



**BROYLER KÜMESLERİNDE KULLANILMIŞ ALTLIĞA
ÇEŞİTLİ KATKI MADDELERİ İLAVESİ İLE AMONYAK
(NH₃) EMİSYONUNUN AZALTILMASI**

Büşra YAYLI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BROYLER KÜMESLERİNDE KULLANILMIŞ ALTLIĞA ÇEŞİTLİ KATKI
MADDELERİ İLAVESİ İLE AMONYAK (NH₃) EMİSYONUNUN
AZALTILMASI**

Büşra YAYLI
0000-0002-0198-3550

Prof. Dr. İlker KILIÇ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

BROYLER KÜMESLERİNDE KULLANILMIŞ ALTLIĞA ÇEŞİTLİ KATKI MADDELERİ İLAVESİ İLE AMONYAK (NH_3) EMİSYONUNUN AZALTILMASI

Büşra YAYLI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker KILIÇ

Çalışmanın amacı, kullanılmış tavuk altlığında farklı katkı maddelerinin NH_3 arıtma verimliliğinin değerlendirilmesi ve yüksek arıtma verimliliğine sahip olan maddenin uygun dozajının belirlenmesidir. Çalışma, I. deneme ve II. deneme olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Her denemede üç farklı sürü altlık materyali kullanılmıştır. I. denemede alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (D₁), klinoptilolit zeoliti (D₂), sodyum bisülfat (NaHSO_4) (D₃) ve magnezyum sülfat (MgSO_4) (D₄) uygulanmıştır. Katkı maddeleri altlıkta %40 ile %88 oranında NH_3 arıtımını sağlamıştır. Katkı maddelerinin I. denemede ortalama NH_3 arıtım verimlilikleri sırasıyla D₁, D₂, D₃, D₄ için %52,1, %43,2, %76,7 ve %49,0'dur. Deneme grupları arasında istatistiksel olarak $P < 0,05$ düzeyinde önemli farklılıklar bulunmuştur. Arıtım verimliliğinde en yüksek performansı gösteren grup D₃ olmuştur. II. denemede katkı maddesi olarak NH_3 arıtım verimliliğinin yüksek olması nedeniyle sodyum bisülfat seçilmiştir. NaHSO_4 'ün farklı dozajlama oranlarının uygulandığı II. denemede, %0 (kontrol) %2,5, %5, %7,5 ve %10 (sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 g/kg altlık) NH_3 arıtım verimlilikleri izlenmiştir. Buna göre %2,5, %5, %7,5 ve %10 dozajları için sırasıyla %45,4, %75,9, %95,0 ve %89,2 NH_3 arıtımını sağlamıştır. Her sürünün altlık materyalinde %7,5 ve %10 dozaj grupları daha düşük NH_3 konsantrasyon değerleri göstermiştir. Ancak %7,5 grubunda bir kırılma gerçekleşmiş, %10 dozaj grubunda ise NH_3 konsantrasyonunda artış başladığı saptanmıştır. NH_3 konsantrasyonunun en düşük ve arıtım verimliliğinin en yüksek olduğu dozaj oranı %7,5 dozaj grubu olmuştur. Ayrıca, %7,5 grubunda altlıkta NH_4^+ -N içeriğinin yüksek oranda tutulmasıyla gübre değerini arttırdığı söylenebilir. NH_3 arıtım verimliliğinin tahminlenmesi için 4 farklı modelde yapay sinir ağı geliştirilmiştir. En başarılı performansı en yüksek regresyon (0,9888) ve en düşük MSE (0,0033) değerleri ile Levenberg Marquardt algoritmasında 14 nöron sayısı için elde edilmiştir. Tüm algoritmalarda NH_3 arıtımını için başarılı tahminler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Altlık arıtımı, amonyak, arıtım verimliliği, azaltma tekniği, etlik piliç, sürdürülebilir tarım

2024, xix + 131 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

REDUCING AMMONIA (NH₃) EMISSION BY ADDING VARIOUS ADDITIVES TO LITTER USED IN BROILER HOUSES

Busra YAYLI

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ilker KILIC

The aim of the study is to evaluate the NH₃ treatment efficiency of different additives in used broiler litter and to determine the most optimum dosage of the additive with high treatment efficiency. The study was carried out in two phases: I. Trial and II. Trial. Three different flock litter materials were used in each trial. Aluminum sulfate (Al₂(SO₄)₃) (D₁), clinoptilolite zeolite (D₂), sodium bisulfate (NaHSO₄) (D₃) and magnesium sulfate (MgSO₄) (D₄) were applied on litter in the I. trial. The additives treated NH₃ in the litter with from 40% to 88% treatment rate. The average NH₃ treatment efficiencies of the additives in the I. trials were 52,1%, 43,2%, 76,7% and 49,0% for D₁, D₂, D₃, D₄, respectively. Statistically significant differences were found between the treatment groups at the P<0,05 level of significant. The group that showed the highest performance in treatment efficiency was D₃. In the II. trial, sodium bisulfate was selected as an additive because of its high NH₃ treatment efficiency. In the II. Trial where different dosing regime of sodium bisulphate were applied, NH₃ treatment efficiency of 0% (control), 2,5%, 5%, 7,5% and 10% (5, 10, 15 and 20 g/kg litter, respectively) were monitored. Accordingly, NH₃ treatment was achieved by 45,4%, 75,9%, 95,0% and 89,2% for 2,5%, 5%, 7,5% and 10% treatment regimens, respectively. For each flock, 7,5% and 10% treatment regimens showed lower NH₃ concentration values. However, a break point on treatment efficiency occurred in the 7,5% group and an increase in NH₃ concentration was observed in the 10% dosage group. The dosage rate with the lowest NH₃ concentration and the highest treatment efficiency was the 7,5% dosage group. In addition, it can be said that the 7,5% dosage group increased the fertilizer value by keeping the NH₄⁺-N content in the litter at the highest level. Artificial neural networks were developed in 4 different models to estimate NH₃ treatment efficiency. The best performance was obtained for the Levenberg Marquardt algorithm with the highest regression (R=0,9888) and lowest Mean Squared Error (MSE=0,0033) values for the number of neurons 14. successful predictions for NH₃ removal were made in all algorithms.

Key words: Litter treatment, ammonia, treatment efficiency, mitigation technique, broiler, sustainable agriculture

2024, xix + 131 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı doktora çalışmasıdır. Kullanılmış et tavuğu altlığında farklı katkı maddelerin uygulanmasıyla NH₃ arıtım verimliliği ve altlığın karakterizasyonu üzerinde etkileri, en verimli katkı maddesinin ve en uygun dozajın belirlenmesi konulu bir araştırma çalışmasıdır. Bu tez çalışması Bursa Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımsal Hava Kalitesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasını TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında 123O378 numarası ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan, bilgi ve tecrübesiyle beni en iyi şekilde yönlendiren, çalışmaktan keyif aldığım ve desteğini her zaman hissettiğim başta sayın danışman hocam Prof. Dr. İlker KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesinde yer alan, değerli katkılarıyla tezimin geliştirilmesinde tecrübe ve bilgi birikimleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Sabahattin Sıddık CİNDORUK ve Prof. Dr. Bülent Barış AŞIK'a, ayrıca tez jüri üyeleri Prof. Dr. Hakan KİBAR ve Doç. Dr. Sedat BOYACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında materyal temininde destek sağlayan Prof. Dr. Serdal DİKMEN'e ve HASTAVUK AR-GE merkezi direktörü Kıvılcım ATEŞ'e, zaman zaman bilgisine ve tecrübelerine danıştığım Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca desteğini ve yardımını esirgemeyen başta Araş. Gör. Özüm ÖZOĞLU ve doktora öğrencisi Umut KILIÇ olmak üzere tüm hocalarım ve değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, hayatım boyunca beni daima destekleyen, her zaman, her koşulda yanımda olan ve daima yanımda olacağını bildiğim sevgili annem Kadriye YAYLI, babam Turhan YAYLI, ablam Merve YAYLI, kardeşlerim Elif UYSAL, Fatma Beyda YAYLI ve Zeynep YAYLI'ya sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Büşra YAYLI
06/12/2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....	xii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Kanatlı Sektöründen Ortaya Çıkan NH ₃ Gazının Etkileri.....	7
2.1.1. Çevre üzerine etkileri.....	7
2.1.2. Tavuklar üzerine etkileri.....	10
2.1.3. İnsan sağlığı üzerine etkileri.....	12
2.2. Dünya'daki ve Türkiye'deki Amonyak Maruziyeti ile ilgili Yasal Düzenlemeler..	13
2.3. NH ₃ Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....	16
2.3.1. Altlık materyali.....	17
2.3.2. Havalandırma sistemi.....	19
2.3.3. Gübre yönetimi.....	21
2.3.4. Yem rasyonu.....	21
2.3.5. İç ortam iklimsel çevre koşulları.....	22
2.3.6. Yetiştirme sistemi ve sürü yönetimi.....	23
2.4. NH ₃ Emisyonu Arıtım Teknikleri.....	24
2.5. Kümeslerde NH ₃ Uçuculuğunun Azaltılmasında Kullanılan Bazı Katkı Maddelerinin Özellikleri.....	26
2.5.1. Zeolitler.....	27
2.5.2. Biyokömür (biyoçar).....	30
2.5.3. Asidik karakterli tuzlar.....	34
2.6. Tavukçuluk Sektöründe NH ₃ Gazına Yönelik Adsorban Maddeleriyle ilgili Yapılmış Çalışmalar.....	37
2.7. Yapay Sinir Ağı (YSA) Yaklaşımı.....	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
3.1. I. Deneme (Kimyasal Katkı Maddelerinin Etkinliğinin Belirlenmesi).....	50
3.2. II. Deneme (Uygulama Düzeylerinin Belirlenmesi).....	53
3.2.1. II. deneme altlık azot tayin analizleri.....	56
3.2.2. Mikrobiyal analiz.....	57
3.2.3. Yapay sinir ağları ile NH ₃ arıtımını tahminleme.....	58
3.3. İstatistik Analizi.....	60
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	62
4.1. I. Denemedeki Farklı Katkı Maddelerinin NH ₃ Arıtım Performansı ve Altlık Özelliklerine Etkileri.....	62
4.1.1. I. denemenin NH ₃ konsantrasyon değerleri ve NH ₃ arıtım seviyeleri.....	62
4.1.2. I. denemede katkı maddesi uygulanan altlıkların özellikleri.....	73
4.1.3. Seçilen altlık katkı maddelerinin fayda-maliyet oranı.....	78
4.1.4. NH ₃ konsantrasyonunun arıtımında en etkili maddenin seçimi.....	79
4.2. II. Denemede Sodyum Bisülfatın NH ₃ Performansı ve Altlık Karakteristiği.....	80
4.2.1. II. denemede NH ₃ konsantrasyon değerleri ve NH ₃ arıtım seviyeleri.....	80

4.2.2. NH ₃ arıtım verimliliğinin pH ve nem ile ilişkisi.....	88
4.2.3. Dozaj gruplarında NH ₃ arıtım verimliliğinin diğer özelliklerle ilişkisi	93
4.2.4. Dozaj gruplarının altlığın karakteristik özelliklerine etkisi.....	96
4.2.5. Dozaj gruplarına göre altlık ağır metal içeriği.....	102
4.2.6. Dozaj gruplarına göre altlıklarda muhtemel toplam fekal <i>Koliform</i> bakteri ve <i>Escherichia Coli</i> sayımı.....	105
4.2.7. Yapay sinir ağları ile NH ₃ arıtım verimliliği tahmini.....	107
5. SONUÇ.....	114
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	132



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al ⁺³	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Al ₂ (SO ₄) ₃	Alüminyum sülfat
BZ	Bazalt zeoliti
°C	Santigrat derece
Cd	Kadmiyum
CH ₂ O	Formaldehit
C ₅ H ₄ O ₃ N ₄	Ürik asit
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
CO(NH ₂) ₂	Üre
cm	Santimetre
Cr	Krom
Cu	Bakır
CZ	Küba zeoliti
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
GHG	Sera gazı
H ⁺	Hidrojen
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen sülfür
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit
KCl	Potasyum klorür
kg	Kilogram
KOB	Koloni oluşturan birim
L	Litre
lbs	Libre
mg	Miligram
Mg	Megagram
Mg(OH) ₂	Magnezyum Hidroksit
MgSO ₄	Magnezyum Sülfat
Mn	Mangan
mS	MiliSiemens
Mt	Megaton
N	Azot
Na	Sodyum
N ₂ O	Dizot monoksit
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
NH ₄ Cl	Amonyum klorür
NH ₄ NO ₃	Amonyum nitrat

(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonyum sülfat
Ni	Nikel
NMVOCs	Metan içermeyen uçucu organik bileşikler
NO	Azot oksit
NO ₂	Nitrit
NO ₃	Nitrat
O ₂	Oksijen
OH	Hidroksit
P	Fosfor
Pb	Kurşun
Pg	Petagram
ppm	Milyonda bir
PM	Partikül madde
rpm	Dakikadaki devir sayısı
Si ⁺⁴	Silisyum
SiO ₂	Silisyum dioksit
SO ₄ ⁻²	Sülfat
TAN	Toplam amonyak azotu
TL	Türk lirası
TSP	Toplam askıda madde
Zn	Çinko

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACC	Temiz Hava Yönetmeliği
ACGIH	Amerikan Kamu ve Endüstri Hijyenistleri Odası
CAFO	Yoğun Hayvan Yetiştirme Sistemi
CERCLA	Geniş Kapsamlı Çevresel Sorumluluk, Tazmin ve Taahhüt Yönetmeliği
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
EC	Elektriksel iletkenlik
EIA	Çevresel Etki Değerlendirmesi
EPA	Çevre Koruma Ajansı
EPCRA	Acil Durum Planlama ve Toplumun Bilme Hakkı Yönetmeliği
HSD	Tukey'in Dürüst Anlamlı Farklılığı
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
MAPE	Ortalama Hataların Mutlak Yüzdesi
MSE	Ortalama Hataların Karesi
NCP	Ulusal Petrol ve Tehlikeli Maddeler Kirliliği Acil Durum Planı
NIOSH	Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü
OSHA	İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi
PLT	Kümes Hayvanı Altlık Arıtımı
RMSE	Ortalama Hataların Karesinin Karekökü
TDS	Toplam çözünmüş katı madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Azot döngüsü	9
Şekil 2.2.	Amonyak ve amonyum ilişkisinde pH'nın etkisi	19
Şekil 2.3	a)Zeolitin kristal yapısının görünümü b)Zeolitin tetrahedral yapısının görünümü c)Zeolitin atomik yapısının görünümü	29
Şekil 2.4.	Biyokütlenin termokimyasal dönüşümleri	31
Şekil 2.5.	Yapay sinir ağı hücresi	44
Şekil 2.6.	Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli	45
Şekil 3.1.	Çalışmada altlık temin edilen kümes taban planı	49
Şekil 3.2.	I. denemede kullanılan katkı maddeleri	50
Şekil 3.3.	I. deneme sistemine ait görseller	51
Şekil 3.4.	II. deneme uygulama dozajları	53
Şekil 3.5.	II. deneme sistemine ait üstten (a) ve perspektif (b) görüntüleri	54
Şekil 3.6.	II. deneme sistemine ait fotoğraflar	55
Şekil 3.7.	Hedeflenen NH ₃ arıtım verimliliği tahminlenmesi için gizli katmanlı YSA mimarisi	59
Şekil 4.1.	I. deneme kontrol ve deneme gruplarının kümülatif NH ₃ konsantrasyonları	65
Şekil 4.2.	I. denemenin gruplara göre ortalama NH ₃ konsantrasyon değerleri	66
Şekil 4.3.	I. denemede gruplara göre ortalama NH ₃ arıtım verimlilikleri	71
Şekil 4.4.	Kontrol ve deneme gruplarının pH seviyeleri	74
Şekil 4.5	Kontrol ve deneme gruplarının altlık nem içerikleri	75
Şekil 4.6.	Kontrol ve deneme gruplarının altlık elektriksel iletkenlik değerleri	76
Şekil 4.7.	Kontrol ve deneme gruplarının altlık sıcaklığı	76
Şekil 4.8.	Kontrol ve deneme gruplarının toplam çözünmüş katı madde değerleri	77
Şekil 4.9.	Dozaj gruplarının kümülatif NH ₃ konsantrasyonları	82
Şekil 4.10.	Dozaj gruplarının ortalama NH ₃ konsantrasyonları	84
Şekil 4.11.	Dozaj gruplarının ortalama NH ₃ arıtım verimlilikleri	84
Şekil 4.12.	Sodyum bisülfatın uygulanmasına karşı NH ₃ arıtım verimliliği	86
Şekil 4.13.	pH değeri ile NH ₃ arıtım verimliliği arasındaki ilişkisi	92
Şekil 4.14.	NH ₄ -N'un dozaj oranı ve NH ₃ arıtım verimliliği ile ilişkisi	98
Şekil 4.15.	Toplam N ve dozaj grupları arasındaki ilişkisi	100
Şekil 4.16.	NH ₄ -N'un NO ₃ ve NO ₂ azotu ile ilişkisi	101
Şekil 4.17.	a) UV lamba altında kolonilerin ışımaya verme durumları b) İnkübasyon sonucu spesifik fekal koliform bakteri koloni oluşumu	105
Şekil 4.18.	İki katmanlı ileri beslemeli eğitim algortimasının 6 değişken için yapay sinir ağı modeli	108
Şekil 4.19.	Levenberg Marquardt modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri	110
Şekil 4.20.	Fletcher-Reeves modeline göre performansın en yüksek	111

Şekil 4.21.	olduğu regresyon grafikleri Scaled Conjugate Gradient modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri	112
Şekil 4.22.	Bayesian modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri	113
Şekil 4.23.	NH ₃ arıtımı için en iyi YSA modeline ait performans grafiği ve hata histogramı	113



ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Piroliz türleri ve özellikleri	32
Çizelge 3.1.	Çalışmada temin edilen altlığa ait kümes özellikleri	48
Çizelge 4.1.	I. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	62
Çizelge 4.2.	II. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	63
Çizelge 4.3.	III. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	64
Çizelge 4.4.	I. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	67
Çizelge 4.5.	II. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	67
Çizelge 4.6.	III. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	67
Çizelge 4.7.	I. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH ₃ artım verimliliği	68
Çizelge 4.8.	II. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH ₃ artım verimliliği	68
Çizelge 4.9.	III. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH ₃ artım verimliliği	69
Çizelge 4.10.	I. denemedeki grupların NH ₃ konsantrasyon ve artım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar	70
Çizelge 4.11.	I. denemedeki sürülerin NH ₃ konsantrasyon ve artım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar	70
Çizelge 4.12.	Kümes hayvanlarına ilişkin yapılmış literatür çalışmalarına ait farklı katkı maddelerinin amonyak artım düzeyleri	73
Çizelge 4.13.	Kontrol ve deneme gruplarının altlık özellikleri	74
Çizelge 4.14.	Deneme gruplarının özellikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar	77
Çizelge 4.15.	Kullanılan katkı maddelerinin birim maliyetleri	78
Çizelge 4.16.	Altlık materyalinin ait olduğu kümese I. deneme uygulaması senaryosu	79
Çizelge 4.17.	Birinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	80
Çizelge 4.18.	İkinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	81
Çizelge 4.19.	Üçüncü sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ konsantrasyonları	81
Çizelge 4.20.	Birinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ artım verimlilikleri	82
Çizelge 4.21.	İkinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ artım verimlilikleri	83
Çizelge 4.22.	Üçüncü sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH ₃ artım verimlilikleri	83

Çizelge 4.23.	Birinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	86
Çizelge 4.24.	İkinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	87
Çizelge 4.25.	Üçüncü sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ konsantrasyonları	87
Çizelge 4.26.	Birinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ arıtım verimlilikleri	87
Çizelge 4.27.	İkinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ arıtım verimlilikleri	87
Çizelge 4.28.	Üçüncü sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH ₃ arıtım verimlilikleri	88
Çizelge 4.29.	Dozaj gruplarının NH ₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar	88
Çizelge 4.30.	II. denemedeki sürülere göre NH ₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar	88
Çizelge 4.31.	II. deneme altlık nem içerikleri	89
Çizelge 4.32.	II. deneme altlık pH değerleri	91
Çizelge 4.33.	Farklı dozajların altlık özelliklerine etkisi	93
Çizelge 4.34.	Altlık özelliklerinin dozaj grupları arasındaki istatistiksel farklılığı	95
Çizelge 4.35.	Altlık özelliklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı	96
Çizelge 4.36.	NaHSO ₄ uygulamasının farklı dozajlarına göre altlığın karakteristikleri	97
Çizelge 4.37.	Altlık azot içeriklerinin dozaj grupları arasındaki istatistiksel farklılığı	98
Çizelge 4.38.	Altlık azot içeriklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı	99
Çizelge 4.39.	Dozajlara göre ortalama ağır metal değişimi	102
Çizelge 4.40.	Dozaj gruplarına göre ağır metal içerikleri arasındaki istatistiksel farklılık	103
Çizelge 4.41.	Altlık ağır metal içeriklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı	104
Çizelge 4.42.	Kullanılmış et tavuğu altlık malzemelerine değişen oranlarda sodyum bisülfat uygulanması sonucu belirlenen muhtemel toplam fekal koliform grubu bakteri ve E. coli sayımı	106
Çizelge 4.43.	YSA için girdi ve çıktı parametreleri	108
Çizelge 4.44.	NH ₃ arıtım tahmini için yapay sinir ağlarında farklı algoritmaların performansları	109

1. GİRİŞ

Türkiye’de kümes hayvancılığı, hayvancılık sektörü içerisinde en gelişmiş ve modern tesislere geçişe en yakın olan önemli bir sektördür. 2019 yılında başlayan Covid-19 pandemi süreciyle daha sağlıklı ürünlere yönelme ve kırmızı et fiyatlarına yansıyan artışlar nedeniyle tavuk eti önemli ve çok tercih edilen protein kaynağı olmakta hız kesmemektedir. Covid-19 pandemi sürecinden pozitif etkilenen tavukçuluk sektöründe Türkiye’de 2021 yılında 2 milyon 245 bin 770 ton, 2022 yılında ise 2 milyon 417 bin 996 ton et üretimi gerçekleştirerek 2018 yılından beri (2 156 669 ton) en yüksek üretimler gerçekleştirilmiştir. 2023 yılında ise 2 milyon 328 bin 791 ton ve 2024 yılının ilk 5 ayında 1 milyon 18 bin 495 ton et üretimi gerçekleştirilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024). Üretim süresinin kısa olması, ekonomik ve alışılabilir bir hayvansal gıda olması gibi avantajlarla 2017 yılından beri 2 milyon tonun üzerinde üretimin gerçekleştirilmesiyle tavuk eti üretimi istikrarlı ilerlemektedir.

Türkiye’de et tavukçuluğu (broiler) sektörü günümüzde çoğunlukla modern tesislerde gerçekleştirilen, Avrupa ile eş zamanlı gelişim gösteren ve rekabet halinde olduğumuz önemli bir sektördür. Türkiye’de öncelikli olarak ekonomik olması, az yağlı ve protein değerinin yüksek olması nedeniyle kırmızı ete iyi bir alternatif olarak tüketimi fazladır.

Yoğun yetiştiricilik sistemlerinden oluşan atık ve emisyonların fazla olması giderek daha ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır. Hayvan yetiştirme işletmelerinde üretim boyunca çeşitli atıklar ve kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Sürekli canlı aktivitesi, yemlenme, hayvanların solunumu devamlı atık ve kirletici etmenlerini beraberinde getirmektedir. Entansif hayvan yetiştirme sistemlerinde en büyük sorun gübre ve hayvanların metabolik faaliyetleridir. Tavukların gelişim dönemlerine göre metabolik faaliyetleri farklılık gösterebilir. Bununla birlikte yem dönüşüm oranları da değişerek gübreyle atılan N miktarı değişir. Gübre ve idrarın altlık ile birleşerek parçalanması, yemlenme ve hayvan aktiviteleri kirletici gaz ve patojenlerin oluşmasına neden olmaktadır. Hayvan işletmelerinden kaynaklanan en yaygın kirletici etmenler karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), amonyak (NH₃), diazot monoksit (N₂O), hidrojen sülfür (H₂S), uçucu partiküller ve mikroorganizmalardır. Diğer kirleticilere göre NH₃ gazı, yüksek oranda reaktiftir ve atmosferde kalma süresi daha kısadır.

Kümesler başta NH_3 gazı olmak üzere ürettikleri gazlar açısından önemli kirlilik üretici kaynağıdır. Gıda talebini karşılamak için artan kümes hayvanı sayısı ve yumurta üretimi, kümes hayvancılığı üretiminden kaynaklanan NH_3 emisyonlarının artışına neden olmaktadır (Galloway vd., 2003; Xin vd., 2011; Bist vd., 2023).

Tavuk eti yetiştiriciliği yapan işletmelerde altlıklı yetiştirme yöntemi nedeniyle, altlık ve gübrenin mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu daha fazla NH_3 gazı oluşmaktadır. Amonyak, kümesteki en yaygın, tahriş edici ve kötü kokulu gazlardan biridir. Amonyak emisyonu yalnızca çevre üzerinde oluşturduğu etkilerle değil aynı zamanda hayvanların üretim performansını, hayvan refahını ve çalışan sağlığı üzerinde de potansiyel etkilere neden olmaktadır. NH_3 , uzun süreli maruziyet sonucunda canlılarda önemli sağlık sorunlarına yol açan tahriş edici bir gazdır. Yapılan çalışmalarda, kümeslerde 15 mg/m^3 'ün üzerindeki NH_3 konsantrasyonunun, hayvanlarda kilo alımının azalmasına, yem verimliliğinin düşmesine ve gözlerde hasara yol açtığı belirlenmiştir (Carlile, 1984; Miles vd., 2004). NH_3 gazı, suda çözünebilir bir gaz olduğundan, mukus zarlarında ve gözlerdeki nemde çözünerek göz hasarlarına yol açabilmektedir. Ayrıca, NH_3 emisyonu kanatlı üretimini olumsuz etkilerken, toprak gübresi olarak kullanılacak atıklardaki N (azot) içeriğini azaltmakta ve bu da gübrenin değerini düşürmektedir.

Üretim sürecinde tavukların canlılık faaliyetleri, gübrenin altlıkla birleşmesi, yemlenme ve solunumları sonucunda kümes içerisinde kirleticiler ve patojenler oluşmaktadır. Kanatlı sektöründe en önemli kirleticilerden biri NH_3 'tür ve NH_3 'ün asıl kaynağı tavuk gübresidir. Amonyak, atmosferde uzun süre kalabilir ve azot oksit (NO_x) ve kükürt oksit (SO_x) gibi gazlarla birleşerek daha tehlikeli bileşikler (amonyum sülfat $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, amonyum nitrat $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$) oluşturabilir. Ayrıca, diğer hava kirleticileriyle birleşerek partikül madde oluşturur ve uzak mesafelere taşınarak çevresel riskleri artırır. Kümeslerden kaynaklanan NH_3 emisyonlarının etkilerine dair endişelerin artması, emisyonların azaltılmasına yönelik daha etkili önlemler alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, kümeslerde NH_3 uçuculuğunun azaltılması; iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesine, hayvan ve işçi sağlığı ile refahının korunmasına, koku oluşumunun

azaltılmasına ve doğrudan veya dolaylı çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sağlayacaktır.

Kümes iç ortam koşullarının iyileştirilmesi, tavukçulukta yüksek verimliliğin sağlanması, hayvan ve işçi sağlığı ile refahının korunması açısından oldukça önemlidir. Kümeslerde NH_3 ve diğer zararlı gazların azaltılmasına yönelik çalışmalar yüksek maliyet gerektirmektedir. Kümeslerde amonyağın azaltılmasında katkı maddelerinin uygulanması, basit uygulama teknikleri ve hayvanların yaşam koşullarına minimal müdahale gerektirmesi nedeniyle oldukça ilgi çekicidir. Ayrıca, katkı maddeleri atıklar üzerinde kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal etkilerinin yanı sıra minimum sermaye gerektirmesi gibi avantajlar sunmaktadır.

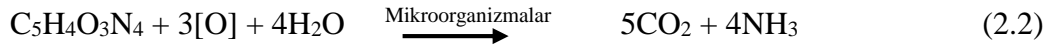
Bu çalışmada, yetiştiriciliği yaygın olan ve ciddi NH_3 emisyon kaynaklarından broyler yetiştiriciliğinde kullanılmış et tavuğu altlığında farklı katkı maddelerin uygulanmasıyla NH_3 artım verimliliği ve altlığın karakterizasyonu üzerinde etkileri, en verimli katkı maddesinin ve en uygun dozajın belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hayvan yetiştirme işletmelerinde, üretim boyunca çeşitli atıklar ve kirleticiler ortaya çıkmaktadır. Sürekli canlı aktivitesi, yemlenme, hayvanların solunumu, sürekli atık ve kirletici etmenlerini beraberinde getirmektedir. Yoğun hayvan yetiştirme sistemlerinde en büyük sorun gübre ve hayvanların metabolik faaliyetleridir. Gübre ve idrarın altlık ile birleşerek parçalanması, yemlenme ve hayvan aktiviteleri kirletici gaz ve patojenlerin oluşumuna yol açmaktadır. Hayvan işletmelerinden kaynaklanan en yaygın kirleticiler; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), amonyak (NH₃), diazot monoksit (N₂O), hidrojen sülfür (H₂S), uçucu partiküller ve mikroorganizmalardır. Diğer kirleticilere göre NH₃, yüksek oranda reaktiftir ve atmosferde kalma süresi daha kısadır. Bu nedenle, söz konusu kirleticiler arasında en zararlısıdır (Bist vd., 2023).

Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan NH₃ emisyonlarının temel kaynağı tarım sektörüdür. Küresel antropojenik NH₃ emisyonlarının kaynağının yaklaşık %94'ünü tarım sektörü oluştururken, %64'ü hayvancılık sektöründen kaynaklanmaktadır (Steinfeld vd., 2006; Sanchis vd., 2019). Kanatlı hayvan kümeslerinde NH₃ emisyonları diğer hayvan barınaklarından genellikle daha yüksektir. Hayvan barınaklarından kaynaklanan NH₃, gübredeki organik N bileşiklerinin mikrobiyal olarak ayrışmasından oluşmaktadır. Hayvanlar tarafından absorbe edilmeyen besin maddeleri hem dışkı hem de idrar (memelilerde üre, kümes hayvanlarında ürik asit olarak) ile gübreden N olarak atılmaktadır (Follett ve Hatfield, 2001; Kılıç ve Şimşek, 2009). Kümeslerde NH₃'ün ana kaynağı yem ile birlikte alınan N ile dışkı ve ürik asit olarak atılan N'tur. Kümes hayvan gübresinin %50'si ürik asittir ve atıldığı şekliyle %1 azot içerirken kuru ağırlık bazında yaklaşık %26 azot içerir (Ritz vd., 2004). Gübrede NH₃ oluşumu daha yavaş gerçekleşirken, idrarda (üre ve ürik asit) hidroliz, mineralizasyon ve buharlaşma ile çok hızlı bir şekilde NH₃'e dönüşmektedir (Anonim, 2005). N genellikle idrar yolu ile üre olarak atılmakta ve idrardaki azotlu bileşiğin çoğu ürede bulunmaktadır. Üre (CO(NH₂)₂) aerobik ortamda üreaz enzimleriyle hidrolize uğrayarak amonyak oluşumuna neden olmaktadır (Denklem 2.1). İdrar ve gübre birlikte atıldığında, idrardaki üre gübredeki üreaz enzimleri sayesinde daha hızlı bir şekilde NH₃ formuna dönüşmektedir. Kanatlı gübresindeki sindirilmemiş protein ve ürik asit (C₅H₄O₃N₄) ise mikroorganizmalar ve bakteriler tarafından parçalanmasıyla amonyak oluşmaktadır

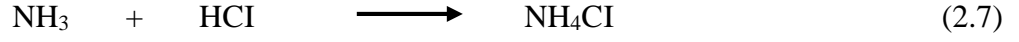
(Atapattu vd., 2008) (Denklem 2.2-2.3). Ürik asidin bozunması kümeslerdeki NH₃ oluşumunun birincil kaynağıdır. Ayrıca tavukların solunumu ve altlık malzemesinin aerobik ve anaerobik ayrışması, barınak içerisindeki CO₂ seviyelerini de artırmaktadır (Ni vd., 2012).



NH₃ sulu çözeltilerinde, amonyum iyonları (NH₄⁺) ve/veya iyonize olmayan (sıvı) NH₃ formunda bulunmaktadır (Denklem 2.4). Bu durum çözeltinin pH değerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Gübre gibi sulu çözeltideki amonyağın bu iki formunun toplamına, toplam amonyak azotu (TAN) adı verilir. Bu dönüşümde, pH ve sıcaklık oldukça önemli etkilere sahiptir. NH₃ atmosferde birkaç saat ile 1-5 güne kadar kalabilirken NH₄ aerosol olarak 1-15 gün atmosferde kalabilmektedir (Aneja vd., 2001).



NH₃, yayıldıktan sonra birkaç saat atmosferde kalır ve NO_x ve SO_x gibi gazlarla birleştiğinde birkaç gün atmosferde kalabilmektedir. Amonyak, azot oksit ve kükürt oksitlerle reaksiyona girerek amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄), amonyum nitrat (NH₄NO₃) ve amonyum klorür (NH₄Cl) partiküllerini oluştururlar (Denklem 2.5-2.7) (Anderson vd., 2003). Ayrıca diğer hava kirleticileriyle birleşerek ikincil partikül madde (PM_{2.5}) de oluşturarak uzak mesafelere taşınabilmektedir (Anonim, 2020). Partikül madde geniş alanlara yayılarak puslu görüntü oluşturmaktadır ve görüş mesafesini azaltarak bölgenin çevre kalitesini etkilemektedir. PM_{2.5} üretmesinin yanı sıra atmosferik NH₃ bulutlarda oksidasyon oranlarını değiştirebilir ve asit yağmuru üretimini artırabilir. Ayrıca ekosistemde N birikmesine katkıda bulunur. (Naseem ve King, 2018).



Kümes hayvanları işletmelerinde NH_3 oluşumuna altlık nem içeriği, sıcaklık ve altlık pH'ı gibi çeşitli parametreler katkı sağlamaktadır (Cabrera ve Chiang, 1994; Tiquia ve Tam, 2000; Liu vd., 2007; Atapattu vd., 2008; Miles vd., 2011a; Lin, 2014; USEPA, 2022). Altlık materyali kolay ulaşılabilir, nemi absorbe etme kapasitesi yüksek, toksik olmayan, gözenekli yapıya sahip ve uygun fiyatlı olmalıdır (Saravanan, 2018). Altlığın yüksek nem seviyelerinde daha hızlı NH_3 emisyonu oluşmaktadır. İşletme sahipleri altlığın kuruluşunu sağlamalıdır. Bunu için düzenli havalandırmayı sağlamalı, altlıkta yeterli emici madde buldurmamalıdır. Yüksek sıcaklıklar altlıkta hem bakteri aktivitesini artırır hem de NH_3 üretimini artırmaktadır. Altlığın pH seviyesi daha yüksek değerlere çıktığında ortam bazik ortama dönüştükçe NH_3 seviyeleri daha değişken hale gelir ve genellikle artmaktadır. Gübre içerisindeki iyonize olmayan NH_3 formu artarak gaz haline dönüşür ve NH_3 miktarı artmaktadır.

NH_3 oluşumu ayrıca yataklık materyali, havalandırma hızı, gübre yönetim uygulamaları, hayvan yaşı, yem bileşeni ve mevsimsel koşullara göre de değişiklik göstermektedir. Kümeslerde kullanılan altlığın türü kümes hayvanlarının türüne, kullanılan yataklık türüne, çevresel koşullara, yem bileşimine, gübrenin taşınmasına vb. bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir (Rodic vd., 2011). Altlık değişikliği, daha düşük NH_3 konsantrasyonlarına ve daha düşük bakteri yoğunluğunu sağladığı için kanatlı hayvanların sağlığını ve üretimini iyileştirmektedir (Terzich vd., 1998). Ek olarak kümes hayvan altlığı bitkilerin büyümesi için gerekli olan birçok besin içerdiği için önemli bir gübre kaynağıdır. Kümeslerde NH_3 gübre ve altlıktan meydana gelmesinden dolayı, kümes iç ortam havası ile karışmadan ve konsantrasyonunu düşürmeden önce hayvanlara temas ederek onları etkilemektedir (Atılğan vd., 2010). Özellikle havalandırmanın minimum kapasitede olduğu kış aylarında kümes içerisinde önemli düzeyde NH_3 gazı birikimi meydana gelmektedir. Havalandırma hızı emisyon ile doğru orantılı, barınak içerisindeki konsantrasyonla ise ters orantılıdır. Havalandırmanın

yetersiz olduğu ya da yapılamadığı durumlarda NH₃ konsantrasyonu yükselir. Taze kümes hayvanı gübresi yaklaşık %75 nem içeriğine sahiptir. Azaltma stratejileri uygulanmadığı takdirde gübrenin içeriğindeki azotun büyük çoğunluğu NH₃ emisyonu olarak kısa bir süre içerisinde kaybolmasına neden olacaktır (Ni, 2015). Mevsimlere ve iklimlere göre de değişiklik gösteren NH₃ gazının, daha sıcak mevsimlerde uçuculuk seviyeleri en üst seviyeye çıkmaktadır. Ayrıca ülkelere, yetiştirme tipine ve mevsimlere göre NH₃ emisyon değerleri çok farklılık gösterdiği için emisyon oranları çok iyi bir şekilde değerlendirilmelidir.

