* ve *M. musculus* için sırasıyla %96 ve %92 benzerlikler ise *ELOVL7* geninin memeliler arasında muhafaza edilerek önemli evrimsel rolleri koruduğunu belirtmektedir.

Ağaçta yer alan çeşitli türler (örneğin, *G. gallus*, *M. musculus*, *D. rerio*), *ELOVL* gen ailesinin (*ELOVL1-7*) taksonomik çeşitliliğini göstermektedir. Taksonlar arasındaki genetik çeşitlenme, adaptasyon ve evrimsel süreçlerin bir sonucudur (García-Arenal *et al.* 1999). *ELOVL* genlerinin farklı türler arasında yüksek oranda konservasyon göstermesi, yani evrimsel olarak stabil kalması önemli biyolojik fonksiyonları olduğunu belirtmektedir. Özellikle, kuş türleri ve memeliler arasında yüksek oranda benzerlik, bu türlerin evrimsel olarak birbirine daha yakın ve benzer metabolik ihtiyaçlara sahip olduklarını göstermektedir. Balık türleri arasındaki yüksek benzerlik de benzer bir durumu ifade etmektedir. Ancak farklı sınıflar arasındaki düşük benzerlik oranları, genlerin bu türlerin özgün yaşam tarzlarına ve çevresel koşullarına uyum sağlaması gerektiğini göstermektedir. Bu tür tespitler, türlerin evrimsel ilişkilerini ve genetik adaptasyon süreçlerini daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır. Kısaca filogenetik ağaç, türlerin ortak atadan ne kadar yakın zaman önce ayrıldıklarına dair bilgiler sunmaktadır.

Bununla birlikte, aynı gen ailesinin üyeleri arasında, farklı türler farklı işlevlere adapte olabilmektedir. Bu yüzden yüksek genetik benzerlik dahi farklı fenotipik sonuçlara yol açabilmektedir. Örneğin, *ELOVL2*'nin insanlarda ve farelerde benzer bir oran göstermesi, bu genin her iki türde de benzer bir biyolojik işlevi yerine getirdiğine dair bilgiler vermektedir.

G. gallus ELOVL genlerinin *C. japonica*, *A. brachyrrhynchus* ve *A. platyrrhynchus* gibi diğer kuş türleriyle benzerlik oranlarının yüksek olmasının nedeni, bu türlerin yakın evrimsel akrabalıklarından kaynaklanmaktadır. *M. musculus* ve *H. sapiens* gibi memeli türlerinin *ELOVL* genleri ile benzerliklerinin daha düşük olmasının nedeni ise kuşlar ve memelilerin evrimsel olarak daha uzak akrabalık ilişkilerinden kaynaklanmaktadır. *D. rerio* ve *C. auratus* gibi balık türleri ile karşılaştırıldığında, genler arasındaki benzerliğin daha da düşmesinin nedeni, balıklar ve kuşların oldukça farklı evrimsel dallara ait olmasından dolayıdır.

Bu filogenomik analiz, *ELOVL* gen ailesinin türler arası geniş bir korunma spektrumuna sahip olduğunu ve lipid metabolizmasındaki kritik rollerinin evrimsel süreçte korunduğunu göstermektedir (Jakobsson *et al.* 2006). *ELOVL1*, *ELOVL3*, *ELOVL4* ve *ELOVL7* genleri *G. gallus*'ta yüksek benzerlik oranları gösterirken, *ELOVL2*, *ELOVL5* ve *ELOVL6* daha düşük korunma seviyeleri göstermiştir. Her bir *ELOVL* geninin diğer türlerle olan ilişkileri, bu genlerin fonksiyonlarının ve evrimsel tarihlerinin anlaşılmasında önemli bilgi sağlamaktadır (Liao and Zhang 2006; Chan *et al.* 2009). Bu analiz, *ELOVL* gen ailesinin üyelerinin türler arasında ne derece korunduğunu ve evrimsel süreçte nasıl farklılaştığını ifade etmektedir. Sonuç olarak, *Gallus gallus ELOVL* genlerinin ve ortologlarının karşılaştırmalı analizi, bu gen ailesinin evrimsel süreçte önemli fonksiyonel rolleri korunduğunu ve lipid metabolizmasındaki kritik işlevlerinin farklı türler arasında benzer olduğunu göstermektedir. Bu yüksek derecede konservasyon, *ELOVL* genlerinin evrimsel biyoloji ve fonksiyonel genomik çalışmalardaki önemini vurgulamaktadır.



Şekil 25. ELOVL genine ait filogenetik ağaç (Neighbour Joining).

Filogenomik çalışmalar sonucunda elde edilen filogenetik ağaca ait tavuk *FADS* geni ile diğer ortologlar arasındaki benzerlik oranları Şekil 26’da verilmiştir. Filogenetik ağaçta yer alan *G. gallus FADS* gen ailesi üyeleri (*FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2* ve *FADS6*) ile diğer türler arasındaki benzerlik oranları, bu gen ailesinin evrimsel süreçte ne kadar korunduğunu ve türler arası genetik ilişkilerin ne derece yakın olduğunu göstermektedir.

Aşağıda, belirli *FADS* genleri için *G. gallus* ve diğer türler arasındaki benzerlik yüzdeleri verilmiştir.

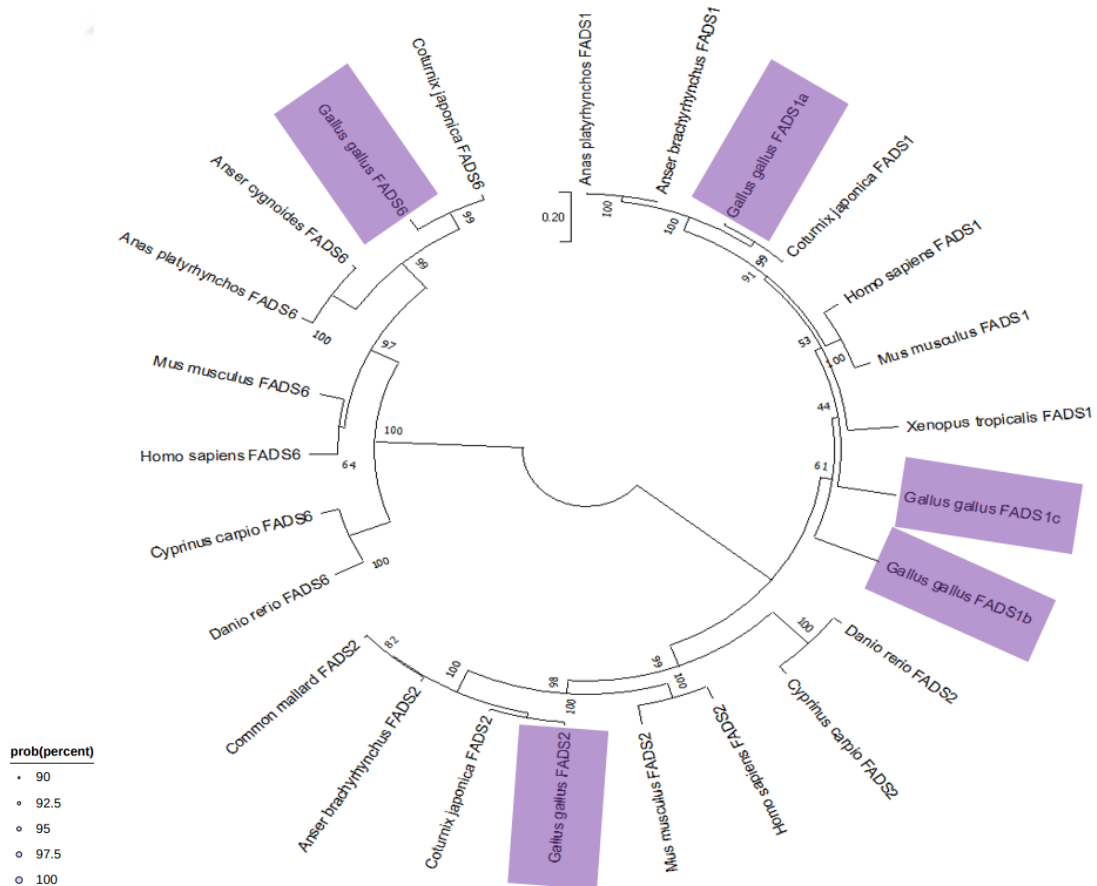
Gallus gallus FADS1a geni ile bıldırcın (*Coturnix japonica*) *FADS1* geni: %99; *H. sapiens FADS1* geni: %53; *M. musculus FADS* geni %44 benzerlik göstermiştir.

Gallus gallus FADS2 geni ile *D. rerio FADS2* geni: %100; *H. sapiens FADS2* geni: %100; *C. japonica FADS2* geni: %100; *M. musculus FADS2* geni: %99; ördek (*Common mallard*) *FADS2* geni: %82 benzerlik göstermektedir.

Gallus gallus FADS6 geni ile *D. rerio FADS6* geni: %100; çin kazı (*Anser cygnoides*) *FADS6* geni: %99; *C. japonica FADS6* geni: %99; *A. platyrhynchos FADS6* geni: %97 benzerlik göstermektedir.

Örneğin, *Gallus gallus FADS6* ve *FADS2* geni ile %100 benzerlik gösteren *D. rerio FADS* genleri, bu iki türün genetik olarak bu genler açısından çok yakın olduğunu ve büyük olasılıkla evrimsel süreçte yakın zamanlarda ayrılmış olduklarını bildirmektedir.

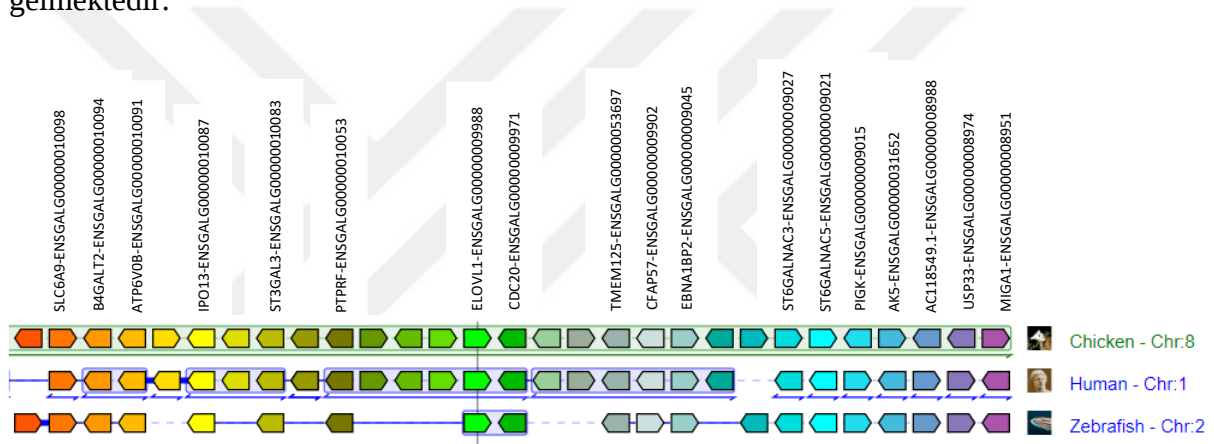
Yukarıdaki bilgiler, *G. gallus FADS* genlerinin diğer türlerin *FADS* genleriyle olan evrimsel ilişkisini ve benzerlik derecelerini göstermektedir. Farklı *FADS* genleri arasında bu benzerlik oranları, türler arası evrimsel akrabalık ve genetik uzaklığı yansıtmaktadır. Genel olarak, *G. gallus*'un *FADS* genlerinin diğer ortologlarıyla yüksek düzeyde korunduğunu ve bazı durumlarda %100'e varan benzerlikler sergilediğini belirtmektedir. Bu benzerlikler, söz konusu genlerin işlevsel ve yapısal önemini ve evrimsel süreçler sırasında korunma derecesini göstermektedir. *FADS* genleri, hücresel lipid metabolizması ve çoklu doymamış yağ asitlerinin biyosentezi gibi hayati süreçlerde rol almaktadır (Reynolds *et al.* 2018). Bu yüzden, bu genlerin yüksek oranda korunması ve benzer kalması beklenmektedir. Filogenetik ağaç modeline bakıldığında bu bilgiler, genlerin evrimsel biyoloji ve genetik çalışmalarında önemli rol oynayacağını bildirmektedir.



Şekil 26. *FADS* genine ait filogenetik ağaç oluşumu (Neighbour Joining).

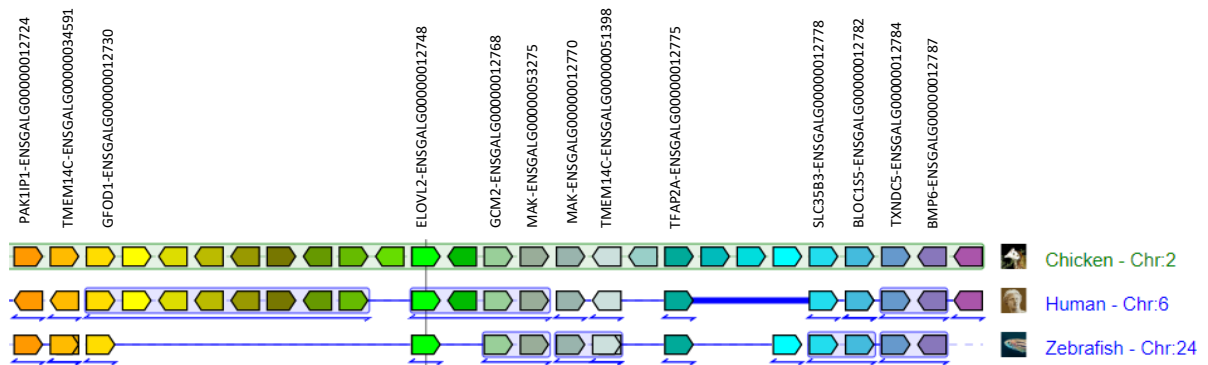
Korunmuş gen sentenisine ait bulgular

Gen sentenisi, türler arasında veya türler içinde karşılaştırılan iki veya daha fazla kromozom seti içindeki düzen bloklarının korunmasını ifade etmektedir (Housworth and Postlethwait, 2002; Catchen *et al.* 2009; Drillon *et al.* 2014). Mevcut çalışmada, *ELOVL* genine ait 7 adet, *FADS* genine ait ise 5 adet gen olduğu tespit edilmiştir. Ardından *G. gallus*, *D. rerio* ve *H. sapiens*'de bu genlerin korunmuş gen sentenileri belirlenmiştir. Gen sentenisi haritasındaki her bir renkli blok, belirli bir geni veya gen grubunu temsil etmesinin yanı sıra bu genlerin türler arası konservasyonunu veya evrimsel farklılaşmalarını işaret etmektedir. Bu genin ve komşu genlerin yerleşimi, genin işlevsel bağlamını ve olası etkileşimlerini anlamak için önemlidir. Bu durum, zaman içinde potansiyel olarak büyük evrimsel mesafelere rağmen, mevcut genlerin evrim süreci boyunca fiziksel olarak kromozom üzerinde yakın kaldıkları anlamına gelmektedir.



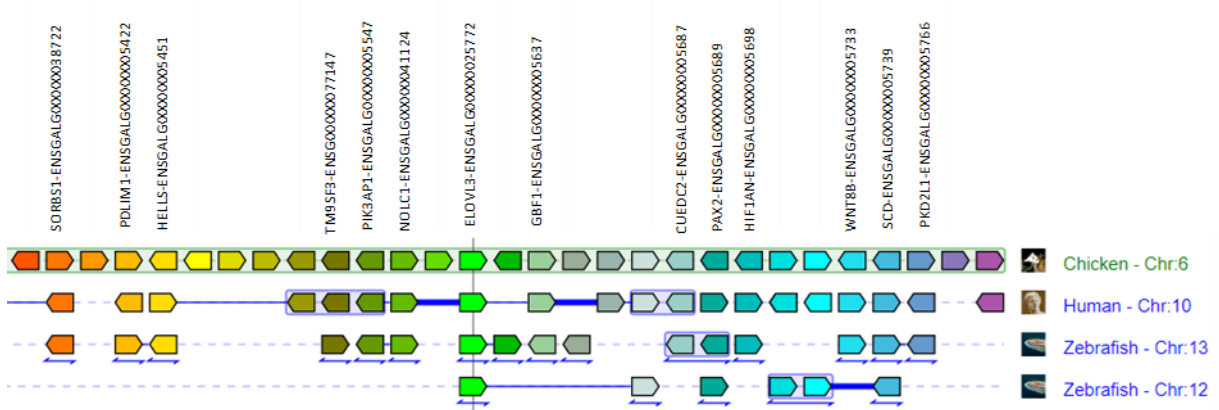
Şekil 27. *ELOVL1* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL1 geninin tavukta 8. kromozom (Chr8), insanlarda 1. kromozom (Chr1) ve zebra balığında 2. kromozom (Chr2) üzerinde olduğu Şekil 27'de gösterilmektedir.



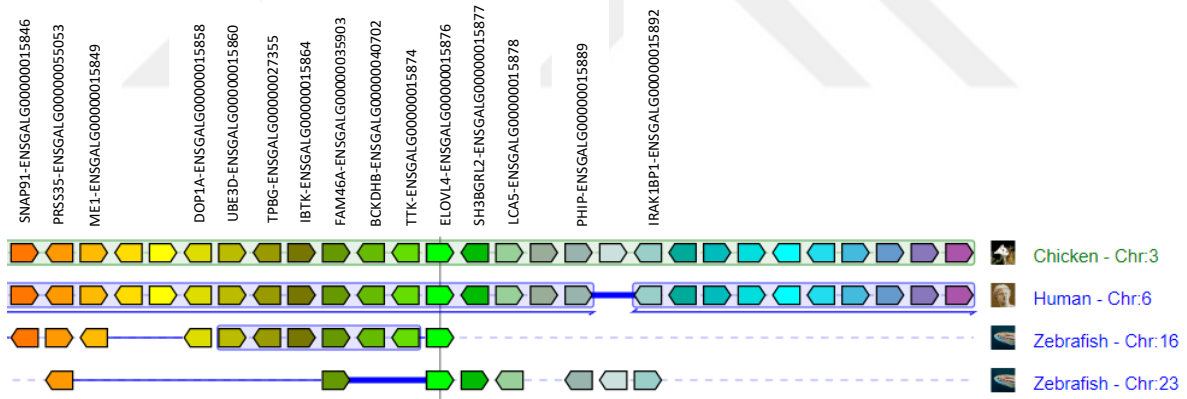
Şekil 28. *ELOVL2* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL2 geni ve komşu genleri tavukta 2. kromozom (Chr2), insanda 6. kromozom (Chr6) ve zebra balığında 24. kromozomda (Chr24) bulunmaktadır (Şekil 28).



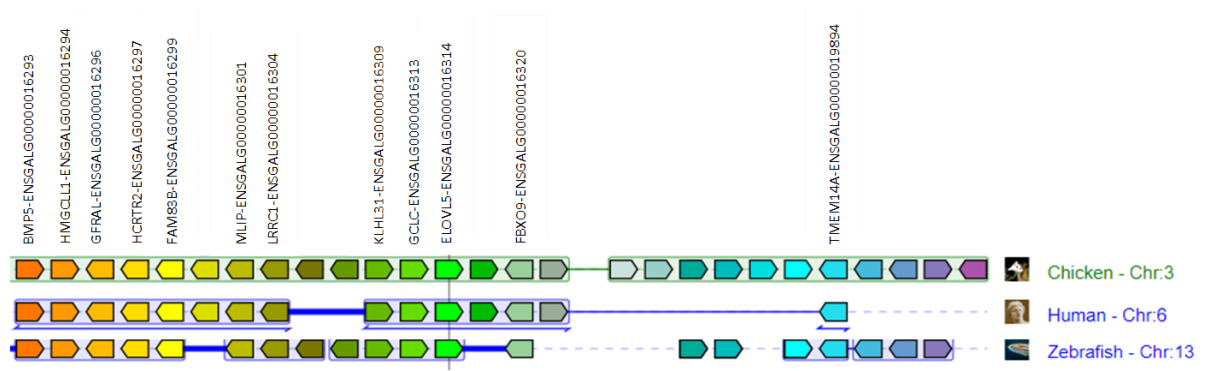
Şekil 29. *ELOVL3* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL3 geni tavukta 6. kromozom (Chr6), insanda 10. kromozom (Chr10) ve zebra balığında 12 ve 13. kromozomlarda (Chr12-13) yer almıştır (Şekil 29). Balıklarda tüm genom duplikasyonu adı verilen özel bir olay olduğundan (Bayır *et al.* 2015) 12. ve 13. kromozomlarda *elovl3* geninin paraloglarının yer alma ihtimali oldukça kuvvetlidir.



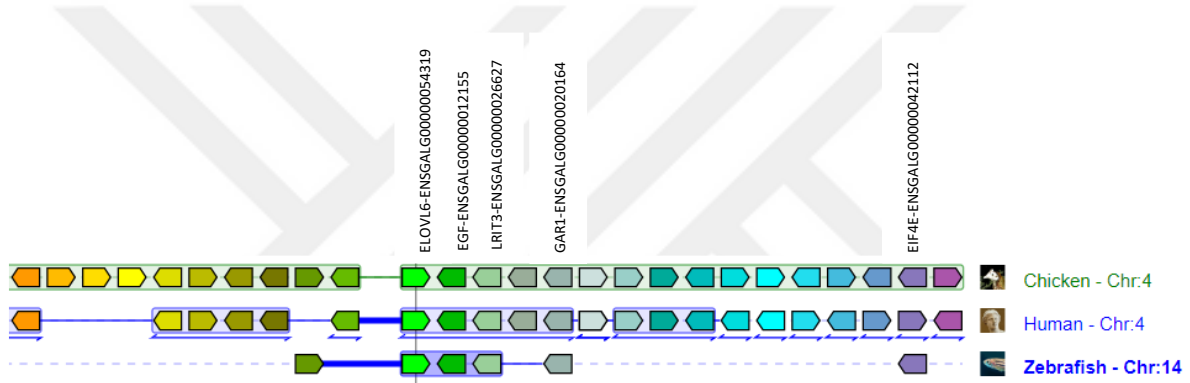
Şekil 30. *ELOVL4* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL4 geninin farklı türler arasındaki korunmuş gen sırası ise sentez haritasında tavuk 3. kromozomda (Chr3), insan 6. kromozomda (Chr6), zebra balığı ise 16. ve 23. kromozomda (Chr16-23) bulunmaktadır (Şekil 30). *ELOVL4*, uzun zincirli yağ asitlerinin biyosentezinde rol oynayan ve özellikle gözde bulunan yağ asitlerinin üretiminde kritik olan bir enzim kompleksidir (Zhang *et al.* 2001; Agbaga *et al.* 2010).



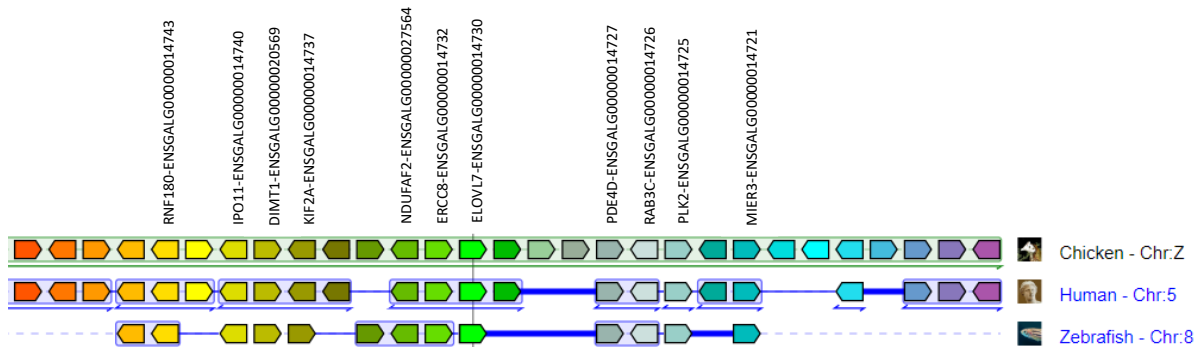
Şekil 31. *ELOVL5* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL5 genine ait harita Şekil 31’de verilmiştir. Buna göre, tavukta 3. kromozom (Chr3), insanda 6. kromozom (Chr6) ve zebra balığında 13. kromozomlar (Chr13) arasında korunmuş gen dizilimleri görülmektedir.



