

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HAYVAN BESLEME VE BESLENME HASTALIKLARI (VETERİNER)
ANA BİLİM DALI



**RASYONUN HİDROKSİ-SELENOMETİYONIN DÜZEYİNİN
KUZULARDA BÜYÜME PERFORMANSI, ET KALİTESİ,
DOKU SELENYUM İÇERİĞİ VE GLUTATYON
PEROKSİDAZ AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Doktora Tezi

Nuri ALKAN

Danışman

Doç.Dr. Habip MURUZ

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından BAP04-B-2024-5166 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Nuri ALKAN tarafından, Doç.Dr.Habip MURUZ danışmanlığında hazırlanan “RASYONUN HİDROKSİ-SELENOMETİYONIN DÜZEYİNİN KUZULARDA BÜYÜME PERFORMANSI, ET KALİTESİ, DOKU SELENYUM İÇERİĞİ VE GLUTATYON PEROKSİDAZ AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 13/01/2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Taylan AKSU Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Mehmet GÜL Atatürk Üniversitesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. İsmail KAYA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Enes ATMACA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Farmakoloji ve Toksikoloji Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Habip MURUZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☒ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☐

10 /012 / 2024
Nuri ALKAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : RASYONUN HİDROKSİ-SELENOMETİYONIN DÜZEYİNİN KUZULARDA BÜYÜME PERFORMANSI, ET KALİTESİ, DOKU SELENYUM İÇERİĞİ VE GLUTATYON PEROKSİDAZ AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 17.12.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 9

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

17 /012 / 2024
Doç.Dr. Habip MURUZ

ÖZET

RASYONUN HİDROKSİ-SELENOMETİYONIN DÜZEYİNİN KUZULARDA BÜYÜME PERFORMANSI, ET KALİTESİ, DOKU SELENYUM İÇERİĞİ VE GLUTATYON PEROKSİDAZ AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Nuri ALKAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları (Veteriner) Ana Bilim Dalı

Doktora, Ocak/2025

Danışman: Doç. Dr. Habip MURUZ

Bu çalışmanın amacı, yeni bir organik selenyum (Se) kaynağı olan hidroksi-selenometiyoninin (OH-SeMet), kuzularda büyüme performansı, karkas özellikleri, et kalitesi, serum glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesi ile et ve serumdaki Se konsantrasyonları üzerindeki etkilerini sodyum selenit (SS) ile karşılaştırmaktır. Çalışmada, ortalama canlı ağırlıkları $26,96 \pm 4,83$ kg olan yirmi bir erkek Kıvırcık kuzu, başlangıç canlı ağırlıkları benzer olacak şekilde rastgele üç muamele grubuna ayrılmıştır. Muamele grupları; kuzuların konsantre yemlerine sırasıyla 0,20 mg Se/kg KM düzeyinde SS takviyesi (Kontrol grubu); 0,20 mg Se/kg KM düzeyinde OH-SeMet takviyesi (OH-SeMet-0,20 grubu) ve 0,40 mg Se/kg KM düzeyinde OH-SeMet takviyesi (OH-SeMet-0,40 grubu) şeklinde oluşturuldu. Deneme süresinin sonunda (56 gün) gruplardaki tüm kuzular kesildi ve analiz için doku örnekleri toplandı. Sonuçlar, büyüme performansı, yemden yararlanma oranı, karkas ve et kalitesinin (pH, damlama ve pişirme kayıpları, renk, kesme kuvveti) muamelelerden etkilenmediğini gösterdi. Rasyona OH-SeMet takviyesi, SS'ye kıyasla kuzuların kan serumu ve longissimus dorsi (LD) kası Se miktarlarını arttırdı ($p<0,001$). OH-SeMet'ten 0,2 mg/kg Se takviyesinin etteki Se seviyesini SS'nin eşdeğer dozuna kıyasla %61,17 artırdı. Ayrıca ette Se konsantrasyonu, OH-SeMet katkısı ile doğrusal olarak arttı. Gruplar arasında serum GSH-Px aktivitesinde önemli bir farklılık tespit edilmedi. Bu sonuçlar, OH-SeMet'in kuzuların longissimus dorsi (LD) kası Se miktarını iyileştirmede inorganik SS kaynağından daha etkili olduğunu gösterdi.

Anahtar Sözcükler: Hidroksi-selenometiyonin, Kuzu, Kas ve serum selenyum

ABSTRACT

EFFECT OF DIETARY LEVELS OF HYDROXY-SELENOMETHIONINE ON GROWTH PERFORMANCE, MEAT QUALITY, TISSUE SELENIUM CONTENT AND GLUTATHIONE PEROXIDASE ACTIVITY IN LAMBS

Nuri ALKAN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases

Ph.D., January/2025

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Habip MURUZ

The objective of this study was to compare the effects of hydroxy-selenomethionine (OH-SeMet), a novel organic selenium (Se) source, with sodium selenite (SS) on growth performance, carcass characteristics, meat quality, serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and Se concentrations in meat and serum of lambs. Twenty-one male lambs with an average body weight of $26,96 \pm 4,83$ kg were randomly divided into three groups with similar initial body weights. The treatment groups were constituted as follows: SS supplementation at 0.20 mg Se/kg DM (Control group), OH-SeMet supplementation at 0.20 mg Se/kg DM (OH-SeMet-0.20 group), and OH-SeMet supplementation at 0.40 mg Se/kg DM (OH-SeMet-0.40 group), respectively. At the conclusion of the experimental period (56 days), all lambs in the groups were slaughtered and tissue samples were collected for analysis. The results demonstrated that growth performance, feed conversion ratio, carcass and meat quality (pH, drip and cooking losses, colour, shear force) were not influenced by the treatments. However, OH-SeMet supplementation to the diet increased blood serum and longissimus dorsi (LD) muscle Se contents of lambs compared to SS ($p < 0.001$). Supplementation of 0.2 mg/kg Se from OH-SeMet increased the Se level in meat by 61.17% compared to the equivalent dose of SS. In addition, Se concentration in meat increased linearly with OH-SeMet supplementation. No significant differences were observed in serum GSH-Px activity between the groups. The results of this study demonstrate that OH-SeMet forms a Se reserve that can be utilised in stress situations and can be used as an effective organic Se source in place of SS.

Keywords: Hydroxy-selenomethionine, Lamb, Muscle and serum selenium

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, akademik gelişimimde büyük katkı ve emeği bulunan değerli danışmanım Doç. Dr. Habip MURUZ'a en derin şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, doktora eğitimim boyunca bilgi birikimlerinden faydalanma imkânı bulduğum Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Dr. İsmail KAYA, Prof. Dr. Zehra SELÇUK, Prof. Dr. Mustafa SALMAN ve Araş. Gör. Dr. Bora BÖLÜKBAŞI'na, Tez İzleme Komitesi ve Tez Savunma Sınavı'nda görev alarak bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan saygıdeğer jüri üyelerine teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman yanımda olan sevgili eşim ve kızıma, doktora çalışmalarımnda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anne ve babama sonsuz minnettarım.

Ayrıca, tez çalışmama BAP04-B-2024-5166 proje numarası ile destek sağlayan Ondokuz Mayıs Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Nuri ALKAN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	12
2. GENEL BİLGİLER.....	14
2.1. Selenyumun Emilimi, Metabolizması ve Boşaltımı	16
2.1.1. Selenyumun Emilimi.....	16
2.1.2. Selenyum Metabolizması ve Boşaltım	17
2.2. Selenyum Biyolojik Olarak Aktif Bileşiklerdeki Rolü.....	19
2.2.1. Glutasyon Peroksidazlar (GSH-Px).....	20
2.2.2. İyodotironin Deiyodinazlar (DIO).....	21
2.2.3. Tioredoksin Redüktazlar (TrxR)	22
2.3. Selenyum ve E Vitamini İlişkisi	22
2.4. Selenyum ve C Vitamini İlişkisi.....	23
2.5. Selenyum ve Bağışıklık Sistemi	23
2.6. Ruminantlarda Selenyum Gereksinimi.....	25
2.7. Selenyum Toksisitesi	25
2.8. Selenyum Eksikliği	26
2.9. Selenyum Durumunun Değerlendirilmesi	28
2.10. Selenyumun Kaynakları ve Biyoyararlanımı.....	30
2.10.1. İnorganik Selenyum Kaynakları.....	32
2.10.2. Organik Selenyumun Kaynakları	33
2.11. Çiftlik Hayvanlarının Beslenmesinde OH-SeMet Kullanımı	37
2.11.1. Süt Sığırları	37
2.11.2. Besi Sığırları.....	40
2.11.3. Etlik Piliç.....	41
2.11.4. Yumurta Tavuğu	46
3. MATERYAL VE METOT.....	48
3.1. Hayvanlar, Rasyonlar ve Deneysel Tasarım.....	48
3.2. Büyüme Performans	50
3.3. Yem ve Kan Örneği Toplama.....	50
3.4. Karkas Analizi ve <i>Longissimus dorsi</i> Numunesi Toplama.....	50
3.5. Et Kalitesinin Belirlenmesi.....	51
3.5.1. pH ve Renk Ölçümü	51
3.5.2. Damlama Kaybı.....	51
3.5.3. Pişirme Kaybı	52
3.5.4. Etin Kesme Kuvveti (Warner-Bratzler Shear Force)	52
3.6. Konsantre Yem, Serum ve <i>Longissimus dorsi</i> 'deki Selenyum Miktarının Belirlenmesi	52
3.7. Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesinin Belirlenmesi	53
3.8. Yem Analizleri.....	53
3.9. İstatistiksel Analiz	53

4. BULGULAR.....	54
4.1. Yem Tüketimi ve Büyüme Performansı	54
4.2. Karkas Özellikleri	55
4.3. Et Kalitesi	56
4.4. Et ve Serum Se Miktarı ve Serum GSH-Px Aktivitesi	57
5. TARTIŞMA.....	58
5.1. Büyüme Performansı ve Karkas Özellikleri	58
5.2. Et Kalite Özellikleri	59
5.3. Kas Se Konsantrasyonu	61
5.4. Serum Se Konsantrasyonu ve GSH-Px Aktivitesi	62
5.5. Sonuçlar	63
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	82
ÖZ GEÇMİŞ.....	83



SİMGELER VE KISALTMALAR

ADF	: Asit deterjan lifi
AFR	: Askorbat serbest radikali
CAA	: Canlı ağırlık artışı
D1	: Deiyodinaz 1
D2	: Deiyodinaz 2
D3	: Deiyodinaz 3
DHAA	: Dehidroaskorbik asit
ECM	: Enerjiye göre düzeltilmiş süt verimi
EFSA	: Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu
FCM	: %4 yağa göre düzeltilmiş süt verimi
FDA	: ABD Gıda ve İlaç Dairesi
GCAA	: Günlük canlı ağırlık artışı
GSH-Px	: Glutatyon peroksidaz
HK	: Ham kül
HP	: Ham protein
HY	: Ham yağ
ID	: İyodotironin deiyodinaz
KM	: Kuru madde
KMT	: Kuru madde tüketimi
LD	: Longissimus dorsi
MDA	: Malondialdehid
NDF	: Nötr deterjan lifi
NK	: Doğal öldürücü hücreler
NRC	: Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi
OH-SeMet	: Hidroksi-selenometiyonin

Se	: Selenyum
SeCys	: Selenosistein
SeHLan	: Se-homolantiyonin
SEM	: Ortalamanın standart hatası
SeMet	: Selenometiyonin
SeNP	: Selenyum nanopartikülleri
SOD	: Süperoksit dismutaz
SS	: Sodyum selenit
T4	: Tiroksin
T-AOC	: Toplam antioksidan kapasite
TBARS	: Tiobarbitürik asit
TMR	: Toplam karma rasyon
TrxR	: Tiyoredoksin redüktazlar
VKS	: Vücut kondüsyon skoru
WBSF	: Warner-Bratzler Shear Force (Etin kesme kuvveti)
YYO	: Yemden yararlanma oranı
a*	: Kırmızılık
b*	: Sarılık
L*	: Açıklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Se araştırmasının ve kullanımının tarihçesi (Surai ve ark., 2018)	15
Şekil 2.2. Selenyum metabolizması (Schrauzer, 2003).....	18
Şekil 2.3. Metiyonin ve sisteinin kimyasal yapısı ve seleno-amino asitler (Arshad ve ark., 2021)	19
Şekil 3.1. Deneysel tasarım akış diyagramı	49



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Bazı yem maddelerinin selenyum düzeyleri (mg/kg)	31
Tablo 3.1. Konsantre yemin bileşimi ve konsantre-çayır kuru otunun besin madde kompozisyonu	49
Tablo 4.1. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların yem tüketimine etkisi (g/gün KM)...	54
Tablo 4.2. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların canlı ağırlıkları üzerine etkisi (kg) ...	54
Tablo 4.3. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların günlük canlı ağırlık artışı üzerine etkisi (kg).....	55
Tablo 4.4. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların yemden yararlanma oranı üzerine etkisi.....	55
Tablo 4.5. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların karkas özellikleri üzerine etkisi.....	56
Tablo 4.6. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların et kalitesi üzerine etkisi	56
Tablo 4.7. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kan serumu ve LD kasının selenyum miktarları ile GSH-Px aktivitesine etkisi	57

1. GİRİŞ

İnsanların günlük selenyum (Se) gereksinimi (55 µg/gün), birçok ülkede yeterince karşılanamamaktadır (Bodnar ve ark., 2016). Bu durum, dünya genelinde yaklaşık 1 milyar insanın Se eksikliği yaşamasına neden olmaktadır (Jones ve ark., 2017). Se'nin biyolojik işlevleri, öncelikle selenosistein (SeCys) içeren selenoproteinler aracılığıyla gerçekleşir (Hoffmann, 2007). SeCys, glutatyon peroksidaz (GSH-Px), tioredoksin redüktaz ve deiyodinaz gibi enzimler dahil olmak üzere 25 farklı selenoproteinin temel yapısal bileşenidir. Bu selenoproteinler, vücutta antioksidan savunma, üreme ve DNA sentezi gibi hayati biyolojik süreçlerin düzenlenmesinde rol oynar (Mehdi ve ark., 2013). Et, insan beslenmesinde önemli bir Se kaynağı olabilmektedir (Fisinin ve ark., 2009). Ancak, hayvanların beslenme koşulları (Weiss, 2005), çevresel faktörler ve coğrafi değişkenlikler (Jones ve ark., 2017) etin Se içeriğinin önemli ölçüde değişmesine neden olabilir.

Kuzuların Se gereksinimlerini karşılamak amacıyla sodyum selenit (SS), genellikle rasyonlarda günlük 0,20 mg/kg kuru madde (KM) düzeyinde kullanılmaktadır (National Research Council - NRC, 2007). Bu inorganik Se formu, yalnızca seleno-enzimlerin sentezinde kullanılabilir ve yüksek biyoyararlanıma sahip organik kaynakların aksine (Bodnar ve ark., 2016), spesifik olmayan vücut proteinlerine dahil edilemediği için atılarak çevresel kirliliğe yol açar (Weiss, 2003). Bazı çalışmalar, hayvanların bir organik Se kaynağı olan selenomaya (Se-maya) takviyesiyle beslendiğinde, inorganik kaynaklara kıyasla etin Se içeriğinin arttığını ortaya koymuştur (Surai, 2006; Vignola ve ark., 2009). Bu durum, insanların diyetle aldıkları Se miktarının artmasına katkıda bulunabilir. Se-maya'nın biyoetkinliği hayvansal dokularda depolanabilen selenometiyonin (SeMet) düzeyi ile ilişkilidir (Surai, 2006). Ancak yem endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Se-maya'nın SeMet içeriği yüksek bir değişkenlik (%20-75) göstermektedir. Bu durum, yem endüstrisi açısından büyük bir endişe kaynağıdır (Simon ve ark., 2013; Liu ve ark., 2017; Surai ve ark., 2018; EFSA, 2019b).

Günümüzde SeMet'in hidroksi analogu olan 2-hidroksi-4-metilselenobütanoik asit (OH-SeMet), Avrupa Komisyonu tarafından 2013 yılında yem katkı maddesi olarak kullanımına onay verilen yüksek biyoyararlanım ve düşük toksisiteye sahip saf kimyasal olarak sentezlenmiş yeni bir organik Se kaynağı türüdür (Briens ve ark., 2013; EFSA, 2013a).

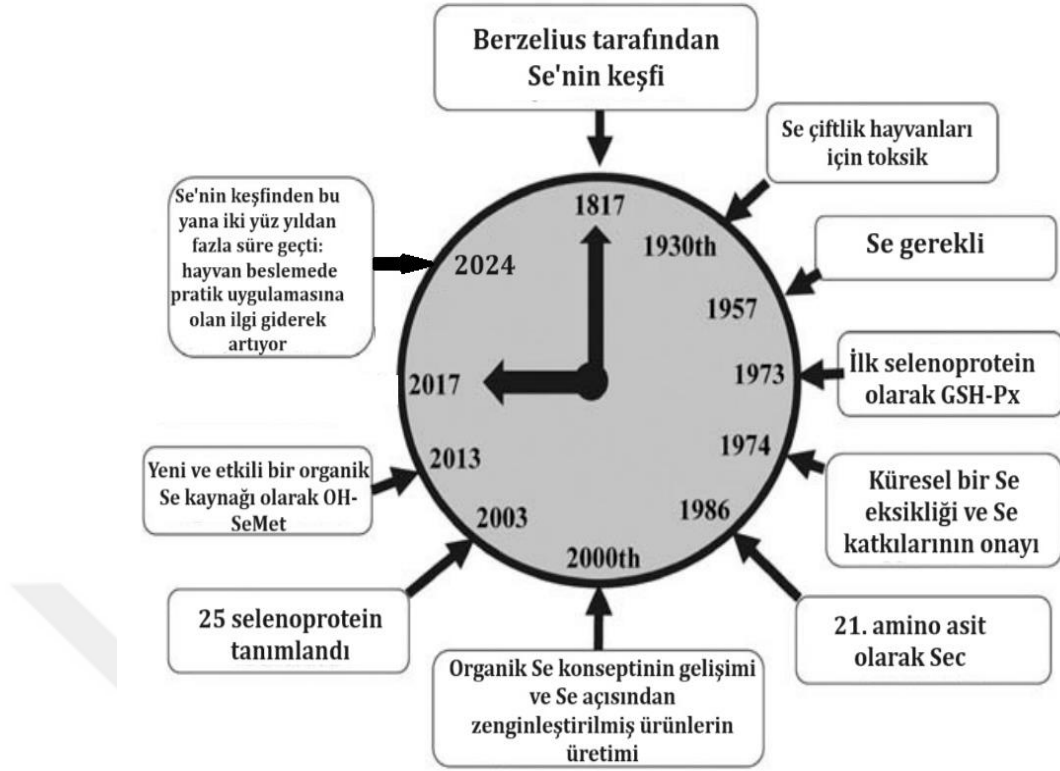
Bu nedenle Hidroksi-selenometiyonin (OH-SeMet), hayvan beslemede yaygın olarak kullanılan bir organik Se kaynağı haline gelmiştir. OH-SeMet'in toplam Se içeriğinin $\geq 98\%$ 'i SeMet olup, bu form hayvan metabolizmasına kolayca entegre edilebilmektedir (Fagan ve ark., 2015; Surai ve ark., 2018). Se'yinin vücut dokularına aktarımı açısından diyet formlarının etkinliği değerlendirildiğinde, OH-SeMet'in broyler (Briens ve ark., 2013, 2014; Zhao ve ark., 2017; Sun ve ark., 2017, 2021; De Marco ve ark., 2021), yumurta tavukları (Jlali ve ark., 2013; Tufarelli ve ark., 2016), domuzlar (Jlali ve ark., 2014), süt sığırları (Li ve ark., 2019, 2022) ve besi sığırlarında (Grossi ve ark., 2021) rasyondan kan, et, süt ve yumurtaya Se aktarımını artırdığı ve bu etkinin hem SS hem de Se-maya ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, OH-SeMet'in, özellikle üretim döngüsünün kritik dönemlerinde, hayvan performansını artırdığı kanıtlanmıştır (Jlali ve ark., 2013; Brito ve ark., 2019). OH-SeMet'in en önemli avantajlarından biri, SeMet'in hayvanların vücut dokularında bir Se deposu oluşturmastır. Bu depo, hayvanların üretim sürecinde karşılaştıkları stresli durumlarda Se'nin serbest bırakılarak selenoprotein gereksinimlerini karşılamasını ve Se talebinin sürdürülebilirliğini sağlar (De Marco ve ark., 2021). OH-SeMet'in bir diğer önemli avantajı ise et, süt ve yumurtanın Se bakımından zenginleştirilmesi ile insan sağlığı açısından önemli besinsel faydalar sunmasıdır (Netto ve ark., 2014). Ancak, OH-SeMet'in kuzu besiciliğindeki etkinliği henüz tanımlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, OH-SeMet'in yem katkı maddesi olarak kullanımının, besilik kuzular için etkili bir Se kaynağı olabileceği ve bu etkinin doza bağlı olabileceği hipotezi öne sürülmüştür. Bu hipotezden yola çıkarak mevcut çalışmada, kuzu rasyonlarına OH-SeMet'ten sağlanan 0,2 ve 0,4 mg/kg KM düzeyindeki Se'nin'in kuzularda performans, karkas randımanı, et kalitesi, serum GSH-Px aktivitesi ile serum ve longissimus dorsi kası Se miktarları üzerindeki etkilerinin, 0,2 mg Se/kg KM düzeyindeki sodyum selenit (SS) ilavesi ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Selenyum organizmalar için gerekli bir eser elementtir ve doğada çoğunlukla inorganik formda bulunur (Kieliszek ve ark., 2016). Selenyum, periyodik tabloda 34 atom numarası ile Se sembolüne sahip temel bir eser elementtir. Se 1817 yılında İsveçli kimyager Jons Jacob Berzelius tarafından keşfedilmiş ve adını eski Yunanca'da Ay anlamına gelen 'Selene' kelimesinden almıştır. Se, Mendeleev'in periyodik element tablosunun P Bloğu, Dönem IV ve Grup 16'sında yer alan reaktif bir ametal veya metaloiddir. Se, sülfür ile benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu için belirli reaksiyonlarda kısmen sülfürün yerini alır. Bu durum genellikle metiyonin ve sistein gibi kükürt içeren amino asitlerde görülür (Roman, 2016).

Se araştırmasının ve kullanımının tarihçesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. 1930 yılında çiftlik hayvanları için Se toksisitesi tanımlanmıştır (Surai, 2006). Hayvanlarda Se eksikliğine ilişkin ilk rapor, 1957 yılında ruminantlarda Se ve Vit E eksikliği sonucu kuzularda görülen beyaz kas hastalığı üzerine yayınlanmıştır (Muth ve Oldfield, 1958). İskelet ve kalp kası nekrozu gibi diğer belirtiler Smith ve ark. (1972) tarafından gözlemlenmiştir. Rotruck ve ark. (1973), Se'nin hücreleri oksidatif hasara karşı korumak için bir antioksidan görevi gören GSH-Px enziminin bir bileşeni olarak biyokimyasal rolünü göstermiştir. 1970 yılında, çiftlik hayvanlarında küresel bir Se eksikliği olduğu kabul miş ve ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) 1974 yılında kümes hayvanları ve domuzlar için selenit veya selenat şeklinde Se katkılarını onaylamıştır. 1979 yılında FDA, başlangıçta 0,1 mg/kg KM ve Nisan 1987'den beri 0,3 mg/kg KM konsantrasyonunda, yani 0,7 mg Se/koyun/gün süt sığırları için bir yem katkı maddesi olarak onaylamıştır. 1986 yılında selenosistein (SeCys), 21. amino asit olarak tanımlanmıştır (Chambers ve ark., 1986).

Organik Se kavramı 2000 yılında geliştirilmiş ve Se ile zenginleştirilmiş bir dizi ürün piyasaya çıkmıştır (Surai, 2006) ve 2006 yılında Avrupa Komisyonu, Se-maya'nın yem katkı maddesi olarak kullanılmasına izin vermiştir (EFSA, 2006). 2003 yılında memeli proteomları karakterize edilmiş ve 25 selenoprotein tanımlanmıştır (Kryukov ve ark., 2003). Daha sonra, farklı selenoproteinleri kodlayan 26 gen tanımlanmıştır (Lei, 2017; Zhao ve ark., 2017). 2013 yılında Se kaynağı OH-SeMet başarıyla test edilmiş ve çiftlik hayvanı endüstrisinde yerini almıştır (Briens ve ark., 2013, 2014; Jlali ve ark., 2013).



Şekil 2.1. Se araştırmasının ve kullanımının tarihçesi (Surai ve ark., 2018)

Çiftlik hayvanları ve insanlar için temel iz elementlerden biri olan Se, büyüme ve gelişme, üreme, immünomodülasyon, antioksidan ve hormon düzenlemesi gibi çeşitli biyolojik süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır (Surai ve ark., 2018). Selenoproteinler, Se'nin organizmada aktif bir rol oynadığı baskın formdur. Glutatyon peroksidazlar (GSH-Px), tiyoredoksin redüktazlar (TrxR) ve iyodotironin deiyodinazları (ID) içeren en az 25 selenoprotein keşfedilmiştir (Zhao ve ark., 2017; Sun ve ark., 2019). Bu selenoproteinler öncelikle oksidatif stres, endoplazmik retikulum stresi, enflamatuvar tepkiler ve hormon metabolizmasının düzenlenmesinde işlev görür (Labunsky ve ark., 2014). Karaciğer, portal ven yoluyla bağırsaktan emilen Se'yi aldığı ve daha sonra metabolize ettiği için Se regülasyonu için merkezi organ olarak hizmet eder (Zeng ve ark., 2021). Se eksiklikleri çiftlik hayvanlarında çeşitli spesifik dejeneratif hastalıklar, infertilite, üretim performansında düşüş hastalık direnci ve tiroid hormonu metabolizmasıyla ilgili bozukluklar dahil olmak üzere çok çeşitli sorunlarına neden olmaktadır.

Topraklar, bitkilerin biriktirdiği ve çoğunlukla SeCys ve SeMet ve bunların metillenmiş türevleri olmak üzere organik formlara dönüştürdüğü inorganik selenitler ve selenatlar içerir. Hayvanlarda Se alımı coğrafi dağılımdan büyük ölçüde

etkilenmektedir (Haug ve ark., 2007) ve Avrupa ve Asya gibi dünyanın birçok yerinde hayvanlarda Se eksikliği bildirilmektedir (Saha, 2017). Se eksikliğinin sonuçlarından kaçınmak ve Se gereksinimlerini karşılamak için, yemlere takviyesi dünya çapında yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Se'nin hayvan beslenmesine dahil edilmesi, Se'nin doğru formda ve doğru dozajda sağlanmasına bağlı olan bir dizi sağlık ve ürün kalitesi faydasıyla da ilişkilendirilmiştir. Genel olarak, inorganik (selenat ve selenit) ve organik (SeMet ve SeCys) olmak üzere iki Se formu vardır. Organik Se kaynaklarının, inorganik Se kaynaklarına göre dokulara daha etkin bir şekilde dahil edildiği iyi bilinmektedir (De Marco ve ark., 2021; Juniper ve ark. 2022). Bundan dolayı organik Se kaynakları sadece hayvanlar için gerekli günlük Se miktarını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda acil gereksinimleri karşılamak için kullanılmayan miktar hayvanların dokularında depolanır ve stres koşulları altında selenoprotein sentezini ve dolayısıyla hayvanların antioksidan korumasını sürdürmek veya en üst düzeye çıkarmak için harekete geçirilir (Juniper ve ark. 2022) .