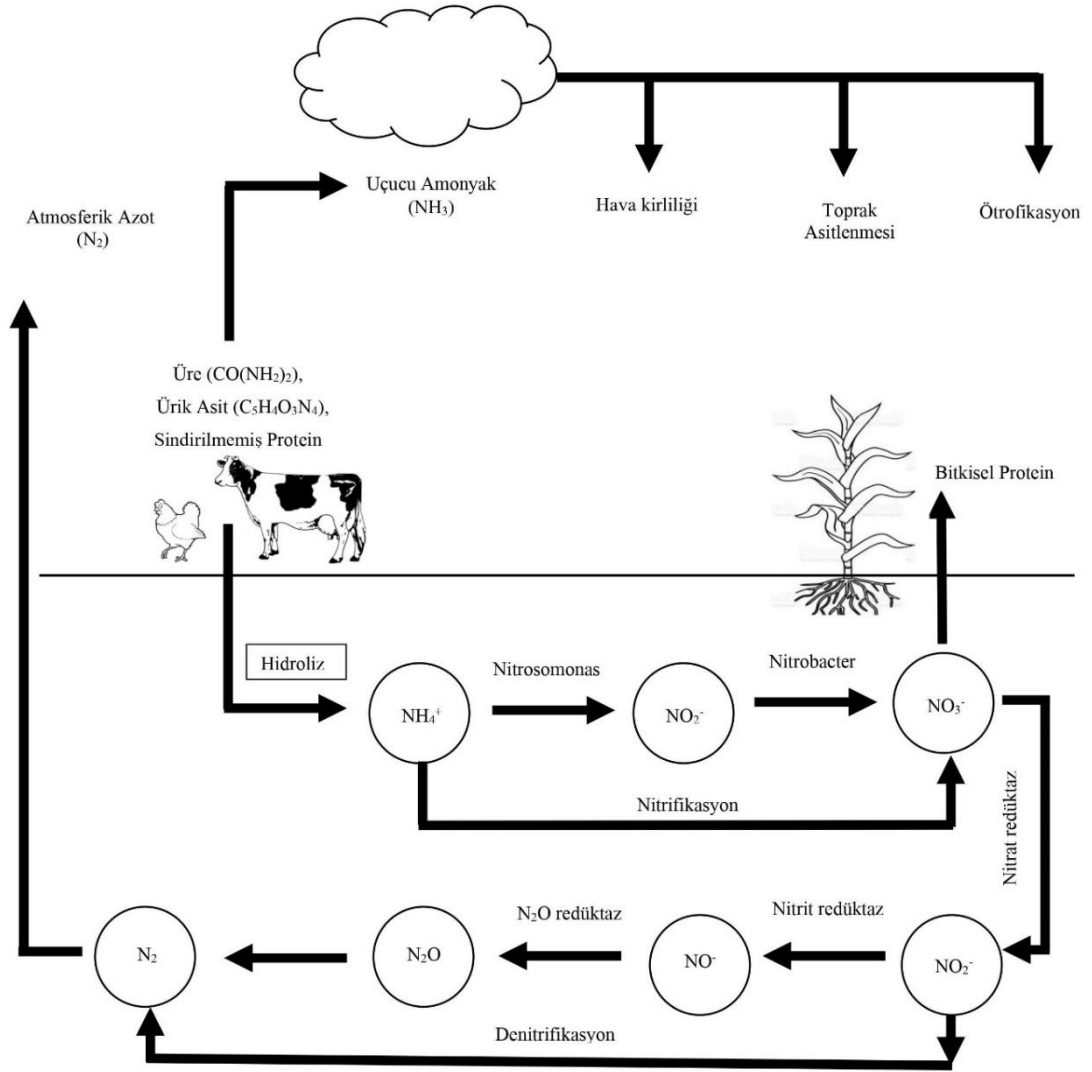
2.1. Kanatlı Sektöründen Ortaya Çıkan NH₃ Gazının Etkileri

Kanatlı sektörden salınan NH₃ hayvan, insan ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bundan dolayı kanatlı ürünlerine yönelik talebin karşılanması için hayvan, insan ve çevre sağlığından ödün vermeden üretimin neden olduğu amonyağın kontrolü gereklidir.

2.1.1. Çevre üzerine etkileri

Kümes hayvanı işletmelerinde altlıktan yayılan en rahatsız edici gazların başında NH₃ gelmektedir. Ticari tavukçuluk işletmelerinde NH₃ emisyonu gübre ve idrarın altlık materyali ile karışması sonucu ortaya çıkmaktadır. NH₃ oluşum hızları mikrobiyal bakterilerin aktiviteleri ile yakından ilişkilidir ve bakteri popülasyonlarının yoğunluğu ile mikrobiyal aktiviteler tahmin edilebilir (Okano vd., 2004). NH₃'ün temel kaynağı hayvanların protein tüketimindeki biyolojik süreçler ve sonrasında hayvansal atıkların bozunması yer almaktadır (Rockafellow vd., 2012). Hayvan yemlerinin içeriklerindeki azot miktarı genellikle hayvanların alması gerektiğinden çok daha fazladır. Hayvanlar tarafından bünyelerinde kullanılamayan azot, dışarı genellikle ürik asit, amonyak ve üre formuyla atılmaktadır. Hayvanların büyümesi, gelişimi, üremesi, bakımı için kullanılan N miktarının %10-30'unun kullanıldığı ve geri kalanının atıldığı bildirilmiştir (Stowell, 2018). Tavuklar genç dönemlerinde gelişim evresinde bulduklarından yemi gelişimleri için harcarlar ve N atılımı daha az olur. Fakat gelişimlerini tamamlamış hayvanlarda yem dönüşüm oranı daha düşüktür ve N atılım oranı daha yüksektir. Genç tavuklarda daha az NH₃ uçucu hale gelmektedir ve tavuğun yaşı arttıkça daha fazla NH₃ üretmektedirler (Wu-Haan vd., 2007).

Hayvan idrarı önemli oranda sindirilmemiş protein (organik azot) içermektedir ve aerobik ve anaerobik koşullar altında heterotrofik bakteriler tarafından büyük ölçüde NH_3 'e dönüştürülür. Bakteriler tarafından ortaya çıkarılan NH_3 'ün bir kısmı bitkiler tarafından kullanılabilirken, ihtiyaç fazlası hidroliz sonucu amonyuma (NH_4) dönüşmektedir. NH_4 , aerobik koşullarda nitrosomonas bakterileriyle nitrite (NO_2^-) dönüşür. Toprakta bulunan nitrifikasyon bakterilerinin bir grubu olan nitrobakter ile nitrit, nitrat (NO_3^-)'a oksitlenir. Nitrat, bitkiler için gübre olarak kullanılmaktadır. Nitrat, alınabilir N formunda olduğundan dolayı bitkiler tarafından alımı kolaylaşır. Bitkiler tarafından alınamayan kısım ise sulama ve yağmur sularıyla topraktan sızarak yer altı sularına karışır. Nitrifikasyon bakterileri ile amonyağın amonyum, nitrit ve son olarak nitrate indirgenmesi ile nitrifikasyon olayı gerçekleşir. Aerobik koşullarda mikroorganizmalar ile nitrat ve nitritin indirgenmesi sonucu elementer azota dönüştürülmesi olayı ile denitrifikasyon gerçekleşir. Önce nitrat nitrite indirgenir, daha sonra nitrit protein oluşumu için amonyağa kadar indirgenmektedir. Atmosferde bulunan serbest azotun fiksasyonu ile şimşek, yağmur ve azot bağlayıcı bakteriler ile azot tuzları toprağa bağlanmaktadır. Denitrifikasyon sürecinde nitratın indirgenmesinde N_2O oluşmaktadır. Bu gaz, toprak ve suyu terk ederek atmosfere yayılmaktadır. Atmosferdeki N_2O fotoliz ile N_2 ve uyarılmış oksijene indirgenir ve oksijen N_2O 'yu NO 'ya oksitlemektedir (Sawyer vd., 2020) (Şekil 2.1). NH_4^+ , NO_2^- ve NO_3^- suda çözülebilen bileşiklerdir ve su kaynakları için çevresel öneme sahiptirler. Diğer inorganik oksidasyon kademeleri, N_2 , N_2O (diazot oksit), NO (azot oksit) ve NO_2 (azot dioksit) gaz formundadır ve sudaki çözünürlükleri sınırlıdır. Bitkilerin tutamadığı topraktaki fazla nitrat topraktan sızarak yer altı sularına taşınır. Nitrat, yer altı suyunun pH'ını düşürmektedir ve N içeriği ötrofikasyon ve asidifikasyona neden olmaktadır.



Şekil 2.1. Azot döngüsü (Yaylı ve Kılıç, 2021a)

NH_3 ekosistem üzerinde sadece atmosferde değil karada ve suda da çeşitli problemlere yol açmaktadır. NH_3 emisyonları ekosisteme doğrudan ya da dolaylı olarak zarar vermektedir. Karada toprak asitlenmesi, bitki türlerinin ve habitat çeşitliliğinin azalması, suda algal büyüme ile ötrofikasyona neden olarak tehlike oluşturmaktadır. Ötrofikasyon ile özellikle nitrat ve fosfat konsantrasyonlarının artışı su kütlelerinde yavaş bir yaşlanma sürecini başlatır. Aşırı bitki besin elementleri girişi, alglerin hızlı büyümesine neden olur. Algler ölüp ayrıştıkça yüksek konsantrasyonlu organik maddeler sudaki oksijeni fazlaca tüketerek balık ve diğer canlı organizmaların ölümlerine neden olur.

Kümes hayvanları üretiminde kullanılan yüksek besin madde içeriğine sahip yemler, üretimden kaynaklanan azot ve fosfor kaynaklı su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır (Sutton vd., 2008; Boggia vd., 2010; Tallentire vd., 2017; Işık ve Kırkpınar, 2020). Yüksek atmosferik amonyak konsantrasyonunun artmasıyla, topraklarda ve su yüzeylerinin asitlenmesini artırarak bitki ve hayvan çeşitliliğinde azalmaya ve belirli bir yaşam alanındaki bitki örtüsünde yaralanmalara neden olmaktadır (Ezenwosu vd., 2022).

Toprağa uygulanan gübrelerin içeriğindeki N miktarı toprak verimliliği ve ürünler açısından faydalıdır. Ancak optimum değer üzerinde uygulanan azotlu gübreler toprağın asitlenmesine neden olmaktadır. Ayrıca amonyak emisyonu kanatlı üretimini olumsuz etkilerken toprak gübresi olarak kullanılacak altlıklardaki N içeriğini de azaltarak gübrenin değerini azaltmaktadır. Altlıktan yayılan amonyak gazı, N kaybını temsil etmektedir. Bu durum da N/P oranını düşürerek gübre değerini azaltmaktadır. N/P oranının düşmesi, gübreyle birlikte ihtiyaçtan fazla P'nin uygulanmasına yol açacaktır. Topraktaki P konsantrasyonunun artmasıyla toprağın yüzeyindeki ve içerisindeki var olan nemde çözülmüş P miktarı da artmaktadır. Bu durum yüzey ve yer altı sularında noktasal olmayan kaynak kirliliği sorunlarına neden olmaktadır (Maguire ve Sims, 2002). Aşırı N'lu gübrelerin kullanılması topraktan sızarak yer altı sularına karışmaktadır. Bu durum sularda alg oluşumuna neden olur ve sudaki oksijen miktarının tüketilerek CO₂ miktarının artmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da balık ölümleri meydana gelebilecektir.

2.1.2. Tavuklar üzerine etkileri

NH₃, kümesteki en yaygın ve tahriş edici gazdır. Tavuk eti yetiştiriciliği yapan işletmelerde altlıklı yetiştirme yapıldığından dolayı altlık ve gübrenin mikroorganizmalarla parçalanması sonucu daha fazla NH₃ gazı ortaya çıkmaktadır. Tavuklar gün boyunca altlıkla yakın temasta olmaları nedeniyle, altlık kalitesinin hayvanların performansları ve sağlığı üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Altlıktaki gübrenin mikrobiyal ayrışmasıyla üretilen NH₃, tavuklarda büyüme hızını yavaşlatır, yemden yararlanma oranını düşürür ve ayak tabanı dermatitinin gelişimini

ağırlaştırabilir. Özellikle civcivlerin büyümeleri daha hızlı olduğundan ve metabolik ihtiyaçlarının daha yüksek olmasından dolayı NH_3 konsantrasyonlarına karşı ekstra hassasiyetleri bulunmaktadır (Reece vd., 1980).

Tavukların ayak tabanlarında lezyonlar şeklinde görülen ayak tabanı dermatiti, ıslak altlıkla ilişkilendirilir ve altlıktaki NH_3 gibi tahriş edici etkilerle daha da kötüleşebilmektedir. Özellikle soğuk mevsimlerde havalandırma oranının yetersizliği, kötü altlık malzemesi kullanılması, sızdıran sulukların olması ve altlığın iyi yönetilememesiyle oluşan ıslak ve yapışkan altlıkta yüksek NH_3 sonucu ayak tabanı hastalıkları ortaya çıkar (Şekeroğlu vd., 2013).

Yumurta tavuğu kümeslerinde, tavuk gübresinin anaerobik sindirimi sonucunda oluşan yüksek miktardaki toplam amonyak azotu ana sorunlardan biri olarak belirlenmiştir (Farrow vd., 2016; Molaey vd., 2018; Andrade vd., 2020). Amonyak, yumurtacı tavukların iştahını azaltmakta ve kilo alımını düşürmektedir. NH_3 emisyonu yalnızca çevre üzerinde oluşturduğu etkilerle değil aynı zamanda canlı üretim performansını, hayvan refahını ve çalışan sağlığı üzerinde de potansiyel etkilere neden olmaktadır.

Amonyak, uzun süreli maruziyet sonucunda canlılarda önemli sağlık etkilerine neden olan tahriş edici bir gazdır. NH_3 gazı, keskin kokulu ve sudaki yüksek çözünürlüğü olan bir gaz olduğundan dolayı mukoza zarlarını ve akciğeri tahriş eder, hava kesesi iltihabına karşı duyarlı hale gelir, bağışıklık sistemini zayıflatır ve kanda birikebildiği için hayvanlar için oldukça zararlıdır (Gerlach ve Schmidt, 2012). Kümeslerde, havadaki yüksek NH_3 konsantrasyonlarında özellikle Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın tavsiye ettiği maksimum 25 ppm (mg/l)'den yüksek NH_3 seviyelerine maruz kalan kanatlılar ve çalışanlarda mukoza zarlarını tahriş ederek göz (keratokonjonktivit veya oküler hasar) ve solunum sistemlerinde duyarlılığı artırmaktadır. Mukus membranlarındaki hasarlar, mukustaki akışın ve soluk borusundaki siliyer hareketin bozularak hayvanları özellikle *E. coli* başta olmak üzere bakteriyel patojenlere karşı savunmasız hale getirmektedir (Beker vd., 2004; Ritz vd., 2004).

Amonyaga maruz kalan hayvanlarda canlı ağırlığı, bağışıklık sistemi ve yem verimliliğinde kayıplar ortaya çıkmaktadır. Hayvanlarda yem tüketimini azaltır ve yem

dönüşüm oranını düşürerek büyüme oranlarını etkiler ve verimlilikte düşüğe neden olur (Xin vd., 2011). Tavuk çiftliklerinde oluşan NH₃ ve H₂S gazlarının ortaya çıkardığı kötü koku, solunum güçlüğüne neden olarak yumurta veriminin düşmesine, yemden yararlanma oranının azalmasına ve hayvanların gelişim hızlarının azalmasına neden olmaktadır (Eleroğlu ve Yalçın, 2004).

Yüksek konsantrasyonlarda NH₃ gazına maruz kalan tavuklarda canlı ağırlıklarında azalmaya, kaslardaki antioksidan kapasitesinin düşmesine ve ölüm oranlarının artmasına neden olmaktadır (Wei vd., 2014). Ayrıca *Newcastle* hastalığı virüsü, kornea lezyonlarını içeren keratokonjonktivit, belirgin fotofobi ve gözlerde sulanmaya neden olabilir (Do vd., 2005). Tavuklarda oluşan göz hasarı, yem ve su kaynaklarını bulmalarında zorluk oluşturarak performans düşüklüğüne neden olabilir.

2.1.3. İnsan sağlığı üzerine etkileri

Kümes içerisindeki hava kalitesi, yetiştirilen hayvanların yanı sıra çalışanların refahı açısından da büyük bir endişe kaynağıdır. Kümes içerisinde oluşan NH₃ gazı, PM_{2.5} ve PM₁₀ oluşumunda öncül bir rol oynarken, havadaki asidik gazlarla (HNO₃, H₂SO₄, HCl vb.) reaksiyona girerek atmosferde sıvı ve katı formlarda amonyum tuzlarını oluşturarak partikül madde oluşumunda etkilidir.

NH₃ gazı, insanlarda üst solunum yolları ile hızla absorbe edilerek vücuda nüfuz edebilmektedir. Ortamda bulunan amonyak keskin kokusuyla fark edilmektedir. Uzun süreli maruz kalındığında insanlarda koku alma yorgunluğuna ve adaptasyona neden olmakta daha düşük konsantrasyonlarda varlığına ilişkin farkındalığı azaltabilmektedir. Yetiştiriciler özellikler civcivlerin büyüme ve gelişme evrelerinde kümes içerisinde daha uzun süreli çalışarak, 8-10 saat arasında vakit harcamaktadırlar (Ritz vd., 2004). Uzun süreli solunmasıyla üst solunum yollarında, göz, burun ve boğazda tahrişlere neden olmaktadır.

İnsan burnu yaklaşık 20 ppm seviyesindeki amonyak gazını algılayabilmektedir. Ancak bu düzeydeki amonyaka uzun süreli maruz kalmak, duyarlılığın zamanla kaybolmasına neden olmaktadır. OSHA (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi), çalışan insanların çalışma esnasında maruz kalabilecekleri kimyasal madde miktarlarına ilişkin sınırlar

koymaktadır. OSHA tarafından belirlenen amonyak için izin verilen maruz kalma sınırı, sekiz saatlik iş günü boyunca ortalama 50 ppm (35 mg/m³)'dir. NIOSH (Ulusal İş Güvenliği ve Sağlık Enstitüsü), çalışanlar için amonyak önerilen maruziyet sınırını sekiz saatlik bir iş günü için ortalama 25 ppm (18 mg/m³) olarak belirlemiştir. Ayrıca gün içerisinde kısa süreli maruziyet sınırı olarak 15 dakikalık süre boyunca 35 (27 mg/m³) ppm olması gerektiğini belirtmektedir (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2020). OSHA'nın belirlediği sınırları uygulamasına yetkisi varken, NIOSH tarafından belirlenen sınırların uygulanması mecburi değildir ancak şirketler bu sınırlara uymayı tercih edebilmektedirler.

Kümeslerde NH₃ emisyonları havada amonyum nitrat ve amonyum sülfat oluşumuna neden olabilmekte, çalışan kişilerde solunum sağlığının azalmasına neden olarak ortaya çıkan partiküller erken ölüme, kronik bronşit ve astım ataklarına neden olabilmektedir (Tasistro vd., 2007). Özellikle bu partiküllerin çapı <2,5 µm'ye kadar düşerken insanlarda uzun süreli maruz kalmaları sonucunda etkiler daha ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Akciğerlerdeki CO₂ ve O₂ gazı değişiminin gerçekleştiği alveol duvarına nüfuz ederek bu bölgeye hasar vermekte ve akciğer fonksiyonunun zarar görmesine neden olmaktadır (Xing vd., 2016).

2.2. Dünya'daki ve Türkiye'deki Amonyak Maruziyeti ile ilgili Yasal Düzenlemeler

Kümeslerdeki iç ortam NH₃ emisyonlarının yüksek seviyelerde olması hayvanları refahı ve bakıcıların sağlığı üzerindeki zararlı etkileri küresel ve yerel endişelere neden olmaktadır. İnsan sağlığının ve güvenliğinin korunmasını amaçlayan bir dizi kılavuz ve amonyak maruziyet sınırı bulunmaktadır. Maruziyet sınır değerleri, insanların her gün tekrar tekrar maruz kalabileceği dikkate alınarak maddelerin havadaki ortalama güvenli konsantrasyonun tahmini olarak ele alınır.

ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'de kirleticilerin çalışan kişiler üzerindeki maruziyet sınırı ve sürelerine göre düzenleyen bazı kurumlar bulunmaktadır. OSHA, amonyak için maruz kalma sınırını 50 ppm olarak belirlemiştir (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2020). NIOSH ve ACGIH (Amerikan Kamu ve Endüstri Hijyenistleri Odası) uzun süreli maruz kalma sınırını 8 saat için 25 ppm (18 mg/m³) ve

kısa süreli maruz kalma sınırını ise 15 dakika için 35 ppm (27 mg/m³) olarak önermiştir (National Institute for Occupational Safety & Health, 2007; The America Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2020).

EPA tarafından tanımlanan Temiz Hava Yönetmeliği (ACC), hava kalitesini ve ozon tabakasının korunması ve iyileştirilmesi için gerekli sorumlulukları belirtmektedir. EPA tarafından tanımlanan bir diğer yasa olan Geniş Kapsamlı Çevresel Sorumluluk, Tazmin ve Taahhüt Yönetmeliği (CERCLA), aktif olmayan tehlikeli atık sahalarının temizlenmesi, tehlikeli maddelerin depolanması ve bertaraf edilmesi ile ilgili sahiplerinin üzerindeki temizleme maliyetlerinin yükümlülüklerini belirtir. Ulusal Petrol ve Tehlikeli Maddeler Kirliliği Acil Durum Planı (NCP) CERCLA'nın uygulama yönetmeliklerinin ana hatlarını belirler ve acenteler bu sahaları iyileştirirken NCP'de detaylandırılan prosedür ve standartları takip etmelidir. Kirletenler bu standartlara uymadığı takdirde maddi cezai yükümlülükleri bulunur ve EPA tarafından uygulanır.

Acil Durum Planlama ve Toplumun Bilme Hakkı Yönetmeliği (EPCRA) toplumların halk sağlığını, güvenliğini ve çevreyi kimyasal tehlikelerden korumasına yardımcı olmak için oluşturulmuştur. EPCRA, tehlikeli kimyasalları sahada belirli miktarlarda kullanan veya depolayan tesislerin, bu envanterleri eyalet ve yerel acil durum planlama kuruluşlarına raporlanmasını zorunlu kılmaktadır.

CERCLA ve EPCRA, 24 saatlik süre içerisinde raporlanabilir miktarı aşan tehlikeli madde salımlarının rapor edilmesini gerektiren iki çevre yasasıdır. Bunun amacı, yetkililerin toplum üzerinde salımların olumsuz etkilerinin hafifletilmesi için acil müdahale ihtiyacının değerlendirilmesidir. Bu iki çevre yasasına göre amonyak ve hidrojen sülfür 24 saat içerisinde 100 lbs'den (45 kg/gün) fazla veya eşit miktarda havaya salınması halinde raporlanması gereken, hayvan atıklarından yayılan tehlikeli maddeler olarak belirtilmektedir.

Avrupa Birliği (AB)'nin de kirleticiler ile ilgili yönetmelikleri vardır ve üye olan ülkelerin bu yönetmeliklere uyma zorunluluğu bulunmaktadır. Ulusal Emisyon Azaltma Taahhütleri Direktifi (2016/2284/EU), AB ve üye devletleri için beş önemli hava kirleticisi için 2020 ve 2030 ulusal emisyon azaltma taahhütlerini belirlemektedir. Bu

kirleticiler azot oksitler, kükürt dioksit, metan içermeyen uçucu organik bileşikler (NMVOCs), amonyak ve ince partiküllü maddeler (PM2.5)'dir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2008/50/EC sayılı Direktifi'nde ortam hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimine ilişkin kükürt dioksit, azot dioksit ve azot oksitleri, partikül madde, kurşun, benzen ve karbon monoksit için sınır değerlere yer vermekte ve üye devletlerin bu kirleticilerin seviyelerini sınır değerlerin altında tutulması ve sürdürülebilir kalkınmayla uyumlu en iyi ortam hava kalitesini korumak için çaba göstermeleri beklenmektedir. 2008/50/EC sayılı Direktif'te amonyak emisyonlarına yönelik limit değer yer almamaktadır. AB Çevresel Etki Değerlendirmesi (EIA), kamu ve özel sektör projelerinin çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve projelerin hazırlık ve izin süreçlerine entegre edilmesini sağlayan bir yönetmeliktir. Avrupa Birliği Çevresel Etki Değerlendirmesi Direktifi'nde 2014/52/EU sayılı revizyonunda ÇED raporunda değerlendirme yoluyla ele alınacak çevresel faktörler biyoçeşitlilik, iklim değişikliği, afet ve risk önleme, kaynak verimliliği gibi ortaya çıkan zorlukları dikkate alarak kapsamı genişletilmiş ve uygulamadaki belirli eksiklikleri gidermeyi, gereksiz idari yükü azaltmayı, değerlendirme prosedürünü basitleştirmeyi ve çevre koruma düzeyini güçlendirmek amaçlanmıştır. Projelerin iklim değişikliği üzerindeki etkisi, örneğin sera gazı emisyonlarının niteliği ve büyüklüğü, projelerin iklim değişikliklerine karşı kırılganlığı ve uyum sağlama kapasitesi göz önünde bulundurularak iklim değişikliğinin azaltılması ile ilgili ayrıntılar eklenmiştir.

Avrupa birliği ülkelerinin amonyak emisyonlarının tahminlenmesinde IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) kapsamındaki Tier 1 ve Tier 2 metodolojileri kullanılarak gübre işletiminin farklı aşamalarındaki toplam azot ve amonyak azotunun hariç tutulmasına dayanan ve kütle dengesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak AB ülkeleri arasında bulunan yetiştirme teknolojileri, ırklar ve iklim koşulları gibi farklılıklar emisyon faktörlerinin belirlenmesinde farklılık ortaya çıkarmaktadır (Kunes vd., 2022).

Türkiye'de hayvancılık faaliyetlerinde kaynaklanan gaz emisyonlarının denetlenmesine yönelik yasal mevzuat bulunmasa da iş sağlığı ve güvenliği konusundaki mevzuat olan "Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında

Yönetmelik” ve “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” içerisinde çeşitli kirleticiler ve partiküler madde ile ilgili sınır değerler bulunmaktadır. Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Yönetmeliği’nde amonyak gazının mesleki maruziyet sınır değeri 8 saatlik uzun süreli maruziyet için 20 ppm (14 mg/m³) ve 15 dakikalık kısa süreli maruz kalma durumunda ise 50 ppm (36 mg/m³) olarak yer almaktadır (Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, 2013). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nde ise SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, arsenik, kadmiyum, nikel, benzo(a)piren, kurşun, benzen, karbon monoksit gibi kirleticilere ilişkin limit değerler ve uyarı eşikleri yer almaktadır. Ancak NH₃ gazına ilişkin değerler bulunmamaktadır.

Avrupa Birliği Mevzuatı ile uyum çalışmaları kapsamında ve AB Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Direktifi doğrultusunda Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, ilk kez 7 Şubat 1993 yılında yönetmelik olarak uygulamaya geçilmiş, birçok kez revize edilerek 8 Temmuz 2019 yılında son şeklini almıştır. Yönetmelik kapsamında yer alan projeler ÇED başvuru dosyası hazırlayarak bakanlığa sunmakla yükümlüdürler.

Yönetmeliğe tabi olup ÇED raporu gerekli olan projeler içerisinde hayvan yetiştirme tesislerinde kümes hayvanlarına ait tesisler için bir üretim periyodunda 60 000 adet ve üzeri tavuk (civciv, damızlık, piliç, vb. dâhil) veya eşdeğer kanatlı yetiştirme tesisleri (1 adet hindi=7 adet tavuk, 1 adet kaz=3 adet tavuk, 1 adet ördek=2 adet tavuk esas alınmalıdır) yer almaktadır. Çevresel etkileri için ön inceleme ve değerlendirmeye tabi olan kümes hayvanları tesisleri için ise bir üretim periyodunda 20 000 adet ve üzeri tavuk (civciv, damızlık, piliç, vb. dâhil) veya eşdeğer kanatlı yetiştirme tesisleri (1 adet hindi=7 adet tavuk, 1 adet kaz=3 adet tavuk, 1 adet ördek=2 adet tavuk esas alınmalıdır) yer almaktadır.

2.3. NH₃ Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Altlıktan NH₃ emisyonu mekanizmasını ve NH₃ oluşumunu etkileyen faktörleri anlamak, altlıktan NH₃ emisyonunun modellenmesi için oldukça önemlidir. Kümes iç ortamının hava kalitesi, kümes yoğunluğu, hayvan yaşı, kümes yapısı ve bakımı,

sıcaklık nem, havalandırma oranı, iç ortam aydınlatması, kafes sistemleri, altlık materyali, altlık sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Gates vd., 2002; Sadhu, 2005; Ni vd., 2023).

Kümeslerdeki NH₃ akışını etkileyen faktörler altlık materyali, havalandırma sistemi, gübre yönetimi, yem formülasyonu, iç ortam iklimsel koşullar, kümes sistemi ve yönetimi olarak sıralanabilir:

2.3.1. Altlık materyali

Et tavukçuluğu yetiştiriciliğinde dünyada ve ülkemizde genellikle altlıklı yer sistemleri tercih edilmektedir. Altlıklı yer yetiştiriciliği yapılan sistemlerde hayvanların refah kriterlerini sağlayabilmek için farklı materyaller altlık olarak kullanılmaktadır. Kümes tabanına talaş, saman, çeltik kavuzu vb. gibi çeşitli materyaller serilerek tamamen kaplanır ve üretim bunun üzerinde yapılmaktadır. Altlıklı kümes hayvanı yetiştiriciliğinde odun talaşı (planya) en yaygın olarak kullanılan materyallerden biridir. Ağaç talaşının nem düzenleyici ve antibakteriyel özellikleri sayesinde NH₃ üreten bakterilerin kültürlenmesini etkileyebildikleri için daha sık tercih edilebilmektedir. Ancak et tavuğu yetiştiriciliği yapılan yerlerde planya temini zorlaştığı için diğer materyaller de iyi altlık malzemesi olarak tercih edilmektedir. Kanatlı altlığı ve yönetimi, hayvanların optimum büyümeleri için sağlıklı koşullarda yetiştirilmesi için gereken önemli bir husustur. Altlık, kümeste tavukların gübresini ve dışkısını absorblayarak nem emilimini sağlar. Tavukların rahatça eşeleme hareketlerini doğalarına uygun şekilde gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca zemin ile hayvan arasında bariyer görevi görür ve ısı yalıtımı da sağlamaktadır. Kullanılan altlık kalitesi üretimde oldukça önemlidir. Organik ya da inorganik yataklık malzemelerinin değiştirilmesi altlık kalitesini etkilemektedir. Altlıkta biriken gübre ve dışkıdaki NH₃ türlerinin fraksiyonları, ortamdaki pH değerine, altlık nem içeriğine (su tutma kapasitesi) ve sıcaklığa büyük ölçüde bağlı olduğu için, amonyak uçuculuğunda önemli parametrelerdir. Daha yüksek pH, nem içeriği ve sıcaklık değerleri tavuk gübresi ve altlığından kaynaklanan NH₃ emisyonlarını artırmaktadır (Dunlop vd., 2016; USEPA, 2022). Tavuk altlığında NH₃ üretimini etkileyen önemli faktörlerden biri nem içeriğidir. Altlıklı sistemlerde altlığın nem içeriğinin artması amonyak oluşumunu da

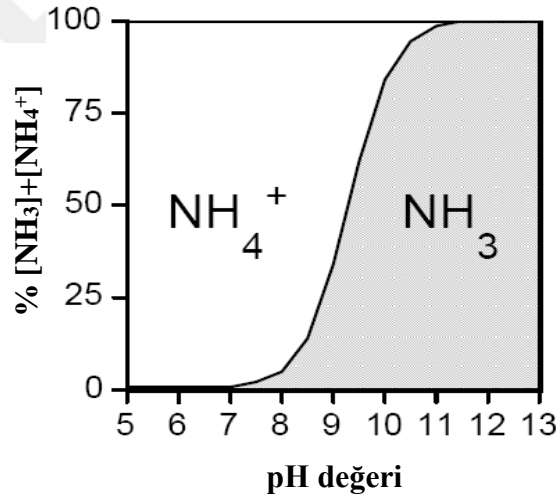
artırmaktadır. Altlık materyalleri, gübreyi adsorbe ederek toksik olmayan ve uygun nem emici ortamı sağlamaktadır. Altlığın nem içeriği, kümesteki uygulanan sulama yönetimine, havalandırma oranına ve ortamın bağıl nemine büyük ölçüde bağlıdır. Kümeslerde kullanılan sulama sistemleri altlık nem içeriğinin artmasında oldukça etkili bir faktördür. Özellikle suluklar etrafında dökülen sudan dolayı, sulukların etrafındaki altlıklarda nem içeriği ciddi ölçüde daha yüksektir. Bu durum suluklardan sızan suyun altlığı ıslatması ve suluklar çevresindeki hayvanların dışkılama eğilimlerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Sulukların çevresindeki altlık hayvanlar tarafından devamlı çiğnenmesiyle devamlı sertleşir ve su seviyesinin yetersiz olduğu durumlarda dökülmesine ve altlığın ıslanmasına neden olur. Bundan dolayı sızdıran sulukların veya sulama sistemlerinin onarılması, su seviyesinin canlı gelişimine paralel olarak ayarlanması ve kümesin durumu, kullanım alanların, hayvanların bireysel ihtiyaçları gibi faktörler dikkate alınarak doğru tipte sulukların kullanılması önerilmektedir. Nipel tipi suluklar çan tipi suluklara kıyasla daha düşük altlık nemine neden olduğundan dolayı daha az azot kaybını sağlamaktadır (Patterson ve Adrizal, 2005). Nipel suluklar, hayvanlar büyüdükçe ihtiyacı karşılayabilmek için suyun yüksekliği ve basıncı ayarlanır, suyun dökülmesini azaltarak israfı en aza indirerek altlıkta nem içeriğini azaltır ve topaklanmasını azaltmaktadır.

Kümeslerde, soğuk mevsimlerde havalandırma oranlarının daha düşük olması kümes iç ortamındaki NH_3 konsantrasyonlarının daha yüksek seviyelerde olması eğilimi vardır. Kümes içerisinde genellikle kış döneminde minimum havalandırma yapılmasından dolayı yetersiz yapılan havalandırma, yüksek bağıl neme neden olur. Ortamdaki bağıl nemin artması altlıkta nem içeriğinin artmasına ve dışkıdaki fazla miktarda amonyakın kümes ortamına salımını artırmaktadır. Sıcak mevsimlerde ise havalandırma oranı ve hava akış hızı daha fazla olduğu için nispeten daha düşük seviyelerde NH_3 konsantrasyonları oluşmaktadır.

Altlık neminin yüksek olmasının NH_3 uçuculuğuna olan etkisinin yanı sıra hayvanlarda tüylenme hızını, yemden yararlanma oranını ve koksidiyoz kontrolü de etkilemektedir. Altlık nem içeriğinin fazla olması hayvanlarda ayak tabanı hastalıklarını artırmaktadır. Amonyak uçuculuğunun azaltılması için mutlaka altlıkta nem kontrolünün sağlanması

gereklidir. Bunun için alternatif yöntemler büyük önem taşımaktadır. Altlıkta kullanılan çeşitli ıslah edici maddelerin kullanımıyla birlikte nem kontrolünün sağlanması, altlığın birkaç sürü için yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Altlığın pH seviyesi, amonyağın uçuculuk sürecini etkileyen en önemli diğer bir özelliktir. Kümes hayvanının bünyesinden atılan gübrenin altlık pH'sı 7,5 - 8,5 arasında bulunmaktadır. Bu aralık NH_3 üreten bakteriler için ideal ortamı oluşturmaktadır (Chen vd., 2021). Sürünün yaşı ve sayısı, altlık pH'sını önemli ölçüde etkilemektedir. Genç tavuklar yemden aldıkları proteinin çoğunu gelişimleri için harcadıkları için gübreye birlikte N atılımları daha az olur, böylece amonyak emisyonlarına daha az katkıda bulunurlar. Asidik veya nötr ortamlarda altlıktan salınan azot, amonyum formunda bulunurken pH'nın yüksek seviyelerinde amonyak yüksek düzeylerde bulunmaktadır (Şekil 2.2) (Sadhu, 2005).



Şekil 2.2. Amonyak ve amonyum ilişkisinde pH'nın etkisi (Sadhu, 2005)

pH seviyesinin 8,0 ve daha yüksek değerlere ulaşması NH_3 emisyonunu maksimuma çıkarır. pH seviyesinin düşürülmesi ürik asidin üre olarak ayrışmasını engelleyerek amonyumun amonyak gazına dönüşümünü azaltmaktadır (Li vd., 2013).

