



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI SEVİYELERDE AZALTILMIŞ
AMİNO ASİT İÇEREN RASYONLARA
MULTİENZİM İLAVESİNİN YUMURTA
TAVUKLARINDA PERFORMANS,
YUMURTA KALİTESİ, KEMİK
ÖZELLİKLERİ, SİNDİRİM SİSTEMİ
GELİŞİMİ VE BESİN MADDE
SİNDİRİLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ**

Barişcan CURABAY

DOKTORA TEZİ

ZOOTEKNİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Barişcan CURABAY tarafından hazırlanan “Farklı Seviyelerde Azaltılmış Amino Asit İçeren Rasyonlara Multienzim İlavесinin Yumurta Tavuklarında Performans, Yumurta Kalitesi, Kemik zellikleri, Sindirim Sistemi Gelişimi ve Besin Madde Sindirilebilirliğine Etkisi” adlı tez çalışması 17/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zooteکni Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Yılmaz BAHTİYARCA

.....

Danışman

Prof. Dr. Yusuf CUFADAR

.....

ye

Prof. Dr. Yılmaz BAHTİYARCA

.....

ye

Prof. Dr. Alpönder YILDIZ

.....

ye

Doç. Dr. Behll SEVİM

.....

ye

Doç. Dr. Ahmet Engin TZN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN
FBE Müdürü

Bu tez alışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 22211019 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Barışcan CURABAY

Tarih: 17.06.2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI SEVİYELERDE AZALTIKMIŞ AMİNO ASİT İÇEREN RASYONLARA MULTİENZİM İLAVESİNİN YUMURTA TAVUKLARINDA PERFORMANS, YUMURTA KALİTESİ, KEMİK ÖZELLİKLERİ, SİNDİRİM SİSTEMİ GELİŞİMİ VE BESİN MADDE SİNDİRİLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Barişcan CURABAY

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ZOOOTEKNİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Yusuf CUFADAR

2025, 181 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Yusuf CUFADAR
Prof. Dr. Yılmaz BAHTİYARCA
Prof. Dr. Alpönder YILDIZ
Doç. Dr. Behlül SEVİM
Doç. Dr. Ahmet Engin TÜZÜN**

Bu çalışma, 30 haftalık yaşta beyaz yumurtacı tavuklarda, enzim ilaveli ve ilavesiz sindirilebilir lizin seviyeleri azaltılmış ve ideal aminoasit (AA) konseptine dayalı olarak, enzim takviyesi ile ve enzim takviyesi olmadan formüle edilmiş rasyonların performans, yumurta kalitesi, kemik biyomekanik özellikleri, ince bağırsak histomorfolojik özellikleri, sekum mikroorganizma popülasyonu, sekum uçucu yağ asitleri ile ileal besin madde sindirilebilirliğine etkisini belirlemek amacı ile yapılmıştır. Denemede toplam 144 adet 30 haftalık yaşta Super Nick hattı yumurta tavuğu kullanılmıştır. Araştırma 6 farklı muamele grubunda tesadüf parselleri deneme planına göre 8 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her birinde 3 adet tavuk bulunan toplam 48 alt grupta yürütülmüştür. Hayvanların yemlenmesi için 6 farklı rasyon hazırlanmış ve 6 farklı muamele rasyonu ile 84 gün süreyle beslenmişlerdir. Kontrol rasyonu ve enzim içeren kontrol rasyonu %0.77 seviyesinde sindirilebilir lizin ve %16.8 ham protein (HP) içerecek şekilde hazırlanmıştır. Diğer 4 rasyon ise sırasıyla, %0.70 sindirilebilir lizin ve %15.8 HP içeren enzimsiz ve enzimli, %0.65 sindirilebilir lizin ve %14.8 HP içeren enzimsiz ve enzimli olacak şekilde hazırlanmıştır. Enzim içeren 3 rasyona fitaz (1000 FTU/kg), NSPaz, (16.000 BXU/kg) ve proteaz (125 mg/kg) enzimleri ilave edilmiş ve enerji (125 kcal ME/kg), kalsiyum (Ca) ve kullanılabilir fosfor (%0.2 KP) enzimin besin matrisi değerleri dikkate alınarak formüle edilmiştir.

Çalışma sonu itibarıyla, enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonla beslenen grupta yumurta verimi ve yem tüketimi diğer gruplardan önemli seviyede daha düşük olmuştur ($P<0.01$). Enzimli ve enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonlarla beslenen gruplarda, yumurta kitlesi diğer gruplardan önemli seviyede daha düşük olurken, yemden yararlanma oranı (YYO) diğer gruplardan önemli seviyede daha yüksek olmuştur ($P<0.01$). Yumurta kabuk kalınlığı enzimli kontrol grubunda (%0.77 sindirilebilir lizin, %16.8 HP), enzimli ve enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonla beslenen gruplardan önemli seviyede daha düşük olmuştur ($P<0.05$). Yumurta kabuk oranı enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonla beslenen grupta kontrol grubu ve %0.70 sindirilebilir lizin (%15.8 HP) içeren rasyonlarla beslenen gruplardan daha yüksek olmuştur ($P<0.01$). Yumurta sarı indeksi enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonla beslenen grupta diğer gruplardan önemli seviyede düşük olmuştur ($P<0.01$). Serum ürik asit ve bilirubin miktarı kontrol grubunda diğer gruplardan önemli seviyede yüksek olmuştur ($P<0.01$). Tibia çapı enzimli %0.70 sindirilebilir lizin (%15.8 HP) ve enzimli/enzimsiz %0.65 sindirilebilir lizin (%14.8 HP) içeren rasyonlarla beslenen gruplarda kontrol grubundan önemli seviyede daha düşük olmuştur ($P<0.01$). Tibia kesit alanı enzimsiz %0.70 ve %0.65 sindirilebilir lizin içeren rasyonlarla beslenen gruplarda kontrol grubundan önemli

seviyede daha düşük olmuştur ($P<0.01$). Tibia kesme gerilmesi enzimli %0.65 sindirilebilir lizin içeren rasyonlarla beslenen grupta %0.70 ve %0.77 sindirilebilir lizin içeren gruplardan önemli seviyede yüksek olmuştur ($P<0.01$). Jejunum villus yüksekliği, villus genişliği, villus yüksekliği/kript derinliği oranı, villus yüzey alanı ve goblet hücre sayısı rasyonda AA ve HP azaltılmasına özellikle enzimli gruplarda olumlu tepki vermiş ve bu parametrelerde önemli seviye artışlar olmuştur ($P<0.01$; ($P<0.05$). Sekum kısa zincirli yağ asitleri (SKYA) konsantrasyonu rasyonda AA ve HP seviyesinin azaltılmasına önemli seviyede tepki vermez iken, enzim içeren rasyonlarla beslenen gruplarda içermeyenlere göre önemli seviye daha yüksek olmuştur ($P<0.01$). Toplam SKYA rasyonun HP ve AA seviyesinden bağımsız olarak enzim içeren rasyonlarda enzim içermeyenlere göre önemli seviyede iyileşme olmuştur ($P<0.01$). Sekum *Laktobasillus* sayısı enzim içeren rasyonlarla beslenen gruplarda enzim içermeyenlerden önemli seviyede daha yüksek olmuştur ($P<0.01$). İleum HP ve kuru madde (KM) sindirilebilirliği rasyon AA ve HP seviyelerinin azaltılması ve enzim ilavesinden olumlu etkilenmiş ve kontrol grubundan önemli seviyede yüksek olmuştur ($P<0.01$). İleum P sindirilebilirliği ise rasyon AA ve HP seviyelerinin azalmasından etkilenmez iken özellikle düşük seviyede sindirilebilir lizin (%0.70 ve %0.65) ve HP (%15.8 ve %14.8) içeren rasyonlarda enzim kullanımı ile önemli seviyede artış olmuştur ($P<0.01$).

Çalışma sonuçları, yumurta tavuklarında rasyon HP seviyesinin %6 veya sindirilebilir lizin seviyesini %9 oranında azaltmanın ve rasyonu ideal AA oranına göre formüle etmenin, fitaz ve NSPaz eklenmesiyle birlikte, bağırsak bütünlüğünü ve P, HP ve KM'nin ileal sindirilebilirliğini iyileştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enzim, lizin, mikrobiyota, sindirilebilirlik, tibia, villus, yumurta kalitesi, yumurta tavuğu

ABSTRACT

Ph.D THESIS

EFFECT OF MULTIENZYME SUPPLEMENTATION TO DIETS CONTAINING DIFFERENT LEVELS OF REDUCED AMINO ACIDS ON PERFORMANCE, EGG QUALITY, BONE CHARACTERISTICS, DIGESTIVE SYSTEM DEVELOPMENT AND NUTRIENT DIGESTIBILITY IN LAYING HENS

Barişcan CURABAY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN ANIMAL SCIENCE**

Advisor: Prof. Dr. Yusuf CUFADAR

2025, 181 Pages

Jury

**Prof. Dr. Yusuf CUFADAR
Prof. Dr. Yılmaz BAHTİYARCA
Prof. Dr. Alpönder YILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Behlül SEVİM
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Engin TÜZÜN**

This study was conducted to determine the effects of diets formulated with and without enzyme supplementation based on the ideal amino acid (AA) concept and reduced digestible lysine levels on performance, egg quality, bone biomechanical properties, small intestine histomorphological properties, cecal microorganism populations, cecal volatile fatty acids and ileal nutrient digestibility in 30-week-old white laying hens. A total of 144 30-week-old white Super Nick laying hens were used in the experiment. The study was conducted in 6 different treatment groups according to the randomized plots experimental plan with 8 replications, in a total of 48 subgroups with 3 hens each. Six different diets were prepared for feeding the animals and they were fed with 6 different treatment diets for 84 days. The control diet and the enzyme-containing control diet were prepared by containing 0.77% digestible lysine and 16.8% crude protein (CP). The other 4 diets were prepared as enzyme-free and enzyme-containing 0.70% digestible lysine and 15.8% CP, enzyme-free and enzyme-containing 0.65% digestible lysine and 14.8% CP, respectively. Phytase (1000 FTU/kg), NSPase (16.000 BXU/kg) and protease (125 mg/kg) enzymes were added to the 3 diets containing enzymes and formulated considering the energy (125 kcal ME/kg), calcium (Ca) and available P (%0.2 AvP) enzyme's nutritional matrix values.

As of the end of the study, egg production and feed consumption were significantly lower in the group fed with the diet containing 0.65% digestible lysine (14.8% CP) without enzymes than the other groups ($P<0.01$). In the groups fed with diets containing 0.65% digestible lysine (14.8% CP) with and without enzyme, egg mass was significantly lower than the other groups, while feed conversion ratio was significantly higher than the other groups ($P<0.01$). Egg shell thickness in the control group with enzyme (0.77% digestible lysine, 16.8% CP) was significantly lower than the groups fed with diets containing 0.65% digestible lysine (14.8% CP) with and without enzyme ($P<0.05$). Egg shell ratio was higher in the group fed with diet containing 0.65% digestible lysine (14.8% CP) without enzyme than the control group and the groups fed with rations containing 0.70% digestible lysine (15.8% CP) ($P<0.01$). Egg yolk index was significantly lower in the group fed with diet containing 0.65% digestible lysine (14.8% CP) without enzyme than the other groups ($P<0.01$). Serum uric acid and bilirubin levels were significantly higher in the control group than in the other groups ($P<0.01$). Tibia diameter was significantly lower in the groups fed with diets containing 0.70% digestible lysine (15.8% CP) with enzyme and 0.65% digestible lysine

(14.8% CP) with/without enzyme than in the control group ($P<0.01$). Tibia cross-sectional area was significantly lower in the groups fed with diets containing 0.70% and 0.65% digestible lysine without enzyme than in the control group ($P<0.01$). Tibia shear stress was significantly higher in the group fed with diets containing 0.65% digestible lysine with enzyme than in the groups containing 0.70% and 0.77% digestible lysine ($P<0.01$). Jejunum villus height, villus width, villus height/crypt depth ratio, villus surface area and goblet cell count responded positively to the reduction of AAs and CP in the diet, especially in the enzyme groups, and there were significant increases in these parameters ($P<0.01$; $P<0.05$). While cecal short-chain fatty acid (SCFA) concentration did not respond significantly to the reduction of AAs and CP levels in the diet, it was significantly higher in the groups fed with enzyme-containing diets than those not containing enzymes ($P<0.01$). Total SCFA was significantly higher in the enzyme-containing diets, independent of the diet CP and AA levels ($P<0.01$). Cecal *Lactobacillus* count was significantly higher in the groups fed with enzyme-containing diets than those without enzymes ($P<0.01$). Ileum CP and dry matter (DM) digestibility were positively affected by the reduction of dietary AAs and CP levels and enzyme supplementation, and were significantly lower in the control group ($P<0.01$). Ileum P digestibility was significantly higher in the groups fed with diet AAs and CP levels ($P<0.01$). While it was not affected by the decrease, there was a significant increase with the use of enzymes, especially in diets containing low levels of digestible lysine (0.70% and 0.65%) and CP (15.8% and 14.8%) ($P<0.01$).

The study results showed that reducing the diet CP level by 6% or digestible lysine level by 9% and formulating the diet according to the ideal AA ratio, together with the addition of phytase and NSPase, improved intestinal integrity and ileal digestibility of P, CP and DM in laying hens.

Keywords: Digestibility, egg quality, enzyme, laying hens, lysine, microbiota, tibia, villus,

ÖNSÖZ

Bu meşakkatli ve bir o kadar da heyecan verici doktora yolculuğumun her adımında engin bilgi ve tecrübeleriyle ufkumu açan, tezimin fikir aşamasından planlanmasına, titizlikle yürütülmesinden nihai yazıya dökülmesine kadar geçen tüm süreçlerde kıymetli katkıları ve sonsuz desteğiyle her daim yanımda olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Yusuf CUFADAR'a en içten şükranlarımı sunarım. Tez izleme komitemde yer alarak değerli geri bildirimleri ve yapıcı eleştirileriyle çalışmamın olgunlaşmasına büyük katkı sağlayan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Yılmaz BAHTİYARCA ve Doç. Dr. Behlül SEVİM'e teşekkürü bir borç bilirim. Doktora tezimin geliştirilmesi ve özellikle laboratuvar analizleri süreçlerindeki değerli katkılarından dolayı Sayın Dr. Shahram Golzar ADABİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin bilgi birikimi ve rehberliği, bu zorlu süreçte büyük kolaylık sağlamış ve çalışmamın başarıyla ilerlemesinde büyük rol oynamıştır. Bu zorlu süreçte, bilgi birikimini ve değerli tecrübelerini benimle cömertçe paylaşarak yoluma ışık tutan, doktora arkadaşlarım Dr. Abdulqader Adnan Qader AL-BAYATI, Öğr. Gör. Dr. Seyit Ahmet GÖKMEN ve Dr. Öğr. Üyesi Esra Tuğçe GÜL'e minnettarlığımı ifade etmek isterim. Ve son olarak, hayatımın her anında olduğu gibi bu uzun ve zorlu süreçte de maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen, sabırları ve sevgileriyle bana güç veren, her zaman ve her koşulda yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Barışcan CURABAY
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Protein ve Aminoasitler	5
2.1.1. Kanatlılarda protein ve aminoasitlerin kaynakları.....	6
2.1.2. Yumurta tavuklarının protein ve aminoasit ihtiyaçları	10
2.1.3. Kanatlılarda protein kalitesi ve aminoasit dengesi	15
2.1.4. İdeal aminoasit ve protein konsepti	17
2.1.4.1. Esansiyel aminoasitler ve sınırlayıcı amino asitler	18
2.1.4.2. Lisin'e dayalı ideal aminoasit oranları	21
2.2. Eksojen Enzimler.....	22
2.2.1. Eksojen enzimlerin kaynakları	24
2.2.2. Eksojen enzimlerin genel etki mekanizması	27
2.2.3. Kanatlı beslemede enzimlerin kullanımı.....	29
2.3. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal	39
3.1.1 Hayvan materyali.....	39
3.1.2. Yem materyali	39
3.2. Yöntem.....	40
3.2.1. Deneme gruplarının oluşturulması ve deneme rasyonlarının hazırlanması ..	40
3.2.2. Performans değerlerinin tespiti.....	43
3.2.3. Yumurta kalite özelliklerinin belirlenmesi.....	44
3.2.3.1. Yumurta dış kalite özelliklerinin tespiti	44
3.2.3.2. Yumurta iç kalite özelliklerinin tespiti.....	44
3.2.4. Serum parametrelerinin tespiti.....	45
3.2.5. Tibia parametrelerinin tespiti.....	46
3.2.6. Sindirim parametrelerinin tespiti	47
3.2.6.1. Jejunum histomorfolojisinin tespiti.....	47
3.2.6.2. Sekum kısa zincirli yağ asitlerinin (SKYA) tespiti.....	48
3.2.6.3. Sekum mikroorganizma popülasyonunun tespiti.....	49
3.2.6.4. İleum besin madde sindirilebilirliğinin tespiti	49
3.2.6.5. Dışkı ham protein içeriğinin tespiti.....	50
3.3. İstatistiksel Analiz	50

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	52
4.1. Performans Özellikleri	52
4.1.1. Canlı ağırlık (CA)	52
4.1.2. Canlı ağırlık değişimi (CAD)	54
4.1.3. Yumurta verimi (YV).....	57
4.1.4. Yem tüketimi (YT)	60
4.1.5. Yumurta ağırlığı (YA).....	63
4.1.6. Yumurta kitlesi (YK)	65
4.1.7. Yemden yararlanma oranı (YYO)	68
4.2. Yumurta Dış Kalite Özellikleri	70
4.2.1. Hasarlı ve kirli yumurta oranı.....	70
4.2.2. Kabuk kırılma direnci (KKD).....	74
4.2.3. Kabuk ağırlığı (KA).....	76
4.2.4. Kabuk oranı (KO)	78
4.2.5. Kabuk kalınlığı (KK)	81
4.3. Yumurta İç Kalite Özellikleri.....	83
4.3.1. Ak indeksi (AI).....	83
4.3.2. Sarı indeksi (SI)	86
4.3.3. Haugh birimi.....	88
4.3.4. Yumurta sarısı renk özellikleri	90
4.4. Serum Biyokimyasal Parametreler	97
4.5. Tibia Biyomekanik Özellikleri ve Tibia Ham Kül Miktarı.....	100
4.6. Sindirim Parametreleri	105
4.6.1. Jejunum histomorfolojisi.....	105
4.6.2. Sekum kısa zincirli yağ asitleri.....	111
4.6.3. Sekum mikroorganizma popülasyonu.....	117
4.6.4. İleum besin madde sindirilebilirliği	121
4.6.5. Dışkı azot atılımı.....	124
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR	129
EKLER	152
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Alfa
β	: Beta
%	: Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
cfu	: Colony-Forming Unit (Koloni oluşturan birim)
cm	: Santimetre
dL	: Desilitre
g	: Gram
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
Log	: Logaritma
L	: Litre
M	: Molar
μm	: Mikrometre
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
mm^2	: Milimetre kare
mL	: Mililitre
mmol	: Milimol
N	: Newton
IU	: International Unit (Uluslararası ölçü birimi)
Π	: Pi sayısı (3.14)

Kısaltmalar

AA	: Amino Asit
AI	: Ak indeksi
ANF	: Anti Nutrisyonel Faktörler
ATK	: Ayçiçeği Tohumu Küspesi
BCFA	: Branched Chain Fatty Acids (Dallı Zincirli Yağ Asitleri)
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CA	: Canlı Ağırlık
CAD	: Canlı Ağırlık Değişimi
DCP	: Dikalsiyum Fosfat
EAA	: Esansiyel Amino Asit
GIT	: Gastrointestinal Sistem
H	: Hidrojen
H_3BO_3	: Borik Asit
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
HCl	: Hidrojen Klorür
HP	: Ham Protein
HYO	: Hasarlı Yumurta Oranı
KA	: Kabuk Ağırlığı

KD	: Kript Derinliği
KK	: Kabuk kalınlığı
KKD	: Kabuk kırılma direnci
KO	: Kabuk Oranı
KOH	: Potasyum Hidroksit
KM	: Kuru Madde
KP	: Kullanılabilir Fosfor
KYO	: Kirli Yumurta Oranı
ME	: Multienzim
N	: Azot
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NOP	: Nişasta Olmayan Polisakkaritler
O	: Oksijen
ORT	: Ortalama
P	: Fosfor
SKYA	: Sekum Kısa Zincirli Yağ Asitleri
SFK	: Soya Fasulyesi Kűspesi
Sİ	: Sarı İndeksi
THP	: Tek Hűcre Proteinleri
TiO ₂	: Titanyum Dioksit
TSAA	: Toplam Kűkűrtlű Amino Asitler
VD	: Villus Genişliği
VY	: Villus Yűksekliliđi
VYA	: Villus Yűzey Alanı
VY/KD	: Villus Yűksekliliđi/Kript Derinliđi
YA	: Yumurta Ağırlığı
YK	: Yumurta Kitlesi
YT	: Yem Tűketimi
YV	: Yumurta Verimi
YYO	: Yemden Yararlanma Oranı

1. GİRİŞ

Yem giderleri, kümes hayvanı üretim maliyetlerinin ana bileşenini teşkil ederken, protein maliyeti bu giderler içinde ikinci sırada yer almaktadır. Düşük proteinli rasyonların kullanımı, yem maliyetlerini düşürerek kârlılığı arttırmaya yönelik stratejik bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Cai ve ark., 2024). Ayrıca, rasyonun HP seviyesinin düşürülmesi, azotun (N) kalın bağırsaktaki fermentasyonunu ve çevreye atılımını azaltarak bağırsak sağlığına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır (Ji ve ark., 2014; Heo ve ark., 2023; Aderibigbe ve ark., 2024). Bununla birlikte, kanatlıların verimli protein sentezi için esansiyel olmayanlar da dahil olmak üzere belirli miktarlarda ve dengeli bir profilde sindirilebilir AA'ların gereksinim duyduğu gerçeği, düşük HP'li rasyonlarla beslenen etlik piliçlerde ve yumurtacı tavuklarda optimal performansın sağlanamamasına yol açabilmektedir (Dong ve ark., 2017; Rehman ve ark., 2019; Cabezas-Garcia ve ark., 2022; Barekatain ve ark., 2023).

Düşük HP'li rasyonla besleme stratejilerinin temelini "İdeal Protein" konsepti oluşturmaktadır. Bu konsept, rasyonları toplam HP miktarına göre değil, hayvanın ihtiyaç duyduğu sindirilebilir esansiyel amino asitlerin (EAA) birbirlerine göre ideal oranlarda ve yeterli miktarlarda bulunmasına göre formüle etmeyi hedeflemektedir (Salahi ve ark., 2025). Genellikle referans AA olarak Lisin kullanılır ve diğer tüm EAA'ların gereksinimleri Lisine oranla ifade edilir. Bu konseptin düşük HP'li rasyonları için kritik önemi şuradan kaynaklanır; hayvanlar aslında proteine değil, proteinin yapı taşları olan AA'lara ihtiyaç duyarlar. Rasyondaki toplam protein miktarı azaltıldığında, bazı EAA'lar yetersiz kalabilir. İdeal protein konsepti, bu eksiklikleri belirleyerek ve sentetik AA'ların rasyonda kullanılmasıyla gidererek, daha düşük N alımıyla bile hayvanın tüm EAA ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlamaktadır (Taşkesen ve Ceylan, 2023). Bu sayede yumurta tavuklarının hem yemden yararlanma etkinliği artırılır hem de dışkıyla atılan N miktarı azaltılır. Yumurta tavuğu rasyonlarında yaygın olarak kullanılan mısır-soya fasulyesi küspesi ya da buğday-soya fasulyesi küspesi bazlı rasyonlarda, bu yem hammaddelerinin AA profili nedeniyle metiyonin genellikle ilk sınırlayıcı AA olarak öne çıkmakta, bunu sırasıyla lisin ve treonin izlemektedir. Çünkü mısır ve buğday, metiyonin açısından düşük, soya fasulyesi küspesi ise lisin açısından zengin olmasına rağmen metiyonin içeriği yine yetersiz kalmaktadır. Tavukların ihtiyaç duyduğu ideal AA oranları ile rasyondaki mevcut oranlar karşılaştırıldığında, metiyonin düzeyleri ilk olarak

yetersiz kaldığı için sınırlayıcı rol üstlenmektedir (Ma ve ark., 2021). İdeal AA profili konseptine göre, rasyondaki lizin daha önemli kabul edilmiş ve diğer EAA seviyeleri lizin seviyesine göre formüle edilmiştir. Lisinin daha önemli kabul edilmesinin sebebi, öncelikle yumurta tavuklarında yüksek metabolik öneme sahip olması ve eksikliğinde, canlı ağırlık ve yumurta ağırlığı kaybının yanı sıra yumurta veriminde de azalmaya neden olabildiği gösterilmiştir. Yumurta tavuklarının minimum AA gereksinimlerinin karşılanması, yumurta üretiminin sürdürülmesi için yeterli olsa da bu düzeyde formüle edilen rasyonlar, yemden yararlanma oranının optimum seviyede gerçekleşmesini garanti etmez. Bu nedenle, tavukların protein kullanım verimliliğini arttırmak için rasyonun tavukların protein gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp, daha yüksek biyolojik etkinliğe sahip, dengeli bir AA profili içermesi gereklidir (Wu ve ark., 2007).

Bu hedefe ulaşmada eksojen enzimlerin kullanımı, özellikle proteaz, fitaz ve NSP parçalayıcı enzimlerin ilavesi, AA'ların sindirilebilirliğini arttırarak mevcut besin maddelerinin biyoyararlanımını yükseltmekte ve böylece yemden yararlanma ile üretim performansını optimize etmede önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Kanatlı endüstrisinin yüksek düzeyde entegre üretim yapısı, yenilikçi besleme teknolojilerinin hızlı bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamış ve bu doğrultuda eksojen enzim katkıları, yem bileşenlerinden besin maddelerinin sindirimi ve biyoyararlanımını arttırmak amacıyla günümüzde önemli bir yer edinmiştir. Özellikle buğday veya arpa bazlı rasyonlarda, yapısal polisakkaritlerin yıkımını sağlamak ve sindirim verimliliğini arttırmak amacıyla karbohidraz grubundaki enzimler örneğin; ksilanaz, β -glukanaz ve selüloz yaygın olarak rasyonlara dahil edilmektedir. Kanatlılarda protein sindirimi, temelde endojen proteazlar tarafından gerçekleştirilen polipeptitlerin enzimatik hidrolizi ile sağlanmaktadır. Her ne kadar kanatlıların gastrointestinal sistemi (GIT) kısa, basit ve oldukça etkili bir yapı olarak tanımlansa da (Neves ve ark., 2014) ve endojen proteazların yem proteininden optimal düzeyde yararlanmak için yeterli olduğu düşünülse de, yem proteinlerinin yaklaşık %18-20'sinin sindirilmeden GIT'ten geçerek dışkı ile atıldığına dair önemli bulgular mevcuttur (Ravindran ve ark., 2005; Ndazigaruye ve ark., 2019). Bu sindirim verimsizliği, yalnızca protein kaybına neden olmakla kalmaz; aynı zamanda bağırsak sağlığını olumsuz etkileyerek dışkıdaki N atılımını arttırır ve bu da çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Qaisrani ve ark., 2014; Oketch ve ark., 2023). Bu nedenle, eksojen proteazların rasyonlara ilavesi, özellikle düşük sindirilebilirliğe sahip yem bileşenlerinden protein kullanımını arttırmak amacıyla önerilmektedir. Böylece, hayvan

performansı korunurken, daha düşük maliyetli protein kaynaklarının kullanımı mümkün hale gelmekte ve pahalı hayvansal protein kaynaklarına olan ihtiyaç azaltılabilmektedir (Cowieson ve Roos, 2016). Düşük HP ve AA içeren rasyonlarda, genellikle eksojen proteaz takviyesi uygulanmaktadır (Poudel ve ark., 2024). Bu uygulamanın temel amacı, rasyon proteinlerinin daha etkin hidrolizi ve AA emiliminin artırılması yoluyla proteazlar aracılığıyla sindirimin iyileştirilmesi için uygun bir alan oluşturmaktır ve aynı zamanda dışkı yoluyla çevreye atılan N miktarını azaltmaktır. Bu sayede, düşük proteinli rasyonların neden olabileceği potansiyel performans kayıplarının telafi edilmesi hedeflenmektedir. Eksojen proteazların bu yöndeki destekleyici etkisi etlik piliçlerde kapsamlı biçimde ortaya konmuştur (Liu ve ark., 2013; Duque-Ramírez ve ark., 2023; Peñuela-Sierra ve ark., 2024). Ayrıca, farklı optimum pH düzeylerine ve substrat özgüllüğüne sahip birden fazla proteaz içeren enzim kombinasyonlarının, tek bileşenli proteazlara kıyasla daha geniş bir etki spektrumu sunarak performans üzerinde daha olumlu sonuçlar doğurabileceği bildirilmiştir (Cho ve ark., 2020; Wealleans ve ark., 2024). Ancak, bazı çalışmalarda proteaz ilavesinin hayvan performansı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da bildirilmiştir (Freitas ve ark., 2011; Walk ve ark., 2018). Bu çelişkili bulgular, rasyonun protein kalitesi, yem bileşenlerinin türü ve kompozisyonu gibi besleme faktörlerinin yanı sıra, tavukların yaş, genetik yapı ve fizyolojik durumu gibi hayvansal faktörlere atfedilmiştir (Cowieson ve ark., 2016; Poudel ve ark., 2023). Son on yılda, inorganik P kaynaklarının artan maliyetleri ve yoğun hayvancılık faaliyetlerinin çevresel P yükünü artırması nedeniyle, rasyonlara eksojen fitaz enzimi ilavesi de büyük ölçüde yaygınlaşmıştır. Bu durum, fitazı, β -glukanaz gibi diğer karbohidraz enzimlerin önüne geçirerek dünya genelinde en yaygın kullanılan yem enzimi haline getirmiştir (Cowieson ve ark., 2011; Dersjant-Li ve ark., 2015). Öte yandan, mısır-SFK bazlı rasyonların kompleks yapısı dikkate alındığında, amilaz, ksilanaz, lipaz ve proteaz gibi enzimleri içeren multienzim kokteyllerinin geliştirilmesi de önemli bir teknolojik gelişme olarak öne çıkmakta ve bu kombinasyonlara olan ilgi giderek artmaktadır (Adeola ve Cowieson, 2011; Slominski, 2011). Son dönemde, yumurtacı tavukların protein beslemesine yönelik yeni yaklaşımlar ve proteaz enzimlerinin ticari olarak üretilmesiyle birlikte, proteaz takviyesinin sindirim fizyolojisi ve besin madde yararlanımı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi bilimsel ve pratik açıdan önem kazanmıştır (Angel ve ark., 2011). Bu gelişmelere paralel olarak, yem formülasyon stratejilerinde de dikkat çekici değişimler yaşanmakta; daha düşük protein içerikli, ancak sindirilebilirliği artırılmış enzim destekli rasyonlar üzerine odaklanılmaktadır. Fitazların

kanatlı beslenmesindeki faydaları geniş çapta kabul edilirken, ticari formülasyonlarda proteazların kullanımı hala daha fazla kabul gerektirmektedir. Proteazlar, genellikle ksilanazlar, amilazlar ve glukanaazlarla birleştirilmiş multienzim komplekslerinin bir parçası olarak analiz edildikleri için son yıllarda değerlendirilmeye başlanmıştır (Adeola ve Cowieson, 2011).

Farklı kümes hayvanı türlerinde, klasik ve alternatif yem bileşenleriyle formüle edilen rasyonlarda enzim kombinasyonlarının etkisine yönelik değerlendirmeler, bu kombinasyonların potansiyel faydalarının ortaya konulması açısından önem arz etmektedir. Ancak, yumurtacı tavukların beslenmesinde proteaz ilavesinin etkisine ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda, mevcut çalışma; farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurtacı tavukların pik yumurtlama döneminde üretim performansı, iç ve dış (kabuk) yumurta kalitesi, kemik özellikleri, ileal besin madde sindirilebilirliği, jejunum histomorfolojisi ve sekum mikroorganizma ve uçucu yağ asitlerinin miktarları üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Protein ve Aminoasitler

Proteinler, kümes hayvanı yemlerinde yağlar, karbonhidratlar, vitaminler, mineraller ve su gibi diğer temel bileşenlerle birlikte yaşamsal öneme sahip temel besin maddelerinden biridir (Church ve Pond, 1988; Beski ve ark., 2015). Proteinler, peptit bağlarıyla birbirine bağlanan çok sayıda AA'dan oluşan karmaşık yapıli polimerlerdir. Her bir AA, bir amino grubu (-NH₂) ve bir karboksil grubu (-COOH) taşıyan bir karbon iskeletine sahiptir ve bu yapıya ek olarak her AA'yı birbirinden ayıran kendine özgü bir yan zincir (R grubu) içermektedir (Chock, 2005). Sindirim sürecinde hidrolize uğrayan proteinler, yapı taşları olan AA'lara parçalanmaktadır. Bu AA'lar absorbe edildikten sonra, vücutta başta kas, tüy, deri ve kan plazma proteinleri olmak üzere çeşitli yapısal bileşenlerin sentezlenmesinde kullanılır. Ayrıca hormonlar, enzimler, nükleotidler ve antikorlar gibi biyolojik olarak aktif moleküllerin yapımında da görev alırlar (Church ve Pond, 1988; Abbasi ve ark., 2014; Van Emous ve ark., 2015). Amino asitler öncelikli olarak sentez reaksiyonlarında kullanılsa da, proteinler gerektiğinde katabolize edilerek enerji kaynağı olarak da işlev görebilir (1 g protein yaklaşık 4 kcal enerji sağlar). Proteinlerin çeşitliliği ve dolayısıyla biyolojik ve işlevsel özellikleri; içerdikleri polipeptit zincirlerinin sayısı, uzunluğu ve en önemlisi bu zincirlerdeki AA'ların dizilimi tarafından belirlenir (Kumar, 2016). Bu yapısal özellikler sayesinde proteinler, hayvan vücudunda çok çeşitli ve hayati roller üstlenirler. Bunlar arasında; metabolik reaksiyonları katalizleyen enzimler olarak görev yapmak, kolajen, elastin, aktin ve keratin gibi moleküllerle hücre ve dokuların yapısal bütünlüğünü sağlamak ve sürdürmek, hormonlar aracılığıyla fizyolojik fonksiyonları düzenlemek ve bağışıklık sisteminde hücre sinyal iletimi gibi kritik işlevler yer almaktadır (Tan ve Parker, 2003). Bu nedenle, kanatlı rasyonlarındaki protein kaynaklarının temel işlevi, sadece et ve yumurta gibi hayvansal ürünlerin sentezi için değil, aynı zamanda bahsedilen bu yaşamsal fonksiyonların devamlılığı için gerekli olan AA'ları ve N'yi sağlamaktır (Shim ve ark., 2013; Van Emous ve ark., 2013).

Doğada çok sayıda AA bulunmasına karşın, hayvan ve insan vücudu proteinlerinin sentezinde yalnızca 20 farklı AA yaygın olarak kullanılır. Bu AA'lar "doğal" ya da "proteinojenik" (protein oluşturan) olarak adlandırılır. Ancak organizma, metabolik faaliyetleri için gerekli olan bu 20 proteinojenik amino asidin tamamını sentezleme yeteneğine sahip değildir. Vücut tarafından sentezlenemeyen ve bu nedenle rasyonla dışarıdan alınması zorunlu olan AA'lar, EAA olarak tanımlanmaktadır. Metabolizma tarafından sentezlenebilenler ise esansiyel olmayan AA'lar olarak sınıflandırılmaktadır (Kumar, 2016).

2.1.1. Kanatlılarda protein ve aminoasitlerin kaynakları

Soya fasulyesi küspesi (SFK), kümes hayvanları yemlerinde en yaygın kullanılan protein kaynağıdır ve yüksek HP (yaklaşık %44-48) ile dengeli bir AA profiline sahiptir. Soya fasulyesi küspesi, özellikle lisin açısından zengindir ancak kükürt içeren AA'lar açısından sınırlıdır; metiyonin genellikle SFK en önemli sınırlayıcı AA'dır. Bu nedenle soya ağırlıklı rasyonlarda DL-Metiyonin takviyesi gerekebilir. Soya fasulyesi küspesi ayrıca tripsin inhibitörü gibi ısıl işlemle etkisiz hale getirilebilen anti nutrisyonel faktörler (ANF'ler) içerir. Uygun ısıl işlem görmüş kaliteli soya küspesi, yüksek sindirilebilir protein ve AA sağlar. Soya fasulyesi küspesi bazı yemlerde metiyonin ilk sınırlayıcı, lisin ikinci sınırlayıcı AA olma eğilimindedir (Park ve ark., 2002). Soya fasulyesi küspesi, yumurtacı tavuk rasyonlarında en sık kullanılan protein ek yemidir. Soya fasulyesi küspesi içeren standart rasyonlar, genellikle yüksek yumurta verimi ve iyi yem değerlendirme sağlar. Fakat SFK' ya dayalı rasyonlarda metiyonin gibi kükürtlü AA yetersizliği oluşmaması için ek sentetik AA ilavesi yaygındır (Park ve ark., 2002).

Ayçiçeği tohumu küspesi (ATK), yağ üretiminin bir yan ürünü olup özellikle Avrupa ve Türkiye gibi bölgelerde bol bulunmaktadır. Ham protein içeriği genellikle %30-35 civarında olup, lisin içeriği soya kadar yüksek olmamakla birlikte metiyonin ve lösin bakımından orta düzeydedir. Yüksek ham selüloz içeriği, tavuk yemlerinde kullanımını sınırlayan bir faktör olabilir; ancak son araştırmalar uygun seviyelerde kullanıldığında ATK'nın tavuklarda performans kaybına sebep olmadan kullanılabileceğini göstermektedir. Güncel bir sindirilebilirlik çalışması, rasyonda %10,

%20 hatta %30'a varan oranlarda ATK kullanmanın yumurtacı tavuklarda ileal HP sindirilebilirliğini olumsuz etkilemediğini bildirmiştir (Such ve ark., 2024).

Soya fasulyesi küspesi ve ATK dışındaki yağlı tohumların işlenmesiyle elde edilen küspeler de önemli potansiyel protein kaynaklarıdır. Bunlar arasında, pamuk tohumu küspesi, kanola küspesi, fındık küspesi, aspir küspesi ve ketencik küspesi sayılabilir (İpçak ve ark., 2018). Al-bayati ve Cufadar (2019), fındık küspesinin yumurta verimi ve kalitesi üzerine olumlu etkileri olabileceği bildirmişlerdir. Ancak bu küspeler genellikle SFK'ya kıyasla daha düşük protein kalitesine (daha düşük lizin veya diğer EAA'lar), daha yüksek ham selüloz veya ANF (örneğin pamuk tohumu küspesinde gossipol, kanola küspesinde glukozinolatlar) içeriğine sahip olabilirler (Foltyn ve ark., 2015). Kanola küspesi ve mısırın damıtma sonrası kurutulmuş tahıl ve çözünür maddelerinin (DDGS) protein sindirilebilirliğinin SFK'dan daha düşük olduğu bildirilmiştir (Foltyn ve ark., 2015). Buna benzer olumsuz etkiler SFK'ya alternatif olabilecek diğer protein ek yemlerinin kanatlı rasyonlarında kullanım oranlarını kısıtlayabilmekte ve performans kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu düşüşleri önlemek için rasyon formülasyonunda bu hammaddelerin kullanım sınırlarına uymak önem arz eder.

Balık unu, kaliteli protein ve zengin AA profili (özellikle lizin, metiyonin, treonin) ile geleneksel bir hayvansal protein kaynağıdır. Ham protein içeriği yaklaşık %60-70 civarında olup ayrıca yüksek düzeyde Ca, P ve iz mineraller barındırır. Balık unu genellikle pahalı olduğundan tavuk rasyonlarında sınırlı düzeylerde (%2-5) kullanılır ancak besleyici değeri yüksektir. Son yıllarda deniz kaynaklarının sürdürülebilirliği kaygılarıyla balık ununun alternatiflerine yönelim vardır (Fanatico ve ark., 2018; Wu ve ark., 2025). Kanatlı rasyonlarında balık ununa alternatif protein kaynağı olarak hayvansal yan ürünler kullanılabilir. Bu ürünler, mezbaha atıkları veya gıda zincirine giremeyen diğer hayvansal materyallerin işlenmesiyle elde edilir. Bunlara örnek olarak et-kemik unu, kan unu, tüy unu ve kanatlı yan ürün unu verilebilir. Geçmişte deli dana krizi sonrasında Avrupa'da kullanımına kısıtlamalar gelse de kanatlı sektöründe kendi türü dışındaki hayvan yan ürünlerinin kontrollü kullanımı halen devam etmekte ve yumurtacı tavuk rasyonlarında özellikle et-kemik unu ve tüy unu belirli oranlarda kullanılabilir (Bozkurt ve ark., 2004; Samli ve ark., 2006).

Kanatlı hayvanların gereksinim duyduğu ve EAA'lar bakımından yeterli ve dengeli rasyonların hazırlanabilmesi için sentetik EAA kaynaklarının yem formülasyonunda kullanımı yaygın bir uygulamadır. Kanatlı yemlerinde gereksinime bağlı olarak metiyonin ve lizin gibi birincil sınırlayıcı AA'lar sentetik formlarda yaygın olarak kullanılırken, treonin, arjinin ve triptofan gibi diğer EAA'lar da ticari olarak sentetik formlarda üretilmektedir. Rasyonun EAA'lar açısından yetersiz kaldığı durumlarda, bu sentetik kaynaklar kullanılarak besin gereksinimi kolaylıkla karşılanabilmektedir. L-Lizin (genellikle L-Lizin HCl veya L-Lizin H₂SO₄), DL-Metiyonin, L-Treonin, L-Triptofan, L-Valin ve L-İzolösin gibi sentetik AA'lar, kanatlı yemi formülasyonlarında kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin birincil rolü, özellikle AA profilleri genellikle dengesiz olan bitkisel bazlı protein kaynakları (örneğin, metiyonin açısından eksik mısır-SFK'ya dayalı rasyonlar) kullanıldığında, bir veya daha fazla EAA açısından eksik olan rasyonları takviye etmektir (Ergün, 1984; Kutlu ve ark., 2005; Akyel ve Buğdaycı, 2018).

Son yıllarda böcek proteinlerinin, kanatlı yemlerinde sürdürülebilir ve besleyici bir protein kaynağı olarak kullanımı giderek artmaktadır (Cufadar ve ark., 2021; Kaplan ve Göçmen, 2023; Karim ve Grace, 2023). Böcek proteinleri, yüksek HP (%40-60), zengin EAA (özellikle lizin, metiyonin, treonin) ve yüksek yağ içeriğiyle (genellikle %7-40) dikkat çekmektedir (Andhale, 2024). Amino asit profilleri çoğu zaman SFK ve balık ununa benzer veya bazı durumlarda daha iyidir. Ayrıca, önemli mineraller (Ca, P, çinko, demir) ve B grubu vitaminler bakımından da değerlidirler (Belhadj Slimen ve ark., 2023; Sajid ve ark., 2023). Sindirilebilirlik açısından, böcek proteinlerinde ileal sindirilebilirlik oranları genellikle yüksektir (%83-99) fakat tür, yetiştirme ortamı ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişebilmektedir (Tekeli, 2014). Kitin içeriği kanatlılarda sindirilebilirliği bir miktar azaltabilse de prebiyotik etki potansiyeli olduğu bildirilmektedir (De Marco ve ark., 2015; Borrelli ve ark., 2017). Performans açısından, yapılan çok sayıda çalışma, başta siyah asker sineği larvası olmak üzere çeşitli böcek proteinlerinin, SFK veya balık ununun yerine kısmen ya da tamamen kullanılabileceğini göstermektedir. Etlik piliçlerde büyüme, yemden yararlanma oranı ve yumurtacı tavuklarda yumurta verimi bakımından iyi sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmalarda et ve yumurta kalitesinde olumsuzluk bildirilmemiş, hatta kimi çalışmalarda iyileşmeler gözlenmiştir (Belhadj Slimen ve ark., 2023). En çok araştırılan türler arasında siyah asker sineği larvası, ev sineği larvası, un kurdu, cırcır böceği ve çekirge yer almaktadır. Toprak solucanları ve ipek böceği pupaları

gibi diğer türler de potansiyel alternatifler olarak araştırılmaktadır. Her bir türün kendine has besin profili ve potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır. Böcek proteinleri, kanatlı beslemede sadece protein kaynağı değil, aynı zamanda fonksiyonel katkı maddesi olarak da önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Cufadar ve ark., 2021; Belhadj Slimen ve ark., 2023; Kaplan ve Göçmen, 2023; Karim ve Grace, 2023; Andhale, 2024).

Algler (genel olarak yosunlar), hem makroalgler (deniz yosunları gibi) hem de mikroalgler (*Spirulina*, *Chlorella* gibi tek hücreli organizmalar), kanatlı beslenmesinde yenilikçi ve sürdürülebilir besin kaynakları olarak dikkat çekmektedir (Curabay ve ark., 2021; Göçmen, 2022; Abdel-Wareth ve ark., 2024). Alglerin en çarpıcı özelliklerinden biri yüksek protein içerikleridir. Özellikle *Spirulina* ve *Chlorella* gibi mikroalg türleri, kuru madde bazında %50 ila %70'e varan HP oranlarına ulaşabilirler, bu da geleneksel SFK gibi kaynakları önemli ölçüde geride bırakmaktadır. Alg proteinleri, kas gelişimi ve genel sağlık için gerekli olan temel AA'ları sağlamaktadır. Algler aynı zamanda, özellikle eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi uzun zincirli omega-3 yağ asitleri açısından da zengin bir kaynaktır (Abdel-Wareth ve ark., 2024). Rasyonlara düşük seviyelerde (%1-5) alg biyokütlesi ilavesinin, kanatlı eti ve yumurtalarındaki DHA konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Long ve ark., 2018). Bu durum hem kanatlı hayvanlar hem de bu ürünleri tüketen insanlar için sağlıklı faydalar sunmaktadır. Protein ve omega-3 yağ asitlerinin yanı sıra, algler vitaminler (özellikle B grubu, A, E, C vitaminleri), mineraller (Ca, P, demir, çinko vb.) ve güçlü antioksidanlar (fenolik bileşikler, flavonoidler, fikosiyanin, astaksantin gibi pigmentler) açısından da zengindir. Yumurta tavuklarında rasyona alg ilavesinin yumurta üretimini, yumurta kalitesini (örneğin, kabuk kalınlığı, yumurta sarısı rengi) ve yumurtadaki omega-3 yağ asitleri gibi faydalı besin maddelerinin konsantrasyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Abdel-Wareth ve ark., 2024).

Tek hücre proteinleri (THP), bakteri, maya, mantar ve mikroalgler gibi tek hücreli mikroorganizmaların kurutulmuş hücrelerinden veya toplam proteinlerinden elde edilen protein kaynaklarıdır. Artan dünya nüfusunun protein ihtiyacını karşılamak ve geleneksel protein kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için umut verici bir alternatif olarak görülmektedirler. Tek hücre proteinlerinin üretimi, seçilen mikroorganizmaların (örneğin, maya türleri *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida*; bakteri türleri *Methylophilus*; mantar türleri *Fusarium venenatum*; alg türleri *Chlorella*, *Spirulina*) uygun bir besi

ortamında, kontrol edilen koşullar altında (sıcaklık, pH, oksijen) çoğaltılması esasına dayanır. Besi ortamı olarak çeşitli karbonhidrat kaynakları, hidrokarbonlar veya tarımsal ve endüstriyel atıklar (melas, peynir altı suyu, nişasta atıkları vb.) kullanılabilir, bu da atıkların değerlendirilmesi ve üretim maliyetinin düşürülmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Üretilen biyokütle daha sonra hasat edilir, ayrıştırılır ve genellikle kurutularak yem hammaddesi haline getirilmektedir. Tek hücre proteinlerinin en önemli özelliği yüksek HP içerikleridir. Bu oran mikroorganizma türüne göre büyük farklılıklar göstermekle birlikte, genellikle yüksektir (örneğin, bakterilerde %47-87, mayalarda %45-50, mantarlarda %19-57, alglerde %24-80). Tek hücre proteinleri, kanatlılar için gerekli olan tüm temel ve EAA'ları içerirler ve AA profilleri genellikle dengelidir. Ayrıca, B grubu vitaminleri ve bazı mineraller açısından da zengin olabilirler (İpçak ve ark., 2018; Çelik, 2019).

2.1.2. Yumurta tavuklarının protein ve aminoasit ihtiyaçları

Proteinler, canlı organizmaların temel yapı taşlarıdır ve AA adı verilen daha küçük birimlerden oluşurlar. Yemle alınan proteinler sindirim sisteminde AA'lara parçalanır ve bu AA'lar daha sonra vücutta kas, tüy, enzimler, hormonlar gibi çeşitli vücut proteinlerinin ve yumurta akı (albümin) ile sarısındaki proteinlerin sentezinde kullanılır. Bu nedenle, bir hayvanın protein ihtiyacı aslında spesifik AA'lara olan ihtiyacı yansıtmaktadır (Applegate ve Angel, 2008). Rasyon formülasyonlarında HP yüzdesi önemli bir gösterge olsa da asıl kritik olan, hayvanın tükettiği yem miktarıyla birlikte aldığı günlük mutlak protein ve daha da önemlisi EAA miktarıdır (Bryden ve ark., 2021). Yem tüketimi, hayvanın yaşına, genotipine, çevre sıcaklığına ve özellikle de yemin enerji içeriğine göre değişkenlik gösterir. Bu nedenle, HP ihtiyacı genellikle hem rasyondaki yüzde (%) olarak hem de günlük tüketim (g/tavuk/gün) olarak ifade edilir.

Yumurtlama dönemi, tavuğun hayat döngüsünde besin maddesi ihtiyacının en yüksek olduğu ve en dinamik değiştiği periyottur. Bu dönem genellikle, verimin zirveye ulaştığı ve ardından kademeli olarak düştüğü farklı dönemlere ayrılarak incelenmektedir (Fowler, 2022):

1. **Pik verim dönemi:** Yumurta veriminin ve yumurta ağırlığının en yüksek seviyede olduğu bu dönemde (22-42. haftalar) hayvanın besin madde ihtiyacı da maksimumdur. Bu dönemdeki rasyon HP içeriği %17 ile %20 arasında değişmektedir (Taşkesen ve Ceylan, 2023). Bazı kaynaklar %19-19.5 gibi yüksek seviyeler önerirken (Fowler, 2022), diğerleri %18 veya %16-18 aralığını belirtmiştir (NRC, 1994; Pacheco ve ark., 2022). Önemli bir bulgu, ideal AA profili sağlandığında HP seviyesinin %18'den %16'ya düşürülmesinin (21-34 haftalık yaşta) üretim performansını olumsuz etkilemediğidir (Ji ve ark., 2014). Günlük HP alımı pik verimde 15-20 g/tavuk aralığında önerilmekle birlikte, maksimum yumurta kitlesi için 23 g/güne kadar ihtiyaç duyulabileceği belirtilmiştir (NRC, 1994).
2. **Orta dönem:** Bu dönemde (42-62. haftalar) yumurta verimi pik seviyesinden yavaşça düşmeye başlar. Bu dönemde HP ihtiyacı da bir miktar azalır ve genellikle %16 ile %18.5 arasında önerilmektedir (Hassan ve ark., 2012).
3. **İleri Dönem:** Bu dönemde (62-74 ve sonrası haftalar) Yumurta verimindeki düşüş daha belirgin hale gelmiştir. Yaşla birlikte yaşama payı ihtiyacı göreceli olarak artsa da, toplam protein ihtiyacı azalır. Bu dönem için önerilen HP seviyeleri %13 ile %17 arasında değişmektedir. Enzim takviyesiyle birlikte %13 gibi düşük seviyeler de rapor edilmiştir (Nahm ve Carlson, 1998).

Yumurtlama dönemindeki tavukların HP gereksinimlerine ilişkin literatürdeki öneriler arasında belirgin bir tutarlılık bulunmamaktadır (%15-20 aralığında değişen değerler). Bu farklılıklar, kullanılan genotip, yem tüketim düzeyi, rasyonun enerji içeriği, çevre koşulları ve araştırma metodolojilerinden kaynaklanıyor olabilir (Macelline ve ark., 2022). Ancak genel eğilim, tavukların yaşı ilerledikçe HP ihtiyacının kademeli olarak azaltılması yönündedir (Anonymous, 2025a). Özellikle dikkat çeken nokta, “ideal AA profili” sağlandığı takdirde, geleneksel olarak önerilenlerden daha düşük HP seviyelerinin (%15-16 gibi) hayvanların performansını düşürmeden yeterli olabileceği yönündeki artan kanıtlardır (Taşkesen ve Ceylan, 2023). Bu durum, HP' nin kendisinden ziyade, sağladığı sindirilebilir EAA'ların ve toplam kullanılabilir N'nin kritik öneme sahip olduğunu ve modern formülasyonların daha düşük HP seviyeleriyle optimum performansı hedefleyebileceğini göstermektedir.

Son yıllarda, ekonomik ve çevresel nedenlerle yumurta tavuğu rasyonlarında HP seviyesinin düşürülmesine yönelik ilgi artmıştır. Düşük HP'li rasyonların temel avantajları, başta SFK olmak üzere pahalı protein kaynaklarının kullanımını azaltarak yem maliyetini düşürmek ve hayvan tarafından kullanılmayan fazla N'nin dışkıyla atılımını azaltarak çevre kirliliğini (amonyak emisyonu, nitrat sızıntısı vb.) minimize etmektir (Oluwabiye ve ark., 2022). Ancak, HP seviyesinin düşürülmesi, EAA'ların yetersiz alınması riskini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, düşük HP'li rasyon stratejilerinin başarısı, eksik kalan tüm sınırlayıcı EAA'ların sentetik formlarda rasyona eklenerek dikkatli bir şekilde dengelenmesine bağlıdır. Araştırmalar, EAA dengesi sağlandığında %13.5 HP gibi düşük seviyelerde bile performansın korunabildiğini göstermiştir (Taşkesen ve Ceylan, 2023). Bununla birlikte, rasyonun HP seviyesinin çok fazla düşürülmesi (%14 HP'nin altı), özellikle uzun vadede veya stres koşulları altında hayvan performansını olumsuz etkileyebilmektedir (Oluwabiye ve ark., 2022).

Düşük HP'li rasyonlarda ortaya çıkan bir diğer potansiyel sorun, esansiyel olmayan AA'ların veya genel olarak spesifik olmayan N'nin yetersiz kalmasıdır. Vücut, belirli esansiyel olmayan AA'ları diğer AA'lardan sentezleyebilse de, bu sentez için yeterli N kaynağına ihtiyaç duyar. Çok düşük HP seviyelerinde, vücut esansiyel olmayan AA'ları sentezlemek için değerli esansiyel olmayan AA'ları kullanmak zorunda kalabilir, bu da EAA'ların asıl görevleri olan protein sentezi için yetersiz kalmasına ve sonuçta performans düşüşüne yol açabilir (Bezerra ve ark., 2015). Bu durum, düşük HP'li rasyon formülasyonlarında sadece EAA dengesinin değil, aynı zamanda yeterli esansiyel olmayan AA havuzunun veya toplam kullanılabilir N miktarının da göz önünde bulundurulması gerektiğini düşündürmektedir (Jahan ve ark., 2023). Glutamik asit gibi spesifik esansiyel olmayan AA'ların bu amaçla rasyona eklenmesi bir strateji olabilir (Bezerra ve ark., 2015).