2.1. Selenyumun Emilimi, Metabolizması ve Boşaltımı

2.1.1. Selenyumun Emilimi

Selenitin emilimi tek mideli hayvanlarda ve kümes hayvanlarında yaklaşık %85 iken ruminantlarda bu oran sadece %35'tir (Arshad ve ark., 2021). Rumen mikroorganizmaları muhtemelen ruminantlarda ruminant olmayanlara göre Se'nin daha düşük emiliminden sorumludur. Rasyon Se'nin çoğu rumen mikroorganizmaları tarafından çözünmeyen formlara indirgenir. İnorganik Se kaynakları organik Se'den daha büyük bir oranda bu çözünmeyen formlara dönüştürülür (Whanger ve ark., 1968). Galbraith ve ark. (2016) koyunlarda SeMet olarak organik Se'nin inorganik Se kaynaklarına göre rumen mikroorganizmasına daha fazla dahil olduğunu ve daha az elementel Se oluşumuna neden olduğunu ve bundan dolayı inorganik Se kaynaklarına kıyasla biyoyararlanımının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Diğer bir deyişle organik Se, rumen mikroorganizmalarının etkisinden daha az etkilenir ve sindirim kanalından sistemik dolaşıma daha fazla ulaşabilir (Thiry ve ark., 2013). Wei ve ark. (2019) tarafından orta laktasyondaki ineklerin kullanıldığı bir çalışmada, rasyona aynı seviyede (0,3 mg/kg KM tüketimi) eklenen SS'nin emilimi %49,5 ve OH-SeMet'in ise %59,7 olarak bildirilmiştir.

Se emilimi esas olarak duodenumda gerçekleşir (Liu ve ark., 2020). İnorganik Se (örneğin selenit veya selenat), pasif difüzyon yoluyla emilir ve bağırsakta düşük

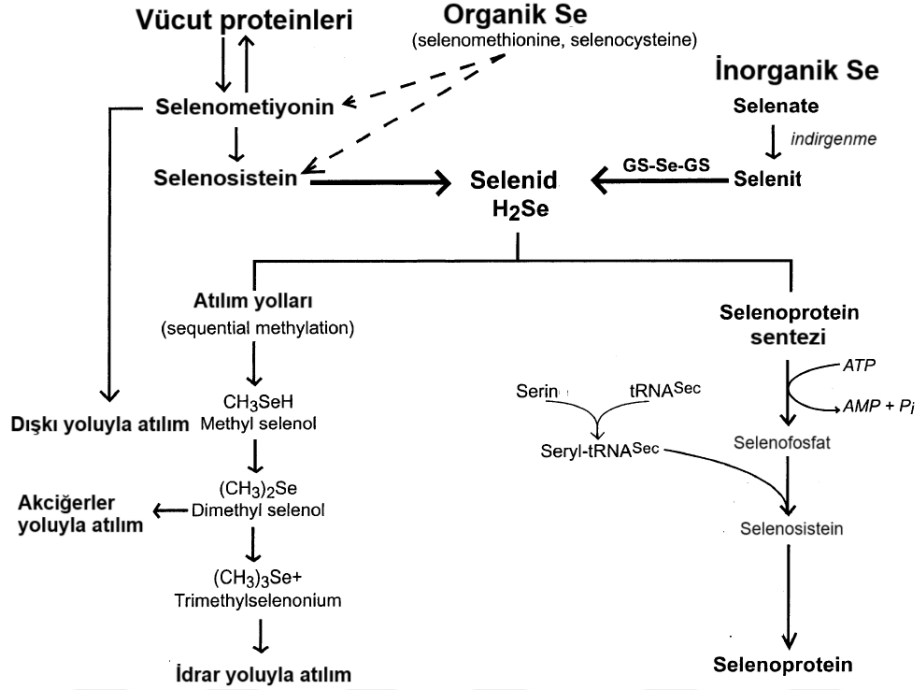
biyoyararlanım gösterir. SeMet formundaki Se'nin absorpsiyonu metiyoninle aynı yolakla, dolayısıyla aktif transport ile gerçekleşir. Bu durum, organik Se'nin biyoyararlanımını artırır. Absorbe edilen Se'nin transportu öncelikle plazma proteinlerine bağlanarak olur (Combs ve Combs, 1984).

Se'nin biyoyararlanımı, yem matrisinin bazı diğer bileşenleri tarafından da etkilenebilir. Bazı çalışmalar, E vitamininin Se'nin biyoyararlanımını artırabileceğini (Kieliszek, 2019), ağır metallerin ve liflerin ise azaltabileceğini göstermiştir (Daniels, 1996; Spears ve Weiss, 2008; Goff, 2018). Se emilimini etkileyen diğer faktörler arasında rumen pH'sı ve mikrobiyal popülasyon yer almaktadır. Daha asidik bir ortam, Se'nin daha az kullanılabilir formuna indirgenmesini sağlar (Gerloff, 1992). Yüksek karbonhidratlı bir rasyon, yüksek kaba yemli bir rasyona göre Se'nin çözünmeyen formlara dönüştürülmesine daha uygundur (Whanger ve ark., 1968). yüksek kaba yem içeren bir diyetle beslenen sığırlarda *Prevotella ruminicola* gibi bazı türlerin çok az Se aldığı ve daha fazla miktarda kullanılamayan elemental Se ürettiği bildirilmiştir (Hudman ve Glenn, 1984;1985).

2.1.2. Selenyum Metabolizması ve Boşaltım

Emilen inorganik ve organik Se kaynaklarının selenoproteine dönüşmesi farklı metabolik yollarla gerçekleşir. Se ve selenoproteinlerin metabolizması öncelikle karaciğerde gerçekleşir (Mehdi ve Dufrasne, 2016). Hem inorganik hem de organik kaynaklardan emilen Se'nin büyük bir kısmı karaciğere doğru yönlendirilir. Karaciğerde Se kaynakları dihidrojen selenid'e (H_2Se) dönüşerek selenoprotein sentezinde kullanılır (Daniels, 1996; Dalgaard ve ark., 2018). Organik Se (SeMet) ise başlangıçta asetilasyon ile aktive edilir, demetilasyona uğrar ve daha sonra selenohomosistein ve selenosistatinyonin yoluyla SeCys'e ve ardından serin ve selenide dönüşür. Hem organik hem de inorganik kaynaktan oluşturulan selenid selenoprotein sentezi için kullanılır (Schrauzer, 2000). İnorganik kaynaklı Se vücutta depolanmaz ve fazlası doğrudan atılır (Levander ve ark., 1983). Bundan dolayı inorganik Se takviyesi, kaslardaki Se konsantrasyonunda önemli bir fark sağlamaz (Juniper ve ark., 2008). Organik kaynaklı Se'nin fazlası genel vücut proteinlerine spesifik olmayan bir şekilde dahil edilir (Wolffram, 1999; Suzuki, 2005) ve kas dokuda güvenli bir şekilde depolanabilir ve endojen Se rezervi olarak kullanılabilir. SeMet'in dokular içerisinde birikmesi, yalnızca artan Se alımı ve tutulumunun değil, aynı zamanda yetersiz Se alımı dönemlerinde veya oksidatif

zorluğun yaşandığı dönemlerde kullanılabilecek endojen bir Se havuzunun da göstergesidir. Se içeren bileşiklerin metabolizması Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



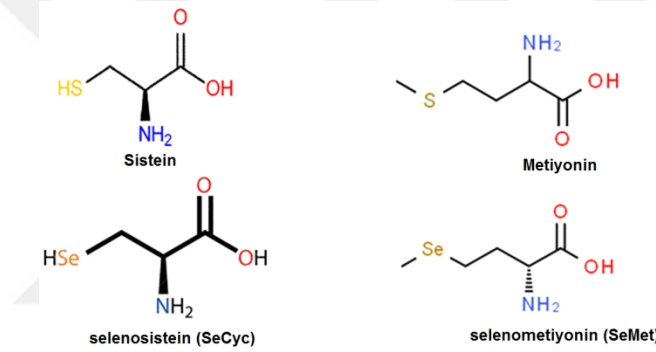
Şekil 2.2. Selenyum metabolizması (Schrauzer, 2003)

Se boşaltımının miktarı ve yolu büyük ölçüde mineralin kaynağına, miktarına ve hayvanın sindirim sistemine bağlıdır (Cuddalore ve ark., 1997). Tek midelilerde Se esas olarak idrar yoluyla atılırken, ruminantlarda Se'yi çözünmez selenitlere dönüştüren ruminal mikroorganizmalar tarafından yapılan kapsamlı mineral indirgemesinin bir sonucu olarak dışkı birincil atılım yoludur (Church, 1988). Karaciğerde ihtiyaçtan fazla Se'nin bir kısmı safra yoluyla atılır. Bir diğer en önemli kısım akciğer ve böbrekler yoluyla atılır. Bu durumda selenid polimetillenir (Krishnamurti ve ark., 1989) ve akciğerden dimetil selenyum $[(CH_3)_2Se^+]$ ve idarla trimetil selenyum $[(CH_3)_3Se^+]$ olarak atılır (Archer ve Judson, 1994; Combs, 2015).

Koenig ve ark. (1997) koyunlarda kararlı bir Se izotop dozunun idrarla %11-19 oranında atıldığını, buna karşılık dışkıyla %47-57 oranında atıldığını bildirmiştir. Kinetik denemeler, idrarla atılımın sığırlarda Se alımının %2,7-6,0'sı (Symonds ve ark., 1981a; Symonds ve ark., 1981b), koyunlarda ise %7'si (Krishnamurti ve ark., 1989) arasında değiştiğini göstermiştir.

2.2. Selenyumun Biyolojik Olarak Aktif Bileşiklerdeki Rolü

Selenyum, biyolojik işlevlerini düşük moleküllü Se bileşikleri ve Se içeren proteinler aracılığıyla gösterir. Hayvanlardaki Se'nin çoğu proteinlere bağlıdır (Şekil 2.3). Proteine bağlı Se'nin %80'inden fazlası SeCys'dir (Ghany-Hefnawy ve Tórtora-Péres, 2010). SeCys'de, sisteindeki sülfür yerine Se bağlanır. SeCys'nin daha düşük pKa değeri (5,3) ve daha güçlü nükleofilliği onu çok daha reaktif hale getirir. Ancak hücrelerde serbest SeCys havuzu yoktur ve protein katabolizması sırasında SeCys, elementel Se'ye parçalanır (Lu ve Holmgren, 2009). Ayrıca Se, SeMet şeklinde proteine de bağlanabilir. Bu oluşum Se içeren protein olarak adlandırılır fakat Se burada bir mineral olarak işlev görmez, metiyonin ise normal metiyonin gibi kullanılabilir (Suzuki ve Orga, 2002).



Şekil 2.3. Metiyonin ve sisteinin kimyasal yapısı ve seleno-amino asitler (Arshad ve ark., 2021)

SeCys vücutta çok sayıda özel işlevi yerine getiren biyolojik olarak önemli selenoproteinlerin sentezi için gereklidir. SeCys, 21. amino asit olarak kabul edilmektedir (Birringer ve ark., 2002) ve hayvanların selenoproteomunda 25'den fazla selenoprotein olduğu bildirilmektedir (Papp ve ark., 2007). Neredeyse tüm selenoproteinlerin redoks enzimleri olduğu görülmektedir (Burk ve Hill, 2015). Bir enzimin aktif bölgesinde sistein yerine SeCys bulunması, enzimatik etkinliği 1000 kata kadar artırır (Burk, 2002). Selenoproteinler mitokondri, endoplazmik retikulum, çekirdek, hücre zarı ve golgi zarı gibi hücrenin çeşitli kısımlarında bulunur. Bulundukları yerde ise oksidoredüksiyon, redoks sinyali, antioksidan savunma, tiroid hormon metabolizması ve bağışıklık tepkilerinde biyolojik işlevleri vardır (Méplan ve Hesketh, 2012; Schoenmakers ve Chatterjee, 2020). Bu bağlamda selenoproteinler üç ana fonksiyonel grupta sınıflandırılabilir:

- (1) Glutasyon peroksidazlar (GSH-Px'ler)
- (2) Tioredoksin redüktazlar (TRX'ler)
- (3) İyodotironin deiyodinazlar (DIO'lar)

Bu selenoproteinler arasındaki ortak nokta, hepsinin işlev görmek için bir SeCys içermesidir. Selenoproteinlerin hepsi antioksidan sistemin bir parçası olarak hareket etmemektedir (Gladyshev, 2006).

2.2.1. Glutasyon Peroksidazlar (GSH-Px)

Memelilerde en bol bulunan ve hücre içi antioksidan savunma sisteminin önemli bir bileşeni olan GSH-Px'ler reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı anahtar enzimler olarak rol oynar. Böylece hücrelerin oksidan hasardan korunmasında anahtar bir fizyolojik işleve sahiptir. Se bağımlı GSH-Px'ler Se içeren tetramerik glikoproteinlerdir ve aktif bölgelerinde kovalan bağlı dört adet SeCys formunda Se içerirler. GSH-Px'ler sitozol ve mitokondride 2:1 oranında bulunurlar (Matés ve Sánchez-Jiménez, 1999).

GSH-Px'in en iyi tanımlanan fizyolojik süreçlerinden biri H_2O_2 'nin indirgenmesi ve lipid ve fosfolipid hidroperoksitlerin hayvanın vücuduna herhangi bir zarar vermeyen su ve alkollere parçalanmasıdır (Allan ve ark., 1999). GSH-Px ile hidrojen peroksitin (H_2O_2) uzaklaştırılması, lipid peroksidasyonunun başlatılmasında çok önemli bir radikal olan $\bullet OH$ 'nin oluşumunu önlemektedir. GSH-Px aktivitesi, Chu ve ark. (1993) tarafından gösterildiği gibi karaciğerdeki Se depolanması tarafından güçlü bir şekilde düzenlenir ve bu nedenle yeterli Se durumu büyük önem taşır. Se eksikliğinde GSH-Px aktivitesinde %90'a varan azalma gözlenir ve bu durumda vücutta antioksidan savunma tam anlamıyla gerçekleştirilemez. Se eksikliği oluşturulan hayvanlarda, Se suplementasyonu ile GSH-Px aktivitesinde hızlı ve sigmoidal bir artış gözlenmektedir (Lei ve ark., 2007).

Şu anda dört farklı GSH-Px türü tanımlanmıştır (Kryukov ve ark., 2003):

- (1) Sitozolik (GSH-Px1),
- (2) Gastrointestinal (GSH-Px2),
- (3) Ekstraselüler (GSH-Px3),
- (4) Fosfolipid hidroperoksit (GSH-Px4) ve GSH-Px6

Bunlar enzimatik katalizörler aracılığıyla üç aşamada faaliyet gösterir ve böylece vücudu serbest radikallere karşı korur (Brigelius-Flohé ve Kipp, 2009).

GSH-Px1, GSH-Px2 ve GSH-Px3, H_2O_2 , lipidperoksitler ve hidroperoksitlerin indirgenmesini katalize eden ve böylece selüler ve subselüler membranların bütünlüğünün sağlanmasında çok önemli enzimlerdir. GSH-Px4 doğrudan fosfolipid ve kolesterol hidroperoksitlerini indirgeyebilir. Ayrıca GSH-Px4, özellikle testis ve sperm için önemlidir. Spermde Se'nin en yoğun bulunduğu bölge GSH-Px4'ün içinde bulunduğu mitokondriyel kapsüldür. GSH-Px4 spermiyogenezin başlangıcında aktif selenoperoksidaz olarak davranır; spermatogenezin ileri fazlarında bu aktif çözümlü peroksidaz mekanizması henüz bilinmeyen oksidatif bir prosesle spermatozoanın mitokondriyel kılıfında yapısal bir proteine dönüşür. GSH-Px4'ün bu ikili rolü memeli spermatogenezindeki önemini göstermektedir (Ursini ve ark., 1999).

2.2.2. İyodotironin Deiyodinazlar (DIO)

Selenodeiyodinazlar, tiroid hormonlarının inaktif formunun (tiroksin) aktif forma (Triiyodotironin) dönüştürülmesinde hayati bir rol oynarlar ve tiroid hormonlarının vücudun genel metabolizmasıyla doğrudan ilişkili olduğu göz önüne alındığında, konsantrasyonlarının ve aktivitelerinin artması büyümeyi etkileyebilir (Kucharzewski ve ark., 2002). Doku ve subselüler lokalizasyona sahip üç deiyodinaz tanımlanmıştır:

- (1) Deiyodinaz 1 (D1) öncelikle karaciğer, böbrek ve tiroide bulunur
- (2) Deiyodinaz 2 (D2) beyin, hipofiz, tiroid, iskelet kası ve kahverengi yağ dokusundadır;
- (3) Deiyodinaz 3 (D3) serebral korteks ve deride bulunur ve plasenta ve gebe uterusunda çok yüksek düzeyde eksprese edilir.

D1 ve D2, tirodi hormonu tiroksin (T4) ve 3,5,3'-triyyodotironinin (T3) aktivasyonunu katalizlerken, D3 ise inaktivasyonunu katalizler. D1 ve D2, tiroksini dış halka deiyodinasyonu ile tiroid hormonlarının en aktif metabolik formu olan T3'e dönüştürür; ve D3, iç halka deiyodinasyonu ile T4 ve T3'ü sırasıyla inaktif formlar olan rT3 ve 3,3'-diyyodotironine (T2) dönüştürür (Kuiper ve ark., 2005; Bianco ve Larsen, 2005).

2.2.3. Tiyoredoksin Redüktazlar (TrxR)

TrxR'lerin katalitik bölgesinde Se bulunmaktadır (Holmgren, 1989). TrxR'ler piridin nükleotid-disülfid oksidoredüktaz ailesinin üyeleridir ve memelilerde üç TrxR tanımlanmıştır:

- (1) Sitozol/çekirdekte TrxR1 (Gladyshev ve ark., 1996), Sitozoldeki tiyoredoksin proteininin indirgenmesinden sorumludur.
- (2) Mitokondride TrxR2 (Biterova ve ark., 2005). Mitokondrideki tiyoredoksinlerin indirgenmesinden sorumludur. Aynı zamanda glutatyon ve glutaredoksin redüktaz aktivitesine sahiptir (Sun ve ark., 2001)
- (3) Testiste TrxR3 (Sun ve ark., 2001). Glutatyon ve glutaredoksinin indirgenmesinden sorumludur (Papp ve ark., 2007).

Ayrıca, memeli TrxR'leri, DNA sentezi ve hücre çoğalması için gerekli olan deoksiribonükleotidlerin yapımında kritik bir rol oynar (Papp ve ark., 2007).

2.3. Selenyum ve E Vitamini İlişkisi

E vitamini ve Se arasındaki bağlantı Karl Schwarz tarafından sıçanlarda diyetle indüklenen karaciğer nekrozunu incelerken kurulmuştur. Üç maddenin karaciğer nekrozunu önleyebileceğini bulmuştur: yüksek sistin konsantrasyonları ("faktör 1" olarak adlandırılır), E vitamini ve üçüncü bir madde (başlangıçta bilinmiyordu) ki bunu karaciğer nekrozunu önleyebilen üçüncü diyet faktörü olduğu için "faktör 3" olarak etiketlemiştir (Schwarz, 1951). Daha sonra, bu üçüncü faktörün organik bir Se formu (SeMet) olduğu keşfedilmiştir (Schwarz, 1957). Diyetle faktör 3 (Se) eksikse, α -tokoferol formundaki E vitamini sıçanlarda karaciğer nekrozunu önleyebilir. Buna "karşılıklı koruyucu" etki denir (Tamura ve ark., 1995).

Hücrel membranlarda doymamış yağ asitleri çift bağa sahip olduklarından oksijen ile hızlı bir şekilde reaksiyona girer ve membranların yapısını ve metabolizmasını bozan peroksit ve hidroperoksitleri oluşturur. Enzimatik olmayan bir antioksidan olan E vitamini, hidrojen protonları ile peroksit ve hidroperoksitleri doyurarak peroksit radikallerinin etkinliklerini azaltıp, otooksidasyonun başlatıcısı olan bu reaksiyonu daha işin başında duraklatır. Se ise in vivo olarak oluşan peroksitleri GSH-Px aracılığı ile bir lipid alkol ve suya indirger. Membranda hem α -tokoferol hem de GSH-Px bulunduğunda lipid peroksidasyonu en etkili şekilde engellenir (Hondal, 2023).

α -Tokoferol ve Se arasındaki bağlantı, Se eksikliğinin α -tokoferol kaybını artırıyor gibi görünmesiyle daha da güçlenmektedir (Fischer ve Whanger, 1977). Burk (1983) tarafından belirtildiği gibi, bunun nedeni muhtemelen vücuttaki Se içeriği düşük olduğunda α -tokoferol oksidasyonunun artmasıdır.

2.4. Selenyum ve C Vitamini İlişkisi

C vitamini suda çözünen bir antioksidandır. Birçok memelinin aksine, insanlar (ve kobaylar) L-gulono-gama-lakton oksidaz enziminin eksikliğinden dolayı C vitamini sentezleyemezler (Nishikimi ve ark., 1994) ve bu nedenle yeterli vitamin seviyelerini korumak için diyetle güvenmek zorundadırlar. Hem sitozolde hem de mitokondride bulunan selenoenzim TrxR, C vitamininin aktif formu olan L-askorbik asidi oksitlenmiş formları olan dehidroaskorbik asit (DHAA) ve askorbat serbest radikalinden (AFR) geri dönüştürür (May ve ark., 1997; May ve ark., 2001). DHAA'nın askorbik aside geri dönüşümü hem GSH yoluyla enzimatik olmayan bir yolla hem de glutaredoksin, protein disülfid izomeras ve 3α -hidroksisteroid dehidrojenaz dahil olmak üzere çoklu enzimatik yollarla gerçekleşir (May ve ark., 2003). Veriler, TrxR 'nin sıçan karaciğerindeki toplam DHAA geri dönüşüm aktivitesinin ~%20'sine katkıda bulunduğunu göstermektedir (May ve ark., 1997).

2.5. Selenyum ve Bağışıklık Sistemi

Selenyum bağışıklık sistemini etkiler ve Se bileşikleri humoral bağışıklık mekanizmalarını etkiler ve M tipi immünoglobulin seviyelerini artırır (Maggini ve ark., 2007). Hayvan yemlerine Se takviyesi antikör seviyelerini artırır, nötrofil granülositlerin ve makrofajların fagositik aktivitesini geliştirir ve miyojenlerle uyarıldığında T lenfosit sayılarını artırır (Kamada ve ark., 2007). Se, T lenfositlerinin çoğalmasını, olgunlaşmasını ve aktivitesini hızlandıran lenfosit migrasyon inhibisyon faktörü ve interlökin 2'nin üretiminde vazgeçilmezdir (Shrimali ve ark., 2008). T hücreleri Se eksikliğine karşı özellikle hassastır çünkü hücre zarları B lenfositlerinin zar lipidlerinden daha kolay oksitlenen lipidler içerir (Arthur ve ark., 2003). Se eksikliği T lenfositlerinin sayısını ve sitotoksik aktivitesini düşürür, bu etkiye lenfotoksin üretiminde azalma eşlik eder (Hawkes ve ark., 2001). İnekler üzerinde yapılan bir çalışma (Cao ve ark., 1992), Se eksikliği olan hayvanlarda kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha düşük lenfosit proliferasyon seviyeleri (konkavalin A ile uyarılmış) olduğunu göstermiştir. T lenfosit sayısındaki azalma nedeniyle

bağışıklığı bozulan ineklerde, Se takviyesinin immün sistemi uyarıcı bir etkisi olmuştur. Selenyum takviyesi dalak lenfositlerinin blastik dönüşümünü yoğunlaştırmış ve lenfosit proliferasyonundaki azalmayı önlemiştir (Ghany-Hefnawy ve Tortora-Perez, 2010).

Selenyumun bağışıklık sistemi üzerindeki etkisinde rol oynayan moleküler mekanizmalar tam olarak aydınlatılamamıştır. Se etkisini selenoenzimler - GSPx ve TrxR yardımıyla gösterebilir. Bu selenoenzimler, lenfosit membranlarının yüzeyindeki tiyol gruplarının indirgenmiş bir durumda tutulmasından sorumludur, bu da miyojenlere karşı lenfosit proliferatif yanıtını önemli ölçüde artırır, immünoglobulin üretimini artırır ve lenfositlerin öldürme aktivitesini artırır (Akyol ve ark., 2007). Selenatlar hücrelerin içindeki indirgenmiş glutatyon seviyelerini artırır ve tiyol gruplarını indirgenmiş durumda tutar (Qin ve ark., 2007). Se eksikliği, linoleik asitten aşırı araşidik asit sentezini engelleyen selenoenzimlerin aktivitesini baskılayarak vücuttaki enflamatuvar bir süreci şiddetlendirebilir (Reinhard ve ark., 2007). Normal Se konsantrasyonlarında, GSH-Px fosfolipaz A2'yi inhibe eder ve araşidonik asit ve metabolitlerinin, eikosanoid sentezi ürünlerinin, özellikle de lökotrien B4'ün seviyelerini düşürür. Araşidonattan prostasiklin sentezi yoğunlaşır ve lipoksijenaz metabolik yolunu inhibe eder (Johnson ve ark. 2000). Se'nin bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi farklı bir yol üzerinden de üretilebilir. Se'nin bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi farklı bir yolla da üretilebilir. SS'nin bir immünostimülatör olarak kullanılması, aktive edilmiş T ve B lenfositlerin, doğal öldürücü (NK) hücrelerin ve lenfokinle aktive edilmiş öldürücü (LAK) hücrelerin yüzeyinde interlökin 2'nin α ve β alt birimlerinin ekspresyonunu etkiler, ancak interlökin 1 (IL-1), interlökin 2 (IL-2) veya interferon γ 'nın (IFN- γ) endojen konsantrasyonlarını etkilemez. IL-2 reseptörlerine bağlanarak IL-1 uyarılır ve aktive olmuş hücrelerin hücre döngüsünün G1 fazından (postmitotik) S fazına (DNA sentezi) geçişi için sinyali indükler (József ve Filep, 2003).

Selenyum eksikliği nötrofil göçünü engeller ve nötrofil yüzeyindeki reseptörlerin dağılımını bozar. Yukarıdakiler büyük olasılıkla tubulinin aşırı H_2O_2 ile oksidasyonuna ve bunun sonucunda nötrofil mikrotübüllerinin zarar görmesine bağlanabilir (Haddad ve ark., 2002). Se eksikliği olan hayvanlardan örneklenen nötrofiller de yabancı hücrelerin yok edilmesi için serbest radikal üretme ve salma kabiliyetinde bozulma ile karakterize edilmiştir (Yang ve ark., 2004). Yüksek Se

dozları da bağışıklık tepkisini zayıflatmaktadır. Bir in vivo çalışmada, aşırı Se konsantrasyonları hücre döngüsünün S ve G2 aşamalarındaki hücrelerin büyümesini engellemiş ve antikor proteinleri ile prostaglandinlerin sentezini azaltmıştır (Zagrodzki, 2004).