2.3.2. Havalandırma sistemi

Kümeslerde iç ortamdaki nemi, ısıyı, tozu ve kokuyu gidermek; amonyak ve diğer zararlı gazların birikmesini önlemek ve optimum düzeyde ortam şartlarını sağlayabilmek için havalandırma oranının dış ortam koşullarına ve hayvan yaşına bağlı

olarak belirlenmektedir (USEPA, 2001). Kümeslerde havalandırma doğal ya da mekanik olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bazı durumlarda farklı iklim koşullarında tavuklara minimum konfor sağlayabilme amacıyla iki sistemin de birleştirildiği kombine sistemler uygulanabilmektedir. Doğal havalandırma yapılan kümeslerde, kümesin yapısına (zemin, çatı, pencere boyutları, çeşitli açıklıkların konfigürasyonu vb.) doğrudan bağlıyken; hava akışı r zg r yönü, r zg r hızı, sıcaklık, nem, güneş açısı gibi dış koşullardaki etmenlerden de etkilenmektedir. Bu durum kümes içerisindeki hava homojenizasyonunu her zaman sağlayamadığı için hava akışı da sürekli değişir ve gaz konsantrasyonlarının da farklı noktalarda yoğunlukları değişebilmektedir. Mekanik havalandırma yapılan kümeslerde ise, havalandırma doğrudan dış koşullara bağlı olmasa da iç ortamda hayvanların aktivitesine, vücut sıcaklıklarına, gün boyunca ürettikleri nem oranına mevsim değişikliklerine ve uzun süreli yetiştirme dönemlerinde hayvanların büyümelerine bağlı olarak havalandırma oranı ve hava akış hızı değişecektir (Mondaca vd., 2019; Pakari ve Ghani, 2021). Ancak, değişen koşullara göre mekanik havalandırma sistemlerinde bulunan fanların kontrolü manuel ya da otomatik olarak ayarlanarak ihtiyaca göre uyum sağlayabilmektedir.

Yaz aylarında i ortamdaki fazla ısıyı ortamdan uzaklaştırmak, kış aylarında ise ortaya çıkan fazla nemden dolayı nem kontrolünün sağlanabilmesi için uygun havalandırma sisteminin olması önemlidir. Doğru ve yeterli yapılan havalandırma ortamdaki bağlı nemi azaltır, nemin duvarlarda ve tavanda yoğunlaşmasını önlemektedir. Yeterli havalandırma yapılmadığında iç ortam sıcaklığı artarak havanın hacmi genişler ve ortamda daha fazla nem tutar. Kış aylarında havalandırmanın iyi düzeyde yapılıp, daha yüksek hacimdeki havayı ısıtmak için ek ısıtma sağlanması da bir alternatif olsa da enerji maliyetleri nedeniyle sürdürülebilir değildir (Bucklin vd., 2009).

Kış mevsiminde havalandırma oranı nem oluşumunu engelleyebildiği ölçüde yeterlidir. Kümes ortamında yüksek amonyak seviyelerini yönetebilmek için havalandırma oranını artırmak gerekir ancak yüksek havalandırma oranları, kümes içerisindeki kuru altlıktan kaynaklanan toz sorununu ortaya çıkarabilmektedir.

Havalandırma sisteminin iyileştirilmesi ve oranının artırılması kümes içerisindeki NH₃ konsantrasyonunu azaltırken atmosfere salınan NH₃ emisyonunun artmasına neden

olmaktadır. Kümes içerisinde oluşan NH₃ gazının dışarı atılmasında ise çıkış fanlarına yerleŐtirilen biyo-yıkayıcılar, biyofiltreler veya kimyasal temizleyiciler gibi amonyak temizleyiciler atmosfere karıŐan amonyak emisyonlarını azaltmaktadır. Ancak bu yöntemler de kümes içerisindeki amonyak seviyesini azaltmaz.

Bu durumun insan ve evre sağlığı üzerindeki etkilerini azaltmak için k mesten salınan amonyağı barınakta hapsederek n tralizetmek için en uygun yöntemlerin uygulanmasına ihtiyaç vardır.

2.3.3. Gübre yönetimi

Kanatlı hayvan yetiŐtiriciliėinden ortaya çıkan başlıca çevresel problemlere neden olan etmenlerin başında gübre gelmektedir. Potansiyel kirletici emisyonların belirlenmesinde hayvansal atık ürünlerinin bileŐimi ve kalitesinin yanında gübre yönetimi uygulamaları da etkili kritik faktörlerdir (Oenema vd., 2007; Madrid vd., 2012). Kümeslerde gübrenin nasıl yönetildiği ve hangi kümes sistemlerin kullanıldığı i ortamdaki NH₃ gaz konsantrasyonlarında etkilidir. Gübrenin ne kadar sürede, nerede ve nasıl depolandığı, kümes ortamından nasıl uzaklaŐtırıldıėı, gübrenin katı ya da sıvı olarak iŐletilmesiyle ilişkili olarak NH₃ salımını etkilemektedir.

Üretim sistemlerinde genellikle son yıllarda derin çukurlu sistemlerden ziyade bantlı sistemlere doğru yönelme olmaktadır. Gübre bantlı sistemlerde her kafes sırasının altındaki gübre bandı üzerine gübreler düŐer ve doğal ya da basınçlı hava akımı ile kurutulması sağlanır. Kümeslerde kafesli sistemlerde genellikle gübreler bantlı sistemler aracılığıyla kümesin bir ucuna ya da kümes dışında bir konveyöre aktarılır. Bant üzerinde biriken gübreler doğal ya da mekanik kurutma aracılığıyla k mesten çıkan gübrelerin nem içeriği %30-60'dan daha düşük olur. Böylece hem gübrenin taŐınması kolay olur, hem de daha az NH₃ salımı gerçekleşir (Brouek ve erm k, 2015).

2.3.4. Yem rasyonu

Kanatlı hayvan ürünlerine olan talebin artması paralelinde üretim miktarında da artışı getirmiŐtir. Özellikle ticari düzeyde yapılan et tavukçuluğu ve yumurtacı yetiştiriciliğinde yüksek ham protein içeren yemler kullanılmaktadır. Kanatlılar

tarafından tüketilen yemdeki proteinin absorbe edilemediği durumlarda %60'dan fazlası atılarak gübredeki N seviyesinin artmasına neden olmaktadır (Ritz vd., 2004). NH₃ emisyonunun başlıca kaynakları sindirilmemiş protein ve ürik asittir. Kanatlılarda kullanılan protein içerikleri yüksek yemler, atılan gübredeki N miktarının artışına neden olarak daha fazla NH₃ emisyonuna neden olmaktadır. Kelleher vd. (2002), yaptıkları bir çalışmada gübredeki azot oranının %90'a kadarının amonyağa dönüştürülebileceğini bildirmişlerdir.

Yem rasyonlarında yapılan değişiklikler, NH₃ üretiminde önemli bir rol oynamaktadır ve hava kirliliğini azaltma potansiyeli göstermektedir (Xin vd., 2011). Yem içeriğinde ham protein seviyelerini düşürmek ve amino asit sindirilebilirliğini artırmak için yem kalitesinin iyileştirilmesi, kanatlı gübresiyle atılan azot miktarı ve amonyak uçuculuğunu azaltabilir (Nahm, 2007). Ayrıca yemde kullanılan bazı katkı maddeleri (sentetik amino asitler, kil mineralleri, enzimler gibi) hayvanlarda azotun sindirilebilirliğini artırarak gübreyle atılımının azaltılmasını sağlamaktadır. Kil mineralleri yemdeki diğer katkı maddelerini bağlayıcı etki oluşturarak daha kuru gübre oluşumunu destekler. Enzim takviyeleri ise hayvanların bağırsak viskozitesini azaltarak amino asit sindirilebilirliğini artırmaktadır. Ancak yüksek verimli olmayan ırklara her zaman yüksek proteinli yemler vermek verimliliğinin artırmamasının yanı sıra sindirilemeyen protein gübre ve idrar ile birlikte N atılımını artırmaktadır (Yaylı ve Kılıç, 2021b). Yemlerde bulunan yüksek orandaki sodyum konsantrasyonları hayvanlarda su tüketimini artırmaktadır. Bu durum da altlığın aşırı ıslak olmasına neden olur. Yüksek lif içeriği ve düşük sindirilebilirliğe sahip yemler bağırsak florasını ve gübre özelliklerini değiştirerek altlık kalitesini etkilemektedir (De Jong ve Van Harn, 2012; Senyondo, 2013).

2.3.5. İç ortam iklimsel çevre koşulları

Kümes içerisinde sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı gibi parametreler NH₃ emisyonları ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkilendirilebilmektedir (Faulkner ve Shaw, 2008).

Soğuk havalarda kümeslerde yetiştirilen kanatlılar soğuk stresiyle mücadele edebilmek için daha fazla kalori harcamaktadır. Aşırı kalori yakımının önlenmesi için

havalandırma düzeyi düşük seviyede tutularak kümes sıcaklığının korunması esas alınmaktadır. Ancak yetersiz yapılan havalandırma, kümesteki NH₃ konsantrasyonunu artırmaktadır. Kümes içerisinde hava hareketi, kirleticilerin temel taşınma şekli olduğu için kirletici dağılımını etkilemektedir. Gübre yüzeyi üzerindeki hava hareketi hızının artmasıyla da NH₃ kütle akışı artarak ortamdaki konsantrasyon yoğunluğunu artırmaktadır (Montes vd., 2009; Vaddella vd., 2013).

Yılın farklı dönemlerinde hava koşullarına göre sıcaklık ve bağıl nem faktörleri değişkenlik gösterirken NH₃ emisyonlarını da büyük ölçüde etkilemektedir. Kümesin sıcaklığının artmasıyla birlikte NH₃ gazı daha fazla açığa çıkmaktadır. Kümeste bulunan hayvanların yaşıyla birlikte ortamdaki bağıl nem oranı da artmaktadır. Ortamdaki bağıl nem oranının yükselmesi altlık nemi ve altlıktan olan NH₃ emisyonu üzerinde büyük etkide bulunmaktadır. Ayrıca amonyak oluşumunu artırmanın yanı sıra birçok altlık materyalinin kullanım ömrünü de kısalttığı görülmektedir (Ritz vd., 2004). Kümesteki bağıl nemin %70'in altında tutulması altlıkta ıslaklığı ve topaklanmayı azaltırken, %50'nin altına düşmesi altlık malzemesinin çok kuru hale gelerek kümes içerisinde tozlu koşullar oluşturabilmektedir (Senyondo, 2013).

2.3.6. Yetiştirme sistemi ve sürü yönetimi

Uygun havalandırma yönetimi, gübrenin toplanması, depolanması ve kümeden uzaklaştırılması, altlığın yönetimi, tercih edilen kafes sistemleri, yetiştiricilik türü gibi faktörlerin amonyak uçuculuğunda etkili olduğu için hem çevre, hem sağlık hem de üretim hedeflerine ulaşılmasında fırsatlar sağlamaktadır. Havalandırmanın, gübre işletiminin ve altlığın amonyak emisyonları ile ilişkisi diğer bölümlerde anlatıldığı için bu kısımda değinilmemiştir.

Kümes hayvancılığı üretiminde, yumurta tavuğu yetiştiriciliğinde kafesli sistemler daha fazla tercih edilirken et tavukçuluğunda genellikle altlıklı sistemler kullanılmaktadır. Kafesli sistemlerde konveksiyonel (geleneksel) ve zenginleştirilmiş kafes sistemleri uygulanmaktadır. Kafesli sistemler tek katlı ya da çok katlı (batarya ve kalifornia tipi) olarak tasarlanır ve endüstriyel işletmelerde genellikle çok katlı sistemler tercih edilmektedir. Zenginleştirilmiş kafes sistemlerinde, tavuk başına toplam 750 cm² olmak

üzere kullanılabilir alanın en az 600 cm² olmasına olanak sağlamaktadır. Zenginleştirilmiş kafes sistemlerinde konvensiyonel kafes sistemlerine göre tavuk başına 50 cm² daha fazla alan sağlamaktadır.

2.4. NH₃ Emisyonu Arıtım Teknikleri

Amonyak renksiz, keskin kokulu, tahriş edici, aşındırıcı, havadan hafif alkali bir gazdır. Ayrıca polar bir bileşik olduğundan dolayı su içerisinde yüksek oranda çözülür. NH₃, sulu çözeltilerinde bazik özellik göstermektedir (Denklem 2.8). Ayrıca uçucu olmayan amonyuma protonlanması için asidik bir ortamın oluşması gerekmektedir (Denklem 2.9). NH₃'ün uçuculaşması için en uygun pH seviyeleri 7-10 aralığıdır. Ortamın pH ≤ 6,5 olması durumunda NH₃ uçuculuğu azalmaya başlayacaktır (Rhoades vd., 2010; Spiehs vd., 2019). Ortamın asidik olması NH₃ gazının uçuculaşmasını azaltmak için istenen bir ortamdır. Gübredeki NH₃ uçuculuğu azaltılarak ortamdaki emisyon miktarı azaltılır ve gübrenin N içeriği artarak daha kaliteli bir gübre elde edilir. Gübrenin asitleştirilmesindeki temel prensip, gübrenin pH'ını düşürebilir, böylelikle NH₃ sulu ortamlarında daha düşük miktardaki NH₃ uçucu hale gelecektir. Bundan dolayı altlık materyalinin pH seviyesinin azaltılması NH₃'ün emisyonunun azaltılmasında çok önemlidir.



Kümeslerde oluşan amonyak gazının azaltılması için uygulanan yöntemlerin başarılı sonuç vermesi; etkili, uygulaması kolay ve üretim maliyetlerini artırmayacak çözümlerin bulunmasına bağlıdır. Kümes hayvanları yetiştirme sistemlerinden kaynaklanan NH₃ emisyonlarının azaltılması için üç farklı strateji uygulanabilmektedir: I) beslenme değişiklikleri ile N atılımının azaltılması, II) altlıkta uygulanan katkı maddeleri ile yayılan N atılımının azaltılması, III) çıkan kirlili havadan N'un gaz yıkayıcı veya biyofiltre ile yıkanması/geri kazanılması (Van der Heyden vd., 2015; Sigurdarson vd., 2018). Kimyasal altlık değişiklikleri NH₃ emisyonlarını, gıda kaynaklı patojenleri, koku emisyonlarının azaltılması ve altlık gübre potansiyelinin artırılması için en iyi uygulama olarak mevcuttur (Choi ve Moore, 2008; Miles vd., 2011b; Hunolt vd., 2015;

Dunlop vd., 2016). Kullanılan katkı maddelerinin genellikle doğaları gereği asidik yapıdadır ve amonyağı amonyuma dönüştürerek uçuculuğunu önlemektedirler. Altlıklarda ve gübre atıklarında kullanılan asitleştirici katkı maddeleri pH değerini düşürerek NH₃ uçuculuğunu ve emisyon oranını azaltır. Sonuç olarak, asitleştirici katkı maddeleri kullanılarak daha fazla N altlık tarafından NH₄⁺ olarak tutulur, böylece uçuculuk azalır ve altlık gübre değeri artar. Asitleştirici maddeler ayrıca NH₃ oluşumunda rol oynayan bakteriyel ve enzim aktivitelerini inhibe ederek NH₃ oluşumunu azaltır ve gübrenin N içeriği korunmuş olur (Li vd., 2013). Kümes ortamında NH₃ konsantrasyonunun azaltılması sadece iç ortam hava kalitesini iyileştirmez. Aynı zamanda NH₃ konsantrasyonunun düşmesiyle havalandırma miktarı da azalacak ve azalan havalandırma ihtiyacı kışın havalandırma ile olan ısı kaybını azaltarak yakıt kullanımını azaltarak enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır. Kümes ortamında amonyağın azaltılması sadece iç ortam hava kalitesini iyileştirmez, aynı zamanda kullanılan asitleştiriciler havalandırma miktarını ve ısıtma maliyetini de düşürerek enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik fayda sağlamaktadır.

Kümeşteki amonyak miktarının azaltılması için iyi bir havalandırma yapılmasının yanı sıra yataklığın temiz ve kuru olması da önemlidir. Kullanılan altlık materyaline bağlı olarak gübre ve idrar ile ıslanıp nem içeriğinin artması sonucu patojen ve mikroorganizmalar artar. Gübrenin mikrobiyolojik parçalanması sonucu NH₃ uçuculuğu artarak değişik sorunlara neden olmaktadır. Altlık nemi, altlık materyallerinin ömrünü kısaltır ve kanatlı sağlığına zararlı mantar ve diğer mikroorganizmaların gelişmesine yardımcı olur. Sonuç olarak, bu, malzemelerin daha sık değiştirilmesine, dolayısıyla büyüme performansının bozulmasına ve üretim maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır (Schneider vd., 2016). Altlıktaki gaz oluşumlarını gidermek ve diğer gazların oluşumlarını azaltmak, bakteri üremesinin negatif etkilerini azaltmak için altlığa bazı kimyasallar ilave edilebilmektedir. Altlık materyalinden kaynaklanan NH₃ emisyonlarının azaltılması aynı zamanda havalandırma kapasitesinin azaltılmasını sağlayabilir böylece soğuk dönemlerde ve soğuk bölgelerde önemli enerji tasarrufu sağlar ve gübre içerisindeki N içeriğini artırarak pazar ve besin değerini artırır (Pereira vd., 2019a).

Hayvan barınaklarında hava kirleticilerinin emisyonlarını kontrol etmek için iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar kaynağında emisyonların azaltılması ve ortamda emisyonun azaltılmasıdır (Ni, 2015; Chai vd., 2018; Bist vd., 2023).

2.5. Kümeslerde NH₃ Uçuculuğunun Azaltılmasında Kullanılan Bazı Katkı Maddelerinin Özellikleri

Kümes hayvancılığı tesislerinden kaynaklanan üretim neticesinde çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratarak çok fazla çevresel etkiye neden olabilmektedir. Entansif kümes sistemlerinde, üretim faaliyetlerine göre çevresel etki değerlendirmesine tabi tutulmaktadır. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği'ne göre bir üretim periyodunda 60 000 adet ve üzeri tavuk, 85 000 adet ve üzeri piliç veya eş değeri diğer kanatlıların yetiştirildiği tesislerde çevresel etki değerlendirmesi uygulanması gereklidir.

Kümeslerde gübrenin depolandığı yerlerde N₂O, CH₄ ve çok az miktarda H₂S açığa çıkmaktadır. Kümes hayvanlarının yetiştirildikleri kümeslerde ya da bölmelerde ise NH₃ konsantrasyon değerleri diğer gaz salımlarından daha yüksek olabilmektedir. Tavukların yemlerden bünyelerine aldığı azot miktarının %45-50'si gübreye birlikte dışarı atılmaktadır. Bu durum tarımsal kaynaklı amonyak emisyonlarının %13'üne katkıda bulunarak ıslak ya da kuru amonyum birikimine katkıda bulunmaktadır (Jiang vd., 2021). Tavuklar çok hassas canlılardır, bundan dolayı kümes iç ortamlarının kontrolünün sağlanabilmesi için NH₃ konsantrasyonunu azaltmak ya da baskılamak oldukça kritik öneme sahiptir (Liu vd., 2019).

Kümeslerden kaynaklanan amonyak emisyonlarını kontrol etmeye yönelik yaygın stratejiler arasında havalandırma, yem formülasyonu ve gübre yönetimi yer almaktadır (Ritz vd., 2004). Gübre yönetimi aşaması genellikle üç aşamadan oluşmaktadır: barınak içerisinde gübre yönetimi, depolama sırasında gübre yönetimi ve araziye uygulama esnasında gübre yönetimi (Ershadi vd., 2021). Kümesten kaynaklanan kirleticilerin çevresel etkilerinin azaltılması için farklı teknolojiler (biyofiltre, gaz yıkayıcı vb.) geliştirilmektedir fakat bunlar genellikle hem kurulum hem de işletim maliyeti yüksek olan uygulamalardır. Kanatlı gübresi bitkisel üretim için zengin besin içeriğine sahip organik gübre olarak kullanılmaktadır. Ancak kanatlı gübresinin doğru bir şekilde yönetilemediği durumlarda ve toprağa aşırı uygulanmasında amonyak gazının

uçuculaşmasına, yüksek miktarda azot mineralizasyonuna, hassas bitkilerin zarar görmesine, organik maddelerin toprağa sızması ve aşırı fosfor kontaminasyonu ile suların kirlenmesine neden olmaktadır (Mitroi vd., 2021).

Broyler kümeslerinde hayvanlar, gününün çoğunu altlık üzerinde geçirdiklerinden dolayı altlık kalitesi çok önemlidir. Nem adsorpsiyonu, ısı yalıtımı, nem, toz ve amonyak kontrolünün sağlanması, hayvanların zeminle doğrudan temasının önlenmesi açısından yataklık kullanımı oldukça önemlidir. Bunun yanı sıra altlık kullanımı tavukların toz banyosu, eşeleme gibi doğal davranışların sergilenmesini sağlayarak hayvan refahına da katkıda bulunmaktadır (Youssef vd., 2010; Zikic vd., 2017; Barbosa vd., 2022). Yetiştiriciler, altlık değişiklikleri uygulamalarıyla NH₃'ü kümeste hapsederek atmosfere emisyonunu kontrol edebilirler. Yaygın olarak kullanılan altlık iyileştiricileri, etki şekillerine bağlı olarak beş kategoriye ayrılabilir (Shah vd., 2012): asitleştiriciler, alkali maddeler, absorbanlar, inhibitörler ve mikrobiyal ve enzimatik işlemler. Asitleştirici katkı maddeleri gübre ya da altlığın pH'sını, mikrobiyal aktivitesini, patojenleri ve hastalık insidansını azaltmaktadır. İnhibitörler, gübredeki ürikaz enziminin aktivitesini baskılamak için çeşitli çalışmalarda çinko ve bakır gibi bazı mineraller kullanılmaktadır. Amonyak salınımının azaltılması, altlıkta N tutulmasını artırmaktadır ve bu durum minerallerin pH değerini düşürmesiyle ilişkilendirilmektedir (Kim ve Patterson, 2003). Zenginleştirilmiş gübre içeriği ile hem çiftçiler hem de çevresel potansiyel etkiler açısından çeşitli faydalar sağlayarak sürdürülebilir bir besin ve enerji kaynağı olabilir.

Broyler tavuk altlıklarında NH₃ uçuculuğunun azaltılmak amacıyla kullanılabilen/kullanılabilecek bazı katkı veya absorban maddelerinin kimyasal özelliklerinden bahsedilmiştir.

2.5.1. Zeolitler

Zeolitler, mineral alkali ya da toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip, kafes yapılarında silis ve oksijen, gözeneklerinde ise katyon ve su içeren sulu alümina silikatlardır (Gülen vd., 2012; Moshoeshoe vd., 2017). Doğal ve sentetik çeşitleri olmak üzere tarım, hayvancılık, inşaat, sağlık, kimya gibi pek çok sektörde uygulama alanı

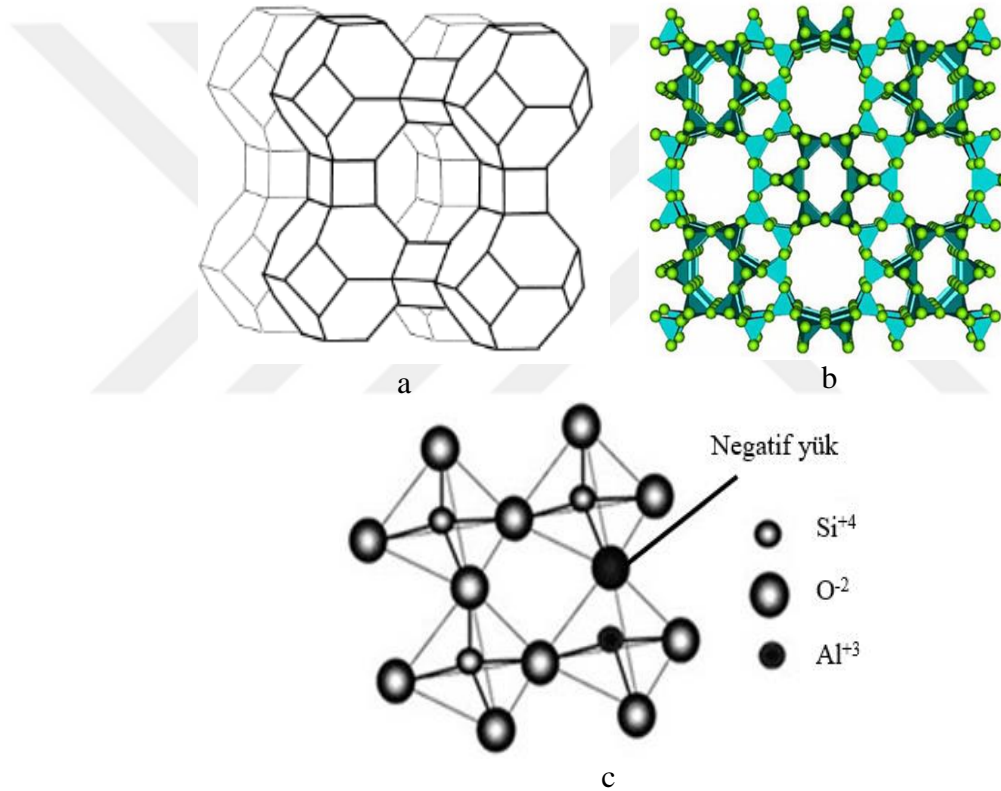
bulmaktadır. Doğal zeolitler çoğunlukla volkanik aktiviteler sonucunda oluşmaktadır ve dünyadaki kullanımının yaklaşık 3,6 Mg/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Doğal zeolitler daha çok tarım alanında kullanılmaktadır. Başlıca üreticiler Küba, Almanya, Japonya ve Güney Kore ve son yıllarda Avustralya, Endonezya ve Yeni Zelanda'dır. Doğal zeolitlerin yanı sıra iyon değiştirme ve soğurma kapasitelerini artırmayı amaçlamak ve daha seçici bir malzeme elde etmek amacıyla modifiye edilmiş sentetik zeolitler de kullanılmaktadır (Faghihian vd., 2002; Wlazło vd., 2016).

Türkiye'de Balıkesir, Bigadiç, Manisa, Gördes, Kütahya, İzmir, Bolu, Kapadokya bölgelerinde zengin zeolit yatakları bulunmaktadır (Gülen vd., 2012). Türkiye'de zeolitin en fazla bulunan türü klinoptilolittir ve termal olarak en kararlı olan türdür. Klinoptilolit zeolitinden tarım, hayvancılık, çevre koruma, su filtrasyonu ve inşaat gibi birçok sanayi sektöründe olmak üzere farklı alanlarda kullanımı mevcuttur. Türkiye'de Balıkesir, Manisa/Gördes havzasında bulunan klinoptilolit %95 oranında saflığa sahiptir.

Klinoptilolit, kristalimsi alüminosilikat mineralleri ailesine ait doğal olarak oluşan bir zeolit olmak üzere adsorpsiyon potansiyeli, gözeneklilik ve polarite gibi önemli özelliklere sahiptir (Pereira vd., 2019b). Zeolitlerin adsorpsiyon kapasiteleri oldukça yüksek olduğundan dolayı zeolit türlerine bağlı olarak hacimlerinin yarısına kadar sıvıları bünyelerine alabilmektedirler (Rhoades, 2010).

Zeolitlerin gözenekli kimyasal yapısı katyon içeren negatif çerçevelerden oluşmaktadır. Bu çerçevede oluşan asit bölgeleri zeolitlerin aktif bölgelerini oluşturur. Zeolitler bir oksijen atomunu paylaşarak birbirine bağlanan tetrahedral $[AlO_4]^{-5}$ ve $[SiO_4]^{-4}$ tetrahedronlar, sonsuza uzanan üç boyutlu ve dört bağlantılı bir çerçeveye dayanmaktadır. İki farklı tetrahedronun bir adet oksijen atomunu paylaşmasıyla kanallar arasında birbirine bağlı boşluklar meydana getirerek gözenekli yapıyı oluşturur (Derouane vd., 2013). Zeolitin kristal kafesinin deliklerinde katyonlar bulunur, kafesin kısımları da eksi yüklüdür. Bu nedenle bu iyonların etrafında güçlü bir elektriksel alan bulunur. Zeolitlerde elektrostatik kuvvetin ve dağılma kuvvetin birleşik etkisi iyi bir adsorpsiyon etkisini oluşturur (Li vd., 2010).

Zeolitlerin yapısında Si atomu veya onunla yer değiştirebilen Al atomu merkezde bulunurken, köşelerde O atomu bulunmaktadır (Şekil 2.3). Yapısındaki Si (silisyum) atomlarının Al (alüminyum) ile izomorfik yer değiştirmesi, materyale asitlik kazandırmasının yanı sıra negatif yükler oluşturarak yapısal yükün ayarlanması için alkali ve toprak alkali metal katyonlarının varlığı gerekmektedir (Ortiz vd., 2011; Rahmani vd., 2015). Yüksek Al içeriğine sahip zeolitler ya da düşük Si: Al oranına sahip zeolitler, yüksek Si: Al oranına sahip olan zeolitlerden daha polar olduğu için daha güçlü sorbsiyon özelliği gösterirler. Polar olmayan zeolitler anyonik özellikleri olmadığı için hidrofobik özellik gösterirler.



Şekil 2.3. a) Zeolit kristal yapısının görünümü (Jha vd., 2011) b) Zeolit tetrahedral yapısının görünümü (Ratner ve Ratner, 2003) c) Zeolit atomik yapısının görünümü (Querol vd., 2002)

Zeolitler yüksek kation değişim kapasitesine sahiptir ve NH₃, H₂S ve CO₂ iyonlarına yönelik yüksek afiniteye sahiptirler (Ndegwa vd., 2008). İyon değiştirme ve adsorbsiyon özellikleri sayesinde kirlilik kontrolünde kullanılmaktadır. Zeolitler, adsorbsiyon yoluyla NH₃ emisyonlarını azaltabilen, etkili, tehlikesiz ve korozif olmayan bir katkı

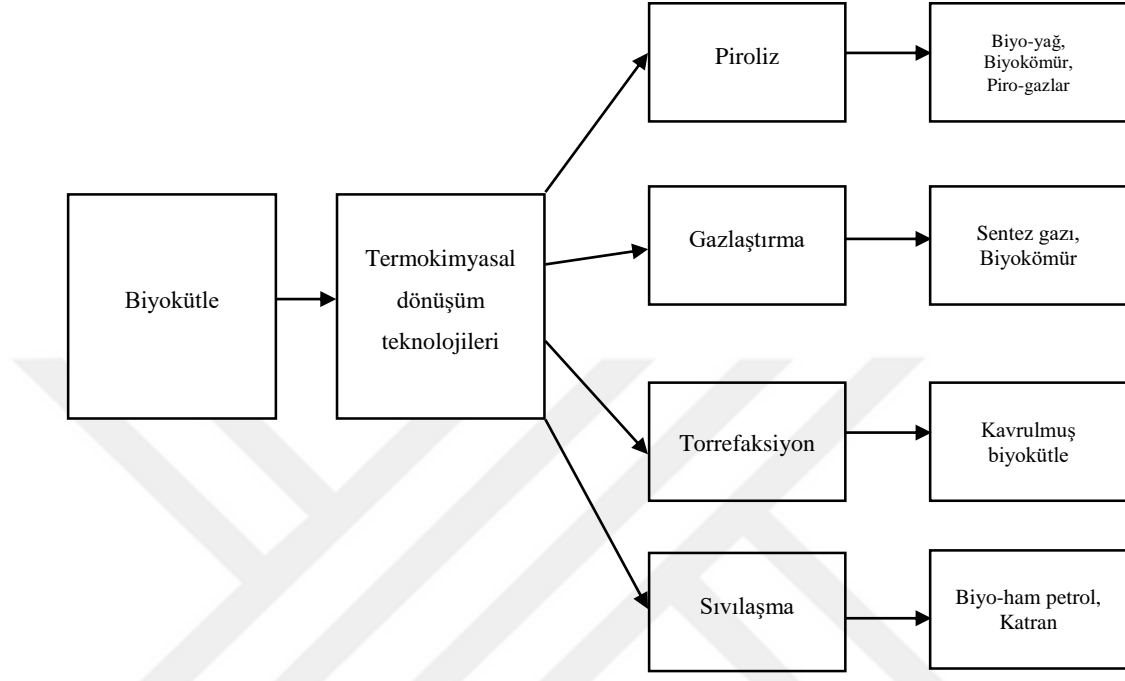
maddesidir (Bajwa ve Gadiraju, 2007). Adsorbsiyon ve katyon değişim kapasiteleri sayesinde NH_4^+ adsorbsiyonunu sağlayarak NH_3 içeriğini azaltabilmektedir. Ancak bazı yapılan çalışmalarda zeolit in amonyak konsantrasyonu üzerinde olumsuz etkide bulunduğu gözlenmiştir. Amon vd. (1997), kümes hayvanı altlığına ekledikleri klinoptilolit zeolitinin uygulanmasıyla amonyak konsantrasyonlarında önemli ölçüde artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zeolitler, tarımsal faaliyetlerde toprak düzenlenme, toprak arındırma, kontrollü gübre salımı, bitki üretimine yönelik kalite ve verimi artırma, atık su arıtımı, yüksek karbon tutma özelliğiyle çevresel faydaları gibi çok geniş yelpazede kendine çalışma alanı bulmuştur. Toprak gübresi olarak kullanılabilir ve hayvan barınaklarında kötü kokuyu azaltmaya yarar sağlamaktadır (Nuernberg vd., 2016). Ayrıca zeolitler kirli su ve atık sudan NH_4 ve ağır katyonların uzaklaştırılmasında kullanılabilir. Hayvan yetiştiriciliğinde ise hayvanlar üzerinde performansları ve verimlilikleri üzerinde yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Zeolitler yem katkı maddesi olarak kümes hayvanları, büyükbaş, domuz, at gibi hayvan yetiştiriciliğinde kullanılarak yemdeki mikropların ve mikroskobik parazitler tarafından üretilen toksinlerin adsorbe etmesiyle yemlerin verimliliğini sağlamaktadır (Demir ve Polat, 2003).

2.5.2. Biyokömür (biyoçar)

Organik kökenli biyokütlelerin oksijensiz ya da çok az oksijenin olduğu yüksek sıcaklıklarda termokimyasal şekilde ayrıştırılmasıyla, karbonca zengin, gözenekli ve ayrışmaya dayanıklı biyokömür elde edilmektedir. Biyokömürün temeli biyokütle olduğundan dolayı temel kaynağı organik atıklardır ve hayvan gübresi, kanalizasyon çamuru, meyve kabukları, tarımsal kalıntılar gibi farklı türdeki hammaddeler biyokömür üretimi için kullanılır. Biyokütlenin genellikle 500°C ve atmosfer basıncında pirolizi sonucunda hidrokarbon molekülleri daha basit moleküllere parçalanarak katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir. Katı olarak elde edilen ürünler biyokömür veya diğer ismiyle biyoçar olarak adlandırılır (şekil 2.4). Biyokömür, anaerobik ortamda yüksek sıcaklıkta biyokütlenin pirolizi ile üretimi gerçekleştirilen adsorban bir maddedir (Guo vd., 2016). Diğer bir tanımla termokimyasal biyokütle dönüşümünün bir yan ürünüdür (Graves, 2023). Piroliz işlemi, gazlaştırmaya izin vermeyen bir oksitleyici maddenin yokluğunda

ya da sınırlı miktarında, biyokütlenin termokimyasal olarak parçalanması olarak tanımlanmaktadır (Nyazika vd., 2019). Piroliz, organik maddenin oksijen varlığında normal tam yanmasının tersidir ve piroliz sonucunda karbondioksit ve su oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Biyokütlenin termokimyasal dönüşümleri (Jha vd., 2022)

Piroliz işlemi prosesin sıcaklık ve zamanına göre beş şekilde gerçekleştirilebilmektedir: yavaş piroliz, hızlı piroliz, flaş piroliz, torrefaksiyon (ılımlı piroliz) ve orta piroliz. (Çizelge 2.1). Biyokömür oluşumunda en çok kullanılan piroliz teknolojisi yavaş pirolizdir. Yavaş piroliz işleminin tamamlanması daha düşük sıcaklıklarda birkaç saat sürebilmektedir. Hızlı piroliz işlemi, biyokütleden yüksek miktarda sıvı yani biyoyakıt elde etmek için kullanılır. Flaş piroliz ise diğer piroliz çeşitlerine göre milisaniyeler içerisinde çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Torrefaksiyon (ılımlı piroliz) teknolojisinde düşük sıcaklıklarda işlem gerçekleştirilir. Bu işlem, genellikle biyokütlenin ön hazırlık aşamasında uçucu bileşenlerin uzaklaştırılması amacıyla yapılır ve sonucunda çeşitli organik asitler oluşabilir. Orta hız pirolizinde ise yaklaşık olarak eşit miktarlarda katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir.