Yumurta tavuklarının optimum performans ve sağlık için ihtiyaç duyduğu spesifik AA miktarları, yıllar içinde yapılan araştırmalarla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, özellikle lizin, metiyonin, treonin, triptofan ve dallı zincirli AA'lar; valin, izolösin, lösin ile arjinin için güncel literatürdeki kantitatif gereksinim tahminleri (hem rasyondaki % hem de günlük tüketim (mg/tavuk/gün) olarak) özetlenmiştir.

- **Lizin:** İdeal protein konseptinde referans AA olarak kabul edilir. Günlük sindirilebilir Lizin ihtiyacı üzerine yapılan çalışmalar genellikle 650 mg/gün ile 900 mg/gün arasında değişen sonuçlar vermektedir (Applegate ve Angel, 2008). Örneğin, yakın tarihli bir çalışma (Isa Brown ırkı), kullanılan istatistiksel modele bağlı olarak pik üretim döneminde (27-33 hafta) 739-917 mg/gün, post-pik dönemde (42-48 hafta) ise 701-877 mg/gün sindirilebilir lizin önermektedir (Macelline ve ark., 2022). Başka bir çalışma, 37-48 haftalık dönem için optimum tüketimi 660-707 mg/gün olarak belirtmiştir (Silva ve ark., 2015). NRC (1994), 100 g/gün yem tüketen beyaz yumurtacılar için %0.69 Lizin (yani 690 mg/gün) önermektedir. Irklar arası farklılıklar da önemlidir; hafif ırklar (örn. LSL) için 600 mg/gün yeterli olabilirken, ağır ırklar (örn. Lohmann Brown) için 800 mg/gün'ün bile maksimum performansa ulaşmak için yeterli olmayabileceği belirtilmiştir (Bonekamp ve ark., 2010). Rasyondaki lizin yüzdesi önerileri de %0.63 ile %1.05 gibi geniş bir aralıkta değişmektedir (Applegate ve Angel, 2008).
- **Metiyonin ve Toplam Kükürtlü Amino Asitler (TSAA/Met+Cys):** Mısır-SFK bazlı rasyonlarda genellikle ilk sınırlayıcı AA'lardır. Metiyonin ihtiyacı, sistin varlığında karşılanır ve bu ikisi birlikte TSAA olarak ifade edilir. Güncel meta-analizler ve derlemeler, yumurta tavuklarının günlük sindirilebilir metiyonin ihtiyacını yaklaşık 415 mg/gün ve günlük sindirilebilir TSAA ihtiyacını yaklaşık 750-780 mg/gün olarak önermektedir (Lemme, 2009). Isa Brown ırkı için yapılan bir çalışma ise pik dönemde 614-865 mg/gün, post-pik dönemde 565-697 mg/gün TSAA ihtiyacı belirlemiştir (Macelline ve ark., 2022). Bu değerler, NRC (1994) tarafından 100 g/gün yem tüketen tavuklar için önerilen 300 mg/gün Met ve 580 mg/gün TSAA değerlerinden belirgin şekilde yüksektir. Bu durum, modern genetiklerin artan verim potansiyeli veya farklı metodolojiler nedeniyle ihtiyaçların yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Rasyondaki % önerileri metiyonin için %0.25-0.52, TSAA için %0.48-0.91 arasında değişmektedir

(Applegate ve Angel, 2008). Metiyoninin TSAA içindeki oranı genellikle %50-55 civarında önerilmektedir (Lemme, 2009).

- **Treonin:** Genellikle metiyonin ve lisinden sonra üçüncü sınırlayıcı AA olarak kabul edilir. Günlük sindirilebilir treonin ihtiyacı tahminleri 470 mg/gün ile 600 mg/gün arasında yoğunlaşmaktadır (Applegate ve Angel, 2008). Yakın tarihli bir çalışma pik dönem için 524-585 mg/gün, post-pik için 468-605 mg/gün önermiştir (Macelline ve ark., 2022). NRC (1994) önerisi 100 g/gün tüketim için 470 mg/gün'dür. Özellikle sıcak iklim koşullarında ve düşük HP (%14 HP) içeren rasyonlarda yapılan bir çalışmada, optimum performans için rasyonun %0.56-0.59 oranında sindirilebilir Treonin içermesi gerektiği bulunmuştur (Azzam ve ark., 2019). Yüzde olarak öneriler %0.39 ile %0.76 arasında değişmektedir (Applegate ve Angel, 2008).
- **Triptofan:** Genellikle dördüncü veya daha sonraki sınırlayıcı AA olarak kabul edilse de, HP seviyesi düşürüldükçe önemi artmaktadır (Moss ve ark., 2023). Günlük sindirilebilir triptofan ihtiyacı üzerine yapılan tahminler genellikle 150-200 mg/gün aralığındadır (Applegate ve Angel, 2008). Isa Brown ırkı için yapılan çalışma pik dönemde 154-198 mg/gün, post-pik dönemde 157-195 mg/gün önermiştir (Macelline ve ark., 2022). NRC (1994) önerisi 100 g/gün tüketim için 160 mg/gün'dür. Ancak literatürde 117 mg/gün ile 239 mg/gün arasında değişen çok farklı öneriler de bulunmaktadır. Sindirilebilir Trp:Lys oranının %17.5 ile %29 arasında değişebileceği (Mousavi ve ark., 2018), bir çalışmada ise %24.5 oranının optimum bulunduğu rapor edilmiştir (Lima ve ark., 2012). Yüzde olarak öneriler %0.13 ile %0.21 arasında yer almaktadır (Applegate ve Angel, 2008).
- **Valin, İzolösin, Lösin ve Arjinin:** Bu AA'lar, özellikle düşük HP'li rasyonlarda daha sınırlayıcı hale gelebilmektedir (Jahan ve ark., 2023). Güncel bir çalışmadaki günlük sindirilebilir ihtiyaç tahminleri valin için 627-747 mg/gün, İzolösin için 575-793 mg/gün ve Arjinin için 586-706 mg/gün'dür (Macelline ve ark., 2022). NRC (1994) önerileri 100 g/gün tüketim için valin 700 mg/gün, izolösin 650 mg/gün ve arjinin 700 mg/gün'dür. İdeal Lisin'e oranları ise Valin için %80-89, İzolösin için %80-90 ve Arjinin için %77-104 olarak önerilmektedir (Macelline ve ark., 2022). Düşük HP'li rasyonlarda yapılan çalışmalar, izolösin ve valinin dördüncü ve beşinci sınırlayıcı AA'lar olabileceğini göstermektedir (Jahan ve ark., 2023).

Bu değerler, mevcut literatürdeki çeşitliliği ve devam eden araştırma ihtiyacını göstermektedir.

2.1.3. Kanatlılarda protein kalitesi ve aminoasit dengesi

Yumurta tavukçuluğunda besleme, verimli ve sürdürülebilir yumurta üretiminin temel taşlarından biridir. Bu bağlamda, rasyonun protein kalitesi ve AA dengesi, tavukların performansını, sağlığını, yumurta özelliklerini ve çevresel ayak izini doğrudan etkileyen merkezi unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Yüksek kaliteli protein ve doğru AA dengesi, sadece yumurta verimini ve kalitesini maksimize etmekle kalmaz, aynı zamanda yemden yararlanmayı iyileştirir, bağışıklık fonksiyonlarını destekler ve tavuk refahını güvence altına alır (Alagawany ve ark., 2016).

Modern yumurta tavuğu genotipleri, önceki on yıllara kıyasla önemli ölçüde iyileştirilmiş bir verimlilik sergilemektedir. Daha yüksek yumurta kitlesi, uzayan üretim döngüleri ve daha iyi yemden yararlanma oranları bu genetik ilerlemenin göstergeleridir. Bu gelişmeler, besleme stratejilerinde de paralel bir evrimi zorunlu kılmaktadır. Geleneksel olarak HP minimumlarına dayalı rasyon formülasyonları, tavukların dinamik ve hassas besin madde gereksinimlerini karşılamada yetersiz kalmaktadır (Elliot, 2025). Bu durum, kaynak israfına ve çevre kirliliğine yol açabilmektedir (Liu ve ark., 2024d).

Son yıllardaki araştırmalar, yumurta tavuğu beslemesinde birkaç ana eğilime odaklanmaktadır. Bunlar arasında AA gereksinimlerinin daha hassas bir şekilde belirlenmesi, sentetik AA'larla desteklenmiş düşük proteinli rasyonların geliştirilmesi ve kullanımı, fazlı besleme (phase feeding) ve bölünmüş besleme (split feeding) gibi ileri besleme stratejilerinin uygulanması ve hassas besleme (precision nutrition) için dinamik modellerin geliştirilmesi yer almaktadır (Elliot, 2025). Bu yaklaşımlar hem ekonomik verimliliği arttırmayı hem de tavukçuluğun çevre kirliliğine etkisini azaltmayı hedeflemektedir.

Genetik iyileştirmeler (daha yüksek verim, daha uzun üretim döngüleri) ve sürdürülebilirlik baskılarının N atılımını azaltma) birleşimi, AA beslemesinde hassasiyet için güçlü bir itici güç oluşturmaktadır. Sadece tarihsel HP seviyelerini karşılamak hem verimsiz hem de çevresel olarak maliyetlidir. Modern tavukların dinamik olarak değişen ve potansiyel olarak daha yüksek görelî AA ihtiyaçlarını, daha düşük toplam rasyon proteini ile karşılama zorluğu ortaya çıkmaktadır. Tavuklar daha uzun süre daha fazla yumurta ürettikçe, bu artan çıktı daha fazla AA gerektirir (Lemme, 2009; Elliot, 2025). Eş zamanlı olarak, N atılımını azaltma baskısı vardır. N atılımını azaltmanın birincil yolu rasyonun HP seviyesini düşürmektir (Alagawany ve ark., 2016). Bu nedenle, temel zorluk, sentetik AA'lar ve gelişmiş formülasyon/besleme stratejileri kullanarak hassas AA dengelemesi gerektiren daha az toplam proteinle potansiyel olarak daha yüksek görelî AA taleplerini karşılamaktır. Bu sadece maliyet veya çevre ile ilgili değil; modern ırkların performans potansiyelini desteklemek için temel bir gerekliliktir.

Protein kalitesi, bir rasyon protein kaynağının, tavuğun yaşama payı, büyüme ve yumurta üretimi için gereksinim duyduğu EAA'ları doğru oranlarda ve sindirilebilir formlarda sağlama yeteneğini ifade etmektedir. Bu kavram, sadece toplam HP içeriğiyle değil, aynı zamanda onu oluşturan AA'ların profili ve biyoyararlanımı ile de ilgilidir. Rasyondaki proteinler, sindirim sürecinde serbest AA'lara parçalanır ve bunlar kan dolaşımında emilerek çeşitli dokular tarafından yeni proteinlerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2024d).

Yem hammaddelerindeki (örneğin, SFK, mısır) protein kalitesini etkileyen faktörler arasında hammaddenin doğal AA profili, sindirilebilirliği, ANF'lerin varlığı ve uygulanan işleme yöntemleri bulunmaktadır (Bryan ve Classen, 2020).

- **Anti-Nutrisyonel Faktörler:** Proteaz inhibitörleri çığ soyadaki tripsin/kimotripsin inhibitörleri, lektinler, tanenler, fitat ve nişasta olmayan polisakkaritler (NOP'lar, örneğin ksilanlar, beta-glukanlar) gibi ANF'ler, protein ve AA'ların sindirilebilirliğini ve biyoyararlanımını azaltabilir (Bryan ve Classen, 2020; Varzaru ve ark., 2024; Anonymous, 2025b; Jacob, 2025; Katu ve ark., 2025). Örneğin, tanenler proteinleri çökelterek sindirilemez kompleksler oluşturabilir ve protein emilimini engelleyebilmektedir (Gilani ve ark., 2012). Proteaz inhibitörleri, tripsin

ve kimotripsin gibi sindirim enzimlerinin aktivitesini bloke ederek protein sindirim verimliliğini düşürmekte ve pankreas hipertrofisine neden olabilmektedir (Bryan ve Classen, 2020).

- **İşleme Yöntemleri:** Isıl işlem, soyadaki tripsin inhibitörleri ve lektinler gibi ANF'leri inaktive etmek için kritik öneme sahiptir. Ancak, aşırı işleme (aşırı kavurma), özellikle lizin gibi AA'ların yararlılığını Maillard reaksiyonu yoluyla azaltabilmektedir (Anonymous, 2025b). Genellikle, monogastrik hayvanlar için hafif ısıl işlem en iyi sindirilebilirliği sağlamaktadır (Miller, 2004). Fermantasyon gibi diğer işleme yöntemleri de fitat gibi ANF'leri azaltabilmektedir (Katu ve ark., 2025).

Protein kalitesi kavramının çok yönlü olduğu anlaşılmalıdır; sadece EAA profilini değil, aynı zamanda bu AA'ların sindirilebilirliğini ve biyoyararlanımını da kapsar ki bunlar ANF'ler ve işleme hasarı tarafından olumsuz etkilenebilmektedir. Bir yem hammaddesi kâğıt üzerinde iyi bir EAA profiline sahip olabilir, ancak ANF'ler (örneğin, az pişmiş soyadaki tripsin inhibitörleri) sindirimi engellerse veya ısıl işlem lisine zarar verirse, tavuk için etkin protein kalitesi düşer (Bryan ve Classen, 2020; Anonymous, 2025b). Bu durum, kalitenin değerlendirilmesinin sadece toplam AA içeriğinin analizinden daha fazlasını gerektirdiğini gösterir; sindirilebilirlik deneyleri ve potansiyel olarak biyoyararlanım ölçümleri kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, protein kalitesi, AA profili, sindirilebilirlik ve kullanıma engel olan faktörlerden arınmışlığın entegre bir ölçüsüdür (Bryden ve Li, 2010).

2.1.4. İdeal aminoasit ve protein konsepti

İdeal protein, teorik olarak, tavuğun yaşama payı ve üretim (yumurta) için tüm EAA gereksinimlerini tam olarak karşılayan, hiçbir aminoasidin eksik veya fazla olmadığı, mükemmel dengelenmiş bir AA profiline sahip bir protein olarak tanımlanmaktadır. Bu konseptin temel amacı, N kullanımını maksimize etmek ve N atılımını minimize etmektir. Tarihsel olarak, kanatlı besleme HP düzeylerine odaklanırken, zamanla AA dengesinin önemi anlaşılmış ve ideal protein kavramı

geliştirilmiştir (Lemme, 2003). Bu kavramın kanatlılar için 1950'lerde ortaya çıkmaya başladığı belirtilmektedir (Wu ve Li, 2022). Bu konseptin temelinde yatan fikir AA'lar doğru oranlarda sağlandığında, herhangi bir amino asidin fazlalığının en aza indirilmesidir. Vücuda fazla alınan AA'lar vücutta depolanamaz; bunun yerine metabolik bir yük oluşturarak deaminasyona (amino grubunun ayrılması) uğrar ve oluşan nitrojenin atılması gerekir (Applegate ve Angel, 2008). Bu durum hem enerji kaybına yol açar hem de çevreye atılan nitrojen miktarını artırır. İdeal protein yaklaşımıyla da bu kayıplar minimize edilmektedir. Tarihsel açıdan konsept ilk geliştirildiğinde, temel odak noktası EAA'lar olmuştur (Wu ve Li, 2022).

2.1.4.1. Esansiyel aminoasitler ve sınırlayıcı amino asitler

Kanatlılar, vücutlarında yeterli miktarda sentezleyemedikleri için rasyonla alınması gereken spesifik EAA'lara ihtiyaç duyarlar (Jahan ve ark., 2023). Yumurta tavukları için anahtar EAA'lar arasında lizin, metiyonin, treonin, triptofan, valin, izolösin, lösin, arjinin, histidin ve fenilalanin bulunur (Bregendahl ve ark., 2008). Sistein genellikle metiyonin ile birlikte TSAA olarak değerlendirilir (Elliot, 2025). Bununla birlikte, Glisin+Serin gereksinimleri de dikkate alınmaktadır (Soares ve ark., 2019).

Bu AA'lar, protein sentezinin temel yapı taşları olarak kritik roller üstlenirler. Yumurtanın ana bileşenleri olan albümin (yumurta akı) ve vitellin (yumurta sarısı) gibi proteinlerin yapısına katılırlar. Yumurta akı, ovalbumin, ovotransferrin, ovomukoid ve lizozim gibi 24 farklı protein içerirken, yumurta sarısı da lipovitellin, lipovitellenin ve fosvitin gibi önemli proteinleri barındırmaktadır (Yüceer, 2021; Anonim, 2024). Bu proteinlerin sentezi için gerekli EAA'ların yeterli ve dengeli alımı, yumurta verimi ve büyüklüğü için elzemdir. Ayrıca, EAA'lar vücut dokularının (kas, organlar) bakımı, tüy oluşumu ve çeşitli metabolik fonksiyonların (enzim, hormon üretimi) sürdürülmesi için de gereklidir (Bregendahl ve ark., 2008).

Bir rasyonda, tavuğun ihtiyacına göre en düşük miktarda bulunan EAA "sınırlayıcı AA" olarak adlandırılır. Protein sentezi, bir zincirin en zayıf halkası tarafından belirlenmesi gibi, en eksik olan EAA tarafından sınırlanmaktadır. Diğer tüm AA'lar yeterli

hatta fazla miktarda bulunsalar bile, protein sentezi ancak sınırlayıcı AA'nın izin verdiği hızda devam edebilmektedir (Applegate ve Angel, 2008). Diğer AA'ların fazlalığı bu eksikliği telafi edemez ve bu fazla AA'lar katabolize edilerek N atılımını arttırmaktadır (Alagawany ve ark., 2016). Kanatlılar için yaygın olarak kullanılan mısır-SFK bazlı rasyonlarda, AA'ların sınırlayıcı olma sırası genellikle şu şekildedir: 1. Metiyonin, 2. Lisin, 3. Treonin. (Elliot, 2025). Bu ilk üç AA'yı takiben genellikle Valin ve İzolösin gelir. Valin, özellikle metiyonin, lisin ve treonin takviyesi yapıldıktan sonra dördüncü sınırlayıcı AA konumuna gelir ve yumurta proteini sentezi için kritik öneme sahiptir (Nahavandinejad ve ark., 2024). Ancak, bazı çalışmalarda, özellikle buğday-sorgum bazlı rasyonlarda, yumurta kitlesi baz alındığında İzolösin'in dördüncü, Valin'in beşinci; yemden yararlanma oranı (YYO) baz alındığında ise Valin'in dördüncü sınırlayıcı AA olabileceği belirtilmiştir. Bu durum, rasyonun içeriğine ve değerlendirme kriterine göre sınırlayıcı AA sırasının değişebileceğini göstermektedir (Jahan ve ark., 2023).

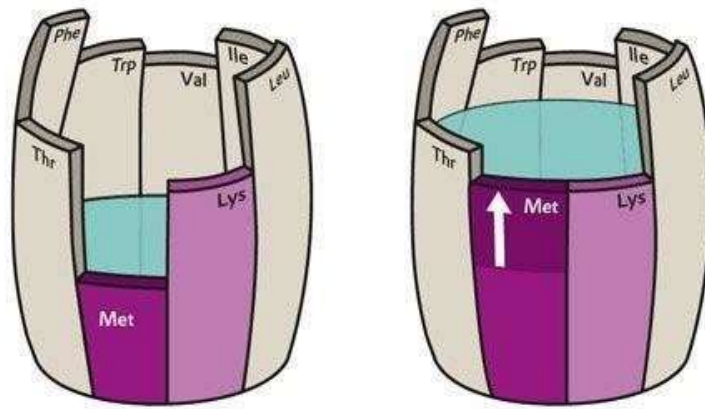
19.yüzyılda Alman bilim insanı Justus von Liebig tarafından formüle edilen "Minimum Yasası", tarım bilimlerinde temel bir prensiptir. Bu yasa, büyümenin (veya yumurta üretimi gibi karmaşık bir sürecin) mevcut toplam kaynak miktarı tarafından değil, en kıt olan kaynak (sınırlayıcı faktör) tarafından belirlendiğini ifade etmektedir (Wikipedia, 2025). Yasanın orijinal bağlamı bitki beslemedir: Toprakta diğer bütün besin elementleri bol miktarda bulunsa bile, eğer tek bir esansiyel besin elementi (örneğin N) yetersizse, bitki büyümesi zayıf olacaktır. Yani, büyümeyi sınırlayan faktör, ihtiyaca göre en az bulunan elementtir (Wikipedia, 2025).

Liebig Yasası'nı görselleştirmek için genellikle "Liebig Fıçısı" benzetmesi kullanılmaktadır. Bu benzetmede:

- Fıçı, potansiyel verimi veya performansı (örneğin, yumurta üretimi) temsil etmektedir.
- Fıçının tahta çitalarının her biri, gerekli olan farklı bir besin maddesini (veya faktörü) simgelemektedir.
- Her bir çitanın uzunluğu, o besin maddesinin ihtiyaca göre ne kadarının mevcut olduğunu göstermektedir.

- Fıçının su tutma kapasitesi (yani verim potansiyeli), en kısa çitanın (sınırlayıcı besin maddesi) uzunluğu ile sınırlıdır.
- Diğer çitaları uzatmak (yani bol olan besin maddelerinden daha fazla eklemek), fıçının kapasitesini arttırmaz. Fıçının daha fazla su tutabilmesi için mutlaka en kısa çitanın uzatılması gerekmektedir (Wikipedia, 2025).

Liebig Yasası ile ideal protein konsepti arasındaki bağlantı çok nettir. Yumurta üretimi için gerekli protein sentezi bağlamında, her bir EAA, Liebig fıçısındaki bir çita gibi düşünülebilir. Her bir EAA'nın tavuğun ihtiyacına göre rasyondaki mevcudiyeti, o çitanın “uzunluğunu” belirler. Örneğin, bir mısır-SFK bazlı rasyonda genellikle Metiyonin yani *ilk sınırlayıcı AA*, fıçının en kısa çitasıdır. Bu tek bir sınırlayıcı AA, tavuğun yaşama payı ve yumurta üretimi için protein sentezleyebileceği maksimum hızı belirler ve dolayısıyla genel performansı (yumurta kitlesi, yemden yararlanma) sınırlamaktadır (Taşkesen, 2017).



Şekil 2.1 “Liebig fıçısı”, bir EAA’nın yetersizliği nedeniyle protein sentezinin sınırlanmasını açıklamaktadır. Varilin en kısa tahtası, birinci sınırlayıcı AA’yı (burada metiyonin) temsil etmektedir. Kaynak: Einarsson ve ark. (2019)

2.1.4.2. Lisin'e dayalı ideal aminoasit oranları

İdeal protein konseptinde, lisin genellikle referans AA olarak kabul edilir. Bunun birkaç nedeni vardır:

1. Lisin, metiyonin+sistin gibi diğer AA'lara kıyasla öncelikli olarak protein birikimi (kas ve yumurta proteini) için kullanılır ve diğer metabolik fonksiyonlardan (örneğin tüy yapımı gibi) çok az etkilenmektedir.
2. Metiyoninin sistine dönüşebilmesinin aksine, lisin diğer AA'larla önemli metabolik dönüşümlere girmez.
3. Lisinin yem hammaddelerindeki analizi özellikle kükürtlü AA'lara göre daha kolay ve güvenilirdir.

Bu nedenlerle, diğer EAA'ların gereksinimleri sıklıkla lisine oranlanarak ifade edilir. Belirli bir üretim senaryosu için lisin gereksinimi belirlendikten sonra, diğer EAA'ların gereksinimleri bu ideal oranlara göre hesaplanabilir (Lemme, 2003).

İdeal AA profili veya oranı, her bir EAA'nın Lisin'e göre optimal oranını (genellikle Lisin %100 kabul edilerek) ifade etmektedir ve diğer tüm EAA'ların ihtiyacı, Lisin'e oranla (%) ifade edilir (Macelline ve ark., 2022). Bu yaklaşımın temel avantajı, rasyondaki HP seviyesinden veya kullanılan hammaddelerden bağımsız olarak, AA dengesini hayvanın ihtiyacına en uygun şekilde ayarlamayı sağlamasıdır. Böylece, AA'ların israfı önlenir, yemden yararlanma iyileşir ve en önemlisi, kullanılmayan fazla AA'ların parçalanması sonucu oluşan N'nin dışkıyla atılımı azalır (Adhikari ve ark., 2025). Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi, farklı kaynaklarda ve araştırmalarda önerilen ideal AA oranları arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, sindirilebilir TSAA:Lisin oranı %81 ile %94 arasında, Treonin:Lisin oranı %66 ile %80 arasında, Triptofan:Lisin oranı %16 ile %23 arasında, Valin:Lisin oranı %64 ile %102 arasında, İzolösin:Lisin oranı %76 ile %86 arasında ve Arjinin:Lisin oranı %82 ile %130 arasında değişen değerlerde önerilmektedir (Kumar, 2016).

Çizelge 2.1. Yumurta tavukları için farklı kaynaklardan ideal sindirilebilir amino asit oranı önerilerinin karşılaştırılması (% Lisin)

Aminoasit	NRC (1994) ¹	CVB (1996) ²	Jais ve ark. (1995)	Coon ve Zhang (1999)	Leeson ve Summers (2005)	Rostagno ve ark. (2005)	Bregendahl ve ark. (2008)	Lemme (2009)
Lisin	100	100	100	100	100	100	100	100
Arjinin	101	-	82	130	103	100	-	104
İzolösin	94	79	76	86	79	83	79	80
Metiyonin	43	50	44	49	51	50	47	50
TSAA*	84	93	-	81	88	91	94	91
Treonin	68	66	76	73	80	66	77	70
Triptofan	23	19	16	20	21	23	22	21
Valin	101	86	64	102	89	90	93	88

¹National Research Council; ²Centraal Veevoederbureau

*TSAA: Toplam kükürtlü amino asitler (Metiyonin+Sistein)

Kaynak: Kumar (2016); Macelline ve ark. (2021)

Bu oranların sabit olmadığı ve çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebileceği anlaşılmaktadır. Hayvanın yaşı ve üretim dönemi (pik verim vs. post-pik), genotipi (hafif beyaz ırklar vs. ağır kahverengi ırklar), hedeflenen performans kriteri (maksimum yumurta sayısı mı, maksimum yumurta kitlesi mi, en iyi YYO mu?) ve hatta rasyonun temel bileşenleri (örn. mısır-SFK bazlı mı, buğday bazlı mı?) ve HP seviyesi (düşük HP rasyonlarında sınırlayıcı AA sırası değişebilir) ideal oranları etkileyebilmektedir. Bu durum, genel olarak tek bir "ideal oran" setinin olmadığını, formülasyonların dinamik ve sürünün spesifik koşullarına göre uyarlanması gerektiğini göstermektedir. İdeal protein konseptinin uygulanması, sabit bir formülden ziyade, sürekli güncellenen araştırma verilerine ve dikkatli gözlemlere dayalı esnek bir yaklaşım gerektirmektedir (Macelline ve ark., 2021; Macelline ve ark., 2022; Nahavandinejad ve ark., 2024).

2.2. Eksojen Enzimler

Eksojen enzimler, hayvanların sindirim sisteminde doğal olarak üretilen endojen enzimlere ek olarak, dışarıdan yemlere katılan ve sindirimi destekleyen biyolojik katalizörlerdir. Amaçları, yem bileşenlerinin hayvan tarafından daha etkin parçalanmasını sağlayarak besin maddelerinin yararlılığını arttırmaktır. Özellikle kanatlılar sınırlı miktarda bazı sindirim enzimlerine sahiptir (örneğin, lifleri parçalayacak enzimleri yeterince üretemezler); bu nedenle fitaz, ksilanaz, β -glukanaz, proteaz, lipaz ve galaktozidaz gibi eksojen enzimler uzun yıllardır kümes hayvanı yemlerine ilave edilmektedir (Kayan ve ark., 2025). Bu enzimler işlevlerine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- **Karbohidrazlar:** Nişasta ve NOP'ları parçalayan enzimlerdir. Örneğin ksilanaz ve β -glukanaz gibi enzimler tahıl ve yem ham maddelerindeki hemiselülozları ve çözünür lifleri parçalayarak viskoziteyi düşürür ve besinlerin salınımını sağlar. Amilaz ise nişastayı glukoza dönüştürür (Papadopoulos ve ark., 2022).
- **Fitazlar:** Bitkisel yem maddelerinde P'nin depolandığı fitik asidi (fitatı) parçalayarak bağlı P'yi serbest bırakan enzimlerdir. Fitaz ile fitattan fosfor koparılarak hem hayvanın P ihtiyacı daha iyi karşılanır hem de dışkıyla atılan P azaltılarak çevresel yük düşürülmektedir (Velázquez-De Lucio ve ark., 2021).
- **Proteazlar:** Proteinleri peptit ve AA'lara parçalayan enzimlerdir. Eksojen proteaz ilavesiyle, yem proteinlerinin sindirilebilirliği artar ve hayvanın daha fazla amino asidi absorbe etmesi sağlanır (Alagawany ve ark., 2018).
- **Lipazlar:** Yağları (trigliseritleri) yağ asitlerine ve gliserole hidroliz eden enzimlerdir. Yemdeki yağların sindirimini kolaylaştırarak enerji kullanımını iyileştirirler (Velázquez-De Lucio ve ark., 2021).

Bu gruplar dışında, selüla, pektinaz, mannanaz, α -galaktozidaz gibi özel substratları hedef alan enzimler de mevcuttur. Eksojen enzimler substrat spesifitesine sahip olup yalnızca belirli kimyasal bağları/parçacıkları hedef alırlar. Her bir enzim tipi, spesifik bir substratı tanıyıp parçalayarak etki gösterir; örneğin fitaz sadece fitata etki ederken ksilanaz arabinoksilan zincirlerini kırar, β -glukanaz beta-glukanları parçalar, proteazlar proteinleri hidroliz eder. Bu şekilde farklı enzim sınıfları, hayvanın kendi enzimleriyle sindiremediği besin bileşenlerini parçalayarak sindirimi bütüncül olarak destekler. Eksojen enzimlerin yem katkı maddesi olarak kullanımının hayvan beslemede ayrı bir yeri vardır. Bu enzimler Avrupa Birliği ve birçok ülkede zootekni katkı kategorisinde değerlendirilmekte olup yemlerin besin değerini ve tutarlılığını iyileştirdikleri, sindirilebilirliği ve hayvan performansını arttırdıkları, antinutrisyonel (beslenmeyi engelleyici) faktörlerin etkisini azalttıkları ve bağırsak sağlığını korudukları bildirilmektedir (Velázquez-De Lucio ve ark., 2021). Genellikle tek başlarına veya çoklu enzim preparatları (birden fazla enzim kombinasyonu) şeklinde kanatlı hayvanların yemine ilave edilebilirler (Café ve ark., 2002; Babalola

ve ark., 2006). Son yıllarda geliştirilen yeni enzimler ve formülasyonlar sayesinde eksojen enzim kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve yem endüstrisindeki önemi artmaktadır.

2.2.1. Eksojen enzimlerin kaynakları

Eksojen enzimler, doğada çeşitli canlılar tarafından üretilmekle birlikte, endüstriyel ölçekte üretimleri için belirli kaynaklar öne çıkmaktadır. Bu kaynaklar arasında mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar bulunmaktadır. Tarihsel olarak enzimlerin saflaştırılması ve üretimi zorlu ve maliyetli olduğu için kullanımı sınırlı olsa da, günümüzde biyoteknolojik ilerlemeler sayesinde bu kaynaklardan büyük ölçekli enzim üretimi mümkün hale gelmiştir (McAllister ve ark., 2001). Günümüzde gıda ve özellikle yem endüstrilerinde kullanılan eksojen enzimlerin büyük bir çoğunluğu, sağladıkları avantajlar nedeniyle mikrobiyal kaynaklardan üretilmektedir (Motta ve ark., 2023).

Mikrobiyal kaynaklı enzimler;

Ticari enzim üretiminin bel kemiğini mikrobiyal fermentasyon oluşturur. Mikroorganizmalar, hızlı üreme yetenekleri, genetik manipülasyona uygunlukları ve geniş bir enzim yelpazesi üretebilmeleri nedeniyle tercih edilirler. Ticari olarak kullanılan mikrobiyal enzimlerin kaynağı ve etkileri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

- **Fungal Kaynaklar:** Mantarlar, özellikle filamentli mantarlar, hücre dışına yüksek miktarda enzim salgılama kapasiteleri nedeniyle endüstriyel enzim üretiminde önemli bir yer tutar. *Aspergillus* türleri (örneğin, *Aspergillus niger* amilaz, fitaz, ksilanaz, pektinaz üretimi için; *Aspergillus oryzae* amilaz, proteaz üretimi için), *Trichoderma* türleri (örneğin, *Trichoderma reesei* ve *Trichoderma viride* selüloz, ksilanaz, β -glukanaz üretimi için), *Penicillium* türleri (örneğin, *Penicillium funiculosum* fitaz üretimi için), *Humicola insolens* (selüloz, hemiselüloz) ve *Thermomyces lanuginosus* (amilaz) gibi mantarlar, çeşitli karbohidrazlar (amilaz, selüloz, ksilanaz, β -glukanaz, pektinaz), proteazlar, fitazlar ve lipazlar gibi endüstriyel ölçekte önemli enzimlerin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Fungal enzimlerin genellikle *Aspergillus oryzae* ve *Trichoderma*, *Aspergillus niger*,

Humicola insolens gibi türleri kapsadığı bildirilmiştir. Mayalar da, örneğin *Saccharomyces cerevisiae*, bazı enzimlerin (örneğin, α -galaktosidaz) üretiminde kullanılabilmektedir (Taye ve Etefa, 2020; Velázquez-De Lucio ve ark., 2021).

Çizelge 2.2. Ticari olarak kullanılan mikrobiyal enzimlerin kaynağı ve etkileri

Enzim	Kaynağı	Etkileri
α -amilaz	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Aspergillus oryzae</i>	α -1, 4-glukozit bağlarının endo hidrolizi
β -glukanaz	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Penicillium emersonii</i>	β -1, 3 (4) glukozit bağlarını parçalayarak β -glukanı bozar
Pektinaz	<i>Aspergillus aculeatus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Rhizopus oryzae</i>	Pektini parçalar
Pullulanaz	<i>Bacillus acidopullulyticus</i>	Niştayı hidrolize eder
Maltojenik α -amilaz	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>d-bacillus stearothermophilus</i>	Niştayı maltoz üreterek hidrolize eder
β -amilaz	Malt arpa	Niştayı maltoz üreterek hidrolize eder
α -galaktosidaz	<i>Aspergillus niger</i> , <i>morteirella vinaceae</i> <i>varsacchromyces</i>	Oligosakkaritleri parçalar
Fitaz	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>phytase canola</i> , <i>Pichia pastoris</i> , <i>d-aspe –aspergillusniger</i> , <i>d-Escherichia coli</i>	Fitatı hidrolize eder
Glukoz oksidaz	<i>Aspergillus niger</i>	Glikozu hidrojen peroksit ve glukonik asite indirger
β -glukanaz	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp</i>	β -glukanı hidrolize eder
β -glukosidaz	<i>Aspergillus Niger</i>	Selüloz degradasyonunu hidrolize eder
İnvertaz	<i>Aspergillus Niger</i> , <i>sacchchromyces sp</i>	Sakkarozu glikoz ve fruktoza hidrolize eder
Glukoamilaz (amilo glukosidaz)	<i>Aspergillus Niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Rhizopus oryzae</i>	Niştayı glukoz üreterek hidrolize eder
Hemiselülaz	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>humicola sp.</i> , <i>Trichoderma sp</i>	Hemiselülozu parçalar
β -Mannanaz	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Bacillus entus</i> , <i>Trichoderma reesei</i>	Beta-mannanı hidrolize eder
Ksilenaz	<i>Aspergillus spp</i> , <i>Bacillus spp</i> , <i>humicola spp.</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Trichoderma spp</i>	Ksilanı hidrolize eder
Bromelain	Ananas (<i>Ananas comosus</i>) kök ve meyvesi	Proteinleri hidrolize eder
Ficain	<i>Ficus globrata</i>	Proteinleri hidrolize eder
Keratinaz	<i>Bacillus licheniformis</i>	Proteinleri hidrolize eder
Papain	Papaya (<i>Carica papaya</i>)	Proteinleri hidrolize eder
Pepsin	Hayvansal nişasta (Glikojen)	Proteinleri hidrolize eder
Proteaz	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus sp.</i> , <i>Bacillus spp</i>	Proteinleri hidrolize eder
Katalaz	<i>Aspergillus niger var.</i> , <i>Micrococcus</i>	Hidrojen peroksitten su ve oksijen üretir
Tripsin	Pankreas	Proteinleri hidrolize eder

Kaynak: Munir ve Maqsood (2013)

- **Bakteriyel Kaynaklar:** Bakteriler de, özellikle *Bacillus* cinsi, termostabil ve alkali pH'larda aktif enzimler üretme potansiyelleri nedeniyle değerli kaynaklardır. *Bacillus subtilis* (amilaz, proteaz, ksilanaz), *Bacillus licheniformis* (α -amilaz, pullulanaz), *Bacillus stearothermophilus* (α -amilaz, ksilanaz), *Bacillus amyloliquefaciens* (α -amilaz, ksilanaz), *Lactobacillus* türleri (örneğin, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*), *Streptococcus faecium*, *Escherichia coli* (özellikle rekombinant fitaz üretimi için) ve *Citrobacter braakii* (fitaz) gibi bakteri türleri, amilaz, proteaz, fitaz ve ksilanaz gibi önemli endüstriyel enzimlerin kaynağıdır. *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus*, *L. plantarum* ve *Streptococcus faecium* türleri başlıca bakteriyel enzim kaynakları olarak sıralanmaktadır (Taye ve Etefa, 2020; Velázquez-De Lucio ve ark., 2021).

Bitkisel kaynaklı enzimler;

Bazı bitkiler doğal olarak yüksek miktarda spesifik enzim içerir. Bu enzimler bitki dokularından veya salgılarından ekstrakte edilerek kullanılabilir. Örneğin papaya meyvesinin lateksinden elde edilen papain güçlü bir proteolitik enzimdir ve hem insanlar hem hayvanlar için sindirime yardımcı olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Nitekim papain, yıllardır kanatlılarda (etlik piliç ve yumurtacı tavuklar) bitkisel proteinlerin sindirimine yardımcı olmak amacıyla yem katkısı olarak denenmiştir (Battaa ve ark., 2015; Rumokoy ve ark., 2016; Sugiharto, 2020). Benzer şekilde, ananas gövdesinden elde edilen bromelain enzimi de proteaz aktivitesiyle bilinmektedir. İncir ağacı sütünden elde edilen fisin enzimi de bitkisel kaynaklı enzimlere örnek olarak verilebilir (Tanyıldızı, 2005). Bitkisel enzimler genellikle gıda sanayinde (örneğin et yumuşatmada) yaygın olmakla birlikte, hayvan beslemede de örnek uygulamaları mevcuttur (Madhusankha ve Thilakarathna, 2021). Ancak bitkisel enzimlerin saflaştırılması zahmetli olabildiğinden, hayvan yemlerinde kullanımları mikrobiyal enzimler kadar yaygın değildir (Souza, 2010).

Hayvansal kaynaklı enzimler;

Hayvan dokuları da tarihte bazı enzimlerin kaynağı olmuştur. Örneğin, buzağuların abomasumundan elde edilen kimozi (rennin) peynir yapımında, domuz veya sığır pankreasından elde edilen pankreatin (sadece domuzda), tripsin ve kimotripsin ile

mide mukozasından elde edilen pepsin A, proteolitik enzimler olarak kullanılmıştır (EFSA ve ark., 2024; Szkopek ve ark., 2024). Ancak, etik kaygılar, standardizasyon zorlukları, potansiyel patojen riski ve mikrobiyal kaynaklara göre daha yüksek üretim maliyetleri nedeniyle hayvansal kaynaklı enzimlerin yem endüstrisindeki kullanımı oldukça kısıtlıdır.

2.2.2. Eksojen enzimlerin genel etki mekanizması

Eksojen enzimler, yemlerdeki kompleks molekülleri hedef alarak çeşitli mekanizmalarla etki gösterirler. Substrat spesifitesi her enzim için ayırt edici olduğundan, her enzim yalnızca belli bağları parçalayarak spesifik bir etki yapar ve bu şekilde sindirime katkıda bulunur (Ravindran, 2013). Eksojen enzimlerin genel etki mekanizmaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Endojen enzimlerin yıkamadığı bileşenleri parçalama:** Eksojen enzimler, hayvanın kendi sindirim enzimleriyle hidroliz edemediği bağları yıkarak besinlerin daha küçük parçalara ayrılmasını sağlar. Örneğin, kanatlıların sindiriminde parçalanmadan kalan çözünür polisakkarit zincirlerini (arpadaki β -glukanları, buğdaydaki arabinoksilanları vb.) ksilanaz ve β -glukanaz gibi enzimler parçalayabilir. Bu sayede hayvanın normalde sindiremediği besin kısımları sindirim kanalında basit şekerlere veya daha sindirilebilir moleküllere dönüşür (Munyaka ve ark., 2016).
- **Antinutrisyonel faktörleri etkisiz hale getirme:** Bazı yem ham maddelerinde bulunan ve besinlerin emilimini engelleyen antinutrisyonel faktörler, eksojen enzimler yardımıyla parçalanabilmektedir. Örneğin fitik asit (fitat) başta P olmak üzere mineralleri bağlayarak onların emilimini engeller; eksojen fitaz uygulamasıyla fitat molekülü parçalanır ve bağlı P serbest kalır (El Enshasy ve ark., 2018). Benzer şekilde, çözünebilir NOP'lar (örneğin pentozanlar, β -glukanlar) bağırsak içinde yüksek viskozite oluşturarak besinlerin emilimini zorlaştırır; ksilanaz ve β -glukanaz enzimleri bu lifleri yıkarak bağırsak içeriğinin viskozitesini düşürür ve sindirimi kolaylaştırır. Eksojen enzim kullanımıyla bağırsak viskozitesinin azalması, besinlerin bağırsak çeperine temasını ve emilimini arttırarak yemden yararlanmayı iyileştirir (Kim ve ark., 2024).

- **Hücre duvarlarını parçalama ve besinlerin salınımı:** Bitkisel yemlerde besin maddelerinin bir kısmı hücre duvarları içinde hapsolmuştur. Selülag, hemiselülag gibi enzimler bitki hücre duvarı bileşenlerini (selülag, hemiselülag, pektin) kısmen yıkarak hücre duvarının açılmasını ve içindeki nişasta, protein, yağ gibi besinlerin serbest kalmasını sağlar. Bu etki, özellikle tam dane öğütölmüş yemler veya yan ürünler (kepek, posa vb.) içeren rasyonlarda önemlidir; eksojen enzimler sayesinde daha önce sindirilemeyen besin öğeleri kullanılabilir hale gelmektedir (Li, 2021).
- **Doğrudan besinleri sindirme (ekstra sindirim kapasitesi):** Bazı eksojen enzimler, hayvanın endojen enzimlerine ek katkı yaparak doğrudan besinleri parçalar. Örneğın eksojen proteaz ilavesi ile rasyon proteinlerinin mide-bağırsakta parçalanması hızlanır; lipaz ilavesiyle trigliseritlerin hidrolizi artar. Bu ekstra enzim desteğı, özellikle genç hayvanlarda veya besinin hızlı geğış yaptığı durumlarda sindirimin tamamlanmasına yardımcı olur. Böylece, hayvanın endojen enzimleri yetersiz kaldığında ya da yem formölasyonu gerektirdiğinde eksojen enzimler devreye girerek tam bir sindirim sağlar (Yang ve ark., 2025).
- **Endojen enzim salınımı ve kayıplarının azaltılması:** Eksojen enzimlerin besinleri önceden parçalamaya başlaması, hayvanın kendi sindirim sistemi üzerindeki yükü hafifletebilir. Bunun sonucunda pankreas gibi organlar daha az enzim salgılar, aşırı mukus ve protein kaybı azalabilir. Bu mekanizma, hayvanın enerji ve besin maddesi tasarrufuna yol açarak bakım ihtiyaçlarını azaltır. Örneğın, rasyonda sindirimi zor kompleksler bulunan hayvanlar eksojen enzim desteğı aldığıında, bağırsakta daha az sindirilmemiş madde kalacağı için mukus üretimi ve endojen protein atılımı düşebilir (Sureshkumar ve ark., 2023).
- **Genç hayvanlarda sindirim sistemi desteğı:** Cıvcıvler ve genç hayvanlar, sindirim enzimleri henüz tam gelişmediğinden bazı besinleri verimli sindiremezler (Ravindran ve Abdollahi, 2021). Eksojen enzimler, bu yetersiz veya henüz bulunmayan enzimlerin yerine geçerek genç hayvanların sindirim etkinliğini artırır. Örneğın, buğday ağırlıklı rasyon verilen cıvcıvlere ksilanaz eklenmesi, henüz gelişmemiş olan mikrobiyal fermentasyon kapasitesine rağmen

lif sindirimini mümkün kılarak büyümeyi destekleyebilir (Ravindran, 2013).

- **Bağırsak mikroflorasına etkileri:** Eksojen enzimlerin önemli bir mekanizması da bağırsak mikrobiyal popülasyonunu etkilemeleridir. Sindirim kanalında enzim ilavesiyle daha fazla besin emildiğinden, kalın bağırsak ve sekum gibi alt bölgelere ulaşan sindirilmemiş substrat miktarı azalır veya karakteri değişir. Bu durum, zararlı fermentasyonları sınırlayıp yararlı bakterilerin gelişimini teşvik ederek bağırsak sağlığına olumlu yansımaktadır (Bedford ve Cowieson, 2012). Örneğin, buğday gibi yüksek lifli tahıllarla beslenen yumurtacı tavuklarda ksilanaz enzimi eklendiğinde, sekum mikroflorasında belirgin bir değişim gözlemlenmiştir. Van Hoeck ve ark. (2021a) yaptığı çalışmada 45,000 U/kg ksilanaz ilavesinin tavukların sekumunda *Laktobasillus* ve enterokok gibi faydalı bakterilerin oranını önemli derecede arttırdığını bildirmişlerdir. Bu sonuç, ksilanazın kompleks karbonhidratları parçalayarak bazı faydalı bakteriler için prebiyotik etki oluşturabileceğine işaret etmektedir. Benzer şekilde, β -mannanaz enzimi soya küspesi içeren rasyonlarda kullanıldığında, *Lactobacillaceae* familyası ve butirat üreten bakteriler gibi yararlı mikroorganizmaların popülasyonunda artış görülmüştür. Eksojen enzimler, bağırsakta istenmeyen bakteriyel fermentasyon ürünlerini (örneğin viskoz ortamlarda üreyen patojenler) azaltıp, sindirim kanalının daha sağlıklı bir mikrobiyal dengeye kavuşmasına yardımcı olmaktadır (Leone ve Ferrante, 2023). Nitekim literatürde, yüksek lifli rasyonlara enzim ilavesinin bağırsakta daha uzun ve sağlıklı villus yapısı, düşük patojen baskısı ve güçlü bariyer fonksiyonu ile ilişkilendirildiği bildirilmektedir. Özetle eksojen enzim kullanımı sadece besin sindirimini değil, aynı zamanda hayvanın bağırsak ekosistemini ve sağlık durumunu iyileştiren çok yönlü etkilere sahiptir (Singh ve ark., 2021).

2.2.3. Kanatlı beslemede enzimlerin kullanımı

Kanatlı hayvanların sindirim sistemleri, yüksek verim potansiyellerini karşılamak üzere formüle edilen rasyonlardaki bazı kompleks bileşikler tam olarak sindirmek için yeterli enzimatik kapasiteye sahip değildir. Özellikle tahıl bazlı (mısır, buğday, arpa vb.) ve bitkisel protein kaynaklarına (SFK, ATK vb.) dayalı rasyonlarda bol miktarda bulunan

NOP'lar ve fitat gibi anti-nutrisyonel faktörler, besin maddelerinin sindirilebilirliğini ve emilimini olumsuz etkileyebilmektedir (Khattak ve ark., 2006). Eksojen enzimler, bu besinsel sınırlamaların üstesinden gelmek, yemden yararlanmayı arttırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve hayvansal üretimin çevresel etkilerini hafifletmek amacıyla kanatlı rasyonlarında yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Kanatlı sektöründe en yaygın uygulanan enzimler fitaz ve nişasta olmayan polisakkaritleri parçalayıcı enzimler (NSPaz) olup bunları proteazlar ve diğer enzimler takip etmektedir (Vlaicu ve ark., 2024).

Yumurta tavuğu rasyonlarında ise çeşitli eksojen enzimler tek başlarına veya kombinasyonlar halinde (multienzim karışımları) kullanılmaktadır. En yaygın kullanılanlar şunlardır:

Fitaz

Fitazın temel işlevi, bitkisel yem hammaddelerinde P'nin başlıca depo formu olan fitata bağlı P'yi hidrolize ederek serbest bırakmaktır. Bu sayede, normalde tavuklar tarafından sindirilemeyen veya çok düşük oranda sindirilebilen fitat P'sinin biyoyararlanımı arttırılır. Fitat molekülü aynı zamanda Ca, çinko, demir gibi diğer önemli mineralleri ve protein/AA'yı da bağlayarak bunların emilimini engeller (anti-nutrisyonel etki). Fitaz, fitatı parçalayarak bu bağlı besin maddelerinin de serbest kalmasına ve kullanılabilirliğinin artmasına yardımcı olur. Sonuç olarak, rasyonlara pahalı inorganik P kaynaklarının (örneğin, DCP) ilave ihtiyacı azalır veya tamamen ortadan kalkar, bu da yem maliyetlerini düşürür. Ayrıca, sindirilemeyen P'nin dışkıyla atılımı azaldığı için çevre kirliliği (özellikle su kaynaklarında ötrofikasyon) riski de önemli ölçüde hafifletilir. Eksojen fitazlar, fitatın anti-besinsel etkilerinin üstesinden gelmek için kanatlı beslemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Alagawany ve ark., 2018; Anwar ve ark., 2023; Saçaklı ve ark., 2025).

Ksilanaz

Ksilan (özellikle arabinoksilan) buğday, arpa, çavdar, tritikale gibi tahılların ve bazı bitkisel protein kaynaklarının hücre duvarlarının önemli bir bileşenidir (Lazaridou ve ark., 2007). Ksilanaz enziminin birincil etkisi ksilanı daha küçük oligosakkaritlere ve

şekerlere parçalayarak sindirim sistemi içeriğinin viskozitesini düşürmektir. Özellikle çözünür arabinoksilanlar, bağırsak lümeninde suyla birleşerek jel benzeri yapılar oluşturur ve bu da sindirim içeriğinin akışkanlığını azaltmaktadır (viskoziteyi artırır). Yüksek viskozite, sindirim enzimlerinin substratlara ulaşmasını zorlaştırır, besin maddelerinin bağırsak duvarından emilimini yavaşlatır ve zararlı mikroorganizmaların çoğalması için uygun bir ortam yaratabilir. Ksilanaz, bu viskoziteyi azaltarak sindirimi ve emilimi kolaylaştırır. İkincil olarak, ksilanaz, hücre duvarlarının yapısal bütünlüğünü bozarak içlerinde hapsolmuş olan nişasta, protein ve lipit gibi değerli besin maddelerinin açığa çıkmasını ve endojen sindirim enzimlerinin etkisine sunulmasını sağlar. Bu etkiler sonucunda yemden yararlanma oranı ve metabolize olabilir enerji miktarı artar. Van Hoeck ve ark. (2021a), ksilanazın özellikle buğday bazlı rasyonlarda sindirilebilirliği ve performansı arttırdığını vurgulamaktadır.

β-glukanaz

Yumurta tavuğu beslenmesinde en yaygın NSP enzimlerinden birisi de β-glukanaz (β-glukan parçalayan) enzimidir. Arpa veya çavdar gibi β-glukan içeriği yüksek yemlerde β-glukanaz ilavesi tavukların performansını belirgin biçimde düzeltmektedir. NSPaz enzimleri sayesinde daha düşük enerji düzeyine sahip veya yüksek lifli yemlerle de tavuklardan iyi verim almak mümkün olmaktadır. Ksilanaz ve β-glukanaz dışında selüloz, pektinaz, mannanaz gibi diğer lif parçalayıcı enzimler de, kullanılan yem hammaddelerine göre devreye sokulabilir. Özellikle β-mannanaz, soya küspesi ve palm yağı küspesi gibi mannan içeren yemlerde son yıllarda dikkat çeken bir enzimdir; enerjisi azaltılmış yemlerde dahi tavukların performansını korumada etkili bulunmuştur (Liu ve ark., 2024a).

Amilaz

Amilaz, kanatlı rasyonlarının ana enerji kaynağı olan nişastanın α-1,4 glikozidik bağlarını kırarak glukoz, maltoz ve diğer küçük oligosakkaritlere hidrolizini arttırmaktadır. Bu, yemin enerji değerinin daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Kanatlılar kendi pankreaslarında amilaz üretmelerine rağmen, eksojen amilaz takviyesi, özellikle civcivlerde sindirim sistemi tam olarak gelişmediğinde veya yüksek nişastalı (örneğin, mısır ağırlıklı) rasyonlar kullanıldığında endojen amilaz aktivitesini

destekleyerek nişasta sindirimini maksimize edebilmektedir (Bruch ve ark., 2024). Amilaz, genellikle tek başına değil, diğer enzimlerle (ksilanaz, proteaz vb.) birlikte multi-enzim karışımlarının bir parçası olarak kullanılmaktadır. Liu ve ark. (2021)'in belirttiği gibi, α -amilazın mısır-soya bazlı bir rasyona eklenmesi, daha fazla yem enerjisinin salınımını sağlayabilir ve görünür besin sindirilebilirliğini, sindirim enzimi aktivitesini ve kanatlıların üretim performansını önemli ölçüde iyileştirebilir.

Proteaz

Proteazlar, yem proteinlerindeki peptit bağlarını hidrolize ederek proteinleri daha küçük peptitlere ve serbest AA'lara parçalar. Bu, protein ve AA'ların sindirilebilirliğini ve emilimini arttırmaktadır (Cai ve ark., 2024). Özellikle soya küspesi gibi bitkisel protein kaynaklarında bulunan ve protein sindirimini olumsuz etkileyebilen anti-nutrisyonel protein faktörlerinin (örneğin, tripsin inhibitörleri, lektinler) etkisini azaltmada faydalı olabilmektedir (Cowieson ve ark., 2016; Walk ve ark., 2018). Ayrıca, sindirimi zor olan hayvansal protein kaynaklarının (örneğin, et-kemik unu, tüy unu) kullanıldığı rasyonlarda veya sindirim kapasitesinin düştüğü stres koşullarında da protein kullanımını iyileştirebilmektedir. Cai ve ark. (2024), proteaz DE200'ün yumurta tavuklarında üretim performansını arttırdığını ve yemden yararlanma oranını (YYO) düşürdüğünü bildirmiştir.