2.6. Ruminantlarda Selenyum Gereksinimi

Ruminantlarda günlük Se ihtiyacı hayvan türüne (inek, manda, koyun ve keçi), hayvanın yaşına (buzağı, oğlak, kuzu ve yetişkin), fizyolojik evresine (laktasyon veya gebelik) ve performans özelliğine (et veya süt) bağlıdır (Arshad ve ark., 2021). E vitamini, rasyon Se tüketimini etkileyen faktörlerden biridir. Se ve E vitamini antioksidan fonksiyonlarının birbirine bağlı olduğu unutulmamalıdır. Se, peroksidazlar grubunda olan GSH-Px'in ana bileşenidir. E vitamini (α -tokoferol), hücre zarlarına hidrojen atomu vericisi olarak çalışır ve bu da lipid zarlarında peroksidasyon zincir reaksiyonunun yayılmasını azaltır (Halliwell ve Chirico, 1993). Bu nedenle, E vitamini açısından düşük bir rasyon belirli anomalilerin önlenmesi için gerekli Se miktarını artırabilir (NRC,1996). Gıda amaçlı yetiştirilen hayvanlar için Avrupa komisyonu tarafından toksikasyonu ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla inorganik Se'yi 0,5 mg/kg tam yem (EFSA FEEDAP Paneli, 2019a); organik Se'yi (Se mayası, SeMet) ise 0,2 mg/kg tam olarak önerilmiştir (EFSA, 2018). FDA (2022) tarafından ise Se gereksinimi 0,3 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte NRC (2007) tarafından koyunlar için tolere edilebilir maksimum Se seviyesi 5 mg/kg KM günlük canlı ağırlık kazancı 200-350 g arasında olan büyümekte olan kuzular için ise 0,2-0,3 mg Se/kg yem KM'si olarak bildirilmiştir. Ayrıca NRC (2001)'ye göre buzağılar ve süt sığırları için Se gereksinimlerini sırasıyla günde 0,1 ve 0,3 mg/kg KM'dir. Besi sığırları için Se gereksinimi Suttle (2010) tarafından 0,1 mg/kg KM olarak bildirilmiştir.

2.7. Selenyum Toksisitesi

Se'nin hayvanlar üzerindeki toksik etkisi ilk olarak 1930'larda Güney Dakota'da Se açısından zengin meralarda otlayan hayvanlarda akut veya kronik selenyum zehirlenmesine bağlı olarak alkali hastalığı geliştiği bildirilmiştir (Zarczynska,ve ark., 2013). Se toksisitesinden ilk kez 1295 yılında Çin'e yaptığı yolculuk sırasında Marco Polo bahsetmiştir. Polo, atlarda görülen ve günümüzde selenozis olarak bilinen tırnak çürümesi hastalığının belirtilerini tanımlamıştır (Tinggi, 2003). Selenoz veya alkali hastalığı atları, sığırları, domuzları ve kümes

hayvanlarını etkiler. Topraktaki yüksek Se konsantrasyonlarından ve yüksek seviyelerde alkali bileşiklerin bulunduğu bölgelerde yetişen bitkilerin tüketilmesinden kaynaklanır. Bu tür ortamlarda, bitkiler kolaylıkla çözünebilir ve kullanılabilir selenyum bileşiklerini kolayca biriktirir. Se'yi topraktan kolayca emen ve böylece otlayan hayvanlar için potansiyel bir risk oluşturan bitkiler arasında Leguminosae, Cruciferae ve Compositae familyalarının üyeleri yer alır. Bunlar selenofilik, Se taşıyan veya Se indikatörü bitkiler olarak adlandırılır (Zarczynska, ve ark., 2013). Olumsuz sonuçlar doğurmadan orta veya nispeten yüksek miktarda Se emebilen bitkiler arasında buğday, arpa, yulaf ve mısır bulunmaktadır (Bednarek ve Bik 1994). Literatürdeki raporlar, Se takviyelerindeki hesaplama hatalarından (Smith ve ark., 1999), rasyonlarının formülasyonundaki hatalardan kaynaklanan akut Se toksikozunu tanımlamaktadır (Wilson ve ark., 1983)

Se plasenta yoluyla kolayca aktarılabilir ve süte salgılanır, bu nedenle süt emen hayvanlarda selenoz belirtileri görülebilir (Guyot ve ark., 2007). 1-6 mg/kg CA'lık tek bir selenyum dozu çoğu hayvan türü için öldürücüdür (Whanger ve ark., 1996). Se toksisitesi belirtilerinin genellikle 5-8 mg/kg KM Se seviyelerinde ortaya çıkmaya başladığını bildiren çalışmalar da vardır (Zarczynska ve ark., 2013). Selenyum içeriği 20-30 ppm'den yüksek olan yemler akut selenozise yol açar ve 3-5 ppm'nin altındaki dozlar kronik ve subakut selenyum zehirlenmesine neden olur (Nuttal, 2006).

Enjekte edilebilir Se, oraldan daha akut toksiktir; kuzularda intramüsküler LD50 0,5 mg/kg'dır (Caravaggi ve ark., 1970). Deri altı Se LD50'si kuzularda 1 mg/kg ve sığırlarda 1,9 mg/kg'dır (Grace, 1994). Akut Se zehirlenmesinin klinik belirtilerinin ortaya çıkması maruziyetten 8-10 saat kadar sonra gerçekleşir; ancak belirtiler maruziyet sonrası 36 saate kadar gecikebilir (NRC, 2005). Se'nin toksik dozlarına maruz kalan sığırlar genellikle akut miyokardiyal nekrozlu kalp yetmezliğinden ilk 36 saat içinde ölürlür (Davis ve ark., 2012).

2.8. Selenyum Eksikliği

Genel olarak, rasyonla alınan Se miktarı 0,05 mg/kg KM'den az olduğunda hem hayvanlarda hem de insanlarda Se eksikliği gözlemlenir (Claude, 2002). 1957 yılında Schwarz ve Foltz selenyumun hayvan sağlığında olumlu bir rol oynadığını göstermiştir. Diyetlere selenyum ilavesinin sıçanlarda karaciğer nekrozunu önlediğini belirtmişlerdir (Schwartz ve Foltz, 1957). Metabolik modellerde, bu eser elementin rasyon seviyelerine bağlı olarak Se dağılımında belirgin farklılıklar

bildirilmiştir. Se eksikliği olan rasyonlarda, bu element ilk olarak hayati vücut fonksiyonları olan spesifik proteinlere (selenoprotein P, thyronine 5'-deiodinase) dahil edilir ve daha sonra alınan Se miktarları spesifik olmayan proteinlerle birleştirilir. Selenyumun doku dağılımında da farklılıklar görülmektedir. Beyin, endokrin bezleri ve üreme organları, karaciğer, kalp, iskelet kasları ve eritrositlerden önce Se emiliminin öncelikli yollarıdır, bu da son organların Se eksikliğine neden daha duyarlı olduğunu açıklar (Meschy, 2010). Se eksikliği çiftlik hayvanlarında her yıl büyük mali kayıplara yol açan patolojik değişikliklere neden olur. Se eksikliği tüm hayvan türlerini etkilese de, çoğunlukla kuzu ve keçiler olmak üzere ruminantlar özellikle hassas görünmektedir. Se eksikliğinin hayvanlar üzerindeki olumsuz etkileri ilk olarak 1957 yılında, düşük selenyum ve E vitamini seviyelerinin nutrisyonel kas distrofisinin (NMD) potansiyel bir nedeni olarak kabul edilmesiyle belgelenmiştir (Muth ve ark., 1958). Beyaz kas hastalığı olarak da bilinen bu durum, doğumdan 3 aylık olana kadar kuzuları, oğlakları, tayları, buzağları ve kümes hayvanlarını etkiler. NMD, diyafram, kalp kası ve dil dahil olmak üzere vücudun çeşitli bölgelerinde iskelet kası hücrelerinin hiyalin dejenerasyonuna neden olur (Beytut ve ark., 2002). Hastalığın iki şekli vardır: kalp kasını etkileyen akut ve çoğunlukla iskelet kaslarını bozan subakut. Hiposelenozdan etkilenen genç hayvanlar solunum ve mide enfeksiyonlarına karşı daha hassastır. Yetişkinlerde Se eksikliği fertilitiyi bozar, ovaryum kistlerinin oluşumuna ve tohumlamadan sonraki ilk 3-4 haftada embriyonik ölümlerin artmasına katkıda bulunur (Palmieri ve Szarek, 2011). Plasental retansiyon, Se eksikliğine eşlik eden ve en sık karşılaşılan fertilitite bozukluklarından biridir. Se bağımlı GSH-Px, doğumdan sonra hızlı bir dejenerasyona uğrayan plasentayı korur. Enzim, hücre zarlarını fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açabilen oksidasyonun olumsuz sonuçlarına karşı korumak için peroksitleri biyolojik olarak daha az aktif formlara metabolize eder. Reaktif oksijen türlerinin neden olduğu nötrofil hasarı, plasental retansiyonun Se ile ilişkili bir başka nedenidir (Rutigliano ve ark., 2008). Uterusun kas tabakasının gerginliğinin azalmasından kaynaklanan doğum sorunları, doğum sonrası parapleji ve uterus mukozasının purulent enflamasyonları da düşük Se seviyelerine bağlanmaktadır. Se ve E vitamini meme bezine nötrofil göçünü kolaylaştırır ve nötrofillerin bakterisidal etkilerini artırır, böylece klinik mastitis semptomlarını kısaltır ve hafifletir (Moeini ve ark., 2009).

Evcil hayvanlarda Se eksikliği immünosupresyona yol açarak (Huo ve ark., 2020), hayvanları bakteriyel ve viral enfeksiyonlara yatkın hale getirecek ve nötrofil aktivitesini, antikor üretimini, T ve B hücrelerinin çoğalmasını ve ayrıca T lenfositleri ve doğal öldürücü hücreler (natural killer, NK) tarafından sitodestruksiyonu tehlikeye atar (Lee ve ark., 2020). Se yalnızca bağışıklık fonksiyonunu tehlikeye atmaktan ziyade viral patojeniteyi etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, konakın uygun bir antioksidan tepkisini bozan rasyon Se eksikliği, viral genomu değiştirebilir, böylece normalde iyi huylu veya hafif patojenik bir virüs, oksidatif stresle birleşerek oldukça virülen hale gelebilir (Marciel ve Hoffmann, 2019). Ayrıca Se katkısı ile beslenen kuzular parainfluenza virüsü ile enfekte edildikten kısa bir süre sonra daha güçlü bağışıklık aktivitesi göstermiştir (Reffett ve ark., 1988).

2.9. Selenyum Durumunun Değerlendirilmesi

Koyunlarda Se durumunu bilmek için miktarı veya GSH-Px aktivitesi kas, karaciğer veya böbrek dokularda veya eritrositlerde, plazma veya serumda ölçülebilir (Mass, 1983). Böbrekler en fazla Se depolayan organlardır, ardından karaciğer, testis ve akciğerler gelir (Dermauw ve ark., 2014). Kaslarda ise en yüksek miktarlarda bulunur (Meschy, 2010).

Kanda Se, α ve β -globulinlere, LDL'ye (düşük yoğunluklu lipoprotein) ve VLDL'ye (çok düşük yoğunluklu lipoprotein) ve albümine bağlanır (Schrauzer, 2000). Kandaki Se'nin yaklaşık %73'ü kanın hücresel bileşeninde bulunur (Scholz ve Hutchinson, 1979).

Periferik kandaki GSH-Px aktivitesinin yaklaşık %98'i eritrositlerle ilişkili olduğundan eritrosit GSH-Px aktivitesi ile Se durumu arasında yüksek bir korelasyon vardır (Suttle ve Jones, 2007). Olgun eritrositler işlevsel ribozama sahip olmadığından protein sentezleyemez (Kumar ve ark., 2022), bu nedenle Se muhtemelen eritrosit GSH-Px enzimine eritropoez sırasında dahil edilmektedir. Bununla birlikte eritrositlerin yarı ömrü uzun olduğundan (yetişkin sığır eritrositlerinin ömrü yaklaşık 160 gün, Kaneko, 1963) Se alımındaki herhangi bir değişiklik, eritrositlerin Se seviyesi veya GSH-Px aktivitesi tarafından hemen yansıtılmaz (Thompson ve ark., 1980). Bu nedenle eritrosit GSH-Px aktivitesi mevcut Se durumundan ziyade uzun süreli Se alımının bir göstergesidir (Dalir-Naghadeh ve ark., 2015). Bu durum, Se eksikliği olan hayvanlara Se verilmesini

takiben eritrositlerdeki Se konsantrasyonu ve GSH-Px aktivitesindeki gecikmeli artışı açıklayabilir (Thompson ve ark., 1980).

Kan serumu veya plazma Se konsantrasyonu, rasyon yoluyla alınan Se miktarını gösterir (Schrauzer ve ark., 1977; Pecoraro ve ark., 2022). Plazmada Se esas olarak albümin fraksiyonunda bulunur. Plazma Se konsantrasyonlarının ≥ 80 $\mu\text{g/L}$ olması sağlıklı bir hayvanda yeterli durum olarak kabul edilmektedir (Rafai ve ark., 1989). Plazma Se konsantrasyonu ve GSH-Px aktivitesi, rasyonla Se alımındaki değişikliklere eritrosit GSH-Px aktivitesinin aksine hızlı bir şekilde yanıt verir (Thompson ve ark., 1991). Bu nedenle bu elementin plazmadaki miktarı, mevcut durumu ve son 3 ayda eritrositlerdeki miktarını gösterir (Zachara ve ark., 2006). Koyunlarda normal kan Se seviyeleri 100-500 $\mu\text{g/L}$ 'dir (Govasmark ve ark., 2005). Serum GSH-Px aktivitesi, Se uygulamasına eritrosit GSH-Px aktivitesinden daha hızlı yanıt verdiği için serum ve karaciğer Se konsantrasyonundaki değişiklikleri daha yakından yansıtır (Thompson ve ark., 1980). Rasyondaki Se konsantrasyonundaki artış, takviyeden sonraki 2-6 gün içinde serumdaki Se konsantrasyonunda bir artışa yol açar (Longnecker ve ark., 1996; Ellis ve ark., 1997).

Sistemik enflamatuvar yanıtı olan hastalarda kan serumu veya plazma Se konsantrasyonu sonuçlarının yorumlanması zor olabilir (Duncan ve ark., 2012). Buna ek olarak, hemolize neden olan kötü kan alma tekniği veya kırmızı kan hücrelerinden plazma fraksiyonuna Se salınımına neden olan hemolitik bozukluklar plazma Se konsantrasyonunu yanlış bir şekilde artırır ve böylece sonuçların yorumlanmasını zorlaştırır. Bu nedenle GSH-Px testleri, Se eksikliğinin teşhisi için tam kan Se tahminlerine hızlı ve kolay bir alternatif sunar ve Se kontaminasyonu sorununu ortadan kaldırır. GSH-Px eritrositlerde çok stabildir ve bu nedenle rutin teşhis amaçları için uygundur (Thompson ve ark., 1980). Ayrıca, Se'nin dokulardaki oksidatif hasara karşı koruyucu etkisi GSH-Px aracılığıyla gerçekleşiyorsa, bu enzimin aktivitesini ölçmek kan veya dokulardaki Se konsantrasyonunu belirlemekten daha uygun görünmektedir (Thompson ve ark., 1980). Bununla birlikte, yukarıda ifade edildiği gibi eritrosit GSH-Px analizlerinin kullanılmasının sınırlamaları kabul edilmelidir ve eritrosit GSH-Px aktivitesi sadece uzun süreli Se alımının bir ölçüsü olarak düşünülmelidir (Thompson ve ark., 1980).

2.10. Selenyumun Kaynakları ve Biyoyararlanımı

Se, dünya kabuğunda en bol bulunan elementler arasında 67. sırada yer alır (USEPA 2014). Hayvan yemlerinin Se içeriği, yem maddesi yetiştirilen topraklardaki bu eser elementin konsantrasyonlarını ve bitkiler için Se kullanılabilirlik seviyesini yansıtır. Se'nin kullanılabilirliği, toprakta bulunan Se bileşiklerinin miktarı ve türü, bitki türleri, iklim koşulları, toprak pH'ı ve arsenik, kükürt ve kurşun gibi Se antagonistlerinin içeriği tarafından belirlenir (Zarczynska ve ark., 2013).

Topraklardaki ortalama Se konsantrasyonu, ortalama 0,4 mg/kg'dır (Martens ve Suarez, 1996). Yüksek Se içeriğine sahip topraklardaki Se miktarının 8 mg/kg kadar çıkabilmektedir (Ross, 2001). Toprakta ve daha genel olarak çevrede Se dört farklı oksidasyon durumunda bulunur: selenat (SeO_4^{2-}), selenit (SeO_3^{2-}), elemental (Se) ve selenid (Se^{2-}). İlk iki tür en bol bulunan inorganik formlardır (Martens ve Suarez, 1996). Selenat, nötr veya alkali pH'a sahip topraklarda bulunma eğilimindedir ve daha yüksek çözünürlüğü nedeniyle bitki tarafından alınmaya en hazır formdur (Johnson ve ark., 2009). Tersine, selenit, toprak yüzeylerinde adsorpsiyona yol açan daha düşük çözünürlüğü nedeniyle bitkiler tarafından daha az kullanılır (Mikkelsen ve ark., 1989). Topraktaki Se içeriği küresel olarak farklılık gösterir ve diğer ülkelerle karşılaştırıldığında, Hindistan ve Avrupa toprakları daha az Se'ye sahiptir (Rayman 2008). Ülkemizde Samsun-Terme örneklerinde toprakların ortalama Se düzeyleri (5.97 mg/kg) diğer illere göre (Sivas 2.01 mg/kg; Konya 2.29 mg/kg) daha yüksek bulunmuştur (Doğan ve ark., 2006).

Bitkilerde biyoakümülyasyon sırasında, Se'nin inorganik formları SeMet, Se-Cys ve metil selenosistin gibi amino asitlere dönüştürülür veya metillenerek dimetil selenid, dimetil diselenid, dimetil selenon, metilselenol ve dimetil selenil-sülfür oluşumuna yol açabilir (Martens ve Suarez, 1996). Tahıllar, soya ve yağlı tohumlarda Se yalnızca SeMet formunda bulunur. SeMet, bitkiler tarafından maksimum konsantrasyonda sentezlenir. Çeşitli yem maddelerinde Se konsantrasyonları, topraktaki Se içeriğine ve pH dahil birçok farklı faktöre bağlı olarak 0,01-0,3 mg/kg arasında değişmektedir (NRC, 2007). Örneğin, normal ve yüksek Se bölgelerinde yetiştirilen mısır ve pirinçteki Se konsantrasyonu 100-500 kat değişebilir. Bu nedenle Tablo 2.1'de sunulan yem maddelerindeki Se içeriğine ilişkin ortalama veriler rasyon dengeleme için uygun değildir. Bitki bazlı yem bileşenlerindeki doğal Se formunun çeşitli selenoanimo asitlerden oluştuğunu ve

SeMet'in tahıllar, yağlı tohumlar ve diğer önemli yem bileşenlerindeki ana Se formu olup (Yasin ve ark., 2015) toplam Se'nin %50'sinden fazlasını oluşturur (Surai, 2006; Vignola ve ark., 2009). Türkiye'de seçilen bazı illerden (Ankara, Kırşehir, Konya, Niğde, Samsun, Giresun, Tokat) alınan bitki örneklerinde (buğday, mısır), bitki Se seviyelerinin coğrafik alanlara bağlı olarak farklılık gösterdiği ve Türkiye'de Se fazlalığından söz edilemeyeceği buna karşılık eksikliğinden kaynaklanan sorunların olabileceği bildirilmektedir (Doğan ve ark., 2006). ABD ve Kanada'da yetiştirilen çeşitli yem maddelerindeki bulunan Se konsantrasyonları Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Bazı yem maddelerinin selenyum düzeyleri (mg/kg)

Yem maddesi	ABD	Kanada
Yonca	0,01-2,00	0,02-0,27
Arpa	0,05-0,5	0,02-0,99
Keten tohumu küspesi	0,5-1,2	0,7-1,5
Mısır	0,01-1,00	0,01-0,33
Soya fasulyesi	0,07-0,90	0,41-0,89
Soya fasulyesi küspesi	0,06-1,00	0,04-0,78
Buğday	0,1-3,0	0,02-1,5
Buğday kepeği	0,1-3,0	0,24-1,3

Kaynak: NRC (1983)

Se eksikliğinden kaynaklanan hastalıklar çoğunlukla toprakların asidik olduğu ve Se eksikliği veya selenyum sülfid gibi zayıf kullanılabilir bileşikler şeklinde aşırı Se seviyeleri ile karakterize edilen alanlarda ortaya çıkar (Zarczynska ve ark., 2013). Genellikle, ham yem maddelerindeki Se tek başına hayvanların sağlık ve gelişim ihtiyaçlarını karşılamaya yeterli değildir ve bu nedenle yemlere Se ilavesi dünya çapında yaygın bir uygulamadır (Liu ve ark., 2019; Wei ve ark., 2021). Se kaynağın biyo-etkinliği, Se'yi dokulara aktarma kapasitesiyle belirlenir. Se'nin hayvansal dokularda dağılımı ve birikimi büyük ölçüde Se kaynağının formuna bağlıdır (Surai ve ark., 2018). Se takviyeleri, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli formlarda mevcuttur:

- (1) SS veya selenat gibi inorganik mineral tuzları,
- (2) Se ile zenginleştirilmiş maya veya kimyasal sentez yoluyla üretilen SeMet ve OH-SeMet gibi organik formlar

2.10.1. İnorganik Selenyum Kaynakları

Rasyonla alınan Se'nin en yaygın formu inorganik Se tuzlarıdır (Kieliszek, 2021). Örneğin sodyum selenat (NaSeO_4) ve sodyum selenit (SS, NaSeO_3) genellikle mineral premikslerinde bulunur, enjekte edilir veya bolus şeklinde ağızdan verilir. Se'nin kimyasal formu Se'nin emilimini etkilemektedir; SS deri altına enjekte edildiğinde baryum selenata göre daha hızlı emilim göstermektedir (Arshad ve ark., 2021).

İnorganik Se kaynakları çiftlik hayvanlarının beslenmesinde uygun maliyetli bir kaynak olmasına karşın kullanımını sınırlandıran bazı dezavantajları vardır. İlk olarak, yemdeki besin maddeleri birbirleriyle etkileşime girer ve SS, indirgeyici etkiye sahip çeşitli besin maddeleri tarafından kullanılamayan forma (elemental Se) indirgenebilir (Spears, 2003; Dalgaard ve ark., 2018). Örneğin, premiks, yem veya bağırsaktaki SS ve askorbik asit arasındaki kimyasal reaksiyon, selenitin sindirim sisteminde emilemeyen elemental Se'ye indirgenmesine ve böylece biyolojik aktivitesini kaybeden askorbik asitin oksidasyonuna yol açabilir (Gosetti ve ark., 2007). İkinci olarak, SS uçucu bir forma dönüştürüldükten sonra buhar olarak kaybolabilir. Örneğin, SS'nin nispeten yüksek su aktivitesine sahip yemlerde çözündüğünde selenöz asit oluşturabilir ve buhar olarak dağılabilir (Eisenberg ve ark., 2007). Üçüncü olarak, SS'nin pro-oksidan etkileri (Brozmanová ve ark., 2010) tavuklarda bağırsak yapısına zarar verebilir. Örneğin Attia ve ark. (2010) tarafından 0,3 ppm SS ile beslenen tavuklarda duodenum kriptlerini kaplayan epitel hücrelerinde vakuolar dejenerasyon ve ileumdaki dejenere ve nekrotik bağırsak bezleri arasında aşırı mononükleer hücre infiltrasyonu saptanmıştır. Dördüncü olarak SS et, süt ve yumurtaya ve gelişmekte olan fötus ve embriyoya zayıf bir şekilde aktarılır (Surai ve ark., 2018). Son olarak inorganik Se formu yalnızca selenoenzimlerin sentezi için kullanılır ve yüksek biyoyararlanıma sahip organik kaynaklardan farklı olarak (Bodnar ve ark., 2016), spesifik olmayan vücut proteinlerine dahil edilemediğinden vücuttaki Se rezervlerinde depolanamaz ve büyük ölçüde çevreye atılır (Weiss, 2003).

Günümüzde esas olarak inorganik bileşiklerin kimyasal indirgenmesiyle üretilen Se nanopartikülleri (SeNP'ler), aşırı biyoyumumlulukları ve belirgin seçicilikleri nedeniyle bağışıklık ve antioksidan gücü teşvik etmek için umut verici bir yem katkı maddesi olarak kabul edilmiştir (Kumar ve Prasad, 2021). Bununla

birlikte, SeNP'ler gelişme aşamasındadır ve çiftlik hayvanlarının beslenmesinde yaygın kullanılan bir Se kaynağı değildir. Özellikle SeNP'lerin toksisitesi ve optimum dozajı hakkında daha fazla çalışılma yapılması gerekmektedir (Alian ve ark., 2020).