Çizelge 2.1. Piroliz türleri ve özellikleri (Kambo ve Dutta, 2015)

Piroliz Türü	Zaman	Sıcaklık (°C)	Isıtma hızı
Yavaş piroliz	Saat-gün	200-600	Çok düşük
Hızlı piroliz	<2 s	500-950	Yüksek
Flash piroliz	ms	1050-1300	Çok yüksek
Torrefaksiyon	20-60 dk	230-300	Düşük
Orta piroliz	5-30 dk	500	Orta

Atık biyokütlenin biyokömüre dönüştürülmesi, bitkilerden veya hayvanlardan kaynaklanan tarımsal atıkların yönetiminde büyük bir potansiyele sahiptir ve bu nedenle ilgili çevresel sorunların azaltılmasına katkıda bulunur. Biyokömür iklim değişikliğinin azaltılması, toprak kalitesinin artırılması, hayvan yemine ilavesi, gıda güvenliği, emisyonun azaltılması stratejileri gibi farklı araştırma alanları için son yıllarda daha ilgi çekici bir araç olmaktadır. Biyokömürler; adsorbon, toprak düzenleyici, enerji depolama ürünü, katalizör gibi geniş kapsamlı uygulama alanlarında yer bulabilen ürünlerdir (Zhang vd., 2019). Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortamda ısı işlem görmesi sonucunda kararlı ve karbon bakımından oldukça zengin bir ürün oluşmaktadır. Biyokütle yandığında atmosfere yüksek miktarda CH₄ ve CO₂ gazlarını salmaktadır ancak biyokömüre dönüştürüldüğünde karbon içeriğini ayrıştırarak bünyesinde depolar. Toprağa uygulanan biyokömür karbonu hapsetmeye devam eder ve yeraltı karbon depoları oluşturarak daha sağlıklı toprak yapısını desteklemektedir. Özellikle hem ülkemizde hem de dünyada yaygın bir şekilde yapılan anız yakma işlemiyle atmosfere salınan karbonun, yakılacak anızın biyokömüre dönüştürülerek toprağa eklenmesiyle karbonun toprakta tutulmasını sağlamakta ve karbon salımının azaltılmasına destek olmaktadır. Toprak ıslahında kullanılarak toprak kalitesini iyileştiren, karbon ve azot tutumunda etkili olan, bitki büyümesine katkı sağlayan biyokömürler, fizikokimyasal özellikleriyle organik ve inorganik kirleticilerin adsorbsiyonu sayesinde çevresel faydalar sağlamaktadır. Biyokömür topraktaki metal varlığını azaltmak ve kirlenmiş suyun çevresel iyileştirmesi için etkili bir madde olarak da görülmektedir (Puga vd., 2015).

Toprağa uygulanan biyokömür, özellikle düşük kil mineraline sahip tamponlama özelliği düşük olan hafif topraklarda güçlü sorpsiyon komplekslerinin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Biyokömür toprağa uygulandığında, besin maddelerinin toprak tarafından daha kolay tutulması sayesinde toprağın organik madde içeriği artmakta ve

toprağın verimliliğini sağlamaktadır. Ayrıca hayvan gübreleri ile hasat sonrası bitki artıkları ve döküntülerinin toprağa doğrudan uygulanması, mikrobiyal canlılık faaliyetlerinin devam etmesine ve dolayısıyla karbon salımına neden olmaktadır. Biyokömüre dönüştürülen organik atıkların toprağa uygulanmasıyla toprağı daha verimli hale getirmekte ve yetişen bitkilerin fotosentez yapmaları sayesinde atmosferdeki karbonu bünyesine almasıyla karbon absorpsiyonunu sağlamaktadır. Windeatt vd. (2014), yaptıkları bir çalışmada uzun süreli uygulamalar sonucunda toprağa uygulanan 373 Mt biyokömürün yılda 0,55 Pg CO₂ tutma potansiyelinin olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç itibariyle, 36 kg biyokömürün yılda 53,1 kg karbon tutma potansiyelinin olduğu varsaymışlardır.

Organik ve inorganik kirletici maddelerin biyokömür verimliliğı, atığın termal dönüşümünün pirolizi sırasındaki sıcaklığa bağlıdır. Biyokömür yalnızca biyokütleden oluşur ve biyokütlenin piroliz işlemindeki yüksek sıcaklık, yüzey alanının genişlemesini, gözeneklilik oranının artmasını sağlayarak bir adsorban görevi görmesini sağlamaktadır (Kalus vd., 2019).

Biyokömür sadece CO₂'yi hapsedmekle kalmaz aynı zamanda kirliliğın giderilmesini sağlayarak ve enerji üretiminde de kullanılarak sürdürülebilir tarıma destekte bulunur. Enerji elde edilmesiyle ilgili yapılmış çalışmalarda kanatlı gübresinin pirolizi sonucu biyokömür ya da anaerobik fermantasyon ile biyogaz elde edilmesine dair çalışmalar olsa da, bu yöntemler ticari olarak uygulamaya geçememiştir (Dach vd., 2014; Chun vd., 2015; Lim vd., 2015; Mierzwa-Hersztek vd., 2016). Biyokömür, atık sulardaki organik kirleticiler, mikroplastikler, ağır metaller gibi çeşitli kirleticileri uzaklaştırmak için yaygın kullanılan bir adsorbandır. Atık suyun arıtımında var olan reaktif formların nitrat, fosfat ve amonyum içeren sulu çözeltilerden besin maddelerinin giderimi biyokömürün sorpsiyon özelliğı sayesinde sağlanabilmektedir (Dai vd., 2020). Adsorpsiyon performansı yüksek olduğu için çevresel ortamdaki çeşitli organik kirleticileri güçlü şekilde adsorbe ederek organik kirleticilerin sebep olduğu çevresel risklerin azaltılmasına etkili rol oynamaktadır (Kołodyska vd., 2018).

2.5.3. Asidik karakterli tuzlar

Asitleştirici katkı maddeleri, azot kaybının önlenmesinde en iyi performans gösteren maddelerdendir. Asitleştiriciler altlıkta pH'yı düşürerek bakteriyel etkiyi engeller ve amonyak dönüşümünü azaltarak uçuculuğunu azaltır. Ayrıca patojenik bakterilerin gelişimi için elverişsiz bir ortam oluşturmanın yanı sıra bakteri popülasyonunu azaltmada da etkili sonuçlar göstermiştir (Cook vd., 2008; Roll vd., 2011; Chung vd., 2015). Ayrıca hâlihazırda kümeslerde kullanımı kolay olması asitleştirici maddelerin amonyak, fosfor ve potansiyel patojenlerin azaltılmasında kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Bundan dolayı kümes hayvanı endüstrisi içinde uygulamaları ilgi çekici olmaktadır. Piyasada altlık ıslah edicileri açısından değerlendirilebilecek çeşitli asitleştiriciler bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı üzerinde durulmuştur:

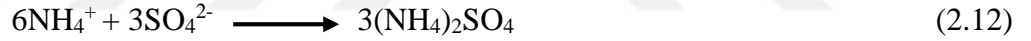
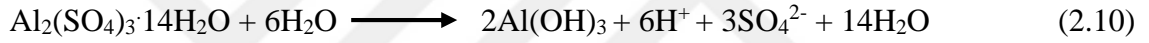
Alüminyum sülfat

Alüminyum sülfat suda çözünen bir bileşiktir, içme suyu ve atık su arıtımının saflaştırılmasında koagülant (pıhtılaştırıcı), kağıt imalatında pıhtılaştırıcı, tarımda pH düzenleyici, betonda hızlandırıcı, yangın köpüğünde, kumaş boyama, deri endüstrisinde tabaklama maddesi, tekstil endüstrisinde pıhtılaştırıcı gibi çeşitli sanayilerde farklı amaçlar için kullanımı mevcuttur. Halk arasında şap olarak da bilinmektedir. Alüminyum sülfatın kuru hali korozif özellik göstermez. Ancak sulu çözeltilerinde korozif hale gelebilir bundan dolayı paslanmaz çelik ya da plastik tanklarda saklanmalıdır.

Alüminyum sülfat asidik karakterli bir tuzdur. Asidik özelliği göstermesi pH düzenleyici olarak kullanılmasında etkili faktördür. Alüminyum sülfatın hayvan yetiştiriciliğinde çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik alternatif yöntem olarak uygulanan farklı çalışmalar mevcuttur. Kümes hayvanlarında altlıklarda alüminyum sülfatın $[Al_2(SO_4)_3]$ ıslah maddesi olarak kullanılmasıyla amonyak emisyonları, fosfor akışının, ağır metal giderimi, yüksek azot içeriği gibi üzerinde etkili olduğu yapılan bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Moore ve Miller, 1994; Gilmour vd., 2004; Madrid vd., 2012). Moore vd. (2000), yaptıkları çalışmada tavuk altlığına uygulanan alüminyum sülfat sayesinde pH değerini düşürerek altlıktan gelen NH_3 uçuculuğunun azaldığını belirtmişlerdir. Chung vd. (2015), kümes hayvanı altlıklarında alüminyum sülfat içeren

Kore Kırmızı Ginseng posasını denemişler, amonyak, çözünebilir reaktif fosfor ve patojen popülasyonlarını değerlendirmişlerdir. Kore kırmızı ginseng posasının alüminyum sülfatla karışımında, altlıkta amonyak emisyonunun azalttığını, çözünebilir reaktif fosfor içeriğini ve altlıktaki patojenik aktivitenin azalttığını ifade etmişlerdir.

Alüminyum sülfat $[Al_2(SO_4)_3]$ kuru, granüler bir üründür ve çözüldüğünde ortama H^+ iyonlarını ürettiğinden dolayı altlıkta pH seviyesini düşürür (Denklem 2.10). Bu reaksiyonda üretilen H^+ iyonu amonyak ile reaksiyon oluşturarak ürik asidi NH_3 'e dönüştüren üreaz ve ürikaz enzimlerinin etkinliğini azaltarak, uçucu olan NH_3 'ü uçucu olmayan NH_4^+-N 'e dönüştürür (Denklem 2.11). Yüksek konsantrasyonlara ulaşıldığında sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarıyla reaksiyona girerek 3 mol amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$) iyonu oluşturur ve altlık içerisinde kalıntıları oluşturarak gaz formuna dönüşmez (Denklem 2.12).



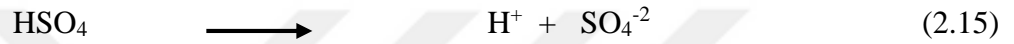
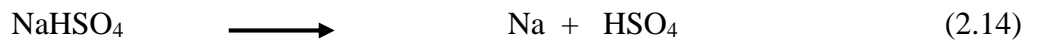
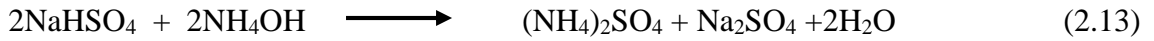
NH_3 uçuculuğunun azaltılması, emisyonlarla ilişkili olarak hava, su ve toprakta oluşan çevresel etkilerin hafifletilmesinin yanı sıra, barınaklardaki hayvanlar ve çalışan insanlar üzerinde ortaya çıkabilecek potansiyel sağlık sorunlarının azaltılmasında da etkili olabilir. Ancak bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Sodyum bisülfat ($NaHSO_4$)

Sodyum bisülfat havadaki nemi absorbe edebilen higroskopik bir maddedir. Altlık materyalinde kullanılan sodyum bisülfat, çevredeki havadan ve altlıktaki gelen nemi absorbe ederek altlığın daha fazla nemlenmesine neden olur. Ayrıca sodyum bisülfat ($NaHSO_4$) kristallerinin erimesi de altlıktaki nemin artmasına neden olabilmektedir (Johnson vd., 2021).

Sodyum bisülfat, Denklem 2.13'de verilen reaksiyonlarda amonyum hidroksit ve su ile bağlanarak etki göstermektedir. Bünyesine nemi almasının ardından Na^+ , H^+ ve SO_4^-

iyonlarına ayırır. Sudaki reaksiyonu ortamda H^+ ve SO_4^- yonlarını üretirken pH seviyesini düşürmektedir (Denklem 2.14-2.15). pH seviyesini düşüren H^+ iyonu altlığın bakteriyel büyümesini ve aktivitesini engellediği için sodyum sülfatın asitleştirme özelliğinden sorumlu olan iyondur (Johnson ve Murphy, 2008). Ayrıca, NH_3 'ü NH_4^{+} 'e dönüştürerek $(NH_4)_2SO_4$ 'ü oluşturmaktadır. Bu dönüşüm geri döndürülemediği için altlıktan N uçuculuğu gerçekleşmeyecektir (Blake, 2001).



Pope ve Cherry (2000), tarafından yapılan bir çalışmada, broyler kümeslerinde uyguladıkları sodyum bisülfatın altlık pH seviyesini önemli derecede düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Çalışmada büyüme aşamasından önce uygulanan sodyum bisülfat uygulanan grupta pH seviyesini 6,2'ye düşürürken, uygulanmayan kümesteki altlıkta pH değeri 8 seviyesine kadar çıkmıştır.

Ismael ve Ismail (2021), farklı nem koşullarında broyler tavuk altlığına sodyum bisülfat ve kalsiyum karbonat ekleyerek, altlığın mikrobiyal etkinliğini incelemişlerdir. Özellikle yüksek nem seviyelerinde, sodyum bisülfatın etkili bir altlık iyileştiricisi olduğunu ve bakteriyel faaliyeti en aza indirerek daha iyi etkinlik oranının sağlanması için periyodik olarak uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Magnezyum sülfat ($Mg(SO_4)$)

Magnezyum sülfat ($Mg(SO_4)$), kükürt, oksijen ve magnezyum iyonları içeren inorganik bir tuzdur. Beyaz kristalize bir görünüme sahiptir ve halk arasında epsom tuzu ya da İngiliz tuzu adıyla da bilinmektedir. Susuz formu higroskopik özellik göstermektedir. Magnezyum sülfat tıbbi alanda, tarım ve bahçecilikte, su arıtımında, endüstriyel alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra literatürdeki magnezyum sülfatın hayvan canlı performansı ve canlı ağırlığına yönelik çalışmalar da olumlu sonuç

verdiğini göstermektedir (Idowu, 2011; Ferreira vd., 2018). Magnezyum sülfatın kümes hayvanı altlığında, emisyon azaltılmasına yönelik az da olsa çalışmalar bulunmaktadır.

Magnezyum sülfatın ürede kullanılmasıyla gerçekleştirdiği kimyasal dönüşümler ile amonyak kayıplarının azaltılmasında etkili bir şekilde kullanılabilir. Magnezyum sülfatın amonyak ile etkileşime girmesi sonucunda amonyum sülfat ((NH₄)₂SO₄) ve yan ürün olarak magnezyum hidroksit (Mg(OH)₂) oluşmaktadır (Denklem 2.16).



Pereira vd. (2019a), yaptıkları bir çalışmada broyler altlığına ekledikleri magnezyum sülfatın (MgSO₄.7H₂O) barınakta oluşturduğu NH₃, N₂O, CO₂ ve CH₄ gazı emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Magnezyum sülfatın NH₃ ve N₂O emisyonlarının azaltılmasında olumlu etki gösterirken, CO₂ ve CH₄ emisyonlarında artışa neden olmuştur.

2.6. Tavukçuluk Sektöründe NH₃ Gazına Yönelik Adsorban Maddeleriyle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Tarım-gıda sektöründe, iklim değişikliği azaltma stratejilerinin uygulanabilmesi üretim sistemlerinin sürdürülebilir bir şekilde yoğunlaştırılmasında kilit eylem olarak açıkça ifade edilmektedir (Gislon vd., 2020). Yoğun broyler yetiştiriciliği yapan işletmelerde büyük miktarlarda kanatlı gübresi üretimi ve birikimi olmaktadır. Gübrenin çevre üzerinde endişe verici boyutlarda etki edebilmektedir. Bundan dolayı üretim sistemlerinden kirleticilerin azaltılması, kontrol altına alınması ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesi her geçen gün daha önemli olmaktadır. Broyler yetiştiriciliğinde alternatif üretim sistemleri üzerinde çalışılsa da genellikle altlıklı sistemlerde yetiştiricilik yapılmaktadır. Bölgelere göre kullanılan altlık materyalleri (palanya talaşı, çeltik kavuzu, mısır sapı, saman, kaba odun talaşı, kum, ponza vb.) farklılık göstermektedir. Altlıkların materyalleri hayvanların performansları, refahı, verimleri ve ortamdaki çevresel faktörlerin optimum seviyelerde tutulması açısından önemlidir. Amonyanın altlıkta hapsedilmesi, patojen ve mikroorganizma sayısını azaltarak, pH seviyesinin düşürülüp asidik bir ortam elde edilerek amonyak üretimini azaltmak için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Atıklara eklenen absorban ve asitleştirici

kimyasal maddelerin diğerk yöntemlere göre daha pratik ve uygun maliyetli geliştirme potansiyeli olduğu kanıtlanmıştır (McCroory ve Hobbs, 2001).

Yapılmış çeşitli çalışmalarda altlığa eklenmiş kimyasal ve katkı maddeleri gaz emisyonlarını absorbe etme yetenekleri ortaya konulmuştur. Nakaue vd. (1981), broyler çiftliğinde yaptıkları bir çalışmada klinoptiloliti önce altlığa katkı maddesi olarak ve daha sonra yem katkı maddesi olarak uygulamışlar ve değerlendirmişlerdir. Broyler altlığına 5 kg/m² oranında uygulama yapılmış ve NH₃ emisyon oranında %35'e kadar bir azalma sağlanabildiği bildirilmiştir. Yeme %10 oranında eklenen klinoptilolit ise havadaki NH₃ konsantrasyonunu %8'e kadar azaltmıştır.

Moore vd. (2000), broyler kümeslerinde yapmış oldukları çalışmada altlığa alüminyum sülfat (Al₂(SO₄)₃.14H₂O) ekleyerek NH₃ uçuculuğunu, altlık kalitesini, üretimi ve fosfor (P) akışını incelemişlerdir. Hayvan başına 0,091 kg/tavuk alüminyum sülfat eklenmiştir. İlk 3 ila 4 hafta boyunca düzenli olarak NH₃ emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca alüminyum sülfatla karışık altlıkta yetiştirilen piliçler daha ağır kiloya sahipti (1,73 kg'a karşı 1,66). Fosfor akışı ise 3 yıllık bir dönemde alüminyum sülfatlı gübrelere işlenmiş toprakta, normal altlıkla işlenmiş toprağa göre %73 oranında azalmıştır. Sonuçlar, kanatlı altlığının alüminyum sülfat ile işlenmesinin, tarımsal üretkenliği artırırken, noktasal kaynaklı olmayan kirliliği azaltan çok etkili bir yönetim uygulaması olduğunu göstermektedir.

Li vd. (2013), broyler ticari çiftliğinden alınan altlık örnekleri ile sodyum bisülfat kullanarak, altlıktan kaynaklanan NH₃ emisyonlarını incelemişlerdir. NH₃ emisyon azalma oranı sodyum bisülfat uygulama oranıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Kümülatif NH₃ emisyonu, üç sürü dönemi boyunca kümes koşullarında 244 g/2 hafta.m² uygulama oranı ile %51,7 oranında azaltılmıştır. Sodyum bisülfat uygulanmasının NH₃ emisyonunu azaltmasının yanı sıra ayak taban kalitesi önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Altlıkta bulunan toplam N içeriği tutularak gübre değeri artmıştır. Canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Lin (2014), yaptığı çalışmada broyler kümes altlığında uyguladığı farklı katkı maddeleri (sodyum bisülfat, zeolit ve aktif odun kömürü) farklı altlık nem seviyelerinde ve uygulama oranlarında NH₃ emisyonunu incelemiştir. Sodyum bisülfat uygulamasının NH₃ emisyonlarının önemli bir azalmaya yol açtığı bulunmuştur. Ancak zeolitin tekrar tekrar uygulanması önemli bir azalma sağlamamıştır. Aktif odun kömürü ise NH₃ emisyonunu azaltmakta bir etki göstermemiştir. Ayrıca altlıkta artan nem ile NH₃ emisyonunun doğru orantılı olarak etki ettiği belirtilmiştir.

Hunolt vd. (2015), kümes ortamında broyler altlığına ekledikleri sodyum bisülfat ile NH₃ emisyonlarına yönelik etkilerini incelemiştir. Bir kez, tekrarlamalı ve sodyum bisülfat olmadan olmak üzere üç farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Bir kez ve tekrarlamalı uygulamalarında altlık nemi daha yüksek ve altlık pH'sı daha düşük çıkmıştır. Tekrarlı yapılan uygulamada NH₃ emisyon oranı diğer uygulamalara göre daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca altlıktaki N oranı daha yüksek olduğundan daha kaliteli bir gübre elde edilmiştir.

Nuernberg vd. (2016), yaptıkları çalışmada kümes altlıklarında amonyak emisyonlarını azaltmak için düşük maliyetli, basit ve hızlı bir yöntem değerlendirmek istemiştir. Bunun için iki farklı adsorban zeolit (Küba zeoliti [CZ] ve Brezilya bazalt zemin kayası [BZ]) kullanmışlardır. Her iki zeolit de ana bileşenler olarak SiO₂ ve Al₂O₃ içermektedirler. Çalışma sonucunda zeolitlerin ikisi de amonyağı absorbe etmiştir. Ancak, amonyağı absorbe edebilmesinde CZ nin, BZ'den daha etkili olduğu belirtilmiştir (5 g CZ ve 20 g BZ). Bunun sebebi CZ'nin yüzeysel alanı, gözenekliliği ve asit saha oranının daha yüksek değerlerde olmasıdır.

Wood ve Van Heyst (2016), hindi kuluçka ve yetiştirme tesisinde iki sürü yetiştirme dönemi boyunca altlığa PLT (kanatlı altlık arıtımı) uygulaması yapmışlardır. İlk sürüde iki kez PLT uygulaması yapılırken diğer sürüde yalnızca bir kez PLT uygulaması yapılmıştır. PLT uygulamasından sonra üç uygulama üzerinden ortalama olarak %72 oranında NH₃ emisyonunun azaldığı bulunmuştur. PLT uygulaması amonyak emisyonlarını azaltmak için etkili bir kontrol stratejisi olmuştur ancak partikül madde emisyonları üzerinde minimum etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Chai vd. (2017), yaptıkları bir çalışmada kafessiz yumurta kümeslerinden alınan altlığa eklenen katkı maddesinin sodyum bisülfat ve ortama püskürtülen elektrolize suyun etkilerini laboratuvar ortamında değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda uygulama oranı ile NH₃ azalma verimliliği doğrusal orantılıdır. Daha yüksek uygulama oranları ile daha düşük altlık pH'sı sağladığından dolayı NH₃ uçuculuğu azalmaktadır. %28 ila %79 oranında azalma sağlanmıştır. Elektrolize suyun uygulanmasından sonra ise altlık nem içeriği %60'a kadar yükselmiştir. Elektrolize suyun uygulanmasından sonra PM_{2.5}, PM₁₀ ve TSP seviyeleri düşüş göstermiştir. 14 günlük deneme süresinde 11 gün su püskürtülmüş, 3 gün uygulanmamıştır. Uygulanmayan süre zarfından sonra PM seviyeleri tekrardan yükselişe geçmiştir.

Pereira vd. (2019a), yaptıkları bir çalışmada broyler altlığına magnezyum sülfat (MgSO₄.7H₂O) uygulayarak amonyak, azot oksit, karbondioksit ve metan emisyon oranlarını değerlendirmişlerdir. Magnezyum sülfat kullanılmayan kontrol grubu olan kümesin, yıllık ortalama emisyon oranları, magnezyum sülfat uygulanan kümese göre NH₃ için %45 ve N₂O için %25 azalırken, CO₂ ve CH₄ emisyon oranları yaklaşık %20 oranında artmıştır.

Pereira vd. (2019b), yaptıkları çalışmada tavuk kümeslerinde altlık katkı maddesi olarak klinoptilolit kullanılarak amonyak, karbon dioksit, diazot oksit ve metan emisyonları ve konsantrasyonlarını üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda klinoptilolit uygulamasının NH₃ ve N₂O emisyonlarını sırasıyla %28 ve %34 oranında azalttığı belirlenmiştir. CO₂ emisyonu üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı ve CH₄ emisyonlarının ise saptanma sınırının altında olduğu belirtilmiştir.

Graves (2023), yaptığı çalışmasında, tavuk altlığına uyguladığı Miscanthus otundan farklı sıcaklıklarda (400°C ve 700°C) üretilen biyokömürün, asit ilavesinin ve uygulama oranının NH₃ emisyonları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. İki haftalık laboratuvar ölçekli denemesinde üç parametrenin de istatistiksel olarak anlamlı olduğunu (p<0,05) ifade etmiştir. 400°C'de üretilen biyokömür ilavesinde asit uygulanan ve yüksek uygulama oranının olduğu deneme grubunda NH₃ emisyonlarında en yüksek performansın elde edildiği ve kontrole kıyasla %19,7'lik azalmayla sonuçlandığını ifade etmiştir.

Kanatlı hayvancılığı sektörü dışında da diğer çiftlik hayvanı gübrelere katkı maddesi kullanılarak yapılmış çalışmalar mevcuttur. Spiehs vd. (2019), yaptıkları laboratuvar ölçekli bir çalışmada sığır gübresi altlık materyaline alüminyum sülfat uygulamışlardır. %0, %2,5, %5, %10 uygulama oranları ile amonyak, hidrojen sülfür, metan ve karbondioksit gazları üzerine etkilerini belirlemişlerdir. 42 günlük deneme süresi boyunca uygulanan %10 oranındaki alüminyum sülfat, kontrol grubuna oranla NH_3 ve N_2O emisyonlarını azaltmıştır. Fakat %10 oranında uygulanan alüminyum sülfat katkı maddesi uygulanmayan kontrol grubuna göre CH_4 ve H_2S emisyonlarını artırmıştır.

Pereira vd. (2020), sıvı domuz gübresinin depolanması sırasında biyokömür ve klinoptilolit gaz emisyonları üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Biyokömür ve klinoptilolit %2,5 oranında domuz gübresine ilave edilmiştir. Biyokömür ve klinoptilolit, NH_3 emisyonunda önemli ölçüde azalış gerçekleştiğini ancak bu maddelerin kombine şekilde uygulandığında avantaj oluşturmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca biyokömür ilavesi klinoptilolite kıyasla CO_2 ve CH_4 emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ancak N_2O emisyonları ve küresel ısınma potansiyeli arasında önemli farklılık oluşturmadığını ifade etmişlerdir.

Pereira vd. (2022), yaptıkları çalışmada domuz gübresine %5 oranında ilave ettikleri 6 farklı deneme grubu (asitleştirilmiş, bazikleştirilmiş, nötreştirilmiş, talaş, enginar ve karamürver biyokömürü ilavesi) ile katkı maddesi ile NH_3 , N_2O , CO_2 ve CH_4 emisyonlarına etkilerini laboratuvar çalışmasında değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda NH_3 emisyonunda asitleştirme grubunda %58, biyokömür grubunda ise %20 azalma sağlanırken nötrale grupta ise bu oranı %12 olarak bildirmişlerdir.

Adsorban katkı maddelerinin kolay ulaşılabilir, uygun maliyetli ve pratik olması gerekmektedir. Piyasada gübreden olan NH_3 uçuculuğunu azaltan formaldehit (CH_2O) gibi başka katkı maddeleri de bulunmaktadır. CH_2O , NH_3 ile reaksiyona girdiğinde kararlı bir kompleks oluşturarak üreaz ve amonifikasyonu engelleyebilir. Anti-mikrobiyal özelliklerinin olması yanı sıra kullanımı tehlikelidir ve gübrenin yayılmasından sonra olumsuz etkileri olabilir (Andersson, 1994).

Amonyak azotunun hapsedilmesi, gübredeki amonyum oranını artırarak amonyak uçuculuğunu azaltır. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi NH_3 emisyonunu azaltmak için absorban madde olarak alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), sodyum bisülfat (NaHSO_4), aktif odun kömürü, magnezyum sülfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), klinoptilolit ve doğal zeolit türleri gibi farklı kimyasal maddeler kullanılmıştır. Kullanılan katkı maddelerinin NH_3 emisyonlarının azaltmada etkili olduğu görülmektedir. Özellikle kümes hayvanları ile ilgili yapılan çalışmalarda, son zamanlarda broyler kümesinden koku ve amonyak emisyonlarını azaltmanın bir yolu olarak, yem katkı maddesi ve altlık materyalinde tamamlayıcı olarak doğal zeolitlerin kullanımına yeni bir ilgi olmuştur (Karamanlis vd., 2008). Bunun yanı sıra uygulama oranları, kullanım teknikleri, kullanılan kimyasallara göre amonyak emisyonunun azalma oranı değişiklik göstermektedir.

2.7. Yapay Sinir Ağı (YSA) Yaklaşımı

Teknolojinin hızla gelişmesiyle yapay zekânın hayatımızın hemen hemen her alanına girmesi, yapay zekâ teknolojisinin de gelişmesini sağlamıştır. Yapay sinir ağları (YSA) bir makine öğrenme yöntemidir, büyük miktardaki verileri işler ve karmaşık ilişkileri modelleyebilmektedir. Makine öğreniminin en popüler yaklaşımlarından biri olan YSA, matematiksel modellemelere göre hem zamandan hem de maliyetten önemli ölçüde tasarruf sağlayarak mühendislik problemlerine çözüm bulan etkili bir yapay zekâ yöntemidir (Arjona-Román vd., 2017; Bhagya vd., 2020). Son yıllarda sağlık, mühendislik, ulaşım, tarım, psikoloji, ekonomi gibi yaklaşık her alanda yapay sinir ağlarının uygulanma sahası oldukça genişlemiştir.

Yapay sinir ağları modeli yapay zekânın gelişimine dayanan bir veri modelidir. İnsanın biyolojik sinir sistemi tasarımından esinlenilerek ve öğrenme sürecinin matematiksel modellere dönüştürülerek geliştirilmiştir. İnsanlardaki sinir sisteminde çevreden gelen sinyaller, reseptörler (dendritler) aracılığıyla çekirdeğe iletilir ve bilgiler burada toplanarak aksona iletilir. Aksonda işlenen bilgiler sinapslara gönderilir. Yeni üretilen bilgiler sinapslar aracılığıyla diğer sinir hücrelerine iletilir. Yapay sinir ağlarında işleyiş, insan sinir hücresindeki işleyişin simüle edilmesiyle gerçekleşir. Sinir sistemi hücresindeki elemanlar yapay sinir hücresiyle sırasıyla; dendritler toplama fonksiyonuyla, hücre gövdesi aktivasyon fonksiyonuyla, aksonlar eleman çıktısıyla,

sinapslar ağırlıklar ile benzerlik göstermektedir. YSA, insan beynine iki şekilde benzerlik göstermektedir:

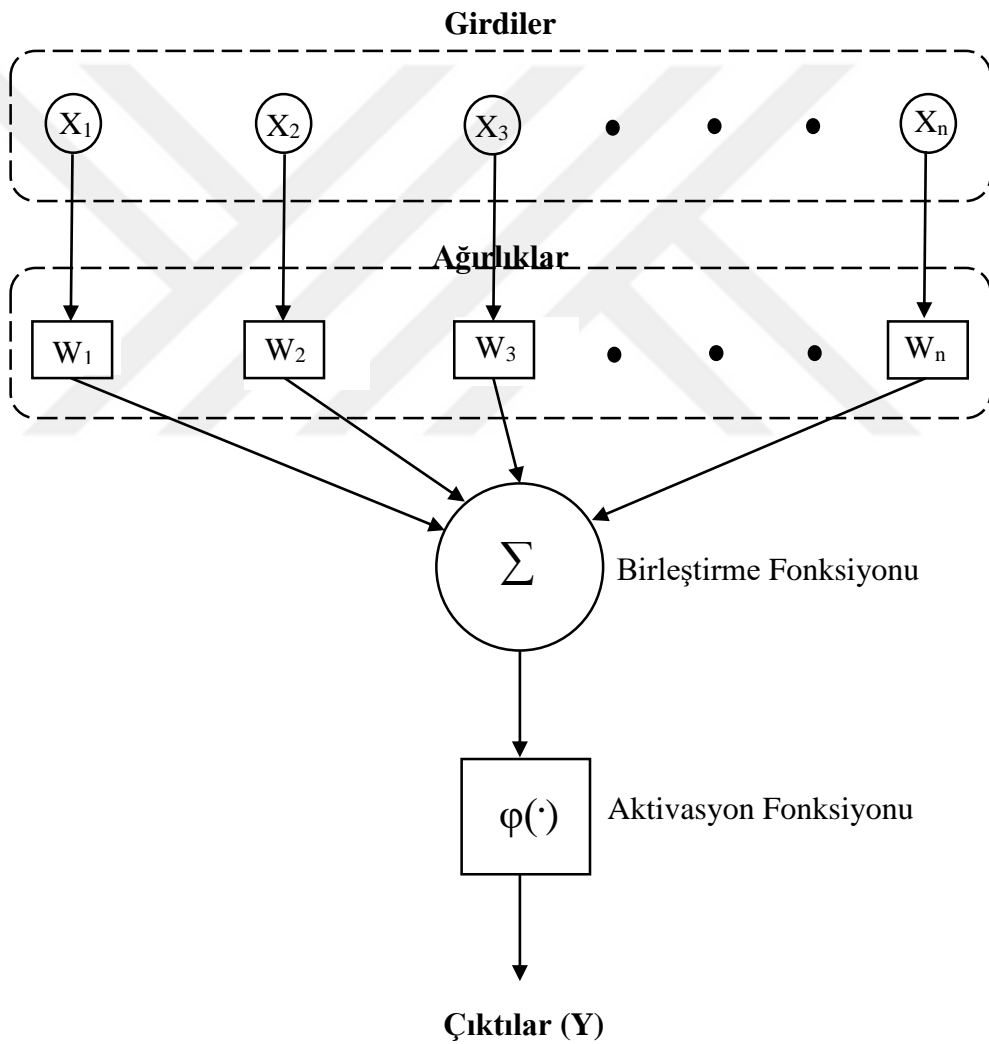
1. Bilgi, yapay sinir ağı tarafından öğrenme süreciyle elde edilir.
2. Nöronlar arası bağlantı kuvvetleri, ağ tarafından bilgiyi saklamak, depolamak için kullanılır (Haykin, 1999).

Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. YSA, önceden gözlemlenebilen sayısal değerleri kullanarak daha önce görmediği verileri tahmin edebilmektedir. Sinir ağlarının asıl amacı, girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkinin ortaya konulmasından ziyade tahminlenen çıktının nihai doğru sonucu verebilmesidir (Altun, 2022). Yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar halinde düzenlenir. Bilgisayarlarda yazılım aracılığıyla ortaya çıkarılır.

Yapay sinir ağı, girdiler ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), ağırlıklar ($W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$), birleştirme ve aktivasyon fonksiyonları ile çıktılar (Y) olmak üzere beş parametreden oluşmaktadır (Şekil 2.5) (Haykin, 1999). Girdiler, dışarıdan verilen bilgileri temsil eder. Ağırlıklar verilerin etkisinin büyüklüğünü ve önemini belirtmektedir. Birleştirme fonksiyonu ile elde edilen girdiler aktivasyon fonksiyonu yardımıyla çıktı değerlerin üretilmesini sağlamaktadır. Katmanlarda aktivasyon fonksiyonu olarak linear, sigmoid, rasyonel sigmoid, tanjant hiperbolik ve Gaussian fonksiyonları kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonları sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Kullanılan aktivasyon fonksiyonuna göre belirlenen değer de çıkış değerini göstermektedir.