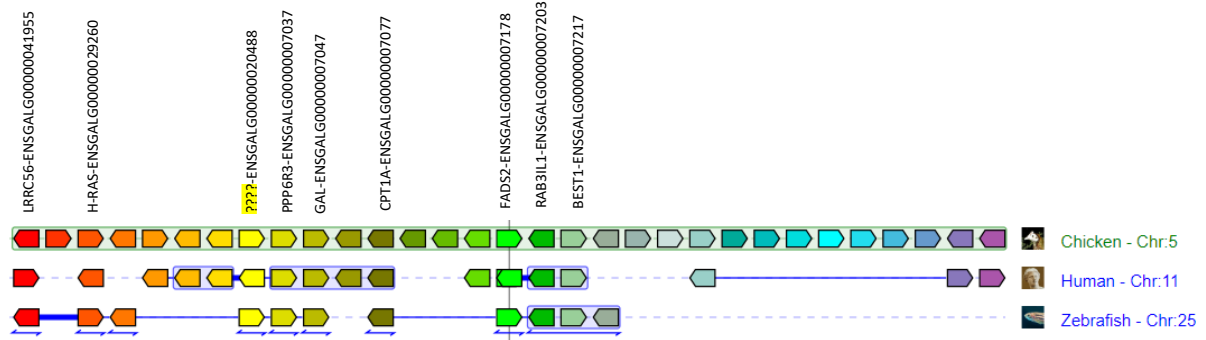
Şekil 32. *ELOVL6* genine ait korunmuş gen sentenisi.

Şekil 32’de verilen harita *ELOVL6* kromozomunun farklı hayvan türlerindeki dizilimini göstermektedir. Bu haritaya göre *ELOVL6* tavuk ve insanın 4. kromozomunda (Chr4), zebra balığının 14. kromozomu (Chr14) arasındaki genlerin korunmuş bloklarında yer almaktadır.



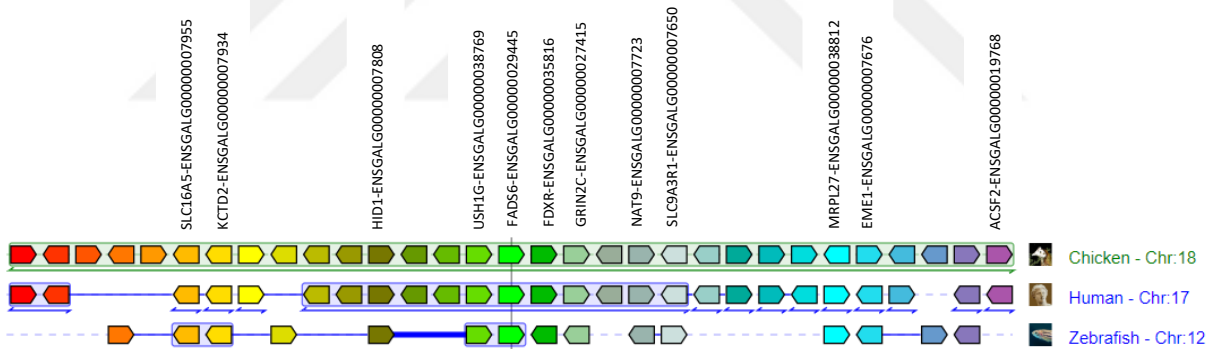
Şekil 33. *ELOVL7* genine ait korunmuş gen sentenisi.

ELOVL7 genine ait haritada ise tavuğun Z. kromozomu (ChrZ), insanın 5. kromozomu (Chr5) ve zebra balığının 8. kromozomu (Chr8) arasındaki genlerin korunmuş blokları gösterilmektedir (Şekil 33).



Şekil 34. *FADS2* genine ait korunmuş gen sintenisi.

Tavuk, insan ve zebra balığı kromozomlarında *FADS2* geninin ve onun komşu genlerinin yerleşimi Şekil 34'te gösterilmektedir. Bu haritaya göre *FADS2* tavuğun 5. kromozomunda (Chr5) ve insanın 11. kromozomunda (Chr11), zebra balığının 25. kromozomu (Chr25) arasındaki genlerin korunmuş bloklarında yer almaktadır.



Şekil 35. *FADS6* ait korunmuş gen sintenisi.

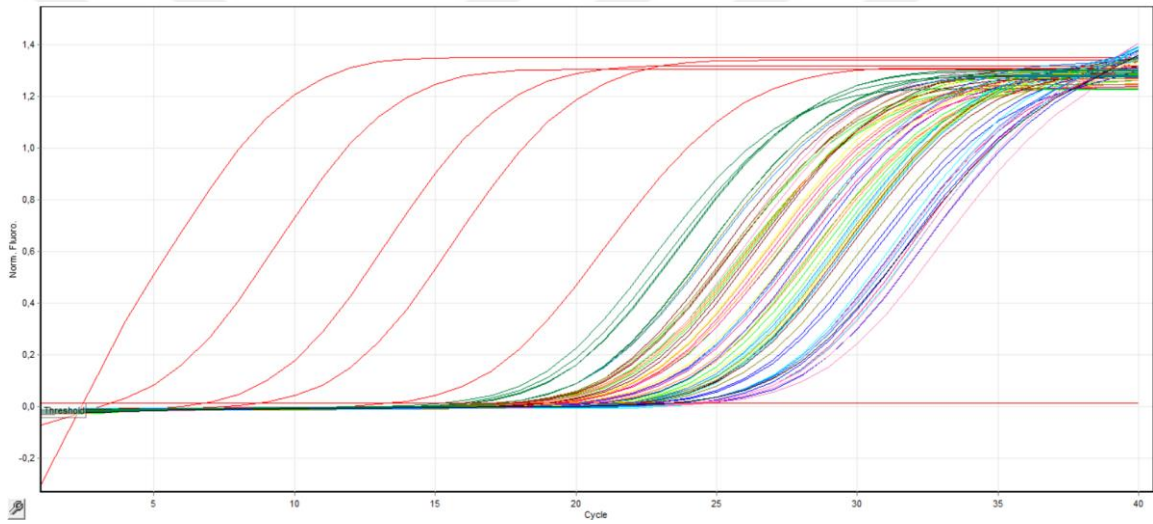
Şekil 35'te insan, tavuk ve zebra balığı kromozomlarında *FADS6* geninin ve onun komşu genlerinin konumlandırılması gösterilmektedir. *FADS6* geni tavukta 18. kromozomda (Chr18), zebra balığında 12. kromozomda (Chr12) ve insanda 17. kromozom (Chr17) üzerinde bulunmaktadır.

Bu çalışmada, *ELOVL 1-7* genleri ile *FADS2* ve *FADS6* genlerinin tavuk, insan ve zebra balığı gibi farklı organizmalarda korunmuş gen sintenisi sergiledikleri belirlenmiştir. Dolayısıyla bu üç canlı türü birbirlerinden ayrıldıktan sonra atasal karyotipin korunduğunu göstermektedir (Thirumaran 2013).

Gen Ekspresyon Analizlerine Ait Veriler

ELOVL gen ailesi ekspresyonunun dokuya özgü etkisi

qPZR, gen ekspresyon analizlerinde ekspresyon seviyelerinin kantitatif olarak ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tichopád *et al.* 2009). Şekil 36’da verilen grafik, gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu tekniği ile yapılan analizin amplifikasyon eğrilerini göstermektedir. Grafik, kontrol grubunda bulunan üç tavuktan alınan 15 farklı doku örneklerine ait qPZR analizi sonuçlarını içermektedir. Grafikte bulunan çoğu eğrinin 20-25 sikluslar arasında anlamlı bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu siklus eşiği, belirli bir genin başarılı bir şekilde amplifiye edildiğini ve belirgin bir miktarda ürünün oluştuğunu göstermektedir. Her bir renkli eğri, tavuğa ait farklı dokularından alınan aynı genlerin amplifikasyonunu temsil etmektedir.



Şekil 36. Farklı 15 dokuya ait gen örneklerinin qPZR uygulaması ile elde edilen doku spesifik analizi amplifikasyon görüntüsü.

Her *ELOVL* ve *FADS* geni için mRNA transkriptlerinin kopya sayısını belirlemek amacıyla, bir Rotor-Gene6000termalcycler sistemi ile RT-qPCR gerçekleştirilmiştir.

Tablo 18’de gen ekspresyonunun dokuya özgü farklılıklar gösterdiği ve *ELOVL* genlerinin bazı dokularda daha yüksek eksprese edildiği görülmektedir. *ELOVL* gen ailesinin üyelerinin (*ELOVL1-ELOVL7*) ekspresyon değerleri tüm dokularda (15 adet doku örneği) incelenmiştir. Bu geniş ekspresyon aralığı, *ELOVL* genlerinin çok çeşitli biyolojik süreçlerde roller oynadığını ve bu süreçlerin dokuya özgü gereksinimlerini yansıttığını göstermektedir. Tavuklarda *ELOVL* gen ailesinin farklı dokulardaki lipid birikimi üzerindeki etkileri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Ancak çiftlik hayvanlarında *ELOVL* genlerinin genetik varyasyonlarının sırt yağı veya kas içi yağ asidi kompozisyonu ile ilişkilendirildiği bilinmektedir (Wang *et al.* 2022). Tablo 18 incelendiğinde, *ELOVL1* ve *ELOVL7* genleri bakımından dokular arasında önemli bir fark görülmemiştir. *ELOVL2*,

ELOVL3, *ELOVL4*, *ELOVL5* ve *ELOVL6* genlerinin ekspresyon seviyelerindeki farklılıklar ise anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Bu durum farklı dokularda bu genlerin ekspresyonunun biyolojik olarak önemli olduğunu göstermektedir. En yüksek *ELOVL2* değeri karaciğerde (5,24336050) tespit edilmiştir. Rakamsal olarak en yüksek *ELOVL2* değeri karaciğerden sonra adipoz dokusu (1,37547043) ve taşlıkta (1,42696151) görülmüştür. Yine en yüksek *ELOVL6* değeri karaciğerde bulunmuştur. *ELOVL2* ve *ELOVL6*'nın karaciğerde, diğer dokulardan daha yüksek ekspresyon seviyelerine sahip olması bu genlerin özellikle karaciğerde önemli işlevlere sahip olduğunu göstermektedir. Fare ve tavuk karaciğerinde yüksek *ELOVL2* ve *ELOVL6* ekspresyonu, bu dokunun uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin sentezinde merkezi bir rol oynadığını göstermekte, bu da lipid ve enerji metabolizması için kritik bir rol oynamaktadır (Matsuzaka 2021; Li *et al.* 2022; Wang *et al.* 2022). *ELOVL2*'nin yüksek ekspresyonu, özellikle karaciğer, adipoz ve taşlık dokusunda yağ asitlerinin uzun zincirli versiyonlarının sentezinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Slieker *et al.* 2018; Wang *et al.* 2023).

Mevcut çalışmada, *ELOVL3* genine ait en yüksek mRNA miktarı adipoz dokusunda olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda *ELOVL3* mRNA'sının varlığı, kahverengi yağ dokusunun (BAT) yanı sıra karaciğer, deri, böbrek, beyaz yağ dokusu (WAT), kas içi yağ ve kalp gibi organlarda ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, akciğer, testis, kas, dalak, beyin, timus ve bağırsak gibi dokularda herhangi bir sinyal görülmemiştir (Tvrdik *et al.* 1997; Jakobsson *et al.* 2006; Wang *et al.* 2022). Yine mevcut çalışmada, *ELOVL4* geninde en yüksek değer deri dokusuna ait olurken, deriyi sırasıyla dalak ve bezel mide dokuları takip etmiştir. *ELOVL5* geninde ise bezel mide dokusu en büyük ekspresyon değeri göstermesine rağmen diğer dokularda değişim gözlenmemiştir. Çoğu araştırmacı *ELOVL6* geninin geniş bir yelpazede ekspresyon gösterdiğini ancak özellikle yüksek lipid içeriğine sahip dokularda - karaciğer, beyin, WAT ve BAT gibi - daha yoğun bir şekilde bulunduğunu bildirmiştir (Moon *et al.* 2001; Inagaki *et al.* 2002; Tan *et al.* 2015). *ELOVL* ailesinin en yeni tanımlanan elemanı olan *ELOVL7* geni, böbrek, pankreas, adrenal bezler ve prostat gibi organlarda yoğun bir şekilde eksprese edildiği Tamura *et al.* (2009) tarafından ortaya konmuştur.

Memelilerde, PUFA'ların uzatılması çok sayıda elongaz ve desatüراز enzimlerinin varlığına bağlıdır. Dokuya özgü faktörler tarafından ekspresyonu sıkı bir şekilde denetlenen bu enzimler, yağ asidi spesifikliği açısından farklılıklar göstermektedir. Bu da doku dağılımlarının yanı sıra potansiyel olarak çeşitli fonksiyonel rolleri de yansıtmaktadır (Guillo *et al.* 2010). *ELOVL* genlerinin ekspresyonu, memelilerin çoğu dokusunda geniş bir dağılıma sahip olmakla birlikte, patolojik ve fizyolojik düzenleyici olarak görev almaktadır (Leonard *et al.* 2002; Wang *et al.* 2005; Guillo *et al.* 2010). İnsanlarda *ELOVL5*, özellikle testis ve adrenal bezlerde yüksek düzeyde

eksprese edilebilmektedir (Leonard *et al.* 2000; Wang *et al.* 2005). Özellikle sıçanlarda *ELOVL5*'in akciğer ve beyinde en yüksek ekspresyon düzeylerine ulaştığı ve türler arası farklılıklar gösterebileceği belirtilmektedir (Wang *et al.* 2005; Balbo *et al.* 2021). Bu durum ise söz konusu enzimlerin spesifik doku dağılımlarını ve özgül fonksiyonel rollerini vurgulamaktadır (Leonard *et al.* 2000; Inagaki *et al.* 2002).

ELOVL4'ü *ELOVL* ailesinin diğer üyelerinden ayırt eden özellik retina, beyin ve deri gibi organlarda yüksek oranda eksprese edilmesidir (Zhang *et al.* 2001, 2003). Bu spesifik özellik, *ELOVL4*'ün fonksiyonel kapasitesinde de kendini gösterir. Zira bu enzim, diğer memeli *ELOVL* enzimlerinin aksine hem SFA hem de PUFA uzatma yeteneğine sahiptir. Bu çift fonksiyonellik, *ELOVL4*'ün biyolojik sistemlerde çok yönlü bir rol oynadığını göstermektedir (Jakobsson *et al.* 2006).

ELOVL genlerinin doku spesifik ekspresyonu, organizmanın farklı dokularındaki metabolik ihtiyaçlarını belirtmektedir. Örneğin, *ELOVL6*'nın karaciğerdeki yüksek ekspresyonu, bu dokunun trigliserid ve fosfolipid sentezindeki rolünü vurgulamaktadır (Matsuzaka 2021). Bu sonuçlar, *ELOVL6* geninin lipogenez sürecini teşvik ettiğini ve adipositlerdeki doymamış yağ asidi üretimini yükselttiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olmuştur (Shi *et al.* 2017). Bu genlerin doku spesifik ekspresyonları, farklı dokuların yağ asidi metabolizmasındaki işlevsel farklılıkları ve bu farklılıkların organizmanın genel enerji homeostazisine nasıl katkıda bulunduğunu anlamak için önemli bilgiler sunmaktadır (Nakamura *et al.* 2014).

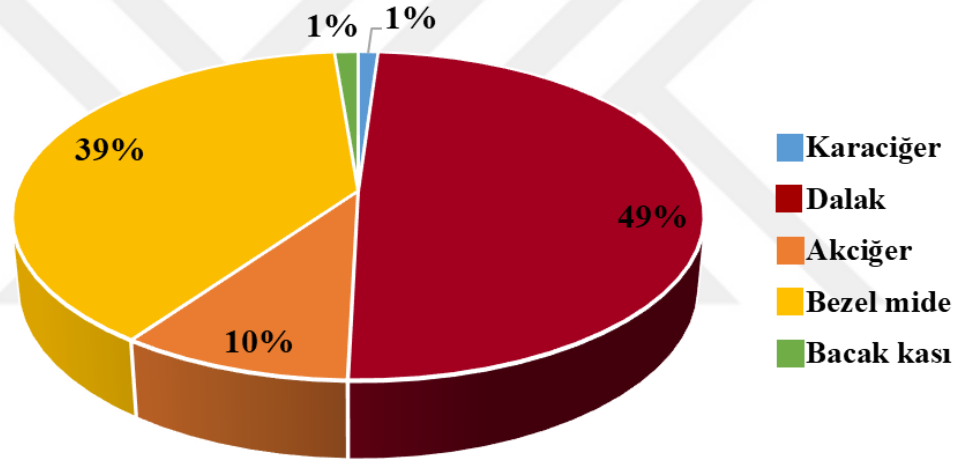
Tablo 18. Yumurta Tavuklarına Ait Bazı Dokularda *ELOVL* Genlerinin Ortalama Ekspresyon Değerleri.

DOKULAR	<i>ELOVL1</i>	<i>ELOVL2</i>	<i>ELOVL3</i>	<i>ELOVL4</i>	<i>ELOVL5</i>	<i>ELOVL6</i>	<i>ELOVL7</i>
Karaciğer	0,00191669	5,24336050 ^a	0,00067097 ^b	0,000076988 ^c	0,01771035 ^b	0,08793071 ^a	0,00055797
İnce bağırsak	0,00009837	0,01961194 ^b	0,00020010 ^b	0,000027680 ^c	0,00006150 ^b	0,00030148 ^b	0,00060067
Göğüs kası	0,00000047	0,00190427 ^b	0,00004736 ^b	0,000002020 ^c	0,00000024 ^b	0,00000190 ^b	0,00000269
Beyin	0,00000111	0,00882607 ^b	0,00005220 ^b	0,000015445 ^c	0,00000363 ^b	0,00000871 ^b	0,00000936
Kalp	0,00001461	0,08347748 ^b	0,00028838 ^b	0,000067569 ^c	0,00003994 ^b	0,00015846 ^b	0,00033539
Göz	0,00001024	0,02188488 ^b	0,00015273 ^b	0,000034760 ^c	0,00000280 ^b	0,00002554 ^b	0,00002316
Adipoz	0,00009481	1,37547043 ^b	0,03005671 ^a	0,000725721 ^{bc}	0,00003043 ^b	0,00040645 ^b	0,00056297
Taşlık	0,00059479	1,42696151 ^b	0,01785941 ^{ab}	0,000861484 ^{bc}	0,00394642 ^b	0,00230426 ^b	0,00280409
Böbrek	0,00016213	0,02012209 ^b	0,00019817 ^b	0,000019614 ^c	0,00051448 ^b	0,00027266 ^b	0,00145517
Deri	0,00006360	0,16226298 ^b	0,00115651 ^b	0,003019446 ^a	0,00001727 ^b	0,00038744 ^b	0,00310496
Yumurtalık	0,00032899	0,00592092 ^b	0,00005784 ^b	0,000032434 ^c	0,00011202 ^b	0,00094320 ^b	0,00059821
Dalak	0,08829883	0,67680902 ^b	0,00090736 ^b	0,002351904 ^{ab}	0,00528883 ^b	0,01019780 ^b	0,00274972
Akciğer	0,01690005	0,12279124 ^b	0,00025465 ^b	0,000774993 ^{bc}	0,00199331 ^b	0,00191652 ^b	0,00729871
Bezel mide	0,06954542	0,65644165 ^b	0,00127636 ^b	0,002109658 ^{ab}	0,12205333 ^a	0,00878007 ^b	0,05359312
Bacak kası	0,00229452	0,14283695 ^b	0,00011097 ^b	0,000700014 ^{bc}	0,00080480 ^b	0,00414598 ^b	0,00539459
SH	0,006	0,248	0,002	0,001	0,006	0,004	0,003
ÖD	ös	0,007**	0,008**	0,001**	0,005**	0,006**	ös

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, *: p<0,05, **:p<0,01, Ös: Önemsiz

Tavuklarda yağ temelde karaciğer, karın bölgesi ve kas lifleri arasında birikmektedir. *ELOVL* gen ailesinin çeşitli dokulardaki lipid birikimi üzerindeki etkisi henüz tam olarak netlik kazanmamıştır. Bu bilgi boşluğu, lipid metabolizmasının karmaşık yapısını ve bu genlerin yağ depolanma süreçlerindeki rollerini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Wang *et al.* 2022).

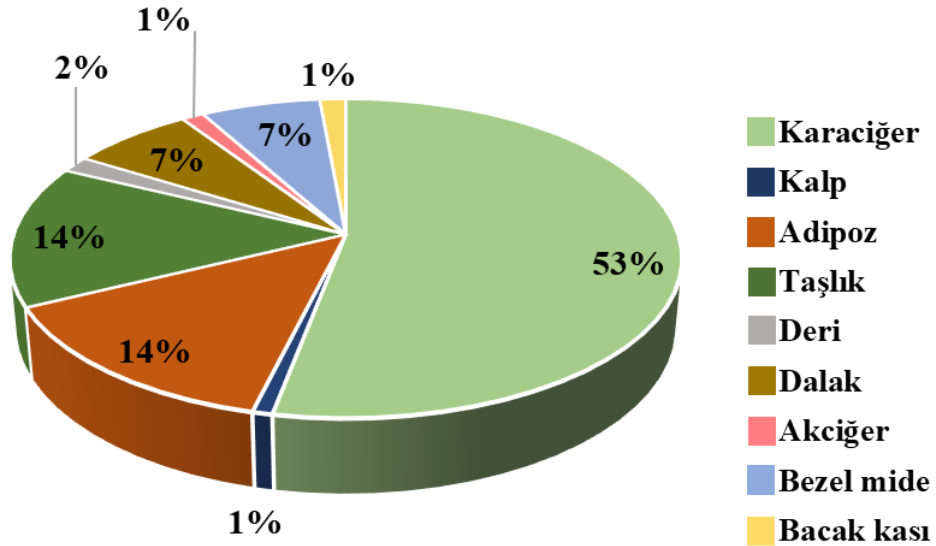
ELOVL1 geninin farklı dokularda ekspresyon seviyeleri Şekil 37’de gösterilmiştir. En yüksek ekspresyon seviyesi %49 ile dalak dokusunda belirlenmiş olup buna en yakın değer %39 ile bezel midede görülmüştür. Bunları sırasıyla akciğer (%10), karaciğer ve bacak kası (%1) takip etmiştir. *ELOVL1* geninin "dalak" ve "bezel mide" dokularında yüksek derecede eksprese edilmesi, bu genin bu dokulardaki biyolojik süreçlerde ve metabolik işlevlerde önemli olduğunu göstermektedir (Şekil 37). Karaciğer, akciğer ve bacak kası ekspresyon seviyelerinin düşük olması, dalak ve bezel mide dokularını gen işlevselliği açısından öne çıkarmıştır.