2.10.2. Organik Selenyumun Kaynakları

Organik Se'nin rumen mikroorganizmaları ile etkileşimlerin azalması nedeniyle ruminantlar için inorganik Se'ye kıyasla biyoyararlanımının daha yüksektir (Galbraith ve ark., 2016). Bir organik Se kaynağının biyoetkinliği ise hayvansal dokularda depolanabilen SeMet düzeyi ile ilişkilidir. SeMet vücutta (özellikle kaslarda) Se rezervleri oluşturan tek form olduğundan sadece SeMet veya öncüsünü sağlayan ürünler organik Se kaynağı olarak kabul edilebilir (Surai, 2006). Rasyona katılan organik Se formlarının, organik Se'nin hayvanların dokularında depolanabilmesi nedeniyle, inorganik SS'ye kıyasla bir dizi önemli avantaja sahiptir (Surai ve ark., 2018; De Marco ve ark., 2021). Organik Se kaynaklarının en yaygın, 2 ana formu mevcuttur:

- (1) Se ile zenginleştirilmiş maya (Se-maya)
- (2) Selenoamino asit analogları (OH-SeMet)

Şelatlı Se ürünleri (glisinatlar ve proteinatlar) SeMet ile ilgili değildir ve organik Se kategorisine dahil edilmezler (Surai ve ark., 2018). Se'nin periyodik element tablosundaki kimyasal konumu Se'nin gerçek bir metal olmadığını, daha çok bir metaloid olduğunu ve bu nedenle şelatlama yeteneğinin sorgulanmaktadır. Bu tür ürünlerde şelatlı Se'yi saptamaya yönelik girişimler, yalnızca inorganik Se'nin (selenit ve selenat) saptanmasıyla sonuçlanmıştır (Amoako ve ark., 2009; Kubachka ve ark., 2017). Bu ürünlerin (glisinatlar ve proteinatlar) sodyum selenit ile benzer bir etkinliğe sahiptir (Liu ve ark., 2017). Benzer şekilde Givens ve ark. (2004), süt sığırları rasyonuna eklenen şelatlı Se-amino asit kompleksinin süte Se transferinin etkinliğinin SS'ten farklı olmadığını göstermiştir. Diğer bir Se kaynağı Torula mayasına (*Cyberlindnera jadinii*) dayalı özel bir Se-mayasıdır ve esas olarak Se-homolantiyonin (SeHLan) içermektedir. Şu anda SeHLan ticari olarak mevcuttur, ancak metabolizasyonunun moleküler mekanizmaları açık değildir. Farelerde yürütülen bir çalışmada saf SeMet ve SeHLan karşılaştırıldığında, Se-HLan karaciğer Se birikiminde SeMet'ten önemli ölçüde daha az etkili olduğu görülmüştür

(Anan ve Ogra, 2013). SeHLan, kümes hayvanları/hayvanlarda SeMet'e benzer şekilde metabolize edilebilir, ancak vücutta Se rezervleri oluşturmaz (Anan ve ark., 2011). SeHLan'ın inorganik Se formlarına göre olası avantajları için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Se ile zenginleştirilmiş maya (Se-maya)

Yakın zamana kadar Se-maya piyasada bulunan tek organik Se kaynağıydı. AB'de 2006 yılından beri yemlerde kullanımına izin verilmektedir. Se-maya, doğada olanları taklit eder: bitkiler topraktan inorganik Se kullanır ve bunu amino asitlerin içine dahil eder. Se atomları belirli amino asitlerdeki bir sülfür atomunun yerini alarak seleno-amino asitler, örneğin SeMet ve SeCys oluşturur. Prensip maya için de aynıdır. Fermantasyon sırasında inorganik bir Se kaynağı eklendiğinde, maya hücreleri ((*Saccharomyces cerevisiae*) bunu organik seleno-bileşikler olarak bünyesine katar (Esmaili ve Khosravi-Darani, 2014). Diğer bir ifadeyle maya proteinindeki metioninin bir kısmı L-SeMet ile değiştirilir (Schrauzer, 2006). Ancak, metioninin SeMet ile tamamen değiştirilmesi mümkün değildir. Teorik olarak, Se-maya 6.000 ppm'e kadar Se biriktirebilir. Ancak piyasa bulunan ticari ürünlerdeki Se konsantrasyonları 1.000 - 3.000 ppm arasında değişmektedir (Schrauzer, 2006). Se-maya üretimindeki önemli bir sınırlama, SS'nin maya hücreleri için toksik olmasıdır; bu da maya büyümesinde önemli düşümlere neden olabilir (Rajashree ve Muthukumar, 2013). Sonuç olarak *Saccharomyces cerevisiae*'nin bu inorganik Se bileşikleriyle kültürlenmesi, orijinal formlarındaki SS ve selenattan önemli ölçüde daha az toksik potansiyelin yanı sıra daha fazla biyoyararlanıma sahip organik Se bileşiklerinin üretilmesini sağlar (Nakamuro ve ark., 2000). Bir fermantasyon ürünü olan Se-maya'da baskın organik formu SeMet (>%63 SeMet) ve SeCys (%2-25) iken, inorganik formu selenit veya selenattır (<%1) (2018, 2019). Ancak Se-maya'nın bileşimi maya suşu, inorganik Se kaynağı, Se konsantrasyonu, Se ekleme protokolü, baz ortam, enerji kaynakları (melas), pH, sıcaklık, çalkalama hızı, havalandırma, inokulum boyutu ve inkübasyon süresi dahil olmak üzere fermantasyon koşullarına bağlıdır (Esmaili ve Khosravi-Darani, 2014). Bu nedenle uygulamada Se-maya'daki SeMet'in konsantrasyonu oldukça değişkendir ve EFSA'nın bildirdiği %63'lük minimuma bile her zaman ulaşamaz (EFSA, 2018). Ticari ürünlerin incelemesinde Se-maya'da SeMet oranının %20–75 arasında değiştiği gösterilmiştir ve bu durumun endüstri için büyük bir endişe kaynağıdır

(Simon ve ark., 2013; Liu et al., 2017; Surai et al., 2018; EFSA, 2019). Bir çalışmada Simon ve ark. (2013), SeMet içeriği bakımından farklılık gösteren (%63 ve %56,7) iki farklı ticari Se-maya ürününü broylerlerde test etmiş ve iki çalışma grubu arasında doku Se birikiminin değiştiğini tespit etmiştir. Se-maya'nın saf Se formlarına (SeMet veya OH-SeMet gibi) kıyasla daha düşük biyoetkinliğe sahip olması SeMet düzeyinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Briens ve ark., 2014; Zhao ve ark., 2017).

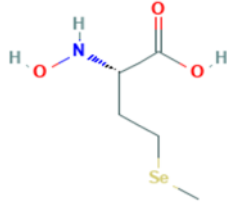
Ticari Se-maya ürünlerinde SeMet oranlarının tutarlı olmaması ve ürün etiketinde belirtilmemesi hayvancılık işletmeleri için sorun teşkil etmektedir (Surai ve ark., 2018). Resmi otoritelerin düzenlemeleri ürün etiketinde sadece toplam Se ve Se'nin inorganik oranı gösterilmesini zorunlu tutmuştur (Surai ve ark., 2018). Surai ve ark. (2018), diyetdeki Se oranlarını toplam Se yerine SeMet'e göre dengelemenin en uygun yöntem olacağını öne sürse de, yukarıda bahsedilen faktörler nedeniyle bunun mümkün olmayacağını da kabul etmektedir. İkinci olarak, Se-maya'da SeMet tayinine yönelik analitik sınırlamalar bu konuyu daha da karmaşık hale getirmektedir (Kubachka ve ark., 2017). SeMet'in bir kısmının dirençli membran hidrofobik proteinlerine bağlı olması nedeniyle Se-maya ürünlerinde SeMet'in tamamının serbest bırakılmasında zordur ve bu durum SeMet içeriğinde gözlemlenen farklılıklara daha fazla neden olur (Surai ve Fisinin, 2014).

Hidroksi-selenometiyonin (OH-SeMet)

Metiyoninin hidroksi analogu olan 2-hidroksi, 4-metiltiyobütirik asit kullanılarak geliştirilen yeni bir Se kaynağıdır (De Marco ve ark., 2021). Se-maya'da Se'nin baskın formu olan SeMet'in aksine (Korhola ve ark., 1986), OH-SeMet sentetik R,S-2-hidroksi-4-metilselenobütanoik asittir ve ikinci karbon atomunda bir amino grubu yerine bir hidroksil grubuna sahiptir. Avrupa Komisyonu, OH-SeMet'in hayvanlar için yem katkı maddesi olarak kullanımını 2013 yılında onaylamıştır (EFSA, 2013a). Avrupa Komisyonu, yem katkı maddesi olarak hayvanlar için OH-SeMet kullanım düzeyini kg tam yem (nem içeriği %12) başına maksimum 0,20 mg Se olarak onaylamıştır (EFSA, 2013a). OH-SeMet yedi adımda sentezlenir ve ürünün katı formu, %40'lık bir OH-SeMet çözeltisinin bir taşıyıcı (örn. silika) üzerine püskürtülmesi ve karıştırılmasıyla üretilir. Katkı maddesinin sıvı formu, katı OH-SeMet'in distile su içinde çözülmesiyle hazırlanır (%5'lik çözelti; EFSA, 2013a). OH-SeMet'in organik Se düzeyi toplam Se'nin >%98'dir (EFSA, 2013a). OH-SeMet,

%100 biyolojik olarak aktif olmasının yanı sıra hayvan metabolizmasına kolayca entegre olur (Ferreira ve ark., 2022).

Moleküler formülü: $C_5H_{11}NO_3Se$



IUPAC Adı: (2 S)-2-(hidroksiamino)-4-metilselanilbütanoik asit

Molekül ağırlığı: 212,12 gr/mol

OH-SeMet, SeMet'in bir öncüsüdür ve diyetle tüketildikten sonra OH-SeMet kolayca SeMet'e dönüştürülür ve kaslarda Se rezervleri oluşturmak da dahil olmak üzere saf SeMet ile aynı şekilde metabolize edilir (Burk ve Hill, 2015). OH-SeMet'in hızla SeMet'e dönüştüğü (EFSA, 2013a) ve daha yüksek Se biyoetkinliği ile bağlantılı olduğu ve bunun da hayvan dokularında önemli ölçüde daha yüksek Se rezervleri ile sonuçlandığı gösterilmiştir (De Marco ve ark., 2021). OH-SeMet ile takviye edilmiş diyetlerle beslenen piliçlerden veya gebe düvelerden alınan dokuların tür analizinin ardından, OH-SeMet'in dokularda tespit edilemediği ve dokularda ölçülen toplam Se'nin ya SeMet (Se'nin depo formu) ya da SeCys (büyük olasılıkla selenoproteinler olarak) olduğu bildirilmiştir (Briens ve ark., 2014; Juniper ve ark., 2019). Çeşitli çalışmalar, OH-SeMet'in hayvanların Se durumunu iyileştirmek ve broyler kasında (Briens ve ark., 2014; Couloigner ve ark., 2015; De Marco ve ark., 2021), yumurtada (Jlali ve ark., 2013), büyüyen domuzların kasında (Jlali ve ark., 2014) ve sütte (Dumont ve ark., 2018; Juniper ve ark., 2019; Li ve ark., 2022) Se transferini artırmak için SY'ye kıyasla avantajlı olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Grossi ve ark. (2021) sığır etinde OH-SeMet takviyesinin kasta Se'yi SY takviyesinden daha yüksek seviyelere çıkardığını göstermiştir. Kas dokularında Se biriktirme etkinliği özetle Broylerlerde OH-SeMet > Se-maya > Nano-Se $\approx$ SS şeklindedir (Zhao ve ark., 2021).

2.11. Çiftlik Hayvanlarının Beslenmesinde OH-SeMet Kullanımı

2.11.1. Süt Sığırları

Sun ve ark. (2017) tarafından yürütülen çalışmada, farklı Se kaynaklarının (SS, OH-SeMet) ve farklı dozlarda OH-SeMet (0,1, 0,3 ve 0,5 mg/kg) 'nın süt üretimi, biyokimyasal parametreler ve serum antioksidan durumunun yanı sıra süt ve plazmadaki Se konsantrasyonları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda, ne Se dozlarının ne de kaynaklarının KM tüketimi (KMT), laktasyon performansı ve süt bileşimini, süt yağı yüzdesi hariç, etkilemediği saptanmıştır. Süt yağı verimini artırmaya eğilim süt yağı yüzdesi ve süt yağı veriminin her ikisi de OH-SeMet ile takviye seviyesi arttıkça doğrusal olarak artmıştır ($P = 0.01$). Ayrıca, %4 yağa göre düzeltilmiş süt verimi (FCM) ve enerjiye göre düzeltilmiş süt verimi (ECM) üretimi, rasyondaki artan OH-SeMet miktarları ile doğrusal olarak artmıştır. Farklı Se kaynakları ile takviyenin süt ve plazmadaki Se konsantrasyonları üzerindeki etkileri 0.3 ve 0.5 mg OH-SeMet eklenen gruplarındaki süt ve plazma toplam Se konsantrasyonları diğer 3 gruptakilerden daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.01$). 0.3 mg katılan OH-SeMet grubu, aynı düzeyde katılan SS grubuna kıyasla süt ve plazmada daha yüksek toplam Se seviyeleri göstermiştir ($P < 0.01$). Ayrıca, toplam Se süt/plazma konsantrasyon oranı 0.3 mg katılan OH-SeMet grubunda 0.3 mg SS grubuna göre daha yüksek belirlenmiştir ($P < 0.01$). Buna ek olarak, OH-SeMet takviyesi seviyesi arttıkça, plazma ve sütteki toplam Se konsantrasyonları doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir. OH-SeMet ile takviye edilen ineklerin GSH-Px ve süperoksit dismutaz (SOD) aktiviteleri kontrol ve sodyum selenit-0,3 mg katılan gruplarındaki ineklerden daha yüksek ölçülmüştür ($P < 0.01$). Ayrıca, 0.3 mg OH-SeMet grubunda toplam antioksidan kapasite (T-AOC) düzeyi en yüksek ve malondialdehit (MDA) içeriği 0.3 mg OH-SeMet grubunda en düşük gözlenmiştir. Sodyum selenit-0.3 mg grubu ile karşılaştırıldığında, 0.3 mg OH-SeMet eklenen grupta daha yüksek serum GSH-Px, T-AOC, SOD aktivitesi göstermiştir ($P < 0.05$); ancak, MDA içeriği Se kaynağından etkilenmemiştir. Ayrıca, takviye seviyesinin serum GSH-Px ve SOD aktivitesi üzerinde pozitif bir etkisi gözlenirken ($P < 0.01$), OH-SeMet takviyesi seviyesi arttıkça serum MDA içeriği üzerinde negatif bir etki tespit edilmiştir ($P < 0.01$).

Oksidatif stresin iyi bilinen bir indükleyicisi olan sıcaklık stresi sırasında laktasyondaki ineklerde OH-SeMet'nin (0,3 mg/kg KM) Se biyoyararlanımı,

antioksidan kapasite ve laktasyon performansı üzerindeki etkilerini SS (0,3 mg/kg KM) ile karşılaştıran Sun ve ark. (2019), KMT'nin Se kaynağından etkilenmediğini; süt veriminin ise rasyonlarına OH-SeMet ilave edilen ineklerde, SS ilave edilenlere kıyasla daha yüksek olma eğiliminde (%9,3, $P = 0,08$) olduğunu belirlemişlerdir. OH-SeMet katkısının azalttığı süt yağı yüzdesi (%18,1) dışında ($P = 0,04$), %4 FCM, ECM, yemden yararlanma oranı (YYO), süt somatik hücre sayısı, süt bileşimi veya süt bileşen verimleri üzerinde herhangi etkisi bulunmamıştır. Serum ve sütteki Se konsantrasyonları OH-SeMet ile beslenen ineklerde SS ile beslenen kontrollere kıyasla daha yüksek (sırasıyla %25,5, $P = 0,03$ ve %71,2, $P < 0,01$) bulunmuştur.. GSH-Px aktivitesi sıcaklık stresi ilerledikçe OH-SeMet ile beslenen ineklerde değişmezken, SS ile beslenen kontrol gruplarında azalmıştır. MDA konsantrasyonu ise OH-SeMet ile beslenen ineklerde azalırken SS ile beslenen ineklerde değişmemiştir. Se kaynağının SOD aktivitesi üzerinde etkisi olmamıştır ($P = 0,11$), ancak OH-SeMet takviyesi T-AOC kapasitesini artırmış (%20,0, $P = 0,04$) ve H_2O_2 ve NO konsantrasyonlarını SS ile karşılaştırıldığında azaltmıştır (sırasıyla %18,5, $P < 0,05$ ve %22,9, $P = 0,04$).

Juniper ve ark. (2019) tarafından gebeliğin son dönemlerinde rasyonlarına OH-SeMet veya SS ilave edilen düvelerinin plazma Se profili üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve doğum sonrası dönemde yavrularının plazma Se profilini belirlemek için yürütülen çalışmada, katkıların KMT, canlı ağırlık veya vücut kondüsyon skoru (VKS) seviyeleri üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Araştırmacılar, özellikle hayvanların Se durumunun belirgin şekilde yetersiz olduğu düşünülmeyişinde, KMT ve büyüme ile ilgili olarak ek Se'ye sınırlı yanıt verdiğini veya hiç yanıt vermediğini öne sürmüşlerdir. Plazma Se takviye edilmeyen düvelerde en düşük, OH-SeMet ile takviye edilenlerde ise en yüksek bulunmuştur. Bu durum OH-SeMet düvelerinin plazmasındaki daha yüksek SeMet konsantrasyonlarına bağlanmıştır. OH-SeMet ile takviye edilen düvelerden doğan buzağılarda en yüksek plazma Se konsantrasyonu tespit edilmiştir. Kolostrum Se kontrol grubunda en düşük, OH-SeMet düvelerde ise en yüksek bulunmuştur. OH-SeMet düvelerindeki daha yüksek Se konsantrasyonu, SeCyc içeren toplam Se'nin daha büyük bir oranına bağlanmıştır. Se takviyesi yapılan düvelerde takviye süresi boyunca tam kan GSH-Px aktivitesindeki değişiklikler minimum düzeyde saptanmıştır ve bu nedenle buzağılama sırasında her iki Se takviyesi arasında GSH-Px aktivitesinde herhangi bir

fark bulunamamıştır. Bununla birlikte, kontrol grubundaki düvelerin GSH-Px aktivitesinin buzağılama zamanı civarında kayda değer ölçüde azaldığı ve Se takviyeli 2 grupta görülenden belirgin şekilde daha düşük olduğu görülmüştür ($P < 0,05$). Çalışmada, doğumdan 3 hafta önce alınan plazmada selenize AA tayini, plazma Se ve tüm kan GSH-Px aktivitesi açısından tedaviler arasında görülen farklı tepkilere bir açıklama getirmektedir. Plazmadaki SeMet konsantrasyonu SS ve kontrol grubundaki d veleri arasında benzer bulunmuştur, ancak OH-SeMet düvelerinin plazmasında daha yüksek ölçülmüştür ($P < 0,05$). Plazmadaki SeCys konsantrasyonu ise SS ve OH-SeMet d veleri arasında benzer saptanmıştır. Plazmadaki SeMet ve SeCys toplamı ile plazmadaki toplam Se arasındaki benzerlik, OH-SeMet 'in plazmada SeMet'e tam olarak dönüştüğünü gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar çalışmanın sonunda, OH-SeMet alan düvelerin Se durumunun SS'ten belirgin şekilde daha iyi olduğunu ve bu faydanın yavrularına aktarıldığını göstermesi bakımından önemli olduğunu ifade etmişlerdir

Li ve ark. (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, OH-SeMet takviyesinin süt üretimi, antioksidatif durum, bağışıklık ve süte aktarım etkinliği üzerindeki etkilerini belirlemek ve süt yemi endüstrisindeki potansiyel uygulamasını değerlendirilmiştir. Çalışmada biri katkısız kontrol ve üç farklı düzeyde (0,1, 0,3 ve 0,5 Se mg/kg KM) OH-SeMet eklenmiştir. Çalışmada, KMT muameleler arasında farklılık göstermemiştir ($P > 0,05$). Süt ($P = 0,05$), protein ($P = 0,01$) ve laktoz ($P = 0,04$) verimleri, artan Se ilavesinin ardından quadratik bir şekilde artmıştır. Hayvanların %4 FCM ($P = 0,08$) ve ECM ($P = 0,07$) değerleri, diyetle alınan OH-SeMet arttığında quadratik bir artış eğilimi göstermiştir. Ayrıca, yemden yararlanma oranı de artan OH-SeMet ilavesi ile quadratik bir artış göstermiştir ($P = 0,05$). Bununla birlikte, süt bileşimi (yağ, protein ve laktoz) OH-SeMet ilavesinden etkilenmemiştir ($P > 0,05$). Araştırmacılar OH-SeMet takviyesinin süt ineklerinin biyo-sıvılarındaki Se dağılımı üzerindeki etkilerine ilişkin olarak süt ($P < 0,01$), plazma ($P < 0,01$) ve sütün seruma oranındaki ($P < 0,01$) Se konsantrasyonları, OH-SeMet takviyesi arttı  a doğrusal olarak arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmada, plazma değişkenlerinden SOD aktivitesi artan OH-SeMet ilavesi ile quadratik arttığı bulunmuştur ($P = 0,04$). Buna ek olarak, plazmadaki T-AOC, inekler daha fazla OH-SeMet ile beslendiğinde quadratik iyileşme eğilimi göstermiştir ($P = 0,07$). Ayrıca,

süt ineklerinin plazma MDA konsantrasyonları, rasyonla alınan OH-SeMet arttığında quadratik bir azalma eğilimi göstermiştir ($P = 0.08$).

Li ve ark. (2022), OH-SeMet'in erken laktasyon dönemindeki süt ineklerinde laktasyon performansı, anti-oksidatif durum ve bağışıklıklar ile Se transferi üzerine etkilerini, SS ile karşılaştırmak amacıyla yürüttükleri bir çalışmada, OH-SeMet'in laktasyon performansları, anti-oksidatif durum ve bağışıklıklar ile Se transfer verimlilikleri üzerinde kontrol ve SS'ye kıyasla daha etkili olduğu ve Se ile zenginleştirilmiş süt üretiminin sağlandığını belirtmişlerdir.

Hachemi ve ark. (2023), orta laktasyondaki süt ineklerinde OH-SeMet ve Se-maya'nın süt üretimi, kan ve sütteki Se konsantrasyonu ve standart kan parametreleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada hayvanlar Se katkısız rasyon, Se-maya'dan 0.3 mg Se/kg KM ve OH-SeMet'ten 0,1 veya 0,3 mg Se/kg KM ilave edilmiş toplam karma rasyon (TMR) ile beslenmiştir. Çalışmada, genel KMT farklı Se kaynağı ve düzeylerinden etkilenmemiştir. Ancak OH-SeMet-0.3 mg grubunun KMT değeri 4. haftada Se-maya-0.3 mg ve OH-SeMet-0.1 mg gruplarınınkinden önemli ölçüde yüksek ($P < 0.05$) ve 10. haftada diğer uygulamalarınınkinden önemli ölçüde düşük saptanmıştır. Süt verimi, %4 FCM ve ECM, Se uygulamaları için kontrole kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur ($P < 0.05$). Sadece OH-SeMet-0.3 mg süt protein yüzdesinde artışa neden olmuştur. Süt somatik hücre sayısı OH-SeMet-0.3 grubunda kontrol, OH-SeMet-0.1 ve SY-0.3 gruplarına kıyasla önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur ($P < 0.01$). Bu çalışmada, test edilen farklı Se formları ve dozları, kontrol grubuna kıyasla ortalama plazma ve süt Se konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırmıştır ($P < 0.05$). Sütteki Se seviyesi kontrol grubuna kıyasla Se-maya-0.3 mg, OH-SeMet-0.1 mg ve OH-SeMet-0.3 mg için sırasıyla 35, 17 ve 54 $\mu\text{g/kg}$ artmıştır. Böylece, 0,3 mg Se/kg TMR'ye eşdeğer takviye dozunda, OH-SeMet'in sütte neden olduğu Se artışı Se-maya'nın neden olduğu artıştan %54 daha fazla olmuştur.

2.11.2. Besi Sığırları

SS, Se-maya ve OH-SeMet uygulamalarının besi sığırlarının et kalitesi ve Se birikimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla Grossi ve ark. (2021) tarafından yürütülen bir çalışmada, 63 bes sığırı 3 gruba ayrılmış ve 60 gün boyunca 0,2 mg/kg KM SS, Se-maya veya OH-SeMet ile beslenmiştir. Deneme sırasında kaydedilen büyüme performansı parametreleri ve karkas özellikleri, kullanılan Se

kaynağından bağımsız olarak uygulamalardan etkilenmemiştir ($p > 0.05$). Se analizi sonuçları, organik Se kaynakları ile takviyenin *Longissimus thoracis* kasının Se içeriğini SS ile beslenen gruba kıyasla önemli ölçüde artırdığını göstermektedir ($p < 0.01$). Ayrıca, çalışmada test edilen iki organik Se kaynağı karşılaştırıldığında, OH-SeMet ile beslenen grup, Se-maya ile beslenen gruba göre önemli ölçüde daha yüksek Se kas birikimi gösterdiği ($p < 0.01$) görülmüştür. Araştırmacılar, OH-SeMet depolamadan 8 gün sonra etin kesme kuvveti ve damlama kaybını düşürdüğünü ($p < 0.0001$), pişirme kaybının gruplar arasında benzer bulunduğunu belirtmişlerdir. pH değeri, hem Se-maya ve hem de OH-SeMet'te SS'ye kıyasla başlangıçtan depolamanın 4. gününe kadar arttığı, 4 günden 8. güne kadar azalmıştır. Et rengi bakımından L değeri depolamanın 8.gününe kadar yalnızca OH-SeMet'te SS'ye kıyasla önemli derecede yüksek bulunmuştur. b değeri depolamanın 4, 7, ve 8. günlerinde OH-SeMet'te hem SS ve hem de Se-maya'ya göre daha yüksek ölçülmüştür.

2.11.3. Etlik Piliç

Briens ve ark. (2013) tarafından etlik piliçlerde SeMet'in öncüsü olan OH-SeMet'in (0,1, 0,2 ve 0,3 mg/kg KM) kas transfer etkinliği ve görünür sindirilebilirlik yoluyla biyoyararlanımının yanı sıra seleno-amino asit türleşme analizleri yoluyla metabolik dönüşümünü mineral (SS-0,1 ve 0,3 mg/kg KM) ve organik kaynaklarla (Se-maya-0,1 ve 0,3 mg/kg KM) iki deneme yürütülmüştür. İlk denemde, performans parametreleri uygulamalardan etkilenmemiştir. Ancak, farklı Se kaynakları ve seviyeleri farklı kas Se konsantrasyonlarına neden olmuştur. Katkısız kontrol grubunda en düşük Se konsantrasyonu saptanmış ve tüm 0,3 mg Se/kg uygulamaları 0,1 mg Se/kg uygulamalarından daha yüksek kas Se konsantrasyonları ile sonuçlanmıştır. Dikkate alınan dozlar ne olursa olsun, organik Se kaynakları (Se-maya ve OH-SeMet) ile beslenen kanatlılar, mineral Se kaynağı ile beslenen kanatlılara göre anlamlı derecede kasta Se düzeyinde daha fazla artış sağlamıştır. Ayrıca, kas Se konsantrasyonunda organik kaynaklar arasında anlamlı bir fark gözlenmiştir. OH-SeMet hem 0,1 hem de 0,3 mg Se/kg ile desteklendiğinde Se-maya'dan daha yüksek kas Se konsantrasyonuna neden olmuştur. OH-SeMet 0,2 mg Se/kg ara dozu, 0,3 mg Se/kg yem ile takviye edilen Se-maya'ya eşdeğer kas Se konsantrasyonu ile sonuçlanmıştır. Araştırmacılar, Se kas konsantrasyonlarının OH-SeMet ile önemli ölçüde iyileşmesi ve toplam Se için nispi biyoyararlanımı Se-

maya'ya kıyasla %39 oranında artırmış olmasını, OH-SeMet'in Se-maya'ya kıyasla daha iyi biyoyararlanımı farklı ürün formlarıyla açıklamışlardır. Araştırmacılar, Se-maya'da toplam Se'nin sadece % 60'ı SeMet olarak bulunurken, OH-SeMet'te neredeyse saf bir SeMet hidroksianalog ürünü (saflık %99 OH-SeMet) olduğunu bildirmişlerdir. Ürünler arasındaki bu fark, bu iki organik Se kaynağı arasında gözlemlenen biyoyararlanım farklılıklarını kısmen açıklayabileceği ifade edilmiştir. Seleno-amino asit türlendirme sonuçları, toplam Se konsantrasyonları SeMet+SeCys toplam konsantrasyonlarından farklı olmadığından, kas Se'nin esas olarak SeMet ve SeCys olarak mevcut olduğunu göstermiştir. Her Se kaynağı içinde, SeMet ve SeCys miktarları önemli ölçüde farklı bulunmamıştır; ancak, 0,3 mg Se/kg OH-SeMet, SeCys'i Se-maya'dan %54 daha fazla artırmıştır. Araştırmacılar tarafından OH-SeMet'in SeCys'i iyileştirmedeki daha iyi etkinliği, OH-SeMet'in kas Se içeriğini iyileştirmede daha yüksek etkinliğiyle veya Se-maya'lardan elde edilen SeMet'e kıyasla OH-SeMet'ten kaynaklandığında daha yüksek oranlarda SeCys'i destekleyebilecek özel bir yolla ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar SeCys durumu, aktif seleno-proteinlerin oranını temsil ettiğinden, anlık antioksidan durumun genel bir göstergesi olarak kabul edilebileceğini ifade etmişlerdir. Öte yandan OH-SeMet ile beslenen hayvanların kaslarındaki kalıntı OH-SeMet tespit edilmemiş ve test edilen altı numune için 0,01 mg/kg KM (Se eşdeğeri) miktar tayin sınırının altında bir konsantrasyon ortaya çıkmıştır.