Yapay sinir ağı mimari yapıları katmanlar, nöronlar ve nöronlar arasındaki bağlantılardan meydana gelir. Ağdaki her nöron, giriş verilerini alır, işler ve çıkış sinyali olarak göndermektedir. YSA, birbirine bağlı çok sayıdaki nöronun birimlerinden oluşmaktadır. Birbirine bağlı bu nöronlar katmanları oluşturur. Katmanlar genel olarak girdi katmanı, gizli ya da ara katman ve çıktı katmanı olarak yapay sinir ağını

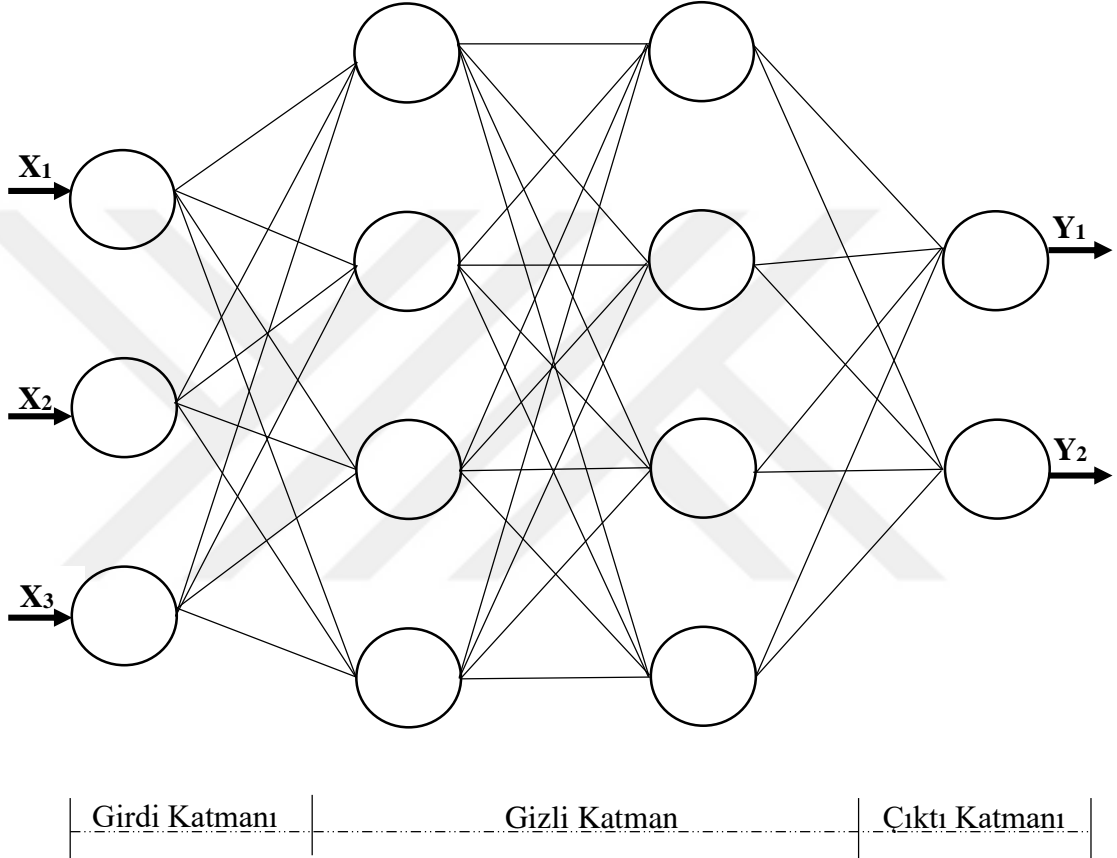
oluştururlar (Şekil 2.6). Aynı katmandaki nöronlar birbirleriyle bağlantılı değildir ancak sonraki katmandaki nöronlar ile dikey bağlantıları vardır (Li vd., 2019). Girdi tabakasına ait nöronlar, girdileri işlem yapmaksızın bir sonraki gizli tabakaya aktarırlar. Gizli tabakadaki nöronlar, gelen bilgileri işler. Gizli tabaka tek katman olabileceği gibi birden çok sayıda tabakadan da oluşabilmektedir. Bu tabaka içerisindeki nöron sayısı, verilerin işlenişinde ve sonraki tabaka ile bağlantılı olduğu için özenli bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu tabakada işlenen veriler, ilk girilen verilere uygun çıktıların üretildiği çıktı tabakasına iletilir.



Şekil 2.5. Yapay sinir ağı hücresi (Haykin, 1999)

Yapay sinir ağlarında nöronların işleyişine göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir. İleri beslemeli ağlarda girdi tabakasından alınan

veriler gizli tabakaya iletdikten sonra çıktı tabakasına gönderilir. Burada işlenen veriler çıktı verisi olarak belirlenir. Bu yaklaşımda bilgi akışı daima ileri yönlüdür. Geri beslemeli bağlantılarda ise hem hücreler arasında hem de katmanlar arasında akış olan dinamik bir yapıya sahiptir. Bu topolojide çıkış verileri kendinden önceki katmanlara geri beslenebildiği için, verilerin hem ileri yönde hem de geri yönde aktarımı gerçekleştirilir.



Şekil 2.6. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağları öğrenmelerine göre danışmanlı öğrenme, danışansız öğrenme ve takviyeli öğrenme olmak üzere 3 şekilde çıktı üretilmektedir. Danışmanlı öğrenmede verilen girdi değerlerine karşılık çıktı değerleri de verilir. Ağın tahminlediği değerler ile çıktı değerleri arasındaki hata payına göre sinir ağının ağırlıkları düzenlenir. Danışmansız öğrenmede sinir ağına sadece girdiler verilerek çıktı verisi verilmez. Yapay sinir ağı girilen verilere göre parametreler arasındaki aynı özelliği ve benzerlikleri bularak ilişki ve bağlantıları kendi belirler. Takviyeli öğrenmede ise danışmanlı öğrenmedeki yapıya benzer şekilde girdi ve çıktılar verilir. Ancak çıktı

değerleri ağa doğrudan gösterilmez, çıktının ne kadar iyi ya da kötü olduğu ağa öğretilir. Sinir ağı girdi verisini öğrenerek işler ve sonuç çıkarır.

Yapay sinir ağlarının tarım alanında hem ekonomik hem de pratik olması bakımından Türkiye’de ve dünyada uygulamaları kullanılmaktadır (Küçükönder vd., 2016). Tarımın farklı alanlarında yapay sinir ağlarının kullanılmasına rağmen kümeslerle ilgili yapılan çalışma sayıları oldukça sınırlıdır (Li vd., 2019; Almomani, 2020; Boyacı ve Küçükönder, 2020; Tavar vd., 2024). YSA’nın hayvanlardan kaynaklanan amonyak emisyonlarıyla ilgili çalışmalar az sayıda olmasına rağmen amonyak arıtımına yönelik çalışmalar genellikle atıksularda bulunan amonyak azotunun giderimi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Kundu vd., 2014; Ruben vd., 2016; Wang vd., 2024). Kümes hayvanları ile ilgili yapılmış yapay sinir ağları ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Yakubu vd. (2018), yaptıkları bir çalışmada Sasso cinsi yumurta tavuklarında ısı stresi tahminlenmesi için yapay sinir ağını kullanmışlardır. Girdi olarak barınma sistemi, hayvan yaşı, rektal sıcaklık, nabız ve solunum hızını; çıktı veri olarak ısı stresi indeksi parametrelerini kullanmışlardır. YSA modeli yüksek doğrulukta ısı stresi tahminlemesini etkili bir şekilde tahmin ettiğini belirtmişlerdir ($R^2=0,966$ ve $RMSE=0,04806$). Sıcaklık ısı stresinin tahminlenmesinde en önemli iki parametrenin nabız ve solunum hızı olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmaya göre, YSA kümeslerdeki termal rahatsızlıkların tahmin edilmesinde yardımcı olabilecek bir yöntemdir.

Yelmen vd. (2019), broyler kümeslerinde enerji kullanım verimliliğini tahmin etmek için yapay sinir ağı (ANN) modelini kullanmışlardır. Çalışmada, 2018 yılında Mersin ilindeki 30 broyler çiftliğinden elde edilen yem, elektrik, yakıt, su, civciv, insan iş gücü, makine kullanımı ve broyler işletmeleri gibi parametreler girdi olarak, tavuk eti ve gübre parametreleri ise çıktı olarak kullanılmıştır. En yüksek belirleme katsayısı ($R^2=0,936$) ve en düşük ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri sırasıyla 0,232 ve 0,019 olarak bulunmuştur. ANN modelinin, broyler çiftliklerinde tavuk etinin toplam enerji eşdeğerinin tahmin edilmesinde etkili bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir.

Küçüktopçu ve Cemek (2021), yaptıkları çalışmada kümesteki NH₃ konsantrasyonlarını tahminlemek için yapay zekâ yöntemlerinden faydalanmışlardır. Kümeste NH₃ konsantrasyonunu tahmin tekniklerini geliştirmek için basit, doğru, ekonomik ve hızlı bir teknik geliştirmek için dört farklı model (MLP, ANFIS-SC, ANFIS-GP, MLR) geliştirmişlerdir. NH₃ konsantrasyonunu tahminlenmesi için girdi olarak çevresel faktörler (hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı) ve altlık özellikleri (altlık nem içeriği, altlık yüzey sıcaklığı, altlık pH'ı) kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre RMSE ve R² değerlerinin en iyi performans gösterdiği ve NH₃ tahminlerini en hızlı şekilde tahmin eden alternatif yaklaşımın neurocomputing olduğunu bildirmişlerdir.

Kılıç (2023), yaptığı çalışmada yumurta tavuğu kümesinde NH₃ emisyonunun tahminlenmesinde yapay sinir ağlarını kullanmıştır. YSA'da, girdi parametreleri olarak NH₃ konsantrasyonu, sıcaklık, bağıl nem, havalandırma, hava hızı ve hayvan sayısı; çıktı verisi olarak da NH₃ emisyonu kullanılmıştır. Dört farklı algoritmayla dört mevsim için tahminleme yapılmıştır. Çalışmaya göre en başarılı model Levenberg Marquardt eğitim algoritması ile kış ayı için gerçekleştirilmiştir (R²= 0,99223). Girdi verilerinden sinir ağı performansına en fazla etkide bulunan parametre ise hayvan sayısı olmuştur.

Gonzalez-Mora vd. (2024), yaptıkları çalışmada yumurta tavuğu kümeslerinden temin edilen gübrenin kontrollü depolama koşulları altında NH₃ konsantrasyonlarını incelemişlerdir. NH₃ konsantrasyonlarını tahmin etmek, çevresel koşulların gübre özellikleriyle ilişkisini incelemek için makine öğrenimi ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre; makine öğrenimi modeli tatmin edici RMSE (21,15 mg-N/m³) ve R² (0,85) değerlerini göstermiştir. NH₃ uçuculuğunda en etkili değişkenin ortam sıcaklığı olduğu vurgulanmıştır. NH₃ konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde modelleme tekniklerinin tamamlayıcı araçlar olarak kullanılmasında önemli potansiyeli olduğunu vurgulamışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan çalışmada, broyler (etlik piliç) kümeslerinde kullanılmış altlığa çeşitli katkı maddeleri eklenerek NH₃ emisyonunun azaltılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, altlık materyalinin asidikliği artırılarak amonyağın amonyum sülfat formunda altlıkta tutulması sağlanmakta ve böylece NH₃ uçuculuğunun azaltılması amaçlanmaktadır.

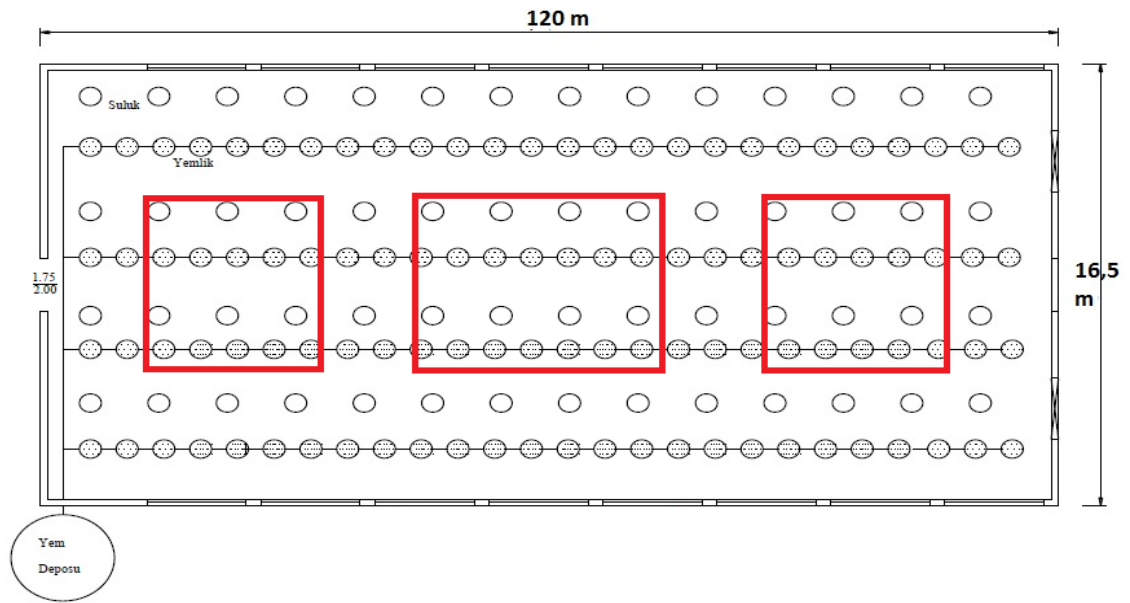
Bu çalışmadaki altlık numuneleri, Bursa'da faaliyet gösteren Has Tavuk'a ait ticari kümeden temin edilmiştir. Kümese ait özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Kümeste yerde yetiştiricilik yapılmaktadır ve tavuğun gelişim dönemlerine göre değişebilen standart kesif yem rasyonları kullanılmaktadır. Altlık materyali olarak broyler kümeslerinde sıklıkla kullanılan ve yöresel olarak bulunabilir olan çeltik kavuzu kullanılmaktadır. İşletmede sözleşmeli üreticilik yapılmaktadır.

Çizelge 3.1. Çalışmada temin edilen altlığa ait kümes özellikleri

Parametre	Broyler Kümesi
Yapının yaşı	10 yıl
Yapının materyali	Sandviç Panel
Yapının yönlendirmesi	Güney
Uzunluk x genişlik x yükseklik	120 m x 16,5 m x 3 m
Mahya yüksekliği	4 m
Taban alanı	1980 m ²
Hayvan sayısı	32 000 adet
Yerleşim sıklığı	16,16 tavuk/ m ²
Hayvan cinsi	Lohmann
Altlık materyali	Çeltik kavuzu
Yetiştiricilik türü	Fason sözleşmeli yetiştiricilik modeli ile üretim
Havalandırma yöntemi	Chore-Time otomasyon sistemi ile kontrol edilen 380 000 m ³ /h max. hava kapasitesine sahip
Aydınlatma sistemi	Halojen
Yemlenme sistemi	Otomatik Yemlik
İçme suyu sistemi	Otomatik Nipel
Soğutma ve ısıtma sistemleri	Ped Cooling – Katı yakıtlı kuru hava üfleli soba
Sıcaklık ve bağıl nem sensörü bulunma durumu	Chore-Time otomasyon sistemi ile birlikte ilgili sensörler mevcuttur

Tüm broyler yetiştiriciliklerinde, altlık içerisinde altlık malzemesi, gübre, idrar ve tüy karışımı bulunur. Bundan dolayı toplanan altlık numunesi genel broyler altlığını temsil etmektedir. Broyler tavuğu kümesinden temin edilen altlık örneği, kümesin farklı

noktalarından alınmıştır. Kümes taban planı ve numune alınan bölgeler Şekil 3.1’de verilmiştir. Altlık materyali kümes içerisinde yoğun hayvan aktivitesinin olduğu, rastgele seçilmiş birden fazla noktadan (daha çok yemlik ve suluk çevresi) ve altlığın 5-6 cm derinliğinden alınmıştır (Pereira vd., 2019a). Bir üretim sonunda ortaya çıkan kullanılmış altlık numunesi temin edilerek içerik ve nem kaybını önleyebilmek amacıyla polietilen bir poşet (tedlar poşet) ile taşıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen altlık örneği, homojenizasyonun sağlanması için el yardımıyla küçük parçalara ayrılana kadar işleme devam edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada altlık temin edilen kümes taban planı

Bu çalışmada, üretimi tamamlanmış ya da üretim periyodunun sonuna gelinmiş üç farklı sürüde, kullanılmış et tavuğu altlığına farklı katkı maddelerinin ilavesiyle NH₃ gazının artırımına yönelik laboratuvar çalışmaları, I. deneme ve II. deneme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarından sonra elde edilen veriler ile yapay sinir ağları yöntemi ile tahminleme gerçekleştirilmiştir. Denemeler, Bursa Uludağ Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımsal Hava Kalitesi Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

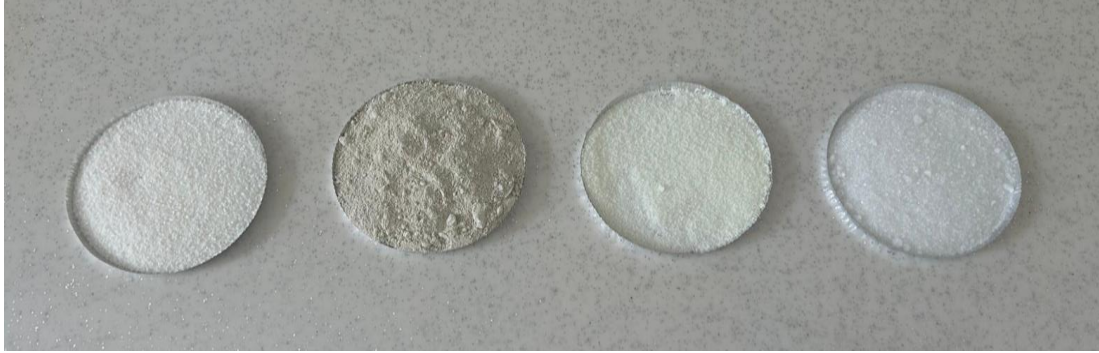
I. denemede dozaj sabit tutularak en yüksek artırım verimliliğine sahip kimyasal madde belirlenmiştir. II. denemede ise bu kimyasal maddenin farklı dozajları uygulanarak en

verimli uygulama dozajı tespit edilmiştir. Tahminlemede ise yapay sinir ağları ile NH₃ emisyonlarının geleceğe yönelik tahminlenmesi amaçlanmıştır.

3.1. I. Deneme (Kimyasal Katkı Maddelerinin Etkinliğinin Belirlenmesi)

I. denemede amaç; kullanılmış broyler altlığında farklı katkı maddelerinden NH₃ arıtım verimliliği en iyi olan kimyasal katkı maddesinin belirlenmesidir. En verimli arıtım verimliliğine sahip katkı maddesinin belirlenmesinde maddenin iyi bir nem emme kapasitesine sahip olması, gözenekli olması ve toksik olmaması, uygun maliyetli olması, kolay erişilebilir olması gibi özellikleri dikkate alınmıştır.

I. denemede alüminyum sülfat (Al₂SO₄)₃ (D₁), zeolit (klinoptilolit) (10 µ) (D₂), sodyum bisülfat (NaHSO₄) (D₃), ve magnezyum sülfat (MgSO₄) (D₄) kullanılmak üzere 4 adet deneme grubu ve 1 adet kontrol grubu (K) oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Her bir grupta 500 g altlık materyali kullanılmıştır (Ismael ve Ismail, 2021). Uygulanan katkı maddelerinden arıtım verimliliği en yüksek olan maddenin seçileceği için uygulanacak kimyasal maddelerin uygulama miktarı sabit tutularak %5 dozajlama oranı uygulanmıştır (Li vd., 2008). I. deneme üç farklı sürüde kullanılmış altlık materyalleri ile gerçekleştirilmiştir (Andrade vd., 2020).



Şekil 3.2. I. denemede kullanılan katkı maddeleri (Soldan sağa alüminyum sülfat, zeolit, sodyum bisülfat, magnezyum sülfat olarak yer almaktadır.)

I. deneme çalışmalarına 21 gün boyunca devam edilmiştir ve her gün sabah, öğle ve akşam saatlerinde 1 saat devamlı ölçüm alınmıştır (Pereira vd., 2019b). NH₃ gaz ölçümü için elektro-kimyasal sensörlü çoklu gaz dedektörleri (RAE Systems, MultiRAE Lite Pgm-6208, Honeywell, USA) kullanılmıştır. Bu cihaz pompalı olarak çekiş gücüyle

çalışmakta ve ölçüm hassasiyetleri ölçülen gaza göre değişmekle beraber NH₃ gazı için genellikle 0,1-1 ppm arasındadır.

Altlık pH değeri, toplam çözünmüş katı madde ve elektriksel iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde %10'luk çözelti oluşturularak, 5 dk boyuca vorteks karıştırıcı ile (Wisemix/Vortex-Mixer VM-10) 3300 rpm hızla karıştırılıp, çözelti 30 dk bekletilmiştir (Oliveira vd., 2003; Steiner vd., 2010; Schneider vd., 2016; Rabbani vd., 2020). pH değerleri pH metreyle (WTW Profiline pH 3110), elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) ise portatif iletkenlik ölçer (Hanna HI99300) ile ölçülmüştür. Nem içeriği, altlık numunesinin 105 °C'de 24 saat boyunca etüvde (Binder ED 23 Etüv) kurutularak gravimetrik analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Altlık örneklerinin nem içerikleri denklem (3.1) ile hesaplanmıştır (Chai vd., 2017). Nem içeriği, pH değerleri, toplam çözünmüş katı madde ve elektriksel iletkenlik değerleri 0. gün. 7. gün. 14. gün ve 21. günlerde ölçülmüştür (Baxter, 1997; Spiels vd., 2019).

$$\%Nem\ miktarı = [(Yaş\ ağırlık\ (g) - Kuru\ ağırlık\ (g)) / Yaş\ ağırlık\ (g)] * 100 \quad (3.1)$$

I. deneme çalışmaları Şekil 3.3'de verilen sistem kurularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. I. deneme sistemine ait görseller (Soldan sağa D₁: alüminyum sülfatlı deneme grubu, D₂: zeolitli deneme grubu, D₃: sodyum bisülfatlı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfatlı deneme grubu, K: kontrol grubunu temsil etmektedir.)



Şekil 3.3. I. deneme sistemine ait görseller (devamı)

I. denemede amonyak artım verimlilikleri deneme grupları için denklem (3.2) ile hesaplanmıştır (Regueiro vd., 2016; Pereira vd., 2022). Denemelerdeki NH_3

konsanstrasyonu ile pH, nem, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş katı madde faktörlerinin ilişkisi incelenmiştir.

$$\text{Arıtım Verimliliği} = 100 - ((\text{Deneme grubu/Kontrol Grubu}) \times 100) \quad (3.2)$$

3.2. II. Deneme (Uygulama Düzeylerinin Belirlenmesi)

II. denemede amaç, I. deneme sonuçlarına göre en iyi arıtım verimliliğine sahip kimyasal katkı maddesinin en iyi dozajlama oranının belirlenmesidir. II. denemede kullanılan altlık materyalleri de I. denemedeki işletmeden temin edilmiştir (Çizelge 3.1, Şekil 3.1).

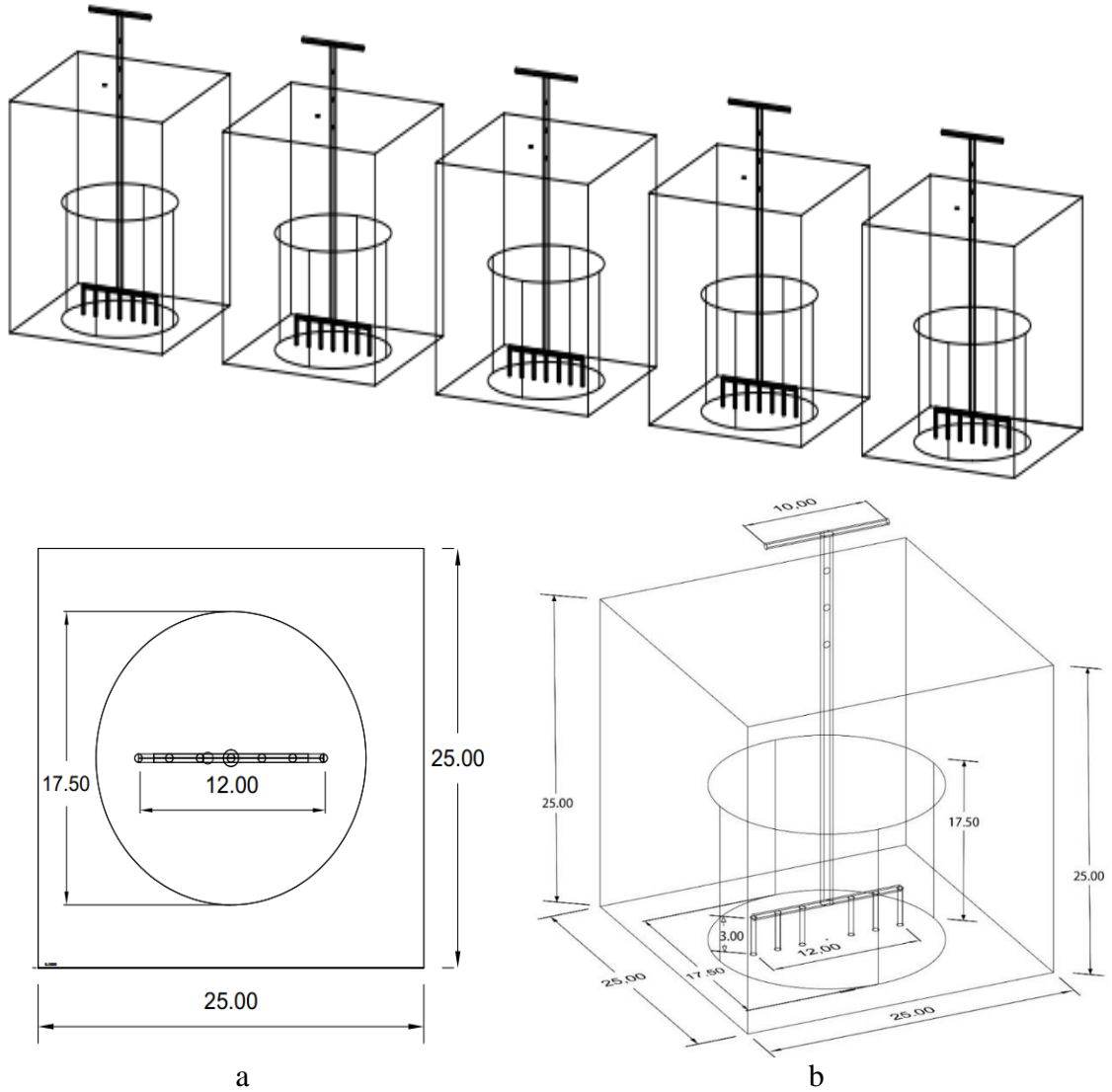
Deneme grupları ve kontrol grubu için 500 g altlık materyali kullanılmış, yapılan benzer çalışmalardan %0, %2,5, %5, %7,5 ve %10 dozajlama oranları dikkate alınarak beş deneme grubu oluşturularak sistem kurulmuştur ve üç farklı sürüde kullanılmış farklı altlık materyalleri ile gerçekleştirilmiştir (Eleroğlu ve Yalçın, 2005; Li vd., 2006; Li vd., 2008; Li vd., 2012; Spiels vd., 2019; Andrade vd., 2020). Uygulama dozajlarının altlığa ilk eklendiği, karıştırılmadan önceki halleri Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. II. deneme uygulama dozajları (Soldan sağa kontrol, %2,5, %5, %7,5, %10)

Hayvan gübresindeki NH₃ akışının ölçülmesi için laboratuvar çalışmalarında kullanılan dinamik emisyon odaları kontrollü ortamlar sağlamaktadır (Ndegwa vd., 2009). Dış ortam koşullarındaki farklılıklara bakılmaksızın yıl boyunca istenilen koşullarda çalışılabilir ve farklı uygulamaların karşılaştırılabilir olması güvenilir, ekonomik ve tekrarlanabilir bir yöntem olması en önemli avantajlarından (Burns vd., 2003). II. denemede kurulan sistem öncelikle Autocad programında tasarlanmış ve boyutlarıyla

Şekil 3.5’de verilmiştir. Sistemde bir tırmık aracılığıyla manuel olarak gün içerisinde karıştırma işlemi yapılmıştır. Tırmık üzerinde yer alan 3 adet kademe altlığın farklı katmanlarının karıştırılmasını sağlamıştır. Akış odası (chamber) üzerinde, cihaza içerideki kirli havanın iletilmesini sağlayan borunun gireceği bir delik bulunmaktadır. RAE çoklu gaz ölçerler ile pompanın çekiş gücüyle içerideki havayı çekerek ölçüm yapılmaktadır. Her deneme süresi 14 gün boyunca devam etmiştir (Li vd., 2008; Hunolt vd., 2015; Wlazlo vd., 2016; Chai vd., 2018; Graves, 2023). Dozaj gruplarının artım verimlilikleri denklem (3.2) ile hesaplanmıştır. Sisteme ait fotoğraflar Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.5. II. deneme sistemine ait üstten (a) ve perspektif (b) görünümüleri (cm)



Şekil 3.6. II. deneme sistemine ait fotoğraflar

Her sürünün altlık materyali için 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde nem tayini yapılmış ve nem tayini için 10 g altlık materyali örneği 105 °C’de 24 saat boyunca etüvde (Binder ED 23 Etüv) kurutulmuştur (Chai vd., 2018; Hunolt vd., 2015; Pereira vd., 2020). Sabit tartıma gelene kadar hassas terazide tartıma devam edilmiştir. Nem içerikleri denklem (3.1) ile hesaplanmıştır.

Altlıklarda organik madde tayini için, altlık numuneleri kül fırınında (Protherm) 4 saat boyunca 550 °C’de tutulmuştur. Bu sıcaklıkta, numudedeki organik maddeler yanarak, yakma işlemi bittikten sonra desikatörde minimum 30 dakika bekletilmiş ve hassas terazide sabit tartıma gelene kadar tartılarak kül miktarı belirlenmiştir. Organik madde (%) ve organik karbon içeriği (C%) denklem (3.3) ve (3.4) ile hesaplanmıştır (Janczak vd., 2017).

$$\text{Organik madde (\%)} = \text{kuru madde (\%)} - \text{kül miktarı (\%)} \quad (3.3)$$

$$C (\%) = (100 - \text{kül miktarı (g)}) / 1,8 \quad (3.4)$$

1., 3., 5., 7., 9., 11., 13. günlerde deneme gruplarından alınan örnekler ile %10’luk hazırlanan çözeltilerde pH değerleri (Chai vd., 2018; Schneider vd., 2016) ve elektriksel iletkenlik değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir (Burt vd., 2018; Wang vd., 2018; Anderson vd., 2020). Ölçüm günleri literatürde ele alınan şekilde bu çalışmada uygulanmıştır.

3.2.1. II. deneme altlık azot tayin analizleri

Yapılan çalışma, NH₃ gazının en yüksek düzeyde artıldığı katkı maddesinin belirlenmesi ve farklı dozajlarda denenerek NH₃-N uçuculuğunun altlıkta NH₄⁺-N olarak tutulması prensibine dayanmaktadır. Bunun için azot tayin analizleri yapılmıştır. II. deneme tekerrürlerinin başında alınan altlık numunesi ve deneme sonunda alınan altlık numuneleri ile toplam N, NH₄-N, NO₃-N ve NO₂ analizleri Bursa Uludağ Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümü laboratuvarında yaptırılmıştır. Tekerrür başında sadece kontrol grubundan örnek alınmış, tekerrür sonunda ise kontrol ve tüm dozajların uygulandığı deneme gruplarından örnekler alınarak analizler gerçekleştirilmiştir (Li vd., 2008; Ni vd., 2010; Li vd., 2013; Burt, 2015; Hunolt vd.,

2015; Janczak vd., 2017; Wang vd., 2018; Andrade vd., 2020; Pereira vd., 2022). Toplam azot içeriği, Kjeldahl yöntemiyle belirlenerek, Gerhardt Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örnekler Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılmıştır (Bremner, 1965; Nelson ve Sommer, 1982). NH_4 ve NO_3 , 2 M KCl çözeltisiyle ekstraksiyon sonucunda elde edilen amonyum indofenol mavisi yöntemi ile kolorimetrik olarak nitrat salisilik asitin sülfürik asit varlığında nitrasyonu esasına dayanılarak spektrofotometre ile belirlenmiştir (Solorzano, 1969; Robarge vd., 1983; Dorak, 2023).

Ayrıca kullanılan katkı maddelerinin NH_3 gazının azaltılmasının yanında içeriklerindeki ağır metaller üzerinde etkili olup olmadığını değerlendirmek için altlık numunelerinde ağır metal analizi yaptırılmıştır. Ağır metal analizi için kontrol ve deneme gruplarında fosfor (P), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) elementlerine bakılmıştır (Kılıç vd., 2014; Burt, 2015; Janczak vd., 2017). Demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) mikro elementler ağır metal miktarları, mikrodalga fırında $\text{HNO}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ ile yaş yakma sonucu elde edilen çözeltide ICP OES ile belirlenmiştir (USEPA, 1995; Jones, 2001). Yarıyışlı fosfor (P) içeriği ise 0,5 M NaHCO_3 (sodyum bikarbonat) ile ekstrakte edilmesi sonucu süzükte askorbik asit yöntemiyle belirlenmiştir (Watanabe ve Olsen, 1965).

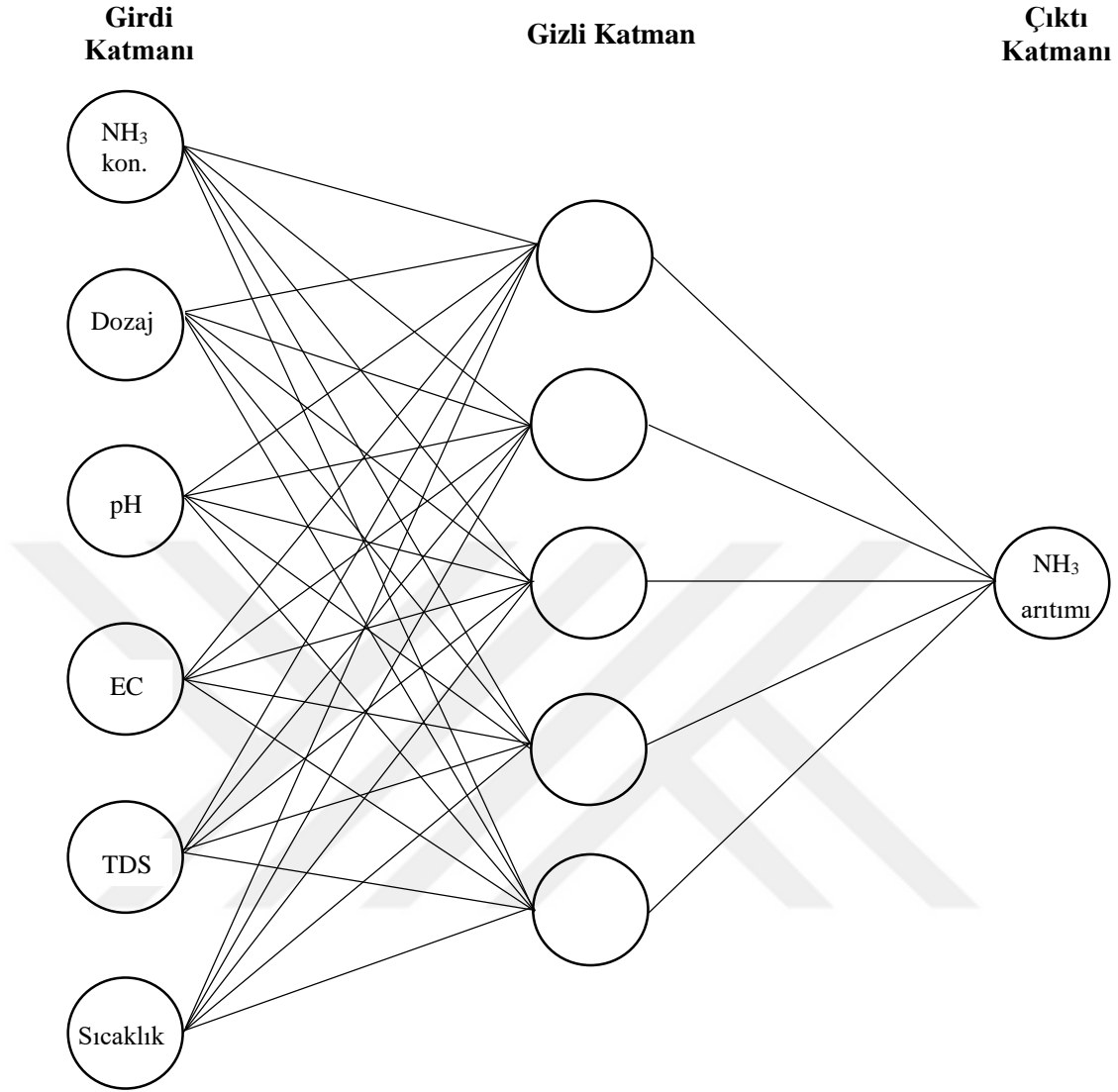
3.2.2. Mikrobiyal analiz

Kanatlı altlığı, sıcaklık, nem ve besinler aracılığıyla bakterilerin çoğalması için ideal ortamı sağlamaktadır. Altlıklarda azotlu bileşiklerin bakteriyel olarak bozunmasıyla NH_3 gazı ortaya çıkmaktadır. Bakteriyel populasyon g altlık başına 10^9 - 10^{10} hücreye kadar artabilir (Rothrock vd., 2008). Altlığa uygulanan asit karakterli katkı maddeleri, altlığın pH değerini düşürerek daha az NH_3 uçuculuğunu destekler. Altlıktaki asit değişiklikleri, NH_3 üretimini sağlayan bakterilerin ve bakteriyel gıda kaynaklı patojenlerin büyümesini engelleyebilir (Trampel vd., 2000; Vicente vd., 2007; Weiss vd., 2015).

Çalışmanın bu aşamasında; II. denemede tekerrürlerin başında ve sonunda alınan altlık örneklerinde farklı dozajlarda (%0, %2,5, %5, %7,5, %10) uygulanan sodyum bisülfatın altlıktaki bakteri ve patojen popülasyonları üzerindeki etkisinin belirlenmesi için muhtemel toplam fekal koliform grubu bakteri ile bu grubun bir üyesi olan *E. coli* miktarı belirlenmiştir (Johnson vd., 2021). Bu amaç doğrultusunda, örneklerden *E. coli* ve diğer koliform bakterilerinin spesifik koloni oluşturduğu bilinen VRB (Violet Red Bile) Agar (merck) besiyerlerine dökme kültür yöntemine göre ekimler yapılarak muhtemel fekal koliform bakteri sayısı belirlenmiştir. Örnekler, steril PBS içeren tüplere aktarılarak 7 seri olacak şekilde (10^0 - 10^7 KOB/g-mL) dilüsyonlar hazırlanmıştır. Her bir dilüsyondan VRB Agar içeren petrilere 2 paralel olacak şekilde ekimler gerçekleştirilmiştir. Ardından petrilere $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ 'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda gözlenen spesifik koloniler (kırmızı renkli zon) fekal koliform bakteriler olarak kabul edilmiştir. Aynı örneklerden; MUG içeren florojenik VRB agar (Biolife) besiyerine ekim yapılarak $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ 'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır.