ELOVL1

Şekil 37. *ELOVL1* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

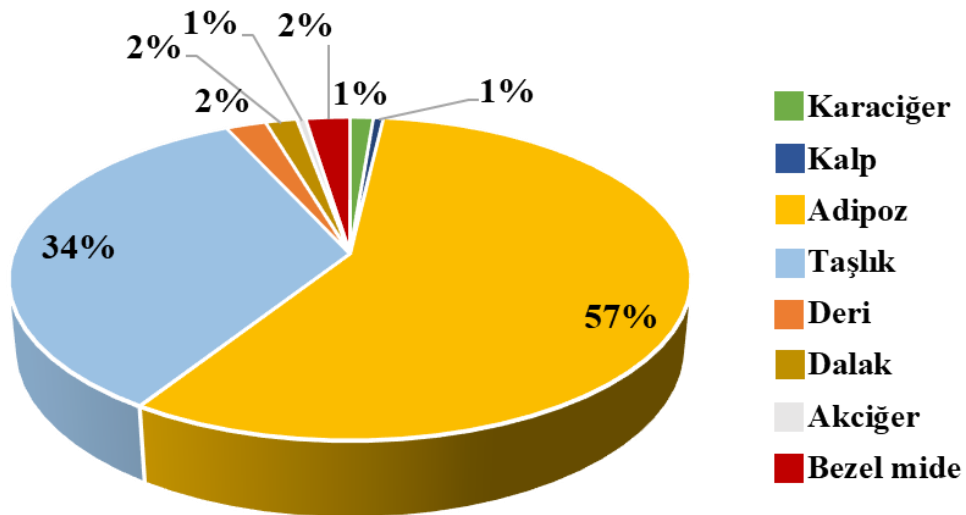
ELOVL2 geninin farklı dokularda ekspresyon seviyelerinin gösterildiği Şekil 38’de karaciğere ait dokuda ekspresyon oranı %53 ile en büyük paya sahiptir. Bunu sırasıyla adipoz ve taşlık %14, dalak ve bezel mide ise %7’lik bir ekspresyon oranı ile takip etmiştir. Deri, kalp, akciğer ve bacak kası dokularında gen ekspresyonu çok düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Şekil 38). *ELOVL2* geninin karaciğer dokusunda belirgin bir şekildeki ekspresyonu, bu genin karaciğerdeki metabolik süreçlerde önemli bir rol alabileceğini bildirmektedir.



ELOVL2

Şekil 38. *ELOVL2* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

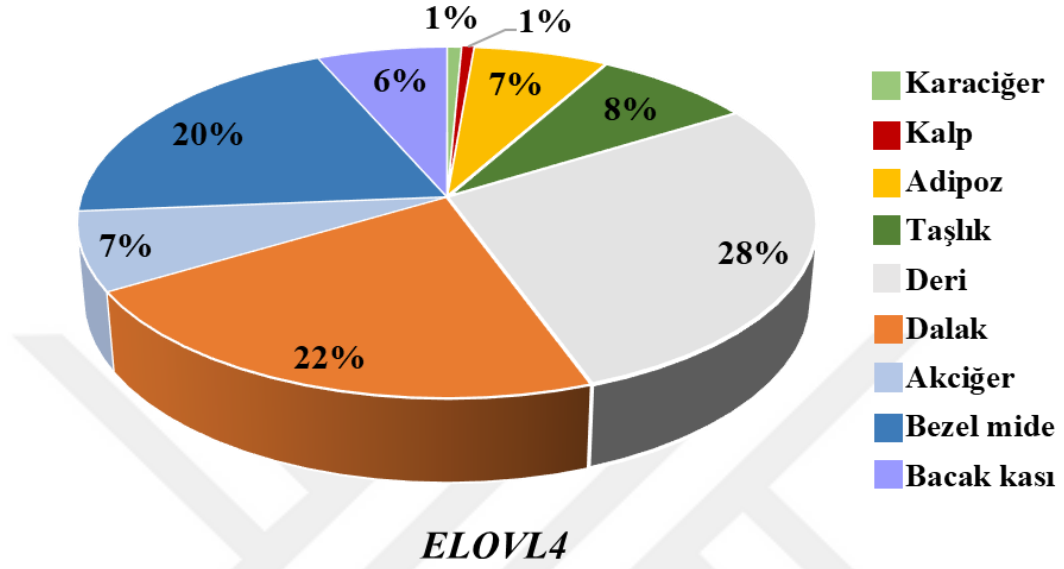
ELOVL3 geninin farklı dokularda ekspresyon seviyeleri Şekil 39’da gösterilmiştir. Grafiği incelediğimizde en yüksek seviye %57 ile adipoz dokusunda tespit edilmiştir. Bunu %34 ile taşlık takip etmiştir. Deri, dalak ve bezel mide ise çok daha düşük bir yüzdeye (%2) sahip olmuşlardır. Bu bulgular, *ELOVL3* geninin yağ asitleri ve lipid metabolizmasındaki önemli rolünü göstermektedir (Şekil 39). Diğer dokularda genin ekspresyon seviyesinin düşük olması, genin bu dokularda daha az önemli olduğunu veya farklı metabolik süreçlerde rol alabileceğine işaret etmektedir.



ELOVL3

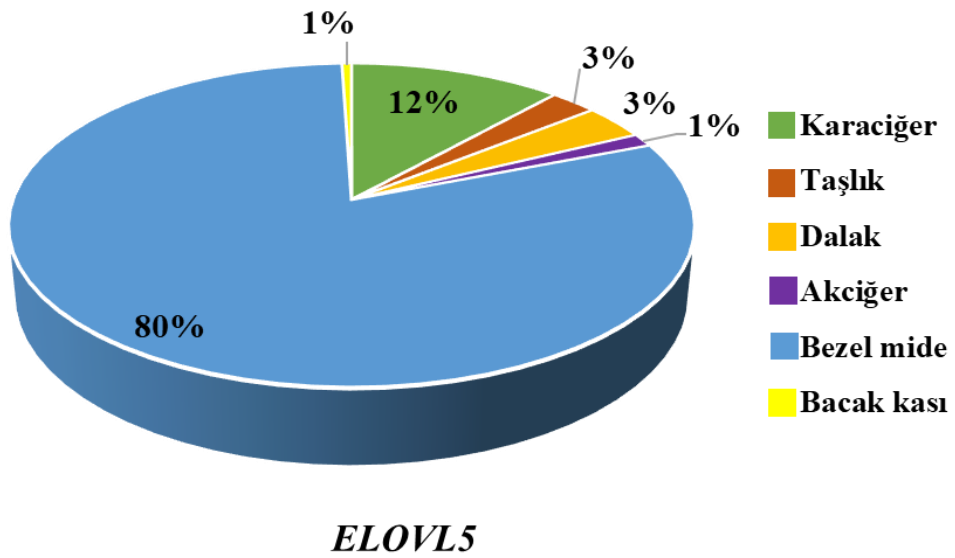
Şekil 39. *ELOVL3* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

ELOVL4 geninin farklı dokularda ekspresyon seviyelerini gösteren Şekil 40'da en yüksek ekspresyon seviyesi deri dokusunda (%28) bulunmuştur. Bunu sırasıyla dalak (%22), bezel mide (%20), taşlık (%8), akciğer doku (%7) ve bacak kası (%6) takip etmiştir. Bu bulgular, genin deri ve lipid metabolizması ile ilişkili dokularda önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.



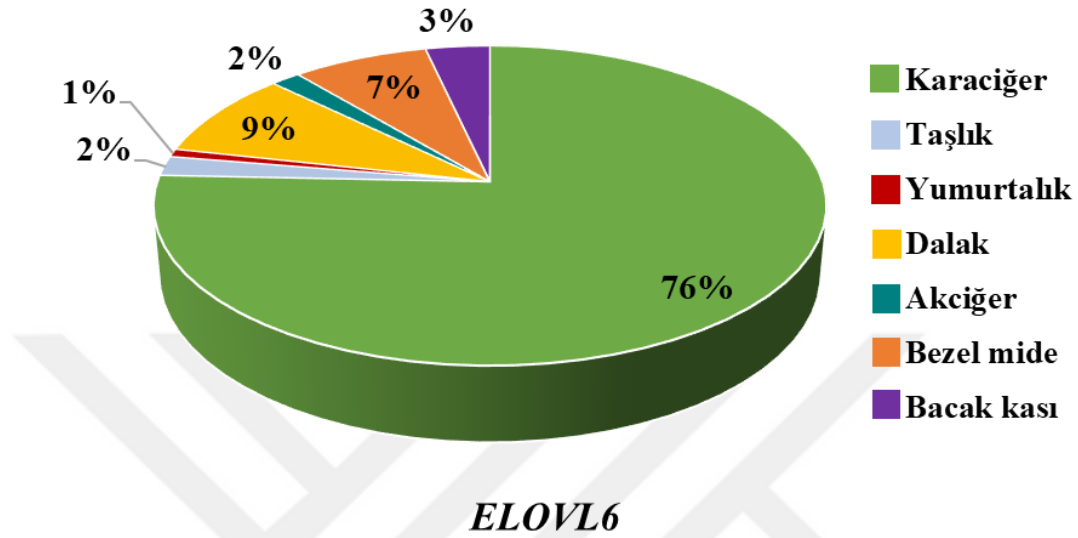
Şekil 40. *ELOVL4* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

ELOVL5 geninin karaciğer, taşlık, dalak, akciğer, bezel mide ve bacak kası dokularında ekspresyon seviyeleri Şekil 41'de gösterilmiştir. *ELOVL5* geninin en yüksek ekspresyon seviyesi %80'lik bir oran ile bezel midede bulunmuştur. Bu oran karaciğerde %12, taşlıkta %3, dalak ve bacak kasında %1 olarak belirlenmiştir (Şekil 41).



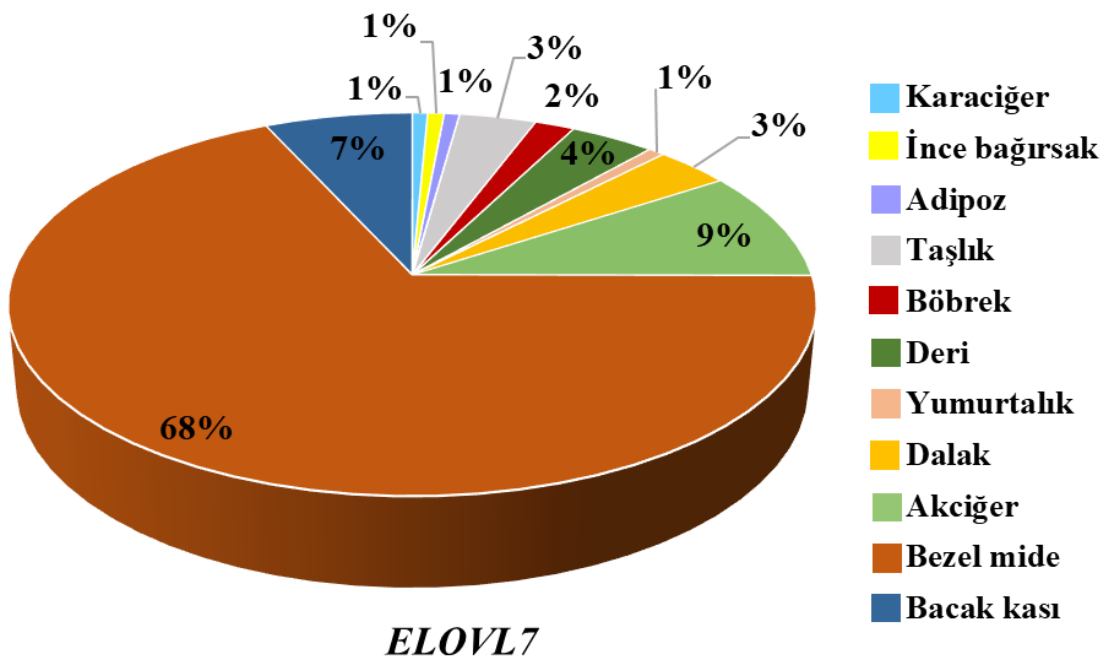
Şekil 41. *ELOVL5* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

ELOVL6 geninin en yüksek ekspresyon seviyesi %76 ile karaciğer dokusunda görülmüştür (Şekil 42). Dalak dokusunun ekspresyon seviyesi %9 ile ikinci sırada yer alırken, bezel mide ve bacak kası dokuları sırasıyla %7 ve %3'lük ekspresyon seviyesine sahip olmuştur. Bu bulgular, genin karaciğerdeki lipid ve yağ asidi metabolizmasındaki önemini vurgulamaktadır.



Şekil 42. *ELOVL6* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

ELOVL7 geninin farklı dokularda belirlenen gen ekspresyonu seviyeleri Şekil 43'te verilmiş ve en yüksek oran bezel mide dokusunda (%68) tespit edilmiştir. Bezel mide dokusunu akciğer (%9), bacak kası (%7) ve deri (%4) takip etmiştir. Diğer dokularda ise gen ekspresyon seviyeleri gittikçe azalmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. *ELOVL7* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

Her bir doku için *ELOVL* genlerinin ekspresyon düzeylerine ait genel değerlendirme aşağıda yapılmıştır.

Karaciğer dokusunda dört gende anlamlı artış gözlemlenmiştir. Genlerin kopya numaralarına göre ekspresyon seviyeleri *ELOLV6* (%76) > *ELOLV2* (%53) > *ELOVL5* (%12) > *ELOLV1* (%1) = *ELOLV3* (%1) = *ELOLV4* (%1) = *ELOLV7* (%1) şeklinde sıralanmıştır. Mevcut çalışma ile benzer olarak Vaittinen *et al.* (2017)'da insanların karaciğer dokusunda *ELOVL6* geninin ekspresyon düzeyinin yüksek olduğunu bulmuşlardır. Karaciğer dokusunda *ELOVL* genleri üzerine yapılan başka bir çalışmada, Guillou *et al.* (2010) *ELOVL2*'nin memelilerin karaciğer dokusunda ekspresyon seviyesinin en yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Wang *et al.* (2005) sıçanlar üzerinde yaptıkları çalışmada, en yüksek ekspresyon düzeyini *ELOV5*'te tespit etmişlerdir. Ayrıca *ELOVL2*'nin karaciğer, akciğer, beyin ve böbrekte eksprese edildiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada karaciğerde *ELOVL6* mRNA düşük seviyelerde eksprese edildiği belirtilmiştir. Sliker *et al.* (2018) *ELOVL2*'nin beyin, karaciğer ve yağ dokusunda yaygın olarak eksprese edildiğini rapor etmişlerdir. Moon *et al.* (2001) ve Matsuzaka *et al.* (2002) *ELOVL6*'nın özellikle memelilerde karaciğer, BAT, WAT ve beyin gibi yüksek lipid içeriğine sahip dokularda eksprese edildiğini ileri sürmüşlerdir. Jakobsson *et al.* (2005) ve Jorgensen *et al.* (2007) *ELOVL3* geninin fare karaciğerinde, derisinde ve BAT'ta önemli ölçüde eksprese edildiğini bildirmişlerdir.

Mevcut çalışmada adipoz dokusunda *ELOVL3* (%57) > *ELOVL2* (%14) > *ELOVL4* (%7) > *ELOVL7* (%1) genlerinde anlamlı bir artış gözlenmiştir. Elde edilen sonuç, Jorgensen *et al.* (2007) ile Jakobsson *et al.* (2005)'nın *ELOVL3* geninin farelerde BAT'ta ekspresyon seviyesinin öne çıktığını bildiren çalışmalarıyla paralellik göstermiştir. Ancak Guillou *et al.* (2010) memelilerin adipoz dokusunda *ELOVL2* geninin ekspresyonunun önemli seviyede olduğunu tespit etmişlerdir.

Söz konusu çalışmada, taşlık dokusunda *ELOVL1* geni hariç diğer genlerde ekspresyon olduğu görülmüştür. *ELOVL3* geni ekspresyon artışı diğer genlerden daha yüksek bulunmuş ve sıralama *ELOVL3* (%34) > *ELOVL2* (%14) > *ELOVL4* (%8) > *ELOVL7* (%3) = *ELOVL5* (%3) > *ELOVL6* (%2) şeklinde olmuştur.

Mevcut çalışmada deride en yüksek ekspresyon *ELOVL4*'te tespit edilmiştir. Kopya numaralarına göre ekspresyon oranları sırasıyla *ELOVL4* (%28) > *ELOVL7* (%4) > *ELOVL3* (%2) = *ELOLV2* (%2) şeklinde belirlenmiştir. Memelilerde *ELOVL4* beyin, retina ve deride çok uzun zincirli (VLC, $\geq$ C28) doymuş (VLC-SFA) ve çoklu doymamış (VLC-PUFA) yağ asitlerinin biyosentezinden sorumlu bir elongazdır (Hopiavuori *et al.* 2018). Zhang *et al.* (2001, 2003) insan ve farenlerde *ELOVL4*'ün beyin, retina ve deride yüksek oranda eksprese edildiğini

belirtmişlerdir. Mandal *et al.* (2004) farede retina, beyin, deri, testis ve lenste önemli miktarda *ELOVL4* mRNA ekspresyonu tespit etmişlerdir. Fehrenschild *et al.* (2012) *ELOVL3* geninin ekspresyonu ile farelerde cilt bariyerinin düzenlendiğini bildirmişlerdir. Westerberg *et al.* (2004) *ELOVL3* geninin farede deri ve saçın sağlıklı fonksiyonu için gerekli olan lipidlerin sentezinde önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Isokawa *et al.* (2019) *ELOVL1* geninin farede deri dokusunda ekspresyon seviyesinin öne çıktığını bulmuşlardır. Wang *et al.* (2005) ise *ELOVL3*'ü sıçanların yalnızca derisinde tespit etmişlerdir. McMahon *et al.* (2011) *ELOVL4*'ün farelerde cildin yanı sıra retina, beyin ve testislerde de eksprese edildiğini rapor etmişlerdir.

ELOVL gen ailesinin ekspresyonlarının tavukta östrojen tarafından düzenlenip düzenlenmediği henüz kesinlik kazanmamakla birlikte yapılan bazı çalışmalarda, *ELOVL* genlerinin ekspresyonunun tavuk karaciğeri ve hipotalamusunda östrojen tarafından düzenlendiği bildirilmiştir. Mevcut çalışmada, *ELOVL6* (%1) ve *ELOVL7* (%1) genlerinin az da olsa yumurtalık dokusunda ekspresyonu görülmüştür. Tavuk karaciğeriindeki östrojen hormonunun *ELOVL6* ve *ELOVL7* genlerinin ekspresyonlarını artırdığı da bildirilmiştir (Wang *et al.* 2022).

Mevcut çalışmada dalak dokusunda *ELOVL7* geni hariç diğer tüm *ELOVL* alt gen tipleri belirgin şekilde eksprese edilmiştir. Kopya numaralarına göre ekspresyon oranları sırasıyla *ELOVL1* (%49) > *ELOVL4* (%22) > *ELOVL6* (%9) > *ELOVL2* (%7) > *ELOVL5* (%3) = *ELOVL7* (%3) > *ELOVL3* (%2) şeklinde belirlenmiştir. Ohno *et al.* (2010) memelilerde *ELOVL2* hariç *ELOVL1*, *ELOVL3*, *ELOVL4*, *ELOVL5*, *ELOVL6* ve *ELOVL7*'nin dalak dokusunda ekspresyonunu tespit etmişlerdir

Söz konusu çalışmada akciğer dokusunda 4 adet alt *ELOVL* geni eksprese edilmiştir. Kopya numaralarına göre ekspresyon oranları sırasıyla *ELOVL1* (%10) > *ELOVL7* (%9) > *ELOVL4* (%7) > *ELOVL6* (%2) > *ELOVL5* (%1) = *ELOVL3* (%1) = *ELOVL2* (%1) şeklinde belirlenmiştir. Benzer olarak Wang *et al.* (2005) sıçanlar üzerinde yaptıkları bir çalışmalarında, *ELOVL1* geninin akciğer, beyin, böbrek ve kalpte belirgin düzeyde eksprese edildiğini; karaciğer, BAT ve deride söz konusu genin ekspresyon seviyesinin daha düşük düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir.

Bezel mide dokusunda tüm *ELOVL* genlerinde ekspresyon görülmüştür. Kopya numaralarına göre ekspresyon oranları sırasıyla *ELOVL5* (%80) > *ELOVL7* (%68) > *ELOVL1* (%39) > *ELOVL4* (%20) > *ELOVL6* (%7) = *ELOVL2* (%7) > *ELOVL3* (%2) olarak tespit edilmiştir. Bu genler arasında *ELOVL5* geni bezel mide dokusunda anlamlı bir artış göstermiştir. Lin *et al.* (2018) *Elovl5*'in ekspresyon seviyesini balık midesinde daha yüksek;

böbrek, dalak, bağırsak, beyin, göz, karaciğer, solungaç, kas ve kalpte ise daha düşük oranda gözlemlenmişlerdir.

Mevcut çalışmada *ELOVL* gen ailesi arasında böbrek dokusunda sadece *ELOVL7* geninin ekspresyonu tespit edilmiştir. Tamura *et al.* (2009) ise insanda *ELOVL7*'nin prostat, böbrek ve adrenal bezde eksprese edildiğini bildirmişlerdir.

Bacak kasına ait dokuda *ELOVL1*, *ELOVL6* ve *ELOVL7* genlerinde ekspresyon tespit edilmiştir. Bacak kasında ekspresyon artış oranları sırasıyla *ELOVL7* (%7) > *ELOVL4* (%6) > *ELOVL6* (%3) > *ELOVL1* (%1) = *ELOLV2* (%1) = *ELOLV5* (%1) şeklinde belirlenmiştir. Corominas *et al.* (2013) *ELOVL6* genini kas ve sırt dokularında eksprese etmişlerdir.

***FADS* gen ailesi ekspresyonunun dokuya özgü etkisi**

Yumurta tavuklarının çeşitli dokularında *FADS* gen ailesi üyelerinin (*FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2*, *FADS6*) ekspresyon değerleri Tablo 19'da verilmiştir. *FADS* genleri, PUFA'ların metabolizmasında kilit rol oynayan desatüراز enzimlerini kodlamaktadır. Bu genlerin ekspresyon düzeyleri, dokunun yağ asidi kompozisyonunu ve dolayısıyla da çeşitli biyolojik işlevleri etkileyebilmektedir. Tablo 19'da *FADS* genlerinin dokulara ait değerleri incelendiğinde, *FADS1a* ve *FADS1b* genleri için en yüksek ekspresyon değeri karaciğer dokusunda tespit edilmişken, *FADS1c* geninde en yüksek ekspresyon düzeyi dalakta belirlenmiştir. *FADS2* geni için karaciğer dokusu çok yüksek ekspresyona sahip olurken, *FADS6* için adipoz dokudan sonra en yüksek değer karaciğer dokusunda bulunmuştur. *FADS1a* - *FADS1b* - *FADS1c* genlerinin aynı dokuda farklı ekspresyon seviyeleri göstermesi fonksiyonel olarak farklı olduklarını ve mutasyona uğradıklarını ortaya koymaktadır.