Aynı araştırmacılar tarafından yürütülen ikinci denemede, organik ve inorganik katkılar diyetle 0,3 mg/kg düzeyinde eklenmiştir. Final CA, KMT ve YYO parametreleri 13 ve 23 günleri arasında farklı Se kaynaklarından etkilenmemiştir. Kas Se konsantrasyonları, SS ile karşılaştırıldığında organik Se kaynakları (Se-maya ve OH-SeMet) ile anlamlı bir iyileşme göstermiş, OH-SeMet ile ilave bir artış olmuştur. Buna paralel olarak, dışkı ile Se atılımı Se-maya ve OH-SeMet için SS kaynağına kıyasla önemli derecede daha düşük bulunmuştur. Özellikle, en yüksek Se'nin görünür sindirilebilirliği, OH-SeMet katkısından elde edilmiştir. Kas Se konsantrasyonu üzerinden yapılan ölçümler, 0,3 mg Se/kg organik Se kaynaklarına kıyasla SS için anlamlı derecede daha düşük bir Se'nin görünür sindirilebilirliğine yol açmıştır. Araştırmacılar bu sindirilebilirlik farkını, mineral ve organik Se kaynaklarının farklı emilim yollarına bağlamışlardır. İkinci denemede özetle, mineral

kaynaklara kıyasla organik Se kaynağından daha yüksek kas Se konsantrasyonu ve daha düşük dışkı Se konsantrasyonu ile sonuçlanmıştır.

Briens ve ark. (2014) tarafından farklı Se kaynaklarının (SS, Se-maya ve OH-SeMet) etkisini karşılaştırmak için etlik piliçlerde iki denem yürütülmüştür. Her deneme için muameleler yalnızca Se katkı maddesinin kaynağı veya dozu açısından farklılık göstermiştir. Nispi verimlilik, plazma ve doku [kas (pektoralis major) ve karaciğer] toplam Se konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır. İlk çalışmada 0-42 günlük yaş arasındaki piliçlerde farklı konsantrasyonlarda (mg Se/kg yem; SS-0,3; SY-0,1 ve -0,3; SO-0,1 ve -0,3; SO-0,1 ve -0,3 ve negatif kontrol, 0) Se kaynakları (SS, SY ve SO) karşılaştırılmıştır. Plazma, karaciğer ve kas Se konsantrasyonları, negatif kontrol grubuyla karşılaştırıldığında hem 21. hem de 42. günde tüm Se kaynaklarıyla artış göstermiştir. Se kaynakları arasında, plazma ve karaciğer sonuçlarında küçük farklılıklar gözlenirken, her kaynak için 0,1 - 0,3 mg Se/kg yem ($P < 0,05$) arasında önemli bir doz etkisi gözlemlenmiştir. Kas Se konsantrasyonları OH-SeMet $>$ SY $>$ SS ($P < 0,05$) olarak sıralanmıştır. İkinci çalışmada, SS ve OH-SeMet'in 5 mg Se/kg diyet dozları, standart Se dozlarıyla karşılaştırıldığında OH-SeMet'in CA ve KMT üzerinde daha düşük zararlı etkisi görülmüştür ($P < 0,05$). OH-SeMet katılan (0,5 mg/kg KM) rasyonla beslenen hayvanların farklı dokularında yapılan seleno amino asit ölçümleri, OH-SeMet'in tamamen SeMet ve SeCys'ye dönüştüğünü göstermiştir. Her iki deneyin bu sonuçları, doku Se zenginleştirme yoluyla belirlendiği üzere, SS ve SY ile karşılaştırıldığında OH-SeMet'in daha yüksek bağıl biyoyararlanımını göstermektedir.

Couloinger ve ark. (2015) tarafından, Se kaynaklarının biyoyararlılığını karşılaştırmak için hızlı bir yöntem geliştirmek amacıyla etlik piliçlerin kaslarında ve tüylerinde Se depolanma kinetiğini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada, OH-SeMet, SS ve Se-maya gibi farklı Se kaynakları 0'dan 21 günlük yaşa kadar etçi civcivlerin kaslarında ve tüylerinde Se birikimini karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan rasyonlar, Se takviyesi yapılmayan bir negatif kontrol ve SS, SY veya OH-SeMet olarak 0.2 mg Se/kg takviyesi yapılan 3 rasyondan oluşmuştur. Göğüs kası ve tüylerindeki toplam Se içeriği 0, 7, 14 ve 21. günlerde değerlendirilmiştir. 7. günde OH-SeMet, deneme başına kıyasla kas Se içeriğini artırırken ($P < 0,05$), diğer kaynaklar kas Se konsantrasyonu azaltmıştır ($P < 0,05$). 21 gün sonra, organik Se kaynakları (SY ve OH-SeMet) göğüs kası Se konsantrasyonunu artırırken ($P < 0,05$),

SS veya negatif kontrolde, doku Se'sinde önemli bir azalma görülmüştür. Çalışmanın 21. gününde kas ve tüylerin Se içerikleri arasında yüksek oranda ilişki saptanmıştır ($R(2) = 0,927$; $P < 0,0001$). Sonuç olarak, etlik piliçlerde farklı Se kaynaklarının kas Se içeriği üzerindeki etkisinin 7. günde görülebileceğini ortaya koymuştur. Kas ve tüylerin Se içerikleri 21 gün sonra yüksek oranda korelasyon göstermiştir. Ayrıca 21 günlük yaşta tüy numunesi alınması Se biyoetkinliğinin karşılaştırılması için güvenilir ve invazif olmayan bir prosedürü temsil etmektedir.

Tang ve ark. (2021) tarafından farklı seviyelerde OH-SeMet formunda Se (0.0, 0.2, 0.4, 0.6 ve 0.8 mg/kg KM) takviyesinin etlik piliçlerin büyüme performansı, doku Se konsantrasyonu, antioksidan kapasite ve et kalitesi üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve göğüs kasındaki selenogenom ile diyet Se manipülasyonu arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yürütülen bir çalışmada, büyüme performansı verileri uygulamalar arasında önemli ölçüde farklılık göstermemiştir. Buna göre, rasyondak Se içeriğinin (0,09-0,15 mg/kg) kanatlıların normal büyümesini sürdürmek için yeterli olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, göğüs kası oranının diyet Se uygulamasına verdiği yanıtta herhangi bir farklılık görülmemiştir. Se içeriği sonuçları, rasyona Se takviyesinin serumdaki Se içeriğini doğrusal ve quadratik olarak artırdığını (her ikisi de $P < 0,001$) ve ayrıca doğrusal ve quadratik olarak göğüs kasında Se birikimini artırdığını (her ikisi de $P < 0,001$) göstermiştir. Rasyona Se takviyesi, göğüs kasındaki GSH-Px aktivitesini ve T-AOC'yi doğrusal ve quadratik olarak artırmış, daha yüksek ve daha düşük tiyorbütirik asit (TBARS) konsantrasyonu sağlamıştır. OH-SeMet formunda Se 0.6 ve 0.8 mg/kg Se tüketenlerde, 0.0, 0.2 ve 0.4 mg/kg alanlara kıyasla GSH-Px aktivitesi artmıştır. 0.8 mg/kg Se tüketen grupta daha yüksek T-AOC aktivitesi saptanmıştır. Göğüs kasının et kalitesiyle ilgili olarak, muameleye bağlı olarak et rengi, pişirme kaybı ve pH45dk'da herhangi bir farklılık görülmemiştir. Bununla birlikte 0,4, 0,6 ve 0,8 mg/kg Se alan kanatlılar, 0,0 ve 0,2 mg/kg Se alan kanatlılara kıyasla kesimden sonra göğüs kasında daha düşük damlama kaybı saptanmıştır ($P < 0,05$). Buna ek olarak, farklı seviyelerde Se ilavesinin kasta pH_{24h} değeri üzerinde doğrusal ve quadratik bir etkisi olmuştur ($P < 0,001$). Se 0.6 ve 0.8 mg/kg alan kanatlılar, Se 0.0, 0.2 ve 0.4 mg/kg alanlara kıyasla göğüs kasının pH_{24h} değerinde artış sergilemiştir. Göğüs kasının hassasiyeti ile ilgili olarak, kesme kuvvetinde doğrusal bir yanıt gözlenmiştir. Se 0,8 mg/kg alan kanatlılar kontrole kıyasla belirgin şekilde daha düşük kesme

kuvveti göstermiştir, ancak Se 0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 mg/kg ile beslenenler arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. OH-SeMet etlik piliçlerde selenogenom düzenlemesinin arttığı ifade edilmiştir.

Sun ve ark. (2021), OH-SeMet'in etlik piliçlerde çevresel strese karşı SS veya Se-maya'dan daha iyi bir koruyucu etki gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, günlük erkek Cobb 500 piliçleri (12 kafes/diyet, 9 piliç/kafes) altı hafta boyunca yüksek stok yoğunluğu ve ısı stresi koşullarında 0,3 mg Se/kg SS, Se-maya veya OH-SeMet ile desteklenmiş (Seeksikli bir diyetle (0,047 mg/kg) beslemişlerdir. Çalışma sonunda, yüksek stok yoğunluğu ve yüksek ısı stresi altında yetiştirilen etlik piliçlerde OH-SeMet'in hem SS hem de SY'den daha iyi performans ve YYO gösterdiği gözlenmiştir.

Juniper ve ark. (2022) tarafından Se takviyesinin, stoklama oranının ve doku yağ asidi profilinin ticari piliçlerin göğüs ve uyluk dokusundaki GSH-Px aktivitesi üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlayan yürütülen çalışmada, iki düzeyde OH-SeMet formunda Se (yüksek Se- 0,5 mg/kg düşük Se- sadece yemden gelen Se) ve iki stoklama oranından oluşan 2×2 faktöriyel bir deneme deseni oluşturulmuştur. Çalışmada, Se'nin piliçlerin fiziksel performansı üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Ayrıca, Se ve stoklama oranı arasında hayvan performansının herhangi bir yönü üzerinde bir interaksiyon saptanmamıştır. Araştırmacılar, büyüme performansının düşmesinin, Se eksikliğinin bilinen bir belirtisi olduğunu, ancak çalışmada kullanılan en düşük diyet Se konsantrasyonu, Se eksikliğiyle ilişkili semptomların ortaya çıkmasına neden olacak kadar düşük olmadığını ifade etmişlerdir. Bundan dolayı diyet Se konsantrasyonunu artırmanın büyüme performansında herhangi bir iyileşmeye yol açmadığını bildirmişlerdir. Çalışmada, daha yüksek Se konsantrasyonlarıyla beslenen piliçlerde daha yüksek GSH-Px aktivitesi gözlenmiştir.

Vieira ve ark. (2022) tarafından OH-SeMet'in artan düzeylerinin (0.0, 0.15, 0.30, 0.45 and 0.60 mg/kg) broylerlerin büyüme performansı, et verimi, ve dokulardaki GSH-Px tepkileri üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmada Se ilavesinin 1 ila 42. gün arasında canlı ağırlık ve yemden yararlanma oranında iyileşmelere yol açtığı gösterilmiştir. Pişirme kaybı ve su tutma kapasitesi Se seviyeleri arasında hiçbir fark gözlemlenmemiştir. Çalışmada, eritrositlerde GSH-Px konsantrasyonunda 0,27 mg/kg Se'de maksimum aktivite ile ikinci dereceden bir

artış gözlemlendi. Bununla birlikte, kas, karaciğer ve bağırsak örneklerinde GSH-Px konsantrasyonunda hiçbir fark gözlenmemiştir.

2.11.4. Yumurta Tavuğu

Tufarelli ve ark. (2016), OH-SeMet formunda Se takviyesinin yumurta tavuklarında üretim performansı ve yumurta kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri bir çalışmada, 0,2 mg/kg düzeyinde OH-SeMet içeren diyet, yem tüketimini önemli ölçüde etkilememiştir ($P = 0,157$); dahası, YYO katkısız rasyon grubu ile benzer bulunmuştur ($P = 0,398$). Yumurta üretim oranı, yumurta ağırlığı ve kütlesi gibi diğer yumurtacı tavukların performans parametreleri, rasyondaki yeni organik Se takviyesi formundan önemli ölçüde etkilenmemiştir. Rasyona Se takviyesi, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında OH-SeMet ile beslenen tedavi grubunda yumurta sarısındaki Se konsantrasyonlarında önemli bir artışa yol açmıştır.

Zorzetto ve ark. (2021) tarafından broiler damızlık ve civciv yemlerinde 0,2 mg Se/kg düzeyinde ilave edilen OH-SeMet'in etkinliğini, ticari düzeyde 0,3 mg Se/kg düzeyinde ilave edilen geleneksel SS yemiyle karşılaştırılan çalışmada, OH-SeMet yumurta üretimini, 0,3 mg Se/kg dozda SS'ye kıyasla %10 oranında artırmıştır. Ayrıca damızlık yemine 0,2 mg Se/kg OH-SeMet takviyesi, 0,3 mg Se/kg'luk SS'ye kıyasla yumurta kabuğu kırılma dayanıklılığını iyileştirmiştir. Civciv denemesinin büyüme performansları (1–41 gün) bakımından damızlık rasyonundaki Se kaynakları civcivlerin YYO'nda önemli bir etki göstermiştir; 0,2 mg Se/kg OH-SeMet alan damızlıkların civcivleri, hem 1-21 günlük hem de 1-41 günlük dönemler dikkate alındığında 0,3 mg Se/kg SS alan damızlıkların civcivlerinden önemli ölçüde daha iyi bir YYO göstermiştir. Civciv diyetinin etkisi dikkate alındığında Se kaynaklarının hiçbirisi piliç büyüme performansını etkilememiştir.

Yemlere inorganik veya OH-SeMet kaynağının ısı stresi altındaki 50-70 haftalık Dekalb Brown yumurtacılarının performansı ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yürütülen bir çalışmada (de Brito ve ark., 2023), rasyonlara SS (%45-0.7 g/ton) veya OH-SeMet (%2-15 g/ton) olarak 0.3 ppm Se'nin eklenmiştir. OH-SeMet takviyesi, yumurta tavuklarında SS'ye göre daha iyi bir performansla sonuçlanmıştır (-%5 YYO ve +%3,6 yumurta kütlesi). Çalışma sonunda, OH-SeMet kullanımı tavukların antioksidan kapasitesini artırmıştır; bu da kanda, böbreklerde, karaciğerde ve bağırsak mukozasında daha yüksek GSH-Px seviyelerinin yanı sıra yumurtalarda daha yüksek Se içeriği ve daha büyük bir kemik

direnci göstermiştir. Bu nedenle, yemlerin 50-70 haftalık yarı ağır yumurtacı tavuklara 0,3 ppm OH-SeMet eklenmesi antioksidan kapasitelerini artırır ve SS takviyesine göre daha yüksek yumurta kalitesi ve üretkenliğine yol açar.



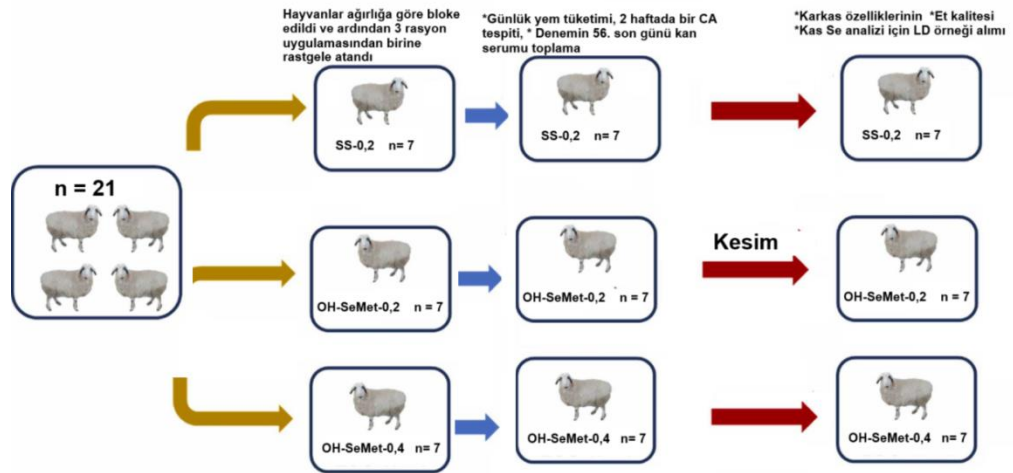
3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Tokat ilinin Almus ilçesi Çevreli kasabasındaki özel bir çiftlikte (Koordinat: 40°17'56.66''K, 36°51'03.84''D) gerçekleştirildi. Çalışma protokolü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu tarafından 23 Haziran 2022'de onaylandı (Etik kod: 2022/31, Ek-1).

3.1. Hayvanlar, Rasyonlar ve Deneysel Tasarım

Çalışmada, toplam 21 adet erkek Kıvırcık ırkı kuzu ($26,96 \pm 4,83$ kg canlı ağırlık, CA; 3-4 aylık yaş) kullanıldı. Denemeye başlamadan önce tüm hayvanlar tartıldı ve canlı ağırlıkları kaydedildi. kaydedilmiş ve tartıldı. Çalışma öncesi kuzular karma bir aşı kullanılarak klostridyal enfeksiyonlara karşı aşılandı ve dış ve iç parazitlere karşı ivermektin ($2 \mu\text{g/kg}$ CA) uygulandı. Hayvanlar başlangıç canlı ağırlıklarına göre dengelendi ve ardından 3 rasyon uygulamasından birine rastgele atandı (Şekil 3.1). Her grup 7 kuzudan oluşmuştur ve her kuzu beslenme ve ayrı yemleme ve su olanaklarına sahip iyi havalandırılan bir ahırda, bireysel padoklarda ($2 \times 1,25$ m) barındırıldı. Altlık materyali olarak saman kullanıldı. Çalışma, 10 günlük bir adaptasyon dönemini ve ardından 56 günlük bir deneme dönemini içerdi. Bazal rasyon, Se kaynakları ve/veya dozu bakımından farklılık gösteren toz formunda konsantre yem karması (NRC, 2007) (Tablo 3.1) ile kuru çayır otundan oluşturuldu. Konsantre yem ve kaba yem ayrı yemliklerde sunuldu. Tüm kuzular konsantre yem karması ile günde iki kez (09:00 ve 17:00) servis edildi. Kaba yem kaynağı olarak kuru çayır otu (4 cm uzunluğunda kesildi) 100g/baş/gün sunuldu. Deneme boyunca hayvanlara ad libitum taze içme suyu sağlandı. Selenyum kaynakları, konsantre yem karması hazırlama işlemi sırasında SS'ten (%45 Se, O Kimya, İstanbul, Türkiye) 0,2 mg Se/kg konsantre KM (0,44 g/ton) ve OH-SeMet'ten (Selisseo® %2 Se, Adisseo, Fransa S.A.S) sırası ile 0,2 ve 0,4 mg Se/kg konsantre KM (10 veya 20 g/ton) ilave edildi.

Konsantre yem karmalarının Se içerikleri SS, 0,2 ve 0,4 mg Se/kg OH-SeMet gruplarında sırasıyla 0,31, 0,34 ve 0,51 mg/kg olarak belirlendi. NRC (2007) tarafından küçük ruminantlarda önerilen Se'nin minimum ve maksimum takviye dozları sırasıyla 0,1 - 5 mg/kg KM'dir. Mevcut çalışmada kullanılan dozların hepsi NRC (2007)'nin önerdiği normal sınırlar içerisinde.



Şekil 3.1. Deneysel tasarım akış diyagramı

Tablo 3.1. Konsantre yemin bileşimi ve konsantre-çayır kuru otunun besin madde kompozisyonu

Yem maddeleri, g/kg KM'de	Çayır kuru otu	
Arpa	500	
Mısır	173	
Soya fasülyesi küspesi	150	
Ayçiçeği küspesi	23	
Buğday kepeği	70	
Melas	42	
Sodyum bikarbonat	10	
Mermer tozu	13	
Tuz	10	
Vitamin (Premix) *	9	
Analiz edilen kimyasal bileşim (g/kg KM)		
Kuru madde	876	894
Ham protein	161	89
Ham yağ	23	24
Ham kül	60	78
ADF	54	394
NDF	164	571
Metabolize olabilir enerji ^{†,‡} MJ/kg	11,38	8,79

*Sağlanan mineral-vitamin karışımı (kg premiks başına): Ca 130 g, P 65 g, Fe 1300 mg, Cu 200 mg, Zn 1 200 mg, Mn 1 000 mg, I 9 mg, Co 12 mg, A vitamini 140 000 IU, D vitamini 37 500 IU, E vitamini 375 mg, K vitamini 25 mg, B1 vitamini 25 mg, B6 vitamini 25 mg, riboflavin 75 mg, B12 vitamini 0,28 mg, nikotinik asit 300 mg, pantotenik asit 200 mg, folik asit 15 mg, biotin 1,5 mg.

[†]Konsantre yemin metabolize edilebilir enerjisi, her bir yem maddesi için tablo değerleri temel alınarak hesaplanmıştır.

[‡]Çayır kuru otunun metabolize edilebilir enerji içeriği ME_{ADF} , MJ/kg KM = $14,70 - 0,15 \times ADF$ (Kirchgeßner ve Kellner, 1981) regresyon denklemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

3.2. Büyüme Performans

Yemlikler her sabah 07:30 - 07:45 saatleri arasında görsel olarak değerlendirildi ve kalan kaba ve konsantre yemler toplanarak hayvanların günlük kuru madde tüketiminin (KMT) belirlenmesi için tartıldı. Canlı ağırlık artışını (CAA) belirlemek için hayvanlar, denemenin başında ve denemenin 14., 28., 42. ve 56. günlerinde sabah yemlemesinden önce tartılarak kayıt altına alındı. KMT, canlı ağırlıktaki artışı (CAA), günlük canlı ağırlık artışı (GCAA) ve YYO aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplandı:

Ortalama KMT = (sunulan yem - reddedilen yem), günlük olarak tartılmış ve kaydedilmiştir

$$CAA (g) = \text{Son vücut ağırlığı (g)} - \text{Başlangıç vücut ağırlığı (g)} .$$

$$GCAA (\%) = [(\text{Son ağırlık} - \text{başlangıç ağırlığı}) / \text{Başlangıç ağırlığı (g)}] \times \text{deneme günleri} .$$

$$YYO = \text{Yem tüketimi (g)} / \text{Canlı ağırlık artışı (g)}$$

3.3. Yem ve Kan Örneği Toplama

Çalışma boyunca bir kez formüle edilen ve hazırlanan konsantre yem örneklerinden, deneme başında 200g'lık örnekleme yapıldı ve örnekler laboratuvar analizi için -20 °C'de saklandı. Çalışmanın sonunda (56. gün) sabah beslemesinden önce kan örnekleri vema jugularis'ten pıhtı aktivatörlü steril vakumlu tüplere (BD Vacutainer®, Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ) toplandı. Kan örnekleri pıhtılaşmaları için 4°C'de 30 dakika bekletildi ve ardından tüpler 10 dakika boyunca 1.300 × g'de santrifüj edildi. Tüplerdeki süpernatant, 2 adet 1,5 ml'lik eppendorf tüpe bölündü. Bir tüp Se tayini için -20°C'de (Subramanian, 1995), diğeri ise GPx aktivitesini belirlenmesi için -80°C'de saklandı (Abiaka ve ark., 2000).

3.4. Karkas Analizi ve *Longissimus dorsi* Numunesi Toplama

56 günlük yemleme periyodunun sonunda, her rasyon grubundaki tüm hayvanlar 12 saatlik açlık periyodunun ardından Almus Belediyesi mezbahasında kesildi. Kesim işlemleri Tarım ve Orman Bakanlığı Hayvansal Gıdaların Resmi Kontrolüne İlişkin Özel Kurallar Yönetmeliği ve standart mezbaha prosedürlerine göre gerçekleştirildi. Kesilen hayvanların sıcak karkas ağırlığı iç organları çıkarıldıktan hemen sonra ölçüldü. Sıcak karkas randımanı, sıcak karkas ağırlığının

kesimdeki vücut ağırlığına oranı olarak hesaplandı. Karkaslar daha sonra 24 saat boyunca +4 °C'de soğutulmuş ve ardından soğuk karkas ağırlığını belirlemek için yeniden tartıldı. Soğuk karkas randımanı, soğuk karkas ağırlığının kesim canlı ağırlığına oranı olarak hesaplandı. Karkasın sol yarısındaki longissimus dorsi (LD) kasının alanını belirlemek için, kası ortaya çıkarmak üzere 12. ve 13. kaburgalar arasında bir kesik yapıldı. Alan daha sonra aydınlatıcı kağıdına çizilmiş ve dijital planimetre kullanılarak ölçüldü. LD üzerindeki yağ kalınlığı dijital bir kumpas ile ölçülerek belirlendi. Et kalitesi ve Se analizi için her bir karkastan sol LD çıkarılmış ve analiz edilene kadar -20°C'de saklandı.

3.5. Et Kalitesinin Belirlenmesi

3.5.1. pH ve Renk Ölçümü

pH ve renk ölçümleri LD kasında postmortem 24. saatte yapılmıştır. pH ölçümü dijital bir pH metre (Testo 205, Testo AG, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak LD kası üzerinde üç tekrar halinde ölçüldü. pH probu önceden pH 4.0 ve 7.0 standart tamponları ile kalibre edildi. Et rengi, CR-400 kromametre (Konica Minolta Inc., Tokyo, Japonya) kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar açıklık (L*), kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) olarak tanımlandı (Hunt ve ark., 2012). Parlaklık (L*) için ölçüm aralığı 0 ile 100 arasında değişmekte olup 0 değeri siyahı, 100 değeri ise beyazı karşılamaktadır. Kırmızı renk indeksi (a*) ve sarı renk indeksi (b*) için ise ölçüm aralığı -60 ile +60 arasında değişmektedir. Kırmızı renk indeksinde düşük değerler daha yeşili, yüksek değerler daha kırmızıyı ifade ederken sarı renk indeksinde düşük değerler daha maviyi, yüksek değerler ise daha sarıyı karşılamaktadır. Bu bağlamda parlaklığı ifade eden L* değeri ve kırmızılığı ifade eden a* değerlerinin düşük olmaması; sarı renk indeksini tanımlayan b* değerinin ise yüksek olmaması istenmektedir (Ardicli, 2018).