Karışım enzimler

Bu karışımlar, genellikle birden fazla enzim türünü (örneğin, ksilanaz, amilaz, proteaz, fitaz, β -glukanaz, selüloz, pektinaz) içermekte ve dolayısıyla yemdeki çeşitli NOP'lar, fitat, protein, nişasta gibi birden fazla substratı aynı anda hedeflemektedir. Farklı enzimlerin sinerjistik (birbirini destekleyici ve güçlendirici) etkilerinden yararlanarak yemlerin genel sindirilebilirliğini ve besin değerini daha kapsamlı bir şekilde arttırmaktır. Rasyon formülasyonunda daha fazla esneklik sağlarlar; çünkü farklı hammaddelerden kaynaklanan çeşitli ANF'lerin ve sindirimi zor bileşenlerin üstesinden gelmeye yardımcı olurlar. Liu ve ark. (2021), yeni bir multienzim (proteazlar, pullulanaz, α -amilaz ve glukoamilazlar) karışımının yaşlı damızlık tavuklarda yumurta kalitesini, humoral bağışıklığı ve üreme performansını iyileştirdiği, ayrıca bağırsak mikrobiyomunu ve metabolomunu olumlu yönde düzenlediği belirtilmiştir. Benzer şekilde, Huang ve ark.

(2024b) ve Chen ve ark. (2024), multienzim takviyelerinin yumurta üretimi, yumurta kalitesi ve bağırsak sağlığı üzerinde pozitif etkilerini bildirmişlerdir.

2.3. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ceylan ve ark. (2003), 36 haftalık Hy-Line yumurta tavuğu rasyonlarına %0.20 + 300 fitaz FTU/kg, %0.25, %0.30, %0.35, %0.40 seviyelerinde fitat olmayan P ilaveli çalışmalarında yem tüketimi, yumurta verimi ve canlı ağırlık değişiminin seviyelerden etkilenmediği, %0.20 + 300 fitaz FTU/kg seviyesinin ise yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesini azalttığını, kabuk oranını arttırdığını, kemik külünü ise etkilemediğini bildirmişlerdir.

Yörük ve ark. (2006), 30-46 haftalık yaştaki 144 adet Lohmann ırkı yumurta tavuğu rasyonlarına multienzim ilavesinin yumurta verimi, yumurta kalitesi ve serum parametreleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında, deneme rasyonunu 0, 1 veya 2 g/kg multienzim takviyeli mısır-SFK bazlı rasyon olacak şekilde oluşturmuştur. Her muamele 12 tekerrürden oluşmuş ve her bir kafeste 4 tavuk barındırılmıştır. Kullanılan multienzim preparatı fungal ksilanaz, fungal β -glukanaz, alfa-amilaz, pektinaz, endo- β -glukanaz, pentozanaz ve hemiselülazdan oluşmuştur. Rasyona multienzim ilavesinin, tavukların canlı ağırlık, yem tüketimi ve yumurta verimini istatistiksel olarak etkilemediğini tespit etmişler buna karşılık, yem tüketiminde azalma ve buna bağlı olarak yemden yararlanma oranında önemli bir iyileşme sağlandığını bildirmişlerdir. İnceledikleri yumurta kalitesi ve serum parametreleri içerisinde yalnızca yumurta sarı indeksi ile serum albümin düzeyi önemli bir farklılık göstermiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar yumurta veriminde belirgin bir değişiklik gözlenmemekle birlikte, multienzim takviyesiyle yem tüketiminin azaldığını ve yemden yararlanmanın iyileştiğini bildirmişlerdir.

Tenesa ve ark. (2016), 144 adet, 16 haftalık Hisex Brown tavuğunun AA ilavesi ile desteklenmiş düşük HP'li rasyonlarına, performans, yumurta verimi, ince bağırsak villus yüksekliği üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneme rasyonları, %17.5 HP (kontrol), %17.5 HP+AA, %17 HP+AA ve %16.5 HP+AA olacak şekilde oluşturulmuş, bu sonuçlara göre, %17 HP içeren ve AA takviyesi yapılan grup, diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak önemli seviyede daha yüksek yumurta verimine sahip olduğunu

bildirmişlerdir. Buna karşın, yumurta kalitesi parametreleri arasında gruplar arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir. Duodenum, jejunum ve ileumda villus yüksekliği ve kript derinliği açısından gruplar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Ayrıca, %17 HP + AA grubunda dışkı pH değeri önemli seviyede daha düşük bulunmuştur. Sonuç olarak, %17 HP düzeyinde ve AA destekli besleme, hem yumurta üretimini arttırmış hem de ince bağırsak histomorfolojisini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir.

Alagawany ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, 18 ila 34 haftalık yaştaki Lohmann Brown yumurta tavuklarında farklı düzeylerde HP ve TSAA içeren rasyonların tavukların performansı, yumurta kalitesi ve yumurta bileşenleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütmüşlerdir. Deneme, %16 ve %18 olmak üzere iki farklı HP düzeyi ile %0.67, %0.72 ve %0.77 olmak üzere üç farklı TSAA düzeyinin kombine edildiği 2×3 faktöriyel bir desenle oluşturulmuştur. Toplam 144 adet 18 haftalık Lohmann Brown tavuğu rastgele olarak 6 farklı deneme grubuna dağıtılmıştır. Canlı ağırlık ve canlı ağırlık artışı açısından en yüksek değerler %18 HP içeren rasyon grubundan elde edilmiştir. Bununla birlikte, %18 HP düzeyinin yemden yararlanma oranı, yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesi üzerine en iyi sonuçları sağladığı bildirilmiştir. Öte yandan, %16 HP seviyeli rasyon ile %0.72 Met+Sis kombinasyonunun en yüksek yumurta verimini sağladığı bildirilmiştir. Yumurta kalite özelliklerinden Haugh birimi ve kabuk kalınlığı rasyonlardan etkilenmemiştir. Rasyonun HP ve TSAA düzeyleri arasındaki etkileşim yalnızca yumurta içeriğindeki nem oranı ve toplam kuru madde miktarı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki göstermiştir. Sonuç olarak, performans açısından en uygun sonuçlar rasyonun %0.72 düzeyinde TSAA seviyesinden elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmada, Lohmann Brown tavuklarının beslenmesinde hem %16 hem de %18 HP içeren rasyonlarla birlikte %0.72 TSAA seviyesinin kullanılması gerektiği önerilmiştir.

Heo ve ark. (2023)'ün yaptıkları 2 aşamalı çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış protein seviyelerinin (%18 HP, %16 HP, %14 HP, %12 HP) 13-18 haftalık yarkalarda canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı ve ortalama yem tüketimi ile serum parametrelerinden kolesterol, toplam protein ve ürik asit konsantrasyonlarını etkilemediğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte villus yüksekliği ve kript derinliğinin protein seviyeleri düştükçe arttığını, villus yüksekliği/kript derinliği oranının etkilenmediğini bildirmişlerdir. Azalan protein seviyelerinin ileum KM sindirimi ve tibia ham külü lineer

olarak arttırdığını bildirmişlerdir. Çalışmalarının ikinci aşamasında ise 19-32 haftalık yumurta tavuğu kullanmışlar ve farklı seviyelerde azaltılmış protein seviyelerinin (%19 HP, %17 HP, %15 HP, %13 HP) lineer olarak tibia ham külü azaltırken KM sindirimini ve HP sindirimini arttırdığını bildirmişlerdir. Azot atılımı hem yarkalarda hem de yumurta tavuklarında protein seviyesi azaldıkça düşmüştür. Azalan protein seviyelerinin yumurta tavuklarında yumurta verimini de etkilemediğini ancak yumurta ağırlığını azalttığını, Haugh birimini ise arttırdığını bildirmişlerdir. Rasyondaki düşük HP seviyelerinin büyüme performansını, organ ağırlıklarını ve tibia özelliklerini etkilemediği, ancak yarkalarda bağırsak histomorfolojisini bozduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, rasyon HP seviyelerinin yumurtaya başlangıç dönemlerinde yumurta tavuklarında %50 yumurta verimine ulaşmada önemli bir etkisi olmamıştır. Yarkalarda ve yumurta tavuklarında rasyon HP seviyeleri düştükçe N atılımı doğrusal olarak düşmüştür, bu da N alımında azalma ile ilişkilendirilmiştir. Kuru madde ve eter özütünün sindirilebilirliği yarkalarda ve yumurta tavuklarında rasyon HP seviyelerinin düşmesiyle doğrusal olarak artmıştır. Düşük HP'li rasyonların yumurta tavuklarında yumurta ağırlığını düşürdüğü tespit edilmiş ancak, Haugh birimini arttırdığını bildirmişlerdir.

Liu ve ark. (2024c), 38 haftalık 360 adet yumurta tavuğunda uyguladıkları çalışmada rasyonda düşük protein seviyelerinin (%16.30 HP, %15.63 HP, %14.41 HP, %13.85 HP) yumurta verimi ve serum biyokimyasal parametrelerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada %15.63 HP rasyonla beslenen grubun %13.85 HP rasyonla beslenen gruba kıyasla deneme sonu canlı ağırlığı, canlı ağırlık kazancını, yumurta verimini, yumurta kitlesini ve yem tüketimini arttırdığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte yumurta ağırlığı, %13.85 HP ile beslenen grupta %14.41 HP ile beslenen gruba göre artarken, yumurta kabuk kalınlığının %15.63 HP ile beslenen grupta %14.41 HP ile beslenen gruba göre arttığını, kabuk kırılma direncinin de %15.63 HP'li grupta %16.30 HP seviyeli gruba göre arttırdığını bildirmişlerdir. Çalışmada düşük HP seviyeleri Haugh birimi ve yumurta sarı rengini etkilememiştir. %16.30 HP rasyonla beslenen grupta serum ürik asit değerlerinin %13.85 HP'li gruba göre arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, bulgular tavukların üretim performansının ve üreme yolu morfolojisinin %15.63'lük bir protein seviyesinde arttığını göstermiştir. Ayrıca, %16.30 HP grubuyla karşılaştırıldığında, %13.85 ve %15.63 gruplarında HP kullanım oranları artmıştır. %15.63 proteinli rasyonla beslenen tavuklardaki yaygın mikrobiyota, konak sağlığı ve metabolizmasıyla önemli bir korelasyon sergilemiş ve protein kullanım verimliliğini

belirgin şekilde arttırmıştır. Sonuç olarak, %15.63 HP içeren rasyon grubunun yumurta tavukları için en faydalı grup olduğu bildirilmiştir.

Du ve ark. (2024), yumurta tavuklarına yüksek enerjili ama düşük proteinli rasyon kullandıkları çalışmalarında (Kontrol rasyonu: %15.58 HP- 2678.99 kcal/kg; Düşük protein yüksek enerjili rasyon: %12 HP-3100 kcal/kg) serum parametrelerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında %12 HP'li rasyonun kontrol grubuna göre yumurta tavuklarının serum kolesterol değerlerini arttırdığını bildirmişlerdir.

Panda ve ark. (2024), 32 haftalık yaşta yumurta tavuklarına lizin ve metiyonin sabit tutularak protein seviyeleri %14 HP, %15 HP, %16 HP ve %17 HP içeriğe sahip rasyonun yumurta tavuklarındaki performans, yumurta kalitesi ve serum biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneme 12 hafta (32-44 hafta) boyunca yürütülmüş olup, %14 HP grubundaki yumurta tavuklarının canlı ağırlıklarının %17 HP'li gruba göre 24,28 g azaldığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte yumurta tavuklarının canlı ağırlık artışı, rasyonun HP içeriğinin %15'ten %17'ye çıkarılmasıyla lineer şekilde arttığı tespit edilmiş, yumurta üretimi, yumurta kitlesi ve yemden yararlanma oranı, rasyondaki HP içeriğinin %14'ten %15'e çıkarılmasıyla önemli ölçüde iyileştiğini bildirmişlerdir. Yumurta ağırlığı ve yumurta kalite parametreleri rasyonun HP içeriğinden etkilenmemiştir. Yumurta tavuklarının serumundaki total protein konsantrasyonu, diğer muamelelere kıyasla %14 HP içeren grupta daha düşük bulunmuştur. Serum protein ve Ca konsantrasyonları, HP içeriğinin %14'ten %16'ya çıkarılmasıyla önemli ölçüde arttırdığını bildirmişler, rasyonun HP içeriğinin %16'ya çıkarılması ise yumurta tavuklarının serum ürik asit düzeylerini önemli ölçüde arttırmıştır.

Walker ve ark. (2024), 95 haftalık kahverengi yumurta tavuğunun buğday bazlı rasyonlarına %0.1 seviyesinde fitaz ve ksilanaz içeren enzim kompleksi ilavesinin tavuklarda performans, ileal P sindirimi ve dışkıdaki P miktarına etkisini incelemişlerdir. Kontrol grubunun dışkısında tespit edilen fosfor miktarının, enzim takviyesi yapılan grupta tespit edilen miktardan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Hem P birikimi hem de ileal P sindirilebilirliği, enzim takviyesi yapılan tavuklarda önemli ölçüde daha yüksek bulunurken, performans parametrelerinin (yumurta verimi, yem tüketimi, ortalama canlı ağırlık, YYO) etkilenmediğini bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda enzim takviyeli

grubun P birikimi ve ileal P sindirilebilirliği ile brüt enerjiyi iyileştirebileceğini bildirmişlerdir.

Tanimowo ve Longe (2024), enzim türünün yumurta tavuğu performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 43 haftalık 480 adet ISA Brown tavuğu, mısır, yer fıstığı küspesi ve soya küspesi temelli bir rasyonla 6 hafta boyunca beslenmiştir. Çalışmada yumurta tavukları 2.650 kcal/kg metabolik enerji, %18.5 HP, %0.94 lizin ve %0.46 metiyonin içeren, enzimli gruplara göre %3.5 daha yüksek besin yoğunluğuna sahip bir kontrol rasyonuyla beslenmiştir. Denemede kullanılan enzimler üretici talimatlarına uygun şekilde; Nutrase Xyla (endo-ksilanaz, 100 g/ton), Natuzyme (multienzim, 350 g/ton) ve Biozyme (multienzim, 350 g/ton) olarak uygulanmıştır. Araştırmacılar enzim ilavesinin, yumurta ağırlığı, yem tüketimi, yemden yararlanma oranı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki göstermediğini bildirmiş, yumurta verimi ve yumurta kitlesi, özellikle multienzim kullanılan gruplarda önemli düzeyde artış göstermiştir. Öte yandan, Biozyme grubunda yemden yararlanma oranı kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, Natuzyme ve Biozyme gruplarında yumurta büyüklüğünü kontrol grubuna kıyasla daha yüksek tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, enzim takviyesi yumurta üretim performansını ve yumurta büyüklüğünü arttırmakta olup, bu etkinin özellikle multienzim uygulamalarında daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir.

Cufadar ve ark. (2024), yumurtlayan tavukların performansı, yumurta kalitesi ve bağırsak sağlığı üzerindeki farklı seviyelerde (500, 750, 1000 FTU/kg) fitazın etkilerini incelemişlerdir. Çalışma %0.14 DCP içeren negatif kontrol rasyonu, %0.35 DCP içeren pozitif kontrol rasyonu ve bunun yanında pozitif kontroldeki DCP yerine üç farklı fitaz seviyesinin (500, 750, 1000 FTU/kg) ilave edildiği rasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Negatif kontrol ile beslenen tavukların yumurta verimi, yem tüketimi ve yemden yararlanma oranı olumsuz etkilenirken, fitaz ilaveli rasyonla beslenen tavukların yem tüketimi ile yumurta verimleri pozitif kontrol grubuyla benzer performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Tavuklarda yemden yararlanma oranının fitaz ilaveli gruplarda pozitif kontrol grubuna göre önemli seviyede düştüğü bildirilmiştir. Fitaz ilavesi hasarlı yumurtaları, kirli yumurtaları, kabuk kırılma direnci ve kabuk kalınlığını etkilememiştir. Çalışmada fitaz ilavesi (500, 750, 1000 FTU/kg), bağırsak morfolojisini iyileştirerek villus yüzey alanını sırasıyla %15, %36 ve %40 oranında arttırmış olurken laktobasillus

sayısı da buna bağılı olarak artmıştır. Ayrıca, fitaz ilavesi SKYA konsantrasyonlarını da önemli ölçüde arttırmıştır. Buna karşılık, muamele rasyonundan sekal koliform ve toplam aerob bakteri sayısı etkilenmemiştir. Sonuç olarak, fitaz ilavesi, yumurta tavuğu rasyonlarında performans parametrelerini iyileştirmenin yanı sıra bağırsak histomorfolojisini ve mikroflorayı geliştirmekte ve SKYA konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir.

Huang ve ark. (2024a), rasyona multienzimlerin (alkali proteaz, ksilanaz, glukanaaz, β -mannanaz, selülaaz, asidik proteaz, glikoamilaz ve α -galaktozidaz) ilavesinin yumurtlayan tavuklarda yumurta kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 65 haftalık 384 Jingfen No.6 tavuk, 0, 150, 300 ve 600 mg/kg⁻¹ multienzim içeren 4 rasyonla 8 hafta boyunca besledikleri çalışmalarında 600 mg/kg⁻¹ multienzim ilavesinin yumurta akı yüksekliği ve Haugh birimini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiş olurken rasyona enzim ilavesinin yumurta ağırlığı ve kabuk kırılma direncini etkilemediğini tespit etmişlerdir.

Kayan ve ark. (2025), 47 haftalık 576 adet yumurta tavuğu rasyonuna fitaz ve ksilanaz ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta verimi, yumurta kalitesi ve P kullanımı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma 12 hafta süreyle yürütülmüş ve dört farklı muamele rasyonundan oluşmuştur: T1: kontrol rasyonu, T2: enerji ve P içeriği azaltılmış negatif kontrol rasyonu, T3: T2 rasyonuna 50 g/ton fitaz ve 100 g/ton ksilanaz ilaveli rasyon, T4:T2 rasyonuna fitaz+NSPaz enzim karışımı ilave edilen rasyon. Çalışmada muamele rasyonları tavukların başlangıç canlı ağırlık, yem tüketimi, yumurta verimi, yumurta ağırlığı ve yumurta kitlesi, Haugh birimi, kabuk oranı ve kabuk kalınlığını etkilemediği bildirilmiş olurken, deneme sonu canlı ağırlık, canlı ağırlık değişimi ve yemden yararlanma oranı muamelelerden etkilenmiştir. Ancak enzim takviyesi yapılan gruplarda (T3 ve T4), kontrol grubuna kıyasla kabuk kırılma direncinin önemli seviyede arttığını ve sarı renginin azaldığını bildirmişlerdir. Ak yüksekliği ve Haugh birimi parametreleri bakımından gruplar arasında istatistiksel bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, P'nin tutulma süresi gibi parametreler de muamelelerden etkilenmemiştir. Sonuç olarak, yumurta tavuğu rasyonlarına fitaz ve ksilanaz ilavesinin performansı olumsuz etkilemeden kabuk kalitesini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Hayvan materyali

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Prof. Dr. Orhan DÜZGÜNEŞ Hayvancılık Araştırma ve Uygulama Çiftliğindeki ısıtıcılar ve havalandırma fanları ile sıcaklığın 18-21 °C, nemin ise %50-60 arasında sabit tutulduğu tam kontrollü bir yumurta tavuğu kümesinde gerçekleştirilmiştir. Batarya tipi kafeslerde yürütülen çalışmada, her biri 55x50x40 cm ebatlarında olan kafes gözleri birer tekerrür olarak kabul edilmiştir. Araştırmada, 30 haftalık yaşta 144 adet yumurta tavuğu (Super Nick) kullanılmıştır. Araştırma 28 günlük 3 periyot boyunca (12 hafta) yürütülmüş ve toplam 84 gün sürmüştür.



Şekil 3.1. Deneme kafesinin görünümü

3.1.2. Yem materyali

Araştırmada kullanılan hammaddeler özel bir yem fabrikasından temin edilmiş, rasyonlar ise Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Orhan DÜZGÜNEŞ Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde bulunan yem hazırlama ünitesinde hazırlanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme gruplarının oluşturulması ve deneme rasyonlarının hazırlanması

Araştırma; tesadüf parselleri deneme planında 6 muamele grubunda, 8 tekerrürlü olarak toplam 48 alt grupta yürütülmüştür. Her bir alt gruba 3 yumurta tavuğu kura usulüyle rastgele dağıtılmıştır. Araştırma boyunca hayvanlara 16 saat aydınlatma 8 saat karanlık programı uygulanmıştır.

Denemede toplam 144 adet 30 haftalık yaşta beyaz Super Nick yumurta tavuğu kullanılmıştır. Araştırma 6 farklı muamele grubunda 8 tekerrürlü olarak, her birinde 3 tavuk bulunan toplam 48 alt grupta yürütülmüştür. Hayvanlar alt gruplara tesadüfi olarak dağıtılmıştır. Hayvanların yemlenmesi için 6 farklı rasyon hazırlanmış ve 6 farklı muamele rasyonu ile 84 gün süreyle beslenmişlerdir. Kontrol rasyonları Super Nick hattı için önerilen besin madde ihtiyaçlarına göre 105 g/gün yem tüketimi baz alınarak hazırlanmıştır (H&N International, 2020).

Kontrol rasyonu (K) ve enzim içeren kontrol rasyonu (KE) katalog önerisi olan %0.77 seviyesinde sindirilebilir lisin ve %16.8 HP içerecek şekilde hazırlanmıştır. Diğer 4 rasyon ise sırasıyla, %0.70 sindirilebilir lisin ve %15.8 HP içeren enzimsiz (DP1) ve enzimli (DP1E) olan iki rasyon ve %0.65 sindirilebilir lisin ve %14.8 HP içeren enzimsiz (DP2) ve enzimli (DP2E) diğer iki rasyondan oluşmaktadır. Tüm rasyonların enerji (kcal ME/kg), Ca ve KP seviyeleri benzer olacak şekilde formüle edilmiştir. Sadece HP ve sindirilebilir AA seviyeleri farklılık göstermektedir. Enzim içeren üç rasyon; *Trichoderma resei* (CBS 126897) türevli 1000 FTU/kg fitaz, *Trichoderma resei* (CBS 140027) türevli 16.000 BXU/kg NSPaz (endo 1-4 β -ksilanaz) ve 125 mg/kg proteaz (Jefo Protease®) enzimlerinin karışımlarını içerecek şekilde formüle edilmiştir. Enzimli rasyonlar hazırlanırken enerji (125 kcal ME/kg), Ca ve kullanılabilir P (% 0,2 KP) enzimin besin matrisi değerleri dikkate alınarak formüle edilmiştir (Çizelge 3.4). Rasyonların sindirilebilir lisin seviyeleri azaltılırken ilgili hat için önerilen ideal AA profili oranına sadık kalınarak diğer AA seviyeleri azaltılmıştır (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2). Deneme süresince tavuklar 105 g/tavuk/gün olacak şekilde yemlenmiş ve su ad-libitum olarak sağlanmıştır. Deneme boyunca aydınlatma programı, günde 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneme bitiminden 3 gün önce

ileal besin madde sindirilebilirliğinin tespiti için indikatör olarak tüm rasyonlara %0.5 seviyesinde titanyum dioksit (TiO₂) eklenmiştir.

Çizelge 3.1. Super Nick hattı yumurta tavuğunun kılavuz bilgilerine göre ideal amino asit profili (Lisine göre)

İdeal amino asit profili	Oran (%)
Lisin	100
Metiyonin	50
Metiyonin+Sistein	90
Treonin	70
Triptofan	22
İzölösın	80
Valin	88
Arjinin	104

Kaynak: H&N International (2020)

Çizelge 3.2. Deneme rasyonunun Super Nick hattı kılavuz bilgilerine göre hesaplanan ideal amino asit profili (Sindirilebilir %Lisine göre)

İdeal amino asit profili	Oran	K	DP1	DP2
Lisin	100	0.77	0.70	0.65
Metiyonin	50	0.39	0.35	0.33
Metiyonin + Sistein	90	0.69	0.63	0.59
Treonin	70	0.54	0.49	0.46
Triptofan	22	0.17	0.15	0.14
İzölösın	80	0.62	0.56	0.52
Valin	88	0.68	0.62	0.57
Arjinin	104	0.80	0.73	0.68

Kaynak: H&N International (2020)

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan muamele rasyonlarının grupları ve kodları

Gruplar	Kodlar	Muamele Rasyonları
1	K	%0.77 sindirilebilir lisin içeren kontrol rasyonu (%16.8 HP)
2	KE	%0.77 sindirilebilir lisin içeren enzimli rasyon (%16.8 HP)
3	DP1	%0.70 sindirilebilir lisin içeren rasyon (%15.8 HP)
4	DP1E	%0.70 sindirilebilir lisin içeren enzimli rasyon (%15.8 HP)
5	DP2	%0.65 sindirilebilir lisin içeren rasyon (%14.8 HP)
6	DP2E	%0.65 sindirilebilir lisin içeren enzimli rasyon (%14.8 HP)

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan muamele rasyonlarının hammadde ve besin maddesi kompozisyonları (%)

	K	KE	DP1	DP1E	DP2	DP2E
Mısır	53.10	53.77	55.00	58.73	58.19	60.07
SFK (% 46 HP)	19.62	17.47	17.81	16.39	14.25	12.26
ATK (%34 HP)	10.00	11.50	8.57	9.64	10.00	11.50
Razmol (%14.3 HP)	2.42	5.00	4.19	4.14	3.50	5.00
Soya ham yağı (8800 kcal/kg ME)	3.65	2.00	3.30	1.02	2.92	0.99
Mermer Tozu	8.73	8.91	8.74	8.93	8.73	8.92
DCP	1.51	0.36	1.53	0.31	1.55	0.33
Tuz	0.22	0.21	0.22	0.21	0.21	0.21
DL-Metiyonin	0.21	0.20	0.17	0.16	0.14	0.13
Soda	0.22	0.20	0.21	0.13	0.22	0.23
L-Lisin	0.12	0.14	0.09	0.11	0.11	0.13
Treonin	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
Premiks*	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Kolin Klorid	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
Multi Enzim	----	0.05	----	0.05	----	0.05
TOPLAM	100	100	100	100	100	100
Ham Protein	16.8 (16.72)**	16.8 (16.90)	15.8 (15.68)	15.8 (15.75)	14.8 (14.71)	14.8 (14.69)
Metabolik Enerji	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Kalsiyum	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73
Sodyum	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.21
Potasyum	0.76	0.76	0.73	0.72	0.68	0.67
Kullanılabilir fosfor	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Total fosfor	0.64 (0.650)**	0.65 (0.449)	0.64 (0.646)	0.64 (0.452)	0.64 (0.649)	0.64 (0.445)
Klor	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Rasyon aminoasit seviyeleri (Sindirilebilir aa olarak %)						
Lisin	0.77	0.77	0.70	0.70	0.65	0.65
Metiyonin	0.39	0.39	0.35	0.35	0.33	0.33
Met+Sistin	0.69	0.69	0.63	0.63	0.59	0.59
Arjinin	0.80	0.80	0.73	0.73	0.68	0.68
Treonin	0.54	0.54	0.49	0.49	0.46	0.46
İzolösin	0.62	0.62	0.56	0.56	0.52	0.52
Valin	0.68	0.68	0.62	0.62	0.57	0.57
Triptofan	0.17	0.17	0.15	0.15	0.14	0.14

*Premiks (rasyonun 1kg' ında): vitamin A, 10.000 IU; vitamin D3, 2.500 IU; vitamin E, 15-30 mg; vitamin K₃, 3 mg; vitamin B₁, 1 mg; vitamin B₂, 4 mg; vitamin B₆, 3 mg; vitamin B₁₂, 15 mcg; pantotenik asit, 10 mg; nikotinik asit, 30 mg; folik asit, 0.5; biyotin, 50 mcg; kolin, 400 mg; mangan, 100 mg; çinko, 60 mg; demir, 25 mg; bakır, 5 mg; iyodin, 0.5 mg, selenyum, 0.25 mg sağlar.

** Parantez içindekiler analiz sonucu değerleridir.

3.2.2. Performans değerlerinin tespiti

Tavukların canlı ağırlıkları (CA) araştırmanın başında ve sonunda, her bir kafes gözündeki tavukların grup şeklinde 1 g hassasiyetli elektronik teraziyle tartılmasıyla tespit edilmiş, her bir gruba ait canlı ağırlık değişimi (CAD), denemenin sonundaki canlı ağırlıktan deneme başındaki canlı ağırlığın çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Denemede hiçbir hayvan ölmemiştir.

Tavukların yumurta verimleri (YV) günlük olarak kaydedilmiş ve % YV; *Yumurta verimi (%) = [(Periyottaki toplam yumurta sayısı (adet)/Gruptaki hayvan sayısı (adet)/Periyottaki gün sayısı)] × 100* formülü ile hesaplanmıştır.

Yumurta ağırlıkları (YA); 28 günlük her periyodun son iki günü her alt gruptan toplanan bütün yumurtalar 0.1 g hassasiyetindeki dijital terazide tartılıp ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Yumurta kitlesi (YK); $YK = (\%YV \times YA) / 100$ formülüyle her bir periyot için tavuk başına %YV, o periyottaki ortalama YA ile çarpıldıktan sonra 100'e bölünerek hesaplanmıştır (g/tavuk/gün).

Deneme süresince bütün hayvanlara kontrollü yemleme (105 g/gün/hayvan) uygulanmıştır. Denemede yem tüketiminin (YT) belirlenmesi amacıyla deneme süresince verilen yem miktarı kaydedilmiştir. Her 28 günlük periyot sonunda yemliklerde kalan yem miktarı tartılarak toplam YT'den çıkarılmıştır. Bu sayede, her bir tavuğun günlük YT'si g/tavuk/gün olarak belirlenmiştir.

Yemden yararlanma oranı (YYO), her bir periyot için günlük tavuk başına ortalama YT ve o periyoda ait YK'ye bölünerek (g yem/g yumurta kitlesi) hesaplanmıştır

3.2.3. Yumurta kalite özelliklerinin belirlenmesi

Çalışma süresince her 28'er günlük periyodun son 2 gününde her alt gruptan toplanan 3'er yumurta olmak üzere yumurta kalite parametrelerinden kabuk kırılma direnci, zarlı kabuk ağırlığı ve zarlı kabuk kalınlığı, ak indeksi, sarı indeksi, Haugh birimi ve sarı rengi tespit edilmiştir.

3.2.3.1. Yumurta dış kalite özelliklerinin tespiti

Çalışma süresince tüm alt gruplardan toplanan yumurtalarda kırık, çatlak, yumuşak kabuklu, kabuksuz ve kirli yumurtalar tespit edilmiş ve günlük olarak kaydedildikten sonra **hasarlı yumurta oranı (HYO)** ilgili periyottaki hasarlı yumurta sayısının toplam yumurta sayısına, **kirli yumurta oranı (KYO)** ise ilgili periyottaki kirli yumurta sayısının toplam yumurta sayısına bölünerek yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Yumurta kabuğu kırılma direnci (KKD) yumurta kabuğu kırılma direnci ölçme cihazı (Ertest, Adcon-1, Türkiye) ile Newton (N) olarak tespit edilmiştir. Zarlı **yumurta kabuk ağırlığı (KA)**, yumurtalar kırılıp muhtevası ayrıldıktan sonra iyice yıkanıp, oda sıcaklığında 3 gün süreyle kurutularak hassas dijital teraziyle tartılarak g olarak belirlenmiştir.

Yumurta kabuk oranı (KO) yumurta kabuk ağırlığının yumurta ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır (%). **Yumurta kabuk kalınlığı (KK)** mikrometre (μm) cinsinden kırılan yumurta kabuklarının dijital mikrometre ile küt, sivri ve ekvator bölgelerinden yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

3.2.3.2. Yumurta iç kalite özelliklerinin tespiti

Yumurta kabuk kalite parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yumurtalarda yine yumurta iç kalite özellikleri belirlenmiştir. Her bir alt gruba ait kabuk kırılma direnci tespit edilen yumurtalar cam sehpa üzerine kırıldıktan sonra bu özellikler tespit edilmiştir. Ak yüksekliği, şalaz bağından uzak ve koyu akın sivri kısmının ortasından 0.01 mm hassasiyetinde dijital yükseklik mihengiri ile ölçülmüştür. Ak genişliği, koyu akın en

geniş olduğu kısımdaki mesafe 0.01 mm hassasiyetinde dijital bir kumpas yardımı ile ölçüldükten sonra, ak uzunluğu ise koyu akın cam sehpa oluşturduğu şekil doğrultusunda kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Yumurta sarısının yüksekliği dijital yükseklik mihengiri ile, sarı çapı ise dijital kumpas (Mutitoyo, Japan) ile tespit edilmiştir. Ak indeksi ve sarı indeksi aşağıdaki formüller yardımıyla;

Ak indeksi %, $Ak\ indeks i = (ak\ yüksekliği / (ak\ uzunluğu + ak\ çapı)) \times 100$;

Sarı indeksi %, $Sarı\ indeks i = (sarı\ yüksekliği / sarı\ çapı) \times 100$;

Haugh birimi ise, ak yüksekliği ve yumurta ağırlığı kullanılarak, Haugh (1937) tarafından geliştirilen;

Haugh birimi %, $Haugh\ birimi = 100 \times Log (ak\ yüksekliği + 7.57 - 1.7 \times yumurta\ ağırlığı^{0.37})$ formülü yardımıyla hesaplanmıştır.

Yumurta sarısı rengi kolorimetre cihazı (Konica Minolta CR-200) ile CIELab (L^* , a^* , b^*) değerleri olarak ölçülmüştür. L^* , a^* ve b^* renk değerlerine göre;

L^* : Koyuluk/açıklık, $L^*=0$ siyahı ve $L^*=100$ beyazı belirtmektedir.

a^* : Kırmızı/yeşil, $+a^*$ kırmızıyı, $-a^*$ ise yeşili belirtmektedir.

b^* : Sarı/mavi, $+b^*$ sarıyı, $-b^*$ ise maviyi belirtmektedir.

Yumurta iç kalite analizleri yumurtalar toplandıktan sonraki 12 saat içerisinde tamamlanmıştır.

3.2.4. Serum parametrelerinin tespiti

Deneme sonunda serum içeriğini belirlemek amacıyla her alt gruptan kesilen bir adet tavuktan boyun damarı kesilerek dikkatli bir şekilde yaklaşık 5 mL kan örneği alınmıştır. Kan tüpüne alınan kan örnekleri 4000 devir/dakikada 10 dakika boyunca santrifüj edilerek serumları çıkarılmıştır. Serumlar pipet yardımıyla serum tüplerine aktarılmıştır. Bu serumlarda kolesterol, ürik asit, toplam protein, kreatinin, billirubin biyokimyasal konsantrasyonları oto analizör (Biotechnica BT3000 Plus Chemistry Analyzer, Italy) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

3.2.5. Tibia parametrelerinin tespiti

Deneme sonunda her alt gruptan kesilen 1 adet tavuğun sol tibiaları biyomekanik özelliklerin tespiti için alınıp etleri temizlendikten sonra analiz yapılncaya kadar derin dondurucuda -20°C'de saklanmıştır. Analizden bir gün önce kemikler derin dondurucudan çıkarılıp +4°C'deki buzdolabında çözündürülmüştür. Sol tibia kemiklerinin biyomekanik özellikleri (kesme kuvveti, kesme gerilmesi, kesme enerjisi, kemik çapı, kemik et kalınlığı, kemik kesit alanı) yaş olarak (kurutulmadan) tespit edilmiştir. Kemik çapı, kemik gövdesinin orta noktasında, kemiğin döndürülmesiyle en dar ve en geniş noktadaki çapların dijital kumpas ile ölçülüp ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Kemik duvar kalınlığı, kemikler özel bir kalıpta kırıldıktan sonra, kırılan veya kesilen yüzeylerin temizlenmesiyle ölçülmüştür. Kesit alanı, $(\pi \times (\text{kemik yarıçapı})^2 - (\text{kemik boşluk yarıçapı})^2)$ formülüyle hesaplanmıştır. Tibiaların kesme kuvveti ve kesme enerjisi, S.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Merkezi'ndeki ELİSTA çekme deney cihazında, ANSI/ASAE S459 DEC 01 standardına (ASAE, 2003) uygun özel bir kalıp kullanılarak ölçülmüştür. Kesme kuvveti-deformasyon diyagramları ve verileri elde edildikten sonra, bu veriler kullanılarak kemiklerin kesme kuvveti ve kesme enerjileri hesaplanmıştır. Çekme deney cihazında yükleme hızı dakikada 5 mm olarak ayarlanmıştır (Wilson ve Ruszler, 1996). Kesme kuvveti uygulaması, kemiğin orta noktasında 15 mm'lik bir bölgeye yapılmıştır. Kemiklerin kesme enerjileri, elde edilen kesme kuvveti-deformasyon diyagram verileri üzerinden hesaplanmıştır.

$$\text{Kemik boşluk (iç) çapı (mm)} = \text{Kemik çapı (mm)} - (\text{Kemik duvar kalınlığı (mm)} \times 2)$$

Kesme gerilmesi (kemik stresi, N/mm²) = Kesme kuvveti / Kesit alanı, şeklinde hesaplanmıştır.

Deneme sonunda her alt gruptan kesilen 1 adet tavuğun saklanan sağ tibiaların ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla, kurutma dolabında 105°C'de 12 saat kurutulmuş ve hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ham kül düzeylerinin belirlenmesinde ise KM tayini yapılan tibialar tartılarak porselen krozelere konulmuş, kül fırınında 550°C'de 8 saat süreyle yakma işlemi uygulandıktan sonra hassas terazide

tartılmıştır. Krozedeki kül miktarı yakma işlemi öncesi tartılan tibia ağırlıklarına oranlanarak ham kül düzeyleri (%) hesaplanmıştır (AOAC, 2006).

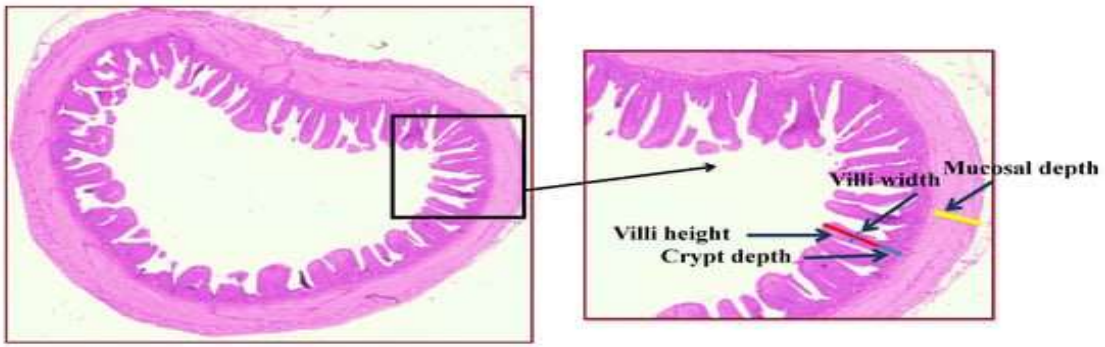
3.2.6. Sindirim parametrelerinin tespiti

Çalışmada, dışkı HP içeriği, jejunum histomorfolojisi, sekum kısa zincirli yağ asitleri, sekum mikroorganizma popülasyonu ve ileum besin madde sindirimi parametrelerinin tespiti için, deneme bitiminden 3 gün önce deneme rasyonlarına %0.5 titanyum dioksit eklenmiştir (Cufadar ve ark., 2024). Deneme sonunda tavuklar servikal dislokasyonla insancıl bir şekilde ötenazi edilmiştir. Terminal ileumdan (Meckel's divertikulumun ortasında ve ileoçekal bileşkenin 5 cm önünde yer alır) digesta örnekleri almak için sindirim kanalları hemen çıkarılmıştır. Örnekler daha sonraki yapılacak analizlere kadar dondurulmuştur. Meckel's divertikulumun 8 cm proksimalindeki bir noktadan yaklaşık 1 cm mukozal segment çıkarılarak jejunumdan homojen kıvamda doku örnekleri elde edilmiştir. Örnekler daha sonra yapışık bağırsak içeriğini uzaklaştırmak için serum fizyolojik ile durulanmış ve son olarak %10 nötral tamponlu formalin solüsyonunda 72 saat boyunca fikse edilmiştir (Sakamoto ve ark., 2000; Xu ve ark., 2003; Ceylan ve ark., 2023; 2024). Doku örnekleri histomorfolojik analize tabi tutulmuştur. Sekum kısa zincirli yağ asitlerinin (SKYA) ve seçilmiş mikrobiyal popülasyonların analizi ve sayımı için, yaklaşık 2 g sekal digesta steril tüplere nazıkçe konulmuştur. Örnekler hemen kuru buz üzerinde dondurulmuş ve -20°C'de saklanmıştır.

3.2.6.1. Jejunum histomorfolojisinin tespiti

Jejunumun proksimal duodenuma yakın segmentinin orta noktasından 5 cm uzunluğunda doku parçaları alınmıştır. Bu segmentler fizyolojik tuzlu su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında %10 formalin içerisinde tamponlanmıştır. Standart histolojik işlemlerin tamamlanmasının ardından, örnekler 72 saatlik bir süre sonunda parafin bloklara gömülmüştür. Hazırlık ve fiksasyon, Xu ve ark. (2003) tarafından önerilen protokole göre gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, dereceli etanol solüsyonlarında seri dehidratasyon, ksilen ile temizleme ve parafine gömme işlemlerini içermektedir. Örnekler bir mikrotom kullanılarak kesilmiş ve cam slaytlara yerleştirilmiştir. Parafin bloklardan 4 µm kalınlığında kesitler mikrotom kullanılarak alınmıştır. Kesitler lam üzerine yerleştirilip hematoksilin ve eozin ile boyandıktan sonra ışık mikroskobu (Leica DM2500, Leica

Microsystems GmbH, Wetzlar, Almanya) ile incelenmiştir. Mikroskopa bağlı dijital mikroskop kamerası (Leica DFC450, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Almanya) yardımıyla görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler, ImageJ yazılımı (ImageJ, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, MD) kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde aşağıdaki histomorfometrik parametreler değerlendirilmiştir: Villus yüksekliği (VY), villus genişliği (VG), kript derinliği (KD), villus yüksekliği/kript derinliği oranı (VY:KD) ve villus yüzey alanı (VYA). Villus yüksekliği (VY), villusun tepe noktasından kript ile birleşim noktasına kadar olan mesafe olarak ölçülmüştür. Kript derinliği (KD) ise kriptin tabanından villus ile birleşim bölgesine kadar olan mesafe dikkate alınarak belirlenmiştir. *Villus yüzey alanı (VYA) = (2\pi) \times (VG/2) \times (VY) / 10^6* formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Sakamoto ve ark., 2000; Solis de Los Santos ve ark., 2005; Golzar Adabi ve ark., 2019).



Şekil 3.2. Jejunumun histomorfolojik kesiti, Kaynak: Kulshreshtha ve ark. (2020)
Villus yüksekliği (kırmızı çizgi), kript derinliği (mavi çizgi), villus genişliği (mavi çizgi).

3.2.6.2. Sekum kısa zincirli yağ asitlerinin (SKYA) tespiti

Çalışmada her alt gruptan 1 tavuğa ait sekum içeriği bazı kısa zincirli yağ asitleri üzerine etkisinin araştırılması amacıyla kullanılmıştır. Kesim işlemleri sonrası alınan sekum içerikleri, analizleri yapılmak üzere -20°C’ de saklanmıştır. Sekum içerikleri analiz öncesinde +4°C’ de çözündürülmüş ve bidistile su (iki kere damıtılmış) ile dilue (seyreltilmiş) edilmiştir. Apajalahti ve ark. (2019) tarafından bildirilen yöntemine uygun olarak, SKYA iç standart olarak pivalik asit kullanılarak gaz kromatografisi yöntemiyle analiz edilmiştir. İşlem, 1 g sekal dışkı örneğinin 1 mL saf su ile karıştırılmasıyla başlatılmıştır. Bu karışıma iç standart olarak kullanılan 20 mmol/L pivalik asit çözeltisinden 1 mL eklenmiştir. Ardından, karışıma 1 mL perklorik asit ilave edilmiştir

ve SKYA'lar, 5 dakikalık santrifüj işlemiyle ekstrakte edilmiştir. Elde edilen 500 mL'lik süpernatanta 50 mL 4 M KOH eklenerek perklorik asidin çökmesi sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra, çözeltiye doymuş oksalik asit ilave edilmiş ve karışım 4°C'de 60 dakika süreyle inkübe edilmiştir. Analiz öncesinde, örnekler $18.000 \times g$ 'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Gaz kromatografisi analizinde, sabit faz olarak 80/120 Carbopack B-DA/4% Carbowax 20 mol (Supelco, Bellefonte, PA) içeren cam kolon kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum, dedeksiyon için ise alev iyonizasyon dedektörü (FID) kullanılmıştır. Bu yöntemle asetik, propiyonik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asitlerin ölçümü yapılmıştır. Toplam kısa zincirli yağ asitleri; asetik, propiyonik, bütirik, izobütirik, izovalerik ve valerik asit konsantrasyonlarının toplamını ifade etmektedir. Dallı zincirli yağ asitleri (BCFA) ise izobütirik, izovalerik ve valerik asit konsantrasyonlarının toplamını göstermektedir (Zdunczyk ve ark., 2013).

3.2.6.3. Sekum mikroorganizma popülasyonunun tespiti

Sekal mikroflora analizi kapsamında, 1 g taze örnek 9 ml steril fizyolojik tuzlu su ile homojenize edilmiş ve elde edilen süspansiyon 10^8 'e kadar seri şekilde seyreltilmiştir. Koliform bakteriler, *Lactobacillus spp.* ve toplam aerob bakteri sayımları, sırasıyla 10^6 , 10^7 ve 10^8 seyreltmelerden 100 µL alınarak uygun selektif agar besiyerlerine ekim yapılmak suretiyle, üçlü tekrar halinde gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde sırasıyla MacConkey Agar, MRS Agar ve Plate Count Agar (Merck, Darmstadt, Almanya) kullanılmıştır. Sayım sonuçları, Sharifi ve ark. (2022) ve Cufadar ve ark. (2024) ile Ceylan ve ark. (2024) tarafından bildirilen yönteme uygun olarak hesaplanmış ve $\log_{10}$ koloni oluşturan birim cfu/g ileal digesta şeklinde ifade edilmiştir.

3.2.6.4. İleum besin madde sindirilebilirliğinin tespiti

İleal KM, HP ve P sindirimi ile birlikte titanyum konsantrasyonu ölçümleri, numunelerin 0.25 mm elekli değirmende öğütülmesiyle elde edilmiştir. Titanyumun ve ileal digesta içeriğinin konsantrasyonu, Short ve ark. (1996) tarafından bildirilen modifiye edilmiş bir protokole göre belirlenmiştir. Her bir numunenin 0.5 g'si, 580°C'de 12 saat süreyle yakmaya tabi tutulmuştur. Ardından, kül haline getirilmiş numuneler 10 ml sülfürik asit (7.4 M) ile titrasyona tabi tutulmuş, ardından tamamen çözülene kadar 200°C'de 2 saat süreyle kaynatılmış ve daha sonra soğumaya bırakılmıştır. 20 ml

%30'luk hidrojen peroksit içeren titrasyon çözeltilerinin hacmi, damıtık su ilavesiyle 100 ml'ye çıkarılmış ve oda sıcaklığında 48 saat bekletilmiştir. Absorbans değerleri, 410 nm dalga boyunda çalışan bir spektrofotometre (UV-1200, Shimadzu) kullanılarak ölçülmüş ve bu değerler çeşitli besin maddelerinin konsantrasyonlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Aynı zamanda, rasyonlarda ve ileal numunelerde KM, P ve HP ($N \times 6.25$, makro-Kjeldahl) konsantrasyonları (AOAC, 2006) tarafından belirtilen ilgili laboratuvar prosedürlerine göre analiz edilmiş ve aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır (Moita ve ark., 2021):

$$\text{Besin Madde Sindirilebilirliği (\%)} = 1 - [(TiO_2 \text{ yem} / TiO_2 \text{ digesta}) \times (\text{Besin maddesi digesta} / \text{Besin maddesi yem})] \times 100$$

3.2.6.5. Dışkı ham protein içeriğinin tespiti

Dışkı HP içeriğini belirlemek amacıyla çalışmanın 81. gününde hayvanların yemlerine titanyum dioksit karıştırılmıştır. Çalışmanın 81. ve 82. günlerinde her alt gruptaki tüm hayvanlardan 55x50x40 cm ebatlarındaki kafes gözlerinin alt kısmındaki bantlar üzerine serilen plastik naylon üzerinde mevcut olan titanyum dioksitli gübreler toplanarak yem ve tüy atıklarından arındırıldıktan sonra ağzı kapaklı plastik saklama kaplarına (Model Deltalab 125 ml D10380) konulmuş ve numuneler tartılmıştır. Toplanan bu numuneler analiz yapılincaya kadar derin dondurucuda (-20°C) bekletilmiştir. Dışkı örnekleri analiz öncesinde derin dondurucudan çıkarılarak, 105°C sıcaklıkta 24 saat süreyle etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numunelerde %N tayini Dumas metoduna göre yapılmıştır (TruSpec Series, LECO Corporation, USA). Bulunan %N değeri, proteinlerin ortalama N oranı dikkate alınarak 6.25 katsayısı ile çarpılmış ve böylece numunelerin %HP içeriği belirlenmiştir.

3.3. İstatistiksel Analiz

Araştırma, üç farklı AA seviyesi ile enzim içeren ve içermeyen altı farklı muamele rasyonunun oluşturduğu tesadüf parselleri deneme planında ve 8 tekerrürlü olarak denenmiştir. Elde edilen sonuçlar bu deneme planına göre analiz edilmiştir. Muamelelerin incelenen parametrelere etkilerinin önemli olup olmadığını tespit etmek için toplanan bütün verilere IBM SPSS Statistics 27 istatistik paket programı kullanılarak ANOVA

prosedürüne göre varyans analizi uygulanmış, muamele grupları arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiş ve önem düzeyi $P < 0.05$ olarak alınmıştır.

Denemenin istatistiki modeli aşağıdaki gibidir.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

Bu modelde;

Y_{ij} : i. muamele grubundaki j. tekerrür

μ : Genel ortalama

α_i : i. muamelenin etkisi

e_{ij} : Hata'dır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında performans parametrelerine etkilerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1. Performans Özellikleri

4.1.1. Canlı ağırlık (CA)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık üzerine etkileri Çizelge 4.1’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-1’de verilmiştir.

Buna göre, azaltılmış AA içeren yumurta tavukları rasyonlarına multienzim ilavesinin deneme başı canlı ağırlık (DBCA), 1. Periyot canlı ağırlık (CA1), 2. Periyot canlı ağırlık (CA2) ve 3. Periyot canlı ağırlık (CA3) üzerine etkileri istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Mevcut çalışmada DBCA ortalamaları 1457.96 g ile 1517.42 g arasında değişmiştir. Çalışmadaki DBCA ortalamaları rakamsal olarak DP1 seviyesinde en yüksek, DP1E seviyesinde ise en düşük bulunmuş olup, DBCA ortalamaları muamele gruplarında rasyonun kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Çalışmadaki CA1 değerleri 1397.08 g ile 1490.04 arasında değişmiş, kontrol grubuna göre en yüksek CA ortalaması 1490.04 g ile DP1 seviyesinde gözlenmiş en düşük ortalama DP2 seviyesinde tespit edilmiştir. Edinilen bulgulara göre rakamsal olarak KE ve DP1 seviyesinde kontrol grubuna göre canlı ağırlıkta artış gözlenmiş, DP1E, DP2 ve DP2E seviyeleri CA1’i düşürmüştür. Çalışmadaki CA2 ortalamaları incelendiğinde rakamsal olarak kontrol grubuna göre KE ve DP1 seviyeleri canlı ağırlık ortalamalarını arttırmış, DP1E, DP2 ve DP2E seviyeleri bu parametreyi azaltmıştır. Çalışmada CA2 değerleri 1435.00 g ile 1537.58 g arasında değişmiştir. Tavukların CA2 değerlerini rakamsal olarak kontrol grubuna göre en fazla arttıran 1537.58 g değeri ile DP1 seviyesi olmuş, en fazla azaltan 1435.00 g değeri ile DP2 seviyesinde gerçekleşmiştir. Çalışmada CA3 değerleri 1453.50 g ile 1520.50 g arasında değişim göstermiştir. CA3 ortalamaları rakamsal olarak KE ve DP1 seviyesi arttırmış, DP1E, DP2 ve DP2E seviyeleri azaltmıştır. Tavukların CA3 değerleri açısından rakamsal olarak en fazla artış DP1 seviyesinde, en fazla azalma ise DP2 seviyesinde tespit edilmiştir. Mevcut

çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesi CA değerlerini istatistiksel olarak etkilememiştir ($P>0.05$). Uygulanan varyans analizinde istatistiki açıdan önemsiz bulunması gruplar oluşturulurken hayvanların homojen olarak dağıtıldığını göstermiştir.

Çizelge 4.1. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Canlı Ağırlık (g/tavuk)			
	Deneme başı canlı ağırlık	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot
K	1457.96±29.64	1444.67±24.03	1484.00±27.63	1490.79±29.90
KE	1511.88±27.97	1475.13±17.74	1507.29±15.87	1513.71±18.78
DP1	1517.42±7.09	1490.04±18.41	1537.58±19.21	1520.50±20.58
DP1E	1464.63±32.05	1413.67±30.24	1470.67±24.65	1473.08±23.55
DP2	1479.13±30.98	1397.08±32.15	1435.00±32.43	1454.50±31.56
DP2E	1497.83±19.71	1431.50±18.09	1457.96±16.23	1459.00±15.20
P-Değeri	0.491	0.076	0.052	0.265

Literatürde, düşük proteinli rasyonlara enzim ilavesinin canlı ağırlık üzerindeki etkilerine dair benzer sonuçlar bildirilmiştir. Sohail ve ark. (2003), yumurta tavuklarında farklı HP seviyelerinin performans üzerine etkilerini değerlendirmiş ve düşük ve yüksek proteinli rasyonların hayvanların deneme sonu canlı ağırlıklarında önemli seviyede farklılığa sebep olmadığını bildirmişler ve araştırmacılar düşük proteinli rasyonlarla yüksek proteinli rasyonlarla benzer performansın yakalanmasını rasyonların AA'lar bakımından dengelenmiş olmasına bağlamışlardır. Benzer şekilde, Hassan ve ark. (2000) ve Yakout (2010), yumurtacı tavukların rasyonlarındaki farklı HP seviyeleriyle canlı ağırlık ortalamasında önemli bir fark olmadığını bildirmişlerdir ($P>0.05$). Meluzzi ve ark. (2001), Hy-Line Brown tavuklarda 40 haftalık yaştaki canlı ağırlığın, rasyonla sağlanan farklı HP seviyelerinden (170 g/kg^{-1} kontrol grubu, 150 ve 130 g/kg^{-1}) etkilenmediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, ticari yumurta tavuklarının (Babcock B-308), canlı ağırlık sonuçları, rasyonla sağlanan farklı HP seviyelerinden (%14, %16, %18 ve %20) etkilenmediği bildirilmiştir (Bunchasak ve ark., 2005; Junqueira ve ark., 2006). Buna karşılık, Bouyeh ve Gevorgian (2011), Hy-Line ırkı tavuklarda, rasyonla sağlanan protein konsantrasyonunun canlı ağırlık üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve en yüksek HP seviyesiyle (%14) beslenen tavukların, en düşük HP seviyesiyle (%13) beslenenlere kıyasla en yüksek canlı ağırlık değerine ulaştığını bildirmişlerdir. Geng ve ark. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada, düşük proteinli rasyonların canlı ağırlık üzerine

belirgin bir etkisi görülmemiştir. Yapılan diğer bir çalışmada, farklı sindirilebilir AA seviyelerindeki rasyonlara proteaz enzimi ilavesinin yumurta tavuklarının performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, proteaz ilavesinin canlı ağırlık, yumurta ağırlığı, yumurta verimi, yem tüketimi ve yemden yararlanma üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ve proteaz ilavesinin, rasyon AA seviyeleri dengeli olduğunda, performans parametreleri üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Taşkesen ve Ceylan, 2023). Huang ve ark. (2024a) tarafından yapılan bir çalışmada ise, multienzim (proteaz-ksilanaz-glukanaz- β -mannanaz-selülaz) karışımının yumurta tavuklarının canlı ağırlık parametreleri üzerinde önemli seviyede bir değişikliğe sebep olmadığı bildirilmiştir. Bu bulgular, mevcut çalışmadaki sonuçlarla tutarlıdır. Heo ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, HP seviyesi azaltılmış rasyonların yumurta tavuklarının performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve düşük proteinli rasyonların, eğer gerekli AA takviyeleri sağlanırsa, canlı ağırlık üzerinde olumsuz bir etkisinin olmayabileceği bildirilmiştir. Sonuç olarak, mevcut çalışma bulguları ile önceki çalışma sonuçlarına dayanarak, rasyonun AA miktar ve dengesi hayvanın ihtiyaçlarını sağlayabilecek şekilde hazırlandığında düşük proteinli ve yüksek proteinli rasyonlar arasında canlı ağırlık değerleri bakımından farklılık olmadığı veya diğer bir ifadeyle düşük proteinli rasyonlarla yaşanması muhtemel canlı ağırlık kayıplarının önüne geçilebileceği görülmüştür.