3.2.3. Yapay sinir ağları ile NH_3 arıtımını tahminleme

Çalışmanın bu aşamasında, I. deneme neticesinde seçilen katkı maddesinin II. denemedeki NH_3 arıtım verimliliğinin tahminlenmesindeki başarı performansı ele alınmıştır. Tahminleme için 6 farklı girdi ve 1 adet çıktı parametreleri kullanılarak farklı sinir ağı yapıları tasarlanmıştır (Şekil 3.7). Giriş ve çıkış katmanı ile birlikte tek bir gizli katman kullanılmıştır. Sinir ağı yapılarında farklı eğitim algoritmaları başarı performansında etkilidir. NH_3 arıtım verimliliği için başarılı tahmini sağlayacak en iyi performansa sahip YSA mimarisini belirlemek için dört farklı ileri beslemeli eğitim algoritması kullanılmıştır. Bunlar; Levenberg Marquardt Algoritması, Fletcher-Reeves Güncelleme Algoritması, Scaled Conjugate Gradient Algoritması ve Bayesian Algoritması'dır. Tahminlemeler için MATLAB bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Hedeflenen NH₃ artım verimliliği tahminlenmesi için gizli katmanlı YSA mimarisi

YSA'da kullanılan parametrelerin birimlerinin birbirinden farklı olması ve sayısal değerler arasındaki farkın büyük olması gibi durumlar performansın düşmesine neden olabilir. Bunu engellemek için normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Normalizasyon işlemi için denklem 3.5'den yararlanılmıştır (Vazquez-Cruz vd., 2012). Formülde X_n normalize edilmiş değer, X_i normalize edilecek değer, X_{min} veriler içerisindeki minimum değer ve X_{max} ise maksimum değeri ifade etmektedir. Veri setlerinin %60'ı eğitim seti, %15'i doğrulama seti ve %25'i test seti olarak uygulanmıştır. Model, eğitim seti verilerine göre oluşturulmuştur. Kurulan model, eğitim verileri üzerindeki

performansının değerlendirilmesi, gerekirse aşırı yüklenmeyi önlemek için eğitimi durdurmak için doğrulama veri setini kullanır. Test seti ise sinir ağı performansının doğrulanması için kullanılmıştır.

$$X_n = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3.5)$$

Yapar sinir ağlarında oluşan hataların minimize edilmesi için bazı ölçütlerden yararlanılmıştır. Bunlar; MSE (Ortalama Hataların Karesi), RMSE (Ortalama Hataların Karesinin Karekökü) ve MAPE (Ortalama Hataların Mutlak Yüzdesi)'dir. Belirtilen ölçütlerin hesaplanmasında kullanılan ilgili denklem 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir (Takma vd., 2012; Akkol vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan algoritmalar içerisinde daha yüksek R^2 değeri ve daha düşük MSE, RMSE ve MAPE değerleri veren algoritmanın en uygun model olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu aktivasyon fonksiyonunda çıktı verileri [0, 1] aralığında değişmektedir.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y - Y_i|}{n} \quad (3.6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_i)^2}{n}} \quad (3.7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Y - Y_i}{Y_i} \right|}{n} \times 100 \quad (3.8)$$

Bu denklemlerde;

Y: ölçülen değer

Y_i : tahmin edilen değer

n: verilerin sayısı

i: tahmin değeri olarak ifade edilmiştir.

3.3. İstatistik Analizi

Tez çalışmasında I. ve II. denemeler üç tekrarlı olarak planlanmış ve yürütülmüştür. Denemelerden elde edilen verilerin istatistiksel analizi SPSS 29.0.2.0 programıyla

yapılmıştır. Altlık katkı maddelerinin NH₃ konsantrasyonu üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, gruplar ve sürüler arasındaki istatistiksel farkların ortaya konulabilmesi için one-way ANOVA (tek yönlü ANOVA) testiyle birlikte Tukey'in dürüst anlamlı fark testi (HSD) kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık $p < 0,05$ seviyesinde kabul edilmiştir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. I. Denemedeki Farklı Katkı Maddelerinin NH₃ Arıtım Performansı ve Altlık Özelliklerine Etkileri

Yapılan çalışmanın I. deneme aşamasında 21 gün boyunca kontrol ve deneme gruplarından ölçülen günlük konsantrasyon değerleri Çizelge 4.1-4.3'te ve kümülatif NH₃ konsantrasyonları ise Şekil 4.1'de verilmiştir. I. deneme sonunda konsantrasyon değerleri incelendiğinde, tüm sürülerde kullanılmış altlık materyalleri için sodyum bisülfatlı deneme grubunun, NH₃ gazının azaltılmasında en yüksek verime sahip olduğu gözlenmiştir. Katkı maddesi olarak sodyum bisülfattan sonra en etkili ikinci madde ise alüminyum sülfattır. Magnezyum sülfat ve zeolitin amonyak konsantrasyonu üzerinde diğer deneme gruplarına kıyasla daha düşük etkisi olduğu ya da olumlu etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca 21 günlük deneme süreci boyunca iki haftadan sonra deneme gruplarında NH₃ gaz çıkışı daha sabit bir seyir izlemiştir.

4.1.1. I. denemenin NH₃ konsantrasyon değerleri ve NH₃ arıtım seviyeleri

I. denemede üç farklı sürü için üretim periyodunun tamamlandığı altlık materyalleri kullanılmıştır. I. sürü altlık materyalinin farklı deneme gruplarına göre ortalama en düşük konsantrasyon 6,5 mg/kg ile sodyum bisülfat katkılı deneme grubunda tespit edilmiştir. En az etkili grup ise 20,54 mg/kg ile zeolit katkılı deneme grubu (D₂) olmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. I. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

Günler	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
1	5,44±0,96	34,25±0,96	10,72±0,96	25,97±0,96	58,50±0,96
2	8,72±0,96	45,53±0,96	1,08±0,96	32,67±0,96	62,86±0,96
3	11,32±0,95	26,30±0,95	2,57±0,95	31,32±0,95	41,24±0,95
4	18,47±0,96	27,44±0,96	2,00±0,96	30,50±0,95	51,50±0,96
5	23,98±0,91	20,98±0,91	3,60±0,91	23,95±0,91	63,53±0,91
6	14,77±0,97	14,46±0,97	4,71±0,97	20,23±0,97	32,40±0,97
7	14,67±0,96	14,58±0,96	3,94±0,96	18,89±0,96	29,83±0,96
8	15,31±0,97	16,23±0,97	6,03±0,97	17,46±0,97	30,40±0,97
9	16,65±0,98	15,62±0,98	12,74±0,98	17,24±0,98	28,12±0,98
10	11,97±0,96	16,58±0,96	8,97±0,96	17,03±0,96	23,53±0,96
11	12,55±1,03	15,77±1,03	10,07±1,03	14,87±1,03	24,58±1,03
12	12,19±0,96	13,94±0,96	11,81±0,96	14,11±0,96	24,36±0,96

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

Çizelge 4.1. I. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata) (devam)

Günler	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
13	14,97±0,99	13,29±0,99	7,44±0,99	14,38±0,99	22,85±0,99
14	13,85±0,99	13,50±0,99	7,62±0,99	13,97±0,99	21,77±0,99
15	17,47±0,99	24,47±0,99	7,27±0,99	12,85±0,99	57,09±0,99
16	16,22±1,02	25,66±1,02	7,47±1,02	11,25±1,02	49,50±1,02
17	16,03±1,00	21,18±1,00	6,00±1,00	13,12±1,00	38,03±1,00
18	15,69±0,96	19,89±0,96	5,39±0,96	11,17±0,96	41,58±0,96
19	15,03±0,96	18,36±0,96	6,33±0,96	9,58±0,96	32,31±0,96
20	14,79±1,00	16,97±1,00	3,79±1,00	7,24±1,00	29,39±1,00
21	14,06±1,00	14,18±1,00	7,42±1,00	7,33±1,00	21,52±1,00
Ort ± SH	14,51±0,17	20,54±0,37	6,46±0,17	17,62±0,31	37,71±0,62

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

II. sürü altlık materyalinde ölçülen değerlere göre ise yine NH₃ uçuculuğunun azaltılmasına en büyük katkıyı sağlayan deneme grubu sodyum bisülfatlı grup (D₃) olmuştur (7,87 mg/kg). Amonyak gaz çıkışında daha az etkili olan ve kontrol grubuna daha yakın değerler gösteren gruplar D₁ ve D₂ olmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. II. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

Günler	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
1	4,28±1,15	9,36±1,15	1,03±1,15	7,33±1,15	25,44±1,15
2	12,86±1,15	22,06±1,15	0,47±1,15	20,00±1,15	45,56±1,15
3	10,95±1,40	15,49±1,14	1,92±1,14	15,60±1,14	22,19±1,14
4	13,72±1,15	20,03±1,15	0,81±1,15	16,94±1,15	28,06±1,15
5	29,20±1,10	16,15±1,10	1,80±1,10	19,58±1,10	47,68±1,10
6	12,11±1,17	9,20±1,17	2,77±1,17	8,57±1,17	18,09±1,17
7	12,58±1,15	12,03±1,15	3,14±1,15	12,22±1,15	26,36±1,15
8	14,86±1,17	16,83±1,17	4,80±1,17	13,11±1,17	30,86±1,17
9	16,91±1,19	16,50±1,19	19,44±1,19	13,29±1,19	27,50±1,19
10	8,25±1,15	17,56±1,15	14,33±1,15	12,67±1,15	15,83±1,15
11	10,71±1,24	16,97±1,24	14,81±1,24	14,48±1,24	27,26±1,24
12	10,64±1,15	13,97±1,15	17,25±1,15	10,61±1,15	26,83±1,15
13	16,12±1,19	12,59±1,19	10,79±1,19	12,00±1,19	25,41±1,19
14	12,82±1,19	11,97±1,19	9,62±1,19	10,06±1,19	19,06±1,19
15	16,97±1,19	10,77±1,19	10,15±1,19	9,32±1,19	28,88±1,19
16	14,19±1,22	9,81±1,22	12,13±1,22	10,09±1,22	18,09±1,22
17	14,18±1,21	7,03±1,21	8,09±1,21	9,18±1,21	17,46±1,21
18	14,11±1,15	8,92±1,15	8,67±1,15	8,00±1,15	26,50±1,15
19	13,56±1,15	8,97±1,15	10,78±1,15	7,83±1,15	19,42±1,15
20	13,06±1,21	8,85±1,21	5,49±1,21	5,97±1,21	17,30±1,21
21	13,82±1,21	8,55±1,21	10,00±1,21	5,09±1,21	16,06±1,21
Ort ± SH	13,69±0,25	13,10±0,26	7,87±0,25	11,62±0,28	25,48±0,52

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

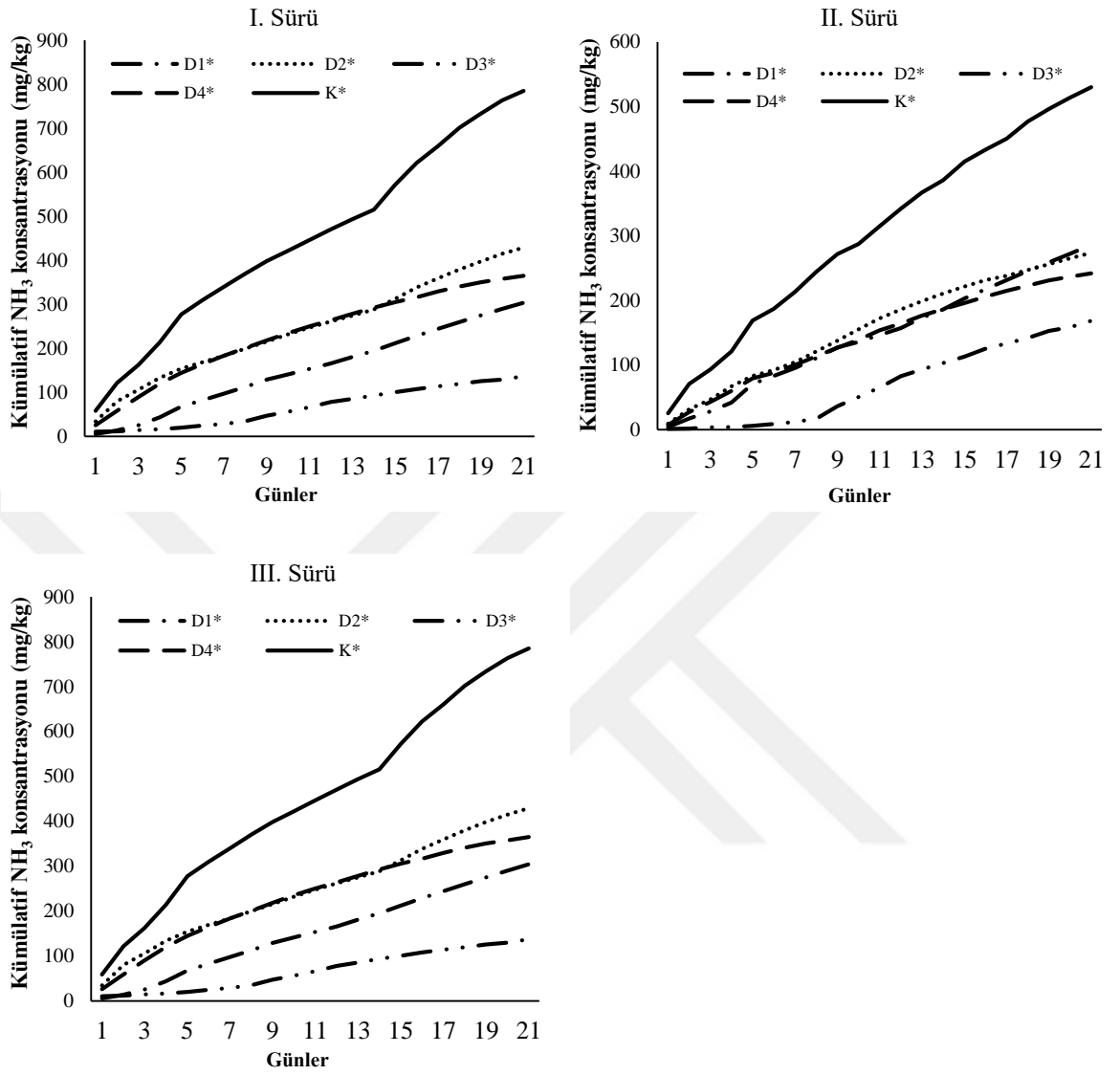
III. sürü altlık materyali için sonuçlar değerlendirildiğinde ise en düşük düzeyde amonyak konsantrasyonu ölçülen grup ortalama 4,55 mg/kg ile D₃ olmuştur. Kontrol grubundan ölçülen gaz ölçümüne en yakın değerler ölçülen deneme grubu 27,9 mg/kg ile D₂ (zeolit katkılı) deneme grubu olmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. III. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

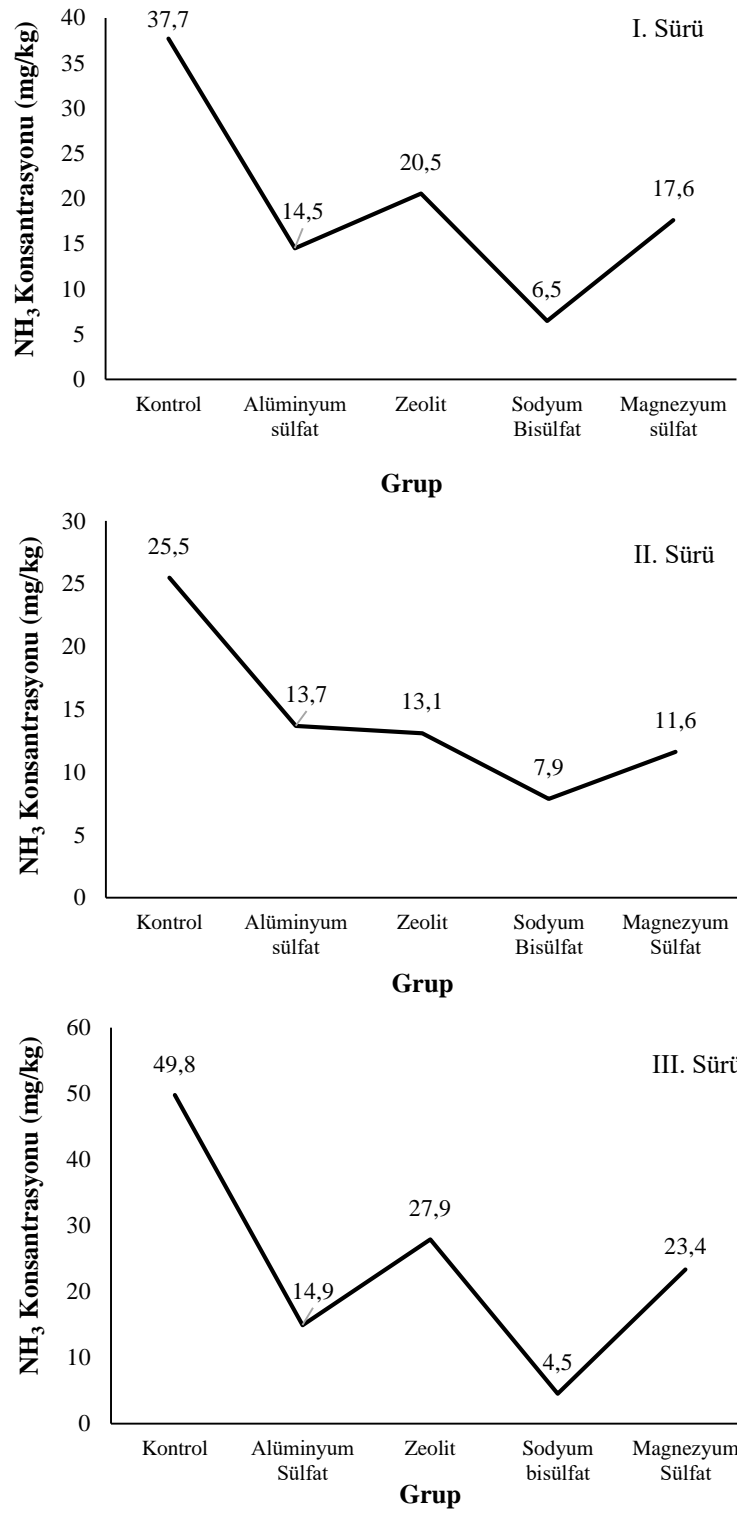
Günler	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
1	6,20±1,28	58,43±1,28	20,34±1,28	44,34±1,28	90,69±1,28
2	4,00±1,28	70,13±1,28	0,89±1,28	45,14±1,28	81,74±1,28
3	9,72±1,27	36,94±1,27	2,81±1,27	47,83±1,27	60,44±1,27
4	23,44±1,30	35,79±1,30	2,53±1,30	44,97±1,30	68,88±1,30
5	18,85±1,70	23,75±1,70	4,70±1,70	31,25±1,70	90,25±1,70
6	17,97±1,32	24,88±1,32	5,06±1,32	30,67±1,32	68,06±1,32
7	16,71±1,30	18,85±1,30	5,56±1,30	29,68±1,30	44,41±1,30
8	16,53±1,30	16,09±1,30	4,29±1,30	23,79±1,30	32,15±1,30
9	15,27±1,30	14,79±1,32	7,36±1,32	20,97±1,32	28,00±1,32
10	15,82±1,30	14,12±1,30	5,09±1,30	20,77±1,30	28,15±1,30
11	15,27±1,30	15,06±1,30	3,06±1,28	21,06±1,48	24,50±1,30
12	14,09±1,28	13,73±1,28	5,14±1,28	15,51±1,28	21,31±1,28
13	13,23±1,28	13,50±1,28	5,75±1,34	15,95±1,23	21,09±1,28
14	13,32±1,30	13,65±1,30	3,12±1,30	16,32±1,30	19,74±1,30
15	14,26±1,28	15,37±1,28	5,17±1,28	17,11±1,28	24,14±1,28
16	17,91±1,30	37,53±1,30	3,94±1,36	13,81±1,25	96,38±1,30
17	17,60±1,25	43,95±1,25	2,81±1,25	13,30±1,25	72,46±1,25
18	17,24±1,17	30,64±1,17	2,60±1,17	17,29±1,17	55,33±1,17
19	16,46±1,32	30,64±1,32	1,21±1,32	10,33±1,32	49,24±1,32
20	15,84±1,23	27,11±1,23	1,39±1,27	7,53±1,20	42,05±1,23
21	15,44±1,27	25,30±1,32	3,41±1,22	11,31±1,27	40,31±1,27
Ort ± SH	14,92±0,16	27,90±0,68	4,55±0,26	23,36±0,49	49,76±1,00

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

I. denemede NH₃ konsantrasyon değerlerinin en düşük olduğu grubun, sodyum bisülfat katkılı deneme grubu (D₃) olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2). Kontrol grubundan sonra en yüksek konsantrasyon değerleri ise zeolit katkılı deneme grubunda (D₂) ölçülmüştür. Alüminyum sülfat katkılı deneme grubu (D₁), diğer deneme gruplarıyla karşılaştırıldığında, en düşük NH₃ konsantrasyonuna sahip ikinci grup olmuştur.



Şekil 4.1. I. deneme kontrol ve deneme gruplarının kümülatif NH₃ konsantrasyonları (mg/kg)



Şekil 4.2. I. denemenin gruplara göre ortalama NH₃ konsantrasyon değerleri (mg/kg)

I. deneme konsantrasyon ölçümleri sabah, öğle ve akşam günde üç tekrarlı olarak 1 saat boyunca yapılmıştır ve sürülere göre konsantrasyon değerleri Çizelge 4.4-4.6 arasında

verilmiştir. Sabah ölçümleri 8.00-9.00, öğle ölçümleri 12.00-13.00 ve akşam ölçümleri 16.00-17.00 saat dilimleri aralığında gerçekleştirilmiştir. III. sürü altlığı için gerçekleştirilen sabah ve öğle ölçümlerinde akşam gerçekleşen amonyak konsantrasyon miktarına göre daha fazla gaz çıkışı olduğu gözlenmiştir. Akşamdan sabaha kadar amonyak gazı çıkışının devam etmesi, sabah ölçülen değerlerin daha yüksek değerde olmasına neden olmuştur. I. ve II. sürü altlıklarında sodyum bisülfat ve magnezyum sülfat akşam ölçümlerinde nispeten daha yüksek konsantrasyon değerleri göstermiştir.

Çizelge 4.4. I. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

Gün Durumu	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
Sabah	13,84±0,64	20,80±0,64	5,72±0,64	15,44±0,64	36,79±0,64
Öğle	15,46±0,64	20,85±0,64	6,66±0,64	17,75±0,64	38,85±0,64
Akşam	14,25±0,64	19,98±0,64	7,00±0,64	19,71±0,64	37,49±0,64
Ort ± SH	14,52±0,64	20,54±0,64	6,46±0,64	17,63±0,64	37,71±0,64

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

Çizelge 4.5. II. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

Gün Durumu	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
Sabah	12,45±0,56	11,11±0,56	5,50±0,56	8,28±0,56	23,99±0,56
Öğle	15,37±0,56	14,23±0,56	8,72±0,56	11,70±0,56	26,82±0,56
Akşam	13,25±0,56	13,98±0,56	9,40±0,56	14,95±0,56	25,63±0,56
Ort ± SH	12,45±0,56	13,11±0,56	7,87±0,56	11,64±0,56	25,48±0,56

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

Çizelge 4.6. III. sürü altlık materyalinin kontrol ve deneme gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg, Ortalama ± Standart hata)

Gün Durumu	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *	K*
Sabah	15,36±1,02	31,34±1,02	5,09±1,02	20,38±1,02	54,69±1,02
Öğle	14,69±1,03	24,58±1,03	4,07±1,03	24,71±1,03	46,63±1,03
Akşam	14,70±1,04	27,75±1,05	4,47±1,06	25,08±1,03	47,83±1,04
Ort ± SH	14,92±1,03	27,89±1,03	4,54±1,04	23,39±1,03	49,72±1,03

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu

I. deneme sonucunda deneme gruplarının amonyak gazının arıtım verimlilikleri günlere göre Çizelge 4.7-4.9'da verilmiştir. Çalışma sonucuna göre, amonyak gazının en yüksek düzeyde arıtıldığı deneme grubu %64-%88 verimlilik oranı ile D₃ (sodyum bisülfat katkılı) olmuştur. En yüksek arıtımın sodyum bisülfat katkılı deneme grubu olmasının

yanı sıra diğer deneme gruplarında da amonyak gazının artıldığı gözlenmiştir. En düşük arıtım verimliliği D₂ (zeolit katkılı) grubunda (%40-%45) gözlenmiştir. D₁ (alüminyum sülfat katkılı) deneme grubunda %41-%59 ve D₄ (magnezyum sülfat katkılı) deneme grubunda ise %44-%53 düzeyinde NH₃ arıtımı sağlanmıştır.

Çizelge 4.7. I. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH₃ arıtım verimliliği (%) (Ortalama ± Standart hata)

Gün	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *
1	90,28±2,09	39,76±2,09	77,70±2,09	55,77±2,09
2	86,23±2,09	25,31±2,09	98,25±2,09	44,54±2,09
3	71,72±2,06	35,67±2,06	94,07±2,06	23,11±2,06
4	62,21±2,09	44,67±2,09	96,51±2,09	38,91±2,09
5	61,07±1,98	65,42±1,98	93,76±1,98	59,04±1,98
6	53,93±2,12	54,20±2,12	85,17±2,12	34,74±2,12
7	50,49±2,09	51,39±2,09	87,16±2,09	36,44±2,09
8	49,53±2,12	46,33±2,12	81,28±2,12	42,58±2,12
9	40,37±2,15	43,94±2,15	54,88±2,15	38,49±2,15
10	49,28±2,09	29,83±2,09	64,51±2,09	28,61±2,09
11	47,47±2,25	34,82±2,25	59,71±2,25	39,37±2,25
12	49,29±2,09	42,78±2,09	51,42±2,09	41,71±2,09
13	34,10±2,15	40,22±2,15	67,59±2,15	35,23±2,15
14	32,46±2,15	34,94±2,15	64,18±2,15	33,59±2,15
15	65,52±2,15	53,67±2,15	85,57±2,15	74,74±2,15
16	67,14±2,22	47,17±2,22	85,23±2,22	77,19±2,22
17	57,07±2,18	44,31±2,18	84,11±2,18	64,37±2,18
18	61,65±2,09	52,08±2,09	88,43±2,09	72,61±2,09
19	52,34±2,09	41,55±2,09	80,92±2,09	69,94±2,09
20	48,02±2,18	39,34±2,18	87,53±2,18	75,99±2,18
21	30,63±2,18	33,11±2,18	61,65±2,18	64,26±2,18
Ort ± SH	55,58±0,68	43,05±0,62	78,86±0,68	49,85±0,79

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu

Çizelge 4.8. II. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH₃ arıtım verimliliği (%) (Ortalama ± Standart hata)

Gün	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *
1	79,29±3,17	57,01±3,17	96,27±3,17	65,79±3,17
2	67,01±3,17	39,93±3,17	97,76±3,17	47,86±3,17
3	47,54±3,13	29,64±3,13	90,06±3,13	27,55±3,13
4	45,93±3,17	31,73±3,17	96,62±3,17	41,05±3,17
5	34,23±3,01	58,47±3,01	94,43±3,01	53,33±3,01
6	30,74±3,21	41,61±3,21	84,55±3,21	49,26±3,21
7	51,96±3,17	54,54±3,17	86,88±3,17	51,30±3,17
8	51,61±3,21	45,78±3,21	85,04±3,21	57,26±3,21
9	37,54±3,26	38,76±3,26	28,56±3,26	53,29±3,26
10	60,19±3,17	17,36±3,17	37,55±3,17	44,93±3,17
11	54,08±3,42	31,80±3,42	42,09±3,42	45,77±3,42
12	59,03±3,17	48,33±3,17	35,50±3,17	61,11±3,17

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu

Çizelge 4.8. II. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH₃ artım verimliliği (%) (devam)

Gün	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *
13	34,36±3,26	46,14±3,26	51,66±3,26	48,61±3,26
14	33,05±3,26	36,83±3,26	49,26±3,26	46,64±3,26
15	34,96±3,26	58,12±3,26	60,60±3,26	66,66±3,26
16	21,11±3,36	45,23±3,36	32,30±3,36	43,51±3,36
17	18,87±3,31	60,05±3,31	54,06±3,31	47,39±3,31
18	37,43±3,17	58,68±3,17	65,58±3,17	72,51±3,17
19	28,08±3,17	51,93±3,17	42,75±3,17	60,04±3,17
20	22,96±3,31	47,54±3,31	68,59±3,31	64,69±3,31
21	14,72±3,31	45,39±3,31	38,88±3,31	66,64±3,31
Ort ± SH	41,51±0,88	45,06±0,79	64,52±1,08	53,08±0,92

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu

Çizelge 4.9. III. sürü altlık materyalinin deneme gruplarına göre NH₃ artım verimliliği (%) (Ortalama ± Standart hata)

Gün	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *
1	92,59±2,24	33,96±2,24	73,56±2,24	51,47±2,76
2	94,71±2,24	14,06±2,24	98,85±2,24	42,95±2,24
3	83,24±2,31	36,47±2,21	94,71±2,27	18,74±2,21
4	63,35±2,27	45,02±2,27	96,00±2,27	33,41±2,27
5	78,98±2,96	73,27±2,96	94,13±2,96	64,49±2,96
6	72,19±2,31	63,18±2,31	91,56±2,31	50,28±2,31
7	60,78±2,27	55,77±2,27	86,36±2,27	27,81±2,27
8	47,44±2,27	49,19±2,27	86,09±2,27	24,55±2,27
9	44,74±2,31	46,33±2,31	73,43±2,31	23,64±2,31
10	42,38±2,27	48,81±2,27	80,93±2,27	24,16±2,27
11	37,54±2,27	38,11±2,27	87,28±2,27	13,71±2,27
12	33,77±2,24	35,51±2,24	75,01±2,24	26,27±2,34
13	37,11±2,24	35,65±2,24	72,04±2,34	24,02±2,15
14	32,38±2,27	30,28±2,27	83,68±2,27	16,82±2,27
15	31,97±2,24	27,94±2,24	75,92±2,24	19,43±2,24
16	81,31±2,27	59,96±2,27	95,80±2,38	85,55±2,18
17	75,32±2,18	38,72±2,18	96,02±2,18	80,92±2,18
18	67,55±2,04	45,27±2,04	95,55±2,04	67,24±2,04
19	62,56±2,31	32,76±2,31	97,64±2,31	76,21±2,31
20	58,66±2,15	31,15±2,15	97,21±2,21	82,17±2,09
21	57,67±2,21	31,91±2,21	90,70±2,12	69,37±2,21
Ort ± SH	59,64±0,79	40,83±0,75	87,77±0,61	44,28±1,05

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu

I. denemede elde edilen artım verimliliklerinde azalış-artış-azalış gibi dalgalanmalar gerçekleşmiştir. Benzer dalgalanmalar literatürdeki çalışmalarda da ortaya çıkmıştır (Li vd., 2013; Chai vd., 2018; Pereira vd., 2019a, 2019b; Joerger vd., 2020). Bu dalgalanmaların nedenlerinden bir tanesi altlığın nem içeriği ile ilişkilendirilebilir. Emisyon odalarının üzerinin kapalı olması altlığın hava ile temasını kesip, nemini

kaybedip kurumasını ve NH₃ gazının altlık içerisinde hapsolmasını etkilemektedir. Nemin varlığı gübre içerisindeki NH₃'ın uçucu hale gelip açığa çıkmasına neden olmaktadır. Nem içeriğinde meydana gelen değişimler nedeni ile altlıkta NH₃ çıkışı dalgalı bir şekilde seyretmektedir.

NH₃ gazı konsantrasyonları ve arıtım verimlilikleri deneme grupları ve sürüler arasında p<0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir (Çizelge 4.10-11).

Çizelge 4.10. I. denemede grupların NH₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar

	Deneme Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₃ Konsantrasyonu	Kontrol	37,6 ^a	22,3	0,5	3	100
	Alüminyum sülfat	14,4 ^c	5,3	0,1	1	50
	Zeolit	20,5 ^b	14,0	0,3	0	100
	Sodyum bisülfat	6,3 ^d	6,4	0,1	0	54
	Magnezyum sülfat	17,53 ^b	11,165	0,238	0	62
NH ₃ Arıtım Verimliliği	Alüminyum sülfat	52,20 ^b	22,60	0,48	0,0	99,0
	Zeolit	43,00 ^c	19,59	0,42	0,0	100,0
	Sodyum bisülfat	76,97 ^a	24,09	0,52	0,0	100,0
	Magnezyum sülfat	49,08 ^c	25,32	0,54	0,0	100,0

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

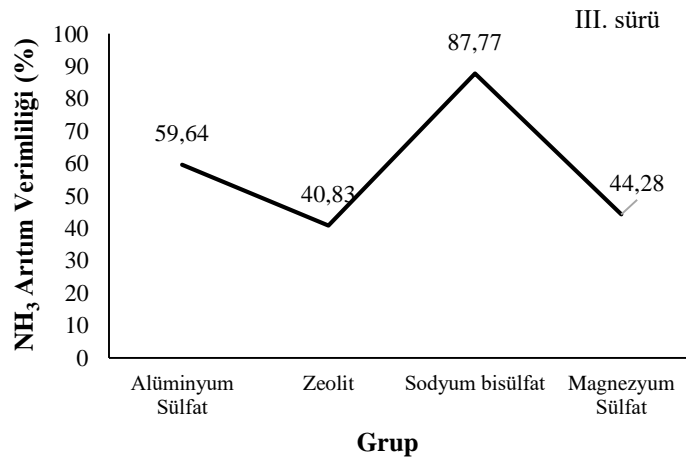
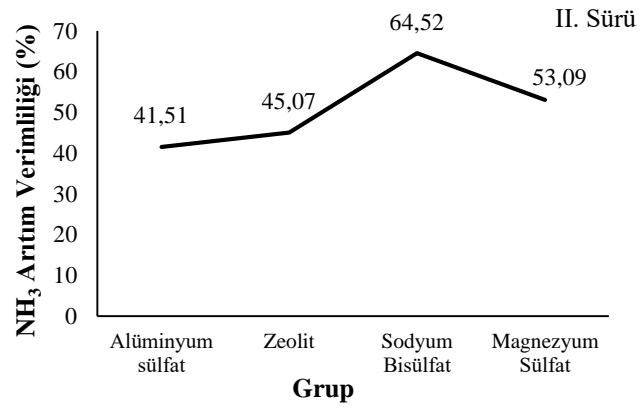
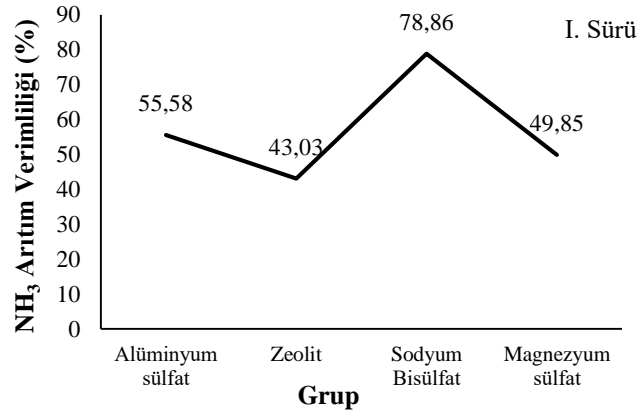
Çizelge 4.11. I. denemede sürülerin NH₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar

	Sürü	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₃ Konsantrasyonu	I	19,37 ^b	14,36	0,24	0	100
	II	14,35 ^c	10,67	0,18	0	100
	III	24,12 ^a	22,05	0,37	0	100
NH ₃ Arıtım Verimliliği	I	56,84 ^b	23,12	0,43	0,0	100,0
	II	51,05 ^c	26,49	0,49	0,0	100,0
	III	58,06 ^a	28,75	0,54	0,0	100,0

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

I. denemede D₃ grubunun yüksek arıtım verimliliği gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Kümes içerisindeki altlık materyali üzerinde gerçekleşen biyolojik reaksiyonlar ve canlılık aktiviteleri her sürüde farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca üretimin bitmesinden sonra alınan altlıklarda mikrobiyolojik canlılık hala devam etmektedir. Bu durum, I. denemede kullanılan materyallerin arıtım verimliliklerindeki farklılıkların temel nedeni

olarak değerlendirilebilir. Tüm deneme gruplarının NH₃ gazını arıtma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte I. ve III. sürü altlıklarında D₃ grubunu takiben en iyi arıtım verimliliği D₁ grubunda (alüminyum sülfat ilaveli) gözlenmiştir. İkinci sürü altlığında ise D₃'ten sonra en yüksek arıtım verimliliği D₄ grubunda (magnezyum sülfat ilaveli) tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. I. denemede gruplara göre ortalama NH₃ arıtım verimlilikleri (%)

Konuya ilişkin yapılan çalışmalardaki altlık uygulamalarının NH₃ emisyonunu azaltma düzeyleri, bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırıldığında genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir (izelge 4.12).