3.5.2. Damlama Kaybı

30 g ağırlığında taze LD örneği toplandı ve tek tek tartıldı (W1 olarak). Daha sonra numuneler sızdırmaz polietilen plastik torbalara vakumla paketlenildi ve 24 saat boyunca +4 °C'de bir soğutucuda bekletildi, ardından numuneler torbalardan çıkartıldı ve hafifçe kurutulduktan sonra tartıldı (W2). Numune ağırlığı farkı hesaplandı ve (W1)'in yüzdesi olarak sunuldu (Rasmussen ve Andersson, 1996).

$$\text{Damlama kaybı (\%)} = ((W1 - W2)/W1) \times 100$$

3.5.3. Pişirme Kaybı

LD örneğinde pişme kayıpları kesimden 24 saat sonra Miezeliene ve ark. (2011)'nın yöntemine göre belirlendi. Örneklerin başlangıç ağırlığı (W1) ayrı ayrı kaydedildi ve ardından tüm örnekler su banyosu kullanılarak 80 °C'de 20 dakika pişirildi. Pişirme işleminden sonra, LD örnekleri oda sıcaklığında soğutuldu ve ardından (W2) olarak tartıldı. Pişirme kayıpları ilk (W1) ve son (W2) ağırlık arasındaki fark olarak kabul edildi.

$$\text{Pişirme kaybı (\%)} = ((W1 - W2)/W1) \times 100$$

Pişme kaybı yüzdesi Honikel (1998) tarafından tarif edilen yöntem kullanılarak ölçüldü. Analiz edilen kasların 50-70 g ağırlığında ve 3 cm kalınlığındaki enine dilimleri ince polietilen torbalara yerleştirildi. Torbalar et örneğine sıkıca tutturuldu ve ardından 1 saat boyunca 70°C'de su banyosuna yerleştirildi. 30 dakika boyunca akan musluk suyu kullanılarak soğutulduktan sonra, kağıt havlu ile fazla nem alındıktan sonra örnekler yeniden tartıldı. Numunenin ağırlığındaki değişim yüzde olarak hesaplandı.

3.5.4. Etin Kesme Kuvveti (Warner-Bratzler Shear Force)

Etin kesme kuvveti (Warner-Bratzler Shear Force, WBSF) ölçümü, bir doku analizörü (Instron 3343 texture analyzer) kullanarak gerçekleştirildi. Kısaca, pişirme tayininden sonra, numuneler bir gece boyunca +4°C'de soğutuldu (Sazili ve ark., 2005) ve her numune, kas lifinin yönelimine paralel olarak 6 - 8 küp (1 cm² kesit) halinde doku analizörü tarafından kesildi ve WBSF kg/cm² olarak ifade edildi (Papinaho ve ark., 1996).

3.6. Konsantre Yem, Serum ve *Longissimus dorsi*'deki Selenyum Miktarının Belirlenmesi

Konsantre yem, kan serumu ve LD örneklerinin Se miktarları Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezinde (DAYTAM) ICP-MS cihazı (Agilent 7800 ICP-MS, Agilent Technologies, Inc., USA) kullanılarak belirlendi.

3.7. Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Aktivitesinin Belirlenmesi

Kan serumdaki GSH-Px aktivitesi, üreticinin talimatlarına uygun olarak ticari bir kit (SunLong Biotech Ltd., Çin) kullanılarak ELISA cihazında (Epoch, Biotek, ABD) belirlendi ve ng/mL olarak ifade edildi.

3.8. Yem Analizleri

Yem örnekleri bir Wiley değirmeni kullanılarak 1 mm'lik bir elekten geçirildi ve ardından AOAC (2005) standart yöntemleri kullanılarak KM, ham protein (HP), ham kül (HK), ham yağ (HY) ve asit deterjan lifi (ADF) içerikleri açısından analiz edildi. Nötr deterjan lifi (NDF) içeriği Van Soest ve ark. (1991)'nın yöntemlerine göre belirlendi. Tüm ölçümler ikili paralel olarak gerçekleştirildi.

3.9. İstatistiksel Analiz

Veriler SPSS bilgisayar programı kullanılarak analiz edildi (Sürüm 16; SPSS Inc., Chicago, IL, ABD). Büyüme performansı verilerinin normal dağılım gösterip göstermediğini test etmek için Kolmogorov-Smirnov Testi; karkas özellikleri, et kalitesi, serum ve kas Se içeriği ile serum GSH-Px aktivitesi için ise Shapiro-Wilk Testi kullanıldı. Seçilen performans, karkas, et kalitesi ve kan-kas parametrelerinin değerleri gruplar arasında tek yönlü ANOVA ve Tukey'in HSD posthoc testi kullanılarak karşılaştırıldı. Belirli bir parametre için istatistiksel testler $p < 0,05$ sonucunu verirse, Se kaynağının etkisi anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1. Yem Tüketimi ve Büyüme Performansı

Büyüme performansı parametreleri Tablo 4.1-4.4'te sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Se kaynaklarının ve organik Se düzeylerinin kuzuların KMT, CA, GCAA ve YYO üzerinde önemli bir etki yapmadığını göstermektedir.

Tablo 4.1. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların yem tüketimine etkisi (g/gün KM)

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
1- 14 gün	929,48	926,92	928,07	22,971	0,999
15-28 gün	1206,63	1216,23	1237,32	18,497	0,811
29-42 gün	1447,83	1377,58	1449,11	24,526	0,426
43-56 gün	1648,08	1550,20	1552,12	46,928	0,657
1-56 gün	1308,00	1267,73	1289,13	25,064	0,827

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

Tablo 4.2. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların canlı ağırlıkları üzerine etkisi (kg)

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
Başlangıç CA	27,30	26,80	26,80	1,247	0,987
14. gün CA	31,64	30,38	31,26	1,298	0,928
28.gün CA	34,29	33,47	33,74	1,305	0,969
42.gün CA	37,25	37,00	36,89	1,243	0,993
Final CA (kg)	41,50	41,12	41,25	1,275	0,993

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

Tablo 4.3. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların günlük canlı ağırlık artışı üzerine etkisi (kg)

	SS- 0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
1- 14 gün	0,312	0,258	0,320	0,020	0,452
15-28 gün	0,190	0,222	0,178	0,012	0,359
29-42 gün	0,212	0,250	0,226	0,014	0,581
43-56 gün	0,302	0,296	0,312	0,015	0,921
1-56 gün	0,252	0,258	0,258	0,005	0,889

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

Tablo 4.4. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların yemden yararlanma oranı üzerine etkisi

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
1- 14 gün	3,24	3,73	3,04	0,211	0,415
15-28 gün	6,76	5,62	7,66	0,530	0,311
29-42 gün	6,90	5,95	6,64	0,357	0,566
43-56 gün	5,64	5,51	5,07	0,330	0,789
1-56 gün	5,19	4,97	5,01	0,115	0,732

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

4.2. Karkas Özellikleri

Tablo 4.5, 56 gün boyunca inorganik Se ve farklı organik Se düzeyler ile takviye edilen kuzuların karkas özelliklerini göstermektedir. Se kaynağı ve seviyesinin karkas özellikleri (sıcak karkas ağırlığı, soğuk karkas ağırlığı, soğuk karkas randımanı, Longissimus kas alanı ve kabuk yağı kalınlığı) üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların karkas özellikleri üzerine etkisi

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
Sıcak karkas ağırlığı (kg)	18,90	18,74	18,78	0,580	0,993
Soğuk karkas ağırlığı (kg)	18,49	18,37	18,42	0,579	0,997
Soğuk karkas randımanı (%)	45,00	45,10	45,07	0,048	0,672
Longissimus kas alanı (cm ²)	15,64	15,96	15,66	0,148	0,650
Kabuk yağı kalınlığı (cm)	0,57	0,58	0,56	0,011	0,865

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

4.3. Et Kalitesi

Tablo 4.6'da verilen veriler, postmortem 24. saatteki SS ve farklı dozlardaki OH-SeMet'in kuzuların et kalitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bulgular, et pH'ı, renk değerleri (L*, a*, b*), damlama kaybı, pişirme kaybı ve kesme kuvveti parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar SS ve OH-SeMet takviyesinin kuzuların et kalitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 4.6. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kuzuların et kalitesi üzerine etkisi

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
pH	5,51	5,52	5,52	0,017	0,968
Renk					
L (açıklık)	44,20	45,74	43,76	0,466	0,199
a (kırmızılık)	15,92	14,79	15,57	0,291	0,284
b (sarılık)	10,21	9,74	9,56	0,228	0,529
Damlama kaybı (%)	3,27	3,25	3,34	0,065	0,854
Pişirme kaybı (%)	23,70	23,61	23,58	0,104	0,904
Kesme kuvveti (kg)	2,93	2,98	3,02	0,070	0,890

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

4.4. Et ve Serum Se Miktarı ve Serum GSH-Px Aktivitesi

Tablo 4.7, SS ve farklı dozlarda OH-SeMet uygulamalarının LD kasında Se konsantrasyonu, serum Se düzeyi ve serum GSH-Px aktivitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir. OH-SeMet gruplarında kas ve serum Se konsantrasyonunun SS-0.2 grubuna kıyasla anlamlı derecede arttığı görülmektedir ($p < 0,001$). Özellikle OH-SeMet-0.4 grubu, en yüksek değeri (sırasıyla 421,39 $\mu\text{g/kg}$ ve 258,52 $\mu\text{g/L}$) göstermiştir. Serum GSH-Px aktivitesi gruplar arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($p = 0,886$).

Tablo 4.7. Sodyum selenit ve OH-SeMet'in kan serumu ve LD kasının selenyum miktarları ile GSH-Px aktivitesine etkisi

	SS-0,2	OH-SeMet-0,2	OH-SeMet-0,4	SEM	P
LD kas Se ($\mu\text{g/kg}$)	183,28 ^c	295,40 ^b	421,39 ^a	27,207	$p < 0,001$
Serum Se ($\mu\text{g/L}$)	109,87 ^c	180,59 ^b	258,52 ^a	17,099	$p < 0,001$
Serum GSH-Px (ng/mL)	18,15	19,13	18,30	0,811	0,886

SS-0,2: Sodyum selenitten-0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,2: Hidroksi-selenometiyoninden 0,2 mg Se/kg KM; OH-SeMet-0,4: Hidroksi-selenometiyoninden 0,4 mg Se/kg KM; SEM: Ortalamanın standart hatası

^{a-c} Aynı satırda farklı üst harflere sahip ortalamalar ($p < 0.05$) düzeyinde anlamlı farklılık gösterir.

5. TARTIŞMA

5.1. Büyüme Performansı ve Karkas Özellikleri

OH-SeMet gibi organik Se kaynaklarının inorganik Se kaynaklarına kıyasla daha yüksek biyoyararlanım sağlayabileceği belirtilse de (Surai, 2006), bu çalışmada besi performansı açısından iki Se kaynağı arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu durum ilk olarak, rasyona inorganik veya organik kaynaktan ilave edilen 0,2 mg/kg KM düzeyindeki (rasyondaki Se içeriği 0,31-0,34 mg/kg) Se'nin, hayvanların Se gereksinimi karşılamış olması ve Se eksikliği gibi stres koşullarının bulunmaması ile açıklanabilir. Bu sonuç, günlük canlı ağırlık artışı 200-350 g arasındaki kuzular için rasyonun Se düzeyini 0,2-0,3 mg/kg öneren NRC (2007) ile paralellik göstermektedir. İkinci olarak ise büyüme performansı üzerinde rasyonun enerji ve protein düzeylerinin daha belirgin olması ve Se'nin bu süreçlere yalnızca stres gibi koşullarda dolaylı etkiler yapabileceğini düşündürmektedir (NRC, 2007). Bu çalışma bulgularla uyumlu olarak besi sığırı (Grossi ve ark., 2021) ve broyler (Briens ve ark., 2013; Tang ve ark., 2021) üzerinde yürütülen çalışmalarda da Se kaynağının büyüme performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca OH-SeMet'ten >0,30 mg Se/kg KM takviyesin broylerlerin performansını belirgin şekilde artırmadığını tespit eden Vieira ve ark. (2022)'nin sonuçlarıyla tutarlı bir şekilde mevcut çalışmada 0,2 mg/kg'ın üzerinde organik Se ilavesinin bir etkisi gözlemlenmemiştir. Sonuçlarımızın aksine, özellikle yüksek stok yoğunluğu ve ısı stresi gibi stres koşulları altında, OH-SeMet'in dokulardaki antioksidan savunmayı artırarak broylerlerde YYO ve büyüme performansına (Sun ve ark., 2021) ve süt ineklerinin süt verimine (Sun ve ark., 2019) olumlu katkı yapabileceği belirtilmiştir. Çalışmalar arasındaki bu farklılık mevcut çalışmada hayvanların çalışma süresince oksidatif stres altında olmamaları ile açıklanabilir.

Final canlı ağırlık sonuçlarına benzer şekilde, mevcut çalışmada Se katkılarının sıcak ve soğuk karkas ağırlıkları ile karkas randımanında anlamlı bir farklılığa neden olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonucun, karkas ağırlığının hayvanların final canlı ağırlığı ile yüksek oranda ilişkili olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Issakowicz ve ark., 2013). Ayrıca bu çalışmada Se kaynaklarının karkas randımanı, LD kas alanı ve kabuk yağı kalınlığı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, Se'nin esas etkisini antioksidan savunma sistemleri ve bağışıklık fonksiyonları üzerinde göstermesi doğrudan karkas parametrelerine

etkisinin sınırlı olması şeklinde açıklanabilir. Benzer şekilde, Vignola ve ark. (2009) da SS veya Se-maya takviyesi yapılan kuzularda karkas özelliklerinin etkilenmediğini bildirmiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda Se'nin ruminantlarda lipid metabolizması parametrelerini düzenleyerek yağ birikimini değiştirdiğini ve bu sayede karkas randımanını ve göz kası alanını iyileşmeye yol açabileceği öne sürülmüştür (Netto ve ark., 2014; Juszczuk-Kubiak ve ark., 2016; Tian ve ark., 2022). Ancak bu etkinin, genellikle Se eksikliği bulunan hayvanlarda daha belirgin olduğu bildirilmektedir (Tórtora-Pérez, 2010). Bu çalışmada hayvanların diyetle yeterli Se almış olması, bu tür bir etkinin gözlemlenmemiş olmasını açıklayabilir.

5.2. Et Kalite Özellikleri

Etin pH'sı, damlama kaybı, pişirme kaybı, kesme kuvveti ve L* (açıklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerini içeren et rengi ölçümleri etin fiziko-kimyasal özelliklerinin ilgili önemli parametrelerdir (Xue ve ark., 2022). Et pH'sı, kesim sonrası glikojen yıkımı ve laktik asit birikimi ile ilişkilidir (Channon ve ark., 2000). pH düşüşünün hızı ve kapsamı et kalitesinin başlıca belirleyicileridir. Postmortem kas pH düşüş hızı ve pH₂₄, su tutma kapasitesi veya et rengini etkiler (Debreceni ve ark., 2018). Düşük pH₂₄, et proteinlerinin su tutma kapasitesinin azalmasına ve daha açık bir renk, yüksek pH₂₄ daha koyu bir renk ve daha az damlama kaybı koyu gibi et kalitesi kusurlarına yol açar. (Zhang ve ark., 2021). Normal pH₂₄ aralığı (5,4-5,6) olarak kabul edilir (Pipek ve ark., 2003; Villarroel ve ark., 2003) ve bu çalışmadaki sonuçlar bu aralığa uygundur. Se'nin et pH'sı üzerinde dolaylı etkileri olabilir, ancak bu etkiler genellikle stres azaltıcı etkilerle ilişkilendirilir (Surai, 2006). Bu bağlamda Se'nin özellikle organik Se'nin, oksidatif stresin yüksek olduğu koşullarda pH seviyesini daha etkili bir şekilde stabilize ettiği gösterilmiştir (Pušić ve ark., 2018). Mevcut çalışmada, Se'nin düzeyleri ve formları arasında fark olmaması, hayvanların stresten uzak olmalarına ve/veya rasyonlarının yeterli ve dengeli besin maddesi içermesine atfedilebilir. Benzer şekilde Grossi ve ark. (2021) ve Huang ve ark. (2023) hem organik hem de inorganik Se takviyesinin sığır karkas pH'sı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını belirlemişlerdir.

Etin L*, a*, ve b* değerleri, tüketiciler için önemli kalite kriterleridir (Faustman ve ark., 2010). Et renginin stabilitesi, miyoglobinin oksidasyonunun engellenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Renk değerlerinde Se'nin etkisi, genellikle antioksidan özellikleri nedeniyle lipid peroksidasyonunu azaltma kapasitesi ile

ilişkilendirilir (Liang ve ark., 2019). Ancak bu çalışmada selenyum kaynaklarının farklılık yaratmadığı görülmektedir. Literatürde, organik Se kaynaklarının et rengini iyileştirme potansiyeli üzerine çelişkili sonuçlar mevcuttur. Örneğin Surai (2006) organik Se'nin etin parlaklığını ve kırmızılığını optimize ettiğini bildirirken, Vignola ve ark. (2009), Silva ve ark. (2020) ve Mariezcurrena-Berasain ve ark. (2022) ise organik ve inorganik Se kaynaklarının et rengi parametreleri üzerinde önemli etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada, kronik ısı stresi altındaki domuzların rasyonuna eklenen OH-SeMet'in (0,4 ve 0,6 mg Se/kg) kastaki GPX-Px aktivitesini önemli ölçüde artırdığı ve et renk parametrelerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2021). İlgili parametreler bakımından mevcut araştırmadan elde edilen veriler, rasyonun genel yeterliliği ve hayvanların optimal koşulları altında beslenmeleri gözönüne alındığında literatür bildirişleriyle uyum içerisinde.

Etin damlama ve pişirme kayıpları, su tutma kapasitesinin bir göstergesidir (Lonergan ve Lonergan, 2005; Oliveira ve ark., 2014). Kesimden sonra oksidasyondan kaynaklanan aşırı hücre hasarı, damlama kaybının nedeni olabilir (Zhou ve ark., 2011). Bazı çalışmalar OH-SeMet'in sığırları (Grossi ve ark., 2021) ve broylerler (Tang ve ark., 2021) etinin antioksidan kapasitesini artırarak membran hasarını azalttığı ve böylece su tutma kapasitesini iyileştirdiği bildirilmiştir. Ayrıca yüksek stres altındaki hayvanlarda organik Se takviyesinin, etin su tutma kapasitesini iyileştirmede inorganik kaynaktan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Mikulski ve ark., 2009; Sun ve ark., 2021). Ancak mevcut çalışmada, etin damlama kaybı ve pişirme kaybı açısından organik ve inorganik Se kaynakları arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Bu durum, hayvanların bakım, besleme ve kesim koşullarının genel olarak yeterli olmasından kaynaklanabilir. Mevcut bulgulara benzer şekilde önceki çalışmalar, her iki kaynağında kuzu eti (Vignola ve ark., 2009), sığır eti (Silva ve ark., 2020; Huang ve ark., 2023) ve broyler etinin (Vieira ve ark., 2022) damlama kaybı üzerinde benzer bir etkisi olduğunu bildirmiştir.

Kesme kuvveti, etin yumuşaklığını belirleyen önemli bir parametredir ve kollajen yapısı, kas lifleri ve intramüsküler yağ içeriği gibi faktörlere bağlıdır (Jin ve ark., 2021). Kaslardaki oksidatif stres, miyofibriller proteinlerin oksidasyonunu tetikleyebilir ve bu da etin kesme kuvvetinin artmasına neden olabilir (Tian ve ark., 2022). Se'nin kas yapısına etkisi genellikle dolaylıdır ve antioksidan savunma üzerinden gerçekleşir. Juniper ve ark. (2008) ile Hall ve ark. (2013), rasyonla alınan

organik Se takviyesinin etin antioksidan kapasitesini artırmada ve kesme kuvvetini azaltmada inorganik Se takviyesine kıyasla daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ancak bu çalışmada, organik ve inorganik Se kaynakları arasında kuzuların etinin kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bu sonuç, Se eksikliği veya stres koşullarının belirgin olmamasından kaynaklanmış olabilir. Mevcut sonuçlar Tang ve ark. (2021) ve Grossi ve ark. (2021)'nın çalışma sonuçlarını desteklemektedir.

OH-SeMet gibi organik Se kaynakları, biyoyararlanım açısından avantajlı olabilir, ancak bu avantajların et kalitesi üzerinde somut etkilere dönüşmesi için stres gibi farklı deneme koşulları altında araştırmalar yapılması faydalı olacaktır. Genel olarak, bu sonuçlar organik ve inorganik kaynaktan 0,20 mg Se/kg KM Se takviyesinin et kalitesini iyileştirmek için yeterli olduğunu ve organik Se düzeyinin 0,4 mg Se/kg yükseltilmesinin et kalitesinde hiçbir fark oluşturmadığını göstermiştir. Et kalitesi bakımından çalışmalar arasındaki tutarsızlıklar, bazal rasyonda bulunan Se miktarına, takviye Se miktarına, Se kaynağına ve uygulama yöntemine, kas türü, ırk, yaş, cinsiyet ve oksidatif stres (ısı, stok yoğunluğu, canlı hayvan yönetimi ve kesim öncesi/sonrası işlemler) gibi faktörlerden kaynaklanmış olabilir (Mehdi ve Dufrasne, 2016; Pušić ve ark., 2018; Liang ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2023).

5.3. Kas Se Konsantrasyonu

Kuzu eti, insanlar için en önemli diyet Se kaynaklarından biridir. Se ile zenginleştirilmiş sığır ve koyun eti ürünleri 150 µg Se/kg'dan fazla Se içeren ürünlerdir (Huang ve ark., 2023). Broiler (Briens ve ark., 2013, 2014; Sun ve ark., 2021; De Marco ve ark., 2021; Tang ve ark., 2021; Vieira ve ark., 2022), yumurta tavuğu (Jlali ve ark. 2013), domuz (Jlali ve ark., 2014; Li ve ark., 2020), besi sığırları (Juniper ve ark., 2019; Grossi ve ark., 2021) ve süt ineklerinde (Sun ve ark., 2017; Hachemi ve ark., 2023) yürütülen çalışmalarda, OH-SeMet katkısının SS ve Se-maya'ya kıyasla et, süt ve yumurta Se konsantrasyonunun daha etkili bir şekilde arttığı bildirilmiştir. Benzer sonuçlar mevcut çalışmadan da elde edilmiştir ve OH-SeMet ile yapılan beslemenin, kas Se konsantrasyonunu SS'ye kıyasla daha etkili bir şekilde artırdığını doğrulamıştır. Ayrıca, OH-SeMet'ten sağlanan 0,2 mg Se/kg KM rasyon ilavesi, SS'nin eşdeğer dozuna kıyasla kasta %61,17 daha fazla Se birikimine yol açmıştır. Bu durum, Se'yi SeMet olarak yüksek oranda (≥ 98) içeren OH-SeMet'in (Fagan ve ark., 2015; Surai ve ark., 2018) daha yüksek Se biyoyararlanımı

ile bağlantılı olması ve bunun da kuzuların kasında önemli ölçüde daha yüksek Se rezervleriyle sonuçlanmasından kaynaklanmış olabilir. Buna karşın, rumen mikroorganizmaları inorganik Se'nin biyoyararlanımını azaltarak organik kaynağa kıyasla vücutta daha az Se tedarik edilmesine neden olmaktadır (Galbraith ve ark., 2016). Ayrıca mevcut çalışmada, rasyon OH-SeMet ilavesinin takviyesi 0,2 mg Se/kg'dan 0,4 mg Se/kg'a yükseltilmesi, LD kası Se seviyesinde 125 µg/kg'lık bir artışa neden olmuştur. Bu sonuçlar, daha önce Sun ve ark. (2017) tarafından gösterildiği gibi Se biyoyararlanımının OH-SeMet takviyesine doğrusal olarak yanıt verdiğini doğrulamıştır.

Et, protein gibi birçok makro besin ögesinin önemli bir kaynağıdır. Aynı zamanda Se, Zn, Fe ve Cu gibi mikro besinler ile folik asit ve B12 vitamini açısından da zengin bir besin kaynağıdır. Bu mikro besinlerin her biri, sağlıklı bir bağışıklık sisteminin sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır (Gomez-Basauri, 2004). Bu nedenle, günümüzde hayvan eti endüstrisinin pazara sunduğu ürünler sadece tüketici tercihleri açısından değil, aynı zamanda sunduğu sağlık faydaları açısından da giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (2004) göre, yetişkinler için günlük önerilen Se alımı 55 µg'dır. Mevcut deneme rasyonları göz önüne alındığında; yetişkin bir insanın günlük Se ihtiyacını karşılamak için 4,0 mg/kg KM organik Se ilaveli kuzu etinden yaklaşık 130 g tüketmesi gerekirken 2,0 mg/kg KM organik Se ve 2,0 mg/kg KM inorganik Se ilaveli gruplardan ise sırasıyla yaklaşık 190 g ve 300 g kuzu eti tüketmesi gerekecektir.

5.4. Serum Se Konsantrasyonu ve GSH-Px Aktivitesi

Koyunlarda kan Se düzeyi, rasyondaki Se'nin miktarına ve formuna bağlıdır (Hall ve ark., 2013). Bu çalışma, organik Se kaynaklarının serum Se düzeyini, inorganik kaynaklara göre daha fazla artırdığı yönündeki genel görüşü desteklemektedir (Phipps ve ark., 2008). Ayrıca, rasyona eklenen organik Se düzeyinin artırılması, serum Se düzeyinde daha büyük bir artışa yol açtığı gösterilmiştir. Bu etki, OH-SeMet'in SS'ye kıyasla kana Se transferinde daha yüksek biyoyararlanım ve etkinlik göstermesine bağlanabilir (Weiss, 2005; Sun ve ark., 2017). Benzer şekilde, orta laktasyondaki süt ineklerinde yürütülen birçok çalışmada, OH-SeMet, kanda Se konsantrasyonunu, Se-maya veya SS gibi diğer Se kaynaklarından daha etkili bir şekilde artırdığı gösterilmiştir (Sun ve ark., 2017; Sun ve ark., 2019; Hachemi ve ark., 2023).

Mevcut çalışmada, her iki kaynaktan sağlanan 0,2 mg Se/kg KM'nin, serumda GSH-Px aktivitesi artırmak için yeterli olabileceğini, OH-SeMet'ten sağlanan 0,4 mg Se/kg KM düzeyinin ise GSH-Px aktivitesi üzerinde ek bir fayda sağlamadığı göstermiştir. GSH-Px aktivitesinde anlamlı bir değişim olmaması, denemede kullanılan Se düzeylerinin enzim aktivitesini maksimum düzeye ulaştırdığı ve daha fazla artış göstermediği şeklinde yorumlanabilir. Li ve Sunde (2016), belirli bir Se dozu sonrasında GSH-Px aktivitesinin plato yaptığını ve fazla Se'nin aktiviteye ek katkı sağlamadığını belirtmiştir. Bu çalışmanın bulguları, Weiss (2003) tarafından derlenen 11 çalışmanın dokuzunda organik ve inorganik Se'nin GSH-Px aktivitesi üzerinde önemli bir fark yaratmadığını ortaya koyan sonuçları desteklemektedir. Weiss'e (2003) göre bu durum, her iki Se kaynağından da eşit miktarda selenitin SeCys sentezi için sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, Juniper ve ark. (2019) ile Hachemi ve ark. (2023), takviye edilmemiş bir grup ile organik veya inorganik Se takviyesi yapılan gruplar arasında GSH-Px aktivitesinde fark bulamamışlardır. Bununla birlikte, GSH-Px aktivitesine odaklanan diğer araştırmalar, organik Se'nin süt ineklerinde antioksidan durumu iyileştirme konusunda önemli etkileri olduğunu belirtmiştir (Gong ve Xiao, 2018; Sun ve ark., 2019). Ancak bu çalışmalar, peripartum dönem (Gong ve Xiao, 2018) veya yüksek sıcaklık (Sun ve ark., 2019) gibi oksidatif stres oluşturan koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmada ise kuzular herhangi bir belirgin stres koşuluyla karşılaşmamış ve bu nedenle yalnızca temel Se gereksinimlerine sahip olmuşlardır.