4.1.2. Canlı ağırlık değişimi (CAD)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık değişimi üzerine etkileri Çizelge 4.2’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2’ye göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot canlı ağırlık değişimi (CAD1), 2. Periyot canlı ağırlık değişimi (CAD2), 3. Periyot canlı ağırlık değişimi (CAD3) ve toplam canlı ağırlık değişimi (CADTOP) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli olmamıştır ($P>0.05$). Çalışmada CAD1 değerleri -13.29 g ile -82.04 değerleri arasında değişmiştir. Rakamsal olarak incelendiğinde kontrol grubuna göre muamele gruplarının CAD1’i azalttığı görülmüştür. Buna göre en yüksek canlı ağırlık değişimi -82.04 g değeri ile DP2 grubunda, en düşük canlı ağırlık değişimi -13.29 g değeri ile kontrol grubunda

bulunmuştur. Azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin CAD2 değerleri 26.46 g ile 57.00 değerleri arasında değişmiştir.

Rakamsal olarak muamele grupları içerisinde KE, DP2 ve DP2E grupları kontrol grubuna göre CAD2'yi azaltmış, DP1 ve DP2 grupları ise arttırmıştır. Çalışmada CAD2' de kontrol grubuna göre en fazla artış DP1E grubunda, en fazla düşüş ise DP2E grubunda olmuştur. Çalışmada CAD3 -17.08 g ile 19.50 g arasında değişmiştir. Rakamsal olarak CAD3 kontrol grubuna göre sadece DP2 grubunda (19.50 g) daha yüksek olmuş, diğer gruplarda ise azalmıştır. En fazla azalma -17.08 g ile DP1 grubunda gözlenmiştir. Çalışmada CADTOP, kontrol grubunda 32.83 g ile en yüksek bulunmuş, muamelenin DP2E grubunda -38.83 g değerinde ise en düşük bulunmuştur. Benzer şekilde, CAD3'te olduğu gibi bütün muameleler CADTOP'u kontrol grubuna göre düşürmüştür.

Çizelge 4.2. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık değişimi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Canlı Ağırlık Değişimi (g/tavuk)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Toplam
K	-13.29±9.39	39.33±8.14	6.79±6.92	32.83±17.92
KE	-36.75±14.02	32.17±7.54	6.42±10.15	1.83±26.27
DP1	-27.38±19.14	47.54±14.62	-17.08±11.93	3.08±21.90
DP1E	-50.96±20.17	57.00±12.32	2.42±8.41	8.46±27.19
DP2	-82.04±19.43	37.92±14.08	19.50±11.68	-24.63±20.92
DP2E	-66.33±15.51	26.46±10.71	1.04±9.40	-38.83±16.47
P-Değeri	0.060	0.495	0.230	0.275

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık değişimi üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz olsa da, özellikle ilk periyotta hayvanlarda rasyon HP ve AA seviyesinin azaltılmasına bağlı olarak canlı ağırlık kayıpları olmuştur. Bunun muhtemel sebebinin deneme başlangıcında hayvanlar pik verimde olduklarından ve deneme başlangıcından itibaren kontrollü yemleme programına geçilmesiyle yem tüketiminde meydana gelen dalgalanmaya bağlı olarak geliştiği şeklinde yorumlanabilir. Sonraki dönemlerde hayvanların kontrollü yem tüketmeye adapte olmalarından dolayı canlı ağırlık kayıplarının yaşanmadığı görülmektedir.

Literatürde, bu konuda yapılan benzer çalışmalar, bu sonucu desteklemektedir. Sun ve Kim (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, multienzim (NSP ağırlıklı) ilavesinin yumurtacı tavuklarda canlı ağırlık değişiminde önemli bir farklılık

oluşturmadığını göstermiştir ($P>0.05$). Benzer şekilde, Taşkesen ve Ceylan (2023), yumurta tavuklarında farklı sindirilebilir AA seviyelerine sahip rasyonlara proteaz ilavesinin canlı ağırlık değişiminde önemli seviyede farklılığa sebep olmadığını bildirmişlerdir. Buna karşılık, Geng ve ark. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada, düşük proteinli ve AA bakımından desteklenmemiş rasyonların yumurta tavuklarının performansını ve canlı ağırlık değişimlerini önemli seviyede düşürdüğü bildirilmiştir. Ancak, AA dengesi sağlanan düşük proteinli rasyonlarda bu düşüşün önlenemediği görülmüştür. Bu çalışma, AA eksikliğinin ciddi bir canlı ağırlık kaybına yol açabileceğini, ancak uygun enzim ve AA takviyesiyle bu etkinin telafi edilebileceğini göstermektedir. Liu ve ark. (2024c) tarafından yumurta tavuklarında yapılan başka bir çalışmada ise, rasyona farklı HP seviyelerinin (%13.85 HP, %14.41 HP, %15.63 HP, %16.30 HP) performans üzerine etkileri incelenmiş ve %15.63 HP seviyesinde protein içeren rasyonla beslenen tavukların deneme sonu canlı ağırlıkları, canlı ağırlık değişimi ve yumurta verimlerinin istatistiksel olarak en iyi seviyeye ulaştığı ortaya konmuştur. Ancak, çok düşük protein seviyeleri (%13.85 HP) canlı ağırlık değişimini olumsuz yönde etkilemiştir, bu da belirli bir protein alt sınırının korunmasının önemini vurgulamaktadır. Mevcut çalışmanızda canlı ağırlık değişimi yönünden gruplar arasında önemli bir farklılık bulunmaması, enzim takviyesinin düşük AA'lı rasyonların olası olumsuz etkilerini hafifletebildiğini göstermektedir. Literatürdeki bulgular incelendiğinde, multienzim ilavesinin sindirimi iyileştirdiği ancak canlı ağırlık değişimi üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Sun ve Kim, 2019; Taşkesen ve Ceylan, 2023). Bununla birlikte, çok düşük protein seviyeleriyle beslenen gruplarda canlı ağırlık değişiminin olumsuz etkilendiği, ancak bu etkinin enzim ve dengeli AA takviyesi ile önlenemediği ifade edilmiştir (Geng ve ark., 2021). Canlı ağırlık değişimi, yumurta tavuklarında beslenme stratejilerinin optimize edilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Savaram ve ark. (2021)'ın çalışmasında, yumurta tavuklarının rasyonlarında sindirilebilir lisin seviyelerinin artmasıyla yumurta verimi ve yumurta kitlesinde iyileşmeler gözlemlenirken, canlı ağırlık değişimi üzerine etki ise önemsiz bulunmuştur. Bu durum, yumurtacı tavuklarda canlı ağırlık değişiminin, diğer performans parametrelerine kıyasla daha stabil olduğunu göstermektedir. Ancak, Liu ve ark. (2024c) çalışmasında, optimal HP seviyelerinin (%15.63 HP) canlı ağırlık değişimini desteklediği belirtilmiştir. Bu sonuç, protein seviyelerinin canlı ağırlık artışı üzerinde önemli bir rol oynadığını ve dengeli bir beslenme programının tavukların büyüme performansını optimize edebileceğini göstermektedir. Ayrıca, Sun ve Kim (2019) çalışmasında da, multienzim

ilavesinin N sindirilebilirliğini arttırarak canlı ağırlık değişimini desteklediğini bildirmişlerdir. Bu bulgular, enzim takviyelerinin, özellikle tavukların yem tüketimini ve canlı ağırlık değişimini optimize edebileceğini göstermektedir.

4.1.3. Yumurta verimi (YV)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta verimi üzerine etkileri Çizelge 4.3’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot yumurta verimi (YV1), 2. Periyot yumurta verimi (YV2), 3. Periyot yumurta verimi (YV3) ile ortalama yumurta verimine (YV ORT) etkisi istatistiksel olarak önemlilik göstermiştir ($P<0.05$; $P<0.01$). Çizelge 4.3’e göre azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta verimlerini kontrol grubuna göre rakamsal olarak azalttığı görülmektedir. Uygulanan muameleler bakımından yumurta tavuklarının YV1 değerleri %89.29 ile %96.58 arasında değişmiş olup, bu değerler sırasıyla en yüksek kontrol grubu rasyonunda % 96.58 olarak tespit edilmiş bunu sırasıyla %96.13 ile DP1, %95.54 ile KE, %94.20 ile DP1E, %93.15 ile DP2E ve en düşük %89.29 ile DP2 rasyonları takip etmiştir. Çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta verimine etkisi yönünden DP2 rasyonu kontrol grubu, KE grubu, DP1 grubu ve DP1E grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede YV1’i azaltmıştır ($P<0.05$). Uygulanan DP2E muamele grubu istatistiki yönden hem DP2 rasyonu hem de kontrol grubu ile aynı etkiyi göstermiş, bunun dışında uygulanan diğer muamele grupları YV1 üzerine kontrol grubu ile aynı etkiyi göstermiş, gruplar arasında istatistiki yönden herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Çalışmada YV2 değerleri %89.88 ile %97.02 arasında değişmiş olup, en yüksek yumurta verimi kontrol grubu (%97.02) ile KE gruplarında (%97.02) tespit edilmiştir. Çalışmada istatistiksel olarak DP2 rasyonu (%89.88) kontrol grubu (%97.02) ve diğer muamele gruplarına göre tavukların yumurta verimlerini azaltmış olurken ($P>0.01$), KE grubu (%97.02), DP1 grubu (%96.43), DP1E grubu (%96.58) ve DP2E grubu (%94.35) ile kontrol grubu arasında istatistiki açıdan herhangi bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$). Azaltılmış farklı seviyelerde AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin YV3’e etkisi %89.58 ile %95.24 değerleri arasında değişmiş

olurken, en yüksek yumurta verimi %95.39 ile DP1 rasyonu ve %95.24 ile DP1E rasyonunda tespit edilmiş bu iki rasyon ve kontrol grubu arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir ($P>0.05$). Çalışmadaki DP2 rasyonu %89.58 değeri ile kontrol grubu (%95.09), DP1 (%95.39) ve DP1E muamele gruplarına (%95.24) göre YV3'ü istatistiki açıdan önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.05$). Bu parametrede KE ve DP2E rasyon grupları hem kendi aralarında hem de kontrol grubu ve DP2 rasyon grubuyla benzer etkiyi göstermişlerdir ($P>0.05$). Çalışmada yumurta tavuklarının YV ORT değerleri en yüksek kontrol grubunda (%96.23) gözlenmiş olup, bunu sırasıyla DP1 grubu (%95.98), KE grubu (%95.39), DP1E grubu (%95.33), DP2E grubu (%93.40) ve en düşük DP2E (%89.58) grupları izlemiştir. DP2 muamele grubu yumurta tavuklarının YV ORT değerlerini kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Çalışmada uygulanan muamelelerden DP2 grubu harici bütün muamele grupları yumurta tavuklarında YV ORT üzerine kontrol grubu ile benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$).

Çizelge 4.3. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta verimi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yumurta Verimi (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	96.58±0.35 ^a	97.02±0.98 ^A	95.09±1.20 ^a	96.23±0.61 ^A
KE	95.54±1.52 ^a	97.02±0.75 ^A	93.60±0.71 ^{ab}	95.39±0.60 ^A
DP1	96.13±1.10 ^a	96.43±0.60 ^A	95.39±0.82 ^a	95.98±0.73 ^A
DP1E	94.20±1.45 ^a	96.58±0.88 ^A	95.24±1.01 ^a	95.33±0.99 ^A
DP2	89.29±2.37 ^b	89.88±2.18 ^B	89.58±1.84 ^b	89.58±1.78 ^B
DP2E	93.15±1.45 ^{ab}	94.35±1.59 ^A	92.71±1.99 ^{ab}	93.40±1.52 ^A
P-Değeri	0.015	0.002	0.032	0.001

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Mevcut çalışmada, enzim içermeyen %14.8 HP'li rasyonla (DP2) yemlenen grupta deneme sonu itibariyle yumurta verimi (YV ORT) diğer gruplara göre daha düşük olmuştur. Buna karşılık, YV ORT diğer enzimli ve enzim ilavesiz gruplarda %16.8 HP içeren kontrol grubu ile benzer etki göstererek korunmuştur. Bu bulgu, düşük HP seviyesinin (%14.8 HP) yumurta verimini olması gereken seviyede desteklemediği, ancak enzim ilavesiyle yumurta veriminde görülen düşüşü telafi ettiğini göstermektedir. Literatürde, benzer çalışmalarda protein seviyesinin belirli bir alt sınırın altına düşmesinin yumurta verimini olumsuz etkileyebileceği ortaya konmuştur. Önceki yıllarda yapılmış bir çalışmada, %13.85 HP içeren rasyonun, yumurtacı tavukların

yumurta verimini olumsuz yönde etkilediğini, ancak HP seviyesinin %15.63'e çıkarıldığında yumurta veriminin önemli ölçüde iyileştiği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2024c). Benzer şekilde, Geng ve ark. (2021), AA eksikliği içeren düşük proteinli rasyonların yumurta verimini azaltabileceğini, bununla birlikte uygun AA dengesine sahip düşük proteinli rasyonların bu etkiyi önleyebileceğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar düşük proteinli rasyonlarda AA optimizasyonunun sağlanması koşuluyla tavukların yumurta üretimini sürdürebileceğini göstermektedir. Savaram ve ark. (2021) çalışmalarında, optimal protein seviyelerinin sindirilebilir lisin ile desteklenmesi halinde yumurta verimi, yumurta kitlesi ve yemden yararlanma oranının önemli ölçüde iyileştiği belirtilmiştir. Ayrıca, Sun ve Kim (2019) tarafından yapılan çalışmada, multienzim içeren yem katkılarının yumurta verimi ve kalite parametreleri üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, nişasta olmayan polisakkaritleri parçalayan multienzimlerin (ksilanaz, β -glukanaz, galaktosidaz, galaktomannaz) yumurta üretimini arttırdığı, sindirilebilirliği iyileştirdiği ve dışkı N emisyonlarını azalttığı bildirilmiştir. Böylece, önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi, düşük proteinli rasyonların uygun enzim ve AA takviyesi ile desteklenmesi, yumurta veriminin korunmasını mümkün kılmakta ve bu durum daha sürdürülebilir bir üretim modelinin benimsenmesini desteklemektedir. Bu bağlamda, mevcut çalışmadaki bulgular, multienzim desteği olmaksızın düşük protein seviyelerinin yumurta verimini düşürebileceğini, ancak multienzim ilavesinin sindirimi iyileştirerek ve besin maddesi emilimini arttırarak yumurta verimindeki düşüşü engelleyebileceğini göstermiştir. Ancak, proteinin aşırı düşürülmesi halinde de yumurta veriminde azalma görülebileceği için, ideal AA dengesinin korunması kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, multienzimli %14.8 HP içeren gruptaki yumurta veriminin, multienzimsiz aynı protein seviyesindeki gruba göre daha yüksek olması, enzimlerin besin kullanımını arttırarak performansı iyileştirdiğini desteklemektedir. Sonuç olarak, mevcut çalışma bulguları, HP seviyesinin belirli bir eşik değerin altına düşmesinin yumurta verimini olumsuz etkileyebileceğini, ancak multienzim ilavesinin düşük proteinli rasyonlarda performansı iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, maliyet optimizasyonu ve çevresel N salınımını azaltma stratejileri açısından multienzim ilaveli düşük proteinli rasyonların uygulanabilir bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

4.1.4. Yem tüketimi (YT)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yem tüketimi üzerine etkileri Çizelge 4.4’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-4’de verilmiştir.

Azaltılmış AA içeren yumurta tavukları rasyonlarına multienzim ilavesinin 1. Periyot yem tüketimi (YT1), 2. Periyot yem tüketimi (YT2) ve ortalama yem tüketimine (YT ORT) etkisi istatistiki olarak önem göstermiş ($P<0.05$; $P<0.01$; $P<0.01$), 3. Periyot yem tüketimi (YT3) ise uygulanan muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$). Buna göre, YT1 değerleri 95.35 g ile 103.80 arasında değişmiş, birinci periyot yem tüketimleri sırasıyla en yüksek 103.80 g ile DP1 grubunda bulunmuş bunu sırasıyla 101.08 g ile kontrol ve KE grupları, 99.37 g ile DP2E grubu, 99.20 g ile DP1E grubu ve 95.35 g ile en düşük DP2 grubu izlemiştir. Muamele grupları arasından DP2 grubu yumurta tavuklarının yem tüketimini 95.35 g değeri ile kontrol grubuna (101.08 g), KE (101.08 g) ve DP1 gruplarına (103.80 g) göre istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmış ($P<0.05$), rasyonun DP1E ile DP2E gruplarında YT1 değerleri bakımından rakamsal açıdan kısmi olarak azalma gözlenirse de istatistiksel olarak hem kendi aralarında hem de kontrol grubu ile aynı etkiyi göstermişlerdir ($P>0.05$). Bununla birlikte, YT1 bakımından kontrol grubu, KE ve DP1 grupları arasında istatistiki açıdan herhangi bir farklılık görülmemiştir ($P>0.05$). Çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında YT2 üzerine etkisine bakıldığında, tavukların yem tüketimleri DP2 muamele grubunda (101.17 g) kontrol grubu (104.53 g) ve diğer muamele gruplarına göre istatistiki açıdan önemli seviyede azaldığı belirlenmiştir ($P<0.01$). Tavukların YT2 değerleri 101.17 g ile 104.89 g arasında değişmekte olup, DP2 grubu hariç, bütün muamele grupları ile kontrol grupları arasında istatistiksel olarak herhangi bir seviyede farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$). Yumurta tavuklarının YT ORT değerleri incelendiğinde en yüksek yem tüketimini DP1 grubu (104.53 g) oluşturmuş bunu KE grubu (103.64 g), kontrol grubu (103.51 g), DP1E grubu (102.95 g), DP2E (102.87 g) ve DP2 grubu (100.47 g) sırasıyla izlemiştir. Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında YT ORT’u DP2 grubu kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede düşürmüştür ($P<0.01$). Muamele gruplarından KE, DP1, DP1E ve DP2E ile kontrol grubu

arasında ortalama yem tüketimi üzerine istatistiki açıdan herhangi bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.4. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yem tüketimi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yem Tüketimi (g/tavuk)			
	1.periyot	2.periyot	3.periyot	Ortalama
K	101.08±1.09 ^a	104.53±0.26 ^A	104.91±0.06	103.51±0.42 ^A
KE	101.08±1.77 ^a	104.89±0.03 ^A	104.95±0.02	103.64±0.60 ^A
DP1	103.80±0.70 ^a	104.84±0.05 ^A	104.95±0.01	104.53±0.23 ^A
DP1E	99.20±1.57 ^{ab}	104.72±0.12 ^A	104.94±0.02	102.95±0.53 ^A
DP2	95.35±2.26 ^b	101.17±1.21 ^B	104.87±0.04	100.47±1.09 ^B
DP2E	99.37±1.88 ^{ab}	104.32±0.57 ^A	104.94±0.02	102.87±0.75 ^A
P-Değeri	0.022	<0.0001	0.674	0.003

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Mevcut çalışmada, enzimsiz %14.8 HP içeren rasyon grubunda ortalama yem tüketimi önemli ölçüde azalmış ve bu durum, %16.8 HP içeren kontrol grubu ile diğer muamele grupları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmuştur. Bu sonuç, protein seviyesinin belirli bir sınırın altına düşürülmesinin yem tüketimini olumsuz etkileyebileceğini, ancak multienzim takviyesinin düşük proteinli rasyonlarla bu etkiyi dengeleyerek yem tüketimindeki düşüşü önleyebileceğini göstermektedir. Yumurta tavuğu rasyonlarında HP seviyesinin %15-18 arasında olması önerilmektedir. Protein seviyesinin bu aralığın altına düşürülmesi, yem tüketimini azaltarak hayvan sağlığını ve verimini olumsuz yönde etkileyebilir (Gündüz, 2024). Literatürde, rasyondaki HP seviyesinin azaltılmasının yem tüketimi üzerindeki etkileri farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, bazı araştırmacılar, HP seviyesinin %17'den %13'e düşürülmesinin yem tüketimini ve yumurta verimini olumsuz etkilediğini bildirmiştir (Summers, 1993; Alagawany ve ark., 2016; Liu ve ark., 2024c). Bu durum, protein seviyesinin belirli bir eşiğin altına düşürülmesinin yem tüketimini azaltabileceğini göstermektedir. Alagawany ve ark. (2016), yumurta tavuklarında düşük protein seviyelerinin yem tüketimi ve performans üzerindeki etkilerini incelediğinde, protein seviyesinin belirli bir seviyenin altına düşürülmesinin yem tüketimini azalttığını göstermiştir. Benzer şekilde, Alagawany ve ark. (2020) çalışmasında, protein seviyesinin düşürülmesinin yem tüketiminde azalmaya neden olduğu, ancak AA dengesi sağlandığında bu etkinin minimize edilebileceği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmadaki düşük proteinli (%14.8 HP)

ve multienzimsiz rasyon grubunda yem tüketiminin azalması ile örtüşmektedir. Düşük proteinli rasyonların bağırsak histomorfolojisi üzerindeki etkilerini inceleyen Buwjoon ve ark. (2010) çalışmasında, düşük HP içeren rasyonların bağırsak villus yüksekliği ve epitel hücre alanında küçülmeye neden olarak sindirim etkinliğini düşürdüğü bildirilmiştir. Bu bulgu, düşük proteinli rasyonların yem tüketimini azaltma eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Araştırmacılara göre, bağırsak yüzey alanının azalması sindirim etkinliğini olumsuz etkileyerek yemden yararlanmayı azaltmakta ve dolayısıyla hayvanların yem tüketimini sınırlayabilmektedir. Tanimowo ve Longe (2024) tarafından yapılan çalışmada, multienzim ilavesinin yem tüketimi ve sindirilebilirlik üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve multienzim kullanımının yem tüketimini artırarak performansı iyileştirdiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Sun ve Kim (2019) çalışmasında, multienzim takviyesinin yumurta tavuklarında yem sindirilebilirliğini artırarak yem tüketimini optimize edebileceğini ifade etmişlerdir. Mevcut çalışmadaki bulgular, düşük proteinli rasyonlara multienzim ilavesinin yem tüketimindeki düşüşü önlemeye yardımcı olabileceği hipotezini desteklemektedir. Poudel ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada, proteaz enzimi ile desteklenen düşük AA içeren rasyonların yem tüketimi ve performans üzerindeki etkileri incelenmiştir ve protein ile AA seviyelerinin dengeli tutulmasının yem tüketimini koruyabileceği belirtilmiştir. Savaram ve ark. (2021) çalışmasında da sindirilebilir lizin seviyesinin belirli bir düzeyin altına düşürülmesinin yem tüketimini azalttığı ancak AA optimizasyonu ile bu etkinin hafifletilebileceği gösterilmiştir. Bu literatürlerin doğrultusunda, mevcut çalışmada multienzim eklenmemiş %14.8 HP grubunda yem tüketiminin azalması, düşük protein seviyesinin yem tüketimini sınırlandırıcı etkisini yansıtmaktadır. Ancak, multienzim ilavesinin sindirilebilirliği artırarak bu olumsuz etkiyi hafifletebileceği görülmektedir. Dolayısıyla, düşük proteinli rasyonlarda enzim takviyesi, AA dengesinin korunması ve bağırsak sağlığının iyileştirilmesi yoluyla yem tüketimini ve genel performansı olumlu yönde etkileyebilir.

4.1.5. Yumurta ağırlığı (YA)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta ağırlığı üzerine etkileri Çizelge 4.5’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5’e göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin tavukların 1. Periyot yumurta ağırlığı (YA1) ($P<0.05$), 2. Periyot yumurta ağırlığı (YA2) ($P<0.01$), 3. Periyot yumurta ağırlığı (YA3) ($P<0.01$) ve ortalama yumurta ağırlıklarının (YA ORT) ($P<0.01$) istatistiksel olarak önemli seviyede farklılık göstermesi ile birlikte muamele gruplarının YA1 hariç (kontrol grubu: 61.76 g YA; DP1: 62.16 g YA) diğer bütün periyotlarda kontrol grubuna göre tavukların yumurta ağırlığını azalttığı tespit edilmiştir. Muamelelerin YA1’e etkisi incelendiğinde değerler 58.64 g ile 62.16 g arasında değişmiştir. Çalışmada YA1 en yüksek DP1 grubunda tespit edilmiş olup, kontrol grubu ile istatistiksel olarak benzer etki göstermiştir ($P>0.05$). Çalışmada YA1’i DP2 grubu (58.64 g) ve DP2E grubu (59.11 g) kontrol grubu (61.76 g) ve DP1 grubuna (60.48 g) kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmış ($P<0.05$) fakat bu iki grup arasındaki azaltıcı etki benzer olmuştur ($P>0.05$). Bu iki grup arasında yumurta ağırlığını en fazla azaltan DP2 muamele grubu olmuştur. KE ve DP1E muamele grupları arasında istatistiksel açıdan herhangi bir farklılık bulunmamıştır ($P>0.05$). Çalışmada muamelelerin YA2’ye etkisi incelendiğinde en yüksek yumurta ağırlığı 60.50 g ile kontrol grubunda tespit edilmiş DP1E grubu (58.49 g), DP2 (57.92 g) ve DP2E grupları (57.26 g) istatistiksel olarak önemli düzeyde kontrol grubuna göre yumurta ağırlığını azaltmış olurken ($P<0.01$), DP1E (58.49 g) ve DP2 (57.92 g) arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir ($P>0.05$). Çalışmada DP2 grubu YA2’yi 57.26 g değeri ile kontrol grubu ve DP1 grubuna göre istatistiki açıdan en fazla azaltan muamele grubu olmuştur ($P<0.01$). Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında YA3 değeri 62.28 g ile en yüksek kontrol grubunda tespit edilmiştir. Uygulanan muamele gruplarının tamamı YA3’ü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak azaltmış, en fazla azalma DP2E grubunda (57.56 g) gerçekleşmiştir ($P<0.01$). Muamele gruplarından 59.70 g değeri ile KE grubu, 60.03 g değeri ile DP1 grubu ve 60.04 g değeri ile DP1E grupları yumurta ağırlığının azalması üzerine istatistiksel olarak benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Çalışmadaki YA ORT değerleri en yüksek kontrol grubundan (61.52 g) elde edilmiş, bunu sırasıyla DP1 grubu (60.60 g),

KE grubu (59.95 g), DP1E grubu (59.67 g), DP2 grubu (58.28 g) ve DP2E grubu (57.98 g) izlemiştir ($P<0.01$). Çalışmadaki DP2 ve DP2E muamele grupları YA ORT'u kontrol grubu, KE ve DP1 gruplarına göre önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Çalışmada YA ORT üzerine muamele gruplarından KE grubu ve DP1 grubu arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.5. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta ağırlığı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Yumurta Ağırlığı (g)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	61.76±0.63 ^a	60.50±0.76 ^A	62.28±0.56 ^A	61.52±0.57 ^A
KE	60.98±0.79 ^{ab}	59.17±0.71 ^{ABC}	59.70±0.56 ^B	59.95±0.55 ^{AB}
DP1	62.16±0.78 ^a	59.61±0.53 ^{AB}	60.03±0.47 ^B	60.60±0.42 ^{AB}
DP1E	60.48±0.84 ^{ab}	58.49±0.70 ^{BC}	60.04±0.89 ^B	59.67±0.74 ^{BC}
DP2	58.64±0.95 ^b	57.92±0.31 ^{BC}	58.28±0.58 ^{BC}	58.28±0.41 ^{CD}
DP2E	59.11±0.73 ^b	57.26±0.60 ^C	57.56±0.75 ^C	57.98±0.57 ^D
P-Değeri	0.017	0.008	<0.0001	<0.0001

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B,C,D}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Deneme sonunda yumurta ağırlığı bakımından % 15.8 HP (%0.70 lizin) içeren enzimsiz rasyonla beslenen grupta kontrol grubuna göre önemli seviyede bir azalma olmaz iken, bu rasyona enzim ilavesi yumurta ağırlığında kontrol grubuna göre düşüşe sebep olmuştur. Daha düşük seviyede HP ve AA içeren DP2 ve DP2E gruplarında ise yumurta ağırlığındaki azalma önemli seviyede daha düşük olmuştur. Bu durum yumurta ağırlığının rasyon HP ve AA eksikliğine olumsuz tepki verdiğini ve rasyon HP ve AA yetersizliğini ancak belli bir seviyeye (% 15.8 HP, % 0.70 sindirilebilir lizin) kadar telafi edebildiğini göstermektedir.

Literatürde de benzer şekilde, protein seviyesi çok düşük olduğunda yumurta ağırlığında azalma görüldüğü ve bu etkinin özellikle kritik AA'ların (lizin, metiyonin, treonin) yetersizliğinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Ceylan ve ark., 2003; Torki ve ark., 2015; Alagawany ve ark., 2016; Tenesa ve ark., 2016; Alagawany ve ark., 2020; Ma ve ark., 2021; Savaram ve ark., 2021; Poudel ve ark., 2023; Liu ve ark., 2024c). Özellikle, sindirilebilir lizin seviyesinin %0.65'in altına düşmesi halinde yumurta ağırlığında belirgin kayıplar yaşandığı, %0.70 seviyesinde ise bu kayıpların önlenildiği bildirilmiştir (Savaram ve ark., 2021). Benzer şekilde, düşük proteinli rasyonlarda fitaz ve multienzim gibi katkıları tavukların sindirimini arttırsa da, yumurta ağırlığı üzerindeki

iyileştirici etkilerinin sınırlı olduğu belirtilmiştir (Heo ve ark., 2023; Taşkesen ve Ceylan, 2023; Cufadar ve ark., 2024). Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, mevcut araştırmamızda %14.8 HP+ME grubunda gözlenen en düşük yumurta ağırlığı ile uyumludur.

Ayrıca, protein ve EAA eksikliği sadece yumurta ağırlığını değil, aynı zamanda yumurta akı ve sarısındaki protein sentezini de sınırlandırarak yumurtaların daha küçük olmasına yol açmaktadır (Tenesa ve ark., 2016; Savaram ve ark., 2021; Liu ve ark., 2024c). Bunun yanı sıra, düşük proteinli rasyonların tavukların bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkileyerek besin emilimini azalttığı, bunun da yumurta ağırlığı üzerinde olumsuz etki yarattığı da bildirilmiştir (Buwjoom ve ark., 2010; Geng ve ark., 2021; Liu ve ark., 2024c). Multienzim takviyesinin sindirimi ve besinlerin emilimini artırarak bazı parametrelerde fayda sağladığı; fakat protein eksikliği belirli bir seviyenin altına indiğinde yumurta ağırlığındaki kayıpların tam olarak telafi edilemediği de tespit edilmiştir (Sun ve Kim, 2019; Heo ve ark., 2023; Poudel ve ark., 2023; Cufadar ve ark., 2024).

4.1.6. Yumurta kitlesi (YK)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta kitlesi üzerine etkileri Çizelge 4.6'da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6'ya göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot yumurta kitlesi (YK1), 2. Periyot yumurta kitlesi (YK2), 3. Periyot yumurta kitlesi (YK3) ve ortalama yumurta kitlesinin (YK ORT) istatistiksel olarak önemli seviyede muamelelerden etkilendiği belirlenmiştir ($P<0.01$). Muamele gruplarının YK1'e etkisi üzerine en yüksek yumurta kitlesi DP1 muamele grubunda (59.80 g) tespit edilmiş, kontrol grubuyla (59.65 g) arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık bulunmamıştır ($P>0.05$). Muamele gruplarının YK1'e etkisi bakımından DP2E grubu (55.06 g) ve DP2 grubu (52.39 g) yumurta kitlesini kontrol grubu (59.65 g), KE grubu (58.31 g), DP1 grubu (59.80 g) ve DP1E grubuna (56.99 g) göre istatistiki açıdan önemli düzeyde daha düşük bulunmuş, KE grubu ile DP1E grupları arasındaki etki benzer olmuştur ($P>0.05$). Farklı seviyelerde azaltılmış AA

içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında YK2 değerleri 52.04 g ile 58.65 g arasında değişmiş olup en yüksek yumurta kitlesi 58.65 g değeri ile kontrol grubunda gözlenmiş, bunu sırasıyla 57.47 g ile DP1 grubu, 57.39 g ile KE muamele grubu, 56.49 g ile DP1E grubu, 54.02 g ile DP2E grubu ve 52.04 g değeri ile DP2 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 grubu (52.04 g) ve DP2E grubu (54.02 g) YK2 değerlerini kontrol grubu (58.65 g) ve diğer muamele gruplarına göre (KE (57.39 g), DP1 (57.41 g) ve DP1E (56.49 g)) istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmış olup ($P<0.01$), bu azaltıcı etki iki grup arasında benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında YK3 üzerine etkisi 52.18 g değeri ile 59.20 g değerleri arasında değişmiş olup, en yüksek yumurta kitlesi değeri 59.20 g ile kontrol grubunda tespit edilmiştir. Muamele gruplarından KE grubu (55.88 g) kontrol grubuna (59.20 g) göre önemli düzeyde yumurta kitlesini azaltırken, DP2 grubu (52.18 g) ve DP2E grubuna (53.30 g) göre yumurta kitlesini arttırmıştır. DP2 grubu ve DP2E grubu da kontrol grubu dahil bütün muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yumurta kitlesini azaltmıştır ($P<0.01$). Çalışmada YK3 üzerine DP1 ve DP1E grupları arasındaki etki benzer olmuştur ($P<0.01$). Muamelelerin yumurta tavuklarında YK ORT etkisi incelendiğinde değerler 59.17 g ile kontrol grubunda en yüksek bulunmuş, bunu sırasıyla 58.18 g ile DP1 grubu, 57.19 g ile KE grubu, 56.88 g ile DP1E grubu, 54.13 g ile DP2E grubu ve 52.20 g ile DP2 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 ve DP2E grupları yumurta tavuklarının YK ORT değerlerini kontrol grubu, KE grubu, DP1 grubu ve DP1E gruplarına göre istatistiki olarak önemli seviyede azaltmış ($P<0.01$), bu iki grup arasındaki azaltıcı etki benzer olmakla birlikte ($P>0.05$), DP2 ve DP2E grupları dışındaki muamele grupları da kontrol grubu ile benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$).

Çizelge 4.6. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta kitlesi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yumurta Kitlesi (g)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	59.65±0.64 ^A	58.65±0.30 ^A	59.20±0.70 ^A	59.17±0.45 ^A
KE	58.31±1.49 ^{AB}	57.39±0.63 ^A	55.88±0.71 ^B	57.19±0.56 ^A
DP1	59.80±1.32 ^A	57.47±0.42 ^A	57.26±0.67 ^{AB}	58.18±0.66 ^A
DP1E	56.99±1.27 ^{AB}	56.49±0.85 ^A	57.15±0.80 ^{AB}	56.88±0.87 ^A
DP2	52.39±1.73 ^C	52.04±1.16 ^B	52.18±0.98 ^C	52.20±1.06 ^B
DP2E	55.06±1.08 ^{BC}	54.02±1.08 ^B	53.30±0.88 ^C	54.13±0.82 ^B
P-Değeri	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Protein ve AA içeriği, yumurta kitlesi açısından belirleyici faktörlerden biridir. Düşük proteinli rasyonların yumurta kitlesi üzerindeki etkisi, AA dengesine bağlıdır. Yumurta kitlesi, yumurta verimi ve yumurta ağırlığının çarpımı ile hesaplandığından, yumurta kitlesinin bu iki parametreyle de ilişkisi büyük önem taşımaktadır. Mevcut çalışmada, enzimli ve enzimsiz %14.8 HP (%0.65 sindirilebilir lizin) içeren düşük proteinli rasyon gruplarında, ortalama yumurta kitlesi kontrol grubu (%0.77 lizin) ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmıştır. Buna karşılık, %15.8 HP'li (enzimli ve enzimsiz, %0.70 lizin) gruplarda yumurta kitlesi kontrol grubuyla benzer bulunmuştur. Bu durum, protein ve AA düzeyinin yumurta kitlesi için kritik bir rol oynadığını ve belirli bir protein eşiğinin altına inildiğinde yumurta kitlesinde kayıpların kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Yumurta kitlesinin, yumurta verimi ve ağırlığının bir fonksiyonu olması nedeniyle, düşük proteinli rasyonların bu iki parametre üzerindeki etkisi performans açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatürdeki çeşitli çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Tenesa ve ark. (2016), düşük proteinli rasyonlarda AA takviyesinin performansı iyileştirdiğini ve protein düzeyinin %16.5'in altına düşürülmesiyle yumurta kitlesinde azalmalar gözlemlendiğini belirtmiştir. Torki ve ark. (2015), %15 HP'li rasyonlarda yumurta kitlesinin kontrol grubuna benzer olduğunu, ancak protein düzeyinin %13.5'in altına inmesiyle önemli düşüşler yaşandığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Savaram ve ark. (2021), düşük proteinli rasyonlarda AA dengesinin korunmasının olumsuz etkileri azaltabileceğini, ancak protein miktarı kritik eşiğin altına düştüğünde kayıpların kaçınılmaz hale geldiğini ortaya koymuştur. Poudel ve ark. (2023), düşük proteinli ve düşük lizinli rasyonlarda proteaz ilavesinin performans kayıplarını tamamen engelleyemediği, özellikle lizin eksikliğinin yumurta ağırlığı ve kitlesinde belirgin azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Geng ve ark. (2021) ile Heo ve ark. (2023), düşük proteinli rasyonların bağırsak mikrobiyotasını ve AA emilimini olumsuz etkileyerek yumurta kitlesinde düşüşe yol açabileceğini belirtmiştir.

Sonuç olarak, mevcut çalışma, düşük proteinli rasyonların yumurta kitlesinde azalmaya yol açabileceğini göstermiş olup, yumurta verimi ve yumurta ağırlığı verilerine bakıldığında bu durumun normal olduğu söylenebilir. Ancak, %15.8 HP ve yeterli lizin içeren rasyonlarda, yumurta kitlesinin korunabileceği ortaya konmuştur. Bu nedenle, düşük proteinli rasyonların formülasyonunda AA dengesi mutlaka sağlanmalı ve enzim

takviyesinin, yetersiz protein ve AA eksikliğini tamamen gidermeyeceği dikkate alınmalıdır.

4.1.7. Yemden yararlanma oranı (YYO)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yemden yararlanma oranı üzerine etkileri Çizelge 4.7’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7’ye göre, muamele gruplarının farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot yemden yararlanma oranı (YYO1) etkisi üzerine istatistiki açıdan önemsiz olurken ($P<0.05$), 2. Periyot yemden yararlanma oranı (YYO2), 3. Periyot yemden yararlanma oranı (YYO3) ve ortalama yemden yararlanma oranı (YYO ORT) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), bununla birlikte muamele gruplarının tamamının yumurta tavuklarının YYO’yu arttırdığı tespit edilmiştir. Muamelelerin YYO1 değerleri incelendiğinde rakamsal olarak en yüksek değer 1.83 değeri ile DP2 grubunda belirlenmiş olup, en düşük YYO1 1.70 değeri ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Muamele grupları YYO1 değerlerini kontrol grubuna göre arttırmıştır. Yumurta YYO2 1.95 ve 1.94 değerleri ile DP1 ve DP2E gruplarında tespit edilmiş olup, kontrol ve diğer muamele gruplarına göre tavukların YYO2 değerlerini istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış ($P<0.01$), bu iki grup arasındaki etki benzer olmuştur ($P>0.05$). En düşük YYO2 değeri ise 1.78 ile kontrol grubundan elde edilirken KE grubu (1.83), DP1 grubu (1.82), DP1E grubu (1.86) ve DP2 muamele grubu (1.95) arasında YYO2 üzerine istatistiksel olarak herhangi bir farklılık bulunmamıştır ($P>0.05$). Çalışmada YYO3 en yüksek DP2 grubundan (2.02) elde edilmiş, bunu sırasıyla DP2E grubu (1.97), KE grubu (1.88), DP1E grubu (1.84), DP1 grubu (1.83) ve kontrol grubu (1.77) izlemiştir. DP2 ve DP2E muamele grupları YYO3’ü kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre istatistiki olarak arttırmış olup ($P<0.01$), iki grup arasında arttırıcı etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamelenin KE grubu ise sadece kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede YYO3’ü arttırırken DP2 ve DP2E grubuna göre düşürmüştür ($P<0.01$). DP1 ve DP1E grupları arasında YYO3 üzerindeki etki ise benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Yumurta tavuklarının YYO ORT değerleri 1.75 ile kontrol grubunda en düşük, 1.93 ile DP2 grubunda ise en yüksek bulunmuştur. Tavukların YYO ORT değerleri, DP2 ve DP2E

gruplarında kontrol ve diğer muamele gruplarına kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde artış göstermiştir ($P<0.01$). Bununla birlikte, DP2 ve DP2E grupları arasındaki artış benzer olup, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Diğer yandan, KE, DP1, DP1E ve kontrol grupları arasında ise önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.7. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yemden yararlanma oranı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yemden Yararlanma Oranı (g yem/g yumurta kitlesi)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	1.70±0.03	1.78±0.01 ^B	1.77±0.02 ^C	1.75±0.02 ^B
KE	1.74±0.03	1.83±0.02 ^B	1.88±0.02 ^B	1.82±0.02 ^B
DP1	1.74±0.04	1.82±0.01 ^B	1.83±0.02 ^{BC}	1.80±0.02 ^B
DP1E	1.74±0.04	1.86±0.03 ^B	1.84±0.03 ^{BC}	1.81±0.03 ^B
DP2	1.83±0.05	1.95±0.04 ^A	2.02±0.04 ^A	1.93±0.03 ^A
DP2E	1.81±0.03	1.94±0.04 ^A	1.97±0.03 ^A	1.91±0.02 ^A
P-Değeri	0.183	<0.0001	<0.0001	<0.0001

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Mevcut çalışmada, enzimli ve enzimsiz olarak uygulanan %14.8 HP (%0.65 sindirilebilir lizin) içeren düşük proteinli rasyon gruplarında, ortalama yemden yararlanma oranı (%16.8 HP'li kontrol grubuna kıyasla) istatistiksel olarak önemli düzeyde artmıştır. Buna karşılık, %15.8 HP ve %0.70 sindirilebilir lizin içeren gruplarda yemden yararlanma oranı kontrol grubu ile benzer bulunmuştur. Bu bulgu, düşük proteinli rasyonlarda sindirilebilir AA dengesinin yemden yararlanma oranını doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir.

Düşük proteinli rasyonlarda AA dengesizliği, sindirim sisteminin işleyişini olumsuz etkileyerek yemden yararlanma oranında artışa yol açabilmektedir (Alagawany ve ark., 2020; Savaram ve ark., 2021). Benzer şekilde, proteaz enzimi ilavesinin düşük proteinli rasyonlarda yemden yararlanma oranını iyileştirdiği bildirilmiştir (Poudel ve ark., 2023). Ancak enzim takviyesinin, protein seviyesi çok düşük olduğunda bu etkiyi her zaman telafi edemeyeceği belirtilmiştir (Geng ve ark., 2021; Liu ve ark., 2024c).

Çalışmada, 0.65 sindirilebilir lizin düzeyine sahip gruplarda yemden yararlanma oranının en yüksek olması, AA yetersizliğinin yemden yararlanmayı olumsuz etkilediğini göstermektedir (Ma ve ark., 2021; Savaram ve ark., 2021). Lizin ve diğer EAA'ların

yeterli seviyede sağlanması durumunda ise, düşük proteinli rasyonların yemden yararlanma oranı kontrol grubu ile benzer olabilmektedir (Poudel ve ark., 2023).

Ek olarak, multienzim takviyesinin yemden yararlanmayı arttırarak yem dönüşüm oranını iyileştirebileceği (Taşkesen ve Ceylan, 2023; Tanimowo ve Longe, 2024) ve fitaz ile ksilanaz eklenmesinin de sindirimi olumlu yönde etkileyebileceği belirtilmiştir (Walker ve ark., 2024). Ancak düşük proteinli rasyonlarda performansın sürdürülebilmesi için sindirilebilir lisin seviyesinin en az 0.70 olacak şekilde dengelenmesi kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, düşük proteinli rasyonlar dikkatli şekilde formüle edilmeli, EAA dengesi sağlanmalı ve gerekirse multienzim takviyesi ile desteklenmelidir. Ancak enzim takviyesinin protein seviyesinin aşırı düşük olduğu koşullarda istenen etkiyi her zaman sağlayamayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Torki ve ark., 2015; Tenesa ve ark., 2016).

4.2. Yumurta Dış Kalite Özellikleri

4.2.1. Hasarlı ve kirli yumurta oranı

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında hasarlı yumurta oranı üzerine etkileri Çizelge 4.8’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-8’de verilmiştir.

Çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sadece 1. Periyot hasarlı yumurta oranını (HYO1) istatistiki olarak önemli derecede etkilemiş olup ($P<0.05$), 2. Periyot hasarlı yumurta oranı (HYO2), 3. Periyot hasarlı yumurta oranı (HYO3) ve ortalama hasarlı yumurta oranı (HYO ORT) muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$). Muamelelerin HYO1 değerleri incelendiğinde en yüksek hasarlı yumurta oranı %2.31 ile kontrol grubunda tespit edilirken, bunu sırasıyla KE grubu (%1.37), DP2E grubu (%0.47), DP2 grubu (%0.34), DP1E grubu (%0.33) ve DP1 grubu (%0.31) izlemiştir. Muamele gruplarından KE grubu HYO1 üzerine kontrol grubu ile benzer etki gösterirken onun haricindeki muamele grupları HYO1’i kontrol grubuna göre önemli seviyede azaltmış ($P<0.05$), gruplar

arasındaki etki benzer olmuştur ($P>0.05$). Çalışmada HYO2 değerleri rakamsal olarak %0.16 ve %1.72 değerleri arasında değişmiş olurken, muamele gruplarının tamamı hasarlı yumurta oranını kontrole göre azaltmıştır. Muamelelerin HYO3 değerleri rakamsal olarak en düşük DP2 grubunda bulunurken, DP2, kontrol grubuna göre bu parametreyi azaltmıştır, geri kalan diğer gruplar kontrol grubuna göre hasarlı yumurta oranını arttırmıştır. Hasarlı yumurta oranı en yüksek KE grubundan elde edilmiştir. Çalışmada rakamsal olarak HYO ORT en yüksek % 1.71 değeri ile kontrol grubunda tespit edilmiş, muamele grupları HYO1 ve HYO2 de olduğu gibi kontrol grubuna göre ortalama hasarlı yumurta oranını düşürmüştür. En düşük hasarlı yumurta oranı %0.60 değeri ile DP2 grubundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında hasarlı yumurta oranı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Hasarlı Yumurta Oranı (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	2.31±0.78 ^a	1.72±0.68	1.11±0.50	1.71±0.45
KE	1.37±0.74 ^{ab}	1.23±0.41	1.93±0.55	1.51±0.40
DP1	0.31±0.20 ^b	0.62±0.24	1.73±0.75	0.89±0.33
DP1E	0.33±0.33 ^b	0.61±0.32	1.89±0.65	0.94±0.30
DP2	0.34±0.34 ^b	0.48±0.23	0.98±0.32	0.60±0.14
DP2E	0.47±0.33 ^b	0.16±0.16	1.69±0.57	0.77±0.26
P-Değeri	0.038	0.068	0.767	0.144

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemlidir ($P<0.05$).

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kirli yumurta oranı üzerine etkileri Çizelge 4.9’da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9’a göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot kirli yumurta oranı (KYO1), 2. Periyot kirli yumurta oranı (KYO2), 3. Periyot kirli yumurta oranı (KYO3) ve ortalama kirli yumurta oranı (KYO ORT) ile muamele grupları arasındaki etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Çalışmada KYO1 değerleri rakamsal olarak en yüksek %1.39 ile kontrol grubunda bulunmuş bunu sırasıyla, %0.94 ile DP1 grubu, %0.84 ile DP2 grubu, %0.79 ile DP2E grubu, %0.64 ile DP1E grubu ve %0.61 ile KE grubu izlemiştir. Rakamsal olarak muamele grupları kontrol grubuna göre KYO1’i azaltmış olup, en fazla azaltan grup KE muamele grubu olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin KYO2’ye etkisi

incelendiğinde aynı birinci periyotta olduğu gibi muamele grupları kontrol grubuna göre rakamsal olarak KYO2'yi azaltmıştır ($P>0.05$). Tavukların KYO2 değerleri en yüksek %1.53 ile kontrol grubunda gözlenirken, en düşük kirli yumurta oranı %0.76 ile DP1 muamele grubunda tespit edilmiştir. Rakamsal olarak HYO3'e muamelelerin etkisi %0.95 ile %1.59 değerleri arasında değişmiş olup, KE grubunda kirli yumurta oranı kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuş, diğer muamele gruplarında kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur. Muamelelerin KYO ORT değerleri rakamsal olarak en yüksek kontrol grubunda (%1.34) tespit edilmiş, bunu sırasıyla KE grubu (%1.14), DP1E grubu (%0.99), DP1 grubu (%0.93), DP2E grubu (%0.91) ve DP2 grubu (%0.86) izlemiştir. Muamele gruplarında KYO ORT rakamsal olarak kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.9. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kirli yumurta oranı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Kirli Yumurta Oranı (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	1.39±0.63	1.53±0.44	1.10±0.55	1.34±0.46
KE	0.61±0.32	1.24±0.58	1.59±0.46	1.14±0.25
DP1	0.94±0.40	0.76±0.32	1.08±0.59	0.93±0.15
DP1E	0.64±0.35	1.25±0.53	1.09±0.49	0.99±0.42
DP2	0.84±0.47	0.79±0.47	0.95±0.67	0.86±0.35
DP2E	0.79±0.47	0.97±0.41	0.96±0.32	0.91±0.25
P-Değeri	0.849	0.835	0.960	0.909

Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin, ortalama hasarlı ve kirli yumurta oranları üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, yumurta kabuğu bütünlüğü ve yüzey temizliğinin, doğrudan yem bileşimi ve enzim ilavesinden ziyade, fizyolojik ve çevresel faktörlerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Literatürde de benzer şekilde, yumurta kabuk kalitesi ile hasarlı ve kirli yumurta oranlarının esas olarak mineral besleme, stres faktörleri ve sürü sağlığı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Roberts, 2004; Mertens ve ark., 2006; Solomon, 2010).

Multienzim takviyesi, yem kullanım etkinliğini ve besin sindirilebilirliğini arttırabilmektedir; ancak, yumurta kabuk kalitesi ve yüzey temizliği gibi parametreler daha çok mineral dengesi, mekanik hasarlar ve çevresel stres faktörlerinden etkilenebilir. Cufadar ve ark. (2024), farklı seviyelerde fitaz enzimi eklenen yumurtacı tavuk rasyonlarının performans ve yumurta kabuk kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir.

ve enzim ilavesinin yumurta kabuk kalitesi parametrelerinde önemli bir değişiklik göstermediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Sun ve Kim (2019), multienzim ilavesinin yemden yararlanma etkinliğini arttırmasına rağmen, yumurta kabuk kalitesi ve hasarlı yumurta oranı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Bu bulgular, enzim takviyesinin hasarlı yumurta oranını etkilemediğini gösteren mevcut çalışmayla da uyumludur.

Yumurta kabuk kalitesinin korunmasında en önemli besinsel faktörler Ca, P ve D vitamini olup, kabuk bütünlüğü esas olarak mineral metabolizması ve tavukların sağlık durumu ile ilişkilidir (Hamilton ve ark., 1979; Nys ve ark., 2004; Solomon, 2010). Cufadar ve ark. (2024), fitaz ilavesinin sindirilebilir P oranını arttırsa da, kabuk kalitesi üzerinde sınırlı etki gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, tavukların yaşlanmasıyla birlikte kabuk kalitesinin düşmesi ve buna bağlı olarak hasarlı yumurta oranlarının artması doğal bir süreçtir (Solomon, 2010).

Kirli yumurtalar ise genellikle dışkı kontaminasyonu, kümes hijyeni ve kabuk geçirgenliği gibi çevresel faktörlerle ilişkilidir (Jones ve ark., 2004; Musgrove ve ark., 2005; De Reu ve ark., 2006; Svobodová ve Tůmová, 2014). Mavromichalis (2020), NOP açısından yüksek rasyonların bağırsak viskozitesini ve dolayısıyla kirli yumurta oranlarını arttırabileceğini, ancak eksojen enzimlerin NOP'u azaltmasına rağmen kirli yumurta oranını tek başına azaltmada yetersiz kalabildiğini bildirmiştir. Nguyen ve ark. (2022) ile Cufadar ve ark. (2024), ksilanaz ve fitaz ilavelerinin kirli yumurta oranında önemli bir değişiklik oluşturmadığını ifade etmişlerdir.

Sonuç olarak, mevcut çalışma ve literatürdeki benzer bulgular, multienzim ilavesinin hasarlı ve kirli yumurta oranlarını doğrudan etkilemediğini göstermektedir. Yumurta kabuk kalitesi ve yüzey temizliği, esas olarak mineral metabolizması, çevresel hijyen ve tavukların genel sağlığı ile ilişkilidir. Enzim takviyesi, sindirim verimliliğini arttırabilse de, bu parametreleri iyileştirmede belirleyici değildir.