Karaciğerin özellikle *FADS2* ve *FADS6* için yüksek ekspresyon düzeyleri göstermesi bu dokunun yağ asidi metabolizmasındaki merkezi rolünü yansıtmaktadır. *FADS2*'nin, ω -3 ve ω -6 yağ asitlerinin ilk desatürasyon adımı görev aldığı bilinmesine rağmen, *FADS6*'nın spesifik işlevi daha tam olarak anlaşılmamıştır. Ancak *FADS6*'nın yüksek ekspresyonu, bu genin de karaciğerde önemli roller üstlenebileceğini düşündürmektedir. *FADS* genlerinin ekspresyonlarının dokuya özgü olması farklı dokuların PUFA ihtiyaçlarının ve metabolik profilinin farklı olduğunu göstermektedir. Örneğin, adipoz dokuda *FADS6*'nın son derece yüksek ekspresyonu, bu dokunun özellikle ω -6 yağ asitlerinin metabolizmasında önemli bir rol oynayabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 19. Yumurta Tavuklarına Ait Bazı Dokularda *FADS* Genlerinin Ortalama Ekspresyon Değerleri

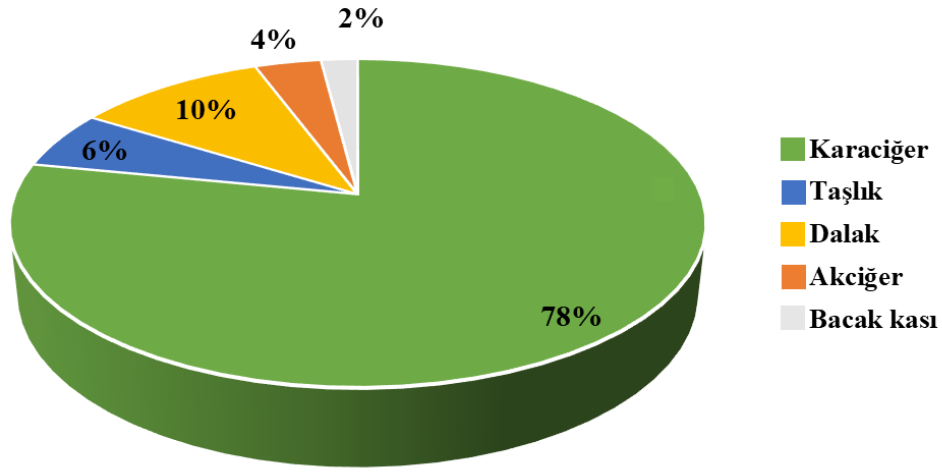
DOKULAR	<i>FADS1a</i>	<i>FADS1b</i>	<i>FADS1c</i>	<i>FADS2</i>	<i>FADS6</i>
Karaciğer	0,16834480 ^a	0,45745404 ^a	0,09930174 ^b	0,67561739 ^a	12,06819174 ^b
İnce bağırsak	0,00059659 ^b	0,09871430 ^b	0,02265240 ^b	0,00244538 ^b	0,29874265 ^c
Göğüs kası	0,00000946 ^b	0,00135717 ^b	0,00097407 ^b	0,00003890 ^b	0,01988823 ^c
Beyin	0,00004885 ^b	0,00078271 ^b	0,00509323 ^b	0,00032524 ^b	0,11703922 ^c
Kalp	0,00022803 ^b	0,15192581 ^b	0,07083579 ^b	0,00562055 ^b	1,26634549 ^c
Göz	0,00014180 ^b	0,06227162 ^b	0,01663388 ^b	0,00268702 ^b	0,28304803 ^c
Adipoz	0,00098171 ^b	0,16822624 ^b	0,99327300 ^{ab}	0,00461736 ^b	30,49725566 ^a
Taşlık	0,01237052 ^b	0,07781074 ^b	0,73440502 ^{abc}	0,00280419 ^b	0,31741962 ^c
Böbrek	0,00036976 ^b	0,03652651 ^b	0,07408500 ^b	0,00358874 ^b	0,24731443 ^c
Deri	0,00104941 ^b	0,01590308 ^b	0,64996936 ^{abc}	0,00033977 ^b	2,23328689 ^c
Yumurtalık	0,00030322 ^b	0,00116240 ^b	0,00920019 ^b	0,00125818 ^b	0,09225589 ^c
Dalak	0,02260992 ^b	0,01929744 ^b	1,12421443 ^a	0,02000893 ^b	4,54243613 ^c
Akciğer	0,00786143 ^b	0,00481379 ^b	0,19441573 ^b	0,00547231 ^b	1,06686361 ^c
Bezel mide	0,00230995 ^b	0,01661438 ^b	0,57663827 ^{abc}	0,00582561 ^b	3,08088159 ^c
Bacak kası	0,00435080 ^b	0,00717804 ^b	0,23214662 ^{bc}	0,00478264 ^b	1,92423323 ^c
SH	0,007	0,019	0,071	0,024	0,837
ÖD	0,001**	0,008**	0,007**	0,000**	0,000**

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi
SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası, **:p<0,01

FADS genlerinin, özellikle de *FADS2* ve *FADS6*'nın, karaciğer ve adipoz dokuda yüksek ekspresyon düzeyleri dikkat çekicidir. Bu durum, karaciğerin ve adipoz dokunun yağ asidi metabolizmasında merkezi rollerinin olduğunu göstermektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, insanlarda *FADS* genlerinin bu dokulardaki aktivitesinin metabolik sağlık üzerinde önemli etkilerinin olduğuna vurgu yapılmaktadır (Sergeant *et al.* 2023).

Bağırsak ve beyinde *FADS* gen ekspresyonunun daha düşük olması, bu dokuların spesifik yağ asidi kompozisyonuna ihtiyaçlarının olduğuna işaret etmektedir. Özellikle insanda beyin, ω -3 ve ω -6 yağ asitleri arasındaki doğru bir dengeye büyük ölçüde bağımlı olduğu ve bu dengenin, nörolojik fonksiyonlar ve hastalıkları etkilediği Simopoulos (2011) tarafından bildirilmiştir.

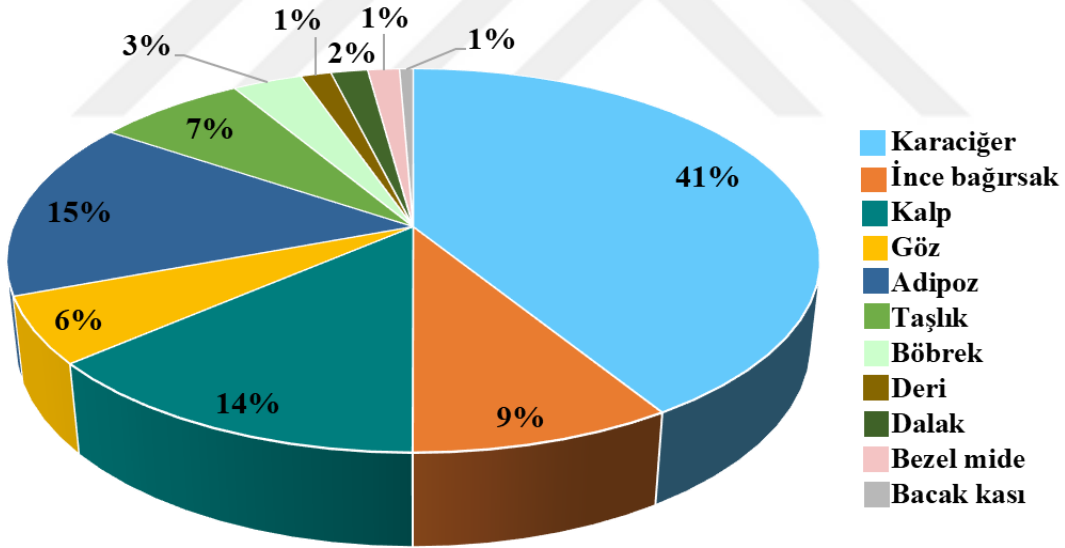
FADS1a geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyelerinin verildiği Şekil 44 incelendiğinde, karaciğer dokusunun en büyük paya (%78) sahip olduğu görülmektedir. Karaciğer dokusunu ise dalak (%10), taşlık (%6), akciğer (%4) ve bacak kası (%2) takip etmektedir (Şekil 44).



FADS1a

Şekil 44. *FADS1a* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

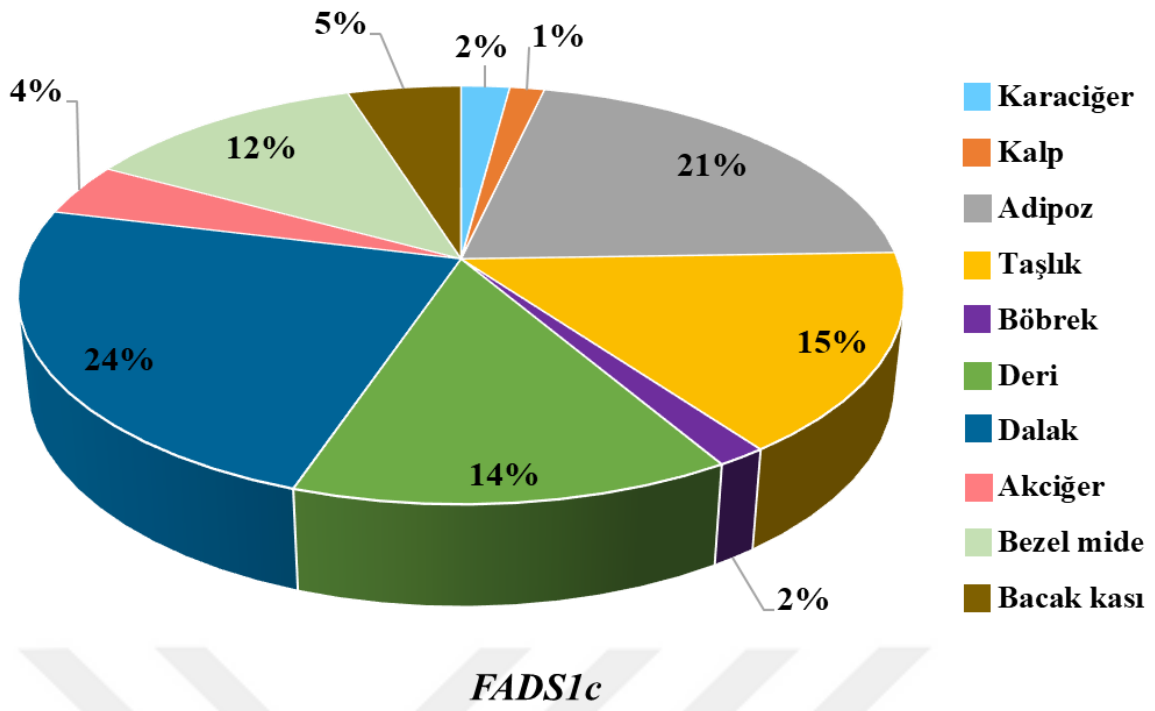
FADS1b geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyelerine bakıldığında bütün dokular içerisinde karaciğer en büyük paya (%41) sahip olmuştur. Bu dokuyu sırasıyla adipoz (%15), kalp (%14), ince bağırsak (%9), taşlık (%7), göz (%6) ve böbrek (%3) dokusu izlemiştir (Şekil 45).



FADS1b

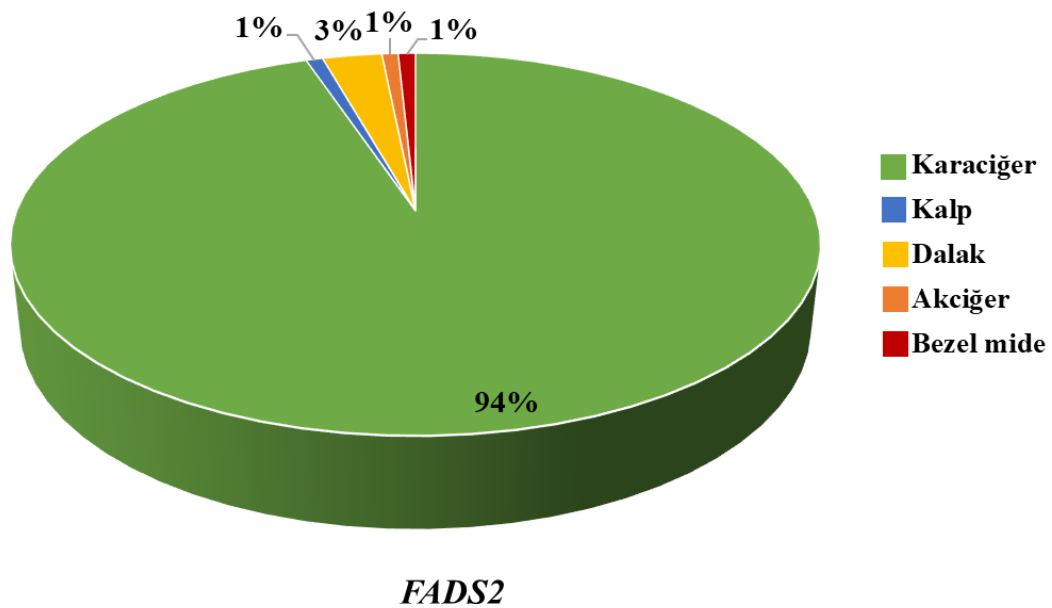
Şekil 45. *FADS1b* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

Şekil 46'daki grafik incelendiğinde, *FADS1c* geninin en yüksek ekspresyon seviyesine (%24) dalak dokusunun sahip olduğu görülmektedir. Bu dokuyu sırasıyla adipoz (%21), taşlık (%15), deri (%14) ve bezel mide (%12) takip etmiştir. Tavukta *FADS1a-c*'nin farklı dokularda dominant olması transkripsiyonel düzenlemelerin farklı olduğuna (başka bir ifade ile farklı görevleri olduğuna) işaret etmektedir. Bu varsayıma kesin bir cevap bulunabilmesi için bu üç genin transkripsiyonel kontrol bölgelerinin çalışılması gereklidir.



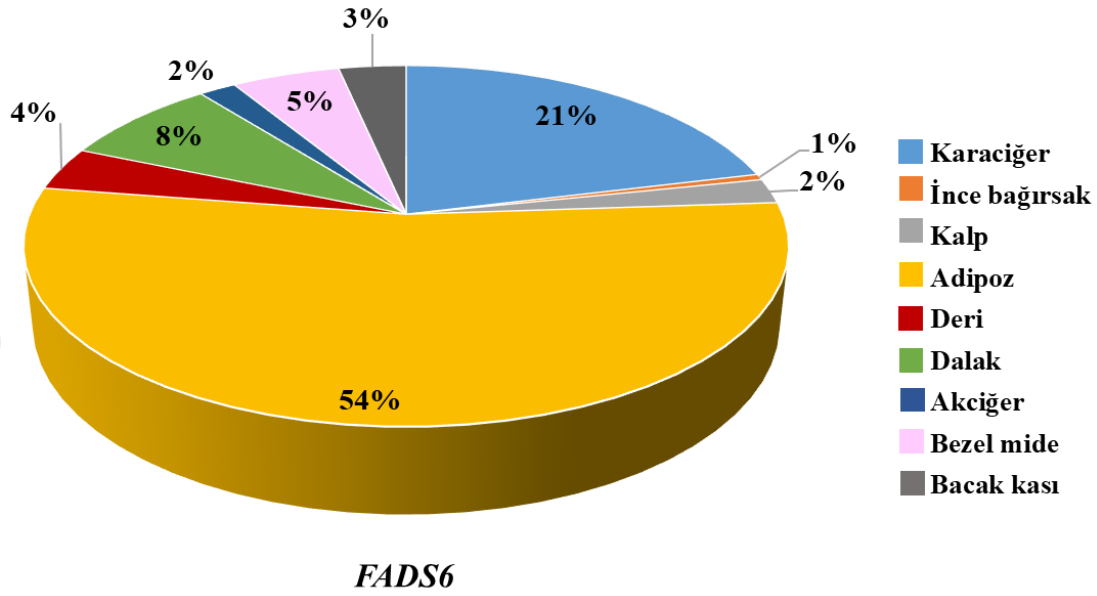
Şekil 46. *FADS1c* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

FADS2 geninin karaciğer dokusunda baskın olarak eksprese edildiği (%94) Şekil 47’de görülmektedir. *FADS2* geninin karaciğer dokusunda yüksek oranda eksprese edilmesi genin karaciğerdeki biyolojik işlevinin önemini ve bu dokudaki metabolik süreçlerde oynadığı kritik rolü yansıtmaktadır. Diğer dokularda ise genin göreceli olarak düşük seviyelerde eksprese edilmesi, genin işlevsel olarak karaciğere özgü veya karaciğerde öncelikli olduğunu göstermektedir. Bu tür veriler, hücresel ve moleküler biyoloji çalışmalarında genin doku spesifik işlevlerini anlamak için önemli bir parametredir.



Şekil 47. *FADS2* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

FADS6 geninin en yüksek ekspresyon seviyesi %54 ile adipoz dokusunda tespit edilmiş ve bunu %21'lik oranla karaciğer takip etmiştir (Şekil 48). *FADS6* geninin adipoz dokuda belirgin bir şekilde yüksek seviyede eksprese edildiği, karaciğer ve dalak dokularının da önemli ekspresyon seviyelerine sahip olduğu, diğer dokuların ise genin ekspresyon profili içinde daha düşük bir paya sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 48. *FADS6* geninin farklı dokulardaki ekspresyon seviyeleri.

FADS genlerinin her bir dokudaki ekspresyon seviyeleri incelendiğinde, karaciğer *FADS* genlerinin ekspresyon düzeyleri sırasıyla *FADS2* (%94) > *FADS1a* (%78) > *FADS1b* (%41) > *FADS6* (%21) > *FADS1c* (%) şeklinde bulunmuştur.

İnce bağırsak dokusunda yalnızca *FADS1b* (%9) ve *FADS6* (%) genlerinde anlamlı ekspresyon seviyeleri görülmüştür. Kalp dokusunda sıralama *FADS1b* (%14) > *FADS6* (%) > *FADS1c* (%) = *FADS2* (%) şeklinde olurken, göz dokusunda yalnızca *FADS1b* (%) geninde anlamlı derecede artış tespit edilmiştir.

FADS genlerinin ekspresyon seviyeleri adipoz dokuda *FADS6* (%54) > *FADS1c* (%21) > *FADS1b* (%15); taşlıkta *FADS1c* (%15) > *FADS1b* (%) > *FADS1a* (%6); deride ise *FADS1c* (%14) > *FADS6* (%) > *FADS1b* (%) olarak saptanmıştır. Mevcut sıralama dalakta *FADS1c* (%24) > *FADS1a* (%10) > *FADS6* (%) > *FADS2* (%) > *FADS1b* (%2); bezel midede *FADS1c* (%12) > *FADS6* (%) > *FADS1b* (%) = *FADS2* (%1); akciğerde *FADS1a* (%) > *FADS1c* (%) > *FADS6* (%) > *FADS2* (%) ve bacak kasında *FADS1c* (%) > *FADS6* (%) > *FADS1a* (%) > *FADS1b* (%) şeklinde olmuştur.

FADS1/2 mRNA ekspresyonları yağ depolarına oranla karaciğerde daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, *FADS1/2* geninin insan karaciğerinde PUFA desatüراز aktivitesi için

ana bölge olduğunu göstermektedir (Vaithinen *et al.* 2017). Benzer şekilde sıçanların karaciğer ve yağ dokularında *FADS1* ve *FADS2* mRNA'nın önemli ölçüde aşırı eksprese olduğu bildirilmiştir (Rodriguez-Cruz *et al.* 2011).

Yapılan çalışmalar, *fads2* ($\Delta 6$ fad) geninin balıkların çeşitli organ ve dokularında, özellikle de karaciğer ve beyinde geniş çapta eksprese edildiğini göstermiştir (Seiliez *et al.* 2001, 2003; Tocher *et al.* 2006; Zheng *et al.* 2009). Balıklar üzerinde yapılan başka bir çalışmada, diyet içeriğinin değiştirilmesinin karaciğer, kas ve bağırsakta $\Delta 6$ fad (*fads2*) mRNA'nın ekspresyonunu arttırdığı ancak beyinde anlamlı bir farka neden olmadığı bildirilmiştir (Nayak *et al.* 2017). Gonzalez-Rovira *et al.* (2009)'na göre *fads2* geni balıklarda kalpte ve beyinde yüksek olmasına rağmen karaciğerde daha düşük seviyede ekspresyon göstermiştir. Ren *et al.* (2013) ise *fads2* geninin ekspresyon seviyesini balıklarda bağırsak, karaciğer ve beyin dokularında yüksek, kalp dokusunda ise düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

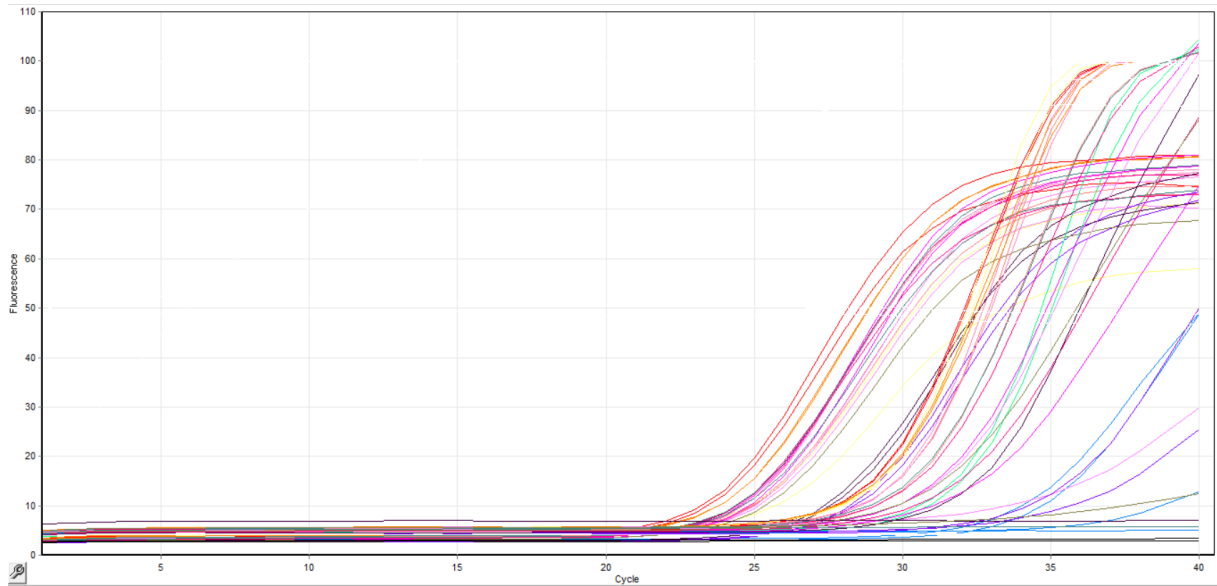
İnsanlarda *FADS1* için 12 ve *FADS2* için 23 dokuda anlamlı ekspresyon belirleyen Reynolds *et al.* (2018), *FADS1* ve *FADS2* genlerinin, adrenal bez ve beyin dokularında en yüksek ekspresyon seviyelerine ulaştığını belirtmişlerdir. Ancak *FADS2* geninin genel olarak *FADS1* geninden daha yüksek seviyelerde eksprese edildiğini bildirmişlerdir. *FADS1* geninin adrenal bez ve beyin dokularında yüksek, karaciğer ve deri altı yağ dokusunda daha düşük seviyede ekspresyon gösterdiği; *FADS2* geninin ise adipoz dokuda (deri altı) daha yüksek ekspresyon ile ilişkilendirildiği, ancak beyin ve karaciğerdeki *FADS2* ekspresyonu ile anlamlı bir ilişki göstermediği bildirilmiştir.

İnsanlarda *FADS2* geninde karaciğer dokusunun yüksek ekspresyon gösterdiğine ait sonuçlar, yapılan diğer çalışmaların bildirişleriyle örtüşmüştür (Walle *et al.* 2019). Mevcut çalışmada karaciğer dokusunun yüksek ekspresyonu ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar araştırmacıların bildirdiği bulgularla paralellik göstermektedir.

Kurkuminin *ELOVL* gen ailesi ekspresyonu üzerine etkisi

Aşağıda verilen grafik örneği, gen ekspresyon seviyelerinin kantitatif olarak ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan, gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (qPCR) analizi ile yapılan bir delta delta Ct ($\Delta\Delta Ct$) tekniğine ait amplifikasyon eğrilerini ifade etmektedir (Şekil 49). Grafikte bulunan çoğu eğri 20-25 sikluslar arasında anlamlı bir artış göstermektedir. Bu siklus eşiği, belirli bir genin başarılı bir şekilde amplifiye edildiğini ve belirgin bir miktarda ürünün oluştuğunu bildirmektedir. Her bir renkli eğri, farklı muamele gruplarındaki tavuk karaciğerinden alınan dokulardaki aynı genlerin amplifikasyonunu temsil etmektedir.

Gen ekspresyon seviyesinin göreceli bir ölçütü olarak kullanılan döngü eşik (Ct) değeri ne kadar düşükse başlangıçta o kadar fazla hedef molekül varlığını ve amplifikasyonun fazlalığını bildirmektedir. Bu da daha yüksek bir gen ekspresyon seviyesine işaret etmektedir. Ters durumlarında, yani yüksek bir Ct değeri ise daha az miktarda başlangıç hedef molekülün ve dolayısıyla daha düşük bir ekspresyon seviyesinin olduğunu belirtmektedir. mRNA bolluğu ile Ct değeri arasındaki ilişki ters orantılıdır (Schmittgen and Livak 2008). Yani, bir örnekteki mRNA miktarı arttıkça, qPCR işlemi sırasında bu mRNA'nın tespit edilmesi için gereken döngü sayısı azalır.