5.5. Sonuçlar

Bu çalışma, OH-SeMet'in artan dozlarının, sodyum selenite (SS) kıyasla serum ve doku selenyum konsantrasyonlarını daha etkili bir şekilde artırdığını göstermiştir. Ancak, bu artış, kuzuların büyüme performansı, et kalitesi ve antioksidan durumu üzerinde anlamlı bir etki yaratmamıştır. Bununla birlikte, elde edilen bulgular, dokularda biriken selenyumun potansiyel stres durumlarında kullanılabilirliği sağlayacak düzeyde bir rezerv oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, OH-SeMet'in, SS'nin yerine etkili bir organik selenyum kaynağı olarak kullanılabileceğini ve özellikle oksidatif stres koşullarındaki etkisinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abiaka, C., Al-Awadi, F., & Olusi, S. (2000). Effect of prolonged storage on the activities of superoxide dismutase, glutathione reductase, and glutathione peroxidase. *Clinical Chemistry*, 46(4), 566-568.
- Akyol, T., Bulucu, F., Sener, O., Yamanel, L., Aydin, A., Inal, V., ... & Musabak, U. (2007). Functions and oxidative stress status of leukocytes in patients with nephrotic syndrome. *Biological Trace Element Research*, 116, 237-247.
- Alian, H. A., Samy, H. M., Ibrahim, M. T., & Mahmoud, M. M. (2020). Nanoselenium effect on growth performance, carcass traits, antioxidant activity, and immune status of broilers. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 38607-38616.
- Allan, C. B., Lacourciere, G. M., & Stadtman, T. C. (1999). Responsiveness of selenoproteins to dietary selenium. *Annual Review of Nutrition*, 19(1), 1-16.
- Amoako, P. O., Uden, P. C., & Tyson, J. F. (2009). Speciation of selenium dietary supplements; formation of S-(methylseleno) cysteine and other selenium compounds. *Analytica Chimica Acta*, 652(1-2), 315-323.
- Anan, Y., & Ogra, Y. (2013). Toxicological and pharmacological analysis of selenohomolanthionine in mice. *Toxicology Research*, 2(2), 115-122.
- Anan, Y., Mikami, T., Tsuji, Y., & Ogra, Y. (2011). Distribution and metabolism of selenohomolanthionine labeled with a stable isotope. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399, 1765-1772.
- AOAC (2005). Official method of analysis In Association of Officiating Analytical Chemists. 18th eds. W. Horwitz and G. W. Latimer Washington, DC.
- Archer, J. A., & Judson, G. J. (1994). Selenium concentrations in tissues of sheep given a subcutaneous injection of barium selenate or sodium selenate. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(5), 581-588.
- Ardicli, S. (2018). Genetik ve postmortem mekanizmaların sığır eti renk özellikleri üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 37(1), 49-59.
- Arshad, M. A., Ebeid, H. M., & Hassan, F. U. (2021). Revisiting the effects of different dietary sources of selenium on the health and performance of dairy animals: a review. *Biological Trace Element Research*, 199(9), 3319-3337.
- Arthur, J. R., McKenzie, R. C., & Beckett, G. J. (2003). Selenium in the immune system. *The Journal of Nutrition*, 133(5), 1457S-1459S.
- Attia, Y. A., Abdalah, A. A., Zeweil, H. S., Bovera, F., El-Din, A. T., & Araft, M. A. (2010). Effect of inorganic or organic selenium supplementation on productive performance, egg quality and some physiological traits of dual-purpose breeding hens.
- Bednarek, D., & Bik, D. (1994). Influence of selenium on animals' health. Part II. Result of deficiency. *Życie Wet*, 7, 269-272.
- Beytut, E., Karatas, F., & Beytut, E. (2002). Lambs with white muscle disease and selenium content of soil and meadow hay in the region of Kars, Turkey. *Veterinary Journal*, 163(2), 214-217.

- Bianco, A. C., & Larsen, P. R. (2005). Cellular and structural biology of the deiodinases. *Thyroid*, 15(8), 777-786.
- Birringer, M., Pilawa, S., & Flohé, L. (2002). Trends in selenium biochemistry. *Natural Product Reports*, 19(6), 693-718.
- Biterova, E. I., Turanov, A. A., Gladyshev, V. N., & Barycki, J. J. (2005). Crystal structures of oxidized and reduced mitochondrial thioredoxin reductase provide molecular details of the reaction mechanism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 15018-15023.
- Bodnar, M., Szczygłowska, M., Konieczka, P., & Namiesnik, J. (2016). Methods of selenium supplementation: bioavailability and determination of selenium compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), 36-55.
- Briens, M., Mercier, Y., Rouffineau, F., Mercierand, F., & Geraert, P. A. (2014). 2-Hydroxy-4-methylselenobutanoic acid induces additional tissue selenium enrichment in broiler chickens compared with other selenium sources. *Poultry Science*, 93(1), 85-93.
- Briens, M., Mercier, Y., Rouffineau, F., Vacchina, V., & Geraert, P. A. (2013). Comparative study of a new organic selenium source v. seleno-yeast and mineral selenium sources on muscle selenium enrichment and selenium digestibility in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 110(4), 617-624.
- Brigelius-Flohe, R., & Kipp, A. (2009). Glutathione peroxidases in different stages of carcinogenesis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1790(11), 1555-1568.
- Brito A, Cavalcante D, De Marco M, Liu YG, Goncalves GJ, Perazzo F. 2019. Hydroxy-selenomethionine can improve productive performance and egg quality of laying hens in the late phase of production. In *Proceedings of Australian Poultry Science Symposium*; Feb 17–20; Sidney, Australian. Sidney, Australian: The World's Poultry Science Association. p. 248.
- Brozmanová, J., Mániková, D., Vlčková, V., & Chovanec, M. (2010). Selenium: a double-edged sword for defense and offence in cancer. *Archives of Toxicology*, 84, 919-938.
- Burk, R. F. (1983). Biological activity of selenium. *Annual Review of Nutrition*, 3, 53-70.
- Burk, R. F. (2002). Selenium, an antioxidant nutrient. *Nutrition in Clinical Care*, 5(2), 75-79.
- Burk, R. F., & Hill, K. E. (2015). Regulation of selenium metabolism and transport. *Annual Review of Nutrition*, 35(1), 109-134.
- Cao, Y. Z., Maddox, J. F., Mastro, A. M., Scholz, R. W., Hildenbrandt, G., & Reddy, C. C. (1992). Selenium deficiency alters the lipoxygenase pathway and mitogenic response in bovine lymphocytes. *The Journal of Nutrition*, 122(11), 2121-2127.
- Caravaggi, C., Clark, F. L., & Jackson, A. R. B. (1970). Acute selenium toxicity in lambs following intramuscular injection of sodium selenite. *Research in Veterinary Science*, 11:146–149.
- Chambers, I., Frampton, J., Goldfarb, P., Affara, N., McBain, W., & Harrison, P. R. (1986). The structure of the mouse glutathione peroxidase gene: the selenocysteine in the active site is encoded by the 'termination' codon, TGA. *The EMBO Journal*, 5(6), 1221-1227.

- Channon, H. A., Payne, A. M., & Warner, R. D. (2000). Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat science*, 56(3), 291-299.
- Chu, F. F., Doroshov, J. A., & Esworthy, R. S. (1993). Expression, characterization, and tissue distribution of a new cellular selenium-dependent glutathione peroxidase, GSHPx-GI. *Journal of Biological Chemistry*, 268(4), 2571-2576.
- Church, D. C. 1988. *The Ruminant Animal – Digestive Physiology and Nutrition*. 1st ed. Waveland Press, Illinois, USA.
- Claude, J. (2002). *Introduction à la nutrition des animaux domestiques*. Tec & Doc/EM Inter: Paris
- Combs Jr, G. F. (2015). Biomarkers of selenium status. *Nutrients*, 7(4), 2209-2236.
- Combs, G.F. & Combs, S. B. (1984). The nutritional biochemistry of selenium. *Annual Review Nutrition*, 4, 257-280.
- Couloigner, F., Jlali, M., Briens, M., Rouffineau, F., Geraert, P. A., & Mercier, Y. (2015). Selenium deposition kinetics of different selenium sources in muscle and feathers of broilers. *Poultry Science*, 94(11), 2708-2714.
- Cuddalore, R., Krishnamurti, C., Ramberg, Jr. F., Shariff, M. A. and Boston, R. C. 1997. A compartmental model depicting short-term kinetic changes in selenium metabolism in ewes fed hay containing normal or inadequate levels of selenium. *The Journal of Nutrition*, 127(1), 95-102
- Dalgaard, T. S., Briens, M., Engberg, R. M., & Lauridsen, C. (2018). The influence of selenium and selenoproteins on immune responses of poultry and pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 238, 73-83.
- Dalir-Naghadeh, B., Bahrami, Y., Rezaei, S. A., Anassori, E., Janalipour, A., & Khosravi, V. (2015). Platelet indices of selenium status in healthy and selenium-deficient sheep: A comparison with selenium indices in plasma, whole blood, and red blood cells. *Biological Trace Element Research*, 168, 74-81.
- Daniels, L. A. (1996). Selenium metabolism and bioavailability. *Biological Trace Element Research*, 54, 185-199.
- Davis, T. Z., Stegelmeier, B. L., Panter, K. E., Cook, D., Gardner, D. R., & Hall, J. O. (2012). Toxicokinetics and pathology of plant-associated acute selenium toxicosis in steers. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 24(2), 319-327.
- de Brito, A. N. E. F., Kaneko, I. N., Cavalcante, D. T., Cardoso, A. S., Fagundes, N. S., Fontinhas-Netto, G., ... & Costa, F. G. P. (2023). Hydroxy-selenomethionine enhances the productivity and egg quality of 50-to 70-week-old semi-heavy laying hens under heat stress. *Poultry Science*, 102(2), 102320.
- De Marco, M., Conjat, A. S., Briens, M., Hachemi, M. A., & Geraert, P. A. (2021). Bio-efficacy of organic selenium compounds in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 514-525.
- Debrecéni, O., Lípová, P., Bučko, O., Cebulska, A., & Kapelánski, W. (2018). Effect of pig genotypes from Slovak and Polish breeds on meat quality. *Archives Animal Breeding*, 61(1), 99-107.

- Dermauw, V., López Alonso, M., Duchateau, L., Du Laing, G., Tolosa, T., Dierenfeld, E., ... & Janssens, G. P. J. (2014). Trace element distribution in selected edible tissues of zebu (*Bos indicus*) cattle slaughtered at Jimma, SW Ethiopia. *PloS one*, 9(1), e85300.
- Doğan, O., Yıldız, G., Ok Sözüdoğru, S., Hincal, F., Sel, T., & Küçükersan, S. (2006). Türkiye'nin bazı bölgelerinde toprak, bitki, su, hayvan ve insanlarda selenyum düzeyleri. TUBİTAK. TOGTAG-3061.
- Duncan, A., Talwar, D., McMillan, D. C., Stefanowicz, F., & O'Reilly, D. S. J. (2012). Quantitative data on the magnitude of the systemic inflammatory response and its effect on micronutrient status based on plasma measurements. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(1), 64-71.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). (2013a). Scientific Opinion on safety and efficacy of hydroxy-analogue of selenomethionine as feed additive for all species. *EFSA Journal*, 11(1), 3046.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). (2013b). Scientific Opinion on the safety and efficacy of L-selenomethionine as feed additive for all animal species. *EFSA Journal*, 11(5), 3219.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP), Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. D. L., Christensen, H., Dusemund, B., ... & Mantovani, A. (2018). Assessment of the application for renewal of authorisation of selenomethionine produced by *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-3060 (selenised yeast inactivated) for all animal species. *EFSA Journal*, 16(7), e05386.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (EFSA FEEDAP Panel), Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. D. L., Christensen, H., Dusemund, B., ... & Mantovani, A. (2019b). Assessment of the application for renewal of authorisation of selenomethionine produced by *Saccharomyces cerevisiae* NCYC R397 for all animal species. *EFSA Journal*, 17(1), e05539.
- EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP), Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. D. L., Christensen, H., Dusemund, B., ... & Ramos, F. (2019a). Safety and efficacy of sodium selenate as feed additive for ruminants. *EFSA Journal*, 17(7), e05788.
- EFSA. (2006). Opinion of the Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on the safety and efficacy of the product Sel-Plex 2000 as a feed additive according to Regulation (EC) No 1831/2003. *EFSA Journal*, 4(5), 348.
- Eisenberg, S. (2007). Relative stability of selenites and selenates in feed premixes as a function of water activity. *Journal of AOAC International*, 90(2), 349-353.
- Ellis, R. G., Herdt, T. H., & Stowe, H. D. (1997). Physical, hematologic, biochemical, and immunologic effects of supranutritional supplementation with dietary selenium in Holstein cows. *American Journal of Veterinary Research*, 58(7), 760-764.
- Esmaili, S., & Khosravi-Darani, K. (2014). Selenium-enriched yeast: as selenium source for nutritional purpose. *Current Nutrition & Food Science*, 10(1), 49-56.
- Fagan, S., Owens, R., Ward, P., Connolly, C., Doyle, S., & Murphy, R. (2015). Biochemical comparison of commercial selenium yeast preparations. *Biological Trace Element Research*, 166, 245-259.

- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86-94.
- FDA (2021). Food additives permitted in feed and drinking water of animals - sub part B. Food additive listing Title 21. Food and drugs Part 573 (573.920) [accessed February 18, 2021]. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-E/part-573/subpart-B/section-573.920>.
- Ferreira, C. M., Sinhorin, V. D. G., Netto, G. D. V. F., Hoshiba, M. A., & de Abreu, J. S. (2022). Effects of hydroxy-selenomethionine on performance, innate immune system and antioxidant defense of tambaqui (*Colossoma macropomum*) exposed to a physical stressor. *Fish & Shellfish Immunology*, 121, 362-369.
- Fischer, W. C., & Whanger, P. D. (1977). Effects of selenium deficiency on vitamin E metabolism in rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 23(4), 273-280.
- Fisinin, V. I., Papazyan, T. T., & Surai, P. F. (2009). Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29(1), 18-28.
- Galbraith, M. L., Vorachek, W. R., Estill, C. T., Whanger, P. D., Bobe, G., Davis, T. Z., & Hall, J. A. (2016). Rumen microorganisms decrease bioavailability of inorganic selenium supplements. *Biological Trace Element Research*, 171, 338-343.
- Gerloff, B. J. (1992). Effect of selenium supplementation on dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 70(12), 3934-3940.
- Ghany-Hefnawy, A. E., & Tortora-Perez, J. R. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animals health. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 185-192.
- Ghany-Hefnawy, A.E., Tórtora-Péres, J.L. 2010. The importance of selenium and the effect of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research* 89, 185-192.
- Givens, D. I., Allison, R., Cottrill, B., & Blake, J. S. (2004). Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(8), 811-817.
- Gladyshev, V. (2006). Selenoproteins and selenoproteomes. Pages 99-110 In *Selenium. Its molecular biology and role in human health*. 2nd ed. D. L. Hatfield, M. J. Berry, and V. N. Gladyshev, eds. Springer, New York, USA
- Gladyshev, V. N., Jeang, K. T., & Stadtman, T. C. (1996). Selenocysteine, identified as the penultimate C-terminal residue in human T-cell thioredoxin reductase, corresponds to TGA in the human placental gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(12), 6146-6151.
- Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2763-2813.
- Gomez-Basauri, J. (2004). Proceedings of the 57th American Meat Science Association Reciprocal Meat Conference (pp. 19-23), June 20-23, Lexington, Kentucky
- Gong, J., & Xiao, M. (2018). Effect of organic selenium supplementation on selenium status, oxidative stress, and antioxidant status in selenium-adequate dairy cows during the periparturient period. *Biological Trace Element Research*, 186, 430-440.

- Gosetti, F., Frascarolo, P., Polati, S., Medana, C., Gianotti, V., Palma, P., ... & Gennaro, M. C. (2007). Speciation of selenium in diet supplements by HPLC–MS/MS methods. *Food Chemistry*, 105(4), 1738-1747.
- Govasmark, E., Steen, A., Strøm, T., Hansen, S., Ram Singh, B., & Bernhoft, A. (2005). Status of selenium and vitamin E on Norwegian organic sheep and dairy cattle farms. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 55(1), 40-46.
- Grace, N. D. (1994). Selenium. In: *Managing trace element deficiencies*, ed. Grace ND, pp. 9–23. New Zealand Pastoral Agricultural Research Institute, Simon Print, Palmerston North, New Zealand.
- Grossi, S., Rossi, L., De Marco, M., & Sgoifo Rossi, C. A. (2021). The effect of different sources of selenium supplementation on the meat quality traits of young charolaise bulls during the finishing phase. *Antioxidants*, 10(4), 596.
- Guyot, H., Spring, P., Andrieu, S., & Rollin, F. (2007). Comparative responses to sodium selenite and organic selenium supplements in Belgian Blue cows and calves. *Livestock Science*, 111(3), 259-263.
- Hachemi, M. A., Sexton, J. R., Briens, M., & Whitehouse, N. L. (2023). Efficacy of feeding hydroxy-selenomethionine on plasma and milk selenium in mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(4), 2374-2385.
- Haddad, E. B., McCluskie, K., Birrell, M. A., Dabrowski, D., Pecoraro, M., Underwood, S., ... & Belvisi, M. G. (2002). Differential effects of ebselen on neutrophil recruitment, chemokine, and inflammatory mediator expression in a rat model of lipopolysaccharide-induced pulmonary inflammation. *The Journal of Immunology*, 169(2), 974-982.
- Hall, J. A., Vorachek, W. R., Stewart, W. C., Gorman, M. E., Mosher, W. D., Pirelli, G. J., & Bobe, G. (2013). Selenium supplementation restores innate and humoral immune responses in footrot-affected sheep. *PLoS One*, 8(12), e82572.
- Halliwell, B., & Chirico, S. (1993). Lipid peroxidation: Significance and its mechanism. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 57, 715-725.
- Haug, A., Graham, R. D., Christophersen, O. A., & Lyons, G. H. (2007). How to use the world's scarce selenium resources efficiently to increase the selenium concentration in food. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 19(4), 209-228.
- Hawkes, W. C., Kelley, D. S., & Taylor, P. C. (2001). The effects of dietary selenium on the immune system in healthy men. *Biological Trace Element Research*, 81, 189-213.
- Hoffmann, P. R. (2007). Mechanisms by which selenium influences immune responses. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 55, 289-297.
- Holmgren A. (1989). Thioredoxin and glutaredoxin systems. *Journal of Biological Chemistry*, 264(24):13963-13966
- Hondal, R. J. (2023). Selenium vitaminology: the connection between selenium, vitamin C, vitamin E, and ergothioneine. *Current Opinion in Chemical Biology*, 75, 102328.
- Honikel, K.O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49, 447-457.

- Huang, Q., Wang, S., Yang, X., Han, X., Liu, Y., Khan, N. A., & Tan, Z. (2023). Effects of organic and inorganic selenium on selenium bioavailability, growth performance, antioxidant status and meat quality of a local beef cattle in China. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1171751.
- Hudman, J. F., & Glenn, A. R. (1984). Selenite uptake and incorporation by *Selenomonas ruminantium*. *Archives of Microbiology*, 140, 252-256.
- Hudman, J. R., & Glenn, A. R. (1985). Selenium uptake by *Butyrivibrio fibrisolvens* and *Bacteroides rumenicola*. *FEMS Microbiology Letters*, 27, 215-220.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204.
- Hunt, M. C., King, A., Barbut, S., Clause, J., Cornforth, D., Hanson, D., ... & Mohan, A. (2012). AMSA meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Champaign, Illinois USA, 61820, 1-135.
- Huo, B., Wu, T., Song, C., & Shen, X. (2020). Studies of selenium deficiency in the Wumeng semi-fine wool sheep. *Biological Trace Element Research*, 194, 152-158.
- Issakowicz, J., Bueno, M. S., Sampaio, A. C. K., & Duarte, K. M. R. (2013). Effect of concentrate level and live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on Texel lamb performance and carcass characteristics. *Livestock Science*, 155(1), 44-52.
- Jin, S., Yang, H., Liu, F., Pang, Q., Shan, A., & Feng, X. (2021). Effect of dietary curcumin supplementation on duck growth performance, antioxidant capacity and breast meat quality. *Foods*, 10(12), 2981.
- Jlali, M., Briens, M., Rouffineau, F., Geraert, P. A., & Mercier, Y. (2014). Evaluation of the efficacy of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid on growth performance and tissue selenium retention in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 92(1), 182-188.
- Jlali, M., Briens, M., Rouffineau, F., Mercierand, F., Geraert, P. A., & Mercier, Y. (2013). Effect of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid as a dietary selenium supplement to improve the selenium concentration of table eggs. *Journal of Animal Science*, 91(4), 1745-1752.
- Johnson, C.C., F. M. Fordyce, and M. P. Rayman. 2009. Symposium on 'Geographical and geological influences on nutrition' Factors controlling the distribution of selenium in the environment and their impact on health and nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*. 69:119–132.
- Johnson, V. J., Tsunoda, M., & Sharma, R. P. (2000). Increased production of proinflammatory cytokines by murine macrophages following oral exposure to sodium selenite but not to seleno-L-methionine. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 243-250.
- Jones, G. D., Droz, B., Greve, P., Gottschalk, P., Poffet, D., McGrath, S. P., ... & Winkel, L. H. (2017). Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(11), 2848-2853.
- József, L., & Filep, J. G. (2003). Selenium-containing compounds attenuate peroxynitrite-mediated NF- κ B and AP-1 activation and interleukin-8 gene and protein expression in human leukocytes. *Free Radical Biology and Medicine*, 35(9), 1018-1027.

- Juniper, D. T., Kliem, K. E., Lee, A., & Rymer, C. (2022). The effect of stocking rate and supplementary selenium on the fatty acid composition and subsequent peroxidisability of poultry muscle tissues. *Animal*, 16(3), 100459.
- Juniper, D. T., Phipps R. H., Ramos-Morales, E., & Bertin, G. (2008). Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 3100–3109.
- Juniper, D. T., Rymer, C., & Briens, M. (2019). Bioefficacy of hydroxy-selenomethionine as a selenium supplement in pregnant dairy heifers and on the selenium status of their calves. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 7000-7010.
- Juszczuk-Kubiak, E., Bujko, K., Cymer, M., Wicińska, K., Gabryszuk, M., & Pierzchała, M. (2016). Effect of inorganic dietary selenium supplementation on selenoprotein and lipid metabolism gene expression patterns in liver and loin muscle of growing lambs. *Biological Trace Element Research*, 172, 336-345.
- Kamada, H., Nonaka, I., Ueda, Y., & Murai, M. (2007). Selenium addition to colostrum increases immunoglobulin G absorption by newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5665-5670.
- Kaneko, J. J. (1963). Erythrokinetics and iron metabolism in bovine porphyria erythropoietica. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 104(2), 689-700.
- Kieliszek M. (2021). Selenium. *Advances in Food and Nutrition Research*, 96:417e29
- Kieliszek, M (2019). Selenium–fascinating microelement, properties and sources in food. *Molecules*, 24(7):1298.
- Kieliszek, M., Błażej, S., & Płaczek, M. (2016). Spectrophotometric evaluation of selenium binding by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC MYA-2200 and *Candida utilis* ATCC 9950 yeast. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 35, 90-96.
- Kirchgessner, M., & Kellner, R. J. (1981) Schätzung des energiegehaltes futter-werttest von grün-und rauhfutter durch die cellulase methode. *Land-wirtsch Forsch*, 34(4), 276-281.
- Koenig, K. M., Rode, L. M., Cohen, R. D. H., & Buckley, W. T. (1997). Effects of diet and chemical form of selenium on selenium metabolism in sheep. *Journal of Animal Science*, 75(3), 817-827.
- Korhola, M., Vainio, A. and Edelmann, K., (1986). Selenium yeast. *Annals of Clinical Research*, 18(1), 65-68.
- Krishnamurti, C. R., Ramberg Jr, C. F., & Shariff, M. A. (1989). Kinetic modeling of selenium metabolism in nonpregnant ewes. *The Journal of Nutrition*, 119(8), 1146-1155.
- Kryukov, G. V., Castellano, S., Novoselov, S. V., Lobanov, A. V., Zehtab, O., Guigó, R., & Gladyshev, V. N. (2003). Characterization of mammalian selenoproteomes. *Science*, 300(5624), 1439-1443.
- Kubachka, K. M., Hanley, T., Mantha, M., Wilson, R. A., Falconer, T. M., Kassa, Z., ... & Caruso, J. (2017). Evaluation of selenium in dietary supplements using elemental speciation. *Food Chemistry*, 218, 313-320..

- Kucharzewski, M., Braziewicz, J., Majewska, U., & Góźdz, S. (2002). Concentration of selenium in the whole blood and the thyroid tissue of patients with various thyroid diseases. *Biological Trace Element Research*, 88, 25-30.
- Kuiper, G. G., Kester, M. H., Peeters, R. P., & Visser, T. J. (2005). Biochemical mechanisms of thyroid hormone deiodination. *Thyroid*, 15(8), 787-798.
- Kumar, A., & Prasad, K. S. (2021). Role of nano-selenium in health and environment. *Journal of Biotechnology*, 325, 152-163.
- Kumar, S. D., Kar, D., Akhtar, M. N., Willard, B., Roy, D., Hussain, T., ... & Eswarappa, S. M. (2022). Evidence for low-level translation in human erythrocytes. *Molecular Biology of the Cell*, 33(12), br21.
- Labunskyy, V. M., Hatfield, D. L., & Gladyshev, V. N. (2014). Selenoproteins: molecular pathways and physiological roles. *Physiological Reviews*, 94(3), 739-777.
- Lee, J., Hosseindoust, A., Kim, M., Kim, K., Choi, Y., Lee, S., ... & Chae, B. (2020). Biological evaluation of hot-melt extruded nano-selenium and the role of selenium on the expression profiles of selenium-dependent antioxidant enzymes in chickens. *Biological Trace Element Research*, 194, 536-544.
- Lei, X. (2017). Avian selenogenome: Response to dietary Se and protection against oxidative insults. *Poultry Science*, 96(E-supplement-1), 220.
- Lei, X. G., Cheng, W. H., & McClung, J. P. (2007). Metabolic regulation and function of glutathione peroxidase-1. *Annual Review of Nutrition*, 27(1), 41-61.
- Levander, O. A., DeLoach, D. P., Morris, V. C., & Moser, P. B. (1983). Platelet glutathione peroxidase activity as an index of selenium status in rats. *The Journal of Nutrition*, 113(1), 55-63.
- Li, J. L., & Sunde, R. A. (2016). Selenoprotein transcript level and enzyme activity as biomarkers for selenium status and selenium requirements of chickens (*Gallus gallus*). *PLoS One*, 11(4), e0152392.
- Li, K., Liu, J. Y., Fu, L., Zhao, Y. Y., Zhu, H., Zhang, Y. Y., ... & Bai, Y. H. (2020). Effect of bamboo shoot dietary fiber on gel properties, microstructure and water distribution of pork meat batters. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(7), 1180.
- Li, Y., Liu, J. X., Xiong, J. L., Wang, Y. M., Zhang, W. X., & Wang, D. M. (2019). Effect of hydroxyselenomethionine on lactation performance, blood profiles, and transfer efficiency in early-lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6167-6173.
- Li, Y., Zhang, W., Zhou, H., Zhu, J., & Pan, C. (2022). Effects of hydroxyselenomethionine with symmetrical and chelated chemical structure on lactation performances, anti-oxidative status and immunities, selenium transfer efficiencies for early-lactating dairy cows. *Symmetry*, 14(5), 916.
- Liang, L., Vladimir, F., Ge, J., Liu, C., & Xing, W. (2019). Highly active PtAu alloy surface towards selective formic acid electrooxidation *Journal of Energy Chemistry*, 37, 157-162.
- Liu, B., Jiang, J., Lin, G., Yu, D., & Xiong, Y. L. (2019). Upregulation of antioxidant enzymes by organic mineral co-factors to improve oxidative stability and quality attributes of muscle from laying hens. *Food Research International*, 125, 108575.