4.2.2. Kabuk kırılma direnci (KKD)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kırılma direnci üzerine etkileri Çizelge 4.10'da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10'a göre, çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot kabuk kırılma direnci (KKD1), 2. Periyot kabuk kırılma direnci (KKD2), 3. Periyot kabuk kırılma direnci ve ortalama kabuk kırılma direnci muamele gruplarından istatistiki olarak önemli seviyede etkilenmemiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarının KKD1'e etkisi rakamsal olarak incelendiğinde değerler 42.00 N ile 45.43 N arasında değişmiş olurken, muamelelerin tamamında kontrol grubuna göre daha düşük KKD1 tespit edilmiştir. En yüksek KKD1 kontrol grubunda bulunurken en düşük KKD1, DP1E muamele grubunda tespit edilmiştir. Çalışmada KKD2 değerleri 40.95 N ile 42.81 N değerleri arasında değişmiş olup, rakamsal olarak 42.81 N değeri ile DP2 grubu ve 42.69 N değerli DP2E grubunda kontrol grubundan daha yüksek KKD2 bulunmuştur. Buna karşılık, KE grubu (41.86 N), DP1 grubu (41.03 N) ve DP1E grubunun (40.95 N) ise kontrol grubundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada KKD3 değerleri rakamsal olarak en yüksek 44.10 N değeri ile kontrol grubunda bulunurken bunu sırasıyla 41.58 N değeri ile DP2E muamele grubu, 41.28 N değeri ile KE muamele grubu, 41.15 N değeri ile DP1E muamele grubu, 41.13 N değeri ile DP2 muamele grubu ve 39.70 N değeri ile DP1 muamele grubu izlemiştir. Muamele gruplarının tamamında KKD3 değerleri rakamsal olarak kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur ($P>0.05$). Çalışmada KKD ORT değerleri rakamsal olarak muamele gruplarının tamamında kontrol grubundan daha düşük bulunmuş, değerler sırasıyla kontrol grubunda 44.05 N, DP2 grubunda 42.59 N, DP2E grubunda 42.57 N, KE grubunda 41.73 N, DP1 grubunda 41.48 N ve DP1E grubunda 41.37 N olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kırılma direnci üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Kabuk Kırılma Direnci (N)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	45.43±0.88	42.61±1.50	44.10±1.69	44.05±1.23
KE	42.05±2.34	41.86±1.18	41.28±1.83	41.73±1.40
DP1	43.71±1.08	41.03±1.19	39.70±1.81	41.48±0.86
DP1E	42.00±2.06	40.95±1.48	41.15±0.98	41.37±1.00
DP2	43.84±0.59	42.81±1.46	41.13±1.39	42.59±1.04
DP2E	43.43±1.51	42.69±1.40	41.58±0.72	42.57±0.77
P-Değeri	0.634	0.862	0.455	0.499

Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin, kabuk kırılma direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, yumurta kabuğu kalitesinin temel olarak Ca ve P metabolizması gibi besin öğeleri ile ilişkili olduğunu ve enzim takviyesinin bu parametreyi doğrudan değiştirmede sınırlı etkili olabileceğini göstermektedir. Nitekim literatürde de, enzim ilavesinin kabuk mukavemeti üzerindeki etkisinin genellikle sınırlı olduğu bildirilmektedir. Yumurta kabuğunun ana bileşeni olan Ca'nın yeterli miktarda tüketimi ve emilimi, kabuk kalitesinin korunmasında kritik öneme sahiptir. Geng ve ark. (2021), düşük proteinli rasyonların bağırsak mikrobiyotasını değiştirerek Ca emilimini dolaylı olarak etkileyebileceğini, fakat kabuk kırılma direnci üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığını belirtmiştir. Cufadar ve ark. (2024) ise fitaz ilavesinin sindirilebilir P oranını artırarak kabuk kalitesine kısmen olumlu etkiler sağladığını, fakat kabuk kırılma direnci üzerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığını bildirmiştir. Benzer şekilde, P'nin kemik sağlığı ve yumurta kabuğu bütünlüğü açısından önemli olmasına rağmen, fitaz ile artan P emiliminin kabuk kırılma direncine yansması çoğunlukla sınırlı kalmaktadır. Heo ve ark. (2023), protein seviyesinin %15'e düşürülmesinin, daha yüksek seviyelerle karşılaştırıldığında kabuk kırılma direnci üzerinde önemli bir fark oluşturmadığını belirtmiştir. Gumpha ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada da, %13-16 HP içeren ve AA dengesi sağlanan rasyonlarda, kabuk kalınlığı ve kırılma direncinde önemli bir farklılık saptanmamıştır. Ancak, Van Harn ve ark. (2021), rasyonda protein düzeyinin kritik sınırların altına (%12 HP) indirilmesinin, sentetik AA takviyesine rağmen, kırık kabuklu yumurta oranını artırdığını bildirmişlerdir. Bu durum, aşırı düşük protein seviyelerinde mineral ve besin yetersizliklerinin kabuk bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Sun ve Kim (2019) ise, multienzim içeren rasyonların yumurta kabuğu kalitesi parametrelerinde, özellikle kabuk kırılma direnci ve kabuk kalınlığı açısından önemli bir değişiklik oluşturmadığını vurgulamıştır. Kayan ve ark.

(2025), özellikle P ve enerji düzeyi düşük rasyonlarda fitaz ve ksilanaz kombinasyonunun kabuk kırılma direncini arttırabileceğini belirtirken, Huang ve ark. (2024b) ise, besin maddesi açısından yeterli rasyonlarda multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kırılma direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli bir fark oluşturmadığını bildirmişlerdir. Genel olarak, multienzim takviyesinin sindirilebilirlik ve mineral emilimini arttırsa da, kabuk kırılma direnci gibi mekanik özelliklere doğrudan ve tutarlı bir etki göstermediği söylenebilir. Ayrıca, protein ve AA dengesi sağlandığı sürece, makul seviyede protein azaltımı kabuk kalitesinde ciddi bir bozulmaya yol açmamaktadır. Ancak, kritik seviyelerin altına inilmesi halinde, mineral eksiklikleri nedeniyle kabuk bütünlüğünde bozulmalar gözlenebilir. Bu nedenle, AA profili iyi dengelenmiş düşük proteinli rasyonlar ve yeterli mineral desteği, yumurta kabuğu kalitesinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

4.2.3. Kabuk ağırlığı (KA)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk ağırlığı üzerine etkileri Çizelge 4.11’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11’e göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sadece 3. Periyot kabuk ağırlığı (KA3) üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olurken ($P>0.01$), 1. Periyot kabuk ağırlığı (KA1), 2. Periyot kabuk ağırlığı (KA2) ve ortalama kabuk ağırlığı (KA ORT) muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarının KA3 değerlerine etkisi incelendiğinde, değerler 5.81 g ile 6.07 g arasında değişmiş olup, en yüksek kabuk ağırlığı kontrol grubunda bulunmuş bunu sırasıyla 5.87 g ile DP2 muamele grubu, 5.85 g ile DP1E muamele grubu, 5.81 g ile DP2E muamele grubu, 5.78 g ile DP1 muamele grubu ve 5.71 ile KE muamele grubu izlemiş, muamele gruplarının tamamı kontrol grubuna göre KA3’ü istatistiki olarak önemli derecede azaltmıştır ($P<0.01$). Kabuk ağırlığını kontrol grubuna göre en fazla azaltan DP2E muamele grubu olurken, muamele gruplarının KA3’e etkisi istatistiki açıdan benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin KA1 üzerine etkisi rakamsal olarak 5.75 g ile 6.06 g arasında değişirken, DP1 muamele grubunda (6.06 g) kontrol grubuna (5.92 g) göre kabuk ağırlığı daha yüksek, DP1 grubu dışındaki diğer muamele gruplarında kabuk ağırlığı kontrol grubuna göre daha düşük

bulunmuştur. Muamelelerin KA2'ye etkisi rakamsal olarak DP1 grubu (5.96 g), DP1E grubu (5.83 g) ve DP2 grubunda (5.97 g) kontrol grubuna (5.88 g) göre daha yüksek bulunurken KE grubu (5.82 g), DP1E grubu (5.83 g) ve DP2E grubu (5.81 g) kabuk ağırlığını kontrol grubuna göre azaltmıştır. Muamelelerin KA ORT üzerine etkisi üzerine rakamsal olarak 5.96 g ile en yüksek kontrol grubunda tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla 5.94 g ile DP1 muamele grubu, 5.88 g ile DP2 muamele grubu, 5.83 g ile DP1E muamele grubu, 5.79 g ile DP2E muamele grubu ve 5.78 g ile KE muamele grubu izlemiştir. Muamele grupları kontrol grubuna göre KA ORT'u azaltmıştır.

Çizelge 4.11. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk ağırlığı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Kabuk Ağırlığı (g)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	5.92±0.08	5.88±0.07	6.07±0.05 ^A	5.96±0.05
KE	5.82±0.06	5.82±0.13	5.71±0.04 ^B	5.78±0.06
DP1	6.06±0.04	5.96±0.06	5.78±0.03 ^B	5.94±0.02
DP1E	5.82±0.11	5.83±0.06	5.85±0.07 ^B	5.83±0.07
DP2	5.80±0.13	5.97±0.07	5.87±0.08 ^B	5.88±0.08
DP2E	5.75±0.06	5.81±0.08	5.81±0.08 ^B	5.79±0.07
P-Değeri	0.156	0.557	0.004	0.233

^{A,B}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta kabuk ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, kabuk ağırlığının yalnızca sindirim etkinliğini arttırmaya yönelik enzim takviyeleriyle optimize edilemeyeceğini; esas olarak Ca ve P metabolizması, D vitamini regülasyonu ve uterus salgılarında bulunan spesifik matris proteinleriyle düzenlenen karmaşık bir biyolojik süreç olduğunu ortaya koymaktadır (Nys ve ark., 2004). Söz konusu proteinler (örneğin ovokleidin-17, ovokaliksin-32 ve osteopontin), kabuk dokusunun kristal morfolojisini ve yoğunluğunu belirleyerek mekanik özelliklerin oluşumunda kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, rasyonda sadece sindirim enzimlerinin kullanılması ile kabuk ağırlığının artırılması yeterli olmayabilir. Elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen benzer çalışmalarla da paralellik göstermektedir. Kayan ve ark. (2025), fitaz ve ksilanaz ilavesinin kabuk kırılma direncini arttırmasına rağmen kabuk ağırlığı üzerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Alagawany ve ark. (2020) ile Taşkesen ve Ceylan (2023), düşük proteinli veya AA'ca düşük rasyonlarda proteaz takviyesinin kabuk ağırlığı üzerinde belirgin bir etki sağlamadığını rapor etmişlerdir. Poudel ve ark. (2023) ise

proteaz takviyesi ile yemden yararlanma oranında iyileşme gözlenmesine rağmen, kabuk ağırlığında bir artış meydana gelmediğini belirtmiştir. Torki ve ark. (2015) tarafından yapılan bir diğer çalışmada da, yüksek sıcaklık koşullarında düşük proteinli rasyonlarla kabuk kalitesi korunurken, kabuk ağırlığında önemli bir değişiklik olmamıştır. Bu bulgular, kabuk ağırlığını arttırmaya yönelik stratejilerde yalnızca enzim veya AA takviyesinin yeterli olmadığını; uterus ortamındaki biyokimyasal süreçler ve kabuk matris proteinlerinin kabuk oluşumunda anahtar rol oynadığını göstermektedir Nys ve ark. (2004). Bununla birlikte, AA dengesinin sağlanması, sadece performans parametreleri açısından değil, aynı zamanda yumurta kalitesinin sürdürülebilirliği bakımından da büyük önem taşımaktadır. Özellikle lizin, metiyonin, treonin ve izolösin gibi temel AA'ların yetersizliği, uterus dokusunda protein sentezini ve mineral taşıyıcı proteinlerin ekspresyonunu sınırlandırarak kabuk yapısının olumsuz etkilenmesine yol açabilmektedir. Bahsedilen literatürlerin uyumluluğu çerçevesinde, bu çalışma, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin kabuk ağırlığı üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu; ancak yumurta kabuğu oluşumunun çok yönlü ve hassas bir biyomineralizasyon süreci olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kabuk kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yaklaşımlar, AA dengesi, mineral biyoyararlanımı ve uterus ortamının fizyolojik özellikleri birlikte ele alınarak bütüncül bir şekilde planlanmalıdır.

4.2.4. Kabuk oranı (KO)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk oranı üzerine etkileri Çizelge 4.12'de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12'ye göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk oranı üzerine muamelelerin 2. Periyot (KO2), 3. Periyot (KO3) ve ortalama kabuk oranına (KO ORT) etkisi istatistiki olarak önemli olurken ($P < 0.01$), 1. Periyot kabuk oranı (KO1) muamelelerden etkilenmemiştir ($P > 0.05$). Çalışmada KO2 değerleri %9.73 ile %10.31 değerleri arasında değişmiş olup, muamele gruplarının KO2 değerleri kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.01$). Muamele gruplarından DP2 muamele grubu (%10.31); kontrol grubu (%9.73), KE grubu (%9.83) ve DP1E grubuna (%9.98) göre önemli seviyede kabuk ağırlığını arttırmış olurken, DP2E grubu sadece kontrol

grubuna göre önemli düzeyde kabuk ağırlığını arttırmıştır ($P<0.01$). KE muamele grubu ve DP1E grubu KO2 üzerine benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Muamelelerin KO3 üzerine etkisi yönünden değerler %9.57 ile %10.09 değerleri arasında değişmiştir. Muamele grupları arasından %10.08 değerli DP2 ve %10.09 değerli DP2E grupları KO3'ü kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırırken ($P<0.01$), kendi aralarında benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Muamelelerin KO3 üzerine etkisi yönünden KE, DP1, DP1E ve DP2 grupları da kontrol grubu ile benzer etkiyi göstermiş olsa da KE, DP1 ve DP1E gruplarının KO3 değerlerinde kontrol grubuna göre rakamsal bir azalma gözlenmiştir ($P>0.05$). Muamelelerin KO ORT değerleri % 9.65 ile %10.09 arasında değişmiştir. Buna göre %10.09 değerli DP2 grubu kontrol grubu, KE grubu, DP1 ve DP1E gruplarına göre istatistiki olarak önemli seviyede KO ORT'u arttırmış olurken, %9.99 değerli DP2E grubu da kontrol grubu ve KE grubuna göre KO ORT'u arttırmıştır ($P<0.01$). Çalışmada en yüksek KO ORT değerleri DP2 ve DP2E gruplarında, en düşük KO ORT değerleri ise kontrol grubu ve KE grubunda bulunurken, aralarındaki etki benzerlik göstermiştir ($P>0.05$), DP1 ve DP1E gruplarının da arasında KO ORT üzerine etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.12. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk oranı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Kabuk Oranı (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	9.58±0.07	9.73±0.08 ^C	9.75±0.06 ^B	9.68±0.05 ^C
KE	9.55±0.12	9.83±0.17 ^{BC}	9.57±0.06 ^B	9.65±0.08 ^C
DP1	9.76±0.10	10.00±0.08 ^{ABC}	9.64±0.07 ^B	9.80±0.06 ^{BC}
DP1E	9.63±0.14	9.98±0.08 ^{BC}	9.74±0.07 ^B	9.78±0.07 ^{BC}
DP2	9.89±0.17	10.31±0.10 ^A	10.08±0.12 ^A	10.09±0.10 ^A
DP2E	9.74±0.08	10.15±0.11 ^{AB}	10.09±0.09 ^A	9.99±0.06 ^{AB}
P-Değeri	0.352	0.005	<0.0001	<0.0001

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Mevcut çalışmada, düşük HP düzeyine sahip (%14.8 HP, 0.65 sindirilebilir lizin) enzimli ve enzimsiz gruplarda kabuk oranının, kontrol grubuna (%16.8 HP) göre önemli şekilde yükselmesi; yumurta tavuklarında kabuk oranındaki artışın, yetersiz protein ve AA seviyelerine karşı gelişen bir adaptasyon mekanizması olabileceğini düşündürmektedir. Bu artış, düşük proteinli rasyonların yumurta büyüklüğünü azaltırken kabuk ağırlığını sabit tutması veya hafifçe arttırmasıyla ilişkilendirilebilmektedir. Çünkü yumurta içeriği (albümin ve sarı) azalırken, kabuk ağırlığı genellikle değişmemekte ve sonuç olarak kabuk oranı yükselmektedir (Poudel ve ark., 2023).

Düşük proteinli rasyonların kabuk kalitesine etkisi, esas olarak AA profilinin yeterliliğine bağlıdır. Liu ve ark. (2024c), optimum (%15.63 HP) protein seviyesinin kabuk oranını olumlu etkilediğini, çok düşük seviyelerin (%13.85 HP'nin altı) ise performans ve kaliteyi olumsuz etkileyebileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Van Harn ve ark. (2021), düşük proteinli (%12-14 HP) rasyonların kabuk oranında iyileşme sağlayabileceğini rapor etmiştir. Araştırmacılar, düşük protein seviyesinin yumurta içeriği (özellikle iç kalite) üzerinde sınırlayıcı bir etki yarattığı durumlarda yumurta ağırlığının azalabileceğini, buna karşılık kabuk mineralizasyonu ve matris proteinlerinin daha az etkilendiğini ve böylece kabuk oranında bir artış oluşabileceğini belirtmişlerdir. Gumphra ve ark. (2019) ile Poudel ve ark. (2023) da, protein seviyesi azaldığında yumurta iç kalitesinde azalma gözlenirken kabuk ağırlığının sabit kaldığını ve buna bağlı olarak kabuk oranının arttığını bildirmişlerdir. Rasyona enzim ilavesi, sindirilebilirliği ve mineral emilimini iyileştirse de, kabuk kalitesi üzerindeki etkisi genellikle dolaylıdır ve literatürde sonuçlar çelişkilidir (Cufadar ve ark., 2024). Mevcut çalışmada da, en yüksek kabuk oranı enzim takviyesi yapılmayan kontrol grubunda bulunmuştur; bu, artışın asıl nedeninin yumurta ağırlığındaki azalmadan kaynaklandığı düşünülebilir. Kabuk kalitesinin korunması için AA'ların dengeli ve yeterli düzeyde sağlanması gereklidir. Geng ve ark. (2021), kritik AA'ların eşik değerinin altına düşmesi halinde kabuk kalitesinin olumsuz etkileneceğini, ancak makul protein azaltımlarında bu etkinin minimize edilebileceğini belirtmiştir. Ayrıca, Ma ve ark. (2021) bağırsak sağlığının ve mikrobiyotasının korunmasının, mineral emilimi ve kabuk kalitesinin sürdürülebilirliği için önemli olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, düşük proteinli (%14.8 HP) rasyonlar kabuk oranını arttırabilmektedir; ancak bu etki, doğrudan kabuk kalitesinden ziyade yumurta ağırlığındaki azalmayla ilişkilidir. Rasyona enzim ilaveleri ise, sindirim ve mineral kullanımı üzerinde dolaylı yoldan olumlu etkilere sahip olmakla birlikte, kabuk kalitesi parametrelerinde her zaman belirgin bir değişim oluşturmamaktadır. Sürdürülebilir yumurta üretimi için düşük proteinli rasyonların ideal AA profili ve bağırsak sağlığını destekleyecek stratejilerle birlikte uygulanması önemlidir.

4.2.5. Kabuk kalınlığı (KK)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kalınlığı üzerine etkileri Çizelge 4.13’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13’e göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 2. Periyot kabuk kalınlığı (KK2), 3. Periyot kabuk kalınlığı (KK3) ve ortalama kabuk kalınlığına (KK ORT) etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P<0.05$; $P<0.01$; $P<0.05$), 1. periyot kabuk kalınlığı (KK1) üzerine etkisi önemsiz olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin KK2 değerleri 0.378 mm ile 0.396 mm arasında değişmiştir. Muamele gruplarının tamamının KK2 değerleri kontrol grubundan daha yüksek bulunurken, DP2 (0.396 mm) ve DP2E (0.390 mm) muamele grupları kontrol grubu (0.378 mm) ve KE gruplarına (0.381 mm) göre istatistiksel olarak önemli seviyede kabuk kalınlığını arttırmıştır ($P<0.05$). DP1 ve DP1E muamele gruplarının KK2’ye etkisi istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarının KK3’e etkisi incelendiğinde değerler 0.379 mm ile 0.399 mm arasında değişmiştir. En yüksek kabuk kalınlığı 0.399 mm değeri ile DP2E grubunda tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla 0.394 mm değeri ile DP2 grubu, 0.391 mm değeri ile DP1E grubu, 0.390 mm değeri ile kontrol grubu, 0.384 mm değeri ile DP1 muamele grubu ve 0.379 mm değeri ile KE muamele grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2E grubu KK3’ü kontrol grubu, KE grubu ve DP1 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış olurken, KE grubu KK3’ü kontrol grubuna göre önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Çalışmada KK3 üzerine DP1E ve DP2 grupları arasındaki etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin KK ORT değerleri 0.380 mm ile 0.392 mm değerleri arasında değişmiştir. Çalışmada KK ORT değerleri en yüksek DP2 grubunda (0.392 mm) tespit edilirken, bunu sırasıyla DP2E grubu (0.389 mm), DP1E grubu (0.384 mm), DP1 ve kontrol grubu (0.383 mm) ile KE grubu (0.380 mm) izlemiştir. Çalışmada KK ORT değerlerini DP2 ve DP2E grupları KE grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede artırırken ($P<0.05$), iki grup arasındaki etki birbirine benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarından DP1 ve DP1E grupları KK ORT üzerine kontrol grubuyla benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Muamelelerin KK1 üzerine etkileri 0.375 mm ile 0.385 mm arasında değişmiştir. Rakamsal olarak, DP2 muamele grubunun KK1 değeri kontrol

grubundan daha yüksek bulunmuş, diğer muamele gruplarının kabuk kalınlığı değerleri ise kontrol grubundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.13. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kalınlığı üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Kabuk kalınlığı (mm)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	0.381±0.004	0.378±0.003 ^c	0.390±0.003 ^{BC}	0.383±0.003 ^{ab}
KE	0.380±0.004	0.381±0.005 ^{bc}	0.379±0.002 ^D	0.380±0.003 ^b
DP1	0.378±0.005	0.388±0.003 ^{abc}	0.384±0.002 ^{CD}	0.383±0.002 ^{ab}
DP1E	0.375±0.006	0.386±0.002 ^{abc}	0.391±0.002 ^{AB}	0.384±0.002 ^{ab}
DP2	0.385±0.007	0.396±0.004 ^a	0.394±0.003 ^{AB}	0.392±0.004 ^a
DP2E	0.377±0.002	0.390±0.003 ^{ab}	0.399±0.003 ^A	0.389±0.002 ^a
P-Değeri	0.782	0.012	0.003	0.036

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B,C,D}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Mevcut çalışmada, sindirilebilir en düşük lizin seviyesine (%0.65 lizin, %14.8 HP) sahip enzimli ve enzimsiz gruplarda kabuk kalınlığının, kontrol grubunun enzimli grubuna (%16.8 HP+ME) göre önemli şekilde arttığı saptanmıştır. Buna karşılık, orta düzeyde azaltılmış AA'lı rasyonlar (%15 HP, %0.70 lizin) hem enzimli hem de enzimsiz gruplarda kontrol grubuyla benzer kabuk kalınlığı değerleri göstermiştir. Bu bulgu, düşük AA'lı rasyonların ve multienzim ilavesinin yumurta kabuk kalınlığı üzerindeki etkileri açısından literatürle uyumludur. Kabuk kalınlığı, kabuk matriksinin mineralizasyonu ve protein yapısıyla yakından ilişkilidir. Düşük protein ve AA seviyeleri içeren rasyonlarda metiyonin ve lizin gibi kritik AA'ların optimal düzeyde bulunmasının, yumurta kabuk kalınlığını arttırabildiği bildirilmektedir (Alagawany ve ark., 2020). Bunu destekleyen birçok çalışmada, protein seviyesinin uygun AA dengesiyle düşürülmesinin kabuk kalitesinde bozulmaya yol açmadığı; hatta bazen kısmi iyileşmeler sağlayabileceği belirtilmiştir (Tenesa ve ark., 2016; Heo ve ark., 2023; Liu ve ark., 2024c; Kayan ve ark., 2025). Mevcut çalışmada da orta düzeyde azaltılmış AA içeren gruplarda bu durum gözlenmiştir. En düşük proteinli grupta gözlenen kabuk kalınlığı artışı, yumurta büyüklüğünün küçülmesine ve mevcut Ca'nın daha küçük yüzey alanına daha yoğun dağılmasına bağlanabilir (Geng ve ark., 2021; Van Harn ve ark., 2021). Bununla birlikte, Poudel ve ark. (2023), kritik AA düzeylerinin altına inildiğinde, yumurta kabuk kalınlığının beklenmedik şekilde artabileceğini, bunun da yumurta büyüklüğündeki azalma ve kabuk mineralizasyonundaki yoğunluk artışı ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Enzim ilavesinin, protein, AA ve mineral sindirilebilirliğini arttırarak dolaylı

olarak kabuk kalitesine katkı sağladığı, fakat kabuk kalınlığı üzerindeki doğrudan etkilerinin çoğunlukla sınırlı olduğu bildirilmiştir (Torki ve ark., 2015; Pongmanee ve ark., 2020; Taşkesen ve Ceylan, 2023; Cufadar ve ark., 2024; Huang ve ark., 2024b). Sonuç olarak, düşük AA'lı rasyonlar, yumurta büyüklüğündeki azalma ve mineral dağılımındaki yoğunlaşma nedeniyle kabuk kalınlığında artışa yol açabilir. Multienzim takviyesi ise bu süreçte dolaylı yoldan katkı sağlayabilmektedir. Protein seviyesinin dikkatli şekilde azaltılması ve AA dengesinin sağlanması, kabuk kalitesinin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır.

4.3. Yumurta İç Kalite Özellikleri

4.3.1. Ak indeksi (Aİ)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ak indeksi üzerine etkileri Çizelge 4.14'de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14'e göre, Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. periyot ak indeksi (Aİ1), 2. Periyot ak indeksi (Aİ2), 3. Periyot ak indeksi (Aİ3) ve ortalama ak indeksine (Aİ ORT) etkileri istatistiksel olarak önemsiz olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin Aİ1 değerleri rakamsal olarak %12.05 ile %13.52 arasında değişmiş olup, muamele gruplarından KE grubu (%13.40), DP1E grubu (%13.46) ve DP2 grubunda (%12.05) kontrol grubundan (%13.47) daha düşük tespit edilmiş, DP1 muamele grubunda (%13.52) kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Muamele gruplarının Aİ2 üzerine etkileri rakamsal olarak en yüksek DP2E grubunda (%14.00) tespit edilirken, en düşük DP2 grubunda bulunmuştur. Rakamsal olarak sadece DP2 muamele grubu kontrol grubuna göre Aİ2'yi azaltırken diğer muamele grupları kontrol grubuna göre arttırmıştır. Muamelelerin Aİ3 değerleri %11.61 ile %12.82 arasında değişmiş olup, en yüksek Aİ3 değeri DP1E muamele grubunda (%12.82) bulunmuş, bunu sırasıyla DP2E muamele grubu (%12.78), KE muamele grubu (%12.64), DP1 muamele grubu (%12.28), kontrol grubu (%12.16) ve DP2 muamele grubu (%11.61) izlemiştir. Bu parametrede de Aİ2'de olduğu gibi rakamsal açıdan DP2 grubunda kontrol grubuna göre azalma gözlenmiş, diğer muamele grupları Aİ3'ü kontrol grubuna göre arttırmıştır. Muamele gruplarının Aİ ORT değerleri

rakamsal olarak %12.11 ile en düşük DP2 grubunda tespit edilirken, %13.39 değeri ile en yüksek DP2E grubunda bulunmuş, DP2 muamele grubu rakamsal olarak kontrol grubuna göre daha düşük bulunurken Aİ ORT değerlerini diğer muamele grupları kontrol grubuna göre arttırmıştır.

Çizelge 4.14. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ak indeksi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Ak İndeksi (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	13.47±0.71	12.98±0.31	12.16±0.28	12.87±0.36
KE	13.40±0.48	13.18±0.40	12.64±0.32	13.07±0.31
DP1	13.52±0.43	13.44±0.28	12.28±0.28	13.08±0.26
DP1E	13.46±0.49	13.57±0.53	12.82±0.37	13.28±0.43
DP2	12.05±0.37	12.67±0.36	11.61±0.40	12.11±0.31
DP2E	13.41±0.64	14.00±0.45	12.78±0.46	13.39±0.47
P-Değeri	0.344	0.249	0.155	0.183

Ak indeksi, yumurta akının jel yapısının bütünlüğünü ve viskozitesini yansıtan önemli bir iç kalite parametresidir. Albümin sentezi, büyük oranda karaciğerde gerçekleşmekte olup, bu süreçte yeterli düzeyde EAA'lar ve esansiyel olmayan AA'ların varlığı kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, rasyondaki protein seviyesi veya AA dengesi, doğrudan albümin yapısının sentezini ve dolayısıyla ak indeksini etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Ancak bu çalışmada olduğu gibi, rasyondaki HP seviyesi azaltılmış olsa da (%16.8 → %15.8 → %14.8), eğer rasyon sentetik AA'larla dengelenmişse, tavukların albümin sentezi kapasitesi korunabilir. Böyle bir durumda, düşük proteinli rasyonlar yumurta üretimini veya ak kalitesini sınırlamadan, yeterli AA temini sayesinde ak indeksini stabil tutabilir. Ayrıca, protein miktarından çok protein kalitesinin, yani AA kompozisyonunun daha belirleyici olduğu aşağıdaki literatürlerle de vurgulanmaktadır. Öte yandan, düşük proteinli rasyonlara multienzim (örneğin proteaz, ksilanaz, fitaz) ilavesi, özellikle protein sindirilebilirliğini ve bağırsakta AA emilimini arttırmayı hedeflese de, bu tür enzimlerin doğrudan albümin yapısını veya sentez sürecini etkileyici bir biyolojik mekanizmaya sahip olmaması, ak indeksinde önemli bir farklılık gözlenmemesinin nedeni olabilir. Nitekim Polat ve Denli (2019), hem ksilanaz, β -glukanaz, selüloz, α -amilaz ve proteaz içeren hem de yalnızca ksilanaz ve β -glukanaz içeren multienzim karışımlarının ak indeksine ve Haugh birimine önemli bir etki göstermediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Malomo ve ark. (2023) da düşük proteinli (%13.5 HP) ancak metiyonin ve lizin ile dengelenmiş rasyonlara proteaz ve NSPaz

enzimlerinin (β -glukanaz, ksilanaz, selülaz, pektinaz) ilavesinin performansı iyileştirdiğini fakat yumurta kalite parametrelerinden biri olan ak indeksini etkilemediğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, ak indeksinin yalnızca protein düzeyiyle değil, aynı zamanda albümin sentezi için gerekli spesifik AA'ların (özellikle lizin, izolösin ve metiyonin) yeterli ve dengeli temini ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ullah ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, rasyonda farklı izolösin seviyelerinin uygulanmasının ak indeksi üzerine önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Dolayısıyla bu durum, yumurta albümin yapısının rasyonda yalnızca protein miktarına değil, aynı zamanda rasyondaki AA'ların oranlarına bağlı olduğu söylenebilir. Buna karşılık, Resende ve ark. (2017), metabolik enerji ve HP düzeyi düşürülmüş rasyonlara multienzim ilavesinin, yumurta ak indeksini etkilediğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında enzimsiz %14.68 HP'li rasyonun sentetik AA takviyesi ile EAA dengesi korunmuşsa, ak indeksinin olumsuz etkilenmeyebileceğini ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada, multienzimli gruplardaki (β -glukanaz, β -ksilanaz, selülaz ve fitaz) ak indeksindeki rakamsal azalma rasyona proteaz ilave edilmediği için tavukların sindirim sistemindeki enzimatik aktivitesi sınırlı kalmış ve protein yapı taşlarının emilimi albümin sentezini destekleyecek ölçüde gerçekleşmemiş olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış HP içeren ve multienzimle desteklenmiş rasyonlara rağmen ak indekisinde istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmemesi, yumurta albümin sentezinin yalnızca rasyonun toplam protein düzeyine değil, AA profilinin dengesine ve biyoyararlanımına bağlı olarak sürdürülebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ak indeksinin fizyolojik olarak oldukça dirençli bir kalite göstergesi olduğunu, kısa süreli veya sınırlı protein azaltmalarından etkilenmeyebileceğini göstermiştir.

4.3.2. Sarı indeksi (Sİ)

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sarı indeksi üzerine etkileri Çizelge 4.15’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-15’de verilmiştir.

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. periyot sarı indeksi (Sİ1), 3. Periyot sarı indeksi (Sİ3) ve ortalama sarı indeksi (Sİ ORT) üzerine etkileri istatistiki olarak önemli seviyede etkilenirken ($P<0.01$; $P<0.05$; $P<0.05$), 2. Periyot sarı indeksi (Sİ2) muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarının Sİ1 değerleri üzerine en yüksek %46.77 değeri ile DP1 muamele grubunda bulunurken bunu sırasıyla %46.69 değeri ile DP1E grubu, %46.34 değeri ile DP2E grubu, %46.15 değeri ile KE grubu, %45.93 değeri ile kontrol grubu ve %44.34 değeri ile DP2 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 grubu (%44.34) kontrol ve diğer gruplara göre istatistiksel olarak önemli seviyede Sİ1’i azaltmıştır ($P<0.01$). Muamele gruplarından kontrol grubu, KE grubu, DP1 grubu, DP1E grubu ve DP2E grubu arasında Sİ1 benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Muamelelerin Sİ3 değerleri %45.62 ile %47.23 arasında değişmiştir. Çalışmada Sİ3 değerleri en yüksek DP2E grubundan (%47.23) elde edilmiş olup, bunu sırasıyla DP1E grubu (%46.86), kontrol grubu (%46.52), DP1 grubu (%45.88), KE grubu (%45.65) ve DP2 grubu (%45.62) izlemiştir. Muamelelerin Sİ3’e etkisi yönünden DP2E grubu KE, DP1 ve DP2 gruplarına göre istatistiksel olarak önemli derecede Sİ3’ü arttırmış olurken ($P<0.05$), KE grubu, DP1 grubu ve DP2 arasında istatistiksel olarak Sİ3 üzerine etkileri benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte Sİ3 üzerine kontrol grubu ve DP1E grupları da kendi aralarında benzer etki göstermişlerdir ($P>0.05$). Muamelelerin Sİ ORT değerleri %44.86 ile %46.46 değerleri arasında değişmiştir. Muamele gruplarından DP2 grubu (%44.86) kontrol ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede ortalama sarı indeksi değerini azaltmıştır ($P<0.05$). Çalışmada Sİ ORT üzerine göre en yüksek değere %46.46 ile DP1 muamele grubunda ulaşılmış olurken, DP1E grubu (%46.41), DP2E grubu (%46.36), kontrol grubu (%46.01), KE grubu (%45.98) ile aralarında Sİ ORT üzerine etki benzer olmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.15. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sarı indeksi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Sarı İndeksi (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	45.93±0.41 ^A	45.59±0.40	46.52±0.31 ^{ab}	46.01±0.31 ^a
KE	46.15±0.38 ^A	46.13±0.33	45.65±0.38 ^b	45.98±0.24 ^a
DP1	46.77±0.75 ^A	46.74±0.69	45.88±0.39 ^b	46.46±0.50 ^a
DP1E	46.69±0.17 ^A	45.67±0.57	46.86±0.25 ^{ab}	46.41±0.30 ^a
DP2	44.34±0.26 ^B	44.61±0.48	45.62±0.47 ^b	44.86±0.25 ^b
DP2E	46.34±0.28 ^A	45.51±0.60	47.23±0.56 ^a	46.36±0.26 ^a
P-Değeri	0.002	0.132	0.030	0.010

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P < 0.05$).

^{A,B}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P < 0.01$).

Mevcut çalışmada, %14.8 HP ve %0.65 sindirilebilir lizin içeren multienzimsiz rasyon uygulamasında, yumurta sarı indeksinin hem kontrol grubuna (%16.8 HP, %0.77 lizin) hem de diğer gruplara (%15.8 HP, %0.70 lizin, enzimli ve enzimsiz) göre önemli derecede düşük olması, düşük proteinli ve AA'ca kısıtlı rasyonların yumurta iç kalite parametreleri üzerinde belirgin olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Sarı indeksindeki bu düşüş, özellikle lizin gibi ilk sınırlayıcı AA'ların yetersizliğine bağlı olarak, karaciğerde sentezlenen ve yumurta sarısının temel proteinlerini oluşturan vitellogenin gibi öncü proteinlerin üretimini azaltır. Böylece, yumurta sarısına aktarılan protein miktarı düşer; sarı, normalde olması gereken hacim ve kıvama ulaşamaz ve daha basık (yassı) bir hale gelir. Bu durum yumurta sarısı gelişiminde ve protein sentezinde yaşanan kısıtlamalarla ilişkilendirilebilir (Torki ve ark., 2015; Alagawany ve ark., 2020). Buna karşılık, düşük proteinli (%14.8 HP) rasyona multienzim ilavesiyle elde edilen yumurtalarda sarı indeksinin kontrol grubu ile benzer bulunması, multienzim takviyesinin düşük proteinli rasyonlarda yumurta sarı kalitesinin korunmasında ve hatta iyileştirilmesinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmadaki bulguların aksine, Kashani ve ark. (2014), fitaz enzimi ilavesinin düşük proteinli rasyonlarda sarı indeksinde azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Polat ve Denli (2019) de yumurta tavuğu rasyonlarına multienzim ilavesinin, kontrol grubuna kıyasla sarı indeksini düşürdüğünü rapor etmiştir. Torki ve ark. (2015) düşük protein ve AA'larla desteklenen rasyonların yumurta sarısı kalitesine etkilerini sıcak iklim koşullarında incelemiş ve düşük proteinli rasyonlarda yeterli AA dengesinin sağlanmasıyla yumurta sarısının kalitesi üzerinde herhangi bir olumsuz etkinin oluşmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, AA takviyesi ve multienzimlerin birlikte kullanımının, düşük proteinli rasyonlarda sarı indeksi gibi parametreleri kontrol grubu seviyesinde tutabildiğini

açıklamıştır. Böylelikle, rasyon protein seviyesi düşük olsa bile uygun AA takviyelerinin kullanılması halinde yumurta sarı kalitesinin korunabileceği vurgulanmıştır. Alagawany ve ark. (2020), protein düzeyinin düşürüldüğü rasyonlarda yumurta kalitesi üzerine yaptıkları araştırmada, sarı indeksinin düşük proteinli rasyonlarda EAA'ların yeterli miktarda karşılanması durumunda olumsuz etkilenmediğini belirtmişlerdir. Ancak araştırmacılar, protein düzeyinin aşırı azaltılması ve AA eksikliklerinin, yumurta sarısının yapısal bütünlüğünü etkileyerek indeks değerlerinde düşüşe yol açabileceğini ifade etmişlerdir. Sun ve Kim (2019) tarafından yürütülen çalışmada, multienzim ilavesinin düşük proteinli rasyonlarda AA'ların sindirilebilirliğini iyileştirerek yumurta sarı kalitesini koruyucu etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, multienzim takviyelerinin, rasyondaki sindirimi zor olan besinlerin (NOP'lar, lif vb.) sindirilebilirliğini arttırarak AA'ların ve diğer temel besin maddelerinin bağırsaktan emilimini güçlendirdiğini, böylece yumurta sarısı kalitesinin, düşük protein seviyelerine rağmen korunabildiğini ortaya koymuşlardır. Buna karşılık Adeyemo ve ark. (2012), AA eksikliğinin yumurta tavuklarında özellikle sarı indeksinin ve sarı kalitesinin bozulmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Yeterince AA sağlanamadığında yumurta sarısının yüksekliği ve şeklinin bozulduğu, sarı indekste de buna bağlı düşüşlerin görüldüğü belirtilmiştir.

Sonuç olarak, mevcut çalışmada, %14.8 HP ve %0.65 sindirilebilir lisin içeren enzimsiz rasyon grubunda sarı indekste görülen belirgin düşüş, AA eksikliği ile ilişkilendirilirken, enzim ilavesi ile birlikte AA'ların etkin kullanımının artması ve böylece yumurta sarı kalitesinin korunması mümkün olmaktadır. Bu sonuç, literatürdeki çalışmalar ile benzer olup, pratik uygulamalarda proteini azaltılmış rasyonlarda AA dengesi ve multienzim kullanımının önemini vurgulamıştır.

4.3.3. Haugh birimi

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında Haugh birimi üzerine etkileri Çizelge 4.16'da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16'ya göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında 1. Periyot Haugh birimi (HAUGH1), 2. Periyot Haugh birimi (HAUGH2), 3. Periyot Haugh birimi (HAUGH3) ve ortalama

Haugh birimi (HAUGH ORT) üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarının HAUGH1 üzerine değerler rakamsal olarak %94.52 ile %99.21 değerleri arasında değişmiştir. Rakamsal olarak muamele gruplarından sadece DP1 grubu Haugh birimini kontrol grubuna göre arttırmış olup diğer muamele grupları kontrol grubuna göre HAUGH1'i düşürmüştür. Muamelenin HAUGH2 üzerine etkisi yönünden değerler %97.39 ile %100.52 arasında değişmiş olup, en yüksek Haugh birimi değeri rakamsal olarak DP2E grubunda (%100.52) bulunmuş, bunu sırasıyla DP1E grubu (%99.43), DP1 grubu (%98.70), KE grubu (%97.83), kontrol grubu (%97.59) ve DP2 grubu (%97.39) izlemiştir. Muamele grupları HAUGH2 üzerine rakamsal olarak DP2 grubunda kontrol grubuna göre düşük çıkarken, diğer muamele gruplarında kontrol grubuna göre yüksek çıkmıştır. Muamelelerin HAUGH3 üzerine etkisi bakımından rakamsal olarak en yüksek %97.31 değeri ile DP2E grubunda ulaşılmış, bunu sırasıyla %97.20 değeri ile DP1E grubu, %96.77 değeri ile KE grubu, %96.10 değeri ile DP1 grubu, %95.37 değeri ile kontrol grubu takip etmiş, en düşük değer ise %94.47 ile DP2 grubunda tespit edilmiştir. Muamelelerin HAUGH1 ve HAUGH2 değerlerinde olduğu gibi bu parametrede de DP2 muamele grubu kontrol grubuna göre rakamsal olarak Haugh birimini düşürmüş, diğer muamele grupları kontrol grubuna göre Haugh birimini arttırmıştır. Muamelelerin HAUGH ORT üzerine etkisi rakamsal olarak %95.46 ile %98.64 değerleri arasında değişmiş olup en yüksek değere DP2E grubunda (%98.64) ulaşılmış, bunu sırasıyla DP1E grubu (%98.32), DP1 grubu (%98.01), KE grubu (%97.41), kontrol grubu (%97.15) ve DP2 grubu (%95.46) izlemiştir. Muamelelerin HAUGH ORT üzerine etkisi incelendiğinde diğer parametrelerde olduğu gibi DP2 grubu rakamsal olarak kontrol grubuna göre HAUGH ORT'u azaltmış, diğer muameleler ise kontrol grubuna göre arttırmıştır.

Çizelge 4.16. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında Haugh birimi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Haugh Birimi (%)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	98.48±1.49	97.59±0.81	95.37±0.91	97.15±0.77
KE	97.63±1.24	97.83±1.07	96.77±0.83	97.41±0.67
DP1	99.21±1.10	98.70±0.61	96.10±0.74	98.01±0.62
DP1E	98.32±1.13	99.43±1.24	97.20±0.96	98.32±1.03
DP2	94.52±0.96	97.39±0.91	94.47±1.07	95.46±0.83
DP2E	98.10±1.68	100.52±1.19	97.31±1.17	98.64±1.22
P-Değeri	0.172	0.210	0.258	0.161

Haugh birimi, yumurta kalitesini değerlendirmede temel bir parametre olup özellikle ak yüksekliğiyle yakından ilişkilidir. Yüksek Haugh birimi, taze ve kaliteli albümini yansıtırken, zamanla ve depolama süresiyle birlikte Haugh birimi düşer. Beslenme, yaş, genetik yapı ve çevresel koşullar da bu değeri etkileyen önemli faktörlerdir. Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin Haugh birimi üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, Van Harn ve ark. (2021) tarafından yapılan ve %16.1'den %14.7'ye düşen protein seviyelerinin Haugh biriminde önemli bir değişikliğe yol açmadığı; daha düşük protein seviyelerinde (%13.5 ve %12.0) ise sadece rakamsal bir azalma olduğu yönündeki bulgularla örtüşmektedir. Gumpha ve ark. (2019) ile Ma ve ark. (2021) de protein seviyesi azaltıldığında Haugh biriminde belirgin bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bazı çalışmalar (Adeyemo ve ark., 2012; Huang ve ark., 2024b) düşük proteinli rasyonların veya multienzim ilavesinin Haugh biriminde değişiklikler yaratabileceğini ortaya koymuştur. Örneğin, Huang ve ark. (2024b) multienzim ilavesinin Haugh birimini arttırdığını, bunun da enzimlerin besin sindirilebilirliğini ve AA emilimini iyileştirmesiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Diğer taraftan, Kayan ve ark. (2025) ise fitaz ve ksilanaz ilaveli düşük proteinli rasyonların Haugh birimi üzerinde önemli bir etki oluşturmadığını göstermiştir. Torki ve ark. (2015) ise, yüksek sıcaklık altında yürüttükleri çalışmada, %16.5 HP'lik kontrol grubuna kıyasla %15.0, %13.5 ve %12.0 HP'li gruplarda Haugh biriminde önemli bir farklılık olmadığını bildirmişlerdir. Genel olarak, düşük proteinli rasyonlar ve multienzim ilavesi, eğer protein ve AA dengesi korunuyorsa, Haugh birimi üzerinde doğrudan ve tutarlı bir etki göstermemektedir. Ancak multienzim takviyesi, protein sindirimini ve AA emilimini artırarak dolaylı yoldan yumurta kalitesine katkı sağlayabilmektedir. Protein ve AA dengesinin korunması ise, yumurta albümin kalitesinin sürdürülebilmesi açısından kritik önemdedir.

4.3.4. Yumurta sarısı renk özellikleri

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı renk özelliklerinden yumurta sarısı rengi L* değeri üzerine etkileri Çizelge 4.17'de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-17'de verilmiştir.

Buna göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta sarısı renk özelliklerinden 1. Periyot L* değeri ve ortalama L* değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli olurken ($P<0.05$; $P<0.01$), 2. Periyot L* değeri ve 3. Periyot L* değerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin tamamında 1. Periyot L* değeri ve ortalama L* değeri kontrol grubundan daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$; $P<0.01$). Muamelelerin 1. Periyot L* değerine etkisi 61.90 değeri ile en yüksek DP1E grubunda elde edilmiş olup, bunu sırasıyla 61.18 değeri ile DP2E grubu, 60.57 değeri ile DP2 grubu, 60.00 değeri ile DP1 grubu, 59.67 değeri ile KE grubu takip etmiş, en düşük değer ise 59.29 değeri ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Muamele gruplarından DP1E grubu kontrol, KE ve DP1 gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede L* değerini arttırmış, bununla birlikte DP2E grubunda da kontrol grubuna göre istatistiksel olarak daha yüksek L* değeri elde edilmiştir. Muamele gruplarından KE ve DP1 grupları arasında 1. Periyot L* değeri üzerine etki benzer olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin ortalama L* değerine etkisi 59.45 ile 61.90 değerleri arasında değişmiş olup, DP1E ve DP2E grupları kontrol grubu ve KE gruplarına göre L* değerini istatistiksel olarak önemli derecede arttırmışlardır ($P<0.01$). Çalışmada, ortalama L* değeri üzerine DP1 ve DP2E grupları arasındaki etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Rakamsal olarak ikinci periyot L* değeri üzerine muamele gruplarından KE grubunda 2. Periyot L* değeri kontrol grubundan daha düşük bulunurken diğer muamele gruplarında kontrol grubundan daha yüksek tespit edilmiştir. Çalışmada 3. Periyot L* değerinde ise KE ve DP1E grupları rakamsal olarak L* değerini kontrol grubuna göre azaltırken DP1 grubu, DP2 grubu ve DP2E grupları kontrol grubuna göre 3. Periyot L* değerini arttırmıştır.

Çizelge 4.17. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi L* değeri üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yumurta Sarısı Rengi L* Değeri (koyuluk/açıklık)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	59.29±0.60 ^c	60.19±0.38	58.86±0.52	59.45±0.33 ^C
KE	59.67±0.80 ^{bc}	59.76±0.58	58.71±0.35	59.63±0.56 ^{BC}
DP1	60.00±0.47 ^{bc}	61.45±0.72	59.06±0.70	60.73±0.55 ^{ABC}
DP1E	61.90±0.60 ^a	61.90±0.96	58.74±0.36	61.90±0.75 ^A
DP2	60.57±0.25 ^{abc}	61.68±0.63	59.01±0.46	61.13±0.37 ^{AB}
DP2E	61.18±0.41 ^{ab}	61.88±0.25	59.98±0.23	61.53±0.30 ^A
P-Değeri	0.016	0.076	0.991	0.005

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı renk özelliklerinden yumurta sarısı rengi a^* değeri üzerine etkileri Çizelge 4.18’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18’e göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta sarısı renk özelliklerinden 1. Periyot a^* değeri, 2. Periyot a^* değeri, 3. Periyot a^* değeri ve ortalama a^* değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$; $P<0.01$). Muamelelerin 1. Periyot a^* değerleri - 3.54 ile - 4.26 arasında değişmiş olup en yüksek a^* değeri - 3.54 ile DP2E grubundan elde edilmiş bunu sırasıyla - 3.58 değerli DP2 grubu, - 3.72 değerli DP1E grubu, - 3.87 değerli DP1 grubu, - 3.99 değerli KE grubu ve - 4.27 değerli kontrol grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2E grubu, DP2 grubu ve DP1E grubu kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede 1. Periyot a^* değerini arttırmış olup ($P<0.05$), bu üç muamele arasındaki etki istatistiksel olarak benzer olmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte KE ve DP1 muamele grupları arasında da a^* değerine yönelik istatistiksel olarak herhangi bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$). Muamelelerin 2. Periyot a^* değerine etkisi - 3.99 ile - 5.04 arasında değişmiştir. İkinci periyot a^* değerine muamelelerin etkisi en yüksek DP2E grubundan (- 3.99) elde edilmiş bunu sırasıyla DP1E muamele grubu (- 4.04), KE grubu (- 4.28), DP2 grubu (- 4.30), DP1 grubu (- 4.49) ve kontrol grubu (- 5.04) izlemiştir. Muamele gruplarının tamamı 2. Periyot a^* değerini kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış olup, DP1E grubu ve DP2E grubunun a^* değeri aynı zamanda DP1 grubundan da istatistiksel olarak önemli seviyede yüksek bulunmuştur ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP1E ve DP2E arasında a^* değerindeki bu artışa yönelik benzer etki bulunmuş olup, KE grubu ve DP2 arasında da aynı benzer etki tespit edilmiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarının 3. Periyot a^* değerleri - 1.56 ile en yüksek DP2E grubunda tespit edilmiş bunu sırasıyla - 1.58 değeri ile DP2 grubu, - 2.30 değeri ile DP1E grubu, - 2.40 değeri ile DP1 grubu, - 3.80 değeri ile KE grubu ve - 3.82 ile kontrol grubu izlemiştir. Çalışmada muamele gruplarının 3. Periyot a^* değerine etkisi yönünden DP2 grubu ve DP2E grubu arasında benzer etki göstermesinin yanında ($P>0.05$), kontrol ve diğer muamele gruplarından istatistiksel olarak en fazla artışı göstermiştir ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP1 ve DP1E grupları kendi aralarında benzer etki gösterirken ($P>0.05$), 3. periyot a^* değeri istatistiksel olarak önemli seviyede

DP2 grubu ve DP2E grubundan daha düşük bulunmuş, kontrol grubu ve KE grubundan ise istatistiksel olarak daha yüksek tespit edilmiştir ($P<0.01$). Çalışmada en düşük 3. Periyot a^* değeri kontrol grubu ve KE grubu arasında tespit edilmiş olup, iki grup arasında istatistiksel olarak benzer etki bulunmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin ortalama a^* değerine etkisi - 3.03 ile - 4.38 arasında değişmiş olup, en yüksek ortalama a^* değeri - 3.03 ile DP2E grubunda tespit edilmiş bunu sırasıyla - 3.15 değeri ile DP2 grubu, - 3.35 değeri ile DP1E grubu, - 3.59 ile DP1 grubu, - 4.03 ile KE grubu ve - 4.38 ile kontrol grubu izlemiştir. Muamele gruplarının tamamında ortalama a^* değeri kontrol grubundan daha yüksek bulunurken, DP2E ve DP2 muamele grupları istatistiksel olarak önemli seviyede DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre ortalama a^* değerini arttırmıştır. DP1 grubunda ortalama a^* değeri istatistiksel olarak önemli seviyede DP2E grubuna göre azalırken KE ve kontrol grubuna göre artış göstermiş, KE muamele grubunun a^* değeri ise DP2E grubu, DP2 grubu, DP1E grubu ve DP1 grubundan istatistiksel olarak önemli seviyede daha düşük, kontrol grubundan ise daha yüksek bulunmuştur ($P<0.01$).

Çizelge 4.18. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi a^* değeri üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yumurta Sarısı Rengi a^* Değeri (kırmızı/yeşil)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	-4.27±0.10 ^b	-5.04±0.07 ^C	-3.82±0.11 ^C	-4.38±0.05 ^E
KE	-3.99±0.16 ^{ab}	-4.28±0.13 ^{AB}	-3.80±0.08 ^C	-4.03±0.09 ^D
DP1	-3.87±0.16 ^{ab}	-4.49±0.18 ^B	-2.40±0.20 ^B	-3.59±0.15 ^C
DP1E	-3.72±0.19 ^a	-4.04±0.07 ^A	-2.30±0.10 ^B	-3.35±0.08 ^{BC}
DP2	-3.58±0.22 ^a	-4.30±0.09 ^{AB}	-1.58±0.12 ^A	-3.15±0.13 ^{AB}
DP2E	-3.54±0.18 ^a	-3.99±0.13 ^A	-1.56±0.06 ^A	-3.03±0.09 ^A
P-Değeri	0.039	<0.0001	<0.0001	<0.0001

^{a,b}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.05$).

^{A,B,C,D,E}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı renk özelliklerinden yumurta sarısı rengi b^* değeri üzerine etkileri Çizelge 4.19’da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-19’da verilmiştir.