Şekil 49. Karaciğer gen örneklerinin qPCR uygulaması ile elde edilen delta delta city analizi amplifikasyon görüntüsü.

Grafikteki eğriler, gen ekspresyon seviyelerinin kantitatif analizinde başarılı bir amplifikasyonu göstermektedir. Grafikten alınan Ct (Cycle Threshold = Döngü Eşiği) değerleri hesaplanarak sonuçlar istatistiksel olarak yorumlanmıştır (Tablo 20 ve Tablo 21).

Tablo 20 ve Şekil 50’de diyetlerine farklı seviyelerde kurkumin ilave edilen yumurta tavuklarının karaciğer dokularında *ELOVL* gen ailesinin ekspresyonuna ait Ct değerleri verilmiştir. Bu genlerin ekspresyon seviyeleri, dokuların lipid metabolizmasındaki farklılıklarını ve diyetin etkisini göstermektedir. Tablo 20’de, kurkumin seviyesinin *ELOVL1* geni üzerine önemli ($p<0,05$) düzeyde etki ettiği anlaşılmaktadır. Özellikle 200 ve 300 mg/kg kurkumin ilave edilen gruplarda ekspresyon seviyesinin en yüksek olduğu görülmektedir. *ELOVL2* geni mRNA ekspresyon seviyesinin K200 ve K300 gruplarında K0 grubuna göre önemli ($p<0,01$) düzeyde düştüğü belirlenmiştir. Fakat K100 ve K400 gruplarında ekspresyon seviyeleri K0 grubundan farklı olmamıştır. *ELOVL3* ve *ELOVL4* gen ekspresyon düzeyleri diyetle kurkumin ilavesinden etkilenmemiştir. *ELOVL5* gen ekspresyon değerleri bakımından gruplar arasında önemli ($p<0,01$) farklılık tespit edilmiştir. Kurkuminin seviyesindeki artışa bağlı

olarak *ELOVL5* ekspresyon seviyesi artmış ve en yüksek değer K400 grubunda bulunmuştur. Tablo 20’de *ELOVL6* gen ekspresyonu bakımından gruplar arasında çok önemli ($p<0,01$) farklılıkların olduğu görülmektedir. Diyete 100 mg/kg kurkumin ilavesinin *ELOVL6* ekspresyon düzeyini en yüksek seviyeye çıkardığı, fakat kurkuminin artan seviyesiyle beraber ekspresyon seviyesinin K0 grubuna göre önemli düzeyde düştüğü saptanmıştır. Gruplar arasında *ELOVL7* gen ekspresyon seviyeleri bakımından önemli ($p<0,05$) farklılık bulunmuştur. En yüksek ekspresyon düzeyi K100 grubunda tespit edilmiştir.

Kurkuminin *ELOVL* gen ekspresyonu üzerindeki etkileri, bu bileşiğin yağ asidi metabolizması üzerinde önemli modülatör etkileri olabileceğini göstermektedir. Bu değişiklikler, hücrel lipid kompozisyonunu ve dolayısıyla hücre membranlarının özelliklerini, enerji depolama mekanizmalarını ve hücrel sinyal yollarını etkileyebilmektedir.

Tablo 20. Kurkuminin Karaciğer Dokusunda *ELOVL* Gen Ekspresyonlarına Etkisi

GRUPLAR	<i>ELOVL1</i>	<i>ELOVL2</i>	<i>ELOVL3</i>	<i>ELOVL4</i>	<i>ELOVL5</i>	<i>ELOVL6</i>	<i>ELOVL7</i>
K0	0,49341 ^c	2,67844 ^a	0,24844	0,00030	0,06784 ^c	2,20961 ^b	0,74512 ^c
K100	0,77466 ^b	2,68552 ^a	0,26880	0,00089	0,08972 ^c	2,85203 ^a	1,29421 ^a
K200	1,08708 ^a	0,57946 ^b	0,11225	0,00240	0,35716 ^b	1,39666 ^c	0,97407 ^b
K300	1,35312 ^a	0,45492 ^b	0,26849	0,00270	0,59961 ^b	0,68613 ^d	0,99363 ^b
K400	0,16562 ^d	3,29841 ^a	0,24910	0,00121	0,84306 ^a	0,43991 ^d	0,25227 ^d
SH	0,135	0,274	0,023	0,001	0,084	0,192	0,116
ÖD	0,039*	0,000**	ös	ös	0,009 **	0,000 **	0,050 *

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyete 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyete 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyete 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyete 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c,d}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası *: $p<0,05$, **: $p<0,01$, ös: Önemsiz

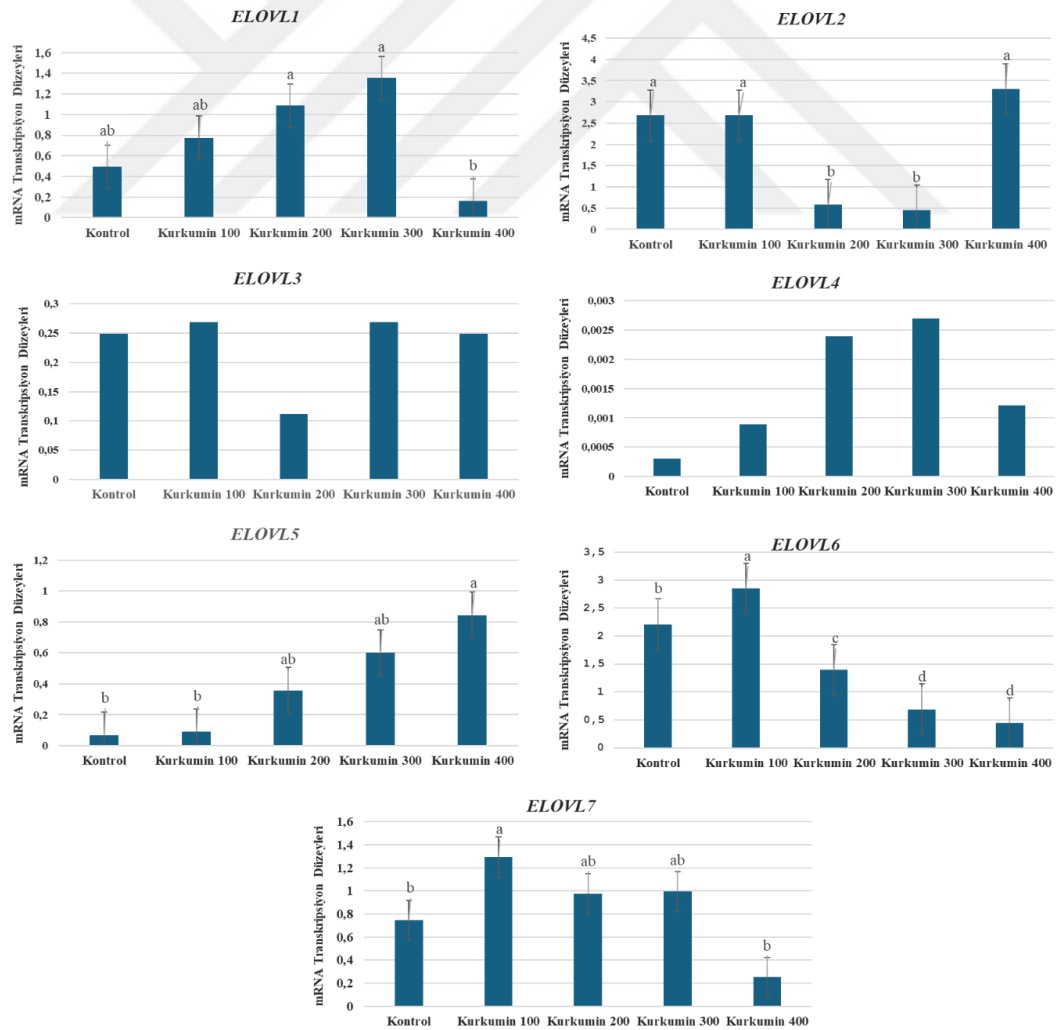
ELOVL gen ailesi, PUFA’ların uzun zincirli türevlerinin biyosentezinde önemli rol oynamaktadır. Bu genlerin ekspresyon düzeyleri, hücrelerin ve dokuların lipid kompozisyonunu doğrudan etkileyebilir. Bu etkileşimde hücrel fonksiyonlar, inflamasyon tepkiler ve insanlarda metabolik hastalıklar üzerinde önemli etki yaratabilir (Rocha *et al.* 2017).

Kurkuminin farklı dozlarının, *ELOVL* gen ailesinin üyeleri üzerindeki ekspresyon düzeylerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmektedir. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalar, kurkuminin lipogenez ile ilgili genlerin ekspresyonunu modüle ederek lipid metabolizmasının düzenlenmesinde rol oynadığını göstermiştir (Jang *et al.* 2008; Ejaz *et al.* 2009; Shao *et al.* 2012; Hasan *et al.* 2014; Xie *et al.* 2019).

Bu çalışmada *ELOVL4* gen ekspresyon düzeyinin kurkuminin seviyesine bağlı olarak artış göstermesine rağmen gruplar arasında önemli bir fark saptanmamıştır. Daha önceki araştırmalar *ELOVL4* geninin çok uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin

elagasyonundan sorumlu olduğunu ortaya koymuştur (Jakobsson *et al.* 2006). Geçmişte yapılan çalışmalarda, *ELOVL5* geninin uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin hepatik sentezinden sorumlu olduğu (Wang *et al.* 2014; Feng *et al.* 2020), ayrıca EPA ve DHA dahil olmak üzere ω -3 PUFA' nin yanı sıra ω -6 PUFA' nın biyosentezinde de önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir (Fu *et al.* 2018). Mevcut çalışmada, en yüksek *ELOVL5* ekspresyon düzeyi K400 grubunda bulunmasına rağmen, bu gruptan daha düşük ekspresyon düzeyine sahip K300 grubunda PUFA' nın elagasyonu (linoleik asidin araşidonik aside dönüşümü) yüksek düzeyde olmuştur (Tablo 20). Bu sonuç kurkuminin *ELOVL* genleri üzerine olan etkisinin doza bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Mevcut alışmada, SFA ve MUFA' nın PUFA' ya elongasyonundan sorumlu olan *ELOVL7* gen ekspresyonunun K100 grubunda en yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Tablo 17 incelendiğinde, en düşük SFA ve MUFA ile en yüksek PUFA değerlerinin K100 grubunda olduğu görülmektedir. Bu durum, kurkuminin çok uzun zincirli yağ asitlerinin biyosentezini teşvik ettiğini gösteren çalışmalarla uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.



şekil 50. Kurkuminin artan konsantrasyonlarının karaciğer dokusu *ELOVL* gen ekspresyonlarına ait Ct değerlerinin karşılaştırma analizi.

Kurkuminin *FADS* gen ailesi ekspresyonu üzerine etkisi

Tablo 21 ve Şekil 51, yumurta tavuklarına verilen farklı dozlardaki kurkuminin *FADS* gen ailesinin (*FADS1a*, *FADS1b*, *FADS1c*, *FADS2*, *FADS6*) karaciğer dokusunda ekspresyon seviyeleri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu veriler, kurkuminin doza bağlı olarak söz konusu genlerin ekspresyonuna ne derecede etki edebildiğini ortaya koymuştur. Tablo 21 incelendiğinde, *FADS1a* ekspresyon düzeyinin kurkumin seviyesinin artmasıyla önemli derecede ($p<0,01$) azaldığı görülmüştür. En düşük *FADS1a* ekspresyon düzeyi K300 ve K400 gruplarında saptanmıştır. *FADS1b*'ye ait değerler incelendiğinde, gruplar arasında önemli ($p<0,01$) fark bulunmuş ve K0 grubuna göre en yüksek değer kurkumin 400 grubunda tespit edilmiştir. *FADS1c*'nin aktivasyonunun K100 grubunda en yüksek; K400 grubunda ise en düşük seviyeye ulaştığı görülmüştür.

FADS2 geninin aktivasyonu bakımından gruplar arasındaki farklılıklar önemli olmuş ve en yüksek değer K100 grubunda bulunmuştur. *FADS6* gen ekspresyonu K300 grubunda en yüksek değere ulaşmış ve bunu K400 grubu takip etmiştir. K0 grubuyla K100 ve K200 grupları arasında fark görülmemiştir.

Tablo 21. Kurkuminin Karaciğer Dokusunun *FADS* Gen Ekspresyonları Üzerine Etkisi

GRUPLAR	<i>FADS1a</i>	<i>FADS1b</i>	<i>FADS1c</i>	<i>FADS2</i>	<i>FADS6</i>
K0	0,20263 ^a	0,00120 ^b	0,12471 ^b	0,02857 ^d	6,21575 ^c
K100	0,15513 ^{ab}	0,00081 ^b	0,21489 ^a	0,11703 ^a	7,92772 ^c
K200	0,08445 ^{bc}	0,00195 ^b	0,14086 ^b	0,04053 ^c	7,93894 ^c
K300	0,04676 ^c	0,00060 ^b	0,14028 ^b	0,00418 ^c	24,20788 ^a
K400	0,01747 ^c	0,04000 ^a	0,04453 ^c	0,09119 ^b	18,21659 ^b
SH	0,017	0,005	0,016	0,018	1,922
ÖD	0,001 **	0,050*	0,012*	0.05*	0,005**

K0: Kurkumin ilavesiz grup, K100: Diyet 100 mg kurkumin ilave edilen grup, K200: Diyet 200 mg kurkumin ilave edilen grup, K300: Diyet 300 mg kurkumin ilave edilen grup, K400: Diyet 400 mg kurkumin ilave edilen grup, ^{a,b,c,d,e}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen grup ortalamaları arasındaki farklılık önemlidir. ÖD: Önem derecesi SH: Ortalamalar arası farklılığın standart hatası *: $p<0,05$, **: $p<0,01$, ös: Önemsiz

Yağ asidi desatürazlar, bir yağ asidi zincirinde belirli pozisyonlara cis çift bağlarının eklenmesini katalize eden enzimlerdir (Park *et al.* 2009). *FADS1* ve *FADS2*, LC-PUFA biyosentezi işleminin kritik adımlarında önemli katalitik roller oynamaktadırlar (Lattka *et al.* 2010b; Zhang *et al.* 2016). LC-PUFA sentezinde AA ve DHA üretimine yol açan metabolik yolda hız sınırlayıcı olan enzim *FADS2* geni tarafından kodlanmaktadır (Sprecher 2000; Huang *et al.* 2015). *FADS2* gen ekspresyonu ve $\Delta 6$ -desatüraz enzim aktivitesi üzerine yapılan bir çalışmada, lipid metabolizmasının beslenme ve genotip ile ilişkili olduğu ve farklı tavuk genotiplerinde belirgin farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir (Cartoni Mancinelli *et al.* 2022).

Diyete ilave edilen bazı biyolojik aktif bileşiklerin *FADS* ve *ELOVL* enzimlerini aktive ederek ALA'dan DHA oluşumunu artırma potansiyeline sahip olduğu da bildirilmiştir. Bu aktif bileşikler ile verim ve ürün kalitesini artırmak mümkündür (Gregory *et al.* 2011; Janaranjani *et al.* 2018).

Kurkumin, *FADS* genlerinin ekspresyonunu modüle ederek, PUFA biyosentezini ve dolayısıyla hücrel ve sistemik yağ asidi kompozisyonunu etkileyebilmektedir. Bu durum, kurkuminin kronik hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde potansiyel bir araç olarak kullanılmasını destekleyen mekanizmalardan biridir (Balić *et al.* 2020).

Söz konusu çalışmada kurkuminin 300 mg/kg seviyesi dışında diğer seviyelerinin K0 grubuna göre *FADS2* gen ekspresyonunu artırdığı gözlemlenmiştir (Tablo 21). Benzer olarak Sugasini and Lokesh (2017) kurkuminle zenginleştirilmiş diyetlerin, fare karaciğeri dokusunda *FADS2* ve *elongaz2* enziminin ekspresyonunu artırdığını bildirmişlerdir.

Maymunlarda *FADS1* geni, *FADS2* geninin desatürasyonunu artırarak eikosanoid öncü yağ asitlerinin üretimini artırmakta ve potansiyel olarak doku ve organ gelişim aşamalarında LC-PUFA biyosentezini düzenlemektedir (Park *et al.* 2012b). Balıklarda *fads* genleri, çift bağların konumu ve desatürazların tipine bağlı olarak yağ açıl zincirine bir çift bağın dahil edilmesinden sorumludur (Chew 2015). İnsanda *FADS1* geninin, hücre döngüsü kontrol genleriyle ve kolesterol biyosentezi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Heravi *et al.* 2022).

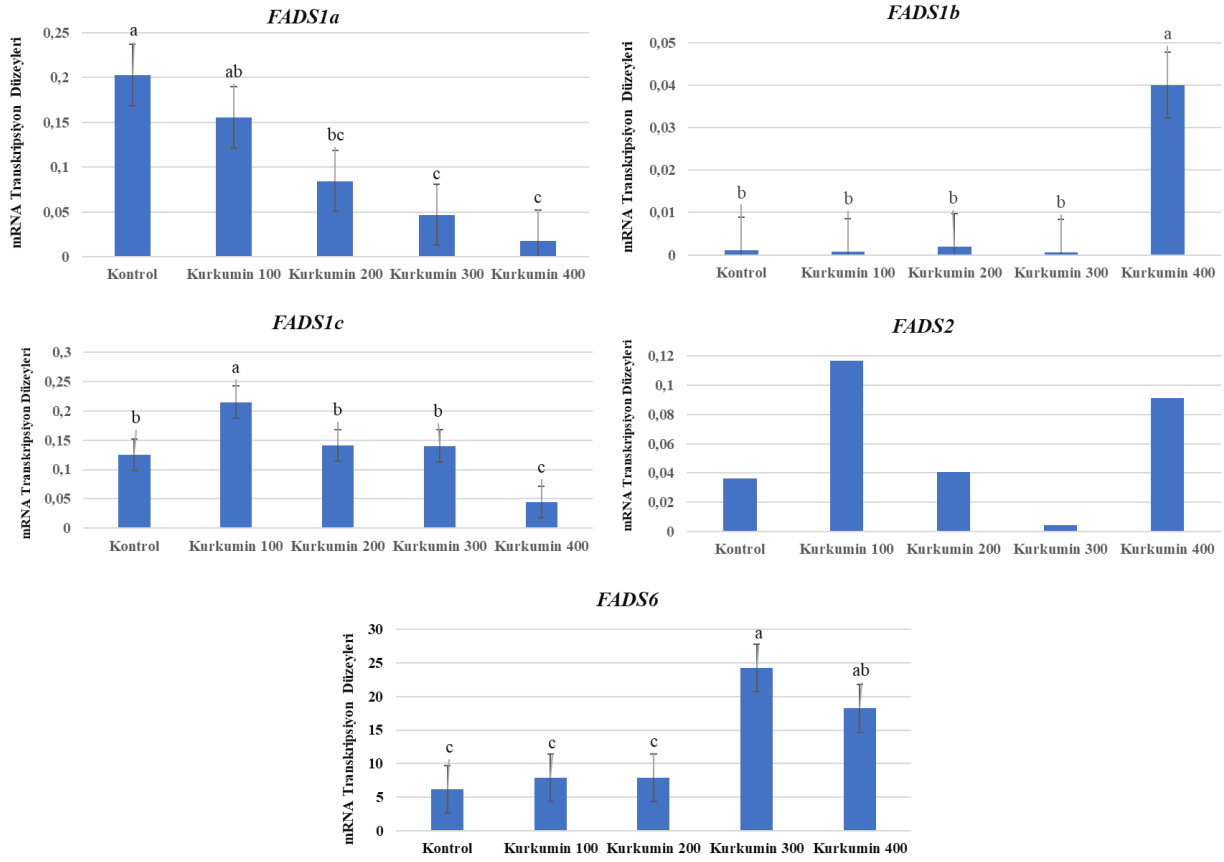
FADS1 ($\Delta 5$ -desatüraz), *FADS2* ($\Delta 6$ -desatüraz) için öncül dokunun karaciğer olduğu bildirilmiş olsa da buna farklı dokuları dahil eden çalışmalar da mevcuttur. İnsanlarda *FADS1* geninin karaciğer, beyin ve kalpte yüksek derecede eksprese edildiği bildirilmiştir (Cho *et al.* 1999).

FADS2 geni tarafından kodlanan $\Delta 6$ yağ asidi desatürazların, yağ asitlerinin metabolik süreçlerinde yer alan hız sınırlayıcı desatürazlar olması *FADS2* geninin tavukların erken dönem büyüme hızında önemli bir rol oynadığı hipotezini desteklemektedir (Zhu *et al.* 2014).

FADS2 geninin yumurta tavuklarının karaciğer dokusunda büyük oranda bulunduğu bildirilmiştir (Li *et al.* 2015). Yumurta tavuklarının karaciğerinde belirlenen *FADS2* geninin LC-PUFA'yı sentezlemek için ilk desatürasyon aşamasını katalize ediyor olması (Jacobi *et al.* 2011), bu genin tavuklarda yumurta sarısı oluşumuna katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Li *et al.* 2015).

Xie *et al.* (2019) etlik piliç diyetlerine kurkumin takviyesinin *FAS* gen ekspresyon seviyesini önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, bu genlerin etçi

tavuklarda kurkuminin yağ asidi sentezi ve lipogenez üzerindeki etkisinden doğrudan sorumlu olabileceğini ileri sürmüşlerdir.



Şekil 51. Kurkuminin artan konsantrasyonlarının karaciğer dokusunun *FADS* gen ekspresyonlarına ait Ct değerlerinin karşılaştırmalı analizi.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, kurkuminin yumurta tavuklarının karaciğer dokusunda *FADS* gen ailesinin ekspresyonu üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ve bu etkilerin PUFA biyosentezini ve genel yağ asidi metabolizmasını düzenlediğini göstermiştir. Bu bulgular, kurkuminin metabolik sağlık üzerindeki olumlu etkilerini daha iyi anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

SONUÇ

Yumurta tavuğu diyetlerine farklı seviyelerde (0, 100, 200, 300 ve 400 mg/kg) kurkumin ilavesinin performans özellikleri, yumurta kalite kriterleri ve yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu ile *ELOVL* ve *FADS* genlerinin ekspresyon düzeylerine etkisini belirlemek için yürütülen çalışmada, 68 haftalık yaşta 40 adet Hy-Line Brown yumurta tavuğu kullanılmıştır. On haftalık deneme süresinde kontrol grubu (K0) bazal yemle, muamele grupları ise bazal yeme sırasıyla 100 (K100), 200 (K200), 300 (K300) ve 400 (K400) mg/kg düzeyinde kurkumin ilave edilen diyetlerle beslenmiştir.

Deneme sonunda performans özelliklerinden, yem tüketimi, yumurta verimi (%) ve yemden yararlanma oranı değerlerinin kurkumin ilavesinden etkilenmediği belirlenmiştir. Sadece yumurta ağırlığı bakımından gruplar arasında önemli derecede fark ($p<0,05$) bulunmuş ve en yüksek değere K300 grubu sahip olmuştur.

Yumurta kalite kriterleri bakımından kurkuminin her bir seviyesi için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Muamelenin yumurta sarı rengi üzerine etkisi önemsiz olurken, en yüksek Haugh Birimi K100; en yüksek kabuk kalınlığı K200; en yüksek ak oranı K300 grubunda bulunmuştur. Kabuk kırılma mukavemeti kurkuminin artan seviyesine bağlı olarak K0 grubuna göre önemli derecede azalmış ($p<0,01$) ve en düşük değere K400 grubu sahip olmuştur. Ancak kırılma mukavemetindeki azalış kabuk kalitesini standart değerlerin altına düşürecek düzeyde olmamıştır.