Madrid vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada dört adet et tavuğu kümeslerinde altlığa alüminyum sülfat (şap) uygulamışlardır. Kümeslerde altlık olarak talaş kullanılmıştır. Deneme kmeslerine 0,25 kg/m² oranında alüminyum sülfat eklenmiş ve üretim süreci boyunca NH₃ emisyonunun kontrol grubuna kıyasla %62,9 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Bu oran, bu çalışmadaki I. denemenin alüminyum sülfat katkılı deneme grubundan elde edilen sonuçları ile uyum göstermektedir.

Chai vd. (2018), laboratuvar koşullarında gerçekleştirdikleri bir çalışmada, et tavuğu altlıklarına sodyum bisülfat uygulamasını üç farklı dozaj seviyesinde denemişlerdir. Bu uygulamanın amonyak emisyonuna etkisini incelemiş ve %28 ile %79 arasında arıtım sağlandığını belirtmişlerdir. Söz konusu çalışma ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir; ancak bu çalışmada daha yüksek arıtım verimliliği elde edilmiştir.

Pereira vd. (2019a), Portekiz’de Akdeniz iklim koşullarında, kapalı iki kümes üzerinde NH₃, N₂O, CO₂ ve CH₄ emisyonlarına olan etkisini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada yaz ve kiş mevsimlerinde toplam iki sürü boyunca altlık materyali olarak talaşa magnezyum sülfat uygulamışlardır. Araştırma sonucunda, magnezyum sülfat uygulamasının amonyak emisyonunu %45 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmanın bulguları, bu araştırmadaki magnezyum sülfat ilaveli grubun amonyak arıtım seviyeleriyle uyum göstermektedir.

Pereira vd. (2019b), Portekiz’de gerçekleştirdikleri bir diğer çalışmada iki benzer özelliklere sahip damızlık tavuk kümesinden birisi kontrol grubu olarak belirlenmiş, diğerine ise klinoptilolit zeoliti uygulamışlardır. Klinoptilolit altlık zerindeki NH₃, N₂O, CO₂ ve CH₄ konsantrasyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, klinoptilolit zeoliti NH₃ üzerinde %28 oranında arıtım verimliliği göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, bu çalışma ile I. deneme aşamasındaki zeolit

uygulamasının amonyak arıtım verimliliği açısından benzer değerler göstermekte olup, bu çalışmada daha yüksek bir arıtım verimliliği elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Kümes hayvanlarına ilişkin yapılmış literatür çalışmalarına ait farklı katkı maddelerinin amonyak arıtım düzeyleri (%)

Kaynak	Kullanılan materyal	Altılık türü	Yetiştiricilik türü	Çalışma ortamı	Amonyak arıtım verimliliği (%)
Do vd. (2005)	Alüminyum sülfat	Pirinç kepeği	Et tavuğu	Saha	%86,18
	Alüminyum sülfat+CaCO ₃				%78,66
	Alüminyum klorid+CaCO ₃				%75,52
	KMnO ₄				%69,00
Madrid vd. (2012)	Alüminyum sülfat	Talaş	Et tavuğu	Saha	%62,5
Li vd. (2013)	Sodyum bisülfat	Taze odun talaşı	Et tavuğu	Laboratuvar	%64,5
Eugene vd. (2015)	Alüminyum sülfat	Taze çam talaşı	Et tavuğu	Saha	%47
Sheng vd. (2015)	Biyokömür Zeolit FGG	Çeltik kavuzu	Et tavuğu	Saha	%40
					%68
					%21
Chai vd. (2018)	Sodyum bisülfat	-	Yumurta tavuğu	Laboratuvar	%28-%79
Pereira vd. (2019a)	Magnezyum sülfat	Talaş	Et tavuğu	Saha	%45
Pereira vd (2019b)	Zeolit	Yeni çeltik kavuzu	Yumurta tavuğu	Saha	%28
Bu çalışma (2024)	Sodyum bisülfat	Çeltik kavuzu	Et tavuğu	Laboratuvar	%64-%88
	Alüminyum bisülfat				%41-%59
	Zeolit				%40-%45
	Magnezyum bisülfat				%44-%53

CaCO₃: Kalsiyum karbonat, KMnO₄: Potasyum permanganat, FGG: baca gazı kükürt giderme alçısı

4.1.2. I. denemede katkı maddesi uygulanan altlıkların özellikleri

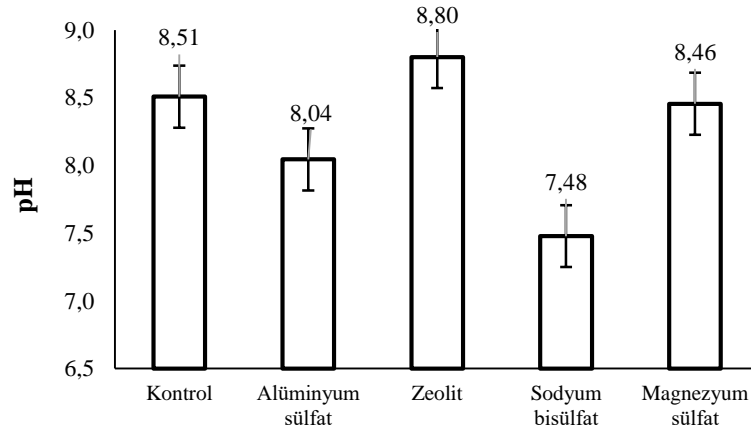
Farklı sürülere ait altlıklarda hayvanların biyolojik aktiviteleri ve gübrenin yoğunluğuna bağlı olarak mikrobiyal bozulmaların değişikliklere neden olabileceği göz önüne alınarak sürülere göre parametre değerleri arasındaki ilişkiler Çizelge 4.13’de ilişkileri verilmiştir. Tavuk altlığının pH değeri ve nem içeriği NH₃ çıkışıyla yakından ilişkilidir ve en önemli iki parametredir. Ortamın baziklik oranı arttıkça NH₃ çıkışına daha uygun ortam oluşmaktadır. pH değeri düştükçe oluşan asidik ortamda NH₃ çıkışı da düşmektedir. Çizelge 4.13, I. denemede kullanılan ve deneme grubunda katkı maddeleriyle etkileşime giren altlıkların kimyasal özelliklerindeki değişimleri göstermektedir. Çizelgeye göre, eklenen tüm muamele gruplarında pH değerinin düştüğü sadece zeolit grubunda nispeten aksi yönde davranış gösterdiği gözlenmiştir. D₃ deneme grubunun pH değerinin en düşük seviyede olmasıyla diğer gruplara göre daha

asidik bir ortam sağlamıştır (Şekil 4.4). Şekil 4.4'deki her sütun üç denemedeki altlık numunelerinin ortalama değerini temsil etmektedir. Zeolit katkılı grup haricinde diğer deneme gruplarında pH değeri kontrole kıyasla düşüş sağlamıştır. Bu durum katkı maddelerinin NH₃ uçuculuğunu azaltma yeteneklerini kısmen açıklamaktadır (Sheng vd., 2015). D₃ grubu I. deneme sonuçları tüm sürü altlık materyallerinde için 7,0-8,20 arasında değerler göstermiştir. Sodyum bisülfatlı deneme grubunun daha düşük NH₃ konsantrasyonuna sahip olduğu göz önüne alındığında pH değerleri ile pozitif yönlü ilişki vardır.

Çizelge 4.13. Kontrol ve deneme gruplarının altlık özellikleri (n=3, Ortalama±Standart hata)

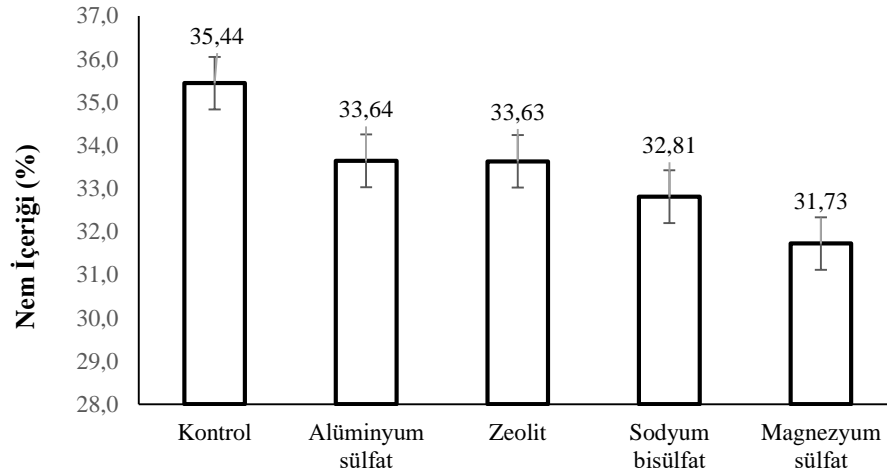
	Kontrol	D ₁ *	D ₂ *	D ₃ *	D ₄ *
I. Sürü					
Nem İçeriği (%)	30,3 ± 6,6	22,3 ± 3,6	24,4 ± 4,4	27,7 ± 4,0	25,9 ± 3,5
pH Değeri	8,43 ± 0,23	7,67 ± 0,27	8,47 ± 0,27	7,23 ± 0,27	8,13 ± 0,27
Sıcaklık (°C)	18,8±0,35	19,0±0,35	19,1±0,40	18,5±0,23	19,0±0,39
EC (mS/cm)	3,99 ± 0,01	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	3,33 ± 0,67	4,00 ± 0,00
TDS (mg/L)	2000±0,00	2000±0,00	2000±0,00	2000±0,00	1842±158,00
II. Sürü					
Nem İçeriği (%)	45,7 ± 0,8	44,2 ± 0,4	43,6 ± 1,6	42,2 ± 1,2	43,6 ± 0,6
pH Değeri	8,35 ± 0,23	8,30 ± 0,27	8,90 ± 0,27	8,20 ± 0,27	8,73 ± 0,27
Sıcaklık (°C)	19,5±0,50	19,1±0,42	19,2±0,47	19,1±0,34	19,3±0,47
EC (mS/cm)	2,80 ± 0,47	3,12 ± 0,56	2,17 ± 0,59	3,01 ± 0,29	3,79 ± 0,21
TDS (mg/L)	1405±234,15	1562,67±279,31	1086±295,38	1536±143,87	1900±100,00
III. Sürü					
Nem İçeriği (%)	30,4± 6,5	34,4 ± 1,8	32,9± 2,0	28,5 ± 3,6	25,7± 3,6
pH Değeri	8,75 ± 0,23	8,17 ± 0,27	9,03 ± 0,27	7,00 ± 0,27	8,50 ± 0,27
Sıcaklık (°C)	18,2±0,24	18,9±0,37	19,0±0,46	17,9±0,26	18,6±0,41
EC (mS/cm)	2,97 ± 0,55	3,99 ± 0,01	2,01 ± 0,27	4,0 ± 0,00	3,65 ± 0,18
TDS (mg/L)	1487,25±275,35	1998,33±1,67	1009,67±138,40	2000±0,00	1824,33±92,73

*D₁: alüminyum sülfat katkılı deneme grubu, D₂: zeolit katkılı deneme grubu, D₃: sodyum bisülfat katkılı deneme grubu, D₄: magnezyum sülfat katkılı deneme grubu, K: kontrol grubu,



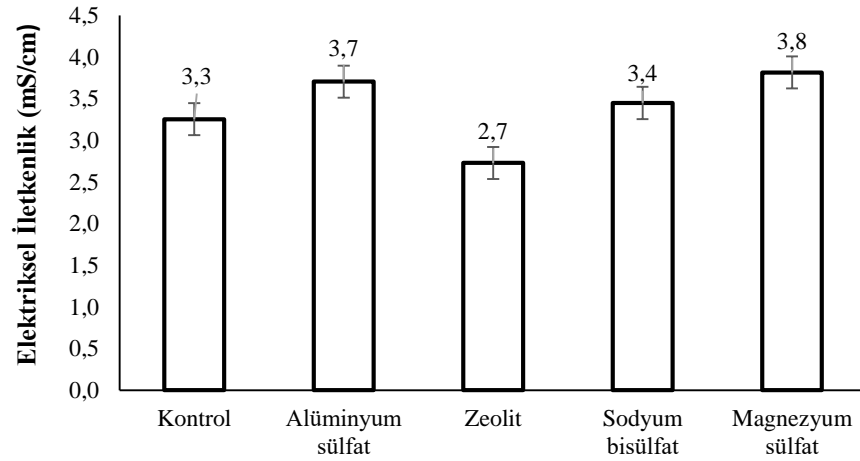
Şekil 4.4. Kontrol ve deneme gruplarının pH seviyeleri

Altlığın nem içeriğinin artması da NH_3 gazının artışında etkilidir. Ancak nem içeriğinin fazla düşerek kuru bir altlık elde edilmesiyle de ortamdaki tozlanma artarak partikül maddelerinin oluşmasına da neden olmaktadır. Katkı maddelerinin nem içeriği değerleri kontrol grubuna göre azaltmıştır (Şekil 4.5). Bu sonuçlara göre, elde edilen ortalama nem içeriği değerleri I. sürü altlığında D_1 (alüminyum sülfat katkılı deneme grubu) grubunda en düşük değere (I. sürü için ortalama %22,33) sahipken; II. sürü altlığında D_3 (sodyum bisülfat katkılı deneme grubu) en düşük nem içeriği (%42,2) ve III. sürü altlığında ise en düşük ortalama nem içeriğine D_4 (magnezyum sülfat katkılı deneme grubu) (%25,7) grubunun sahip olduğu belirlenmiştir. Sodyum bisülfat (%32,8) ve magnezyum sülfat (%31,7) katkılı gruplar daha düşük altlık nemine sahiptir.



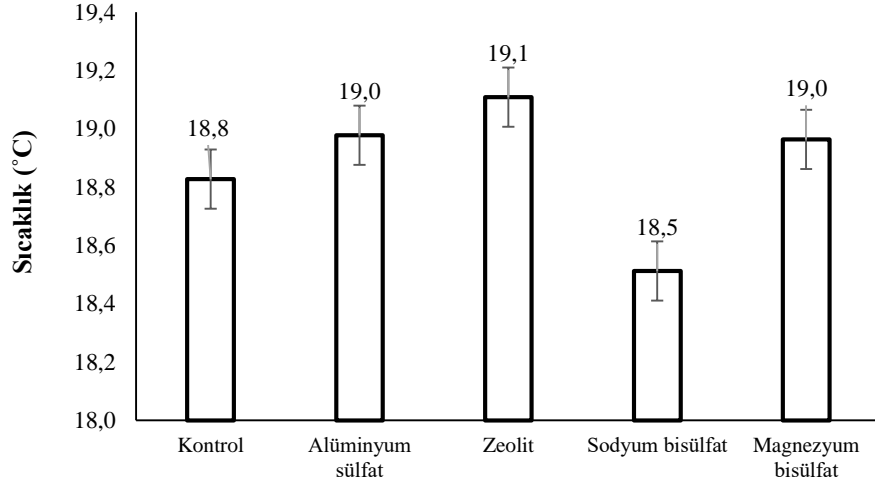
Şekil 4.5. Kontrol ve deneme gruplarının altlık nem içerikleri (%)

Elektriksel iletkenlik değeri altlığın tuzluluk seviyesiyle ilişkilidir. Çizelgeler incelendiğinde I. sürü altlığı için ortalama EC değeri en düşük seviyede olan grup D_3 (sodyum bisülfat katkılı)'tür. II. ve III. sürü altlığı için ise D_2 (zeolit katkılı) grubunun olduğu görülmektedir. Şekil 4.6'ya göre deneme gruplarında en düşük EC değeri zeolit katkılı gruba aittir. Alüminyum sülfat, sodyum bisülfat ve magnezyum sülfat katkılı deneme gruplarında, katkı maddelerinin içeriklerindeki sodyum tuzları, iletkenliğin artmasına neden olmuştur. Katkı maddelerinin olduğu deneme veya arıtım gruplarında elektriksel iletkenliğin artması yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (Choi ve Moore, 2008; Madrid vd., 2012). Elektriksel iletkenlik değerleri gruplar arasında farklılık göstermemiştir ($p>0,05$).



Şekil 4.6. Kontrol ve deneme gruplarının altlık elektriksel iletkenlik değerleri (mS/cm)

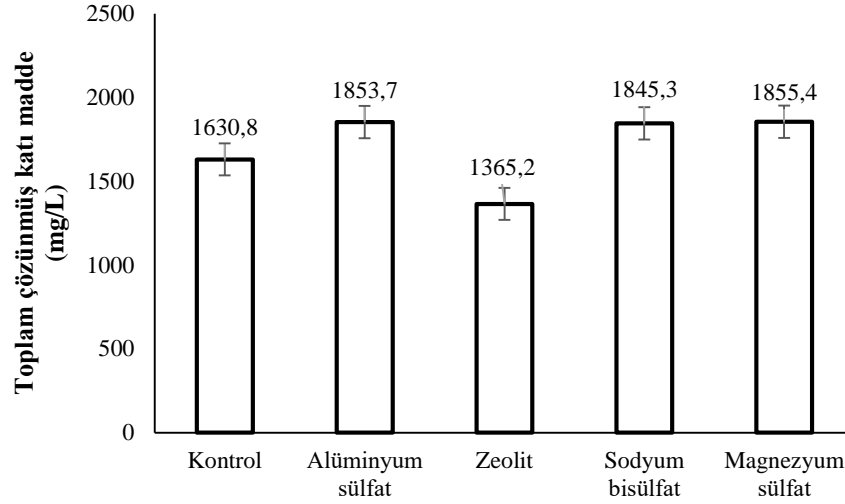
I. denemede laboratuvaroda oda koşulları altında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Kontrol ve deneme gruplarında katkı maddelerinin altlık sıcaklığına etkileri Şekil 4.7’de verilmiştir. I. denemede ölçülen altlık sıcaklıkları 15,4°C-26,2°C arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4.7. Kontrol ve deneme gruplarının altlık sıcaklığı (°C)

Altlık örneklerinin sulu çözeltilerinde, tüm sürü altlıklarında toplam çözünmüş katı madde (TDS) (mg/L) içeriği incelenmiştir. Şekil 4.8’deki her sütun deneme gruplarındaki ortalama TDS değerlerini göstermektedir ve portatif EC/TDS metre ile ölçülmüştür. Kontrol grubu ve katkı maddelerindeki TDS içeriği en düşük olan grup

zeolit ilaveli (1365,2 mg/L) ve en yüksek ise alüminyum sülfat katkılı (1853,7 mg/L) grup olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.8. Kontrol ve deneme gruplarının toplam çözünmüş katı madde değerleri (mg/L)

Deneme grupları arasındaki pH, EC ve TDS değerleri $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak nem ve sıcaklık değerleri için anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır ($p > 0,05$) (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Deneme gruplarının özellikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar

	Deneme Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
pH	Kontrol	8,51 ^b	0,62	0,18	6,7	9,0
	Alüminyum sülfat	8,04 ^b	0,31	0,10	7,5	8,4
	Zeolit	8,80 ^a	0,27	0,09	8,4	9,1
	Sodyum bisülfat	7,48 ^c	0,82	0,27	6,0	8,4
	Magnezyum sülfat	8,46 ^b	0,32	0,11	7,8	8,8
EC	Kontrol	3,70 ^a	0,65	0,22	2,09	4,00
	Alüminyum sülfat	2,73 ^c	1,11	0,37	1,05	4,00
	Zeolit	3,45 ^b	0,77	0,26	2,00	4,00
	Sodyum bisülfat	3,81 ^a	0,28	0,09	3,38	4,00
	Magnezyum sülfat	3,38 ^b	0,86	0,12	1,05	4,00
TDS	Kontrol	1630,8 ^b	467,0	134,8	870	2000
	Alüminyum sülfat	1853,7 ^a	325,8	108,6	1043	2000
	Zeolit	1365,2 ^c	554,6	184,9	527	2000
	Sodyum bisülfat	1845,3 ^a	263,3	87,8	1302	2000
	Magnezyum sülfat	1855,4 ^a	184,0	61,3	1526	2000

Ort. : Ortalama değer, S.S. : Standart sapma, S.H. : Standart hata, Min. : Minimum değer, Mak. : Maksimum değer

*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.14. Deneme gruplarının özellikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar (devam)

	Deneme Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
Nem	Kontrol	35,44	12,34	3,56	17,8	49,7
	Alüminyum sülfat	33,63	10,12	3,37	17,0	44,7
	Zeolit	33,63	9,41	3,14	19,6	46,7
	Sodyum bisülfat	32,80	8,51	2,84	21,2	44,1
	Magnezyum sülfat	31,73	9,93	3,31	19,8	44,7
Sıcaklık	Kontrol	18,83	1,78	0,23	15,7	26,0
	Alüminyum sülfat	18,98	1,72	0,22	15,9	23,9
	Zeolit	19,11	2,00	0,25	15,9	25,6
	Sodyum bisülfat	18,51	1,35	0,17	15,4	21,7
	Magnezyum sülfat	18,97	1,93	0,24	15,7	26,2

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

4.1.3. Seçilen altlık katkı maddelerinin fayda-maliyet oranı

I. deneme sonucunda seçilecek materyalin maliyeti oldukça önemli bir unsurdur. Kullanılan farklı katkı maddelerin 2024 yılı maliyetleri Çizelge 4.15’de verilmiştir. Bu çalışmanın I. denemesinde altlığın artırımı için sodyum bisülfat, alüminyum sülfat, magnezyum sülfat ve zeolit katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu katkı maddelerinin maliyet analizleri yapılmıştır. I. denemede 500 g altlık ve 25 g (altlığın %5’i) katkı maddesi kullanılmıştır. Çizelge 4.15’e göre I. denemede kullanılan katkı maddelerinin maliyetlerine bakıldığında magnezyum sülfat ve sodyum bisülfat kullanımının daha ekonomik olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4.15. Kullanılan katkı maddelerinin birim maliyetleri

Katkı Maddesi	Miktar	Fiyat (TL)	Kullanılan miktar maliyetleri (TL)
Magnezyum Sülfat	1 kg	72	1,8
Alüminyum Sülfat	1 kg	250	6,3
Sodyum Bisülfat	25 kg	1485	1,5
Zeolit (Klinoptilolit)	500 g	274	13,7

Bu çalışmada altlık temin edilen kümese, I. denemede kullanılan katkı maddelerinin I. denemede uygulanan (%5) dozajın uygulanması durumunda ortaya çıkacak maliyetler Çizelge 4.16’da verilmiştir. Çizelgeye göre sodyum bisülfatın uygulanması diğer katkı maddelerine göre daha ekonomiktir.

Kümeslerde her yetiştiricilik dönemi bittikten sonra kullanılan altlık atılır. Kümes dezenfekte edilerek yeni altlık serilir ve yeni üretim dönemi için kümes hazır hale

getirilir. Yaz mevsiminde ısı yalıtımı çok fazla aranmayacağı için soğuk mevsimlere kıyasla daha ince tabakada altlık serilir ve yaz mevsiminde 5 cm kış mevsiminde ise 8-10 cm kalınlığında altlık serilmesi önerilmektedir (Nesheim vd., 1979; Atasoy, 2000).

Broyler kümeslerinde 1 m²'lik alana 5 cm kalınlığında altlığın serilmesi için ortalama 5 ± 1 kg altlık materyaline ihtiyaç vardır (Atasoy, 2000). Bu çalışma için altlık temin edilen kümes alanı dikkate alınarak, her yeni yetiştirme döneminde gereken altlığın güncel maliyeti üzerinden Çizelge 4.16'da verilmiştir. Taze altlığın serilmesinin maliyeti ve katkı maddesi ilave edilen altlığın başka bir dönemde tekrardan kullanılması durumlarının maliyetleri ile kıyaslandığında maddi tasarruf elde edileceği öngörülmektedir.

Çizelge 4.16. Altlık materyalinin ait olduğu kümese I. deneme uygulaması senaryosu

Kümes	Katkı maddeleri	Kümes alanı (m ²)	Serilecek altlık miktarı (kg/kümes)	Taze altlık maliyeti (TL/kümes)	Kullanılacak katkı maddesi miktarı (kg/kümes)	Maliyet (TL/kümes)
Has Tavuk	Magnezyum Sülfat	1980	9900	455 400	495	35 640
	Alüminyum Sülfat					123 750
	Sodyum Bisülfat					29 403
	Zeolit					271 260

4.1.4. NH₃ konsantrasyonunun arıtımında en etkili maddenin seçimi

I. deneme sonuçları genel olarak yorumlandığında en etkili katkı maddesi sodyum bisülfat olduğu kanısına varılmış ve II. denemede kullanılmak üzere asıl katkı maddesi olarak seçilmiştir. I. denemenin her tekerrüründe farklı sürülerden kullanılmış altlık materyali alındığı ve işletmede altlık üzerinde tavukların canlılık faaliyetlerine devam etmesi altlıklardaki NH₃ konsantrasyonlarında nispeten farklılıklara neden olmuştur. Ancak tüm sürülerde D₃ deneme grubu NH₃ gazının arıtımında en etkili madde olduğu görülmektedir.

I. denemeden elde edilen sonuçlar neticesinde, NH₃ konsantrasyonlarını arıtmada en verimli performans gösteren katkı maddesi sodyum bisülfat (NaHSO₄) olmuştur. Sahoo vd. (2017), yaptıkları çalışmada et tavuğu altlığında sodyum bisülfat ve alüminyum sülfat uygulayarak etkilerini gözlemlemişlerdir. Sodyum bisülfatın altlık pH ve mikrobiyal yükünün kontrol etmede daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

II. denemede sodyum bisülfatın kullanılmış altlık materyaline farklı dozajlarda eklenerek NH₃ konsantrasyonunun artımında en verimli dozajın belirlenmesi ve altlık karakteristiğine etkileri incelenmiştir.

4.2. II. Denemede Sodyum Bisülfatın NH₃ Performansı ve Altlık Karakteristiği

4.2.1. II. denemede NH₃ konsantrasyon değerleri ve NH₃ artım seviyeleri

I. deneme sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde sodyum bisülfat katkılı deneme grubunun, NH₃ gazının uçuculuğunun azaltılmasında en etkili performansı gösterdiği belirlenmiştir. II. denemede, üç farklı sürüde kullanılmış altlıklarda sodyum bisülfatın farklı dozajları uygulanmıştır. Denemeler 14 gün sürmüştür. Her gün sabah, öğle ve akşam saatlerinde bir saat devamlı ölçüm alınmıştır. I. denemede seçilen sodyum bisülfatın, broyler altlığındaki NH₃ artımını sağlayan en etkili dozajlama oranının belirlenmesi için yapılan I., II. ve III. sürü altlıklarındaki günlük NH₃ konsantrasyonları Çizelge 4.17–4.19’de ve kümülatif NH₃ konsantrasyonları ise Şekil 4.9’da verilmiştir. NH₃ artım verimlilikleri Çizelge 4.20-4.22’de verilmiştir. Denemelerde NH₃ konsantrasyonunda en düşük seviyede olan ve artım verimliliğinde en yüksek değer gösteren dozajlama oranı %7,5 grubu olmuştur.

Çizelge 4.17. Birinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

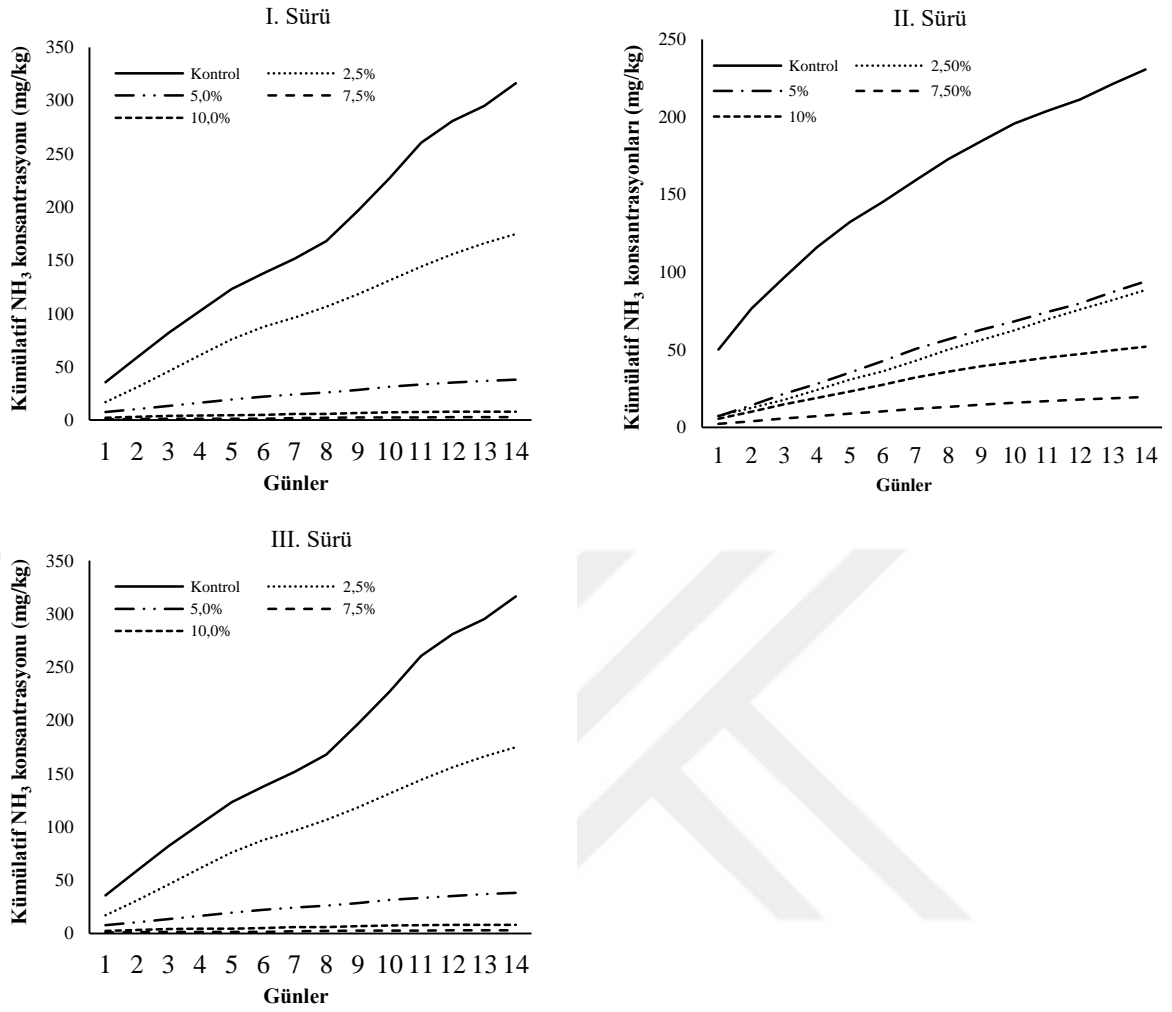
Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1	35,50±0,66	16,85±0,66	7,63±0,66	0,78±0,66	2,28±0,66
2	23,35±0,69	13,90±0,67	2,71±0,71	0,24±0,69	0,95±0,69
3	23,11±0,68	15,15±0,67	2,95±0,69	0,29±0,68	0,87±0,68
4	20,67±0,67	15,23±0,67	3,05±0,67	0,08±0,67	0,26±0,67
5	20,40±0,64	14,86±0,64	3,09±0,64	0,05±0,64	0,16±0,64
6	14,85±0,73	11,68±0,72	2,53±0,74	0,00±0,73	0,49±0,73
7	13,84±0,75	8,77±0,75	2,13±0,74	0,60±0,76	0,74±0,75
8	16,28±0,66	9,98±0,66	1,98±0,66	0,30±0,66	0,18±0,66
9	28,66±0,71	11,89±0,70	2,38±0,72	0,09±0,72	0,74±0,71
10	30,27±0,69	12,95±0,69	2,84±0,69	0,00±0,69	0,76±0,69
11	33,46±0,69	12,97±0,69	2,08±0,70	0,22±0,69	0,30±0,69
12	20,45±0,66	11,65±0,66	1,80±0,66	0,20±0,66	0,30±0,66
13	14,19±0,70	10,29±0,72	1,53±0,60	0,06±0,70	0,03±0,70
14	21,40±0,61	8,66±0,61	1,37±0,62	0,02±0,60	0,00±0,61
Ort ± SH	22,72±0,45	12,53±0,20	2,70±0,10	0,20±0,02	0,56±0,04

Çizelge 4.18. İkinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

Günler	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1	50,09±0,50	7,43±0,50	7,17±0,50	2,17±0,50	5,46±0,50
2	26,37±0,50	5,06±0,50	6,97±0,50	1,60±0,50	4,51±0,50
3	20,06±0,50	5,14±0,50	7,40±0,50	1,83±0,50	4,89±0,50
4	19,53±0,51	6,41±0,51	6,35±0,51	1,62±0,51	3,97±0,51
5	16,03±0,48	6,59±0,48	7,20±0,48	1,51±0,48	4,13±0,48
6	13,13±0,48	5,47±0,48	7,45±0,48	1,45±0,48	4,34±0,48
7	13,88±0,51	6,65±0,51	7,82±0,51	1,62±0,51	4,74±0,51
8	13,62±0,46	7,21±0,46	6,26±0,46	1,38±0,46	3,76±0,46
9	11,55±0,48	6,21±0,48	6,26±0,48	1,34±0,48	3,45±0,48
10	11,35±0,49	6,32±0,49	5,38±0,49	1,22±0,49	2,73±0,49
11	8,15±0,52	6,85±0,51	5,94±0,51	1,18±0,51	2,91±0,51
12	7,47±0,49	6,44±0,49	5,58±0,49	0,89±0,49	2,28±0,49
13	10,00±0,47	6,22±0,47	7,30±0,47	0,78±0,47	2,53±0,47
14	9,43±0,46	6,46±0,46	7,00±0,46	0,83±0,46	2,29±0,46
Ort ± SH	16,24±0,53	6,33±0,08	6,72±0,08	1,37±0,03	3,68±0,07

Çizelge 4.19. Üçüncü sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

Günler	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1	67,46±0,79	47,83±0,79	5,37±0,79	4,19±0,83	3,34±0,76
2	39,75±0,74	26,60±0,74	2,88±0,74	1,98±0,74	1,78±0,74
3	24,42±0,82	12,52±0,82	1,15±0,82	1,00±0,82	1,49±0,82
4	24,61±0,82	15,73±0,82	1,72±0,83	0,97±0,81	1,30±0,82
5	31,53±0,81	15,83±0,78	1,23±0,79	0,94±0,84	2,03±0,81
6	26,11±0,79	13,57±0,79	1,06±0,79	0,71±0,79	0,83±0,79
7	35,34±0,79	20,09±0,79	3,17±0,79	2,09±0,79	1,43±0,79
8	26,96±0,82	17,76±0,82	1,09±0,82	1,12±0,82	0,67±0,82
9	27,84±0,81	15,88±0,81	2,79±0,76	1,53±0,86	1,18±0,82
10	31,61±0,82	20,34±0,82	5,55±0,82	1,18±0,82	1,15±0,82
11	39,88±0,82	15,27±0,82	1,77±0,79	1,23±0,84	1,58±0,82
12	33,94±0,78	8,61±0,78	1,50±0,78	1,03±0,78	0,69±0,78
13	36,85±0,81	12,26±0,81	3,29±0,81	1,29±0,81	1,24±0,81
14	28,09±0,81	12,08±0,78	4,91±0,79	0,89±0,79	1,09±0,79
Ort ± SH	34,06±0,60	18,27±0,52	2,68±0,88	1,44±0,04	1,43±0,06



Şekil 4.9. Dozaj gruplarının kümülatif NH₃ konsantrasyonları (mg/kg)

Çizelge 4.20. Birinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ artım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

Günler	%2,5	%5	%7,5	%10
1	52,49±1,32	79,73±1,32	98,38±1,32	93,72±1,32
2	37,22±1,34	88,12±1,41	99,24±1,38	96,83±1,38
3	32,96±1,34	86,52±1,38	99,01±1,36	97,05±1,36
4	24,35±1,340	84,56±1,34	99,73±1,34	99,13±1,34
5	26,45±1,28	84,07±1,28	99,80±1,28	99,32±1,28
6	19,88±1,44	81,82±1,48	100,00±1,46	96,82±1,46
7	36,64±1,50	84,68±1,48	96,35±1,53	94,81±1,50
8	33,75±1,32	87,38±1,32	98,44±1,32	99,15±1,32
9	55,27±1,40	91,08±1,44	99,65±1,44	97,97±1,41
10	55,30±1,38	90,30±1,38	100,00±1,38	97,60±1,38
11	58,71±1,38	93,60±1,40	99,25±1,38	99,33±1,38
12	40,59±1,32	89,99±1,32	99,21±1,32	98,96±1,32
13	25,83±1,44	88,24±1,20	99,56±1,40	99,77±1,39
14	55,24±1,22	92,05±1,23	99,56±1,21	100,00±1,22
Ort ± SH	39,91±0,84	87,36±0,34	99,19±0,09	97,98±0,16

Çizelge 4.21. İkinci sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ artım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