Buna göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta sarısı renk özelliklerinden 1. Periyot b^* değeri, 2. Periyot b^* değeri, 3. Periyot b^* değeri ve ortalama b^* değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli

olmuştur ($P<0.01$). Muamelelerin 1. Periyot b^* değerleri 35.62 ile 40.72 değerleri arasında değişmiştir. En yüksek b^* değeri DP2E grubunda (40.72) bulunurken bunu sırasıyla DP2 grubu (39.41), DP1E grubu (38.85), KE grubu (38.58), DP1 grubu (38.13) ve kontrol grubu (35.62) izlemiştir. Muamelelerin tamamı kontrol grubuna göre önemli düzeyde 1. Periyot b^* değerini arttırmış olurken, DP2E grubu, 1. Periyot b^* değerini DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmıştır ($P<0.01$). Muamele gruplarından KE grubu ve DP1 grubunda b^* değeri DP2E grubuna göre azalmış olup, kontrol grubuna göre artmıştır ($P<0.01$). KE grubu ve DP1 grubu arasında b^* değeri üzerindeki etki istatistiki olarak benzer bulunurken, DP1E ve DP2 grupları arasında da b^* değeri üzerine benzer etki tespit edilmiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarının 2. Periyot b^* değeri üzerine etkisi en yüksek 39.65 değeri ile DP1E grubunda bulunurken bunu sırasıyla, 38.65 ile DP2E grubu, 38.22 değeri ile DP2 grubu, 36.82 değeri ile KE grubu, 36.18 değeri ile DP1 grubu ve 32.52 değeri ile kontrol grubu izlemiştir. Muamele gruplarının tamamında 1. Periyot b^* değerinde olduğu gibi bu periyotta da istatistiksel olarak kontrol grubuna göre daha yüksek b^* değeri bulunmuş olup, DP1E grubu; DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre b^* değerini istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmıştır ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP2E grubunda ise istatistiksel olarak önemli düzeyde DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre daha yüksek b^* değeri bulunmuştur ($P<0.01$). Bununla birlikte DP1 grubu, DP1E grubu ile DP2E grubuna göre 2. Periyot b^* değerini istatistiki olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Muamelelerin 3. Periyot b^* değerine etkisi incelendiğinde ise değerler 37.05 ile 42.80 değerleri arasında değişmiş olup, en yüksek değer 42.80 ile DP2E grubunda bulunurken bunu sırasıyla, 42.66 ile DP2 grubu, 39.47 ile DP1E grubu, 39.36 ile DP1 grubu, 37.08 ile kontrol grubu ve 37.05 ile KE grubu izlemiştir. Ayrıca muamele gruplarından DP2E ve DP2 grubu diğer muamele grupları ve kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede b^* değerini arttırırken ($P<0.01$), iki muamele grubu arasında b^* değerine olan etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarından DP1 ve DP1E grupları da kendi aralarında benzer etki göstermiş olup ($P>0.05$), 3. Periyot b^* değerini istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol ve KE grubuna göre arttırmış, DP2 ve DP2E gruplarına göre de azaltmışlardır ($P<0.01$). Kontrol grubu ve KE grubu arasında ise istatistiksel olarak 3. Periyot b^* değeri üzerine etki önemsiz olmuştur ($P>0.05$). Muamelelerin ortalama b^* değerine etkisi 35.07 ile 40.72 değerleri arasında değişmiş olurken, en yüksek b^* değeri DP2E grubunda (40.72) tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla DP2 grubu (40.10), DP1E grubu (39.33), DP1 grubu (37.89), KE grubu (37.49) ve kontrol

grubu (35.07) takip etmiştir. Çalışmada muamele grupları 1. Periyot b* değerinde olduğu gibi ortalama b* değerini de istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol grubuna göre arttırmış olurken, DP2E grubu; DP1E grubu, DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre en fazla artışı gösteren grup olmuştur ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP1E grubunun b* değeri istatistiksel olarak önemli seviyede DP2E grubuna göre düşük, DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre ise daha yüksek bulunmuştur ($P<0.01$). Muamele gruplarından KE grubu ve DP1 grubu kendi aralarında ortalama b* değeri üzerine benzer etkiye sahip olup ($P>0.05$), sadece kontrol grubundan daha yüksek, diğer muamele gruplarından daha düşük b* değerine sahip olduğu tespit edilmiştir ($P<0.01$).

Çizelge 4.19. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi b* değeri üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Yumurta Sarısı Rengi b* Değeri (sarı/mavi)			
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	Ortalama
K	35.62±0.38 ^C	32.52±0.50 ^D	37.08±0.72 ^C	35.07±0.36 ^D
KE	38.58±0.53 ^B	36.82±0.64 ^{BC}	37.05±0.39 ^C	37.49±0.26 ^C
DP1	38.13±0.26 ^B	36.18±1.23 ^C	39.36±0.41 ^B	37.89±0.55 ^C
DP1E	38.85±0.60 ^{AB}	39.65±0.47 ^A	39.47±0.23 ^B	39.33±0.32 ^B
DP2	39.41±1.16 ^{AB}	38.22±0.63 ^{ABC}	42.66±0.44 ^A	40.10±0.65 ^{AB}
DP2E	40.72±0.58 ^A	38.65±0.86 ^{AB}	42.80±0.23 ^A	40.72±0.38 ^A
P-Değeri	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

A,B,C,D: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

Yumurta tavukçuluğunda yumurta sarısı renginin CIE L*a*b* sistemi kullanılarak ölçülmesi, hem bilimsel araştırmalar hem de ticari üretim için büyük önem taşımaktadır. Bu sistem, rengi insan gözünün algıladığı gibi üç boyutlu ve sayısal olarak ifade ederek, subjektif değerlendirmelerin ötesinde objektif, tekrarlanabilir ve hassas veriler sunmaktadır (Nys, 2000). L* (koyuluk/açıklık); bu değer, yumurta sarısının ne kadar açık veya koyu olduğunu belirtmekte ve 0 (mutlak siyah) ile 100 (mutlak beyaz) arasında bir ölçekte ölçülmektedir. Yumurta sarısı bağlamında, yüksek bir L* değeri daha parlak ve canlı bir sarıyı ifade ederken, düşük bir L* değeri daha mat ve donuk bir sarı rengine işaret etmektedir. a* (kırmızı/yeşil); bu eksen, renkteki kırmızı ve yeşil tonlarını ölçmektedir (Nys, 2000). Pozitif a* değerleri kırmızılığı, negatif değerler ise yeşilliği göstermektedir. Yumurta sarısı için bu parametre kritik öneme sahiptir. Tüketiciler genellikle sadece sarı değil, aynı zamanda altın sarısından turuncuya çalan, hafif kırmızımsı tonları tercih etme eğilimindedir (Nabi ve ark., 2020). Yemlere eklenen kırmızı biber (kapsantin) veya kantaksantin gibi kırmızı pigmentler, yumurta sarısının a* değerini arttırarak bu istenen rengin elde edilmesini sağlamaktadır. b* (sarı/mavi); Bu

eksen, sarı ve mavi tonlarını ölçmektedir. Pozitif b^* değerleri sarılığı, negatif değerler ise maviliği belirtmektedir (Nys, 2000). Yumurta sarısının temel rengini bu değer tanımlamaktadır. Mısır, gibi kaynaklardan gelen lutein ve zeaksantin gibi sarı karotenoidler, b^* değerini doğrudan yükseltmektedir (Wen ve ark., 2022). Düşük HP'li rasyonlara farklı enzim kombinasyonlarının ilavesinin yumurta sarısının L^* (koyuluk/açıklık), a^* (kırmızı/yeşil) ve b^* (sarı/mavi) değerleri üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir. Multienzim içeren yem takviyeleri bazı araştırmalarda yumurta sarısı renginde istatistiksel olarak önemli ve önemsiz değişimlere yol açmıştır. Örneğin, Polat ve Denli (2019), mısır ve tahıllara dayalı rasyonlara iki farklı multienzim preparatı eklemiş ve multienzim ilavesinin yumurta sarısı L^* (koyuluk/açıklık), a^* (kırmızı/mavi), ve b^* (sarı/yeşil) değerlerini etkilemediğini bildirmişlerdir ($P>0.05$). Benzer şekilde, Lee ve ark. (2014), protein ve enerji değeri azaltılmış rasyonlara Natuzyne adlı multienzim karışımı ekledikleri çalışmada, yumurta sarısı renginde (Roche skoru) önemli bir değişiklik gözlenmemiş, roche skorları 7.3-7.4 düzeyinde kalmış, gruplar arasında önemli bir fark oluşmamıştır ($P>0.05$). Bu literatür bulguları, enzim etkisinin rasyonun bileşimine, özellikle pigment kaynaklarına (lutein, zeaksantin vb.) bağlı olduğunu göstermektedir. Eğer rasyon mısır gibi pigment bakımından zenginse, enzim ilavesi olmadan da yüksek yumurta sarısı rengi elde edilebilmektedir. Enzimler özellikle yüksek lif ve NOP içeriği bulunan buğday, arpa gibi tahıllarda, pigmentlerin sindirilebilirliğini arttırarak renk parametrelerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Düşük proteinli rasyonlar, AA takviyesiyle dengelendiğinde yumurta sarısı rengi olumsuz etkilenmeyebilir. Genellikle bu tür rasyonlarda daha fazla mısır kullanıldığından, doğal karotenoid miktarı artmakta ve yumurta sarısında daha koyu renk oluşabilmektedir. Sun ve ark. (2022), HP düzeyi %14'e düşürülmüş ve L-Arjininle takviye edilmiş rasyonların, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek Roche skorları sağladığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Liu ve ark. (2024b) da düşük proteinli rasyonlarda mısır oranının artmasıyla sarı renk yoğunluğunun yükseldiğini rapor etmişlerdir. Karotenoid Emilimi yağ sindirimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, NOP içeriği yüksek yemlerde bağırsak viskozitesini arttıran lifler yağ ve pigment emilimini azaltabilir. Bu noktada enzimlerin (özellikle ksilanaz, beta-glukanaz gibi) bağırsakta viskoziteyi düşürerek karotenoidlerin biyoyararlanımını arttırdığı bilinmektedir. Papadopoulos ve ark. (2022), buğday temelli rasyona ksilanaz ilavesiyle yumurta sarısı a^* ve b^* değerlerinde belirgin artış sağlamıştır. Sonuç olarak, güncel bulgular, enzim ilavesinin yumurta sarısı rengini olumsuz

etkilemediğini, hatta rasyonun bileşimine bağlı olarak iyileştirici etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

4.4. Serum Biyokimyasal Parametreler

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında serum biyokimyasal parametreleri üzerine etkileri Çizelge 4.20’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20’ye göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ürik asit ile bilirubin üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli seviyede etkilenmiş olup ($P<0.01$), kolesterol, toplam protein ve kreatinin ise etkilenmemiştir ($P>0.05$).

Çalışmada muamele gruplarının serum biyokimyasal parametrelerinden ürik asit üzerine etkisi 4.38 mg/dL ile 6.47 mg/dL değerleri arasında değişmiştir. Buna göre, ürik asit değeri en yüksek kontrol grubundan (6.47 mg/dL) elde edilmiş olup, bunu sırasıyla KE grubu (5.41 mg/dL), DP1 grubu (5.16 mg/dL), DP1E grubu (4.57 mg/dL), DP2 grubu (4.38 mg/dL) ve DP2E grubu (4.18 mg/dL) takip etmiştir. Çalışmada muamele gruplarının tamamı tavukların serum ürik asit değerlerini kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli derecede azaltmıştır ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP2E grubu 4.18 mg/dL değeri ile tavukların ürik asit değerini kontrol grubu, KE grubu ve DP1 grubu ve DP1E grubuna göre istatistiksel olarak önemli derecede en fazla azaltan grup olurken, DP2 grubu ile aralarında istatistiki olarak herhangi bir farklılık görülmemiştir ($P>0.05$). Bununla birlikte tavukların serum ürik asit değeri KE grubunda (5.41 mg/dL) kontrol grubuna göre daha düşük, DP1E grubu, DP2 grubu ve DP2E gruplarından ise istatistiksel olarak önemli seviyede yüksek bulunmuştur ($P<0.01$).

Çalışmada, muamele gruplarının tavuklarda serum bilirubin üzerine etkisi 0.43 mg/dL değeri ile 0.51 mg/dL değeri arasında değişmiştir. En yüksek bilirubin 0.51 mg/dL ile kontrol grubunda tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla 0.47 mg/dL ile DP1 grubu, 0.46 mg/dL ile KE ve DP1E grupları, 0.43 mg/dL ile DP2 ve DP2E grupları izlemiştir. Muamele gruplarından KE grubu, DP1E grubu, DP2 ve DP2E grupları kontrol grubuna

göre tavukların serum bilirubin seviyesini istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Çalışmada, DP2 ve DP2E grupları (0.43 mg/dL) tavukların bilirubin seviyesini kontrol grubuna göre istatistiksel olarak en fazla düşüren gruplar olurken ($P<0.01$), DP2 grubu ve DP2E grubu ile KE grubu ve DP1E grubu arasında serum bilirubin üzerine etki istatistiki olarak benzer bulunmuştur ($P>0.05$).

Çalışmada tavukların serum kolesterol değerleri rakamsal olarak 126.29 mg/dL ile 127.75 mg/dL arasında değişmiştir. Tavukların serum kolesterol değerleri 127.75 mg/dL ile DP2E grubunda en yüksek bulunmuş olup bunu sırasıyla 127.03 mg/dL ile KE grubu, 126.84 mg/dL ile DP2 grubu, 126.63 mg/dL ile DP1E grubu, 126.32 mg/dL ile DP1 grubu ve 126.29 mg/dL ile kontrol grubu izlemiştir. Rakamsal olarak muamele gruplarının tamamı kontrol grubuna göre tavukların serum kolesterol değerini arttırmıştır. Muamele grupları arasından DP2E grubu tavukların serum kolesterol değerini en fazla arttıran grup olmuştur.

Muamele gruplarının yumurta tavuklarında serum biyokimyasal parametrelerinden toplam protein üzerine etkisi 3.62 mg/dL ile 3.90 mg/dL değerleri arasında değişmiştir. Çalışmada en yüksek serum toplam protein değeri kontrol grubunda (3.90 mg/dL) tespit edilmiş olup bunu sırasıyla KE grubu (3.89 mg/dL), DP2E grubu (3.76 mg/dL), DP2 grubu (3.67 mg/dL), DP1E grubu (3.66 mg/dL) ve DP1 grubu (3.62 mg/dL) takip etmiştir. Rakamsal olarak muamele gruplarının tamamı tavukların serum toplam protein değerini kontrol grubuna göre azaltmış olup, bu parametreyi en fazla azaltan grup DP2 grubu olmuştur.

Çalışmada serum kreatinin değerleri rakamsal olarak 0.52 mg/dL ile 0.54 mg/dL arasında değişmiştir. En yüksek serum kreatinin değeri 0.54 mg/dL ile DP1 grubunda tespit edilmiş olup bunu sırasıyla 0.53 mg/dL değerli kontrol grubu ve DP2 grubu ile 0.52 mg/dL değerli KE grubu, DP1E grubu ve DP2E grubu izlemiştir. Çalışmada muamele gruplarından DP1 grubunda rakamsal olarak kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre en yüksek serum kreatinin değeri elde edilmiştir. Buna karşılık, KE, DP1E ve DP2E gruplarının serum kreatinin değeri rakamsal olarak kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.20 Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında serum biyokimyasal parametreleri üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Serum Biyokimyasal Parametreleri (mg/dL)				
	Kolesterol	Ürik Asit	Toplam Protein	Kreatinin	Bilirubin
K	126.29±1.60	6.47±0.12 ^A	3.90±0.19	0.53±0.02	0.51±0.01 ^A
KE	127.03±2.12	5.41±0.33 ^B	3.89±0.10	0.52±0.01	0.46±0.01 ^B
DP1	126.32±1.59	5.16±0.24 ^{BC}	3.62±0.08	0.54±0.03	0.47±0.02 ^{AB}
DP1E	126.63±1.56	4.57±0.24 ^{CD}	3.66±0.16	0.52±0.03	0.46±0.01 ^B
DP2	126.84±1.78	4.38±0.22 ^D	3.67±0.06	0.53±0.02	0.43±0.01 ^B
DP2E	127.75±1.65	4.18±0.23 ^D	3.76±0.10	0.52±0.02	0.43±0.01 ^B
P-Değeri	0.992	<0.0001	0.443	0.993	0.003

A,B,C,D: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin serum biyokimyasal parametrelerden kolesterol, toplam protein ve kreatinin düzeylerini önemli şekilde etkilemediği, ancak ürik asit ve bilirubin seviyelerinde belirgin değişikliklere yol açtığı tespit edilmiştir. Çalışmada serum kolesterol seviyelerinin muamelelerden etkilenmemesi, düşük proteinli rasyonların lipid metabolizması üzerinde önemli bir bozulmaya neden olmadığını göstermektedir. Nitekim, Liu ve ark. (2024c), Heo ve ark. (2023) ve Kashani ve ark. (2014), uygun AA dengesiyle desteklenen düşük proteinli rasyonların serum lipid profili üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığını bildirmişlerdir. Geng ve ark. (2021) ise bazı AA eksikliklerinin lipoprotein metabolizmasını değiştirebileceğini belirtmiştir. Bu doğrultuda, mevcut çalışmada enzim ilavesinin serum kolesterol düzeylerinde önemli bir değişiklik oluşturmaması, mevcut literatür ile uyumludur. Serum toplam protein ve serum kreatinin düzeylerinde önemli bir değişiklik gözlenmemesi, rasyon protein seviyesinin belirli bir eşik altında olmadığı sürece bu parametreler üzerinde sınırlı bir etki olabileceğini düşündürmektedir (Torki ve ark., 2015; Ma ve ark., 2021). Ayrıca, multienzimlerin protein sindirilebilirliği üzerindeki etkisinin plazma protein seviyelerine yansımaları için daha uzun süreli çalışmalar yapılması gerekebilir. Serum ürik asit düzeylerinin azalması, düşük proteinli ve multienzimli rasyonlarda N metabolizmasının ve protein kullanımının daha verimli gerçekleştiğini göstermektedir. Huang ve ark. (2024b) ile Gumphu ve ark. (2019), düşük proteinli rasyonlarda multienzim takviyesinin serum ürik asit seviyelerini düşürdüğünü ve AA'ların etkin kullanımını arttırdığını belirtmişlerdir. Bu durum, çevresel N atımının azalmasına ve sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlayabilir. Çalışmadaki serum bilirubin düzeylerindeki azalma ise bağırsak sağlığının ve protein metabolizmasının iyileşmesi ile ilişkili olabilir. Tenesa ve ark. (2016) ile Torki ve ark. (2015), düşük proteinli rasyonların ve AA eksikliklerinin karaciğer metabolizmasını ve bilirubin

seviyelerini etkileyebileceğini ifade etmişlerdir. Multienzimlerin bağırsak mikrobiyotasını ve sindirim süreçlerini iyileştirici etkisi, bilirubin metabolizmasını dolaylı yoldan desteklemiş olabilir. Sonuç olarak, uygun AA dengesiyle formüle edilen düşük proteinli rasyonlar kolesterol, toplam protein ve kreatinin parametrelerinde olumsuz bir değişiklik oluşturmazken; multienzim takviyesinin özellikle ürik asit ve bilirubin düzeylerinde azalma sağlayabileceği ve N metabolizmasını olumlu etkileyebileceği görülmüştür. Bu bulgular, düşük proteinli besleme stratejilerinin fizyolojik açıdan uygulanabilirliğini göstermektedir. Ancak, düşük proteinli rasyonların uzun vadeli sağlık etkilerinin ve özellikle karaciğer ile böbrek fonksiyonları üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir.

4.5. Tibia Biyomekanik Özellikleri ve Tibia Ham Kül Miktarı

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında tibia biyomekanik özellikleri ve tibia ham kül üzerine etkileri Çizelge 4.21’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-21’de verilmiştir.

Buna göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kemik çapı, kemik duvar kalınlığı, kemik kesit alanı, kemik gerilmesi özellikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli derecede farklılık göstermiş olup ($P<0.01$; $P<0.05$; $P<0.01$; $P<0.05$), tibia ham kül, kesme kuvveti, kesme enerjisi P_{max} ve kesme enerjisi tüm eğri özellikleri muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$).

Çalışmada muamele gruplarının tibia ham kül özelliğine etkisi rakamsal olarak %44.73 ile %47.46 arasında değişmiştir. Muamele gruplarından KE grubu (%46.76), DP1 grubu (%46.24), DP1E grubu (%47.46) ve DP2E grubunda (%46.75) kontrol grubundan daha yüksek tibia ham kül değeri bulunurken, DP2 muamele grubunda (%44.73) kontrol grubundan (%45.51) daha düşük tibia ham kül değeri tespit edilmiştir. Tibia ham kül değeri çalışmada en yüksek %47.46 ile DP1E grubunda bulunmuştur.

Çalışmada muamelelerin kemik çapına etkisi açısından değerler 6.16 mm ile 6.66 mm arasında değişmiş olup, kontrol grubu (6.66 mm) ve DP1 grubunun (6.65 mm) kemik

çapı değerleri ise en yüksek değeri oluşturmakla birlikte DP1E grubu (6.32 mm), DP2 grubu (6.23 mm) ve DP2E grubuna (6.16 mm) göre istatistiksel olarak önemli derecede artış göstermiştir ($P<0.01$). Bununla birlikte, kemik çapı üzerine kontrol grubu ile DP1 grupları arasında ve DP1E ile DP2 grupları arasındaki etki benzer olmuştur. Çalışmada kemik çapı yönünden en düşük değeri 6.16 mm değeri ile DP2E grubu oluşturmuş olup, kontrol grubu, KE grubu ve DP1 grubuna göre istatistiksel olarak kemik çapını önemli derecede azaltmıştır ($P<0.01$).

Çalışmada kemik duvar kalınlığı değerleri 0.57 mm ile 0.69 mm arasında değişmiş olup, en yüksek duvar kalınlığı değerini 0.69 mm değeri ile kontrol grubu oluşturmuş bunu sırasıyla 0.67 mm değeri ile DP1E grubu, 0.66 mm değeri ile KE grubu, 0.59 mm değeri ile DP2 ve DP2E grupları ve 0.57 mm değeri ile DP1 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP1 grubu (0.57 mm); kontrol grubu (0.69 mm), KE grubu (0.66 mm) ve DP1E gruplarına (0.67 mm) göre kemik duvar kalınlığını istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.05$). Muamele gruplarından KE grubu (0.66 mm) ve DP1E grubu (0.67 mm) arasındaki etki kemik duvar kalınlığı yönünden benzer olurken, DP2 grubu (0.59 mm) ve DP2E grubu (0.59 mm) arasındaki etki de benzerdir ($P>0.05$).

Muamele gruplarının kemik kesit alanına etkisi 10.34 mm^2 ile 12.94 mm^2 değerleri arasında değişmiştir. Muamele gruplarının kemik kesit alanına etkisi en yüksek 12.94 mm^2 ile kontrol grubunda tespit edilirken bunu sırasıyla 12.13 mm^2 ile KE grubu, 11.90 mm^2 ile DP1E grubu, 10.88 mm^2 ile DP1 grubu, 10.51 mm^2 ile DP2 grubu ve 10.34 mm^2 ile DP2E grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 ve DP2E grubu kemik kesit alanını istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol grubu ve KE grubuna göre azaltmış ($P<0.01$), bu iki seviye arasındaki etki benzer olmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte, DP1 grubu da kontrol grubuna göre kemik kesit alanını istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$).

Çalışmada muamele gruplarının kemik gerilmesine etkisi 49.15 N/mm^2 değeri ile 62.47 N/mm^2 değeri arasında değişmiş olup, en yüksek kemik gerilmesi DP2E grubundan (62.47 N/mm^2) elde edilmiş, bunu sırasıyla DP2 grubu (57.79 N/mm^2), DP1 grubu (52.78 N/mm^2), DP1E grubu (49.15 N/mm^2), KE grubu (47.47 N/mm^2) ve kontrol grubu (45.11 N/mm^2) izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 grubu ve DP2E grubu istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol grubu, KE grubu ve DP1E grubuna göre kemik gerilmesini

arttırmış olurken ($P<0.01$), kontrol grubu, KE grubu ve DP1E grupları arasında kemik gerilmesi üzerine etki benzer olmuştur ($P>0.05$).

Muamele gruplarının kesme kuvvetine etkisi rakamsal olarak en yüksek 646.17 N ile DP2E grubundan elde edilirken, bunu sırasıyla 607.79 N ile DP2 grubu, 578.44 N ile kontrol grubu, 573.97 N ile KE grubu, 565.68 N ile DP1 grubu ve 564.47 N ile DP1E grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2 ve DP2E grupları, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek kesme kuvveti değerleri gösterirken; KE, DP1 ve DP1E gruplarında ise kontrol grubuna göre daha düşük kesme kuvveti tespit edilmiştir.

Çalışmada kesme enerjisi Pmax değerleri rakamsal olarak 902.17 N.mm ile 1174.46 N.mm değerleri arasında değişirken, DP2 muamele grubu ve DP2E muamele grubunda kontrol grubuna göre artış gözlenmiştir. Bunun dışındaki KE grubu, DP1 grubu ve DP1E gruplarında kesme enerjisi Pmax değerleri, kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur.

Çalışmada muamelelerin kesme enerjisi tüm eğri değerleri rakamsal olarak en yüksek 1495.80 N.mm değeri DP2 grubunda bulunmuş, bunu sırasıyla 1334.38 N.m ile kontrol grubu, 1334.12 N.m ile KE grubu, 1255.59 N.m ile DP2E grubu, 1237.22 ile DP1E grubu ve 1114.67 N.m ile DP1 grubu takip etmiştir. Muamelelerin kesme enerjisi tüm eğri değerleri bakımından sadece DP2 grubu kontrol grubundan daha yüksek değere sahip olurken diğer muamele grupları bu parametreyi kontrol grubuna göre azaltmıştır.

Çizelge 4.21. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında tibia biyomekanik özellikleri ve tibia ham kül üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Tibia Biyomekanik Özellikleri								
Rasyonlar	Ham Kül (%)	Kemik Çapı, mm	Kemik duvar kalınlığı, mm	Kemik kesit alanı, mm ²	Kesme kuvveti, N	Kemik gerilmesi, N/mm ²	Kesme enerjisi Pmax, N.mm	Kesme enerjisi Tüm eğri, N.mm
K	45.51±0.82	6.66±0.10 ^A	0.69±0.02 ^a	12.94±0.48 ^A	578.44±27.31	45.11±2.69 ^C	990.56±109.72	1334.38±115.99
KE	46.76±0.76	6.52±0.10 ^{AB}	0.66±0.02 ^{ab}	12.13±0.37 ^{AB}	573.97±30.06	47.47±2.36 ^C	957.86±110.35	1334.12±124.56
DP1	46.24±0.63	6.65±0.09 ^A	0.57±0.03 ^c	10.88±0.41 ^{BC}	565.68±26.94	52.78±2.08 ^{BC}	902.17±71.09	1114.67±89.78
DP1E	47.46±0.65	6.32±0.11 ^{BC}	0.67±0.04 ^{ab}	11.90±0.80 ^{ABC}	564.47±14.90	49.15±3.83 ^C	912.51±67.38	1237.22±51.74
DP2	44.73±0.91	6.23±0.13 ^{BC}	0.59±0.03 ^{bc}	10.51±0.57 ^C	607.79±42.73	57.79±2.25 ^{AB}	1174.46±125.19	1495.80±153.35
DP2E	46.75±0.76	6.16±0.10 ^C	0.59±0.02 ^{bc}	10.34±0.28 ^C	646.17±32.77	62.47±2.76 ^A	1088.52±126.35	1255.59±58.20
P-Değeri	0.165	0.003	0.016	0.004	0.368	<0.0001	0.402	0.225

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.05).

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

Çizelge 4.21’de sunulan veriler, yumurta tavuklarının tibia kemiğinin kül oranı ve biyomekanik özelliklerini içermektedir. Mevcut çalışmada kullanılan farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin, tibia kemiğinin kül oranı, kesme kuvveti (kemik kırılma direnci) gibi parametreleri üzerinde herhangi bir istatistiksel olarak önemli etkisi bulunmadığı tespit edilmiştir ($P>0.05$). Mevcut çalışmada elde edilen bu bulguya paralel olarak, Heo ve ark. (2023) yürüttüğü bir çalışmada da, yumurta tavuklarının rasyonlarındaki HP düzeyinin %18’den %12’ye kadar düşürülmesinin, tibia kemiğinin kül içeriği ve kırılma mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı bildirilmiştir. Bu durum, farklı protein seviyelerinin tibia kemik mineralizasyonu ve mekanik dayanıklılık açısından kritik sınırlar içerisinde kaldığını ve kemik sağlığını olumsuz yönde etkilemediğini göstermektedir. Nişasta olmayan polisakkarit enzimleri ve fitaz gibi rasyona ilave edilen multienzimlerin, yem içerisinde bulunan Ca ve P gibi minerallerin salınımını kolaylaştırıcı etkisi olduğu daha önceki çalışmalarda da ortaya konmuştur (Silversides ve ark., 2006). Bu mineraller, özellikle yumurta tavuklarında yüksek kaliteli yumurta kabuk oluşumu ve sağlam kemik yapısının korunması açısından büyük öneme sahiptir. Rasyona ilave edilen bu enzimlerin genel işlevi şu şekilde açıklanabilir; NSPaz enzimleri, yemde bulunan ve sindirimi zor olan polisakkaritlerin parçalanmasını sağlayarak, bağırsak içerisindeki besin maddelerinin serbest hale gelmesini kolaylaştırmaktadır. Böylelikle yemde bulunan mineraller ve proteinler sindirim için daha kolay erişilebilir hale gelmektedir. Fitaz enzimi ise yemde bulunan fitat komplekslerini parçalayarak fitik aside bağlı halde bulunan P’nin salınmasını sağlamaktadır. Ayrıca fitaz, bağırsaktaki yüksek viskozite ve kafes etkisini azaltarak bağırsakta bulunan minerallerin, özellikle P’nin biyoyararlanımını arttırmakta ve sindirim etkinliğini yükseltmektedir (Taylor ve ark., 2018; Ceylan ve ark., 2024; Cufadar ve ark., 2024).

Bu literatür bulgularına göre, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim eklenmesinin, yumurta tavuklarında tibia kül oranı ve kemik dayanıklılığı gibi temel kemik sağlığı parametrelerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmadığı, rasyonların protein içeriğinin, belirli eşiklerin üzerinde tutulduğu sürece, kemik mineralizasyonu ve mekanik dayanıklılığı için kritik sorunlar oluşturmayacağı, NSPaz ve fitaz gibi multienzimlerin daha ziyade performans parametreleri ve yumurta kalitesine pozitif etkileri olabileceği, ancak tibia kemiği mineralizasyonuna ek olarak arttırıcı

etkilerinin olmayabileceği sonucuna varılabilir. Bu nedenle, yumurta tavuklarında düşük proteinli rasyonlara fitaz ve NSPaz enzimlerinin ilavesinin, hayvan performansı açısından faydalı olmakla birlikte, kemik mineralizasyonu ve dayanıklılığı açısından kritik bir etkiye sahip olmayabileceği değerlendirilmektedir. Bu da, tavukların kemik sağlığını korumak için mevcut rasyon formülasyonlarının yeterli olduğunu göstermektedir.

4.6. Sindirim Parametreleri

4.6.1. Jejunum histomorfolojisi

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında jejunum histolojisi üzerine etkileri Çizelge 4.22’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22’ye göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında jejunum histolojisi üzerine villus yüksekliği, villus genişliği, villus yüksekliği/kript derinliği, villus yüzey alanı ve toplam goblet hücre sayısı muamelelerden istatistiksel olarak önemli derecede etkilenmiş olup ($P<0.01$; $P<0.05$; $P<0.05$; $P<0.01$; $P<0.01$), kript derinliği bu muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$).

Muamele gruplarının villus yüksekliğine etkileri 1083.12 μm ile 1222.30 μm değerleri arasında değişmiş olup, en yüksek villus yüksekliği 1222.30 μm ile DP2E grubunda belirlenmiş bunu sırasıyla 1217.30 μm değeri ile DP1E grubu, 1191.89 μm değeri ile DP2 grubu, 1172.14 μm değeri ile DP1 grubu, 1149.96 μm değeri ile KE grubu ve en düşük 1083.12 μm değeri ile kontrol grubu izlemiştir. Muamele gruplarının tamamının kontrol grubuna göre villus yüksekliğini istatistiksel olarak arttırdığı belirlenmiş olup, DP2E grubu; DP1 grubu, KE grubu ve kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli derecede villus yüksekliğini artırırken ($P<0.01$), DP1E grubu ise kontrol grubu ve KE grubuna göre, DP2 grubu da kontrol grubuna göre villus yüksekliğini istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmıştır ($P<0.01$).

Çalışmada villus genişliği değerleri 188.11 μm ile 234.04 μm değerleri arasında değişmiştir. En yüksek villus genişliği 234.04 μm değeri ile DP1E grubundan elde edilmiş olurken bu grup, kontrol grubu (191.70 μm), DP1 grubu (192.33 μm), KE grubu (199.66 μm) ve DP2 grubuna (188.11 μm) göre istatistiksel olarak önemli seviyede artış göstermiştir ($P<0.05$). Muamele gruplarından DP2E grubu (223.28 μm) da DP2 grubuna göre villus genişliğini istatistiki olarak önemli düzeyde arttırmıştır ($P<0.05$). Villus genişliği üzerine KE grubu, DP1 grubu ve kontrol grubu arasındaki etki ise benzerlik oluşturmuştur ($P>0.05$).

Muamelelerin villus yüksekliği/kript derinliği oranı değerleri 5.54 ile 7.67 arasında değişirken en yüksek oran 7.67 değeri ile DP1E grubunda oluşmuştur. DP2E grubu (7.28) ile KE grupları (7.28) arasındaki etki istatistiksel olarak benzer olurken ($P>0.05$), kontrol grubuna göre villus yüksekliği/kript derinliği oranını istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.05$). Muamele grupları arasından DP2 grubu (6.23) ve DP1 grubu (6.50) arasında da villus yüksekliği/kript derinliği oranı üzerine istatistiksel olarak herhangi bir farklılık oluşmamıştır ($P>0.05$).

Villus yüzey alanı değerleri en yüksek 0.90 mm^2 değeri ile DP1E grubu ve 0.86 mm^2 değeri ile DP2E grubunda tespit edilmiş, bu iki seviye arasındaki etki istatistiksel olarak benzerlik oluştururken ($P>0.05$) bu gruplar, kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede artış göstermiştir ($P<0.01$). Bununla birlikte, villus yüzey alanı üzerine KE grubu, DP1 grubu ve DP2 grubu arasındaki etki istatistiksel olarak benzerlik oluşturmuştur ($P>0.05$).

Muamele gruplarının toplam goblet hücre sayısına etkisi 180.49 ile 235.14 değerleri arasında değişmiş olup, en yüksek goblet hücre sayısı 235.14 değeri ile DP1E grubunda bulunurken bunu sırasıyla, 219.07 değeri ile DP2E grubu, 201.46 değeri ile KE grubu, 186.87 değeri ile DP1 grubu, 180.88 değeri ile kontrol grubu ve 180.49 değeri ile DP2 grubu izlemiştir. Toplam goblet hücre sayısı incelendiğinde ise DP1E grubunda kontrol grubu, KE grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede artış göstermiştir ($P<0.01$). Kontrol grubu ve DP2 grubunun toplam goblet hücre sayısı diğer muamele gruplarına göre istatistiksel olarak en düşük olurken ($P<0.01$) iki grup arasındaki etki benzerlik oluşturmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte KE grubu ve DP1

grubu arasında da toplam goblet hücre sayısı üzerine istatistiksel olarak herhangi bir farklılık oluşmamıştır ($P>0.05$).

Çalışmada muamele gruplarının kript derinliğine olan etkisi rakamsal olarak 167.86 μm ile 198.47 μm değerleri arasında değişmiştir. En yüksek kript derinliği kontrol grubunda tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla 195.52 μm değeri ile DP2 grubu, 189.48 μm değeri ile DP1 grubu, 172.28 μm değeri ile DP2E grubu, 169.97 μm değeri ile DP1E grubu ve 169.86 μm değeri ile KE grubu takip etmiştir. Çalışmada rakamsal olarak muamele grupları kript derinliği üzerine kontrol grubuna göre azalma göstermiştir.



Çizelge 4.22. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında jejunum histomorfolojisi üzerine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Jejunum Histomorfolojisi						
Rasyonlar	Villus Yüksekliği, μm	Kript Derinliği, μm	Villus Genişliği, μm	Villus Yüksekliği/Kript Derinliği	Villus Yüzey Alanı, mm^2	Toplam Goblet Hücre Sayısı
K	1083.12 $\pm$ 12.73 ^D	198.47 $\pm$ 7.49	191.70 $\pm$ 11.45 ^{bc}	5.54 $\pm$ 0.24 ^b	0.65 $\pm$ 0.04 ^B	180.88 $\pm$ 9.57 ^C
KE	1149.96 $\pm$ 19.19 ^C	167.86 $\pm$ 11.98	199.66 $\pm$ 8.39 ^{bc}	7.28 $\pm$ 0.67 ^a	0.72 $\pm$ 0.04 ^B	201.46 $\pm$ 9.74 ^{BC}
DP1	1172.14 $\pm$ 16.46 ^{BC}	189.48 $\pm$ 14.07	192.33 $\pm$ 11.17 ^{bc}	6.50 $\pm$ 0.47 ^{ab}	0.71 $\pm$ 0.04 ^B	186.87 $\pm$ 13.35 ^{BC}
DP1E	1217.30 $\pm$ 6.44 ^{AB}	169.97 $\pm$ 13.65	234.04 $\pm$ 12.09 ^a	7.67 $\pm$ 0.72 ^a	0.90 $\pm$ 0.05 ^A	235.14 $\pm$ 12.51 ^A
DP2	1191.89 $\pm$ 19.30 ^{ABC}	195.52 $\pm$ 11.76	188.11 $\pm$ 11.46 ^c	6.23 $\pm$ 0.27 ^{ab}	0.71 $\pm$ 0.04 ^B	180.49 $\pm$ 8.64 ^C
DP2E	1222.30 $\pm$ 16.70 ^A	172.28 $\pm$ 13.14	223.28 $\pm$ 10.88 ^{ab}	7.44 $\pm$ 0.52 ^a	0.86 $\pm$ 0.05 ^A	219.07 $\pm$ 12.52 ^{AB}
P-Değeri	<0.0001	0.291	0.018	0.040	0.001	0.004

^{a,b,c}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P < 0.05$).

^{A,B,C,D}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P < 0.01$).

Jejunum, ince bağırsağın birincil emilim bölgesi olarak kabul edilmekte olup, villus yüksekliği ve villus yüksekliği/kript derinliği oranının artmasının epitel hücre yenilenmesini hızlandırdığı, hücre mitozunu teşvik ettiği ve daha iyi besin emilimi ile yemden yararlanma oranına katkı sağladığı bildirilmiştir (Nari ve ark., 2020; Moita ve ark., 2021). Kümes hayvanlarında villus yüksekliğinin artması, enterosit gelişiminin arttığını ve emilim kapasitesinin yükseldiğini gösterebilir. Buna karşılık, kript derinliğinin artışı genellikle inflamasyon ve epitel hasarı ile ilişkilidir (Barker ve ark., 2008). Çizelge 4.22’de gösterildiği gibi, uygulanan rasyonlar, kript derinliği hariç bağırsak histomorfolojisi üzerindeki tüm parametreleri önemli seviyede etkilemiştir ($P < 0.05$). En düşük villus yüksekliği ve villus yüksekliği/kript derinliği oranı, kontrol rasyonu ile beslenen kuşlarda tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada villus genişliği, enzimli %15.8 HP içeren rasyonda ve kontrol+multienzim rasyonu (%16.8 HP+ME) ile beslenen tavuklara göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Ayrıca kontrol, enzimsiz %15.8 HP ve %14.8 HP içeren rasyonlara enzim ilavesi, villus yüksekliği/kript derinliği oranını önemli ölçüde arttırmıştır. Enzimli düşük %15.8 HP ve %14.8 HP ile beslenen kuşlarda villus yüzey alanında sırasıyla %25 ve %19.4'lük bir artış belirlenmiştir ($P < 0.05$). Goblet hücrelerinin toplam sayısının en düşük olduğu grup, kontrol rasyonu ile beslenen tavuklar olmuştur. Bunun aksine, enzimli %15.8 HP rasyonu ile beslenen kuşlarda goblet hücre sayısının en yüksek olduğu ve kontrol+enzim grubuna kıyasla %16.8 oranında arttığı tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Çalışmalar, rasyon HP seviyelerinin jejunum histomorfolojisine etkileri konusunda farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Bazı çalışmalar, düşük proteinli rasyon tüketen tavuklarda jejunum histomorfolojisinin olumsuz etkilenmediğini ve yapısal bozulma gözlenmediğini belirtmiştir (Incharoen ve ark., 2010; Heo ve ark., 2023). Diğer araştırmalar ise düşük protein seviyelerinin villus yüksekliğini azalttığını ve bağırsak geçirgenliğini artırarak bağırsak bütünlüğünü bozduğunu bildirmiştir (Law ve ark., 2017; Barekatin ve ark., 2019). Ancak, bazı araştırmalar düşük HP’li rasyonların jejunum histomorfolojisini olumlu yönde etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Laudadio ve ark. (2012), HP seviyesinin düşürülmesinin duodenum ve ileumda villus yüksekliğini %20.5 arttırdığını ve villus yüksekliği/kript derinliği oranını yükselttiğini bildirmişlerdir. Sterling ve ark. (2005), düşük proteinli rasyonla beslenen etlik piliçlerin duodenum ve ileumundaki villus yüksekliğinin standart protein seviyesine sahip rasyonlara kıyasla en az %22 arttığını ortaya koymuştur. Bu durum, bağırsak epitel hücrelerinin daha yavaş yenilenmesine yol

açarak besin gereksinimlerini azaltabileceğini ve hayvanın sindirim verimliliğini optimize edebileceğini düşündürmektedir (Van Nevel ve ark., 2005). Enzim ilavesinin bağırsak yapısı üzerine etkisi incelendiğinde rasyona fitaz ilavesinin jejunal histomorfometriyi iyileştirdiği çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Emami ve ark., 2013; Cufadar ve ark., 2024). Nişasta olmayan polisakkarit parçalayan enzimler, bağırsak viskozitesini azaltarak jejunum histomorfolojisini olumlu yönde etkilemektedir (Inayah ve ark., 2022; Ceylan ve ark., 2024). Özellikle ksilanaz enziminin, metabolik ve sindirim süreçlerine olumlu etki yaptığı ve ince bağırsaktaki sindirilmiş besinlerin emilimini artırarak bağırsak yükünü azalttığı bildirilmiştir (Inayah ve ark., 2022). Bu enzimler, özellikle yüksek lifli rasyonlarda sindirimi destekleyerek, lif moleküllerinin bağırsak yüzeyinde birikmesini engellemekte ve besinlerin daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır (Montagne ve ark., 2003; Mateos ve ark., 2012). Ksilanaz enzimi, sindirilemeyen liflerin sindirimini artırarak bağırsakta faydalı değişiklikler oluşturmaktadır. Düşük proteinli rasyonlar, yumurta tavuklarının jejunum histomorfolojisi üzerine farklı etkilere sahip olabilir ve bu durum rasyonun formülasyonu, AA dengesi ve rasyondaki ilave enzimlerin varlığına bağlıdır. Enzim takviyesi, özellikle yüksek lifli rasyonlarda bağırsak viskozitesini azaltarak villus gelişimini ve bağırsak sağlığını iyileştirebilir. Fitaz ve NSPaz enzimleri, düşük proteinli rasyonların olumsuz etkilerini azaltarak bağırsak epitel yapısının korunmasına ve emilim kapasitesinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Düşük proteinli ve enzim takviyeli rasyonlar, bağırsak sağlığını destekleyerek, performans kayıplarını önleyebilir ve yemden yararlanmayı artırabilir. Bu bulgular doğrultusunda, düşük proteinli rasyonların uygun enzim takviyeleri ile desteklenmesi, hem bağırsak sağlığını hem de yemden yararlanmayı optimize etmek için etkili bir strateji olarak değerlendirilebilir.

4.6.2. Sekum kısa zincirli yağ asitleri

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum kısa zincirli yağ asitleri seviyesi üzerine etkileri Çizelge 4.23’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23’e göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum kısa zincirli yağ asitlerinden asetik asit, propiyonik asit, bütirik asit, izobütirik asit, valerik asit, izovalerik asit, BCFA, toplam SKYA’ya etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Çalışmada, muamele gruplarının asetik asit seviyesine etkisi 29.05 mmol/L ile 35.73 mmol/L değerleri arasında değişmiştir. Çalışmada en yüksek asetik asit değeri 35.73 mmol/L değeri ile DP2E grubunda bulunmuş olup bunu sırasıyla, 35.66 mmol/L değeri ile DP1E grubu, 33.68 mmol/L değeri ile KE grubu, 30.53 mmol/L değeri ile kontrol grubu, 30.35 mmol/L değeri ile DP2 grubu ve 29.05 mmol/L değeri ile DP1 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2E ve DP1E grupları tavukların asetik asit seviyesini kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış olurken ($P<0.01$), asetik asit seviyesi üzerine DP2E ve DP1E grupları arasındaki etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte, asetik asit seviyesi KE grubunda DP1 seviyesinden istatistiksel olarak önemli seviyede yüksek bulunmuş olup ($P<0.01$), kontrol grubu ve DP2 grubu arasında asetik asit üzerine istatistiksel olarak herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır ($P>0.05$).

Çalışmada muamelelerin propiyonik asit seviyeleri 9.60 mmol/L ile 12.61 mmol/L değerleri arasında değişmiştir. En yüksek propiyonik asit seviyesi KE grubundan (12.61 mmol/L) elde edilmiş olup bunu sırasıyla DP1E grubu (12.55 mmol/L), DP1 grubu (11.45 mmol/L), kontrol grubu (9.77 mmol/L), DP2E grubu (9.71 mmol/L) ve DP2 grubu (9.60 mmol/L) izlemiştir. Tavukların propiyonik asit seviyesi KE grubu (12.61 mmol/L), DP1E grubu (12.55 mmol/L) ve DP1 grubunda (11.45 mmol/L); kontrol grubu, DP2 grubu ve DP2E grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede artış göstermiş ($P<0.01$), propiyonik asit seviyesinin KE grubu, DP1E grubu ve DP1 grupları arasındaki etkisi ise istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Benzer şekilde DP2 grubu,

DP2E grubu ve kontrol grupları arasında da propiyonik asit seviyesi üzerine benzer bir etki olduğu tespit edilmiştir ($P>0.05$).

Muamele gruplarının bütirik asit seviyesine etkisine yönelik değerler en yüksek 11.39 mmol/L değerli DP1E grubunda tespit edilmiş bunu sırasıyla 11.22 mmol/L değeri ile DP2E grubu, 10.80 mmol/L değeri ile KE grubu, 7.95 mmol/L değeri ile DP1 grubu, 7.07 mmol/L değeri ile kontrol grubu ve 7.01 mmol/L değeri ile DP2 grubu takip etmiştir. Tavukların bütirik asit seviyeleri DP1E grubu, DP2E grubu ve KE grubunda istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre artış göstermiş olup ($P<0.01$), bu 3 muamele grubu (DP1E, DP2E ve KE) arasında bütirik asit üzerine olan etkisi istatistiksel olarak benzer olmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2E grubu arasında da bütirik asit üzerine istatistiksel olarak herhangi bir farklılık bulunmamıştır ($P>0.05$).

Çalışmada, izobütirik asit seviyeleri 0.80 mmol/L ile 1.40 mmol/L arasında değişim göstermiş olup, en yüksek izobütirik asit seviyesi 1.40 mmol/L değerinde DP1E grubunda bulunmuş bunu sırasıyla 1.30 mmol/L değeri ile KE grubu, 1.14 mmol/L değeri ile DP2E grubu, 1.02 mmol/L değeri ile kontrol grubu, 0.82 mmol/L değeri ile DP2 grubu ve 0.80 mmol/L değeri ile DP1 grubu izlemiştir. Çalışmada tavukların izobütirik seviyeleri muamele gruplarından DP1E grubu, KE grubu ve DP2E grubunda kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede artış göstermiş olup ($P<0.01$), DP1E ve KE grupları arasında izobütirik asit seviyesi üzerine olan etki istatistiksel olarak benzerlik göstermiştir ($P>0.05$). Muamele gruplarından DP2 grubu ve DP1 grubu arasında da izobütirik asit seviyesi üzerine olan etki istatistiki olarak benzer bulunmuştur ($P>0.05$).

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında valerik asit seviyeleri 1.13 mmol/L ile 1.42 mmol/L arasında değişmiştir. En yüksek valerik asit seviyesi DP1E grubunda (1.42 mmol/L) bulunmuş olup, bunu sırasıyla KE grubu (1.31 mmol/L), DP2E grubu (1.14 mmol/L), DP1 ile DP2 grubu (1.13 mmol/L) ve kontrol grubu izlemiştir. Çalışmada DP1E grubu; kontrol grubu ve bütün muamele gruplarına göre tavukların valerik asit seviyesini istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmıştır ($P<0.01$). Muamele gruplarından KE grubunda valerik asit seviyesi, DP1E grubundan daha düşük bulunurken, kontrol grubu, DP1 grubu, DP2 grubu ve DP2E

grubundan istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur ($P<0.01$). Çalışmada DP1 grubu, DP2 grubu, DP2E grubu ve kontrol grubu arasında valerik asit üzerine olan etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$).

Muamele gruplarının izovalerik asit seviyesi üzerine etkisi incelendiğinde değerler en yüksek 1.19 mmol/L ile KE grubundan elde edilmiş bunu sırasıyla 1.18 mmol/L ile DP1E grubu, 1.07 mmol/L ile DP2E grubu, 1.05 mmol/L ile DP1 grubu, 0.93 mmol/L ile kontrol grubu ve 0.87 mmol/L ile DP2 grubu takip etmiştir. Tavukların izovalerik asit seviyesini muamele gruplarından DP1E ve KE grupları; DP1 grubu, DP2E grubu, kontrol grubu ve DP2 gruplarına göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış olup ($P<0.01$), DP1E ve KE grupları arasında izovalerik asit seviyesine olan etki istatistiksel olarak benzer olmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarından DP1 ve DP2E grupları arasında da izovalerik asit seviyesine olan etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmasına karşılık ($P>0.05$), izovalerik asit seviyeleri KE grubu ve DP1E gruplarından istatistiksel olarak daha düşük, kontrol grubu ve DP2 grubundan ise daha yüksek bulunmuştur ($P<0.01$). Muamelelerin izovalerik asit seviyesi yönünden en düşük bulunan kontrol grubu ve DP2 grubu arasında da istatistiksel olarak herhangi bir farklılık bulunmamıştır ($P>0.05$).

Çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında BCFA seviyesi üzerine olan etki yönünden değerler 2.81 mmol/L ile 3.99 mmol/L arasında değişmiş olurken, en yüksek seviyeler 3.99 mmol/L değer ile DP1E grubunda ve 3.80 mmol/L değer ile KE grubunda tespit edilmiş, bunları sırayla 3.35 mmol/L ile DP2E grubu, 3.06 mmol/L ile kontrol grubu, 2.98 mmol/L ile DP1 grubu ve 2.81 mmol/L ile DP2 grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP1E grubu ve KE grubu kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre BCFA seviyesini istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmış olurken ($P<0.01$), iki muamele grubu arasında BCFA seviyesi üzerine etki istatistiki olarak benzer olmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarından BCFA üzerine DP2E grubunda, KE grubu ve DP1E grubuna göre istatistiksel olarak daha düşük BCFA bulunurken, DP2 muamele grubundan daha yüksek BCFA bulunmuştur ($P<0.01$). Tavukların BCFA seviyesi üzerine DP1 grubu ve kontrol grubu arasındaki etki istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($P>0.05$).

Çalışmada muamele gruplarının tavukların toplam SKYA seviyelerine olan etkisi 49.76 mmol/L ile 63.59 mmol/L değerleri arasında değişmiştir. Bu parametreye yönelik en yüksek değer DP1E grubunda (63.59 mmol/L) tespit edilirken, bunu sırasıyla KE grubu (60.89 mmol/L), DP2E grubu (60.00 mmol/L), DP1 grubu (51.43 mmol/L), kontrol grubu (50.43 mmol/L) ve DP2 grubu (49.76 mmol/L) izlemiştir. Muamele gruplarından DP1E grubu, KE grubu ve DP2E grubu tavukların toplam SKYA seviyesini kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırırken ($P<0.01$), DP1E, KE ve DP2E grupları arasında toplam SKYA seviyesi üzerine etki benzerlik oluşturmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte, DP1 grubu, DP2 grubu ve kontrol grubu arasında da istatistiksel olarak etki toplam SKYA üzerine benzer olmuştur ($P>0.05$).