Diyete kurkumin ilavesinin yumurta sarısı yağ asitlerinden miristik asit ve palmitioleik asit oranı dışında diğer yağ asitleri oranını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Kurkuminin artan seviyesiyle stearik asit oranının azaldığı ve K300 grubu dışındaki muamele gruplarında oleik asit oranının K0 grubundan daha düşük olduğu görülmüştür. En yüksek linoleik ve linolenik asit oranı K100 grubunda tespit edilmiştir. Fakat kurkumindeki artışa bağlı olarak muamele gruplarında linolenik asit seviyesi K0 grubuna göre önemli derecede ($p<0,01$) azalmıştır. En yüksek DHA düzeyi diyetle 200 mg/kg kurkumin ilave edilen grupta olmuş ve bunu 100 mg/kg kurkumin içeren diyetle beslenen grup takip etmiştir. Kurkuminin 400 mg/kg seviyesi dışındaki diğer muamele gruplarında yumurta sarısı EPA oranı azalmıştır. Kurkuminin 100 mg/kg seviyesi SFA ve MUFA oranını düşürürken PUFA ve toplam ω -3 yağ asitleri seviyesini artırmıştır. Kurkumin 400 mg/kg seviyesi dışındaki diğer seviyeler yumurta sarısı DHA/EPA oranını K0 grubuna göre önemli düzeyde yükseltmiştir.

Gen ekspresyon analizlerinde genel olarak *ELOVL* gen ailesinin üyelerinin geniş bir ekspresyon yelpazesi gösterdiği ve bu genlerin farklı biyolojik süreçlerde rol oynadığı gözlemlenmiştir. En yüksek *ELOVL1* gen ekspresyon seviyesi K200 ve K300 gruplarında bulunmuştur. Aynı gruplarda *ELOVL2* düzeyinin en az seviyede olduğu belirlenmiştir. Diyetle kurkumin ilavesinin *ELOVL3* ve *ELOVL4* gen ekspresyonlarını etkilemediği görülmüştür. Kurkuminin 400 mg/kg seviyesinin *ELOVL5*; 100 mg/kg seviyesinin ise *ELOVL6* ve *ELOVL7* gen ekspresyon düzeylerini önemli düzeyde artırdığı gözlemlenmiştir.

FADS gen ailesi PUFA metabolizmasında kritik rol oynayan desatüraz enzimlerini kodlamaktadır. Diyetle farklı seviyelerde kurkumin ilavesinin *FADS* gen ailesinin ekspresyon düzeylerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Kurkuminin artan seviyelerinin *FADS1a* gen ekspresyon seviyesini K0 grubuna göre çok önemli derecede ($p<0,01$) düşürdüğü belirlenmiştir. *FADS1b* gen ekspresyon düzeyi K400 grubunda en yüksek düzeyde olmuş, fakat kurkuminin diğer seviyelerinin *FADS1b* ekspresyonu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Tavuk genomunda ilk kez bu çalışmada tanımlanan ve karakterize edilen *FADS1c* gen ekspresyon düzeyi K100 grubunda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. En yüksek *FADS2* seviyesi K100; en yüksek *FADS6* seviyesi ise K300 grubunda belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yumurta tavuğu diyetlerine farklı düzeylerde kurkumin ilavesinin yumurta ağırlığı dışındaki performans özellikleri üzerine herhangi bir etkisi olmamıştır. Fakat kurkuminin 100 mg/kg seviyesi, yumurta iç kalite kriterlerinin en önemlisi olan Haugh Birimi üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonunun kurkuminden önemli derecede etkilendiği, özellikle de kurkuminin 100 mg/kg seviyesinin linoleik asit, linolenik asit, PUFA ve DHA oranını K0 grubuna göre önemli düzeyde artırdığı görülmüştür. Mevcut çalışmada, yumurtlayan tavuk yemlerine farklı düzeylerde kurkumin ilavesinin *ELOVL* ve *FADS* gen ailelerinin ekspresyon düzeylerini de önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Özellikle kurkuminin 100 mg/kg seviyesinin SFA ve MUFA'nın PUFA'ya dönüşümünde daha başarılı olduğu hem yağ asidi hem de gen ekspresyon analizleriyle elde edilen sonuçlarla tespit edilmiştir.

Dolayısıyla mevcut çalışmada incelenen özelliklerin geneli ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar, yumurta tavuğu yemlerine 100 mg/kg kurkumin ilavesinin performans özelliklerini menfi veya müsbet anlamda etkilemediğini, ürün kalitesini özellikle de yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonunu iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Ancak kurkuminin hem performans özellikleri ve yumurta kalite kriterleri hem de yumurta sarısı yağ asidi kompozisyonu ve gen ekspresyon düzeyleri üzerine etkisinin daha iyi anlaşılması için çok sayıda araştırma yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Agbaga, M.P., Mandal, M.N.A. and Anderson, R.E., 2010. Retinal very long-chain PUFAs: new insights from studies on *ELOVL4* protein. *Journal of Lipid Research*, 51(7), 1624-1642.
- Aggarwal, B.B. and Harikumar, K.B., 2009. Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 41(1), 40-59.
- Aggarwal, B.B. and Sung, B., 2011. NF-kappaB in cancer: a matter of life and death. *Cancer Discovery*, 1(6), 469-471.
- Aggarwal, B.B., Sundaram, C., Malani, N. and Ichikawa, H., 2007. Curcumin: The Indian Solid Gold. *The Molecular Targets and Therapeutic Uses of Curcumin in Health and Disease Chapter*, pp. 1-75. https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_1
- Akaishi, T. and Abe, K., 2018. CNB-001, a synthetic pyrazole derivative of curcumin, suppresses lipopolysaccharide-induced nitric oxide production through the inhibition of NF-kappaB and p38 MAPK pathways in microglia. *European Journal of Pharmacology*, 819, 190-197.
- Akbarian, A., Golian, A., Kermanshahi, H., Gilani, A. and Moradi, S., 2012. Influence of turmeric rhizome and black pepper on blood constituents and performance of broiler chickens. *African Journal of Biotechnology*, 11(34), 8606-8611.
- Ali, M.N., Qota, E.M.A. and Hassan, R.A., 2010. Recovery from Adverse Effects of Heat Stress on Slow-Growing Chicks Using Natural Antioxidants Without or with Sulphate, *International Journal of Poultry Science*, 9(2): 109-117, ISSN 1682-8356.
- Al-Jaleel, R.A., 2012. Use of turmeric (*Curcuma longa*) on the performance and some physiological traits on the broiler diets. *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 36(1), 51-57.
- Alves, R.C., Fernandes, R.P., Fonseca-Santos, B., Victorelli, F.D. and Chorilli, M., 2019. A Critical Review of the Properties and Analytical Methods for the Determination of Curcumin in Biological and Pharmaceutical Matrices, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 49(2), 138-149. Doi: 10.1080/10408347.2018.1489216
- Amjad Khan, W., Chun-Mei, H., Khan, N., Iqbal, A., Lyu, S.W. and Shah, F., 2017. Bioengineered Plants Can Be a Useful Source of Omega-3 Fatty Acids. *BioMed Research International*, e7348919.
- AOAC, 1998. Official Method of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Araya, J., Rodrigo, R., Pettinelli, P., Araya, A.V., Poniachik, J. and Videla, L.A., 2010. Decreased liver fatty acid delta-6 and delta-5 desaturase activity in obese patients, *Obesity*, 1460-1463.
- Arshami, J., Pilevar, M., Azghadi, M.A. and Raji, A.R., 2013. Hypolipidemic and antioxidative effects of Curcumin on blood parameters, humoral immunity, and jejunum histology in Hy-line hens. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 3(2), 178-185. <https://doi.org/10.22038/AJP.2013.72>

- Astarita, G., Jung, K.M., Berchtold, N.C., Nguyen, V.Q., Gillen, D.L., Head, E., Cotman, C.W. and Piomelli, D., 2010. Deficient liver biosynthesis of docosahexaenoic acid correlates with cognitive impairment in Alzheimer's disease, *PLoS One*, e12538. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012538>
- Avcu, E.Ç., 2017. Sağlıklı Beslenme-Neleri Gözden Kaçıyoruz? *Klinik Tıp Bilimleri*. 5(5), 31-34.
- Babić Leko, M., Langer Horvat, L., Španić Popovački, E., Zubčić, K., Hof, P.R. and Šimić, G., 2023. Metals in Alzheimer's Disease. *Biomedicines*, 11(4), 1161. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11041161>
- Babicz-Zielin'ska, E., 2006. Role of psychological factors in food choice - A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15/56(4), 379-384.
- Bairwa, K., Grover, J., Kania, M. and Jachak, S.M., 2014. Recent developments in chemistry and biology of curcumin analogues. *Royal Society of Chemistry Advances*, 4, 13946. DOI: 10.1039/c4ra00227j
- Balbo, I., Montarolo, F., Boda, E., Tempia, F. and Hoxha, E., 2021. *ELOVL5* Expression in the Central Nervous System of the Adult Mouse. *Frontiers in Neuroanatomy*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnana.2021.669073>
- Balić, A., Vlašić, D., Žužul, K., Marinović, B. and Bukvić Mokos, Z., 2020. Omega-3 Versus Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids in the Prevention and Treatment of Inflammatory Skin Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 741. <https://doi.org/10.3390/ijms21030741>
- Banwo, K., Olojede, A.O., Adesulu-Dahunsi, A., Verma, D.K., Thakur, M., Tripathy, S., Singh, S., Patel, A.R., Gupta, A.K., Aguilar, C.N. and Utama, G.L., 2021. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. *Food Bioscience*, 43, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101320>
- Baum, L. and Ng, A., 2004. Curcumin interaction with copper and iron suggests one possible mechanism of action in Alzheimer's disease animal models. *Journal of Alzheimer's Disease*, 6(4), 367-377. Doi: 10.3233/JAD-2004-6403
- Bayır, M., Bayır, A. and Wrigth, J.M., 2015. Divergent spatial regulation of duplicated fatty acid-binding protein (*fabp*) genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 14, 26-32.
- Beckford, R.C., Howard, S.J., Das, S., Farmer, A.T., Campagna, S.R., Yu, J., Hettich, R.L., Wilson, J.L. and Voy, B.H., 2017. Maternal Consumption of Fish Oil Programs Reduced Adiposity in Broiler Chicks. *Scientific Reports*, 7(1), 13129. doi:10.1038/s41598-017-13519-5
- Bhatia, H.S., Agrawal, R., Sharma, S., Huo, Y.X., Ying, Z. and Gomez-Pinilla, F., 2011. Omega-3 fatty acid deficiency during brain maturation reduces neuronal and behavioral plasticity in adulthood, *PLoS One*, 6(12): e28451. doi: 10.1371/journal.pone.0028451
- Blesso, C.N., 2015. Egg Phospholipids and Cardiovascular Health. *Nutrients*, 7(4), 2731-2747. <https://doi.org/10.3390/nu7042731>
- Bright, J.J., 2007. Curcumin and autoimmune disease. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 595, 425-451. doi: 10.1007/978-0-387-46401-5_19
- Calder, P.C., 2012. Mechanisms of action of (n-3) fatty acids. *The Journal of Nutrition*, 142(3), 592-599.

- Cameron, M.C., Denovan-Wright, E.M., Sharma, M.K. and Wright, J.M., 2012. Cellular retinol-binding protein II (CRBP-II) in adult zebrafish (*Danio rerio*). cDNA sequence, tissue-specific expression and gene linkage analysis. *European Journal of Biochemistry*, 269: 4685-4692.
- Cartoni Mancinelli, A., Di Veroli, A., Mattioli, S., Crucian, G., Bosco, A.D. and Castellini, C., 2022. Lipid metabolism analysis in liver of different chicken genotypes and impact on nutritionally relevant polyunsaturated fatty acids of meat. *Scientific Reports*, 12, 1888. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05986-2>
- Catchen, J., Conery, J. and Postlethwait, J., 2009. Automated identification of conserved synteny after whole-genome duplication. *Genome research*, 19(8), 1497-1505. <https://doi.org/10.1101/gr.090480.108>.
- Chainani-Wu, N., 2003. Safety and anti-inflammatory activity of curcumin: a component of tumeric (*Curcuma longa*). *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 9(1), 161-168. doi: 10.1089/107555303321223035
- Chan, E.T., Quon, G.T., Chua, G., Babak, T., Trocheset, M., Zirngibl, R.A., Aubin, J., Ratcliff, M.J.H., Wilde, A., Brudno, M., Morris, Q.D. and Hughes, T.R., 2009. Conservation of core gene expression in vertebrate tissues. *Journal of Biology*, 8(3), 33. doi: 10.1186/jbiol130
- Chen, A., Xu, J. and Johnson, A., 2006. Curcumin inhibits human colon cancer cell growth by suppressing gene expression of epidermal growth factor receptor through reducing the activity of the transcription factor Egr-1. *Oncogene*, 25, 278-287. <https://doi.org/10.1038/sj.onc.1209019>
- Chen, H.F. and Su, H.M., 2013. Exposure to a maternal n-3 fatty acid-deficient diet during brain development provokes excessive hypothalamic–pituitary–adrenal axis responses to stress and behavioral indices of depression and anxiety in male rat offspring later in life. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 24(1), 70-80. doi: 10.1016/j.jnutbio.2012.02.006
- Chew, Y.S., 2015. Functional characterization of the promoter region of the zebrafish *ELOVL* family member 5 (Master's thesis) chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://eprints.usm.my/31380/1/CHEW_YEN_SHAN_Master_Thesis_2015_.pdf
- Cho, H.P., Nakamura, M. and Clarke, S.D., 1999. Cloning, expression, and fatty acid regulation of the human Δ -5 desaturase. *Journal of Biological Chemistry*, 274(52), 37335-37339.
- Choi, B., Kim, C., Lim, Y., Shin, S. and Lee, Y., 2008. Curcumin down-regulates the multidrug-resistance *mdr1b* gene by inhibiting the PI3K/Akt/NF kappa B pathway. *Cancer letters*, 259(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/J.CANLET.2007.10.003>
- Claire D'Andre, H., Paul, W., Shen, X., Jia, X., Zhang, R., Sun, L. and Zhang, X., 2013. Identification and characterization of genes that control fat deposition in chickens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), 43.
- Corominas, J., Ramayo-Caldas, Y., Puig-Oliveras, A., Pérez-Montarelo, D., Noguera, J. L., Folch, J. M. and Balester, M., 2013. Polymorphism in the *ELOVL6* gene is associated with a major QTL effect on fatty acid composition in pigs. *PLoS One*, 8(1): e53687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053687>
- Cox, K.H., Pipingas, A. and Scholey, A.B., 2015. Investigation of the effects of solid lipid curcumin on cognition and mood in a healthy older population. *Journal of Psychopharmacology*, 29, 642-651.

- Crampton, E.W. and Maynard, L.A., 1938. The Relation of Cellulose and Lignin Content to Nutritive Value of Animal Feeds. *The Journal of Nutrition*, 15(4), 383-395. <https://doi.org/10.1093/jn/15.4.383>
- Cui, Y., Yu, S., Gao, W., Zhao, Z., Wu, J. and Xiao, M., 2022. Dietary curcumin supplementation regulates the lipid metabolism in laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 1106-1116. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2071774>
- Çakmakçı, S. and Kahyaoğlu, D.T., 2012. Yağ asitlerinin sağlık ve beslenme üzerine etkileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 5, 133-137.
- Çelebi, Ş. and Karaca, H., 2006. Yumurtanın besin değeri, kolesterol içeriği ve yumurtayı n-3 yağ asitleri bakımından zenginleştirmeye yönelik çalışmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 257-265.
- Dalle Zotte, A., Andrighetto, I., Giaccone, V. and Marchesini, G., 2015. Dietary Enrichment of n-3 PUFA for Laying Hens: Effect of Different Sources on Production, Composition and Quality of Eggs. *Animal Science Papers and Reports*, 33, 411-424.
- Daneshyar, M., Ghandkanlo, M.A., Bayeghra, F.S., Farhangpajhoh, F. and Aghaei, M., 2011. Effects of dietary turmeric supplementation on plasma lipoproteins, meat quality and fatty acid composition in broilers. *South African Journal of Animal Science*, 41(4), 420-428. <https://doi.org/10.4314/sajas.v41i4.13>
- Drillon, G., Carbone, A. and Fischer, G., 2014. SynChro: a fast and easy tool to reconstruct and visualize syntenic blocks along eukaryotic chromosomes. *PLoS One*, 9(3), e92621.
- Düzgüneş, O., Kesici, T. and Gürbüz, F., 1983. İstatistik Metotları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 861, Ders Kitabı: 229, Ankara.
- Ehr, I.J., Persia, M.E. and Bobeck, E.A., 2017. Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry Science*, 96, 1791-1799.
- Ejaz, A., Wu, D., Kwan, P. and Meydani, M., 2009. Curcumin Inhibits Adipogenesis in 3T3-L1 Adipocytes and Angiogenesis and Obesity in C57/BL Mice. *The Journal of Nutrition*, 139(5), 919-925. <https://doi.org/10.3945/jn.108.100966>
- El-Moselhy, M.A., Taye, A., Sharkawi, S.S., El-Sisi, S.F.I. and Ahmed, A.F., 2011. The antihyperglycemic effect of curcumin in high fat diet fed rats. Role of TNF- α and free fatty acids. *Food and Chemical Toxicology*, 49(5), 1129-1140.
- Fan, T., Xie, Y. and Ma, W., 2021. Research progress on the protection and detoxification of phytochemicals against aflatoxin B1-induced liver toxicity. *Toxicon*, 195, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.03.007>
- Fehrenschild, D., Galli, U., Breiden, B., Bloch, W., Schettina, P., Brodesser, S., Michels, C., Günschmann, C., Sandhoff, K., Niessen, C.M. and Niemann, C., 2012. TCF/Lef1-Mediated Control of Lipid Metabolism Regulates Skin Barrier Function. *Journal of Investigative Dermatology*, 132(2), 337-345. <https://doi.org/10.1038/jid.2011.301>
- Feng, X., Zhang, L., Xu, S. and Shen, A., 2020. ATP-citrate lyase (ACLY) in lipid metabolism and atherosclerosis: an updated review. *Progress in Lipid Research*, 77, 101006.
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, G.H.S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- Fu, S., Zhao, Y., Li, Y., Li, G., Chen, Y., Li, Z., Sun, G., Li, H., Kang, X. and Yan, F., 2018. Characterization of miRNA transcriptome profiles related to breast muscle development and intramuscular fat deposition in chickens. *Journal of Cellular Biochemistry*, 119, 7063-7079.

- Fujiyama-Fujiwara, Y., Umeda, R., & Igarashi, O. (1992). Effects of Sesamin and Curcumin on $\Delta 5$ -Desaturation and Chain Elongation of Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism in Primary Cultured Rat Hepatocytes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 38(4), 353-363.
- Galli, G.M., Da Silva, A.S., Biazus, A.H., Reis, J.H., Boiago, M.M., Topazio, J.P., Migliorini, M.J., Guarda, N.S., Moresco, R.N., Ourique, A.F., Santos, C.G., Lopes, L.S., Baldissera, M.D. and Stefani, L.M., 2018. Feed addition of curcumin to laying hens showed anticoccidial effect, and improved egg quality and animal health. *Research in Veterinary Science*, 118, 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.01.022>
- Galli, G.M., Gerbet, R.R., Griss, L.G., Fortuoso, B.F., Petrolli, T.G., Boiago, M.M., Souza, C.F., Baldissera, M.D., Mesadri, J., Wagner, R., Rosa, G., Mendes, R.E., Gris, A. and Da Silva, A.S., 2020. Combination of herbal components (curcumin, carvacrol, thymol, cinnamaldehyde) in broiler chicken feed: Impacts on response parameters, performance, fatty acid profiles, meat quality and control of coccidia and bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 139, 103916.
- Gao, Z., Zhang, J., Li, F., Zheng, J. and Xu, G., 2021. Effect of Oils in Feed on the Production Performance and Egg Quality of Laying Hens. *Animals*, 11(12), 3482. <https://doi.org/10.3390/ani11123482>
- García-Arenal, F., Fraile, A. and Malpica, J., 1999. Genetic Variability and Evolution. *Molecular Biology of Plant Viruses*, pp.143-159. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5063-1_6
- Gibbs, R.A., Rymer, C. and Givens, D.I., 2009. Postgraduate Symposium Long-chain n-3 PUFA: intakes in the UK and the potential of a chicken meat prototype to increase them. *Proceedings of the Nutrition Society*, 69(1), Conference on 'Over- and undernutrition: challenges and approaches'. doi: 10.1017/S0029665109991695
- Goel, A., Kunnumakkara, A.B. and Aggarwal, B.B., 2008. Curcumin as "Curecumin": from kitchen to clinic. *Biochem Pharmacol*, 75(4), 787-809. doi: 10.1016/j.bcp.2007.08.016
- Gonzalez-Rovira, A., Mourente, G., Zheng, X., Tocher, D.R. and Pendón, C., 2009. Molecular and functional characterization and expression analysis of a $\Delta 6$ fatty acyl desaturase cDNA of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, 298(1-2), 90-100.
- Gou, Z.Y., Cui, X.Y., Li, L., Fan, Q.L., Lin, X.J., Wang, Y.B., Jiang, Z.Y. and Jiang, S.Q., 2020. Effects of dietary incorporation of linseed oil with soybean isoflavone on fatty acid profiles and lipid metabolism-related gene expression in breast muscle of chickens. *Animal*, 14(11), 2414-2422. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001020>
- Gowda, N.K.S., Ledoux, D.R., Rottinghaus, G.E., Bermudez, A.J. and Chen, Y.C., 2008. Efficacy of turmeric (*Curcuma longa*), containing a known level of curcumin, and a hydrated sodium calcium aluminosilicate to ameliorate the adverse effects of aflatoxin in broiler chicks. *Poultry Science*, 87 (6), 1125-1130.
- Gowda, N.K.S., Ledoux, D.R., Rottinghaus, G.E., Bermudez, A.J. and Chen, Y.C., 2009. Antioxidant efficacy of curcuminoids from turmeric (*Curcuma longa* L.) powder in broiler chickens fed diets containing aflatoxin B1. *British Journal of Nutrition*, 102(11), 1629-1634. <https://doi.org/10.1017/S0007114509990869>
- Gregory, M., Gibson, R., Cook-Johnson, R., Cleland, L. and James, M., 2011. Elongase Reactions as Control Points in Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Synthesis. *PLoS One*, 6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029662>

- Gregory, M.K. and James, M.J., 2014. Functional characterization of the duck and turkey fatty acyl elongase enzymes *ELOVL5* and *ELOVL22*. *The Journal of Nutrition*, 144(8), 1234-1239. <https://doi.org/10.3945/jn.114.194159>
- Gregory, M.K., Geier, M.S., Gibson, R.A. and James, M.J., 2013. Functional Characterization of the Chicken Fatty Acid Elongases. *The Journal of Nutrition*, 143(1), 12-16. doi:10.3945/jn.112.170290
- Gromiha, M.M., 2010. Protein sequence analysis. In: *Protein Bioinformatics: From Sequence to Function*. Elsevier Inc., New Delhi, India, pp: 29-62.
- Gu, Y., Chen, Y., Jin, R., Wang, C., Wen, C. and Zhou, Y., 2021. Protective effects of curcumin on laying hens fed soybean meal with heat-induced protein oxidation. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 1069-1078. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1913653>
- Guillou, H., Zadavec, D., Martin, P.G.P. and Jacobsson, A., 2010. The key roles of elongases and desaturases in mammalian fatty acid metabolism: insights from transgenic mice. *Progress in Lipid Research*, 49, 186-199.
- Gulcin, İ. and Alwasel, S.H., 2022. Metal Ions, Metal Chelators and Metal Chelating Assay as Antioxidant Method. *Processes*, 10(1), 132. <https://doi.org/10.3390/pr10010132>
- Guo, L., Chen, X., Hu, Y., Yu, Z., Wang, D. and Liu, J., 2013. Curcumin Inhibits Proliferation and Induces Apoptosis of Human Colorectal Cancer Cells by Activating the Mitochondria Apoptotic Pathway. *Phytotherapy Research*, 27(3), 422-430. <https://doi.org/10.1002/ptr.4731>
- Gupta, S.C., Patchva, S. and Aggarwal, B.B., 2011. Therapeutic roles of curcumin: lessons learned from clinical trials. *American Association of Pharmaceutical Scientists Journal*, 13(1), 195-218.
- Hafez, M.H., El-Kazaz, S.E., Alharthi, B., Ghamry, H.I., Alshehri, M.A., Sayed, S., Shukry, M. and El-Sayed, Y.S., 2022. The Impact of Curcumin on Growth Performance, Growth-Related Gene Expression, Oxidative Stress, and Immunological Biomarkers in Broiler Chickens at Different Stocking Densities. *Animals*, 12(8), 958. doi: 10.3390/ani12080958
- Hallett, M. and Lagergren, J., 2000. Hunting for Functionally Analogous Genes. In *FST TCS Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science*, 465-476, Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-44450-5_38
- Hang, T.T., Molee, W., Khempaka, S. and Paraksa, N., 2018. Supplementation with curcuminoids and tuna oil influenced skin yellowness, carcass composition, oxidation status, and meat fatty acids of slow-growing chickens. *Poultry Science*, 97(3), 901-909. <https://doi.org/10.3382/ps/pex385>
- Hasan, S., Zingg, J., Kwan, P., Noble, T., Smith, D. and Meydani, M., 2014. Curcumin modulation of high fat diet-induced atherosclerosis and steatohepatosis in LDL receptor deficient mice. *Atherosclerosis*, 232(1), 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2013.10.016>
- Hassan, F., Rehman, M.S., Khan, M.S., Ali, M.A., Javed, A., Nawaz, A. and Yang, C., 2019. Curcumin as an alternative epigenetic modulator: mechanism of action and potential effects. *Frontiers in Genetics*, 10, 514.
- Hassan, S.M., 2016. Effects of Adding Different Dietary Levels of Turmeric (*Curcuma longa* Linn) Powder on Productive Performance and Egg Quality of Laying Hens. *International Journal of Poultry Sciences* 15: 156-160. doi:10.3923/ijps.2016.156.160.