- Liu, Y. G., Geraert, P. A., & Briens, M. (2017). How to compare organic selenium sources. In *Proceedings of 28th Annual Australian Poultry Science Symposium*, Sydney, New South Wales (pp. 217-221).
- Liu, Y., Yin, S., Tang, J., Liu, Y., Jia, G., Liu, G., ... & Zhao, H. (2021). Hydroxy selenomethionine improves meat quality through optimal skeletal metabolism and functions of selenoproteins of pigs under chronic heat stress. *Antioxidants*, 10(10), 1558.
- Longnecker, M. P., Stram, D. O., Taylor, P. R., Levander, O. A., Howe, M., Veillon, C., ... & Willett, W. C. (1996). Use of selenium concentration in whole blood, serum, toenails, or urine as a surrogate measure of selenium intake. *Epidemiology*, 7(4), 384-390.
- Lu, J., & Holmgren, A. (2009). Selenoproteins. *Journal of Biological Chemistry*, 284(2), 723-727.
- Maggini, S., Wintergerst, E. S., Beveridge, S., & Hornig, D. H. (2007). Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. *British Journal of Nutrition*, 98(S1), S29-S35.
- Marciel, M. P., & Hoffmann, P. R. (2019). Molecular mechanisms by which selenoprotein K regulates immunity and cancer. *Biological Trace Element Research*, 192(1), 60-68.
- Mariezcurrana-Berasain, M. D., Mariezcurrana-Berasain, M. A., Lugo, J., Libien-Jiménez, Y., Pinzon-Martinez, D. L., Salem, A. Z. M., & García-Fabila, M. (2022). Effects of dietary supplementation with organic selenium-enriched yeast on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 54(1), 49.
- Martens, D. A., & Suarez, D. L. (1996). Selenium speciation of soil/sediment determined with sequential extractions and hydride generation atomic absorption spectrophotometry. *Environmental Science & Technology*, 31(1), 133-139.
- Matés, J. M., & Sánchez-Jiménez, F. (1999). Antioxidant enzymes and their implications in pathophysiologic processes. *Front Biosci*, 4(4), D339-D345.
- May, J. M., Mendiratta, S., Hill, K. E., & Burk, R. F. (1997). Reduction of dehydroascorbate to ascorbate by the selenoenzyme thioredoxin reductase. *Journal of Biological Chemistry*, 272(36), 22607-22610.
- May, J. M., Qu, Z. C., & Li, X. (2001). Requirement for GSH in recycling of ascorbic acid in endothelial cells. *Biochemical Pharmacology*, 62(7), 873-881.
- May, J. M., Qu, Z. C., Neel, D. R., & Li, X. (2003). Recycling of vitamin C from its oxidized forms by human endothelial cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1640(2-3), 153-161.
- Mehdi, Y., & Dufrasne, I. (2016). Selenium in cattle: a review. *Molecules*, 21(4), 545.
- Mehdi, Y., Hornick, J. L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 18(3), 3292-3311.
- Méplan, C., & Hesketh, J. (2012). The influence of selenium and selenoprotein gene variants on colorectal cancer risk. *Mutagenesis*, 27(2), 177-186.
- Meschy, F. (2010). *Nutrition Minérale des Ruminants* ; Editions Quae: Versailles, Fransa,

- Miezeliene, A., Alencikiene, G., Gruzauskas, R., & Barstys, T. (2011). The effect of dietary selenium supplementation on meat quality of broiler chickens. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(1), 61-69.
- Mikkelsen, R. L., A. L. Page, and F. T. Bingham. 1989. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In *Selenium in Agriculture and the Environment*. Soil Science Society of America Special Publication. 23:65–94.
- Mikulski, D., Jankowski, J., Zduńczyk, Z., Wróblewska, M., Sartowska, K., & Majewska, T. (2009). The effect of selenium source on performance, carcass traits, oxidative status of the organism, and meat quality of turkeys. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18(3), 518-530.
- Moeini, M. M., Karami, H., & Mikaeili, E. (2009). Effect of selenium and vitamin E supplementation during the late pregnancy on reproductive indices and milk production in heifers. *Animal reproduction science*, 114(1-3), 109-114.
- Muth, O. H., Oldfield, J. E., Remmert, L. F., & Schubert, J. R. (1958). Effects of selenium and vitamin E on white muscle disease. *Science*, 128(3331), 1090-1090.
- Nakamuro, K., Okuno, T., & Hasegawa, T. (2000). Metabolism of selenoamino acids and contribution of selenium methylation to their toxicity. *Journal of Health Science*, 46(6), 418-421.
- National Research Council (NRC), 1983. *Selenium in nutrition*. National Academic Press, Washington, DC, USA
- Netto, A. S., Zanetti, M. A., Del Claro, G. R., de Melo, M. P., Vilela, F. G., & Correa, L. B. (2014). Effects of copper and selenium supplementation on performance and lipid metabolism in confined brangus bulls. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(4), 488.
- Nishikimi, M., Fukuyama, R., Minoshima, S., Shimizu, N., & Yagi, K. (1994). Cloning and chromosomal mapping of the human nonfunctional gene for L-gulonono-gamma-lactone oxidase, the enzyme for L-ascorbic acid biosynthesis missing in man. *Journal of Biological Chemistry*, 269(18), 13685-13688.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* 7th ed National Academy Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council). (2005). Selenium. In: *Mineral tolerance of animals*, 2nd ed., pp. 321–347. National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council). (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. The National Academies Press. Washington, DC (USA)
- NRC. (1996). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition (Update 2000); National Academy Press: Washington, DC, USA.
- Nuttall, K. L. (2006). Evaluating selenium poisoning. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 36(4), 409-420.
- Oliveira, R. B., Oliveira, A. D. L., & Glória, M. B. A. (2008). Screening of lactic acid bacteria from vacuum packaged beef for antimicrobial activity. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 368-374.

- Oliveira, T. F. B., Rivera, D. F. R., Mesquita, F. R., Braga, H., Ramos, E. M., & Bertechini, A. G. (2014). Effect of different sources and levels of selenium on performance, meat quality, and tissue characteristics of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(1), 15-22.
- Palmieri, C., & Szarek, J. (2011). Effect of maternal selenium supplementation on pregnancy in humans and livestock. *J Elementol*, 16(1), 143-55.
- Papinaho, P. A., Ruusunen, M. H., Suuronen, T., & Fletcher, D. L. (1996). Relationship between muscle biochemical and meat quality properties of early deboned broiler breasts. *Journal of Applied Poultry Research*, 5(2), 126-133.
- Papp, L. V., Lu, J., Holmgren, A., & Khanna, K. K. (2007). From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. *Antioxidants & redox signaling*, 9(7), 775-806.
- Pecoraro, B. M., Leal, D. F., Frias-De-Diego, A., Browning, M., Odle, J., & Crisci, E. (2022). The health benefits of selenium in food animals: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 58.
- Pešut, O., Jovanović, I. B., Gvozdić, D., & Stojić, V. (2004). Selenium status of sheep and their lambs in the Northern Serbian Province of Vojvodina. *Acta Veterinaria-Beograd*, 54(5-6), 403-409.
- Phipps, R. H., Grandison, A. S., Jones, A. K., Juniper, D. T., Ramos-Morales, E., & Bertin, G. (2008). Selenium supplementation of lactating dairy cows: effects on milk production and total selenium content and speciation in blood, milk and cheese. *Animal*, 2(11), 1610-1618.
- Pipek, P., Haberl, A., & Jelenikova, J. (2003). Influence of slaughterhouse handling on the quality of beef carcasses. *Czech Journal of Animal Science*, 48(9), 371-378.
- Pušić, I., Ljubić, B. B., Lazarus, M. V., Radin, L., Janječić, Z., Bedeković, D., ... & Aladrović, J. (2018). Dietary organic selenium supplementations affect oxidative stability of chilled and frozen chicken meat. *Journal of Food & Nutrition Research*, 57(3).
- Qin, S., Gao, J., & Huang, K. (2007). Effects of different selenium sources on tissue selenium concentrations, blood GSH-Px activities and plasma interleukin levels in finishing lambs. *Biological Trace Element Research*, 116, 91-102.
- Rafai, P., Tuboly, S., Biró, H., Jakab, L., Papp, Z., & Molnar, L. (1989). Effect of selenium, vitamin E and riboflavin supplementation of the feed on the humoral and cell-mediated immune responses of growing pigs. *Acta Veterinaria Hungarica*, 37(3), 201-217.
- Rajashree, K., & Muthukumar, T. (2013). Preparation of selenium tolerant yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 3(3), 46-53.
- Rasmussen, A. J., & Andersson, M. (1996). New method for determination of drip loss in pork muscles. In *Proceedings of the 42nd international congress of meat science and technology*, Lillehammer, Norway (Vol. 42, p. 286287). Elsevier Applied Science.
- Rayman, M. P. (2008). Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. *British Journal of Nutrition*, 100(2), 254-268.

- Reffett, J. K., Spears, J. W., & Brown Jr, T. T. (1988). Effect of dietary selenium and vitamin E on the primary and secondary immune response in lambs challenged with parainfluenza3 virus. *Journal of Animal Science*, 66(6), 1520-1528.
- Roman, M. (2016). Selenium: Properties and Determination. *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier Ltd. Pages 734-743.
- Ross, P. Selenium in Nutrition [Internet]. 2001 [Erişim Tarihi 4 Ocak 2019]. Erişim adresi: http://ul.cs.cmu.edu/webRoot/Books/NationalAcademy_Press_Boo.../sele001.ht
- Rotruck, J. T., A. L. Pope, H. E. Ganther, A. B. Swanson, D. G. Hafeman, & Hoekstra. W. G. (1973). Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 179:588–590.
- Rutigliano, H. M., Lima, F. S., Cerri, R. L., Greco, L. F., Vilela, J. M., Magalhães, V., ... & Santos, J. E. (2008). Effects of method of presynchronization and source of selenium on uterine health and reproduction in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(9), 3323-3336.
- Saha, U. K. (2017). Selenium: a vital element in soil-pant-animal/human continuum. *Agricultural Science and Botany*, 1, 1-3.
- Sakr, Y., Reinhart, K., Bloos, F., Marx, G., Russwurm, S., Bauer, M., & Brunkhorst, F. (2007). Time course and relationship between plasma selenium concentrations, systemic inflammatory response, sepsis, and multiorgan failure. *British Journal of Anaesthesia*, 98(6), 775-784.
- Sazili, A. Q., Parr, T., Sensky, P. L., Jones, S. W., Bardsley, R. G., & Buttery, P. J. (2005). The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Science*, 69(1), 17-25.
- Schoenmakers, E., & Chatterjee, K. (2020). Human disorders affecting the selenocysteine incorporation pathway cause systemic selenoprotein deficiency. *Antioxidants & Redox Signaling*, 33(7), 481-497.
- Scholz, R. W., & Hutchinson, L. J. (1979). Distribution of glutathione peroxidase activity and selenium in the blood of dairy cows. *American Journal of Veterinary Research*, 40(2), 245-249.
- Schrauzer, G. N. (2000). Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *The Journal of Nutrition*, 130(7), 1653-1656.
- Schrauzer, G. N. (2003). The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Advances in Food and Nutrition Research*, 47(03), 73-112.
- Schrauzer, G. N. (2006). Selenium yeast: composition, quality, analysis, and safety. *Pure and Applied Chemistry*, 78(1), 105-109.
- Schrauzer, G. N., White, D. A., & Schneider, C. J. (1977). Cancer mortality correlation studies-III: statistical associations with dietary selenium intakes. *Bioinorganic Chemistry*, 7(1), 23-34.
- Schwarz, K. (1951). A hitherto unrecognized factor against dietary necrotic liver degeneration in American yeast (Factor 3). *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 78(3), 852-856.

- Schwarz, K., & Foltz, C. M. (1957). Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*, 79(12), 3292-3293.
- Shrimali, R. K., Irons, R. D., Carlson, B. A., Sano, Y., Gladyshev, V. N., Park, J. M., & Hatfield, D. L. (2008). Selenoproteins mediate T cell immunity through an antioxidant mechanism. *Journal of Biological Chemistry*, 283(29), 20181-20185.
- Silva, J. D. S., Rodriguez, F. D., Trettel, M., Abal, R. T., Lima, C. G. D., Yoshikawa, C. Y. C., & Zanetti, M. A. (2020). Performance, carcass characteristics and meat quality of Nellore cattle supplemented with supranutritional doses of sodium selenite or selenium-enriched yeast. *Animal*, 14(1), 215-222.
- Simon, E., Ballet, N., Francesch, M., & Brufau, J. (2013). Comparison between the dietary supplementation of sodium selenite and Selenium-yeast on meat Se accumulation in broiler. *World's Poultry Science Journal*, 69, 1-5.
- Smith HA, Jones TC, Hunt RD (1972). *Veterinary Pathology*. 4th edn. Lea and Febiger, Philadelphia, USA.
- Smith, B. I., Donovan, G. A., & Rae, D. O. (1999). Selenium toxicosis in a flock of Katahdin hair sheep. *The Canadian Veterinary Journal*, 40(3), 192.
- Spears, J. W. (2003). Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of Nutrition*, 133(5), 1506S-1509S.
- Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2008). Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal*, 176(1), 70-76.
- Subramanian, K. S. (1995). Storage and preservation of blood and urine for trace element analysis: a review. *Biological Trace Element Research*, 49, 187-210.
- Sun, H., Zhao, L., Xu, Z. J., De Marco, M., Briens, M., Yan, X. H., & Sun, L. H. (2021). Hydroxy-selenomethionine improves the selenium status and helps to maintain broiler performances under a high stocking density and heat stress conditions through a better redox and immune response. *Antioxidants*, 10(10), 1542.
- Sun, L. L., Gao, S. T., Wang, K., Xu, J. C., Sanz-Fernández, M. V., Baumgard, L. H., & Bu, D. P. (2019). Effects of source on bioavailability of selenium, antioxidant status, and performance in lactating dairy cows during oxidative stress-inducing conditions. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 311-319.
- Sun, P., Wang, J., Liu, W., Bu, D. P., Liu, S. J., & Zhang, K. Z. (2017). Hydroxy-selenomethionine: A novel organic selenium source that improves antioxidant status and selenium concentrations in milk and plasma of mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9602-9610.
- Sun, Q. A., Kirnarsky, L., Sherman, S., & Gladyshev, V. N. (2001). Selenoprotein oxidoreductase with specificity for thioredoxin and glutathione systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(7), 3673-3678.
- Surai PF. (2006). *Selenium in Nutrition and Health*. Nottingham University Press, Nottingham.
- Surai, P. F., & Fisinin, V. I. (2014). Selenium in poultry breeder nutrition: An update. *Animal Feed Science and Technology*. 191: 1-15.

- Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Velichko, O. A. (2018). Selenium in poultry nutrition: From sodium selenite to organic selenium sources. *The Journal of Poultry Science*, 55(2), 79-93.
- Surai, P.F. (2000). Organic selenium: benefits to animals and humans, a biochemist's view. In: *Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's 16th Annual Symposium*. T.P. Lyons and K.A. Jacques (eds). Nottingham University Press, Nottingham. pp. 205-260.
- Suttle, N. F., & Jones, D. G. (2007). *Micronutrient imbalance*. 4th Edu. UK., Blackwell Publishing, Oxford. Pp, 377-392.
- Suttle, N.F. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th ed.; British Library: London, UK,
- Suzuki, K. T. (2005). Metabolomics of selenium: Se metabolites based on speciation studies. *Journal of Health Science*, 51(2), 107-114.
- Suzuki, K. T., & Ogra, Y. (2002). Metabolic pathway for selenium in the body: speciation by HPLC-ICP MS with enriched Se. *Food Additives & Contaminants*, 19(10), 974-983.
- Symonds, H. W., Mather, D. L., & Vagg, M. J. (1981a). The excretion of selenium in bile and urine of steers: the influence of form and amount of Se salt. *British Journal of Nutrition*, 46(3), 487-493.
- Symonds, H. W., Sansom, B. F., Mather, D. L., & Vagg, M. J. (1981b). Selenium metabolism in the dairy cow: the influence of the liver and the effect of the form of Se salt. *British Journal of Nutrition*, 45(1), 117-125..
- Tamura, T., Gladyshev, V., Liu, S. Y., & Stadtman, T. C. (1995). The mutual sparing effects of selenium and vitamin E in animal nutrition may be further explained by the discovery that mammalian thioredoxin reductase is a selenoenzyme. *Biofactors* (Oxford, England), 5(2), 99-102.
- Tang, J. Y., He, Z., Liu, Y. G., Jia, G., Liu, G. M., Chen, X. L., ... & Zhao, H. (2021). Effect of supplementing hydroxy selenomethionine on meat quality of yellow feather broiler. *Poultry Science*, 100(10), 101389.
- Thiry, C., Ruttens, A., Pussemier, L., & Schneider, Y. J. (2013). An in vitro investigation of species-dependent intestinal transport of selenium and the impact of this process on selenium bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 109(12), 2126-2134.
- Thompson, K. G., Ellison, R. S., & Clark, R. G. (1991). Monitoring selenium status-what test should we use?. *New Zealand Veterinary Journal*, 39:152-154.
- Thompson, K. G., Fraser, A. J., Harrop, B. M., & Kirk, J. A. (1980). Glutathione peroxidase activity in bovine serum and erythrocytes in relation to selenium concentrations of blood, serum and liver. *Research in veterinary science*, 28(3), 321-324.
- Tian, X. Z., Li, J. X., Luo, Q. Y., Wang, X., Xiao, M. M., Zhou, D., ... & Chen, X. (2022). Effect of supplementation with selenium-yeast on muscle antioxidant activity, meat quality, fatty acids and amino acids in goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 813672.
- Tinggi, U. (2003). Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicology letters*, 137(1-2), 103-110.

- Tórtora-Pérez, J. L. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89(2-3), 185-192.
- Tufarelli, V., Ceci, E., & Laudadio, V. (2016). 2-Hydroxy-4-methylselenobutanoic acid as new organic selenium dietary supplement to produce selenium-enriched eggs. *Biological Trace Element Research*, 171, 453-458.
- United States Food and Drug Administration. Code of Federal Regulations Title 21. Food Additives Permitted in Feed and Drinking Water of Animals, sec. 573.920. 2022. <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-E/part-573/subpart-B/section-573.920>. Accessed 18 Nov 2021.
- Ursini, F., Heim, S., Kiess, M., Maiorino, M., Roveri, A., Wissing, J., & Flohé, L. (1999). Dual function of the selenoprotein PHGPx during sperm maturation. *Science*, 285(5432), 1393-1396.
- USEPA (2014) Ecotox User Guide: Ecotoxicology Database System, Version 4.0. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ecotox/>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-97.
- Vieira, S. L., Teixeira, V. D. Q., Simões, C. T., Soster, P., Kindlein, L., & Stefanello, C. (2022). Broiler meat production as affected by dietary supplemental hydroxy-selenomethionine. *Livestock Science*, 259, 104912.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone, G., Giammarco, M., Tassinari, M., Martelli, G., & Bertin, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*, 81(4), 678-685.
- Villarroel, M., Maria, G. A., Sañudo, C., Olleta, J. L., & Gebresenbet, G. (2003). Effect of transport time on sensorial aspects of beef meat quality. *Meat Science*, 63(3), 353-357.
- Wei, C., Lin, X., Zhang, Y., Wan, X., Wu, H., He, T., ... & Wang, C. (2021). Effects of inorganic and organic selenium sources on the growth performance of broilers in China: a meta-analysis. *Open Life Sciences*, 16(1), 31-38.
- Wei, J. Y., Wang, J., Liu, W., Zhang, K. Z., & Sun, P. (2019). Effects of different selenium supplements on rumen fermentation and apparent nutrient and selenium digestibility of mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3131-3135.
- Weiss WP (2003) Selenium nutrition of dairy cows: comparing responses to organic and inorganic selenium forms. In: *Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries. Proceedings of Alltech's 19th Annual Symposium*. Nottingham University Press. Nottingham. pp 333-343.
- Weiss, W.P. (2005). Selenium sources for dairy cattle. *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference*, Ft. Wayne, IN. The Ohio State Univ, Columbus, pp. 61-72.
- Whanger, P. D., Weswig, P. H., & Muth, O. H. (1968). Metabolism of ⁷⁵Se-selenite and ⁷⁵Se-selenomethionine by rumen microorganisms. In *Fed. Proc* 27, 418.
- Whanger, P., Vendeland, S., Park, Y. C., & Xia, Y. (1996). Metabolism of subtoxic levels of selenium in animals and humans. *Annals of Clinical & Laboratory Science*, 26(2), 99-113.

- Wilson, T. M., Scholz, R. W., & Drake, T. R. (1983). Selenium toxicity and porcine focal symmetrical poliomyelomalacia: description of a field outbreak and experimental reproduction. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 47(4), 412.
- Wolffram, S. (1999). Absorption and metabolism of selenium: differences between inorganic and organic sources. P.T. Lyons, K.A. Jacques (Eds.), *Proc. 15th Alltech Annual Symp., Biotechnology in the Feed Industry*, Nottingham University Press, Nottingham (1999), pp. 547-566.
- World Health Organization. (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition. http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123_chap10.pdf.
- Xue, J., Fang, C., Mu, R., Zhuo, R., Xiao, Y., Qing, Y., ... & Fang, R. (2022). Potential mechanism and effects of different selenium sources and different effective microorganism supplementation levels on growth performance, meat quality, and muscle fiber characteristics of three-yellow chickens. *Frontiers in Nutrition*, 9, 869540.
- Yang, D. Y., Chang, C. J., Peh, H. C., & Chen, M. T. (2004). Anti-peroxidation effects of vitamin E on low density lipoprotein and milk fat globule membrane of lactating goats: in vivo versus metal ion challenge in vitro. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 139(1), 11-20.
- Yasin, M., El-Mehdawi, A. F., Anwar, A., Pilon-Smits, E. A., & Faisal, M. (2015). Microbial-enhanced selenium and iron biofortification of wheat (*Triticum aestivum* L.)-applications in phytoremediation and biofortification. *International Journal of Phytoremediation*, 17(4), 341-347.
- Zachara, B., Gromadzińska, J., Wąsowicz, W., & Zbróg, Z. (2006). Red blood cell and plasma glutathione peroxidase activities and selenium concentration in patients with chronic kidney disease: a review. *Acta Biochimica Polonica*, 53(4), 663-677.
- Zagrodzki, P. (2004). Selen a układ odpornościowy [Selenium and the immune system]. *Postępy Hig. Med. Dośw*, 58, 140-149.
- Zarczynska K, Sobiech P, Radwinska J, Rekawek W (2013). Effects of selenium on animal health. *Journal of Elementology*, 18(2).
- Zeng, H. L., Zhang, B., Wang, X., Yang, Q., & Cheng, L. (2021). Urinary trace elements in association with disease severity and outcome in patients with COVID-19. *Environmental Research*, 194, 110670.
- Zhang, Y., Holman, B. W., Mao, Y., Chen, X., Luo, X., Hopkins, D. L., & Zhang, Y. (2021). Determination of a pH threshold for dark cutting beef based on visual evaluation by Asian consumers. *Meat Science*, 172, 108347.
- Zhao, L., Sun, L. H., Huang, J. Q., Briens, M., Qi, D. S., Xu, S. W., & Lei, X. G. (2017). A novel organic selenium compound exerts unique regulation of selenium speciation, selenogenome, and selenoproteins in broiler chicks. *The Journal of Nutrition*, 147(5), 789-797.
- Zhao, X., Xin, K., Sun, L., Qin, S., Liu, W., Ren, C., & Tang, D. (2023). Effects of increasing dietary sodium selenite and selenium yeast levels on growth performance, meat quality and muscle anti-oxidative capacity of broilers. *Food Science and Technology*, 43, e109822.

- Zhao, Y. W., Tang, J. Y., Jia, G., Tian, G., Liu, G. M., Chen, X. L., ... & Zhao, H. (2021). Effects of different selenium sources on growth performance, serum and muscle selenium contents, antioxidant capacity and meat quality of broilers. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 33(4), 2024-2032.
- Zhou, X., & Wang, Y. J. P. S. (2011). Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*, 90(3), 680-686.
- Zorzetto, P. S., Araújo, C. S. D. S., Araújo, L. F., Roque, F. D. A., Granghelli, C. A., Leite, B. G. D. S., ... & Surai, P. F. (2021). Replacing dietary sodium selenite with a lower level of hydroxy-selenomethionine improves the performance of broiler breeders and their progeny. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 1749-1758.



EKLER

Ek-1 Etik Kurul İzni



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu

Sayı : E-68489742-604.02.03-273404
Konu : Hadyek izni hk

DOÇ.DR.HABİP MURUZ
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ

Sahipli Hayvanlar üzerinde Araştırma amaçlı çalışma yapmak üzere başvuran Doç. Dr. Habip MURUZ'ın 2022/31 Kabul nolu "Rasyonun Hidroksi-Selenometiyonin Düzeyinin Kuzularda Büyüme Performansı, Et Kalitesi, Doku Selenyum İçeriği ve Glutatyon Peroksidaz Aktivitesi Üzerine Etkisi" başlıklı projesi 23.06.2022 tarihli Kurul toplantısında OMU- HADYEK'in yönergesi kapsamında değerlendirilmiş ve Hayvan Hakları ve Deney Etik İlkelerine Uygun bulunmuştur. Karar onayı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ
HADYEK Başkanı

Eki: ETİK KURUL KARARI 2022-31 H. MURUZ

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : 85E6-66Y3-0EN7 Belge Doğrulama Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/ondokuz-mayis-universitesi-ebys>

Adres: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Rektörlüğü

Telefon No : 0362 312 19 19

e-Posta : omu@omu.edu.tr

Fax No : 0362 457 60 91

İnternet Adresi : <http://www.omu.edu.tr/>

Bilgi İçin : Hayriye ÇELİK

Veri Giriş Personeli

Telefon No:



ÖZ GEÇMİŞ

Nuri ALKAN, Almus Çok Programlı Lisesi'ni bitirdikten sonra Erzurum Atatürk Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi'nden 27.06.2012 tarihinde mezun oldu. 07.02.2020 yılında OMÜ Veterinerlik Fakültesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı doktora programına başladı. Mezuniyetinden bu yana Veteriner Hekim olarak görev yapan Nuri ALKAN, orta derecede İngilizce bilmektedir (YDS :57,5). 21.01.2025

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0008-8526-4465

Yayınlar:

- 1. Alkan N.,** Muruz H. (2024). Ruminant Etinin Fonksiyonel Yağ Asitleri İçeriğini İyileştiren Besleme Yaklaşımları. Balkan 12th International Conference On Applied Sciences, Skopje, Makedonya, 1 - 03 Kasım 2024, ss.361-370.
- 2. Alkan N.,** Muruz H. (2024). Çiftlik Hayvanları için Selenyum Katkılarının Değerlendirilmesi. Balkan 12th International Conference On Applied Sciences, Skopje, Makedonya, 1 - 03 Kasım 2024, ss.354-360.