Çizelge 4.23. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum kısa zincirli yağ asitleri seviyesine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Sekum Kısa Zincirli Yağ Asitleri (mmol/L)							Toplam SKYA
	Asetik asit	Propiyonik asit	Bütirik asit	İzobütirik asit	Valerik asit	İzovalerik asit	BCFA	
K	30.53±1.20 ^{BC}	9.77±0.31 ^B	7.07±0.42 ^B	1.02±0.11 ^{BC}	1.11±0.02 ^C	0.93±0.03 ^C	3.06±0.13 ^{BC}	50.43±1.28 ^B
KE	33.68±1.77 ^{AB}	12.61±0.62 ^A	10.80±0.57 ^A	1.30±0.06 ^A	1.31±0.06 ^B	1.19±0.02 ^A	3.80±0.11 ^A	60.89±2.67 ^A
DP1	29.05±1.14 ^C	11.45±0.49 ^A	7.95±0.39 ^B	0.80±0.04 ^C	1.13±0.02 ^C	1.05±0.04 ^B	2.98±0.06 ^{BC}	51.43±1.42 ^B
DP1E	35.66±1.66 ^A	12.55±0.57 ^A	11.39±0.42 ^A	1.40±0.09 ^A	1.42±0.06 ^A	1.18±0.02 ^A	3.99±0.14 ^A	63.59±2.09 ^A
DP2	30.35±0.67 ^{BC}	9.60±0.28 ^B	7.01±0.34 ^B	0.82±0.04 ^C	1.13±0.02 ^C	0.87±0.04 ^C	2.81±0.08 ^C	49.76±0.82 ^B
DP2E	35.73±0.91 ^A	9.71±0.32 ^B	11.22±0.46 ^A	1.14±0.14 ^{AB}	1.14±0.02 ^C	1.07±0.02 ^B	3.35±0.19 ^B	60.00±1.03 ^A
P-Değeri	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

BCFA: Dallı zincirli yağ asitleri; **Toplam SKYA:** Sekum kısa zincirli yağ asitleri toplamı

Çizelge 4.23’de sunulan sonuçlara göre, kontrol+enzim (%16.8 HP+ME), %15.8 HP+ME ve %14.8 HP+ME içeren rasyonlarla beslenen tavukların toplam SKYA seviyelerinde genel olarak belirgin bir artış tespit edilmiştir. Bu artışlar özellikle asetik asit ve bütirik asit konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemli düzeylere ulaşmıştır ($P<0.05$). Mevcut çalışmada gözlenen bu artışlar literatürde yer alan bulgularla tutarlılık göstermektedir. Daha önce yapılan birçok çalışmada, kümes hayvanlarının (etlik piliç ve yumurtacı tavuklar) rasyonlarına NSPaz enzimleri (Dale ve ark., 2020; Van Hoeck ve ark., 2021b; Ceylan ve ark., 2024) ve fitaz (Cufadar ve ark., 2024) ilavesinin, tek başına ya da kombinasyon halinde, SKYA konsantrasyonlarını, özellikle bütirik asit üretimini belirgin olarak arttırdığı bildirilmektedir. Bu durum, mevcut çalışmadaki sonuçları desteklemekte olup, enzim kullanımının bağırsak fermantasyon süreçleri üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktadır. Öte yandan, mevcut çalışmada tespit edilen asetik asit konsantrasyonu ile bağırsaktaki *Lactobacillus* popülasyonu arasındaki pozitif korelasyon, daha önce Liao ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir. Bu ilişki, *Lactobacillus* türlerinin bağırsakta daha fazla bulunmasının asetik asit üretimini arttırdığını ve bağırsak mikrobiyal ekosistemini faydalı yönde modüle ettiğini göstermektedir. Sekum kısa zincirli yağ asitlerinin, özellikle bütirik asitin, gastrointestinal sistemde epitel hücreler (enterositler) için temel bir enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Birçok araştırma, asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit gibi kısa zincirli yağ asitlerinin bağırsak epitel hücrelerinin yenilenmesini teşvik ettiği, bağırsak bütünlüğünü koruduğu, bağırsak bariyer fonksiyonlarını güçlendirip inflamasyonu azaltarak bağırsak sağlığını iyileştirdiği, bağırsak mikrobiyotasının dengesini düzenlediği ve bağırsaktaki patojenik mikroorganizmaların çoğalmasını baskılayarak faydalı mikroorganizma aktivitelerini arttırdığı yönünde kanıtlar sunmaktadır (Mroz ve ark., 2006; González-Ortiz ve ark., 2019; Van Hoeck ve ark., 2021b; Mátis ve ark., 2022). Bu bağlamda, enzim destekli düşük proteinli rasyonların bağırsakta kısa zincirli yağ asitleri üretimini arttırarak, bağırsak sağlığını koruyucu bir etki gösterebileceği düşünülmektedir. Mevcut çalışmada, kontrol+enzim (%16.8 HP+ME), %15.8 HP+ME ve %14.8 HP+ME rasyonları ile beslenen tavuklarda kısa zincirli yağ asidi seviyelerinin sırasıyla %20.7, %23.7 ve %20.5 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu artışlar, enzim içermeyen eşdeğer rasyonlara kıyasla istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu değerler, söz konusu grupların enzim içermeyen eşdeğerleriyle kıyaslandığında, enzimlerin bağırsakta fermantasyon süreçlerini destekleyerek kısa zincirli yağ asidi üretimini arttırdığını açıkça

göstermektedir. Bu durumun mekanizması, multienzimlerin bağırsaktaki sindirilemeyen polisakkaritleri parçalayarak bağırsak mikrobiyotasına fermentasyon için daha fazla substrat sağlamasıyla açıklanabilir. Özellikle, izobütirik konsantrasyonunun en yüksek olduğu gruplar kontrol+enzim (%16.8 HP+ME) ve %15.8 HP+ME grupları olmuştur. Ayrıca, %15.8 HP+ME rasyonunun en yüksek valerik asit ve dallı zincirli yağ asidi (BCFA) seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, enzim destekli düşük proteinli rasyonların, bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitlerinin konsantrasyonlarını arttırarak, bağırsak sağlığı ve fonksiyonları üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Özellikle bütirik asit üretiminin artması, bağırsak epitel hücrelerinin gelişimi ve yenilenmesi açısından kritik bir faktör olup, yemden yararlanma oranı (YYO) ve sindirim etkinliği üzerindeki iyileştirici etkileriyle dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, multienzimlerin bağırsak fermentasyonu ve kısa zincirli yağ asidi üretimi üzerindeki olumlu etkileri, düşük proteinli rasyonların sindirim sistemine adaptasyonunu destekleyerek, hayvan sağlığını ve verimliliğini arttıran önemli bir strateji olarak değerlendirilebilir.

4.6.3. Sekum mikroorganizma popülasyonu

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum mikroorganizma popülasyonuna etkileri Çizelge 4.24’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24’e göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarının sekumunda toplam aerob bakteri sayımı ile laktobasillus popülasyonu istatistiksel olarak önemli derecede etkilenmiş olup ($P<0.01$), koliform popülasyonu muamelelerden etkilenmemiştir ($P>0.05$).

Çalışmada muamele gruplarının sekumda toplam aerob bakteri sayımına etkisi 7.34 cfu/g ile 9.02 cfu/g değerleri arasında değişmiştir. Sekumda toplam aerob bakteri sayımı en yüksek 9.02 cfu/g değer ile DP2E grubundan elde edilmiş olup, bunu sırasıyla 8.73 cfu/g değeri ile DP1E grubu, 7.66 cfu/g değeri ile kontrol grubu, 7.54 cfu/g değeri ile KE grubu, 7.36 cfu/g değeri ile DP2 grubu ve 7.34 cfu/g değeri ile DP1 grubu takip etmiştir. Muamele gruplarından DP2E grubu ve DP1E grubu sekumda toplam aerob

bakteri sayısını kontrol grubu ve diğer muamele gruplarına göre (KE grubu, DP1 grubu ve DP2 grubu) istatistiki olarak önemli seviyede arttırmış olurken ($P<0.01$), DP2E ve DP1E grupları arasında sekumdaki toplam aerob bakteri sayımı üzerine etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte, KE grubu, DP1 grubu, DP2 grubu ve kontrol grubu arasında sekumda toplam aerob bakteri sayımı üzerine etki istatistiksel olarak benzer olmuştur ($P>0.05$).

Çalışmada, sekumdaki *Lactobacillus* popülasyonu 7.75 cfu/g değeri ile 9.70 cfu/g değeri arasında değişmiştir. Buna göre, muamele gruplarının sekumdaki *Lactobacillus* popülasyonuna etkisi 9.70 cfu/g değeri ile en yüksek DP1E grubunda tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla 9.51 cfu/g değeri ile DP2E grubu, 8.81 cfu/g değeri ile KE grubu, 7.98 cfu/g değeri ile DP1 grubu, 7.75 cfu/g değeri ile DP2 grubu ve 7.59 cfu/g değeri ile kontrol grubu izlemiştir. Muamele gruplarından DP2E grubu ve DP1E grubu sekumdaki *Lactobacillus* popülasyonunu istatistiksel olarak önemli seviyede kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre arttırırken ($P<0.01$), iki muamele grubu arasındaki *Lactobacillus* popülasyonu üzerine etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Çalışmada KE muamele grubunda sekumdaki *Lactobacillus* popülasyonu kontrol grubu ve DP2 grubundan istatistiki olarak önemli düzeyde daha yüksek bulunurken ($P<0.01$), kontrol grubu ile DP2 grubu arasındaki *Lactobacillus* popülasyonu üzerine etki istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$).

Muamele gruplarının sekumdaki koliform popülasyonu değerleri 7.22 cfu/g ile 7.68 cfu/g arasında değişmiştir. Sekumdaki koliform popülasyonu rakamsal olarak en yüksek kontrol grubunda bulunmuş olup, muamele grupları kontrol grubuna göre koliform popülasyonunu azaltmıştır. En düşük koliform popülasyonu DP1E muamele grubundan elde edilmiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.24. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum mikroorganizma popülasyonuna etkisi ($\bar{x} \pm s_x$)

Rasyonlar	Sekum Mikroorganizma Popülasyonu (cfu/g)		
	Toplam Aerob Bakteri	Laktobacillus	Koliform
K	7.66±0.26 ^B	7.59±0.29 ^C	7.68±0.32
KE	7.54±0.29 ^B	8.81±0.25 ^{AB}	7.43±0.26
DP1	7.34±0.25 ^B	7.98±0.31 ^{BC}	7.43±0.25
DP1E	8.73±0.33 ^A	9.70±0.40 ^A	7.22±0.22
DP2	7.36±0.28 ^B	7.75±0.28 ^C	7.36±0.26
DP2E	9.02±0.29 ^A	9.51±0.41 ^A	7.37±0.26
P-Değeri	<0.0001	<0,0001	0,898

A,B,C: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

Mevcut çalışmada farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum mikroorganizma popülasyonuna etkisi incelendiğinde enzimli düşük HP'li rasyon grupları (%15.8 HP+ME ile %14.8 HP+ME) kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede sekumda toplam aerob bakteri popülasyonunu ve laktobasillus popülasyonunu arttırmış olurken, enzimsiz düşük HP'li rasyonlar (%15.8 HP ile %14.8 HP) kontrol grubu ile benzer etki göstermişlerdir. Çalışmada sekumda bulunan koliform popülasyonu ise muamele rasyonlarından etkilenmemiştir. Bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve aktivitesinin, konağı birçok açıdan etkilediği iyi bilinmektedir. Özellikle mikrobiyotanın, bağışıklık sisteminin düzenlenmesi, besin maddelerinin sindirimi ve bağırsak sağlığının korunması gibi temel fizyolojik süreçlerde kritik roller oynadığı daha önce yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Valdes ve ark., 2018; Khan ve ark., 2020). Bu bağlamda, mevcut çalışmada yumurta tavuklarının sekumunda belirli bakteri türlerinin sayımlarına ilişkin bulgular Çizelge 4.24'te sunulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre uygulanan düşük HP'li rasyonların sekumda koliform bakteri popülasyonu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (P>0.05). Bu durum, rasyonlarla ilişkili değişikliklerin patojenik özellikteki koliform popülasyonları üzerinde belirgin bir baskılama veya çoğalma yaratmadığını, bu nedenle genel patojen yükünün etkilenmediğini göstermektedir. Bununla birlikte, multienzimli %15.8 düşük HP'li (%15.8 HP+ME) ve multienzimli %14.8 HP (%14.8 HP+ME) rasyonlarla beslenen tavukların, toplam aerobik bakteri ve *Laktobacillus* popülasyonlarında kontrol grubuna göre önemli düzeyde artışlar olduğu tespit edilmiştir (P<0.01). Bu bulgu, protein seviyeleri azaltılmış rasyonların enzimlerle zenginleştirilmesinin bağırsakta faydalı mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik ettiğini göstermektedir. Fitaz ve NSPaz enzimleri gibi rasyona eklenen spesifik enzimlerin, bağırsak ortamını iyileştirici yönde

etkilediği literatürde geniş biçimde bildirilmiştir (Ceylan ve ark., 2024; Cufadar ve ark., 2024). Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar, önceki araştırmalar ile tutarlı olup, özellikle etlik piliç ve yumurtacı tavukların rasyonlarına fitaz (González-Ortiz ve ark., 2021; Moita ve ark., 2021) ve NSPaz enzimler (Mroz ve ark., 2006; González-Ortiz ve ark., 2019; Mátis ve ark., 2022) ilavesinin bağırsaktaki mikrobiyal popülasyonları olumlu yönde değiştirdiğini ve bağırsak sağlığını belirgin düzeyde geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle, mevcut çalışmadaki *Lactobacillus* popülasyonlarının artışı, multienzimlerin bağırsak mikrobiyotasını prebiyotik benzeri bir etkiyle modüle ettiğini göstermektedir. Bu durumun nedeni olarak; bağırsak mikrobiyotasına daha fazla fermentasyon substratı sağlanması, bağırsak pH'sının düşürülmesi ve böylece patojenik bakterilerin büyümesinin inhibe edilmesi gibi mekanizmalar öne sürülmektedir. Bağırsak mikroorganizmaları, yemdeki ANF'leri, lifleri ve toksik bileşikler parçalayarak sindirilebilirliği arttırmakta ve böylece hayvanın besinlerden daha fazla yararlanmasını sağlamaktadır (Moita ve ark., 2021). Bağırsaktaki faydalı bakteriler, bağırsak epiteline kolonize olarak patojen mikroorganizmaların tutunmasını engeller ve bağırsak ortamını asidik hale getirerek patojenlerin büyümesini sınırlar. Ayrıca bağırsaktaki bağışıklık sistemini düzenleyici etkilerde bulunarak konağın genel bağışıklığını güçlendirirler. Bağırsak mikrobiyotası SKYA gibi metabolitler üreterek bağırsak sağlığını korur, bağırsak bütünlüğünü destekler ve bağırsak bariyer fonksiyonlarını güçlendirir (Mroz ve ark., 2006; González-Ortiz ve ark., 2019; Van Hoeck ve ark., 2021b). Multienzimlerin bağırsak mikrobiyotasına olumlu etkileri üzerine bazı mekanizmalar öne sürülmektedir. Bu enzimler bağırsakta; prebiyotik etkiye sahip olup, sindirilemeyen kompleks karbonhidratların (NOP'lar) parçalanmasını sağlayarak bağırsak mikrobiyotasına fermente edilebilecek substrat sağlar. Bu durum *Lactobacillus* gibi faydalı bakterilerin büyümesini teşvik eder (Ceylan ve ark., 2024; Cufadar ve ark., 2024) ve bağırsak pH'sını düşürerek patojenlerin büyümesini sınırlamakta ve dolayısıyla enfeksiyon riskini azaltmaktadır. Bununla birlikte, bağırsak mikrobiyotasının aktivitesini arttırarak kısa zincirli yağ asidi üretimini teşvik etmekte, bu da bağırsak epiteli için enerji kaynağı oluşturarak bağırsak sağlığını güçlendirmektedir. Mevcut çalışmadaki bulgular, rasyonlara eklenen multienzimlerin bağırsak mikrobiyotasının olumlu yönde modülasyonunu sağladığını ve özellikle faydalı bakterilerin (örneğin, *Lactobacillus*) popülasyonlarını arttırarak bağırsak sağlığını ve sindirim fonksiyonlarını iyileştirdiğini desteklemektedir. Bu nedenle, yumurtacı tavukların rasyonlarında düşük protein seviyelerine geçişte, bu enzimlerin kullanımı bağırsak sağlığını korumak ve hayvanların

verim performanslarını optimize etmek açısından etkili bir beslenme stratejisi olarak değerlendirilebilir.

4.6.4. İleum besin madde sindirilebilirliği

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ileum besin madde sindirilebilirliğine etkileri Çizelge 4.25’de, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25’e göre, Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ileumda HP sindirimine, KM sindirimine ve P sindirimine etkisi istatistiksel olarak önemli seviyede etkilenmiştir ($P<0.01$).

Çalışmada muamele gruplarının HP sindirimine etkisi %71.97 ile %74.60 değerleri arasında değişmiştir. En yüksek HP sindirimi DP1E grubunda (%74.60) tespit edilmiş olup, bunu sırasıyla DP2E grubu (%74.50), DP1 grubu (% 73.80), DP2 grubu (%73.21), KE grubu (%72.06) ve kontrol grubu (%71.97) izlemiştir. Muamele grupları arasından DP1E grubu ve DP2E grubunda HP sindirimi; kontrol grubu, KE grubu ve DP2 grubuna göre istatistiki olarak önemli seviyede artış gösterirken ($P<0.01$), DP1E grubu ve DP2E grubu arasında HP sindirimi üzerine olan etki benzer bulunmuştur ($P>0.05$). Muamele gruplarından DP2 grubu istatistiksel olarak HP sindirimini DP1E ve DP2E grubuna göre önemli seviyede azaltırken kontrol grubu ve KE grubuna göre ise arttırmıştır ($P<0.01$). Bununla birlikte, tavuklarda ileum HP sindirimi üzerine KE grubu ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak benzer etki tespit edilmiştir ($P>0.05$).

Çalışmada tavukların KM sindirimi %71.19 ile %75.59 değerleri arasında değişmiş olurken en yüksek KM sindirimi % 75.59 değeri ile DP1E muamele grubunda tespit edilmiş ve bunu sırasıyla %75.35 değeri ile DP2E grubu, %75.21 değeri ile DP2 grubu, %74.30 değeri ile DP1 grubu, %73.68 değeri ile KE grubu, %71.19 değeri ile kontrol grubu takip etmiştir. Muamele gruplarından DP1 grubu, DP1E grubu, DP2 grubu ve DP2E grubu tavukların ileum KM sindirimini istatistiksel olarak kontrol grubuna göre önemli derecede arttırmış olup ($P<0.01$), bu dört muamele grubu arasındaki etki KM sindirimi üzerine istatistiki olarak benzerlik göstermiştir ($P>0.05$).

Çalışmada tavukların P sindirimi değerleri %67.09 ile %70.11 arasında değişmiştir. En yüksek P sindirimi %70.11 değeri ile DP2E grubunda bulunmuş olup, bunu sırasıyla %70.07 değeri ile DP1E grubu, %69.20 değeri ile KE grubu, %67.42 değeri ile kontrol grubu, %67.08 değeri ile DP2 grubu ve %66.76 değeri ile DP2 grubu izlemiştir. Muamele grupları arasından DP2E ve DP1 tavukların P sindirimini; kontrol grubu, DP1 grubu ve DP2 grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede arttırmıştır ($P<0.01$). Tavukların ileum P sindirimi ise kontrol grubunda istatistiki olarak önemli seviyede DP1E ve DP2E grubuna göre daha düşük bulunmuştur ($P<0.01$). Muamele gruplarından DP1 ve DP2 grupları arasında ileum P sindirimi üzerine etki ise benzer olmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.25. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ileum besin madde sindirilebilirliğine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	İleum Besin Madde Sindirilebilirliği (%)		
	HP	KM	P
K	71.97±0.36 ^C	71.19±0.89 ^B	67.42±0.76 ^{BC}
KE	72.06±0.27 ^C	73.68±0.59 ^{AB}	69.20±0.79 ^{AB}
DP1	73.80±0.21 ^{AB}	74.30±0.76 ^A	67.09±0.58 ^C
DP1E	74.60±0.21 ^A	75.59±1.01 ^A	70.07±0.36 ^A
DP2	73.21±0.32 ^B	75.21±1.01 ^A	66.76±0.52 ^C
DP2E	74.50±0.31 ^A	75.35±0.95 ^A	70.11±0.68 ^A
P-Değeri	<0.0001	0.009	<0.0001

^{A,B,C}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0.01$).

HP: Ham protein; **KM:** Kuru madde; **P:** Fosfor

Çizelge 4.25’de sunulan sonuçlara göre; %15.8 HP’li ve %14.8 HP’li rasyonlara multienzim ilave edildiğinde (%15.8 HP+ME ve %14.8 HP+ME), aynı rasyonların enzimsiz versiyonlarına kıyasla HP sindirilebilirliğinin sırasıyla %1.08 ve %1.8 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca yine aynı gruplarda, P sindirilebilirliği sırasıyla %4.4 ve %5 oranında yükselmiştir. Buna karşın, kontrol grubunda ve enzim ilaveli kontrol grubunda ise en düşük ileal HP sindirilebilirlik değerleri gözlenmiştir ($P<0,05$). Bu grupların yanı sıra, %15.8 HP, %15.8 HP+ME, %14.8 HP ve %14.8 HP+ME içeren rasyon gruplarıyla beslenen tavuklarda KM sindirilebilirliği açısından istatistiksel olarak önemli bir iyileşme tespit edilmiştir. Mevcut çalışma sonuçları, literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Daha önce yapılan bir araştırmada, 1000 FTU/kg fitazın rasyona eklenmesi ile P, HP ve KM sindirilebilirliğinde hem doğrusal hem de kuadratik bir iyileşme sağlandığı belirlenmiştir (Cufadar ve ark., 2024). Bu durumda, fitaz ilavesi ile

enzimsiz kontrol rasyonuna kıyasla P sindirilebilirliği %3.99 ve HP sindirilebilirliği %2.79 oranında artış göstermiştir. Benzer bir çalışmada ise yumurta tavuklarının rasyonlarına 300 FTU/kg fitaz eklenmesinin P sindirilebilirliğini belirgin bir şekilde arttırdığı, bu seviyenin 1500 FTU/kg düzeyine çıkarılmasıyla sindirilebilir P miktarının daha da yükseldiği bildirilmiştir (Taylor ve ark., 2018). Bu durum, fitazın sindirimdeki önemini ve yüksek doz fitaz kullanımının potansiyel faydalarını vurgulamaktadır. Etlik piliçlerde ve yumurta tavuklarında rasyona fitaz enzimi eklenmesindeki temel amaç, fitik asit formunda bağlı bulunan P'nin salınmasını sağlayarak sindirilebilirliğini yükseltmek ve P kullanımını iyileştirmektir. Fitaz enzimi sayesinde fitat kompleksi içerisindeki P açığa çıkarılarak bağırsakta daha etkin bir şekilde emilir ve görünür ileal P sindirimi artar. Ayrıca fitaz, fitat-protein komplekslerini parçalayarak bağırsakta bulunan proteinlerin daha iyi sindirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu süreç görünür ileal HP sindirilebilirliğini de olumlu etkilemektedir (Martínez-Vallespín ve ark., 2022). Parkkonen ve ark. (1997) tarafından yapılan in vitro bir çalışmada, NSPaz enzimlerinin tahıl tanelerinin aleuron tabakasının hemen altındaki subaleuron bölgesini parçalayabildiği, böylece aleuron tabakasındaki proteinlerin floresans yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Bu durumun önemi ise, bağırsak içindeki proteolitik enzimlerin (proteinleri sindiren enzimler) ve fitaz enziminin tahıl tanelerindeki bu tabakalara nüfuz etmesini kolaylaştırarak protein ve fitat moleküllerinin daha etkili bir şekilde parçalanmasını sağlamasıdır. Son yıllarda, daha yüksek fitaz seviyelerinin kullanımının sağlayabileceği faydalar üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda yüksek fitaz dozlarının; P'nin kullanılabilirliğini daha fazla arttırdığı, enerji ve AA'ların biyoyararlanımını yükselttiği, minerallerin daha iyi emilimini desteklediği, fitik asitin anti-nutrisyonel etkilerini azaltarak myo-inositol üretimini arttırdığı ifade edilmiştir (Golzar Adabi ve ark., 2024). Bu mekanizmalar, yüksek fitaz dozlarının rasyonlara dahil edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca besin sindirilebilirliğindeki iyileşmenin bağırsakta fermentasyon kapasitesindeki artış ile yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bağırsak fermentasyonu arttığında, bağırsaklardan salgılanan peptid YY hormonunun düzeyi yükselmekte ve bu hormon bağırsak geçiş süresini yavaşlatarak besinlerin bağırsakta daha uzun süre kalmasını ve sindirimin daha etkili hale gelmesini sağlamakta böylelikle sindirilebilirlikteki genel iyileşme desteklenmektedir (Keenan ve ark., 2012). Mevcut çalışma ve literatür verileri, düşük proteinli rasyonlara fitaz ve NSPaz enzimlerinin eklenmesinin; HP, P ve KM sindirilebilirliğini arttırdığı, protein-fitat komplekslerinin parçalanmasını sağlayarak sindirim sürecini iyileştirdiği, bağırsak fermentasyon

kapasitesini arttırarak SKYA üretimini teşvik ettiği, bağırsak sağlığını koruyarak bağırsak mikrobiyotasının olumlu yönde gelişmesine katkı sağladığı açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, düşük HP seviyeli rasyonların multienzimlerle desteklenmesi, kanatlıların beslenme etkinliğini arttıran, çevresel açıdan faydalı olan ve hayvan performansını olumlu yönde etkileyen önemli bir beslenme stratejisi olarak önerilebilir.

4.6.5. Dışkı azot atılımı

Farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında dışkı N atılımı üzerine etkileri Çizelge 4.26'da, muamelelerin etkisinin tespit edildiği varyans analiz sonuçları ise Ek Çizelge-26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26'ya göre farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesi yumurta tavuklarında dışkı N atılımını istatistiksel olarak önemli seviyede etkilemiştir ($P<0.01$).

Çalışmada muamele gruplarının dışkı N atılımı değerleri %21.89 ile %30.78 değerleri arasında değişmiştir. Buna göre en yüksek dışkı N atılımı %30.78 değeri ile kontrol grubundan elde edilmiş olup, bunu sırasıyla %30.05 değeri ile KE grubu, % 24.62 değeri ile DP1 grubu, %24.60 değeri ile DP1E grubu, %22.04 değeri ile DP2E grubu ve en düşük %21.89 değeri ile DP2 grubu izlemiştir. Uygulanan muamele gruplarından DP1 grubu, DP1E grubu, DP2 grubu ve DP2E grubu tavukların dışkı N atılımını, kontrol ve KE grubuna göre istatistiksel olarak önemli seviyede azaltmıştır ($P<0.01$). Tavukların dışkı N atılımı üzerine bu azaltıcı etki DP1 grubu, DP1E grubu, DP2 grubu ve DP2E grubu arasında istatistiksel olarak benzer olmuştur ($P>0.05$). Bununla birlikte, KE grubu ve kontrol grubu arasındaki etki de tavukların dışkı N atılımı üzerine istatistiksel olarak benzerlik oluşturmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.26. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında dışkı HP seviyesine etkisi ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Rasyonlar	Dışkı HP miktarı (%)
K	30.78±1.30 ^A
KE	30.05±1.25 ^A
DP1	24.62±1.85 ^B
DP1E	24.60±1.26 ^B
DP2	21.89±1.70 ^B
DP2E	22.04±0.99 ^B
P-Değeri	0.001

^{A,B}: Aynı sütunda farklı harflerle gösterilmiş grup ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0.01).

Mevcut çalışmada, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin, yumurta tavuklarında dışkı N atılımını kontrol grubuna kıyasla önemli şekilde azalttığı belirlenmiştir. Bu bulgu, düşük proteinli rasyonların tavuk beslemesinde çevre kirliliğini azaltmaya yönelik kullanımını destekleyen literatürle uyumludur. Azot atılımının başlıca belirleyicisi rasyonun protein seviyesidir. Savaram ve ark. (2021), rasyondaki protein düzeyinin düşürülmesinin dışkıdaki N içeriğini azalttığını, ancak AA dengesinin iyi sağlanması gerektiğini belirtmiştir. Aksi takdirde, yetersiz AA'lar performans parametrelerini, özellikle yumurta verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Latshaw ve Zhao (2011) ve Liu ve ark. (2024c) ise rasyondaki protein miktarının düşürülmesiyle dışkı N'sini önemli derecede azaldığını ve proteinin vücutta kullanılmayan kısmının metabolik artık olarak atıldığını bildirmiştir. Aynı zamanda vücutta biriken aşırı N'nin amonyak emisyonlarını arttırarak hava kirliliği ve ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini belirtmiştir. Her iki araştırmacı düşük proteinli rasyonların amonyak emisyonunu azaltarak hayvan refahı ve hava kalitesinin iyileşmesine katkı sağladığını ortaya koymuştur. Böylelikle düşük proteinli rasyonlarla kümeslerde amonyak konsantrasyonu azalmakta, solunum yolu hastalıkları riski düşmekte ve hayvan sağlığı korunmaktadır. Bununla birlikte, Ma ve ark. (2021), düşük proteinli rasyonlara metiyonin ilavesinin yumurta verimini düşürmeden N atılımını azalttığını ve bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek sindirimi iyileştirdiğini rapor etmiştir. Ayrıca, Alagawany ve Abou-Kassem (2014), metiyonin ve lizin takviyeli rasyonların yumurta verimiyle birlikte N emilimini arttırarak dışkı ile N atılımını azaltabildiğini bildirmiştir. Enzim takviyesi ise bağırsakta sindirimi arttırarak yemden

alınan N'nin daha verimli kullanılmasını sağlamak ve N kaybını minimize etmektedir. Bedford ve Morgan (1996) ile de Lange ve ark. (2000) enzim kullanımının rasyonun sindirilebilirliğini arttırarak protein metabolizmasını optimize ettiğini ve dışkı N'sini azalttığını bildirmişlerdir. Azot atılımının azalması çevre kirliliğinin azaltılması açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Konu ekonomik olarak ele alındığında ise Savaram ve ark. (2021), düşük proteinli rasyonlara optimal AA ilavesinin yem maliyetlerini düşürüp, yumurta verimini koruyarak üretici kârlılığını arttırdığını bildirmişlerdir. Keshavarz ve Austic (2004) ise düşük proteinli ve AA takviyeli rasyonların performansı olumsuz etkilemeden N ve P atılımını önemli ölçüde azalttığını belirtmiş, dışkı ile atılan N'nin %45 oranında azaldığını raporlamıştır. Torki ve ark. (2015), düşük HP'li ve AA'larla dengelenmiş rasyonların, özellikle sıcak stresi olduğu koşullarda, yumurta verimi üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadan dışkı pH'sını düşürdüğünü ve N kayıplarını azalttığını göstermiştir. Van Harn ve ark. (2021) ise rasyon HP seviyesinin %16.1'den %14.7'ye düşürülmesinin, N alımında %7.5, N atılımında ise %12.5 oranında azalma sağladığını belirtmiştir. Meluzzi ve ark. (2001) ile Soares ve ark. (2019) da düşük HP'li rasyonların hem dışkıdaki N'yi azalttığını hem de amonyak salınımını düşürerek çevresel fayda sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, mevcut çalışma, düşük HP'li rasyonlara multienzim ilavesinin dışkı N atılımının azaltılmasında literatürle uyumlu şekilde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük proteinli rasyonların, ideal AA dengesi ve enzim takviyesiyle birlikte kullanılması, hem çevresel kirliliğin azaltılması hem de sürdürülebilir hayvancılığın desteklenmesi açısından önemli bir strateji sunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, farklı seviyelerde azaltılmış AA içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında performans, yumurta kalitesi, sindirim sağlığı, tibia özellikleri ve dışkı N atılımı üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre:

- **Performans:** Multienzim ilavesi, düşük proteinli rasyonların canlı ağırlık, yem tüketimi ve yumurta verimi üzerindeki olumsuz etkilerini kısmen dengelemiştir. %14.8 HP gruplarında yumurta ağırlığı, kitlesi ve yemden yararlanma oranı düşmüş, enzim desteği bu düşüşleri sınırlı düzeyde iyileştirmiştir.
- **Yumurta Kalitesi:** Kabuk kalınlığı ve kabuk oranı, düşük proteinli gruplarda artmış; kabuk kırılma direnci ve kabuk ağırlığı etkilenmemiştir. Sarı indeksi ve yumurta sarısı renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) enzimli gruplarda önemli şekilde iyileşmiştir. Ak indeksi ve Haugh birimi ise etkilenmemiştir.
- **Serum Parametreleri:** Serum kolesterol, total protein ve kreatinin düzeyleri değişmemiş; multienzim ilavesiyle ürik asit ve bilirubin düzeylerinde azalma sağlanmıştır.
- **Dışkı Azotu:** Multienzim desteği, tüm düşük proteinli rasyonlarda dışkı N atılımını azaltmıştır. Bu durum, çevre sağlığı açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.
- **Bağırsak Sağlığı:** Enzimli rasyonlar, jejunum villus yüksekliği, yüzey alanı, goblet hücre sayısı ve SKYA (asetik asit, bütirik asit) düzeylerini arttırarak intestinal emilim yüzeyini ve fermentasyon kapasitesini iyileştirmiştir. Faydalı mikrobiyal popülasyon (*Laktobacillus*, aerob bakteri) artarken, Koliform bakteri düzeyi değişmemiştir.
- **Besin Sindirilebilirliği:** Multienzim ilavesi, düşük proteinli gruplarda HP, P ve KM sindirilebilirliğini arttırmıştır. Tibia kül oranı, Tibia kesme kuvveti ve Tibia kesme enerjisi üzerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, AA'sı azaltılmış rasyonlara multienzim eklenmesi; serum parametreleri ve kemik kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmazken, N atılımını azaltmış, bağırsak morfolojisini, mikrobiyotasını ve SKYA üretimini iyileştirmiş, ayrıca HP, P ve KM sindirilebilirliğini arttırmıştır. Bu bulgular, multienzimlerin düşük proteinli

rasyonların etkinliğini arttırmada önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Bununla birlikte multienzim ilavesi, AA'ca kısıtlı düşük proteinli rasyonların olumsuz etkilerini azaltmada etkili olmuş, hem üretim performansı hem de çevre kirliliğinin azaltılması açısından olumlu sonuçlar sağlamıştır.

Yumurtacı tavukların rasyonlarına multienzim ilavesi, azaltılmış HP'li rasyonların neden olabileceği olumsuz etkileri azaltmakta etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle:

Rasyon Formülasyonunda Protein ve Amino Asit Optimizasyonu:

- **Protein Seviyesini Dikkatli Azaltma:** Çalışma, HP seviyesinin %16.8'den %15.8 gibi seviyelere düşürülmesinin, özellikle multienzim takviyesiyle birlikte, canlı ağırlık, yumurta verimi gibi temel performans kriterlerini olumsuz etkilemeyeceğini göstermekte, ancak %14.8 HP gibi daha düşük seviyelere inmek, özellikle yumurta ağırlığı ve verimi üzerinde risk taşımaktadır. Bu nedenle, protein azaltımı hedefleniyorsa, daha ılımlı seviyeler (%15.5-16.0 aralığı gibi) başlangıç için daha güvenli olabilir.
- **İdeal Amino Asit Dengesine Odaklanma:** Rasyonda HP'yi düşürürken, lizin, metiyonin, treonin gibi EAA'ların sindirilebilir bazda ihtiyaçları karşılayacak şekilde dengelenmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, %15.8 HP seviyesinde bile AA dengesi sağlandığında yumurta ağırlığının korunabildiğini göstermiştir. Bu, sadece rasyonun HP seviyesine değil, AA profiline de odaklanmanın önemini vurgulamıştır.
- **Rasyonda Multienzim Kullanımı:** Düşük protein/AA içeren rasyon formülasyonlarında, sindirilebilirliği arttırmak, bağırsak sağlığını desteklemek ve dışkı N atılımını azaltmak için uygun bir multienzim kompleksi (kullanılan hammaddelere göre NSPaz enzimleri (ksilanaz), proteaz ile fitaz içerebilen) kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, M., Mahdavi, A., Samie, A. ve Jahanian, R., 2014, Effects of different levels of dietary crude protein and threonine on performance, humoral immune responses and intestinal morphology of broiler chicks, *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 16 (1), 35-44.
- Abdel-Wareth, A. A., Williams, A. N., Salahuddin, M., Gadekar, S. ve Lohakare, J., 2024, Algae as an alternative source of protein in poultry diets for sustainable production and disease resistance: Present status and future considerations, *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1382163.
- Adeola, O. ve Cowieson, A., 2011, Board-invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production, *Journal of Animal Science*, 89 (10), 3189-3218.
- Aderibigbe, A., Wise, T., Davis, J., Naranjo, V., Hess, V. ve Dozier III, W., 2024, Effects of reduced crude protein diets while maintaining essential amino acid concentrations on growth performance, nitrogen output, ammonia production, and meat yield, *Poultry Science*, 103 (5), 103572.
- Adeyemo, G. O., Abioye, S. A. ve Aderemi, F. A., 2012, The effect of varied dietary crude protein levels with balanced amino acids on performance and egg quality characteristics of layers at first laying phase, *Food and Nutrition Sciences*, 3 (4), 526-529.
- Adhikari, R., Rochell, S. J., Kriseldi, R., Silva, M., Greiner, L., Williams, C., Matton, B., Anderson, A., Erf, G. F. ve Park, E., 2025, Recent advances in protein and amino acid nutritional dynamics in relation to performance, health, welfare, and cost of production, *Poultry Science*, 104852.
- Akyel, R. ve Buğdaycı, K. E., 2018, L-lizin hidroklorit ve L-lizin sülfatın yumurta tavuklarında performans, yumurta kalitesi ve bazı kan parametreleri açısından karşılaştırılması, *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 89 (2), 25-36.
- Al-bayati, A. A. Q. ve Cufadar, Y., 2019, Yumurta tavuklarında rasyona farklı seviyelerde fındık küspesi ve enzim ilavesinin performans ve yumurta kalite özelliklerine etkisi, *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 8 (2), 71-77.
- Alagawany, M. ve Abou-Kassem, D., 2014, The combined effects of dietary lysine and methionine intake on productive performance, egg component yield, egg composition and nitrogen retention in Lohmann Brown hens, *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 17 (2), 400-408.
- Alagawany, M., El-Hack, M., Farag, M. R., Ruchi Tiwari, R. T., Swati Sachan, S. S., Kumaragurubaran Karthik, K. K. ve Kuldeep Dhama, K. D., 2016, Positive and negative impacts of dietary protein levels in laying hens, *Asian Journal of Animal Science*, 10 (2), 165-174.

- Alagawany, M., Elnesr, S. S. ve Farag, M., 2018, The role of exogenous enzymes in promoting growth and improving nutrient digestibility in poultry, *Iranian Journal of Veterinary Research*, 19 (3), 157.
- Alagawany, M., El-Hindawy, M. M., El-Hack, M. E. A., Arif, M. ve El-Sayed, S. A., 2020, Influence of low-protein diet with different levels of amino acids on laying hen performance, quality and egg composition, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92 (01), e20180230.
- Andhale, V. T., 2024, Insect meal in poultry nutrition: A review, *Acta Scientific Veterinary Sciences*, 6 (6), 28-32.
- Angel, C., Saylor, W., Vieira, S. ve Ward, N., 2011, Effects of a monocomponent protease on performance and protein utilization in 7-to 22-day-old broiler chickens, *Poultry Science*, 90 (10), 2281-2286.
- Anonim, 2024, Yumurta alerjisi nedir? Yumurta alerjisi olanlar için alternatif protein kaynakları, Acıbadem Hayat, <https://www.acibadem.com.tr/hayat/yumurta-alerjisi/>: [Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2025].
- Anonymous, 2025a, Nutrient Requirements of Egg Laying Chickens, <https://www.poultryhub.org/all-about-poultry/nutrition/nutrient-requirements-of-egg-laying-chickens>: [Erişim Tarihi: 4 Mayıs 2025].
- Anonymous, 2025b, Antinutritional Factors, <https://poultry.caes.uga.edu/extension/poultry-nutrition/soybeans/antinutritional-factors.html>: [Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2025].
- Anwar, U., Riaz, M., Farooq Khalid, M., Mustafa, R., Farooq, U., Ashraf, M., Munir, H., Auon, M., Hussain, M. ve Hussain, M., 2023, Impact of exogenous xylanase and phytase, individually or in combination, on performance, digesta viscosity and carcass characteristics in broiler birds fed wheat-based diets, *Animals*, 13 (2), 278.
- AOAC, 2006, Official methods of analysis of AOAC international, 18th ed., 382, *Gaithersburg, MD, USA*, AOAC International.
- Apajalahti, J., Vienola, K., Raatikainen, K., Holder, V. ve Moran, C. A., 2019, Conversion of branched-chain amino acids to corresponding isoacids-an in vitro tool for estimating ruminal protein degradability, *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 311.
- Applegate, T. J. ve Angel, R., 2008, Protein and amino acid requirements for poultry, <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/346/2014/11/Protein-and-amino-acid-for-poultry-final.pdf>: [Erişim Tarihi: 6 Mayıs 2025].
- ASAE, S., 2003, Shear and three-point bending test of animal bone. ANSI/ASAE S459 DEC01, USA.

- Azzam, M. M., Alhotan, R., Al-Abdullatif, A., Al-Mufarrej, S., Mabkhot, M., Alhidary, I. A. ve Zheng, C., 2019, Threonine requirements in dietary low crude protein for laying hens under high-temperature environmental climate, *Animals*, 9 (9), 586.
- Babalola, T., Apata, D. ve Atteh, J., 2006, Effect of β -xylanase supplementation of boiled castor seed meal-based diets on the performance, nutrient absorbability and some blood constituents of pullet chicks, *Tropical Science*, 46 (4), 216-223.
- Barekatain, R., Chrystal, P., Howarth, G., McLaughlan, C., Gilani, S. ve Nattrass, G., 2019, Performance, intestinal permeability, and gene expression of selected tight junction proteins in broiler chickens fed reduced protein diets supplemented with arginine, glutamine, and glycine subjected to a leaky gut model, *Poultry Science*, 98 (12), 6761-6771.
- Barekatain, R., Chrystal, P. V., Nowland, T., Moss, A. F., Howarth, G. S., Van, T. T. H. ve Moore, R. J., 2023, Negative consequences of reduced protein diets supplemented with synthetic amino acids for performance, intestinal barrier function, and caecal microbiota composition of broiler chickens, *Animal Nutrition*, 13, 216-228.
- Barker, N., Van De Wetering, M. ve Clevers, H., 2008, The intestinal stem cell, *Genes & Development*, 22 (14), 1856-1864.
- Battaa, A., Awadien, N. B. ve Ebeid, T., 2015, The productive performance and immunological traits of local chicken strain by using natural enzymes (plant papain) and remnants of plant papaya. 1-Effect of papaya latex on laying period, *Egyptian Poultry Science Journal*, 35, 1-24.
- Bedford, M. ve Morgan, A., 1996, The use of enzymes in poultry diets, *World's Poultry Science Journal*, 52 (1), 61-68.
- Bedford, M. ve Cowieson, A., 2012, Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology, *Animal Feed Science and Technology*, 173 (1-2), 76-85.
- Belhadj Slimen, I., Yerou, H., Ben Larbi, M., M'Hamdi, N. ve Najjar, T., 2023, Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: A review, *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031.
- Beski, S. S., Swick, R. A. ve Iji, P. A., 2015, Specialized protein products in broiler chicken nutrition: A review, *Animal Nutrition*, 1 (2), 47-53.
- Bezerra, R. M., Costa, F. G. P., Givisiez, P. E. N., Goulart, C. d. C., Santos, R. A. d. ve Lima, M. R. d., 2015, Glutamic acid supplementation on low protein diets for laying hens, *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37 (2), 129-134.
- Bonekamp, R., Lemme, A., Wijtten, P. ve Sparla, J., 2010, Effects of amino acids on egg number and egg mass of brown (heavy breed) and white (light breed) laying hens, *Poultry Science*, 89 (3), 522-529.

- Borrelli, L., Coretti, L., Dipineto, L., Bovera, F., Menna, F., Chiariotti, L., Nizza, A., Lembo, F. ve Fioretti, A., 2017, Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens, *Scientific Reports*, 7 (1), 16269.
- Bouyeh, M. ve Gevorgian, O., 2011, Influence of different levels of lysine, methionine and protein on the performance of laying hens after peak, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10 (4), 532-537.
- Bozkurt, M., Alçiçek, A. ve Çabuk, M., 2004, The effect of dietary inclusion of meat and bone meal on the performance of laying hens at old age, *South African Journal of Animal Science*, 34 (1), 31-36.
- Bregendahl, K., Roberts, S., Kerr, B. ve Hoehler, D., 2008, Ideal ratios of isoleucine, methionine, methionine plus cystine, threonine, tryptophan, and valine relative to lysine for white leghorn-type laying hens of twenty-eight to thirty-four weeks of age, *Poultry Science*, 87 (4), 744-758.
- Bruch, C. A., Andrade, T. d. S., Rohloff, N., Ribeiro, T. P., Vargas, J. G. d. ve Nunes, R. V., 2024, Alpha-amylase supplementation improves broiler performance and intestinal health under reduced metabolizable energy conditions, *Ciência e Agrotecnologia*, 48, e015824.
- Bryan, D. D. ve Classen, H. L., 2020, In vitro methods of assessing protein quality for poultry, *Animals*, 10 (4), 551.
- Bryden, W., Li, X., Ruhnke, I., Zhang, D. ve Shini, S., 2021, Nutrition, feeding and laying hen welfare, *Animal Production Science*, 61 (10), 893-914.
- Bryden, W. L. ve Li, X., 2010, Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 279-287.
- Bunchasak, C., Poosuwan, K., Nukraew, R., Markvichitr, K. ve Choothesa, A., 2005, Effect of dietary protein on egg production and immunity responses of laying hens during peak production period, *International Journal of Poultry Science*, 4 (9), 701-708.
- Buwjoom, T., Yamauchi, K., Erikawa, T. ve Goto, H., 2010, Histological intestinal alterations in chickens fed low protein diet, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94 (3), 354-361.
- Cabezas-Garcia, E., Rodríguez-Aguilar, D. ve Afanador-Téllez, G., 2022, Individual egg production of Hy-Line Brown hens during the early laying phase in response to dietary CP levels, *Animal-Open Space*, 1 (1), 100027.
- Café, M., Borges, C., Fritts, C. ve Waldroup, P., 2002, Avizyme improves performance of broilers fed corn-soybean meal-based diets, *Journal of Applied Poultry Research*, 11 (1), 29-33.

- Cai, P., Liu, S., Tu, Y., Fu, D., Zhang, W., Zhang, X., Zhou, Y. ve Shan, T., 2024, Effects of different supplemental levels of protease DE200 on the production performance, egg quality, and cecum microflora of laying hens, *Journal of Animal Science*, 102.
- Ceylan, N., Scheideler, S. ve Stilborn, H., 2003, High available phosphorus corn and phytase in layer diets, *Poultry Science*, 82 (5), 789-795.
- Ceylan, N., Koca, S. ve Golzar Adabi, S., 2023, Does modern broilers need less energy for better growth and intestinal development?, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107 (4), 1093-1102.
- Ceylan, N., Koca, S. ve Golzar Adabi, S., 2024, Effect of two different dietary endo-1, 4- β -xylanases on growth performance, intestinal histomorphology, caecal microbial population and short-chain fatty acid composition of broiler chickens, *Italian Journal of Animal Science*, 23 (1), 15-25.
- Chen, Z., Chen, R., Ma, X., Wu, W., Huang, Q., Ye, W., Wu, C., Yao, B., Xu, J. ve Qian, L., 2024, A multi-enzyme complex that mitigates hepatotoxicity, improves egg production and quality, and enhances gut and liver health in laying hens exposed to trace Aflatoxin B1, *Toxins*, 16 (12), 517.
- Cho, H. M., Hong, J. S., Kim, Y. B., Nawarathne, S. R., Choi, I., Yi, Y.-J., Wu, D., Lee, H., Han, S. E. ve Nam, K. T., 2020, Responses in growth performance and nutrient digestibility to a multi-protease supplementation in amino acid-deficient broiler diets, *Journal of Animal Science and Technology*, 62 (6), 840.
- Chock, P., 2005, *Applied Animal Nutrition Feeds and Feeding*. 3rdEdn, Pearson Education, Inc., NY, USA.
- Church, D. ve Pond, W., 1988, *Basic animal nutrition and feeding*. John Wiley and Sons, Inc. *United States of America*.
- Coon, C. ve Zhang, B., 1999, Ideal amino acid profile for layers examined, *Feedstuffs*, 71 (14), 13-15.
- Cowieson, A., Wilcock, P. ve Bedford, M., 2011, Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics, *World's Poultry Science Journal*, 67 (2), 225-236.
- Cowieson, A., Lu, H., Ajuwon, K., Knap, I. ve Adeola, O., 2016, Interactive effects of dietary protein source and exogenous protease on growth performance, immune competence and jejunal health of broiler chickens, *Animal Production Science*, 57 (2), 252-261.
- Cowieson, A. J. ve Roos, F. F., 2016, Toward optimal value creation through the application of exogenous mono-component protease in the diets of non-ruminants, *Animal Feed Science and Technology*, 221, 331-340.

- Cufadar, Y., Kanbur, G., Göçmen, R. ve Al-Bayati, A. A. Q., 2021, Feeding the laying quails with mealworm larvae meal and alterations in egg quality and yolk fatty acid profile, *Bulletin of University of Agricultural Science and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Food Science and Technology*, 78 (2).
- Cufadar, Y., Golzar Adabi, S., Gül, E. ve Nollet, L., 2024, Effects of graded levels of dietary microbial 6-phytase on performance, intestinal histomorphology, caecal microbial population and short-chain fatty acid composition of Lohmann white-classics, *British Poultry Science*, 65 (5), 595-604.
- Curabay, B., Sevim, B., Cufadar, Y. ve Ayasan, T., 2021, Effects of adding spirulina platensis to laying hen rations on performance, egg quality, and some blood parameters, *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 72 (2), 2945-2952.
- CVB, 1996, Central Bureau for Livestock Feeding. [Amino acid requirements for laying hens and broiler chickens]. Documentation report nr. 18 (in Dutch), *Centraal Veevoederbureau, Lelystad, the Netherlands*.
- Çelik, B., 2019, Tek hücre proteinlerinin hayvan besleme açısından önemi ve rasyonda kullanım olanakları, *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 59 (Ek Sayı), 113-116.
- Dale, T., Hannay, I., Bedford, M. R., Tucker, G. A., Brameld, J. ve Parr, T., 2020, The effects of exogenous xylanase supplementation on the in vivo generation of xylooligosaccharides and monosaccharides in broilers fed a wheat-based diet, *British Poultry Science*, 61 (4), 471-481.
- de Lange, C. F. M., Nyachoti, C. M. ve Verstegen, M. W. A., 2000, The significance of antinutritional factors in feedstuffs for monogastric animals, In: *Feed Evaluation: Principles and Practice*, Eds: P. J. Moughan, M. W. A. V., M. I. Visser-Reyneveld, *Netherlands: Wageningen Pers*, p. 169-188.
- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H. ve Dabbou, S., 2015, Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy, *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211-218.
- De Reu, K., Grijspeerdt, K., Messens, W., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Debevere, J. ve Herman, L., 2006, Eggshell factors influencing eggshell penetration and whole egg contamination by different bacteria, including *Salmonella enteritidis*, *International Journal of Food Microbiology*, 112 (3), 253-260.
- Dersjant-Li, Y., Awati, A., Schulze, H. ve Partridge, G., 2015, Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (5), 878-896.

- Dong, X., Azzam, M. ve Zou, X., 2017, Effects of dietary threonine supplementation on intestinal barrier function and gut microbiota of laying hens, *Poultry Science*, 96 (10), 3654-3663.
- Du, X., Wang, Y., Amevor, F. K., Ning, Z., Deng, X., Wu, Y., Wei, S., Cao, X., Xu, D. ve Tian, Y., 2024, Effect of high energy low protein diet on lipid metabolism and inflammation in the liver and abdominal adipose tissue of laying hens, *Animals*, 14 (8), 1199.
- Duque-Ramírez, C. F., Javierre, J., Peñuela-Sierra, L. M. ve Diaz-Vargas, M., 2023, Effect of exogenous protease on performance, nutrient digestibility, intestinal histomorphometric, meat quality characteristics, carcass yield in broilers fed low protein diets, *Tropical Animal Health and Production*, 55 (3), 190.
- EFSA, Lambré, C., Barat Baviera, J. M., Bolognesi, C., Cocconcelli, P. S., Crebelli, R., Gott, D. M., Grob, K., Lampi, E., Mengelers, M., Mortensen, A., Rivière, G., Steffensen, I.-L., Tlustos, C., Van, L. H., Laurence, V., Holger, Z., Magdalena, A., Yi, L., Laura, S. ve Andrew, C., 2024, Safety evaluation of the food enzyme rennet containing chymosin and pepsin A from the abomasum of suckling calves, goats, lambs and buffaloes, *EFSA Journal*, 22 (2), e8607.
- Einarsson, M. I., Jokumsen, A., Bæk, A. M., Jacobsen, C., Pedersen, S. A., Samuelson, T. A., Pálsson, J., Eliassen, O. ve Flesland, O., 2019, Nordic centre of excellence network in fishmeal and fish oil, *Report Matis*.
- El Enshasy, H., Dailin, D. J., Abd Manas, N. H., Azlee, N. İ. W., Eyahmalay, J., Yahaya, S. A., Abd Malek, R., Siwapiragam, V. ve Sukmawati, D., 2018, Current and future applications of phytases in poultry industry: A critical review, *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques*, 3 (3), 65-74.
- Elliot, M., 2025, Improved laying hen traits demand applied nutrition, <https://avinews.com/en/improved-laying-hen-traits-demand-adjusted-nutrition/>: [Erişim Tarihi: 6 Mayıs 2025].
- Emami, N. K., Naeini, S. Z. ve Ruiz-Feria, C., 2013, Growth performance, digestibility, immune response and intestinal morphology of male broilers fed phosphorus deficient diets supplemented with microbial phytase and organic acids, *Livestock Science*, 157 (2-3), 506-513.
- Ergün, A., 1984, Tavuk besleme, *Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* (Özel Sayı), 107-119.
- Fanatico, A., Arsi, K., Upadhyaya, I., Ramos, J. M., Donoghue, D. ve Donoghue, A., 2018, Sustainable fish and invertebrate meals for methionine and protein feeds in organic poultry production, *Journal of Applied Poultry Research*, 27 (4), 437-448.
- Foltyn, M., Lichovníková, M., Rada, V. ve Musilová, A., 2015, Apparent ileal digestibility of protein and amino acids in protein feedstuffs and trypsin activity in the small intestine in broiler chickens, *Czech Journal of Animal Science*, 60 (8), 375-382.

- Fowler, J., 2022, Nutrition for the Backyard Flock, U.S., <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C954&title=nutrition-for-the-backyard-flock>: [Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2025].
- Freitas, D., Vieira, S., Angel, C., Favero, A. ve Maiorka, A., 2011, Performance and nutrient utilization of broilers fed diets supplemented with a novel mono-component protease, *Journal of Applied Poultry Research*, 20 (3), 322-334.
- Geng, S., Huang, S., Ma, Q., Li, F., Gao, Y., Zhao, L. ve Zhang, J., 2021, Alterations and correlations of the gut microbiome, performance, egg quality, and serum biochemical indexes in laying hens with low-protein amino acid-deficient diets, *ACS Omega*, 6 (20), 13094-13104.
- Gilani, G. S., Xiao, C. W. ve Cockell, K. A., 2012, Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality, *British Journal of Nutrition*, 108 (S2), S315-S332.
- Golzar Adabi, S., Ceylan, N., Ciftci, I. ve Ceylan, A., 2019, Response of growing chicks to supplementation of low protein diets with leucine, valine and glycine-glutamic acid, *South African Journal of Animal Science*, 49 (6), 1047-1062.
- Golzar Adabi, S., Raei, H., Ceylan, N., Karimi Torshizi, M. ve Yavaş, İ., 2024, Long story from past to present: calcium, phosphorus, and phytase, *Annals of Animal Science* (4).
- González-Ortiz, G., Dos Santos, T., Vienola, K., Vartiainen, S., Apajalahti, J. ve Bedford, M., 2019, Response of broiler chickens to xylanase and butyrate supplementation, *Poultry Science*, 98 (9), 3914-3925.
- González-Ortiz, G., Dos Santos, T. T. ve Bedford, M. R., 2021, Evaluation of xylanase and a fermentable xylo-oligosaccharide on performance and ileal digestibility of broiler chickens fed energy and amino acid deficient diets, *Animal Nutrition*, 7 (2), 488-495.
- Göçmen, R., 2022, Use of *Spirulina Platensis* in Japanese quail diets in fattening period and responses of performance, meat quality and immunity, *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73 (3), 4511-4516.
- Gumpha, L., Babu, L., Kumar, A., Samal, P. ve Panda, A. K., 2019, Effect of low protein diets on production performance, egg quality and serum biochemical indices of Vanaraja laying hens, *Animal Nutrition and Feed Technology*, 19 (3), 349-359.
- Gündüz, T., 2024, Tavukların Besin Madde Gereksinimleri (online), <https://veteriner.cc/?p=1316>: [Erişim Tarihi: 4 Mayıs 2025].
- H&N International, 2020, Super Nick White Egg Layers New Management Guide. Cuxhaven, Germany, H&N International GmbH.