- Hatcher, H., Planalp, R., Cho, J., Torti, F.M. and Torti, S.V., 2008. Curcumin: From ancient medicine to current clinical trials. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 1631-1652.
- Haugh, R.R., 1937. The Haugh unit for measuring egg quality.
- Heravi, G., Jang, H., Wang, X., Long, Z., Peng, Z., Kim, S. and Liu, W., 2022. Fatty acid desaturase 1 (*FADS1*) is a cancer marker for patient survival and a potential novel target for precision cancer treatment. *Frontiers in Oncology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.942798>
- Hopiavuori, B., Anderson, R. and Agbaga, M., 2018. *ELOVL4*: Very long-chain fatty acids serve an eclectic role in mammalian health and function. *Progress in retinal and eye research*, 69, 137-158. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.10.004>
- Housworth, E.A. and Postlethwait, J., 2002. Measures of syntenic conservation between species pairs. *Genetics*, 162(1), 441-448.
- Huang, H.Y., Liu, R.R., Zhao, G.P., Li, Q.H., Zheng, M.Q., Zhang, J.J., Li, S.F., Liang, Z. and Wen, J., 2015. Integrated analysis of microRNA and mRNA expression profiles in abdominal adipose tissues in chickens. *Scientific Reports*, 5, 1-14.
- Huat, T.J., Camats-Perna, J., Newcombe, E.A., Valmas, N., Kitazawa, M. and Medeiros, R., 2019. Metal Toxicity Links to Alzheimer's Disease and Neuroinflammation. *Journal of Molecular Biology*, 431(9), 1843-1868. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.01.018>
- Inagaki, K., Aki, T., Fukuda, Y., Kawamoto, S., Shigeta, S., Ono, K. and Suzuki, O., 2002. Identification and expression of a rat fatty acid elongase involved the biosynthesis of C18 fatty acids. *Biosci Biotechnol Biochem*, 66, 613-621.
- Isokawa, M., Sassa, T., Hattori, S., Miyakawa, T. and Kihara, A., 2019. Reduced chain length in myelin sphingolipids and poorer motor coordination in mice deficient in the fatty acid elongase *ELOVL1*. *FASEB bioAdvances*, 1(12), 747.
- Jacobi, S.K., Lin, X., Corl, B.A., Hess, H.A., Harrell, R.J. and Odle, J., 2011. Dietary arachidonate differentially alters desaturase-elongase pathway flux and gene expression in liver and intestine of suckling pigs. *The Journal of Nutrition*, 141(4), 548-553.
- Jaelani, A.C.H.M.A.D., Abelina, N., Samudera, R., Rostini, T. and Setyowati, A.I., 2021. The effect of additional turmeric flour in rations on the performance and egg quality of laying chicken isa brown strain age 70th weeks. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 888 (1), 012054.
- Jakobsson, A., Jørgensen, J.A. and Jacobsson, A., 2005. Differential regulation of fatty acid elongation enzymes in brown adipocytes implies a unique role for *ELOVL3* during increased fatty acid oxidation. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 289(4), 517-526.
- Jakobsson, A., Westerberg, R. and Jacobsson, A., 2006. Fatty acid elongases in mammals: their regulation and roles in metabolism. *Progress in Lipid Research*, 45 (3), 237-249. <https://doi.org/10.1016/J.PLIPRES.2006.01.004>
- Janaranjani, M., Mah, M., Kuah, M., Fadhilah, N., Hing, S., Han, W. and Shu-Chien, A., 2018. Capacity for eicosapentaenoic acid and arachidonic acid biosynthesis in silver barb (*Barbonymus gonionotus*): Functional characterisation of a $\Delta 6/\Delta 8/\Delta 5$ *Fads2* desaturase and *Elov15* elongase. *Aquaculture*. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.08.019>

- Jang, E., Choi, M., Jung, U., Kim, M., Kim, H., Jeon, S., Shin, S., Seong, C. and Lee, M., 2008. Beneficial effects of curcumin on hyperlipidemia and insulin resistance in high-fat-fed hamsters. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 57(11), 1576-83. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2008.06.014>
- Ji, R., Xiang, X., Li, X., Mai, K. and Ai, Q., 2021. Effects of dietary curcumin on growth, antioxidant capacity, fatty acid composition and expression of lipid metabolism-related genes of large yellow croaker fed high-fat diet. *British Journal of Nutrition*, 126(3), 345-354.
- Jorgensen, J.A., Zadavec, D. and Jacobsson, A., 2007. Norepinephrine and rosiglitazone synergistically induce *ELOVL3* expression in brown adipocytes. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 293(5), 1159-1168. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00213.2007>
- Kahkhaie, K.R., Mirhosseini, A., Aliabadi, A., Mohammadi, A., Mousavi, J.M., Haftcheshmeh, S.M., Satyapalan, T. and Sahebkar, A., 2019. Curcumin: a modulator of inflammatory signaling pathways in the immune system. *Inflammopharmacol*, 27, 885-900. <https://doi.org/10.1007/s10787-019-00607-3>
- Kalakuntla, S., Nagireddy, N.K., Panda, A.K., Jatoth, N., Thirunahari, R. and Vangoor, R.R., 2017. Effect of Dietary Incorporation of N-3 Polyunsaturated Fatty Acids Rich Oil Sources on Fatty Acid Profile, Keeping Quality and Sensory Attributes of Broiler Chicken Meat. *Animal Nutrition*, 3(4), 386-391. doi:10.1016/j.aninu.2017.08.001
- Kartikasari, L.R., 2013. Omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid (n-3 LCPUFA) levels in chicken products following consumption of alpha-linolenic acid enriched diets. The thesis was submitted in fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy at the School of Agriculture, Food and Wine, Faculty of Sciences, University of Adelaide, Adelaide, South Australia, Australia in April 2013 Agricultural and Food Sciences.
- Kerimi, A. and Williamson, G., 2016. At the interface of antioxidant signalling and cellular function: Key polyphenol effects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(8), 1770-1788. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500940>
- Khan, R.U., Naz, S., Javdani, M., Nikousefat, Z., Selvaggi, M., Tufarelli, V. and Laudadio, V., 2012. The use of Turmeric (*Curcuma longa*) in poultry feed. *World's Poultry Science Journal*, 68, 97-103.
- Kosti, D., Dahiya, D.S., Dalal, R., Tewatia, B.S. and Vijayalakshmy, K., 2020. Role of turmeric supplementation on production, physical and biochemical parameters in laying hens. *World's Poultry Science Journal*, 76(3), 625-637. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1764460>
- Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Galović, O., Hanžek, D. and Biazik, E., 2021. Fatty Acid Profile of Eggs Produced by Laying Hens Fed Diets Containing Different Shares of Fish Oil. *Poultry Science*, 100(10), 101379.
- Lambring, C., Chen, L., Nelson, C., Stevens, A., Bratcher, W. and Basha, R., 2023. Oxidative Stress and Cancer: Harnessing the Therapeutic Potential of Curcumin and Analogues Against Cancer. *European Journal of Biology*, 82(2), 317-325. doi:10.26650/EurJBiol.2023.1348427
- Lattka, E., Eggers, S., Moeller, G., Heim, K., Weber, M., Mehta, D., Prokisch, H., Illig, T. and Adamski, J., 2010a. A common *FADS2* promoter polymorphism increases promoter activity and facilitates binding of transcription factor ELK1. *Journal of Lipid Research*, 51,182-191.

- Lattka, E., Illig, T., Koletzko, B. and Heinrich, J., 2010b. Genetic variants of the *FADS1 FADS2* gene cluster as related to essential fatty acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology*, 21, 64-69. <https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e3283327ca8>
- Lee, E.S., Kwon, M.H., Kim, H.M., Woo, H.B., Ahn, C.M. and Chung, C.H., 2020. Curcumin analog CUR5-8 ameliorates nonalcoholic fatty liver disease in mice with high-fat diet-induced obesity. *Metabolism*, 103, 154015. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2019.154015>
- Leonard, A.E., Bobik, E.G., Dorado, J., Kroeger, P.E., Chuang, L.T., Thurmond, J.M., Parker-Barnes, J.M., Das, T., Huang, Y.S. and Mukerji, P., 2000. Cloning of a human cDNA encoding a novel enzyme involved in the elongation of long chain polyunsaturated fatty acids. *Biochem J*, 350, 765-770.
- Leonard, A.E., Kelder, B., Bobik, E.G., Chuang, L.T., Lewis, C.J., Kopchick, J.J., Mukerji, P. and Huang, Y.S. 2002. Identification and expression of mammalian long-chain PUFA elongation enzymes. *Lipids*, 37, 733-740.
- Leong, S.W., Faudzi, S.M.M., Abas, F., Aluwi, M.F.F.M., Rullah, K., Wai, L.K., Bahari, M.N.A., Ahmad, S., Tham, C.L., Shaari, K. and Lajis, N.H., 2014. Synthesis and Sar Study of Diarylpentanoid Analogues as New Anti-Inflammatory Agents. *Molecules*, 19(10), 16058-16081; <https://doi.org/10.3390/molecules191016058>
- Li, C., Gao, J., Guo, S., He, B. and Ma, W., 2024. Effects of Curcumin on the Egg Quality and Hepatic Lipid Metabolism of Laying Hens. *Animals*, 14(1), 138. <https://doi.org/10.3390/ani14010138>
- Li, H., Wang, T., Xu, C., Wang, D., Ren, J., Li, Y., Tian, Y., Wang, Y., Jiao, Y., Kang, X. and Liu, X., 2015. Transcriptome profile of liver at different physiological stages reveals potential mode for lipid metabolism in laying hens. *BMC Genomics*, 16, Article 763. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1976-1>
- Li, N., Liu, T.H., Yu, J.Z., Li, C.X., Liu, Y., Wu, Y.Y., Yang, Z.S. and Yuan, J.L., 2019. Curcumin and Curcumol inhibit NF- κ B and TGF- β 1/Smads signaling pathways in CSE-treated RAW246.7, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 3035125, 1-9.
- Li, X., Wang, J., Wang, L., Gao, Y., Feng, G., Li, G., Zou, J., Yu, M., Li, Y.F., Liu, C., Yuan, X.W., Zhao, L., Ouyang, H., Zhu, J.K., Li, W., Zhou, Q. and Zhang, K., 2022. Lipid metabolism dysfunction induced by age-dependent DNA methylation accelerates aging. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7, Article 162. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-00951-9>
- Li, Y., Monroig, O., Zhang, L., Wang, S., Zheng, X., Dick, J.R., You, C. and Tocher, D.R., 2010. Vertebrate fatty acyl desaturase with Δ 4 activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 107 (39), 16840-16845.
- Liao, B.Y. and Zhang, J., 2006. Evolutionary conservation of expression profiles between human and mouse orthologous genes. *Molecular biology and evolution*, 23(3), 530-540.
- Liczbiński, P., Michałowicz, J. and Bukowska, B., 2020. Molecular mechanism of curcumin action in signaling pathways: Review of the latest research. *Phytotherapy Research*, 34(8), 1992-2005. <https://doi.org/10.1002/ptr.6663>
- Lin, Z., Huang, Y., Zou, W., Rong, H., Hao, M. and Wen, X., 2018. Cloning, tissue distribution, functional characterization, and nutritional regulation of a fatty acyl *ELOVL5* elongase in the clown knifefish *Nibea coibor*. *Gene*, 659, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.03.046>

- Liu, L., Liu, X., Cui, H., Liu, R., Zhao, G. and Wen, J., 2019. Transcriptional Insights into key genes and pathways controlling muscle lipid metabolism in broiler chickens. *BMC Genomics*, 20,1-10.
- Liu, M., Lu, Y., Gao, P., Xie, X., Li, D., Yu, D. and Yu, M., 2020. Effect of curcumin on laying performance, egg quality, endocrine hormones, and immune activity in heat-stressed hens. *Poultry Science*, 99(4), 2196-2202. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.001>
- Livak, K.J. and Schmittgen, T.D., 2001. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT Method. *Methods*, 25(4), 402-408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
- Ma, Z., Li, H., Zheng, H., Jiang, K., Yan, F., Kang, X., Wang, Y., Liu, X. and Tian, Y., 2017. Hepatic *ELOVL6* mRNA is regulated by the gga-miR-22-3p in egg-laying hen. *Gene*, 623,72-79.
- Malekizadeh, M., Moeini, M.M. and Ghazi, S., 2012. The Effects of Different Levels of Ginger (*Zingiber officinale* Rosc) and Turmeric (*Curcuma longa* Linn) Rhizomes Powder on Some Blood Metabolites and Production Performance Characteristics of Laying Hens, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 127-134.
- Mandal, M.N.A., Ambasadhan, R., Wong, P.W., Gage, P.J., Siving, P.A. and Ayyagari, R., 2004. Characterization of mouse orthologue of *ELOVL4*: genomic organization and spatial and temporal expression. *Genomics*, 83(4), 626-635.
- Mandard, S., Müller, M. and Kersten, S., 2004. Peroxisome proliferator-activated receptor α target genes. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61, 393-416.
- Marchiori, M., Oliveira, R., Souza, C., Baldissera, M., Ribeiro, Q., Wagner, R., Gündel, S., Ourique, A., Kirinus, J., Stefani, L., Boiago, M. and Silva, A., 2019. Curcumin in the diet of quail in cold stress improves performance and egg quality. *Animal Feed Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2019.05.015>
- Martínez-Morúa, A., Soto-Urquieta, M.G., Franco-Robles, E., Zúñiga-Trujillo, I., Campos-Cervantes, A. and Pérez-Vázquez, V., 2013. Curcumin decreases oxidative stress in mitochondria isolated from liver and kidneys of high-fat diet-induced obese mice. *Journal of Asian Natural Products Research*, 15(8), 905-915. <https://doi.org/10.1080/10286020.2013.802687>
- Matsuzaka, T., 2021. Role of fatty acid elongase *ELOVL6* in the regulation of energy metabolism and pathophysiological significance in diabetes. *Diabetology international*, 12(1), 68-73. doi: 10.1007/s13340-020-00481-3
- Matsuzaka, T., Shimano, H., Yahagi, N., Kato, T., Atsumi, A., Yamamoto, T., Inoue, N., Ishikawa, M., Okada, S., Ishigaki, N., Iwasaki, H., Iwasaki, Y., Karasawa, T., Kubota, N., Takahashi, A., Nagai, R., Sone, H., Suzuki, H., Takahashi, S., Urayama, O. and Yamada, N., 2007. Crucial role of a long-chain fatty acid elongase, *Elovl6*, in obesity-induced insulin resistance. *Nature Medicine*, 13(10), 1193-1202. doi:10.1038/nm1662
- Matsuzaka, T., Shimano, H., Yahagi, N., Sone, H., Ishibashi, S. and Yamada, N., 2002. Cloning and characterization of a mammalian fatty acyl-CoA elongase as a lipogenic enzyme regulated by SREBPs. *Journal of Lipid Research*, 43(6), 911-920. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)30465-X](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)30465-X)
- McMahon, A., Butovich, I.A. and Kedzierski, W., 2011. Expression of an *ELOVL4* transgene rescues neonatal lethality of homozygous Stargardt disease-3 mice. *Journal of Lipid Research*, 52(6), 1128-1138.

- McNamara, R.K., Jandacek, R., Rider, T., Tso, P., Dwivedi, Y. and Pandey, G.N., 2013. Adult medication-free schizophrenic patients exhibit long-chain omega-3 fatty acid deficiency: implications for cardiovascular disease risk. *Cardiovascular Psychiatry and Neurology*, 796462. doi: 10.1155/2013/796462
- Mehraban, M., Jamshidi, J. and Vallian, S., 2014. Gene Family: Structure, Organization and Evolution. *Journal of Fasa University of Medical Sciences*, 4, 143-153.
- Memarzia, A., Khazdair, M.R., Behrouz, S., Gholamnezhad, Z., Jafarnezhad, M., Saadat, S. and Boskabady, M.H., 2021. Experimental and clinical reports on anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects of *Curcuma longa* and curcumin, an updated and comprehensive review. *IUBMB Journals, BioFactors*, 47(3), 311-350. <https://doi.org/10.1002/biof.1716>
- Menon, V.P. and Sudheer, A.R., 2007. Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. *The Molecular Targets and Therapeutic Uses of Curcumin in Health and Disease*, 105-125. doi: 10.1007/978-0-387-46401-5_3
- Metcalfe, L.D. and Schmitz, A.A., 1961. The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, 33, 363-364.
- Mihelic, R., Winter, H., Powers, J.B., Das, S., Lamour, K. and Campagna, S.R., 2020. Genes controlling polyunsaturated fatty acid synthesis are developmentally regulated in broiler chicks. *British Poultry Science*, 61(5), 508-517. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1759788>
- Mirbod, M., Mahdavi, A., Samie, A. and Mehri, M., 2017. Effects of *Curcuma longa* rhizome powder on egg quality, performance and some physiological indices of laying hens fed different levels of metabolizable energy. *Journal of the science of food and agriculture*, 97(4), 1286-1294. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7862>
- Moghaddam, N.S.A., Oskouie, M.N., Butler, A.E., Petit, P., Barreto, G.E. and Sahebkar, A., 2018. Hormetic effects of curcumin: What is the evidence? *Journal of Cellular Physiology*, 234(7), 10060-10071.
- Moon, Y.A., Shah, N.A., Mohapatra, S., Warrington, J.A. and Horton, J.D., 2001. Identification of a mammalian long chain fatty acyl elongase regulated by sterol regulatory element-binding proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 276(48), 45358-45366.
- Moorthy, M., Saravanan, S., Mehala, C., Ravi, S., Ravikumar, M., Viswanathan, K. and Edwin, S.C., 2009. Performance of Single Comb White Leghorn Layers Fed with Aloe Vera, *Curcuma Longa* (Turmeric) and Probiotic. *International Journal of Poultry Science* 8: 775-778. doi:10.3923/ijps.2009.775.778
- Morais, S., Castanheira, F., Martinez-Rubio, L., Conceição, L.E.C. and Tocher, D.R., 2012. Long chain polyunsaturated fatty acid synthesis in a marine vertebrate: ontogenetic and nutritional regulation of a fatty acyl desaturase with $\Delta 4$ activity. *BBA Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1821, 660-671.
- Mortezaee, K., Salehi, E., Mirtavoos-mahyari, H., Motevaseli, E., Najafi, M., Farhood, B., Rosengren, R.J. and Sahebkar, A., 2019. Mechanisms of apoptosis modulation by curcumin: Implications for cancer therapy. *Journal of Cellular Physiology*, 234(8), 12537-12550. <https://doi.org/10.1002/jcp.28122>
- Na, W., Wang, Y., Gong, P., Zhang, X., Zhang, K., Zhang, H., Wang, N. and Li, H., 2021. Screening of Reference Genes for RT-qPCR in Chicken Adipose Tissue and Adipocytes. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.676864>.

- Nabavi, S.F., Daglia, M., Moghaddam, A.H., Habtemariam, S. and Nabavi, S.M., 2013. Curcumin and Liver Disease: from Chemistry to Medicine, 13(1), 62-77. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12047>
- Nakamura, M.T. and Nara, T.Y., 2004. Structure, function, and dietary regulation of delta6, delta5, and delta9 desaturases. *Annual Review of Nutrition*, 24, 345-376.
- Nakamura, M.T., Yudell, B.E. and Loor, J.J., 2014. Regulation of energy metabolism by long-chain fatty acids. *Progress in Lipid Research*, 53, 124-144. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2013.12.001>
- Narushin, V., Romanov, M. and Griffin, D., 2021. A novel Egg Quality Index as an alternative to Haugh unit score. *Journal of Food Engineering*, 289, 110176. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110176>
- Nassef, E.E., Bakr, A.A. and Salama, A.S., 2019. Feeding a definite concentration of eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acids to laying hens. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 70(1), 1393-1400. <https://doi.org/10.12681/jhvms.20345>
- Nayak, M., Saha, A., Pradhan, A., Samanta, M. and Giri, S.S., 2017. Dietary fish oil replacement by linseed oil: Effect on growth, nutrient utilization, tissue fatty acid composition and desaturase gene expression in silver barb (*Puntius gonionotus*) fingerlings. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 205, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2016.11.009>
- Neijat, M., Suh, M., Neufeld, J. and House, J.D., 2016. Increasing levels of dietary hempseed products leads to differential responses in the fatty acid profiles of egg yolk, liver and plasma of laying hens. *Lipids*, 51(5), 615-633. <https://doi.org/10.1007/s11745-016-4146-9>
- Nm, J., Joseph, A., Maliakel, B. and Im, K., 2018. Dietary addition of a standardized extract of turmeric (TurmaFEEDTM) improves growth performance and carcass quality of broilers. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1), 2-9.
- Nosrati-Oskouie, M., Aghili-Moghaddam, N.S., Sathyapalan, T. and Sahebkar, A., 2021. Impact of curcumin on fatty acid metabolism. *Phytotherapy Research*, 35(9), 4748-4762. <https://doi.org/10.1002/ptr.7105>
- Noureddin, S.A., El-Shishtawy, R.M. and Al-Footy, K.O., 2019. Curcumin analogues and their hybrid molecules as multifunctional drugs. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 182, 111631. doi: 10.1016/j.ejmech.2019.111631.
- Nouzarian, R., Tabeidian, S.A., Toghyani, M., Ghalamkari, G. and Toghyani, M., 2011. Effect of turmeric powder on performance, carcass traits, humoral immune responses, and serum metabolites in broiler chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20(3), 389-400. <https://doi.org/10.22358/jafs/66194/2011>
- Ntambi, J. and Bené, H., 2001. Polyunsaturated fatty acid regulation of gene expression. *Journal of Molecular Neuroscience*, 16, 273-278. <https://doi.org/10.1385/JMN:16:2-3:273>
- Nuningtyas, Y.F., Chang, H.L., Lin, M.J. and Widodo, E., 2020. Evaluation of Curcumin as An Additive on Egg Yolk Pigmentation of White Laying Hens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 478(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/478/1/012050>
- O'Brien, S.J., Menotti-Raymond, M., Murphy, W.J., Nash, W.G., Wienberg, J., Stanyon, R., Copeland, N.G., Jenkins, N.A., Womack, J.E. and Marshall Graves, J.A., 1999. The promise of comparative genomics in mammals. *Science*, 286, 458-481. doi: 10.1126/science.286.5439.458.

- O'Brien, J.S. and Sampson, E.L., 1965. Fatty acid and fatty aldehyde composition of the major brain lipids in normal human gray matter, white matter, and myelin, *Journal of Lipid Research*, 6, 545-551.
- Ohno, Y., Suto, S., Yamanaka, M., Mizutani, Y., Mitsutake, S., Igarashi, Y., Sassa, T. and Kihara, A., 2010. *ELOVL1* production of C24 acyl-CoAs is linked to C24 sphingolipid synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18439-18444. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005572107>
- Pan, S., Chen, Y., Zhang, L., Liu, Z., Xu, X. and Xing, H., 2022. Curcumin represses lipid accumulation through inhibiting ERK1/2-PPAR- γ signaling pathway and triggering apoptosis in porcine subcutaneous preadipocytes. *Animal Biotechnology*, 35(5), 763-777. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0371>
- Park, S.S., Kim, J.M., Kim, E.J., Kim, H.S., An, B.K. and Kang, C.W., 2012a. Effects of dietary turmeric powder on laying performance and egg qualities in laying hens. *Korean Journal of Poultry Science*, 39(1), 27-32.
- Park, W.J., Kothapalli, K.S., Lawrence, P., Tyburczy, C. and Brenna, J.T., 2009. An alternate pathway to long-chain polyunsaturates: the *FADS2* gene product Delta8-desaturates 20:2n-6 and 20:3n-3. *Journal of Lipid Research*, 50, 1195-1202.
- Park, W.J., Kothapalli, K.S.D., Reardon, H.T., Lawrence, P., Qian, S.B. and Brenna, J.T., 2012b. A novel *FADS1* isoform potentiates *FADS2*-mediated production of eicosanoid precursor fatty acids. *Journal of Lipid Research*, 53(8), 1502-1512. <https://doi.org/10.1194/jlr.M025312>
- Pfaffl, M.W., 2001. A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Research*, 29(9), e45.
- Prasad, S., Gupta, S.C., Tyagi, A.K. and Aggarwal, B.B., 2014. Curcumin, a component of golden spice: from bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*, 32(6), 1053-1064. doi: 10.1016/j.biotechadv.2014.04.004
- Priyadarsini, K.I., 2014. The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent. *Molecules*, 19(12), 20091-20112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
- Puvača, N., Ljubojević, D., Spasevski, N., Nikolova, N., Prodanović, R. and Bošković, J., 2018. Effects of Turmeric Powder (*Curcuma longa*) in Laying Hens Nutrition: Table Eggs Production, Quality and Lipid Profile. *Opinion*, 2(1). <https://doi.org/10.32474/CDVS.2018.02.000129>
- Radanović, A., Kralik, G., Drenjančević, I., Galović, O., Košević, M. and Kralik, Z., 2023. n-3 PUFA Enriched Eggs as a Source of Valuable Bioactive Substances. *Foods*, 12(23), 4202. <https://doi.org/10.3390/foods12234202>
- Radwan, N.L., Hassan, R.A., Qota, E.M. and Fayek, H.M., 2008. Effect of natural antioxidant on oxidative stability of eggs and productive and reproductive performance of laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 7, 134-150.
- Rajput, N., Muhammad, N., Yan, R., Zhong, X. and Wang, T., 2013. Effect of dietary supplementation of curcumin on growth performance, intestinal morphology and nutrients utilization of broiler chicks. *The Journal of Poultry Science*, 50(1), 44-52. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0120065>
- Ramakrishna, R., Sarkar, D. and Shetty, K., 2020. Functional bioactives from barley for human health benefits. Shetty, K., Sarkar, D. (Eds.), *Functional foods and biotechnology: Biotransformation and analysis of functional foods and ingredients* (1st ed.), CRC Press, United Kingdom, p. 454.

- Ravindran, J., Prasad, S. and Aggarwal, B.B., 2009. Curcumin and cancer cells: how many ways can curry kill tumor cells selectively? *AAPS Journal*, 11(3), 495-510. doi: 10.1208/s12248-009-9128-x
- Reda, F.M., El-Saadony, M.T., Elnesr, S.S., Alagawany, M. and Tufarelli, V., 2020. Effect of dietary supplementation of biological curcumin nanoparticles on growth and carcass traits, antioxidant status, immunity and caecal microbiota of Japanese quails. *Animals*, 10(5), 754.
- Réhault-Godbert, S., Guyot, N. and Nys, Y., 2019. The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*, 11(3), 684. doi: 10.3390/nu11030684
- Ren, H.T., Zhang, G.Q., Li, J.L., Tang, Y.K., Li, H.X., Yu, J.H. and Xu, P., 2013. Two $\Delta 6$ -desaturase-like genes in common carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Structure characterization, mRNA expression, temperature and nutritional regulation. *Gene*, 525(1), 11-17.
- Reynolds, L.M., Howard, T.D., Ruczinski, I., Kanchan, K., Seeds, M.C., Mathias, R.A. and Chilton, F.H., 2018. Tissue-specific impact of *FADS* cluster variants on *FADS1* and *FADS2* gene expression. *PLOS One*, 13(3), e0194610. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194610>
- Rocha, D.M., Bressan, J. and Hermsdorff, H.H., 2017. The role of dietary fatty acid intake in inflammatory gene expression: A critical review. *São Paulo Medical Journal*, 135(2). <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2016.008607072016>
- Rodriguez-Cruz, M., Sánchez, R., Sánchez, A.M., Kelleher, S.L., Sánchez-Muñoz, F., Maldonado, J. and López-Alarcón, M., 2011. Participation of mammary gland in long-chain polyunsaturated fatty acid synthesis during pregnancy and lactation in rats. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1811(4), 284-293.
- Rosa, G., Dazuk, V., Alba, D.F., Galli, G.M., Molosse, V., Boiago, M.M., Souza, C.F., Abbad, L.B., Baldissera, M.D., Stefani, L.M. and Da Silva, A.S., 2020. Curcumin addition in diet of laying hens under cold stress has antioxidant and antimicrobial effects and improves bird health and egg quality. *Journal of Thermal Biology*, 91, 102618. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102618>
- Ruby, A.J., Kuttan, G., Dinesh Babu, K., Rajasekharan, K.N. and Kuttan, R., 1995. Anti-Tumour and Antioxidant Activity of Natural Curcuminoids. *Cancer Letters*, 94(1), 79-83. DOI: 10.1016/0304-3835(95)03827-J
- Salah, A.S., Ahmed-Farid, O.A., Nassan, M.A. and El-Tarabany, M.S., 2021. Dietary curcumin improves energy metabolism, brain monoamines, carcass traits, muscle oxidative stability and fatty acid profile in heat-stressed broiler chickens. *Antioxidants*, 10(8), 1265. <https://doi.org/10.3390/antiox10081265>
- Salaha, A.S., Mahmoudb, M.A., Ahmed-Faridc, O.A. and El-Tarabanyd, M.S., 2019. Effects of dietary curcumin and acetylsalicylic acid supplements on performance, muscle amino acid and fatty acid profiles, antioxidant biomarkers and blood chemistry of heat-stressed broiler chickens. *Journal of Thermal Biology*, 84, 259-265.
- Saw, C., Huang, Y. and Kong, A., 2010. Synergistic anti-inflammatory effects of low doses of curcumin in combination with polyunsaturated fatty acids: docosahexaenoic acid or eicosapentaenoic acid. *Biochemical Pharmacology*, 79(3), 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2009.08.030>

- Schmittgen, T.D. and Livak, K.J., 2008. Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method. *Nature Protocols*, 3, 1101-1108.
- Seiliez, I., Panserat, S., Corraze, G., Kaushik, S. and Bergot, P., 2003. Cloning and nutritional regulation of a $\Delta 6$ -desaturase-like enzyme in the marine teleost gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 135(3), 449-460.
- Seiliez, I., Panserat, S., Kaushik, S. and Bergot, P., 2001. Cloning, tissue distribution and nutritional regulation of a $\Delta 6$ -desaturase-like enzyme in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 130(1), 83-93.
- Sergeant, S., Keith, B.A., Seeds, M.C., Legins, J.A., Young, C.B., Vitolins, M.Z. and Chilton, F.H., 2023. Impact of *FADS* gene variation and dietary fatty acid exposure on biochemical and anthropomorphic phenotypes in a Hispanic/Latino cohort. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1111624>
- Shahrajabian, M.H. and Sun, W., 2023. The Golden Spice for Life: Turmeric with the Pharmacological Benefits of Curcuminoids Components, including Curcumin, Bisdemethoxycurcumin, and Demethoxycurcumin. *Current Organic Synthesis*. doi: 10.2174/1570179420666230607124949
- Shao, W., Yu, Z., Chiang, Y., Yang, Y., Chai, T., Foltz, W., Lu, H., Fantus, I.G. and Jin, T., 2012. Curcumin Prevents High Fat Diet Induced Insulin Resistance and Obesity via Attenuating Lipogenesis in Liver and Inflammatory Pathway in Adipocytes. *PLOS One*, 7(1), e28784. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028784>
- Sharma, M.K., Denovan-Wright, E.M., Boudreau, M.E.R. and Wright, J.M., 2003. A cellular retinoic acid-binding protein from zebrafish (*Danio rerio*): cDNA sequence, phylogenetic analysis, mRNA expression and gene linkage mapping. *Gene*, 311, 119-128.
- Shi, H.B., Wu, M., Zhu, J.J., Zhang, C.H., Yao, D.W., Luo, J. and Loo, J.J., 2017. Fatty acid elongase 6 plays a role in the synthesis of long-chain fatty acids in goat mammary epithelial cells. *Journal of dairy science*, 100(6), 4987-4995.
- Shishodia, S., 2013. Molecular mechanisms of curcumin action: gene expression. *Biofactors*, 39(1), 37-55. doi: 10.1002/biof.1041
- Shishodia, S., Sethi, G. and Aggarwal, B.B., 2005. Curcumin: getting back to the roots. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1056(1), 206-217. doi: 10.1196/annals.1352.010
- Shohe, A., Vidyarthi, V.K. and Zuyie, R., 2019. Performance of Broiler Chicken on Diet Supplemented with Turmeric Powder (*Curcuma longa*). *Livestock Research International*, 7(2), 77-82.
- Simopoulos, A.P., 2011. Evolutionary Aspects of Diet: The Omega-6/Omega-3 Ratio and the Brain. *Mol Neurobiol* 44, 203-215. <https://doi.org/10.1007/s12035-010-8162-0>
- Singh, P.K., Kumar, A. and Tiwari, D.P., 2019. Effects of Dietary Supplementation of Black Cumin, Garlic and Turmeric on the Production Performance and Egg Quality of White Leghorn Hens. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 19, 361-370. <https://doi.org/10.5958/0974-181X.2019.00034.9>
- Slieker, R.C., Relton, C.L., Gaunt, T.R., Slagboom, P.E. and Heijmans, B.T., 2018. Age-related DNA methylation changes are tissue-specific with *ELOVL2* promoter methylation as exception. *Epigenetics and Chromatin*, 11, 1-11.

- Soleimani, V., Sahebkar, A. and Hosseinzadeh, H., 2018. Turmeric (*Curcuma longa*) and its major constituent (curcumin) as nontoxic and safe substances: Review. *Phytotherapy Research*, 32(6), 985-995.
- Sprecher, H., 2000. Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1486(2-3), 219-231. [https://doi.org/10.1016/s1388-1981\(00\)00077-9](https://doi.org/10.1016/s1388-1981(00)00077-9)
- SPSS, 1996. SPSS for Windows Release 10.01, SPSS Inc.
- Sugasini, D. and Lokesh, B., 2017. Curcumin and linseed oil co-delivered in phospholipid nanoemulsions enhances the levels of docosahexaenoic acid in serum and tissue lipids of rats. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 119: 45-52.
- Sugiharto, S., Isroli, I., Widiastuti, E. and Prabowo, N.S., 2011. Effect of turmeric extract on blood parameters, feed efficiency and abdominal fat content in broilers. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 36(1), 21-26. <https://doi.org/10.14710/jitaa.36.1.21-26>
- Sun, S., Wang, Y., Goh, P.T., Lopes-Marques, M., Castro, L.F.C., Monroig, Ó., Kuah, M.K., Cao, X., Chong Shu-Chien, A. and Gao, J., 2021. Evolution and Functional Characteristics of the Novel elovl8 That Play Pivotal Roles in Fatty Acid Biosynthesis. *Genes*, 12(8), 1287. <https://doi.org/10.3390/genes12081287>
- Talahalli, R.R., Vallikannan, B., Sambaiah, K. and Lokesh, B.R., 2010. Lower efficacy in the utilization of dietary ALA as compared to preformed EPA + DHA on long chain n-3 PUFA levels in rats. *Lipids*, 45, 799-808.
- Tamura, K., Makino, A., Hullin-Matsuda, F., Kobayashi, T., Furihata, M., Chung, S., Ashida, S., Miki, T., Fujioka, T., Shuin, T., Nakamura, Y. and Nakagawa, H., 2009. Novel lipogenic enzyme *ELOVL7* is involved in prostate cancer growth through saturated long-chain fatty acid metabolism. *Cancer research*, 69(20), 8133-8140. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-09-0775>
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M. and Kumar, S., 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution*, 28, 2731-2739.
- Tan, C.Y., Virtue, S., Bidault, G., Dale, M., Hagen, R., Griffin, J.L. and Vidal-Puig, A., 2015. Brown Adipose Tissue Thermogenic Capacity Is Regulated by *ELOVL6*. *Cell Reports*, 13(10), 2039-2047. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2015.11.004>
- Thirumaran, A., 2013. The Fatty Acid-Binding Protein (*fabp*) Genes of Spotted Green Pufferfish (*Tetraodon nigroviridis*) - Comparative Structural Genomics and Tissue-Specific Distribution of Their Transcripts. (Master's thesis). Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Thompson, J.D., Higgins, D.G. and Gibson, T.J., 1994. CLUSTALW: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice, *Nucleic Acids Research*, 22, 4673-4680.
- Tichopád, A., Kitchen, R., Riedmaier, I., Becker, C., Ståhlberg, A. and Kubista, M., 2009. Design and optimization of reverse-transcription quantitative PCR experiments. *Clinical chemistry*, 55 10, 1816-23. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2009.126201>

- Tocher, D.R., Zheng, X., Schlechtriem, C., Hastings, N., Dick, J.R. and Teale, A.J., 2006. Highly unsaturated fatty acid synthesis in marine fish: cloning, functional characterization, and nutritional regulation of fatty acyl $\Delta 6$ desaturase of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Lipids*, 41(11), 1003-1016.
- Torres, M., Navarro, J.C., Varó, I., Monroig, Ó. and Hontoria, F., 2020. Nutritional regulation of genes responsible for long-chain (C20-24) and very long-chain (>C24) polyunsaturated fatty acid biosynthesis in post-larvae of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 525, 735314. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735314>
- Trujillo, J., Chirino, Y.I., Molina-Jijón, E., Andérica-Romero, A.C., Tapia, E. and Pedraza-Chaverri, J., 2013. Renoprotective effect of the antioxidant curcumin: Recent findings. *Redox Biology*, 1(1), 448-456. doi: 10.1016/j.redox.2013.09.003
- Tvrđik, P., Asadi, A., Kozak, L.P., Nedergaard, J., Cannon, B. and Jacobsson, A., 1997. Cig30, a mouse member of a novel membrane protein gene family, is involved in the recruitment of brown adipose tissue. *Journal of Biological Chemistry*, 272(50), 31738-31746.
- Ürüsan, H. and Bölükbaşı, C., 2017. Effects of dietary supplementation levels of turmeric powder (*Curcuma longa*) on performance, carcass characteristics and gut microflora in broiler chickens. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(3), 27, 732-736. <https://thejaps.org.pk/docs/v-27-03/05.pdf>
- Vaithinen, M., Männistö, V., Käkälä, P., Ågren, J., Tiainen, M., Schwab, U. and Pihlajamäki, J., 2017. Interorgan cross talk between fatty acid metabolism, tissue inflammation, and *FADS2* genotype in humans with obesity. *Obesity*, 25(3), 545-552. <https://doi.org/10.1002/oby.21753>
- Vo, T.S., Vo, T.T.B.C., Vo, T.T.T.N. and Lai, T.N.H., 2021. Turmeric (*Curcuma longa* L.): Chemical Components and Their Effective Clinical Applications. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8(3), 883-898. Doi: <https://doi.org/10.18596/jotcsa.913136>
- Voisey, P.W. and MacDonald, D.C., 1978. Laboratory Measurements of Eggshell Strength: 1. An Instrument for Measuring Shell Strength by Quasi-Static Compression, Puncture, and Non-Destructive Deformation. *Poultry Science*, 57(4), 860-869. <https://doi.org/10.3382/ps.0570860>
- Walle, P., Männistö, V., de Mello, V.D., Vaithinen, M., Perfilyev, A., Hanhineva, K., Ling, C. and Pihlajamäki, J., 2019. Liver DNA methylation of *FADS2* associates with *FADS2* genotype. *Clinical Epigenetics*, 11(1), Article 10. <https://doi.org/10.1186/s13148-018-0606-4>
- Wang, D., Li, X., Zhang, P., Cao, Y., Zhang, K., Qin, P., Guo, Y., Li, Z., Tian, Y., Kang, X., Liu, X. and Li, H., 2022. *ELOVL* gene family plays a virtual role in response to breeding selection and lipid deposition in different tissues in chicken (*Gallus gallus*). *BMC Genomics*, 23,705. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08479-5>
- Wang, M., Jiang, S., Zhou, L., Yu, F., Ding, H., Li, P., Zhou, M. and Wang, K., 2019. Potential Mechanisms of Action of Curcumin for Cancer Prevention: Focus on Cellular Signaling Pathways and miRNAs. *International Journal of Biological Sciences*, 15(6), 1200-1214. doi: 10.7150/ijbs.33710
- Wang, X., Yang, L., Wang, H., Shao, F., Yu, J., Jiang, H., Han, Y., Gong, D. and Gu, Z., 2014. Growth Hormone-Regulated MRNAs and MiRNAs in Chicken Hepatocytes. *PLoS One*, 9(11), e112896.

- Wang, X., Yu, H., Gao, R., Liu, M. and Xie, W., 2023. A comprehensive review of the family of very-long-chain fatty acid elongases: structure, function, and implications in physiology and pathology. *European Journal of Medical Research*, 28(1), 532.
- Wang, Y., Botolin, D., Christian, B., Busik, J., Xu, J. and Jump, D. B., 2005. Tissue-specific, nutritional, and developmental regulation of rat fatty acid elongases. *Journal of Lipid Research*, 46(4), 706-715.
- Weihrauch, J.L., 1983. Son, Y.S. Phospholipid content of foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60(12), 1971-1978.
- Westerberg, R., Tvrdik, P., Undén, A.B., Månsson, J.E., Norlén, L., Jakobsson, A., Holleran, W.H., Elias, P.M., Asadi, A., Flodby, P., Toftgård, R., Capecchi, M.R. and Jakobsson, A., 2004. Role for *ELOVL3* and Fatty Acid Chain Length in Development of Hair and Skin Function. *Journal of Biological Chemistry*, 279(7), 5621-5629. <https://doi.org/10.1074/jbc.M310529200>
- Wu, A., Noble, E.E., Tyagi, E., Ying, Z., Zhuang, Y. and Gomez-Pinilla, F., 2015. Curcumin boosts DHA in the brain: implications for the prevention of anxiety disorders. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1852(5), 951-961. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2014.12.005>
- Xie, Z., Shen, G., Wang, Y. and Wu, C., 2019. Curcumin supplementation regulates lipid metabolism in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(1), 422-429. <https://doi.org/10.3382/ps/pey315>
- Xu, J., Liu, D., Yin, H., Tong, H., Li, S. and Yan, Y., 2018. Fatty acids promote bovine skeletal muscle satellite cell differentiation by regulating *ELOVL3* expression. *Cell and Tissue Research*, 373, 499-508. <https://doi.org/10.1007/s00441-018-2789-1>
- Yalcin, H. and Unal, M.K., 2010. The Enrichment of Hen Eggs with ω -3 Fatty Acids. *Journal of Medicinal Food*, 13(3), 610-614.
- Yarru, L.P., Settivari, R.S., Gowda, N.K.S., Antoniou, E., Ledoux, D.R. and Rottinghaus, G.E., 2009. Effects of turmeric (*Curcuma longa*) on the expression of hepatic genes associated with biotransformation, antioxidant, and immune systems in broiler chicks fed aflatoxin. *Poultry Science*, 88, 2620-2627.
- Zadeh, A.M., Mirghelenj, S.A., Hasanlou, P. and Shakouri Alishah, H., 2022. Effects of turmeric (*Curcuma longa*) powder supplementation in laying hens' diet on production performance, blood biochemical parameters and egg quality traits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(2), 691-702. <https://doi.org/10.1111/jpn.13746>
- Zhang, J.F., Hu, Z.P., Lu, C.H., Yang, M.X., Zhang, L.L. and Wang, T., 2015. Dietary curcumin supplementation protects against heat-stress-impaired growth performance of broilers possibly through a mitochondrial pathway. *Journal of Animal Science*, 93(4), 1656-1665.
- Zhang, J.Y., Qin, X., Park, H., Kim, E., Liu, G., Kothapalli, K. and Brenna, J.T., 2016. Alternative splicing generates novel *FADS3* transcript in mice. *Molecular Biology Reports*, 43(8), 761-766.
- Zhang, K., Kniazeva, M., Han, M., Li, W., Yu, Z., Yang, Z., Li, Y., Metzker, M.L., Allikmets, R., Zack, D.J., Kakuk, L.E., Lagali, P.S., Wong, P.W., MacDonald, I.M., Sieving, P.A., Figueroa, D.J., Austin, C.P., Gould, R.J., Ayyagari, R. and Petrukhin, K., 2001. A 5-bp deletion in *ELOVL4* is associated with two related forms of autosomal dominant macular dystrophy. *Nature Genetics*, 27, 89-93.

- Zhang, M., Li, C.C., Li, F., Li, H., Liu, X.J., Loo, J.J., Kang, X.T. and Sun, G.R., 2017. Estrogen promotes hepatic synthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids by regulating *ELOVL5* at post-transcriptional level in laying hens. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7), 1405. <https://doi.org/10.3390/ijms18071405>
- Zhang, X., Lv, M., Luo, X., Estill, J., Wang, L., Ren, M., Liu, Y., Feng, Z., Wang, J., Wang, X. and Chen, Y., 2020. Egg consumption and health outcomes: a global evidence mapping based on an overview of systematic reviews. *Annals of Translational Medicine*, 8(21), 1343. doi: 10.21037/atm-20-4243
- Zhang, X.M., Yang, Z., Karan, G., Hashimoto, T., Baehr, W., Yang, X.J. and Zhang, K., 2003. *ELOVL4* mRNA distribution in the developing mouse retina and phylogenetic conservation of *ELOVL4* genes. *Molecular Vision*, 9, 301.
- Zheng, X., Ding, Z., Xu, Y., Monroig, O., Morais, S. and Tocher, D.R., 2009. Physiological roles of fatty acyl desaturases and elongases in marine fish: characterisation of cDNAs of fatty acyl $\Delta 6$ desaturase and *ELOVL5* elongase of cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 290(1-2), 122-131.
- Zhu, S., Tian, Y., Zhang, S., Chen, Q., Wang, Q., Han, R. and Kang, X., 2014. Adjacent SNPs in the transcriptional regulatory region of the *FADS2* gene associated with fatty acid and growth traits in chickens. *Genetics and Molecular Research*, 13(13), 3329-3336. <https://doi.org/10.4238/2014.April.29.11>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Büşra DUMLU
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yemler ve Hayvan besleme Anabilim Dalı
Doktora:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yemler ve Hayvan besleme Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
- Zootečni Federasyonu	