- Hamilton, R., Hollands, K., Voisey, P. ve Grunder, A., 1979, Relationship between egg shell quality and shell breakage and factors that affect shell breakage in the field—A review¹, *World's Poultry Science Journal*, 35 (3), 177-190.
- Hassan, G., Farghaly, M., Soliman, F. ve Hussain, H., 2000, The influence of strain and dietary protein level on egg production traits for different local chicken strains, *Egyptian Poultry Science Journal*, 20 (1), 49-63.
- Hassan, M. M., Morsy, A. ve Amal, M., 2012, Optimal metabolizable energy and crude protein levels for laying hens drinking natural saline water. Proceedings of the 5th Scientific Conference of Animal Wealth Research in the Middle East and North Africa. Cairo, Egypt, Massive Conferences and Trade Fairs, 315-330.
- Haugh, R., 1937, The Haugh unit for measuring egg quality, *United States Egg Poultry Magazine*, 43, 552-555.
- Heo, Y.-J., Park, J., Kim, Y.-B., Kwon, B.-Y., Kim, D.-H., Song, J.-Y. ve Lee, K.-W., 2023, Effects of dietary protein levels on performance, nitrogen excretion, and odor emission of growing pullets and laying hens, *Poultry Science*, 102 (8), 102798.
- Huang, Q., Chen, R., Wu, W., Fan, J., Ma, X., Chen, Z., Ye, W. ve Qian, L., 2024a, Effects of various supplemental levels of multi-enzyme complex on amino acid profiles in egg yolk, antioxidant capacity, cecal microbial community and metabolites of laying hens, *Frontiers in Microbiology*, 15, 1466024.
- Huang, Q., Yi, W., Fan, J., Chen, R., Ma, X., Chen, Z., Wu, W. ve Qian, L., 2024b, Effects supplementation of novel multi-enzyme on laying performance, egg quality, and intestinal health and digestive function of laying hens, *Poultry science*, 103 (12), 104461.
- Inayah, S. R., Mutia, R., Jayanegara, A., Yanza, Y. R. ve Amnah, S., 2022, Effects of xylanase supplementation on the performance, nutrient digestibility, and digestive organ profiles of broiler chickens: A meta-analysis, *Journal of World's Poultry Research*, 12 (3), 199-211.
- Incharoen, T., Yamauchi, K.-e., Erikawa, T. ve Gotoh, H., 2010, Histology of intestinal villi and epithelial cells in chickens fed low-crude protein or low-crude fat diets, *Italian Journal of Animal Science*, 9 (4), e82.
- İpçak, H., Özüretmen, S., Alçiçek, A. ve Özelçam, H., 2018, Alternatif protein kaynaklarının hayvan beslemede kullanım olanakları, *Hayvansal Üretim*, 59 (1), 51-58.
- Jacob, J., 2025, <https://poultry.extension.org/articles/feeds-and-feeding-of-poultry/feed-additives-for-poultry/>: [Erişim Tarihi: 6 Mart 2025].
- Jahan, A. A., Dao, T. H., Akter, N., Swick, R. A., Morgan, N. K., Crowley, T. M. ve Moss, A. F., 2023, The Order of Limiting Amino Acids in a Wheat–Sorghum-Based Reduced-Protein Diet for Laying Hens, *Applied Sciences*, 13 (23), 12934.

- Jais, C., Roth, F. ve Kirchgessner, M., 1995, The determination of the optimum ratio between the essential amino acids in laying hen diets, *European Poultry Science*, 59 (5), 292-302.
- Ji, F., Fu, S., Ren, B., Wu, S., Zhang, H., Yue, H., Gao, J., Helmbrecht, A. ve Qi, G., 2014, Evaluation of amino-acid supplemented diets varying in protein levels for laying hens, *Journal of Applied Poultry Research*, 23 (3), 384-392.
- Jones, D., Musgrove, M. ve Northcutt, J., 2004, Variations in external and internal microbial populations in shell eggs during extended storage, *Journal of Food Protection*, 67 (12), 2657-2660.
- Junqueira, O., De Laurentiz, A., da Silva Filardi, R., Rodrigues, E. ve Casartelli, E. M. C., 2006, Effects of energy and protein levels on egg quality and performance of laying hens at early second production cycle, *Journal of Applied Poultry Research*, 15 (1), 110-115.
- Kaplan, A. ve Göçmen, R., 2023, Effects of supplementation black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) to the diets of breeder Japanese quails on performance, egg quality, and incubation parameters, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 37 (3), 524-530.
- Karim, D. A. ve Grace, K., 2023, A review of non-conventional animal protein sources as poultry feeds, *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 8 (3), 243-252.
- Kashani, S., Mohebbifar, A., Habibian, M. ve Torki, M., 2014, Effects of phytase supplementation of low protein diets on performance, egg quality traits and blood biochemical parameters of laying hens, *Annual Research & Review in Biology*, 4 (4), 684.
- Katu, J. K., Tóth, T. ve Varga, L., 2025, Enhancing the nutritional quality of low-grade poultry feed ingredients through fermentation: A review, *Agriculture*, 15 (5), 476.
- Kayan, A., Prasongsook, S. ve Poeikhampha, T., 2025, Diet supplementation with phytase and xylanase on laying performance, egg quality, apparent metabolizable energy, and phosphorous use in laying hens, *Veterinary World*, 18 (1).
- Keenan, M. J., Martin, R. J., Raggio, A. M., McCutcheon, K. L., Brown, I. L., Birkett, A., Newman, S. S., Skaf, J., Hegsted, M. ve Tulley, R. T., 2012, A microarray study indicates high-amylose resistant starch increases hormones and improves structure and function of the GI tract, *Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics*, 5 (1), 26.
- Keshavarz, K. ve Austic, R., 2004, The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid- and phytase-supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion, *Poultry Science*, 83 (1), 75-83.

- Khan, S., Moore, R. J., Stanley, D. ve Chousalkar, K. K., 2020, The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety, *Applied and Environmental Microbiology*, 86 (13), e00600-00620.
- Khattak, F., Pasha, T., Hayat, Z. ve Mahmud, A., 2006, Enzymes in poultry nutrition, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 16 (1-2), 1-7.
- Kim, D. Y., Kim, K. H., Lee, E. C., Oh, J. K., Park, M. A. ve Kil, D. Y., 2024, Effect of dietary supplementation of xylanase alone or combination of xylanase and β -glucanase on growth performance, meat quality, intestinal measurements, and nutrient utilization in broiler chickens, *Animal Bioscience*, 38 (2), 325.
- Kulshreshtha, G., Hincke, M. T., Prithiviraj, B. ve Critchley, A., 2020, A review of the varied uses of macroalgae as dietary supplements in selected poultry with special reference to laying hen and broiler chickens, *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (7), 536.
- Kumar, D., 2016, Assessing the response of laying hens to digestible balanced protein from 27 to 66 weeks of age (Doctoral dissertation), *University of Saskatchewan*, Canada.
- Kutlu, H. R., Görgülü, M. ve Çelik, L. B. Ç., 2005, ZM-208 Genel hayvan besleme ders notu, Adana, <https://www.ruminantbesleme.com/wp-content/uploads/2018/09/GENEL-HAYVAN-BESLEME.pdf>: [Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2025].
- Latshaw, J. ve Zhao, L., 2011, Dietary protein effects on hen performance and nitrogen excretion, *Poultry Science*, 90 (1), 99-106.
- Laudadio, V., Passantino, L., Perillo, A., Lopresti, G., Passantino, A., Khan, R. ve Tufarelli, V., 2012, Productive performance and histological features of intestinal mucosa of broiler chickens fed different dietary protein levels, *Poultry Science*, 91 (1), 265-270.
- Law, F. L., Zulkifli, I., Soleimani, A. F., Liang, J. B. ve Awad, E. A., 2017, The effects of low-protein diets and protease supplementation on broiler chickens in a hot and humid tropical environment, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31 (8), 1291.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G. ve Izydorczyk, M. S., 2007, Cereal beta-glucans: structures, physical properties, and physiological functions, *Functional Food Carbohydrates*, 1-72.
- Lee, K., Choi, Y., Moon, E., Oh, S., Lee, H., Kang, C. ve An, B., 2014, Evaluation of dietary multiple enzyme preparation (Natuzyne) in laying hens, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27 (12), 1749.
- Leeson, S. ve Summers, J. D., 2005, Commercial poultry nutrition-3rd edition, *Guelph, Ontario, Canada*, University Books, p. 398.

- Lemme, A., 2003, The “Ideal protein concept” in broiler nutrition 1. Methodological aspects-opportunities and limitations, *Degussa AG Amino News*, 4 (1), 7-14.
- Lemme, A., 2009, Amino acid recommendations for laying hens, *Lohmann Information*, 44 (2), 21-32.
- Leone, F. ve Ferrante, V., 2023, Effects of prebiotics and precision biotics on performance, animal welfare and environmental impact. A review, *Science of the Total Environment*, 901, 165951.
- Li, X., 2021, Plant cell wall chemistry: Implications for ruminant utilisation, *Journal of Applied Animal Nutrition*, 9 (1), 31-56.
- Liao, X., Shao, Y., Sun, G., Yang, Y., Zhang, L., Guo, Y., Luo, X. ve Lu, L., 2020, The relationship among gut microbiota, short-chain fatty acids, and intestinal morphology of growing and healthy broilers, *Poultry Science*, 99 (11), 5883-5895.
- Lima, M. R. d., Costa, F. G. P., Guerra, R. R., Silva, J. H. V. d., Rabello, C. B.-V., Miglino, M. A., Nogueira, E. T. ve Pinheiro, S. G., 2012, Digestible tryptophan: lysine ratio for laying hens, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 2203-2210.
- Liu, H., Liu, W., Ai, M., Hao, X., Zhang, Q., Ren, J. ve Zhang, K., 2024a, Effects of β -mannanase supplementation on productive performance, inflammation, energy metabolism, and cecum microbiota composition of laying hens fed with reduced-energy diets, *Poultry Science*, 103 (4), 103521.
- Liu, H., Xu, K., Wang, H., Lin, H., Yang, X., Wang, X., Zhao, J., Ma, B., Shu, Q. ve Lu, Y., 2024b, Effects of different forms of amino acid supplementation on the performance and intestinal barrier function of laying hens fed a low-protein diet, *Poultry Science*, 103 (12), 104375.
- Liu, M., Geng, S., Wang, Q., Mi, J., Zhao, L., Zhang, J., Ji, C., Wang, H., Ma, Q. ve Huang, S., 2024c, Using low-protein diet in egg production for win-win of productivity and environmental benefits should be prudent: Evidence from pilot test, *Science of the Total Environment*, 912, 169148.
- Liu, M., Xia, Z.-Y., Li, H.-L., Huang, Y.-X., Refaie, A., Deng, Z.-C. ve Sun, L.-H., 2024d, Estimation of protein and amino acid requirements in layer chicks depending on dynamic model, *Animals*, 14 (5), 764.
- Liu, S., Selle, P., Court, S. ve Cowieson, A., 2013, Protease supplementation of sorghum-based broiler diets enhances amino acid digestibility coefficients in four small intestinal sites and accelerates their rates of digestion, *Animal Feed Science and Technology*, 183 (3-4), 175-183.
- Liu, Y., Zeng, D., Qu, L., Wang, Z. ve Ning, Z., 2021, Multi-enzyme supplementation modifies the gut microbiome and metabolome in breeding hens, *Frontiers in Microbiology*, 12, 711905.

- Long, S., Kang, S., Wang, Q., Xu, Y., Pan, L., Hu, J., Li, M. ve Piao, X., 2018, Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers, *Poultry Science*, 97 (6), 1881-1890.
- Ma, M., Geng, S., Liu, M., Zhao, L., Zhang, J., Huang, S. ve Ma, Q., 2021, Effects of different methionine levels in low protein diets on production performance, reproductive system, metabolism, and gut microbiota in laying hens, *Frontiers in Nutrition*, 8, 739676.
- Macelline, S. P., Toghyani, M., Chrystal, P. V., Selle, P. H. ve Liu, S. Y., 2021, Amino acid requirements for laying hens: a comprehensive review, *Poultry Science*, 100 (5), 101036.
- Macelline, S. P., Toghyani, M., Chrystal, P. V., de Paula Dorigam, J. C., Greenhalgh, S., Selle, P. H. ve Liu, S. Y., 2022, Essential amino acid recommendations for Isa Brown layers during peak and post peak production, *Poultry Science*, 101 (12), 102171.
- Madhusankha, G. ve Thilakarathna, R., 2021, Meat tenderization mechanism and the impact of plant exogenous proteases: A review, *Arabian Journal of Chemistry*, 14 (2), 102967.
- Malomo, G., Bolu, S., Egberuare, T. ve Sofiat, S., 2023, Effect of enzyme supplementation of low protein diets on performance and egg quality parameters of laying hens, *Nigerian Journal of Animal Production*, 1422-1425.
- Martínez-Valleespín, B., Männer, K., Ader, P. ve Zentek, J., 2022, Evaluation of high doses of phytase in a low-phosphorus diet in comparison to a phytate-free diet on performance, apparent ileal digestibility of nutrients, bone mineralization, intestinal morphology, and immune traits in 21-day-old broiler chickens, *Animals*, 12 (15), 1955.
- Mateos, G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. ve Lázaro, R., 2012, Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics, *Journal of Applied Poultry Research*, 21 (1), 156-174.
- Mátis, G., Mackei, M., Boomsma, B., Fébel, H., Nadolna, K., Szymański, Ł., Edwards, J. E., Neogrady, Z. ve Kozłowski, K., 2022, Dietary protected butyrate supplementation of broilers modulates intestinal tight junction proteins and stimulates endogenous production of short chain fatty acids in the caecum, *Animals*, 12 (15), 1940.
- Mavromichalis, M., 2020, Using feed additives to combat dirty eggs [online], <https://www.feedstrategy.com/blogs/animal-nutrition-views/blog/15444860/using-feed-additives-to-combat-dirty> [Erişim Tarihi: 6 Mart 2025].

- McAllister, T., Hristov, A., Beauchemin, K., Rode, L., Cheng, K., Bedford, M. ve Partridge, G., 2001, Enzymes in ruminant diets, *Enzymes in Farm Animal Nutrition*, 11, 273-298.
- Meluzzi, A., Sirri, F., Tallarico, N. ve Franchini, A., 2001, Nitrogen retention and performance of brown laying hens on diets with different protein content and constant concentration of amino acids and energy, *British Poultry Science*, 42 (2), 213-217.
- Mertens, K., Bamelis, F., Kemps, B., Kamers, B., Verhoelst, E., De Ketelaere, B., Bain, M., Decuypere, E. ve De Baerdemaeker, J., 2006, Monitoring of eggshell breakage and eggshell strength in different production chains of consumption eggs, *Poultry Science*, 85 (9), 1670-1677.
- Miller, E., 2004, Protein nutrition requirements of farmed livestock and dietary supply. Protein sources for the animal feed industry. FAO Expert Consultation and Workshop, Bangkok, Thailand, 29 April-3 May 2002. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Moita, V. H. C., Duarte, M. E. ve Kim, S. W., 2021, Supplemental effects of phytase on modulation of mucosa-associated microbiota in the jejunum and the impacts on nutrient digestibility, intestinal morphology, and bone parameters in broiler chickens, *Animals*, 11 (12), 3351.
- Montagne, L., Pluske, J. ve Hampson, D., 2003, A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals, *Animal Feed Science and Technology*, 108 (1-4), 95-117.
- Moss, A., Dao, T. H. ve Jahan, A., 2023, Determining the order of limiting amino acids in practical Australian reduced protein diets for laying hens, *The University of New England, PoultryHub Australia*.
- Motta, J. F. G., de Freitas, B. C. B., de Almeida, A. F., Martins, G. A. d. S. ve Borges, S. V., 2023, Use of enzymes in the food industry: A review, *Food Science and Technology*, 43, e106222.
- Mousavi, S., Afsar, A., Khalaji, S. ve Abbasi, M., 2018, Estimation of digestible tryptophan: lysine ratios for maximum performance, egg quality and welfare of white-egg-laying hens by fitting the different non-linear models, *Journal of Applied Animal Research*, 46 (1), 411-416.
- Mroz, Z., Koopmans, S.-J., Bannink, A., Partanen, K., Krasucki, W., Øverland, M. ve Radcliffe, S., 2006, Carboxylic acids as bioregulators and gut growth promoters in nonruminants, In: *Biology of growing animals*, Eds: Elsevier, p. 81-133.
- Munir, K. ve Maqsood, S., 2013, A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25 (1), 66.

- Munyaka, P., Nandha, N., Kiarie, E., Nyachoti, C. ve Khafipour, E., 2016, Impact of combined β -glucanase and xylanase enzymes on growth performance, nutrients utilization and gut microbiota in broiler chickens fed corn or wheat-based diets, *Poultry Science*, 95 (3), 528-540.
- Musgrove, M. T., Jones, D. R., Northcutt, J. K., Harrison, M. A. ve Cox, N. A., 2005, Impact of commercial processing on the microbiology of shell eggs, *Journal of Food Protection*, 68 (11), 2367-2375.
- Nabi, F., Arain, M. A., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R. ve Liu, J., 2020, Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104 (6), 1809-1818.
- Nahavandinejad, M., Shahir, M., Mohammadzadeh, K. ve Hajilou, M., 2024, The optimum ratio of dietary digestible valine: lysine for laying hens during the peaking phase, *Brazilian Journal of Poultry Science*, 26 (2), eRBCA-2023-1807.
- Nahm, K. ve Carlson, C., 1998, The possible minimum chicken nutrient requirements for protecting the environment and improving cost efficiency-Review, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 11 (6), 755-768.
- Nari, N., Ghasemi, H., Hajkhodadadi, I. ve Farahani, A. K., 2020, Intestinal microbial ecology, immune response, stress indicators, and gut morphology of male broiler chickens fed low-phosphorus diets supplemented with phytase, butyric acid, or *Saccharomyces boulardii*, *Livestock Science*, 234, 103975.
- Ndazigaruye, G., Kim, D.-H., Kang, C.-W., Kang, K.-R., Joo, Y.-J., Lee, S.-R. ve Lee, K.-W., 2019, Effects of low-protein diets and exogenous protease on growth performance, carcass traits, intestinal morphology, cecal volatile fatty acids and serum parameters in broilers, *Animals*, 9 (5), 226.
- Neves, D., Banhazi, T. ve Nääs, I., 2014, Feeding behaviour of broiler chickens: a review on the biomechanical characteristics, *Brazilian Journal of Poultry Science*, 16, 01-16.
- Nguyen, H., Wu, S.-B., Bedford, M., Nguyen, X. ve Morgan, N., 2022, Dietary soluble non-starch polysaccharide level and xylanase influence the gastrointestinal environment and nutrient utilisation in laying hens, *British Poultry Science*, 63 (3), 340-350.
- NRC, 1994, Nutrient requirements of poultry, 9th Edition, *Washington, DC*, National Academies Press.
- Nys, Y., 2000, Dietary carotenoids and egg yolk coloration, *Archiv für Geflügelkunde*, 64 (2), 45-54.
- Nys, Y., Gautron, J., Garcia-Ruiz, J. M. ve Hincke, M. T., 2004, Avian eggshell mineralization: Biochemical and functional characterization of matrix proteins, *Comptes Rendus Palevol*, 3 (6-7), 549-562.

- Oketch, E. O., Wickramasuriya, S. S., Oh, S., Choi, J. S. ve Heo, J. M., 2023, Physiology of lipid digestion and absorption in poultry: An updated review on the supplementation of exogenous emulsifiers in broiler diets, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107 (6), 1429-1443.
- Oluwabiyi, C. T., Zhao, J., Jiao, H., Wang, X., Li, H., Zhou, Y. ve Lin, H., 2022, Effects of a rearing dietary protein regimen on productive performance, egg quality, and bone quality of laying hens, *The Journal of Poultry Science*, 59 (4), 328-337.
- Pacheco, W., Gulizia, J. ve Downs, K., 2022, Backyard & Small poultry flock management series: Feeding the laying hen, <https://www.aces.edu/blog/topics/farming/backyard-small-poultry-flock-management-series-feeding-the-laying-hen/>: [Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2025].
- Panda, A. K., Sahoo, B. ve Kumar, A., 2024, Effect of low protein diets on production performance, egg quality and serum biochemical parameters of gramapriya laying hens, *Animal Nutrition and Feed Technology*, 24 (2), 269-276.
- Papadopoulos, G. A., Lioliopoulou, S., Ordoudi, S. A., Giannenas, I., Van Hoeck, V., Morisset, D., Arsenos, G., Fortomaris, P. ve Mantzouridou, F. T., 2022, Xylanase supplementation in wheat-based diets of laying hens affects the egg yolk color, carotenoid and fatty acid profiles, *Foods*, 11 (15), 2209.
- Park, Y., Kim, H., Kim, H., Lee, H., Shin, I. ve Whang, K., 2002, Effects of three different soybean meal sources on layer and broiler performance, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15 (2), 254-265.
- Parkkonen, T., Tervilä-Wilo, A., Hopeakoski-Nurminen, M., Morgan, A., Poutanen, K. ve Autio, K., 1997, Changes in wheat micro structure following in vitro digestion, *Acta Agriculturae Scandinavica B—Plant Soil Sciences*, 47 (1), 43-47.
- Peñuela-Sierra, L. M., Aragão-Neto, V. L., Lozano-Cruz, P., Mejia-Abaunza, J. N., Ali, M., Cabañas-Ojeda, J., Yang, Y., Alfaro-Wisaquillo, M. C., Quintana-Ospina, G. A. ve Vasanthakumari, B. L., 2024, Multiprotease improves amino acid release in vitro, energy, and nutrient utilization in broilers fed diets varying in crude protein levels, *Poultry Science*, 103 (5), 103546.
- Polat, Ö. ve Denli, M., 2019, The effect of dietary supplementation of different multi-enzymes on production performance and egg quality characteristics in laying hens, *Middle East Journal of Science*, 5 (2), 113-119.
- Pongmanee, K., Kühn, I. ve Korver, D. R., 2020, Effects of phytase supplementation on eggshell and bone quality, and phosphorus and calcium digestibility in laying hens from 25 to 37 wk of age, *Poultry Science*, 99 (5), 2595-2607.
- Poudel, I., Hodge, V., Wamsley, K., Roberson, K. ve Adhikari, P., 2023, Effects of protease enzyme supplementation and varying levels of amino acid inclusion on productive performance, egg quality, and amino acid digestibility in laying hens from 30 to 50 weeks of age, *Poultry Science*, 102 (3), 102465.

- Poudel, I., Hodge, V., Wamsley, K., Roberson, K. ve Adhikari, P., 2024, Effects of protease enzyme supplementation and varying levels of amino acid inclusion on productive performance, egg quality, amino acid digestibility, and economics of egg production in Hy-Line W-36 laying hen from 50 to 70 wk of age, *Journal of Applied Poultry Research*, 33 (3), 100452.
- Qaisrani, S., Moquet, P., Van Krimpen, M., Kwakkel, R., Verstegen, M. ve Hendriks, W., 2014, Protein source and dietary structure influence growth performance, gut morphology, and hindgut fermentation characteristics in broilers, *Poultry Science*, 93 (12), 3053-3064.
- Ravindran, V., Hew, L., Ravindran, G. ve Bryden, W., 2005, Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens, *Animal Science*, 81 (1), 85-97.
- Ravindran, V., 2013, Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities, *Journal of Applied Poultry Research*, 22 (3), 628-636.
- Ravindran, V. ve Abdollahi, M. R., 2021, Nutrition and digestive physiology of the broiler chick: State of the art and outlook, *Animals*, 11 (10), 2795.
- Rehman, A. U., Arif, M., Husnain, M. M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Taha, A. E., Elnesr, S. S., Abdel-Latif, M. A., Othman, S. I. ve Allam, A. A., 2019, Growth performance of broilers as influenced by different levels and sources of methionine plus cysteine, *Animals*, 9 (12), 1056.
- Resende, V. C. d. S., Brainer, M. M. d. A., Modesto, K. P., Leite, P. R. d. S. d. C. ve Freitas, P. V. D. X. d., 2017, Effects of enzyme supplementation on diets of medium-heavy laying hens at 28 to 40 weeks, *Revista Ciência Agronômica*, 48 (4), 683-689.
- Roberts, J. R., 2004, Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens, *The Journal of Poultry Science*, 41 (3), 161-177.
- Rostagno, H., GDA, T., Donzele, J., Gomes, P., Oliveira, R., Lopes, D., Ferreira, A., Toledo Barreto, S. ve Albino, L., 2005, Brazilian tables for poultry and swine: Composition of feedstuffs and nutritional requirements, *Minas Gerais, Brazil*, Federal University of Viçosa.
- Rumokoy, L., Pudjihastuti, E., Untu, I. M. ve Toar, W. L., 2016, The effects of papain crude extract addition in diets on broilers production performances, *Animal Production*, 18 (1), 30-35.
- Saçaklı, P., Ramay, M. S., Ceylan, A., Çınar, Ö. Ö., Elibol, F. K. E., Harijaona, J. A., Shastak, Y., Ader, P., Feuerstein, D. ve Calık, A., 2025, Effects of supplemental hybrid bacterial 6-phytase in low-energy, inorganic phosphorus-free hen diets on laying performance, egg quality, and bone strength, *PLoS One*, 20 (4), e0322135.

- Sajid, Q. U. A., Asghar, M. U., Tariq, H., Wilk, M. ve Platek, A., 2023, Insect meal as an alternative to protein concentrates in poultry nutrition with future perspectives (an updated review), *Agriculture*, 13 (6), 1239.
- Sakamoto, K., Hirose, H., Onizuka, A., Hayashi, M., Futamura, N., Kawamura, Y. ve Ezaki, T., 2000, Quantitative study of changes in intestinal morphology and mucus gel on total parenteral nutrition in rats, *Journal of Surgical Research*, 94 (2), 99-106.
- Salahi, A., Shahir, M., Attia, Y. A., Fahmy, K. N. E.-d., Bovera, F. ve Tufarelli, V., 2025, Impact of low-protein diets on broiler nutrition, production sustainability, gene expression, meat quality and greenhouse gas emissions, *Journal of Applied Animal Research*, 53 (1), 2473419.
- Samli, H. E., Senkoylu, N., Ozduven, M. L., Akyurek, H. ve Agma, A., 2006, Effects of poultry by product meal on laying performance, egg quality and storage stability, *Pakistan Journal of Nutrition*, 5, 06-09.
- Savaram, V. R. R., Paul, S. S., Mantina, V. L. N. R., Devanaboyina, N. ve Bhukya, P., 2021, Graded concentrations of digestible lysine on performance of white leghorn laying hens fed sub-optimal levels of protein, *Animal Bioscience*, 34 (5), 886.
- Sharifi, O. V., Torshizi, M. A. K., Rahimi, S., Asl, A. D. ve Raei, H., 2022, Strain differences in effects of dietary supplementation with *Aspergillus niger* cultures in protein-reduced diets on performance, plasma biochemistry and meat lipid oxidation of broilers, *Animal Production Science*, 63 (2), 142-151.
- Shim, M., Song, E., Billard, L., Aggrey, S., Pesti, G. ve Sodsee, P., 2013, Effects of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of individual commercial layers, *Poultry Science*, 92 (10), 2687-2696.
- Short, F., Gorton, P., Wiseman, J. ve Boorman, K., 1996, Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies, *Animal Feed Science and Technology*, 59 (4), 215-221.
- Silva, E., Malheiros, E., Sakomura, N., Venturini, K., Hauschild, L., Dorigam, J. ve Fernandes, J., 2015, Lysine requirements of laying hens, *Livestock Science*, 173, 69-77.
- Silversides, F., Scott, T., Korver, D., Afsharmanesh, M. ve Hruby, M., 2006, A study on the interaction of xylanase and phytase enzymes in wheat-based diets fed to commercial white and brown egg laying hens, *Poultry Science*, 85 (2), 297-305.
- Singh, A. K., Mishra, B., Bedford, M. R. ve Jha, R., 2021, Effects of supplemental xylanase and xylooligosaccharides on production performance and gut health variables of broiler chickens, *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 1-15.
- Slominski, B. A., 2011, Recent advances in research on enzymes for poultry diets, *Poultry Science*, 90 (9), 2013-2023.

- Soares, L., Sakomura, N. K., Dorigam, J. C. d. P., Liebert, F., Sunder, A., Nascimento, M. Q. d. ve Leme, B. B., 2019, Optimal in-feed amino acid ratio for laying hens based on deletion method, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103 (1), 170-181.
- Sohail, S., Bryant, M. ve Roland Sr, D., 2003, Influence of dietary fat on economic returns of commercial leghorns, *Journal of Applied Poultry Research*, 12 (3), 356-361.
- Solis de Los Santos, F., Tellez, G., Farnell, M., Balog, J., Anthony, N., Pavlidis, H. ve Donoghue, A., 2005, Hypobaric hypoxia in ascites resistant and susceptible broiler genetic lines influences gut morphology, *Poultry Science*, 84 (9), 1495-1498.
- Solomon, S., 2010, The eggshell: strength, structure and function, *British Poultry Science*, 51 (sup1), 52-59.
- Souza, P. M. d., 2010, Application of microbial α -amylase in industry-A review, *Brazilian Journal of Microbiology*, 41, 850-861.
- Sterling, K., Vedenov, D., Pesti, G. ve Bakalli, R., 2005, Economically optimal dietary crude protein and lysine levels for starting broiler chicks, *Poultry Science*, 84 (1), 29-36.
- Such, N., Mezölaki, Á., Tewelde, K. G., Pál, L., Horváth, B., Poór, J. ve Dublec, K., 2024, Feeding sunflower meal with pullets and laying hens even at a 30% inclusion rate does not impair the ileal digestibility of most amino acids, *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1347374.
- Sugiharto, S., 2020, Papaya (*Carica papaya* L.) seed as a potent functional feedstuff for poultry—A review, *Veterinary World*, 13 (8), 1613.
- Summers, J. D., 1993, Influence of prelay treatment and dietary protein level on the reproductive performance of white leghorn hens, *Poultry Science*, 72 (9), 1705-1713.
- Sun, H. Y. ve Kim, I. H., 2019, Effects of multi-enzyme on production performance, egg quality, nutrient digestibility, and excreta noxious gas emission of early phase Hy-Line brown hens, *Poultry Science*, 98 (10), 4889-4895.
- Sun, M., Ma, N., Liu, H., Liu, Y., Zhou, Y., Zhao, J., Wang, X., Li, H., Ma, B. ve Jiao, H., 2022, The optimal dietary arginine level of laying hens fed with low-protein diets, *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13 (1), 63.
- Sureshkumar, S., Song, J., Sampath, V. ve Kim, I., 2023, Exogenous enzymes as zootechnical additives in monogastric animal feed: A review, *Agriculture*, 13 (12), 2195.
- Svobodová, J. ve Tůmová, E., 2014, Factors affecting microbial contamination of market eggs: A review, *Scientia Agriculturae Bohemica*, 45 (4), 226-237.

- Szkopek, D., Pierzynowski, S. G., Pierzynowska, K., Zaworski, K., Kondej, A., Wychowański, P., Konieczka, P., Seklecka, B., Donaldson, J. ve Jank, M., 2024, A review: Pancreatic enzymes in the treatment of chronic pancreatic insufficiency in companion animals, *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 38 (4), 2026-2033.
- Tan, S.-L. ve Parker, P. J., 2003, Emerging and diverse roles of protein kinase C in immune cell signalling, *Biochemical Journal*, 376 (3), 545-552.
- Tanimowo, D. ve Longe, G., 2024, Evaluation of mono-enzyme (Nutrase Xyla) and multi-enzymes (Natuzyne and Biozyme) supplementation on the performance of laying birds, *Nigerian Journal of Animal Production*, 1410-1413.
- Tanyıldızı, M. Ş., 2005, Çeşitli bakteri türleriyle farklı ortam ve çalışma şartlarında α -amilaz üretiminin incelenmesi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 132.
- Taşkesen, H. O., 2017, Yumurta tavuğu rasyonlarında amino asit yoğunluğu ve proteaz ilavesinin performans, yumurta kalitesi ve azot atılımı üzerine etkileri, *Ankara Üniversitesi (Turkey)*.
- Taşkesen, H. O. ve Ceylan, N., 2023, Effects of amino acid density and protease addition to laying Hen diets on performance, egg quality and nitrogen excretion, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11 (9), 1706-1714.
- Taye, D. ve Etefa, M., 2020, Review on improving nutritive value of forage by applying exogenous enzymes, *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 5, 72-79.
- Taylor, A., Bedford, M., Pace, S. ve Miller, H., 2018, The effects of phytase and xylanase supplementation on performance and egg quality in laying hens, *British Poultry Science*, 59 (5), 554-561.
- Tekeli, A., 2014, Hayvan beslemede alternatif protein kaynağı olarak böceklerin kullanımı, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (4), 531-538.
- Tenesa, M., Loh, T., Foo, H., Samsudin, A., Mohamad, R. ve Raha, A., 2016, Effects of feeding different levels of low crude protein diets with different levels of amino acids supplementation on layer hen performance, *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 39 (4).
- Torki, M., Mohebbifar, A., Ghasemi, H. A. ve Zardast, A., 2015, Response of laying hens to feeding low-protein amino acid-supplemented diets under high ambient temperature: performance, egg quality, leukocyte profile, blood lipids, and excreta pH, *International Journal of Biometeorology*, 59, 575-584.
- Ullah, S., Ditta, Y., King, A., Pasha, T., Mahmud, A. ve Majeed, K., 2022, Varying isoleucine level to determine effects on performance, egg quality, serum biochemistry, and ileal protein digestibility in diets of young laying hens, *PLoS One*, 17 (1), e0261159.

- Valdes, A. M., Walter, J., Segal, E. ve Spector, T. D., 2018, Role of the gut microbiota in nutrition and health, *BMJ Journals*, 361.
- Van Emous, R., Kwakkel, R., Van Krimpen, M. ve Hendriks, W., 2013, Effects of growth patterns and dietary crude protein levels during rearing on body composition and performance in broiler breeder females during the rearing and laying period, *Poultry Science*, 92 (8), 2091-2100.
- Van Emous, R. A., Kwakkel, R. P., Van Krimpen, M. M. ve Hendriks, W. H., 2015, Effects of dietary protein levels during rearing and dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females, *Poultry Science*, 94 (5), 1030-1042.
- Van Harn, J., Far, A. R., van Krimpen, M., Phuc, J. ve Veiga, C., 2021, Low crude protein diets supplemented with free amino acids in laying hens: effects on performance, egg quality, N-efficiency, N-excretion, economics and diet carbon footprint, *Wageningen Livestock Research*.
- Van Hoeck, V., Somers, I., Abdelqader, A., Wealleans, A. L., Van de Craen, S. ve Morisset, D., 2021a, Xylanase impact beyond performance: a microbiome approach in laying hens, *PLoS One*, 16 (9), e0257681.
- Van Hoeck, V., Wu, D., Somers, I., Wealleans, A., Vasanthakumari, B., Sanchez, A. G. ve Morisset, D., 2021b, Xylanase impact beyond performance: a prebiotic approach in broiler chickens, *Journal of Applied Poultry Research*, 30 (4), 100193.
- Van Nevel, C. J., Decuyper, J. A., Dierick, N. A. ve Molly, K., 2005, Incorporation of galactomannans in the diet of newly weaned piglets: Effect on bacteriological and some morphological characteristics of the small intestine, *Archives of Animal Nutrition*, 59 (2), 123-138.
- Varzaru, I., Untea, A. E., Panaite, T., Cornescu, G. M., Saracila, M., Oancea, A. G. ve Vlaicu, P. A., 2024, Effects of dietary oak barn on performance traits and nitrogen balance in laying hens, *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, LXVII (2).
- Velázquez-De Lucio, B. S., Hernández-Domínguez, E. M., Villa-García, M., Díaz-Godínez, G., Mandujano-González, V., Mendoza-Mendoza, B. ve Álvarez-Cervantes, J., 2021, Exogenous enzymes as zootechnical additives in animal feed: A review, *Catalysts*, 11 (7), 851.
- Vlaicu, P. A., Untea, A. E. ve Oancea, A. G., 2024, Sustainable poultry feeding strategies for achieving zero hunger and enhancing food quality, *Agriculture*, 14 (10), 1811.
- Walk, C., Pirgozliev, V., Juntunen, K., Paloheimo, M. ve Ledoux, D., 2018, Evaluation of novel protease enzymes on growth performance and apparent ileal digestibility of amino acids in poultry: Enzyme screening, *Poultry Science*, 97 (6), 2123-2138.

- Walker, H., Bauer, K., Cvejić, D., Keegan, J. D., Taylor-Pickard, J. ve Moran, C. A., 2024, Phytase and xylanase supplementation improves phosphorus digestibility in laying hens, *Preprints.org*.
- Wealleans, A. L., Ashour, R. A., Ishmais, M. A. A., Al-Amaireh, S. ve Gonzalez-Sanchez, D., 2024, Comparative effects of proteases on performance, carcass traits and gut structure of broilers fed diets reduced in protein and amino acids, *Journal of Animal Science and Technology*, 66 (3), 457.
- Wen, C., Xu, X., Zhou, D., Yu, Q., Wang, T. ve Zhou, Y., 2022, The effects of canthaxanthin microencapsulation on yolk color and canthaxanthin deposition in egg yolk of laying hens, *Poultry Science*, 101 (6), 101889.
- Wikipedia, 2025, Liebig's law of the minimum, https://en.wikipedia.org/wiki/Liebig%27s_law_of_the_minimum: [Erişim Tarihi: 9 Mayıs 2025].
- Wilson, J. ve Ruszler, P., 1996, Effects of dietary boron supplementation on laying hens, *British Poultry Science*, 37 (4), 723-729.
- Wu, G., Bryant, M., Gunawardana, P. ve Roland Sr, D., 2007, Effect of nutrient density on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in eight commercial leghorn strains during phase one, *Poultry Science*, 86 (4), 691-697.
- Wu, G. ve Li, P., 2022, The “Ideal protein” concept is not ideal in animal nutrition, *Experimental Biology and Medicine*, 247 (13), 1191-1201.
- Wu, K., Wang, F., Yang, S., Zhang, C., Xie, M., Li, J., Yin, Y. ve Yao, K., 2025, Effects of Fish Bone Meal Supplementation on Growth Performance, Blood Immunity, Intestinal Morphology, and Gut Microbiota in Laying Hens, *Animals*, 15 (4), 548.
- Xu, Z., Hu, C., Xia, M., Zhan, X. ve Wang, M., 2003, Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers, *Poultry Science*, 82 (6), 1030-1036.
- Yakout, H., 2010, Effects of reducing dietary crude protein with amino acids supplementation on performance of commercial white leghorn layers during the second production period, *Egyptian Poultry Science Journal*, 30 (4), 961-974.
- Yang, Y., Kumrungsee, T., Okazaki, Y., Watanabe, T., Inoue, J., Iguchi, T., Fukuda, S., Kuroda, M., Nishio, K. ve Yamaguchi, S., 2025, Potential roles of exogenous proteases and lipases as prebiotics, *Nutrients*, 17 (5), 924.
- Yörük, M., Gül, M., Hayırlı, A. ve Karaoğlu, M., 2006, Multi-enzyme supplementation to peak producing hens fed corn-soybean meal based diets, *International Journal of Poultry Science*, 5 (4), 374-380.
- Yüceer, M., 2021, Yumurta biyoaktif bileşenleri (1), *Yumurta Üreticileri Merkez Birliği Dergisi*, 57, 15-17.

Zdunczyk, Z., Jankowski, J., Mikulski, D., Przybylska-Gornowicz, B., Sosnowska, E. ve Juskiewicz, J., 2013, Gastrointestinal morphology and function in turkeys fed diets diluted with whole grain wheat, *Poultry Science*, 92 (7), 1799-1811.



EKLER

EK-1. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlığa (g/tavuk) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Deneme başı canlı ağırlık</u>					
Muameleler	5	24,476.741	4,895.348	0.898	0.491
Hata	42	228,838.556	5,448.537		
Genel	47	253,315.296			
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	50,743.296	10,148.659	2.171	0.076
Hata	42	196,345.139	4,674.884		
Genel	47	247,088.435			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	53,188.639	10,637.728	2.413	0.052
Hata	42	185,173.694	4,408.897		
Genel	47	238,362.333			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	30,926.407	6,185.281	1.344	0.265
Hata	42	193,312.028	4,602.667		
Genel	47	224,238.435			

EK-2. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında canlı ağırlık değişimine (g/tavuk) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	25,913.806	5,182.761	2.319	0.060
Hata	42	93,863.444	2,234.844		
Genel	47	119,777.250			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	4,762.963	952.593	0.892	0.495
Hata	42	44,870.361	1,068.342		
Genel	47	49,633.324			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	5,644.963	1,128.993	1.439	0.230
Hata	42	32,960.583	784.776		
Genel	47	38,605.546			
<u>Toplam</u>					
Muameleler	5	25,818.111	5,163.622	1.318	0.275
Hata	42	164,588.472	3,918.773		
Genel	47	190,406.583			

EK-3. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta verimine (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	291.123	58.225	3.242	0.015
Hata	42	754.323	17.960		
Genel	47	1045.446			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	312.648	62.530	4.723	0.002
Hata	42	556.087	13.240		
Genel	47	868.735			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	200.184	40.037	2.734	0.032
Hata	42	615.079	14.645		
Genel	47	815.264			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	254.895	50.979	4.934	0.001
Hata	42	433.929	10.332		
Genel	47	688.825			

EK-4. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yem tüketimine (g/tavuk) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	315.923	63.185	2.976	0.022
Hata	42	891.803	21.233		
Genel	47	1,207.726			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	83.228	16.646	6.616	0.000
Hata	42	105.669	2.516		
Genel	47	188.896			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.027	0.005	0.635	0.674
Hata	42	0.353	0.008		
Genel	47	0.380			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	75.637	15.127	4.288	0.003
Hata	42	148.175	3.528		
Genel	47	223.813			

EK-5. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta ağırlığına (g) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	79.694	15.939	3.153	0.017
Hata	42	212.310	5.055		
Genel	47	292.003			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	55.460	11.092	3.599	0.008
Hata	42	129.426	3.082		
Genel	47	184.886			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	107.773	21.555	6.403	0.000
Hata	42	141.382	3.366		
Genel	47	249.155			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	73.153	14.631	5.998	0.000
Hata	42	102.453	2.439		
Genel	47	175.605			

EK-6. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta kitlesine (g) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	332.127	66.425	4.904	0.001
Hata	42	568.872	13.545		
Genel	47	900.999			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	247.747	49.549	9.552	0.000
Hata	42	217.869	5.187		
Genel	47	465.617			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	279.336	55.867	10.963	0.000
Hata	42	214.026	5.096		
Genel	47	493.362			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	274.949	54.990	11.785	0.000
Hata	42	195.977	4.666		
Genel	47	470.926			

EK-7. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yemden yararlanma oranı (g yem/g yumurta kitlesi) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.097	0.019	1.594	0.183
Hata	42	0.510	0.012		
Genel	47	0.607			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.174	0.035	6.114	0.000
Hata	42	0.239	0.006		
Genel	47	0.414			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.334	0.067	10.523	0.000
Hata	42	0.266	0.006		
Genel	47	0.600			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	0.186	0.037	8.486	0.000
Hata	42	0.184	0.004		
Genel	47	0.370			

EK-8. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında hasarlı yumurta oranına (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	26.855	5.371	2.622	0.038
Hata	42	86.039	2.049		
Genel	47	112.893			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	12.921	2.584	2.243	0.068
Hata	42	48.393	1.152		
Genel	47	61.314			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	6.652	1.330	0.510	0.767
Hata	42	109.491	2.607		
Genel	47	116.143			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	7.706	1.541	1.753	0.144
Hata	42	36.924	0.879		
Genel	47	44.630			

EK-9. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kirli yumurta oranına (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	3.608	0.646	0.396	0.849
Hata	42	68.494	1.631		
Genel	47	71.724			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	3.608	0.722	0.416	0.835
Hata	42	72.801	1.733		
Genel	47	76.409			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	2.227	0.445	0.202	0.960
Hata	42	92.406	2.200		
Genel	47	94.633			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	1.322	0.264	0.301	0.909
Hata	42	36.836	0.877		
Genel	47	38.158			

EK-10. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kırılma direncine (N) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	65.651	13.130	0.690	0.634
Hata	42	799.008	19024		
Genel	47	864.659			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	28.463	5.693	0.377	0.862
Hata	42	633.957	15.094		
Genel	47	662.420			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	82.536	16.507	0.957	0.455
Hata	42	724.323	17.246		
Genel	47	806.859			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	40.585	8.117	0.887	0.499
Hata	42	384.445	9.153		
Genel	47	425.031			

EK-11. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk ağırlığına (g) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.495	0.099	1.700	0.156
Hata	42	2.444	0.058		
Genel	47	2.939			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.206	0.041	0.798	0.557
Hata	42	2.163	0.051		
Genel	47	2.368			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.594	0.119	4.125	0.004
Hata	42	1.210	0.029		
Genel	47	1.804			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	0.215	0.043	1.430	0.233
Hata	42	1.262	0.030		
Genel	47	1.477			

EK-12. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk oranına (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.657	0.131	1.145	0.352
Hata	42	4.825	0.115		
Genel	47	5.482			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	1.791	0.358	3.959	0.005
Hata	42	3.800	0.090		
Genel	47	5.591			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	1.955	0.391	7.437	0.000
Hata	42	2.208	0.053		
Genel	47	4.163			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	1.218	0.244	5.813	0.000
Hata	42	1.760	0.042		
Genel	47	2.979			

EK-13. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kabuk kalınlığına (mm) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.000	0.000	0.489	0.782
Hata	42	0.008	0.000		
Genel	47	0.009			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.002	0.000	3.373	0.012
Hata	42	0.004	0.000		
Genel	47	0.006			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.002	0.000	8.500	0.000
Hata	42	0.002	0.000		
Genel	47	0.004			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	0.001	0.000	2.645	0.036
Hata	42	0.002	0.000		
Genel	47	0.003			

EK-14. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ak indeksine (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	13.204	2.641	1.162	0.344
Hata	42	95.423	2.272		
Genel	47	108.627			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	8.742	1.748	1.386	0.249
Hata	42	53.000	1.262		
Genel	47	61.742			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	8.580	1.716	1.702	0.155
Hata	42	42.341	1.008		
Genel	47	50.921			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	8.418	1.684	1.594	0.183
Hata	42	44.348	1.056		
Genel	47	52.766			

EK-15. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sarı indeksine (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	31.605	6.321	4.554	0.002
Hata	42	58.291	1.388		
Genel	47	89.896			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	20.048	4.010	1.810	0.132
Hata	42	93.035	2.215		
Genel	47	113.084			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	18.334	3.667	2.769	0.030
Hata	42	55.614	1.324		
Genel	47	73.949			
<u>Toplam</u>					
Muameleler	5	14.500	2.900	3.492	0.010
Hata	42	34.882	0.831		
Genel	47	49.382			

EK-16. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında Haugh Birimine (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	108.555	21.711	1.634	0.172
Hata	42	558.205	13.291		
Genel	47	666.760			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	59.617	11.923	1.503	0.210
Hata	42	333.286	7.935		
Genel	47	392.903			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	49.855	9.971	1.363	0.258
Hata	42	307.339	7.318		
Genel	47	357.194			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	52.201	10.440	1.679	0.161
Hata	42	261.215	6.219		
Genel	47	313.415			

EK-17. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi L* değerine (koyuluk/açıklık) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	38.563	7.713	3.191	0.016
Hata	42	101.519	2.417		
Genel	47	140.082			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	34.349	6.870	2.171	0.076
Hata	42	132.897	3.164		
Genel	47	167.245			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	0.855	0.171	0.101	0.991
Hata	42	71.417	1.700		
Genel	47	72.272			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	40.080	8.016	3.966	0.005
Hata	42	84.882	2.021		
Genel	47	124.961			

EK-18. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi a* değerine (kırmızı/yeşil) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	3.017	0.603	2.603	0.039
Hata	42	9.736	0.232		
Genel	47	12.752			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	5.870	1.174	10.686	0.000
Hata	42	4.614	0.110		
Genel	47	10.484			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	41.482	8.296	68.795	0.000
Hata	42	5.065	0.121		
Genel	47	46.547			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	10.955	2.191	24.802	0.000
Hata	42	3.710	0.088		
Genel	47	14.665			

EK-19. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında yumurta sarısı rengi b* değerine (sarı/mavi) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>1.Periyot</u>					
Muameleler	5	114.375	22.875	6.755	0.000
Hata	42	142.232	3.386		
Genel	47	256.607			
<u>2.Periyot</u>					
Muameleler	5	256.171	51.234	10.890	0.000
Hata	42	197.603	4.705		
Genel	47	453.774			
<u>3.Periyot</u>					
Muameleler	5	259.195	51.839	34.019	0.000
Hata	42	64.001	1.524		
Genel	47	323.196			
<u>Ortalama</u>					
Muameleler	5	170.304	34.061	21.756	0.000
Hata	42	65.756	1.566		
Genel	47	236.060			

EK-20. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında serum biyokimyasal parametrelerine (mg/dL) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Kolesterol</u>					
Muameleler	5	13.283	2.657	0.099	0.992
Hata	48	1,290.469	26.885		
Genel	53	1,303.752			
<u>Ürik asit</u>					
Muameleler	5	32.253	6.451	12.662	0.000
Hata	48	24.454	0.509		
Genel	53	56.707			
<u>Toplam protein</u>					
Muameleler	5	0.651	0.130	0.974	0.443
Hata	48	6.418	0.134		
Genel	53	7.069			
<u>Kreatinin</u>					
Muameleler	5	0.002	0.000	0.090	0.993
Hata	48	0.203	0.004		
Genel	53	0.205			
<u>Bilirubin</u>					
Muameleler	5	0.036	0.007	4.266	0.003
Hata	48	0.082	0.002		
Genel	53	0.118			

EK-21. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında kemik biyomekanik özellikleri ve tibia ham küle ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Ham Kül, %</u>					
Muameleler	5	38.366	7.673	1.661	0.165
Hata	42	194.066	4.621		
Genel	47	232.433			
<u>Kemik çapı, mm</u>					
Muameleler	5	1.879	0.376	4.242	0.003
Hata	42	3.721	0.089		
Genel	47	5.599			
<u>Kemik duvar kalınlığı, mm</u>					
Muameleler	5	0.097	0.019	3.168	0.016
Hata	42	0.258	0.006		
Genel	47	0.356			
<u>Kemik kesit alanı, mm²</u>					
Muameleler	5	42.646	8.529	4.052	0.004
Hata	42	88.417	2.105		
Genel	47	131.064			
<u>Kesme kuvveti, N</u>					
Muameleler	5	4,0820.310	8,164.062	1.114	0.368
Hata	42	307,796.859	7,328.497		
Genel	47	348,617.169			
<u>Kemik gerilmesi, N/mm²</u>					
Muameleler	5	1,748.454	349.691	5.886	0.000
Hata	42	2,495.116	59.408		
Genel	47	4,243.570			
<u>Kesme enerjisi Pmax, N.mm</u>					
Muameleler	5	457,999.224	91,599.845	1.050	0.402
Hata	42	3,664,937.780	87,260.423		
Genel	47	4,122,937.004			
<u>Kesme enerjisi Tüm eğri, N.mm</u>					
Muameleler	5	646498.771	129,299.754	1.456	0.225
Hata	42	3,730,233.454	88,815.082		
Genel	47	4,376,732.226			

EK-22. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında jejunum histomorfolojisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Villus yüksekliği, μm</u>					
Muameleler	5	120,234.283	24,046.857	10.729	0.000
Hata	48	107,577.396	2,241.196		
Genel	53	227,811.679			
<u>Kript derinliği, μm</u>					
Muameleler	5	8,537.797	1,707.559	1.272	0.291
Hata	48	64,425.586	1,342.200		
Genel	53	72,963.383			
<u>Villus genişliği, μm</u>					
Muameleler	5	16,457.356	3,291.471	3.038	0.018
Hata	48	52,009.234	1,083.526		
Genel	53	68,466.591			
<u>Villus yüksekliği/Kript derinliği</u>					
Muameleler	5	30.649	6.130	2.555	0.040
Hata	48	115.162	2.399		
Genel	53	145.812			
<u>Villus yüzey alanı, mm^2</u>					
Muameleler	5	0.420	0.084	4.925	0.001
Hata	48	0.819	0.017		
Genel	53	1.240			
<u>Toplam goblet hücre sayısı</u>					
Muameleler	5	22,647.167	4,529.433	4.013	0.004
Hata	48	54,174.364	1,128.633		
Genel	53	76,821.532			

EK-23. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum kısa zincirli yağ asitlerine (mmol/L) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Asetik asit</u>					
Muameleler	5	379.724	75.945	5.128	0.001
Hata	48	710.809	14.809		
Genel	53	1,090.533			
<u>Propiyonik asit</u>					
Muameleler	5	93.209	18.642	10.053	0.000
Hata	48	89.009	1.854		
Genel	53	182.219			
<u>Bütirik asit</u>					
Muameleler	5	200.829	40.166	23.147	0.000
Hata	48	83.292	1.735		
Genel	53	284.120			
<u>İzobütirik asit</u>					
Muameleler	5	2.752	0.550	7.885	0.000
Hata	48	3.351	0.070		
Genel	53	6.103			
<u>Valerik asit</u>					
Muameleler	5	0.715	0.143	10.722	0.000
Hata	48	0.640	0.013		
Genel	53	1.355			
<u>İzovalerik asit</u>					
Muameleler	5	0.753	0.151	19.632	0.000
Hata	48	0.368	0.008		
Genel	53	1.121			
<u>BCFA</u>					
Muameleler	5	5.796	1.159	14.386	0.000
Hata	48	3.868	0.081		
Genel	53	9.663			
<u>Toplam SKYA</u>					
Muameleler	5	1,695.344	339.069	13.357	0.000
Hata	48	1,218.444	25.384		
Genel	53	2,913.788			

EK-24. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında sekum mikroorganizma popülasyonuna (cfu/g) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Toplam aerob bakteri</u>					
Muameleler	5	24.521	4.904	6.731	0.000
Hata	48	34.975	0.729		
Genel	53	59.495			
<u>Laktobasillus</u>					
Muameleler	5	37.763	7.553	7.841	0.000
Hata	48	46.232	0.963		
Genel	53	83.995			
<u>Koliform</u>					
Muameleler	5	1.013	0.203	0.320	0.898
Hata	48	30.338	0.632		
Genel	53	31.351			

EK-25. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında ileum besin madde sindirilebilirliğine (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>HP</u>					
Muameleler	5	60.091	12.018	16.211	0.000
Hata	48	35.585	0.741		
Genel	53	95.676			
<u>KM</u>					
Muameleler	5	122.566	24.513	3.501	0.009
Hata	48	336.066	7.001		
Genel	53	458.632			
<u>P</u>					
Muameleler	5	93.879	18.776	5.852	0.000
Hata	42	134.745	3.208		
Genel	47	228.624			

EK-26. Farklı seviyelerde azaltılmış amino asit içeren rasyonlara multienzim ilavesinin yumurta tavuklarında dışkı azot atılımına (%) ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<u>Dışkı HP miktarı, %</u>					
Muameleler	5	300.431	60.086	7.421	0.001
Hata	18	145.742	8.097		
Genel	23	446.173			