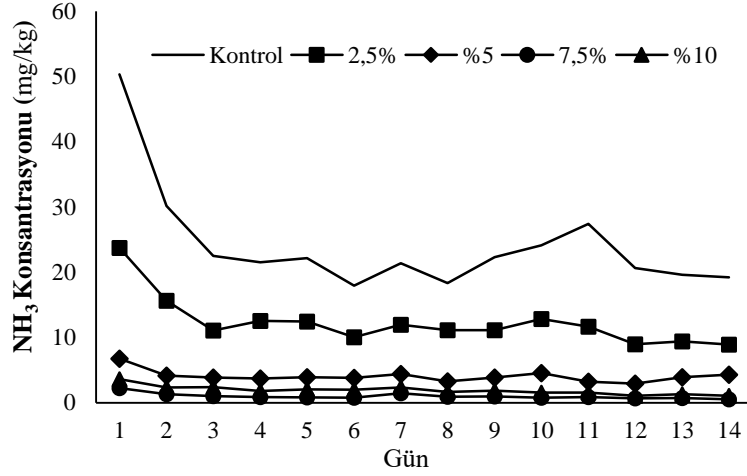
Günler	%2,5	%5	%7,5	%10
1	84,89±1,72	84,68±1,72	95,28±1,72	88,47±1,72
2	79,66±1,72	71,35±1,72	93,58±1,72	81,69±1,72
3	72,23±1,72	60,05±1,72	89,95±1,72	73,47±1,72
4	65,46±1,75	65,41±1,75	91,32±1,75	78,70±1,75
5	57,29±1,63	53,24±1,63	90,17±1,63	73,21±1,63
6	59,36±1,65	42,68±1,65	88,92±1,65	66,78±1,65
7	53,24±1,75	43,39±1,75	88,32±1,75	65,63±1,75
8	42,27±1,57	49,01±1,57	88,71±1,57	69,96±1,57
9	42,38±1,65	43,42±1,65	87,75±1,65	68,95±1,65
10	45,51±1,67	50,63±1,67	88,80±1,67	74,89±1,67
11	26,03±1,75	34,54±1,75	87,17±1,75	68,41±1,75
12	16,54±1,70	26,18±1,70	88,52±1,70	69,52±1,70
13	36,62±1,61	24,44±1,61	92,44±1,61	74,50±1,61
14	33,09±1,60	27,72±1,60	92,01±1,60	76,73±1,60
Ort ± SH	50,55±1,00	47,82±0,93	90,21±0,21	73,57±0,6

Çizelge 4.22. Üçüncü sürü altlık materyalinin dozaj gruplarına göre günlük NH₃ artım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

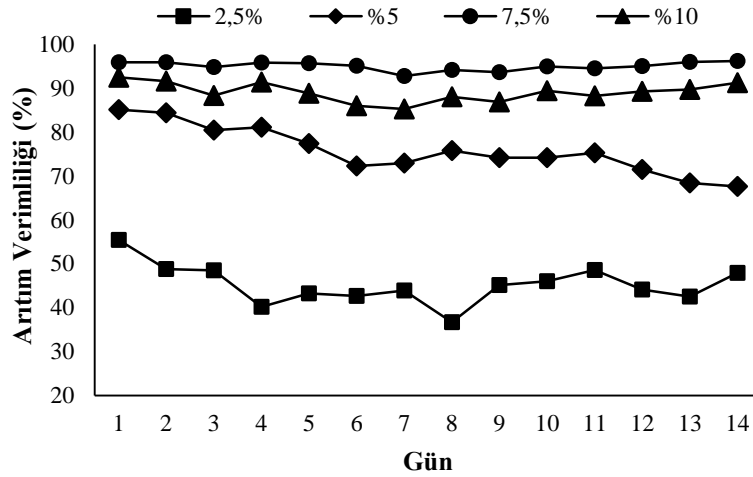
Günler	%2,5	%5	%7,5	%10
1	29,24±1,62	91,79±1,62	93,57±1,70	94,83±1,56
2	33,11±1,52	92,55±1,52	94,77±1,52	95,52±1,52
3	41,62±1,67	95,20±1,67	95,17±1,67	94,12±1,67
4	32,95±1,67	93,61±1,70	95,85±1,65	95,19±1,67
5	48,07±1,60	96,07±1,62	96,87±1,72	93,56±1,65
6	46,68±1,62	95,76±1,62	97,18±1,62	96,61±1,62
7	41,19±1,62	90,83±1,62	93,99±1,62	95,81±1,62
8	33,23±1,67	95,72±1,67	95,84±1,67	97,56±1,67
9	37,55±1,65	89,74±1,56	94,29±1,75	95,49±1,65
10	36,23±1,67	82,52±1,67	96,27±1,67	96,52±1,67
11	60,46±1,67	95,97±1,62	96,85±1,72	96,24±1,67
12	75,72±1,60	96,09±1,60	96,86±1,60	98,21±1,60
13	66,10±1,65	91,47±1,65	96,43±1,65	96,95±1,65
14	56,81±1,62	82,11±1,62	96,57±1,62	96,44±1,62
Ort ± SH	45,65±1,04	92,10±0,25	95,75±0,08	95,93±0,14

Şekil 4.10-4.11 incelendiğinde daha yüksek oranda sodyum bisülfatın uygulanmasıyla NH₃ çıkışının azalmakta ve artım seviyesinin de yükselmekte olduğu gözlenmiştir. Ancak dozajlama oranı arttıkça (%2,5, %5 ve %10) artım verimliliği yükselirken; %7,5 grubunda bir kırılma gerçekleşmiş, %10 dozaj grubunda NH₃ konsantrasyonunda artış başlamıştır. Bunun akabinde de amonyak artım verimliliğinde düşüşler gözlenmiştir. %7,5 dozaj grubunun 14 gün boyunca etkili ve istikrarlı bir şekilde NH₃ çıkışını azalttığı görülmektedir. Şekil 4.12'e göre doğrusal denklem NH₃ azaltma verimliliğinin sodyum

bisülfat uygulama oranıyla arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir ($R^2 = 0,8464$).



Şekil 4.10. Dozaj gruplarının ortalama NH_3 konsantrasyonları (mg/kg)



Şekil 4.11. Dozaj gruplarının ortalama NH_3 arıtım verimlilikleri (%)

Liang vd. (2005), çalışmalarında yumurta tavuğu gübrelere %0, %2,5, %5, %10 oranlarıyla ekledikleri klinoptilolit zeolitinin NH_3 emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. İki haftalık süre boyunca yapılan denemede, NH_3 emisyonlarının sırasıyla %2,5, %5 ve %10 oranlarındaki zeolit uygulamalarıyla %20, %50 ve %77 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Liang vd. (2005)'nin yaptıkları çalışmasından elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada, zeolit dozajlama oranlarının NH_3 arıtım verimliliği üzerindeki etkisi açısından benzerlikler olduğu görülmüştür.

Chai vd. (2018), laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirdikleri bir çalışmada kümes altlığına 0,3 kg/m² (düşük), 0,6 kg/m² (orta), 0,9 kg/m² (yüksek) olmak üzere üç farklı seviyede katkı maddesi uygulayarak NH₃ emisyonları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, NH₃ giderim verimliliğinin katkı maddesi uygulama oranıyla doğrusal bir ilişki gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, bu çalışmada dozaj oranının artışıyla arıtım verimliliğinin yükselmesi arasında gözlemlenen eğilimle uyum göstermektedir.

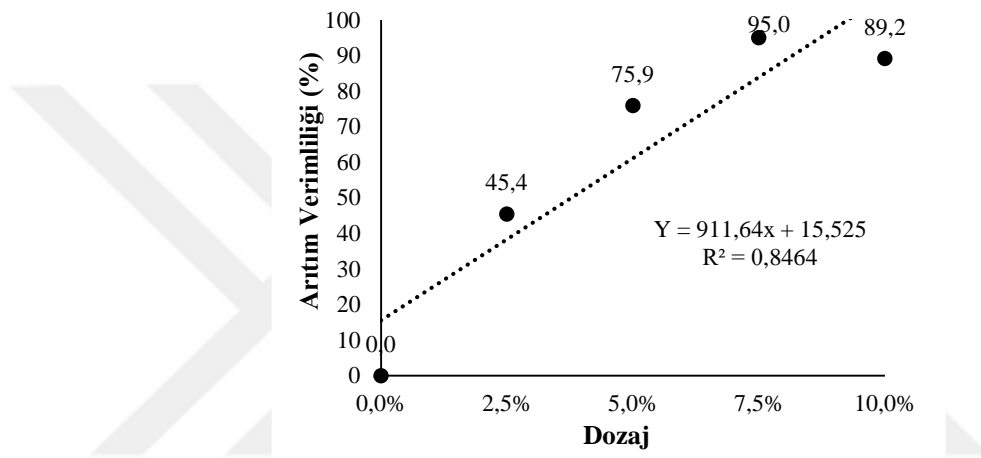
Spiehs vd. (2019), yaptıkları bir çalışmada sığır gübresine %2,5, %5 ve %10 oranlarında alüminyum sülfat ekleyerek, amonyak, hidrojen sülfid ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, amonyak emisyonunun azaltılmasında en etkili grubun %10'luk dozaj olduğu belirtilmiştir. %10'luk dozajın tek seferde uygulanması durumunda NH₃ emisyonlarının 14 gün boyunca azaldığı, uygulamanın üretim süresince haftalara yayarak kademeli şekilde yapılması durumunda ise 42 gün boyunca NH₃ düşüşünün sürdüğünü belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Spiehs vd. (2019)'nin çalışmasında gözlemlenen bulgularla benzerlik göstermektedir.

Graves (2023), gerçekleştirdiği bir çalışmada, tavuk altlığına eklediği biyokömür ve sodyum bisülfatın iki hafta boyunca NH₃ emisyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, sodyum bisülfat uygulamasının iki haftalık süre sonunda NH₃ emisyonunu %92,2 oranında azalttığını belirtmiştir.

Yapılan çalışmalarla, bu çalışmada gözlemlenen dozaj arttıkça NH₃ arıtım verimliliğindeki artış eğilimi uyum göstermektedir. Literatürdeki çalışmalarda genellikle üç dozaj (%2,5, %5, %10) uygulanmış olup, %7,5 oranında bir ara dozaj değerlendirilmemiştir. Bu çalışmada, %7,5 oranında ara dozaj da uygulanmış ve NH₃ arıtımının maksimum sağlandığı dozajın bu olduğu ortaya konulmuştur. %7,5 dozajının, %2,5 grubuna göre %111; %5 grubuna göre %25 ve %10 grubuna göre %7 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen arıtım çalışmasında, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak %7,5 dozajı daha yüksek bir arıtım verimliliği sağlamıştır. Bu durumun

ortaya çıkmasında, literatürde %5-%10 arasında bir ara dozajı uygulanmaması ve kırılmanın bu aralıkta gerçekleşmesi, laboratuvar koşulları arasındaki farklılıklar, çalışmalarda kullanılan altlık türleri ile altlık içerisindeki gübre içeriğinin değişkenliği ve tavukların tükettiği yemin rasyonlarındaki farklılıkların etkili olmuş olabileceği düşünülmektedir. Bu dozaj grubunun neden en yüksek arıtım verimliliği sağladığını tam olarak açıklayabilmek için, altlık, altlık içerisindeki gübre ve arıtımda kullanılan kimyasal madde arasındaki reaksiyonların kinetiği üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 4.12. Sodyum bisülfatın uygulanmasına karşı NH₃ arıtım verimliliği

II. denemede, muamele gruplarının saatlik NH₃ konsantrasyonları Çizelge 4.23-4.25’de, saatlik NH₃ arıtım verimlilikleri Çizelge 4.26-4.28’de verilmiştir. Saatlik konsantrasyon çıkışlarında, sabah ve öğle vakitlerinde daha fazla çıkış olduğu gözlenmiştir. Sabah vakitlerinde yüksek konsantrasyon ölçülmesinin sebebi, akşamdan sabaha kadar gaz çıkışının devam etmesidir. Öğle vakitlerinde ise sıcaklık diğer vakitlere nazaran daha fazla olduğu için gaz çıkışıyla doğrusal olarak ilişkilendirilebilir. Akşam ölçümlerinde diğer gün durumlarına kıyasla daha düşük NH₃ çıkışının olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.23. Birinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

Saat	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
09.00	26,62±0,37	13,47±0,37	3,25±0,37	0,28±0,37	0,63±0,37
12.00	21,63±0,38	11,69±0,38	2,59±0,38	0,20±0,38	0,64±0,38
16.00	19,61±0,39	12,40±0,39	2,24±0,38	0,12±0,39	0,41±0,39
Ort ± SH	22,62±0,38	12,52±0,38	2,69±0,38	0,20±0,38	0,56±0,38

Çizelge 4.24. İkinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

Saat	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
9.00	18,97±0,41	6,58±0,41	6,81±0,41	1,44±0,41	3,87±0,41
12.00	16,50±0,41	6,29±0,41	6,76±0,41	1,39±0,41	3,75±0,41
16.00	13,17±0,42	6,12±0,42	6,59±0,42	1,28±0,42	3,42±0,42
Ort ± SH	16,21±0,41	6,33±0,41	6,72±0,41	1,37±0,41	3,68±0,41

Çizelge 4.25. Üçüncü sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ konsantrasyonları (mg/kg) (Ortalama ± Standart hata)

Saat	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
9.00	33,43±0,61	20,90±0,61	2,30±0,60	1,56±0,63	1,49±0,61
12.00	35,12±0,63	17,68±0,63	3,09±0,63	1,45±0,63	1,33±0,63
16.00	33,69±0,62	16,17±0,62	2,71±0,62	1,31±0,61	1,47±0,62
Ort ± SH	34,08±0,62	18,25±0,62	2,70±0,61	1,44±0,62	1,43±0,62

Sabah ve öğle ölçümlerinde konsantrasyonunun daha yüksek olması, arıtım verimliliğinin daha düşük olmasına neden olmuştur. %7,5 grubunun en yüksek arıtım verimliliğine sahip olması ve gün durumuna göre akşam vakti nispeten düşmüş olsa bile verimlilik seviyesinin %90 seviyesinin altına düşmediği görülmektedir.

Çizelge 4.26. Birinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ arıtım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

Saat	%2,5	%5	%7,5	%10
9.00	47,35±0,76	87,89±0,75	99,22±0,76	98,17±0,76
12.00	38,89±0,78	86,50±0,78	99,01±0,78	97,44±0,78
16.00	33,03±0,78	87,66±0,77	99,36±0,79	98,31±0,79
Ort ± SH	39,76±0,77	87,35±0,77	99,20±0,78	97,97±0,78

Çizelge 4.27. İkinci sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ arıtım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

Saat	%2,5	%5	%7,5	%10
9.00	53,78±1,24	52,28±1,24	90,29±1,24	74,63±1,24
12.00	53,11±1,22	49,55±1,22	90,67±1,22	74,42±1,22
16.00	44,57±1,25	41,48±1,25	89,64±1,25	71,61±1,25
Ort ± SH	50,49±1,24	47,77±1,24	90,20±1,24	73,55±1,24

Çizelge 4.28. Üçüncü sürüdeki altlık materyalinin dozaj gruplarına göre saatlik NH₃ arıtım verimlilikleri (%) (Ortalama ± Standart hata)

Saatler	2,5%	5%	7,5%	10%
9.00	37,91±0,91	93,06±0,88	95,33±0,94	95,86±0,90
12.00	49,66±0,93	90,93±0,94	95,87±0,93	96,23±0,93
16.00	49,62±0,91	92,18±0,91	96,03±0,91	95,71±0,91
Ort ± SH	45,73±0,92	92,06±0,91	95,74±0,93	95,93±0,91

Tüm tekrarlar değerlendirildiğinde dozaj grupları ve sürüler arasında NH₃ gaz konsantrasyonu ve arıtım verimlilikleri açısından p<0,05 düzeyinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (Çizelge 4.29-4.30).

Çizelge 4.29. Dozaj gruplarının NH₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₃ Konsantrasyonu	Kontrol	24,09 ^a	13,93	0,36	5	100
	%2,5	12,23 ^b	8,59	0,22	2	73
	%5	4,04 ^c	2,80	0,07	0	20
	%7,5	0,98 ^e	0,91	0,02	0	6
	%10	1,89 ^d	1,85	0,05	0	8
NH ₃ Arıtım Verimliliği	%2,5	45,30 ^c	22,14	0,56	0,0	93,3
	%5	75,62 ^b	23,93	0,61	4,3	100,0
	%7,5	95,07 ^a	4,93	0,13	75,0	100,0
	%10	89,10 ^{ab}	12,98	0,33	40,0	100,0

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.30. II. denemedeki sürülere göre NH₃ konsantrasyon ve arıtım verimlilikleri arasındaki istatistiksel farklılıklar

	Sürü	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₃ Konsantrasyonu	I	7,74 ^b	10,18	0,20	0	84
	II	6,84 ^c	7,49	0,15	0	80
	III	11,59 ^a	15,14	0,31	0	100
NH ₃ Arıtım Verimliliği	I	81,06 ^b	26,49	0,57	2,4	100,0
	II	65,54 ^c	24,01	0,53	0,0	100,0
	III	82,30 ^a	24,39	0,55	0,0	100,0

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

4.2.2. NH₃ arıtım verimliliğinin pH ve nem ile ilişkisi

Altlık nem içeriği ve pH, NH₃ emisyonlarını ve azaltılmasını etkileyen iki temel faktördür. I. denemedeki kontrol ve deneme gruplarının altlık nem içeriği tayinleri denemenin 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerinde yapılmıştır (Çizelge 4.31). Tekrarlar sonucunda, genel olarak dozaj gruplarında altlık nem içeriği kontrol grubuna kıyasla

daha yüksek oranda tespit edilmiştir. Tekrarlar değerlendirildiğinde nem içeriğinin en fazla kaybedildiği, altlık nem içeriğinin en düşük olduğu grup %14,5 oranıyla %5 dozaj uygulanan deneme grubu olmuştur. Altlıkta nem içeriğinin en yüksek olduğu grup, %7,5 dozaj grubudur; bu grup, %27,1 ile %11,5 arasında değişen değerlerle, nemi en fazla absorbe ederek altlık nem içeriğini en yüksek oranda tutan grup olmuştur. %10 dozajında altlık neminde düşüş yaşanmıştır. Yapılan çalışma için üretimi tamamlanmış tesisten temin edilmiş altlıkta kullanılan sodyum bisülfatın susuz formunun higroskopik olması ve NaHSO₄ kristallerinin erimesiyle altlıkta daha fazla nemin tutularak nem içeriğinin artmasına neden olduğunu söylenebilir (Sun vd., 2008; Johnson vd., 2021). %7,5 grubunda kontrol grubuna kıyasla daha ıslak bir görünüm vardı, ancak alt katmanlarda bu ıslak katmana çok rastlanmamıştır. Altlığın NH₃ uçuculuğunu artırdığı ve tavuklarda ayak tabanı hastalıklarına neden olduğu için genellikle nemli olması istenmez. Bazı saha çalışmalarında altlıkta katkı maddeli ilaveli gruplarda nem içeriğinin kontrol grubuna göre azaldığı gözlenmiştir (Li vd., 2013; Sahoo vd., 2017; Johnson vd., 2021). Çalışmanın yapıldığı koşullar, coğrafik konum, kümesin yönetimi ve işletimi gibi protokoller farklılık göstererek sonuçları ve kullanılan altlık iyileştirici maddenin de etkinliğini değiştirebilir. Bundan dolayı saha çalışmaları ile sonuçlar desteklenmeli ve tamamlanmalıdır.

Joerger vd., (2020) et tavuğu yetiştiriciliğinde kullanılan talaş ve gübre karışımı altlığının nem içeriğini %15,2 olarak belirtmişlerdir. Johnson vd. (2021), bir çalışmada katkı maddesi ekmeden önce tavuk altlığının nem içeriğini %14 olarak belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalardaki nem içeriği değerleri, bu çalışmanın kontrol grubu altlık nem içeriği ile uyum göstermektedir.

Çizelge 4.31. II. deneme altlık nem içerikleri (%)

Dozaj Gün	I. sürü				
	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1. gün	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
4. gün	15,0	15,7	15,1	15,9	16,6
7.gün	13,3	13,2	11,0	18,7	10,7
10.gün	13,8	13,4	12,9	14,7	12,9
13.gün	11,0	12,2	10,5	12,7	10,6
Ortalama	14,8	15,1	14,1	16,5	14,3

Çizelge 4.31. II. deneme altlık nem içerikleri (%) (devam)

		II. sürü			
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1. gün	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
4. gün	9,2	11,6	11,1	11,8	11,7
7.gün	11,9	12,1	11,3	12,0	11,3
10.gün	11,5	11,3	10,6	11,7	10,9
13.gün	10,0	10,1	9,6	11,5	9,8
Ortalama	11,3	11,8	11,3	12,2	11,5

		III. sürü			
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1. gün	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
4. gün	18,7	22,2	17,2	21,8	19,8
7.gün	17,4	20,2	15,0	19,4	20,6
10.gün	15,6	18,6	17,5	20,6	17,1
13.gün	14,3	19,3	14,4	19,9	18,6
Ortalama	18,6	21,5	18,2	21,8	20,6

		II. Deneme Ortalaması			
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
1. gün	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
4. gün	14,3	16,5	14,5	16,5	16,0
7.gün	14,2	15,2	12,4	16,7	14,2
10.gün	13,6	14,4	13,7	15,7	13,6
13.gün	11,8	13,9	11,5	14,7	13,0
Ortalama	14,9	16,1	14,5	16,8	15,5

Altlığın tekrar kullanılan ve tekrarlı katkı maddesi uygulamalarında, altlıktaki nem içeriğinin yükseldiğini gösteren bazı çalışmalar bulunmaktadır. Li vd. (2013), yaptıkları çalışmada altlık katkı maddesinin altlığa yeniden uygulanmasıyla altlık neminin %20,2'den %23,4'e yükseldiğini bildirmişlerdir. Hunolt vd. (2015) ise kümes altlığına ekledikleri sodyum bisülfatın NH₃ emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. PLT değişikliğini, PLT olmadan, tek seferde ve tekrarlı olarak uygulamışlardır. Tek ve tekrarlı PLT uygulamalarının, PLT uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla altlık neminde daha fazla artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan altlıkla yapılan uygulamaların, literatürdeki benzer çalışmalarla örtüştüğü görülmektedir.

Çalışmada, kontrol ve deneme gruplarında altlık pH değerleri denemenin 1., 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. günlerinde ölçülmüştür (Çizelge 4.32). Çizelge 4.32'de yer alan sonuçlara göre, farklı dozaj gruplarının pH seviyeleri incelendiğinde, uygulama oranı arttıkça altlığın baziklik seviyesinin azaldığı ve buna bağlı olarak asidiklik seviyesinin

yükseldiği belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, uygulanan sodyum bisülfat (NaHSO_4), H^+ ve SO_4^{2-} iyonlarının ayrışmasıyla, H^+ iyonlarının ortamın pH seviyesini düşürerek asidik bir ortam oluşturması olarak açıklanabilir. Dozaj seviyelerine göre pH değerleri ortalama olarak sırasıyla %0 (kontrol), %2,5, %5, %7,5, %10 için 8,2, 7,1, 5,5, 4,3 ve 3,7 'dir. Yüksek uygulama oranına sahip gruplarda (%7,5 ve %10), altlık pH değerlerinin kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yüksek uygulama oranlarına sahip gruplarda (%7,5 ve %10), pH değerleri 2,0-4,7 arasında değişiklik göstermiştir. NH_3 arıtımında en etkili olan %7,5 uygulama grubunda ise pH değerleri 2,0-5,9 aralığında seyretmiştir.

Daha yüksek miktarda sodyum bisülfat uygulaması, altlığın pH'sını önemli ölçüde düşürmüştür ve ters yönlü bir ilişki ortaya çıkmıştır. Chai vd. (2018), yaptıkları çalışmada tavuk altlığına uyguladıkları düşük, orta ve yüksek dozajlardaki sodyum bisülfatın, daha yüksek uygulamanın pH değerinin önemli ölçüde düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmaya göre kontrol grubunun pH değerini 7,2; düşük dozaj (0,01 kg/kg kuru altlık) için 6,3; orta dozaj (0,02 kg/kg kuru altlık) için 5,1 ve yüksek dozaj (0,03 kg/kg kuru altlık) için 4,4 olarak bulmuşlardır. Aynı zamanda kontrol grubunun daha yüksek NH_3 emisyon oranına neden olduğunu, altlık arıtım oranlarının daha yüksek uygulandığı arıtım gruplarında ise NH_3 emisyonunu önemli ölçüde düşürdüğünü bildirmişlerdir. Bu çalışmada sodyum bisülfatın uygulanma oranlarıyla pH ve NH_3 arıtımı arasında ters yönlü bir ilişkinin ortaya çıktığı ve aralarındaki ilişkinin anlamlılık ($R^2=0,7471$) gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Elde edilen pH ile ilgili sonuçların, Chai vd. (2018)'nin yaptığı çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.32. II. deneme altlık pH değerleri

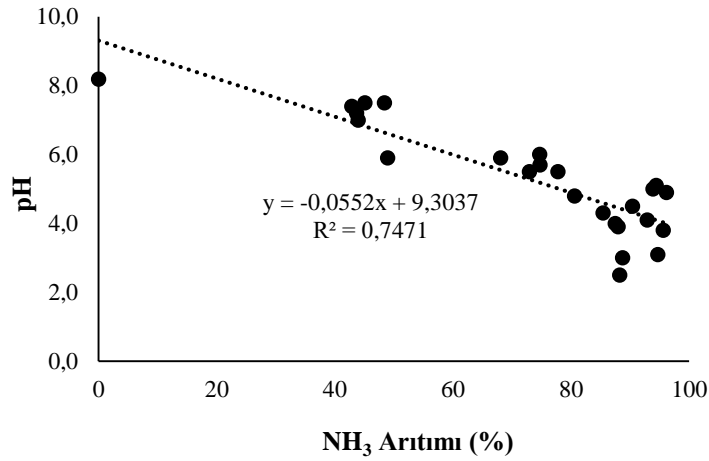
		I. Sürü				
Dozaj		Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
Gün						
1. gün		8,6				
3. gün		8,1	5,7	5,2	2,0	2,0
5.gün		8,3	6,7	5,0	2,5	2,2
7.gün		8,3	7,5	5,7	3,2	4,5
9.gün		8,4	7,7	5,3	4,6	3,5
11.gün		8,3	7,6	5,3	4,5	3,7
13. gün		8,2	7,6	5,2	4,6	4,5
Ortalama		8,3	7,1	5,3	3,6	3,4

Çizelge 4.32. II. deneme altlık pH değerleri (devam)

		II. Sürü				
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10	
1. gün	7,8					
3. gün	7,8	5,5	4,4	4,4	3,3	
5.gün	8,0	6,7	5,6	3,9	3,6	
7.gün	7,8	6,5	5,7	4,3	4,1	
9.gün	7,9	6,7	6,1	4,7	4,2	
11.gün	7,8	6,9	5,9	5,0	4,1	
13.gün	7,8	6,7	5,4	4,4	4,7	
Ortalama	7,9	6,5	5,5	4,4	4,0	

		III. Sürü				
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10	
1. gün	8,4					
3.gün	8,2	6,5	4,7	2,9	2,2	
5.gün	8,3	7,5	5,8	4,9	3,1	
7.gün	8,3	7,7	5,1	4,8	4,2	
9.gün	8,5	8,0	5,8	5,7	4,1	
11.gün	8,4	7,9	6,7	5,9	4,2	
13.gün	8,3	8,0	7,0	5,9	4,3	
Ortalama	8,3	7,6	5,8	5,0	3,7	

		II. Deneme Ortalaması				
Dozaj Gün	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10	
1. gün	8,2					
3.gün	8,1	5,9	4,8	3,1	2,5	
5.gün	8,2	7,0	5,5	3,8	3,0	
7.gün	8,2	7,2	5,5	4,1	4,3	
9.gün	8,3	7,5	5,7	5,0	3,9	
11.gün	8,2	7,5	6,0	5,1	4,0	
13.gün	8,1	7,4	5,9	4,9	4,5	
Ortalama	8,2	7,1	5,5	4,3	3,7	



Şekil 4.13. pH değeri ile NH₃ artım verimliliği arasındaki ilişkisi

4.2.3. Dozaj gruplarında NH₃ arıtım verimliliğinin diğer özelliklerle ilişkisi

1., 3., 5., 7., 9., 11., ve 13. günlerde farklı sürülerdeki altlıklardan alınan örneklerde elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 4.33'de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde dozaj arttıkça elektriksel iletkenlik (EC) değerleri de yükselmiştir ve EC göstergesi altlığın tuzluluk ile ilişkisini göstermektedir. Yani ortamın pH değerinin düşmesiyle EC değerleri yükselerek ters yönlü bir ilişki göstermekte, altlığın tuzluluk oranı da yükselmektedir. Burada EC değerlerinin ölçüldüğü cihazın sınır değeri 3,99 mS/cm olduğu için bu değerden yüksek olan iletkenlik değerleri de 4,0 mS/cm olarak verilmiş, yüksek dozaj gruplarında bu değer çok daha üstüne çıktığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, artan EC değerleri artan iletkenlikle ilişkilendirilmektedir. Artan EC, sodyum bisülfat içerisindeki SO₄ tuzları ve altlıkta NH₄'ün artışıyla ilişkilidir. Moore vd. (2000), yaptıkları çalışmada altlığa ekledikleri alüminyum sülfatın katkısız kontrol altlığına kıyasla EC değerlerinde yükselmeye neden olduğunu belirtmişlerdir. Choi ve Moore (2008), yaptıkları çalışmada tavuk altlığının kontrol grubu elektriksel iletkenliğini 8,08 mS/cm olarak ifade etmişler ve altlığa ekledikleri asidik maddelerin altlığın EC değerlerini yükselterek 14,09 mS/cm'ye kadar değeri bulabildiğini belirtmişlerdir. Madrid vd., (2012), yaptıkları çalışmada alüminyum sülfat eklemeli grup, kontrol grubuna göre daha yüksek EC değeri göstermiştir (5,54 v. 3,63 dS/m). Yapılan çalışmalar doğrultusunda, bu çalışma ile sonuçlar uyumludur. Dozajlama oranları arttıkça çözünmüş katı madde (TDS) oranları da artmaktadır (Çizelge 4.33). Çözünmüş katı madde oranı %7,5 ve %10 dozajlarının uygulandığı gruplarda daha fazla bulunmaktadır. Çözünmüş maddenin çok olması elektriksel iletkenliğin artmasıyla paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.33. Farklı dozajların altlık özelliklerine etkisi (Ortalama ± Standart hata, n=3)

Parametre (%)	Dozaj Grupları				
	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
EC (mS/cm)	2,75±0,14	3,82±0,08	3,93±0,04	4,00±0,00	4,00±0,00
TDS (mg/L)	1370±67,43	1910±39,96	1965±19,73	2000±0,00	2000±0,00
Organik Madde Miktarı (%)	71,0±1,56	68,7±1,59	68,9±1,33	64,4±1,60	64,5±1,88
Kuru Madde Oranı (%)	85,1±1,2	85,0±1,2	87,0±0,8	84,1±1,1	85,8±1,2
Organik C İçeriği (%)	54,8±0,02	54,7±0,03	54,6±0,03	54,9±0,09	54,6±0,03
Kül İçeriği (%)	14,1±0,44	16,3±0,43	18,1±0,59	19,7±0,65	21,2±0,87

Yapılan çalışmada 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde yapılan nem içeriği analizi sonucunda kontrol ve deneme grupları için organik madde, kuru madde, organik C içeriği ve kül içeriği değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.33). Organik madde içeriği kontrol grubunda %71 ile en yüksek değeri göstermektedir. Organik madde içeriği, %7,5 dozajında %9,4 oranında bir düşüşle %64,4 olarak en düşük içerik elde edilmiştir. Ayrıca kontrol grubuna kıyasla %2,5, %5 ve %7,5 muamele gruplarında devamlı bir düşüş gözlenmiş ancak %10 grubunda %7,5 grubuna göre %1,9'luk bir artış gözlenmiştir. Bu durumda katkı maddelerinin organik madde miktarını artırmadığı ve NH₃ artırımının en yüksek seviyede sağlandığı grupta organik madde içeriği en düşük seviyede olduğu gözlenmiştir. Kontrol grubundaki organik madde içeriğinin daha yüksek olması mikrobiyal bozunmaya karşı direnciyle ilişkili olabilir (Janczak vd., 2017). Jindo vd., (2012) yaptıkları çalışmada tavuk gübresine %2 oranında ekledikleri biyokömürün kompostlama sırasında organik madde üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Altlıkların kuru madde oranı yükseldikçe tozlaşma artarak ortamın partikül içeriğine katkıda bulunmakta ve kümes havasının kirlenmesine etkide bulunabilmektedir. Çizelge 4.33'e göre altlıkların kuru madde içerikleri %87,0 ile %84,1 arasında değerler göstermiştir. Diğer dozaj gruplarına göre %7,5 dozaj grubu %84,1 oranı ile daha düşük kuru madde içeriğine sahiptir. Organik bileşiklerin bozunması kuru kütle üzerinde azaltıcı etkide bulunduğu düşünülmektedir.

Genel olarak karbon (C) içeriğinin tüm gruplar arasında önemli farklılıklara neden olmadığı görülmektedir. Ancak diğer gruplara kıyasla nispeten de olsa en yüksek C içeriğine sahip dozaj grubu %7,5 olmuştur. Altlıklarda C içeriğinin artması, toprağa gübre uygulaması durumunda toprağın fizikokimyasal özelliklerini büyük ölçüde etkileyecektir (Rabbani vd., 2020).

Muamele gruplarının kül içerikleri incelendiğinde, %21,2 ile %14,1 aralığında değerler göstermektedir. Kül içeriği, altlıkta mineral madde içeriğinin bulunduğu bir göstergesidir. Kontrol grubu en düşük inorganik madde miktarına sahipken, dozaj oranı yükseldikçe altlık kül içeriğinin de yükseldiği gözlenmiştir.

Dozaj grupları arasındaki pH, EC, TDS ve organik C içeriği $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak nem, organik madde miktarı, kuru madde oranı, organik C içeriği ve kül içeriği arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır ($p > 0,05$) (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Altlık özelliklerinin dozaj grupları arasındaki istatistiksel farklılığı

Dozaj Grupları		Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
pH	Kontrol	8,17 ^a	0,25	0,05	7,76	8,56
	%2,5	7,08 ^b	0,75	0,18	5,53	8,00
	%5	5,55 ^c	0,64	0,15	4,43	7,00
	%7,5	4,35 ^d	1,09	0,26	2,03	5,90
	%10	3,68 ^e	0,83	0,19	1,98	4,65
EC	Kontrol	2,75 ^b	0,62	0,14	1,53	3,85
	%2,5	3,82 ^{ab}	0,34	0,08	2,85	4,00
	%5	3,93 ^a	0,17	0,04	3,44	4,00
	%7,5	4,00 ^a	0,00	0,00	4,00	4,00
	%10	4,00 ^a	0,00	0,00	4,00	4,00
TDS	Kontrol	1370,29 ^c	309,02	67,43	766	1908
	%2,5	1909,61 ^b	169,55	39,96	1425	2000
	%5	1964,67 ^b	83,71	19,73	1722	2000
	%7,5	2000,00 ^a	0,00	0,00	2000	2000
	%10	2000,00 ^a	0,00	0,00	2000	2000
Nem	Kontrol	14,90	3,34	1,49	9,23	27,10
	%2,5	16,12	2,69	1,20	10,13	27,10
	%5	14,54	3,58	1,60	9,64	27,10
	%7,5	16,84	2,24	1,00	11,50	27,10
	%10	15,48	3,07	1,37	9,80	27,10
Organik madde miktarı	Kontrol	71,04	6,04	1,56	56,62	79,12
	%2,5	68,71	5,52	1,59	59,54	75,04
	%5	68,88	4,60	1,33	60,53	74,13
	%7,5	64,38	5,54	1,60	56,00	72,37
	%10	64,55	6,51	1,88	55,33	71,35
Kuru madde oranı	Kontrol	85,09	4,64	1,20	72,90	90,77
	%2,5	85,00	4,08	1,18	77,78	89,87
	%5	86,98	2,73	0,79	82,53	90,36
	%7,5	84,13	3,97	1,15	78,24	88,50
	%10	85,79	4,01	1,16	79,42	90,17
Organik C içeriği	Kontrol	54,83 ^b	0,07	0,02	54,73	54,97
	%2,5	54,72 ^c	0,09	0,03	54,53	54,85
	%5	54,58 ^e	0,12	0,03	54,27	54,71
	%7,5	54,91 ^a	0,33	0,09	54,57	55,56
	%10	54,62 ^d	0,12	0,03	54,46	54,81
Kül içeriği	Kontrol	14,06	1,70	0,44	11,66	16,28
	%2,5	16,30	1,49	0,43	14,72	18,24
	%5	18,10	2,05	0,59	15,13	22,22
	%7,5	19,75	2,25	0,65	15,93	22,66
	%10	21,25	3,01	0,87	17,45	27,62

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer

*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Sürüler arasında nem, TDS, EC, organik madde ve kuru madde içerikleri $p < 0,05$ düzeyinde anlamlıdır. pH, kül ve C içeriğinde ise sürüler arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır ($p > 0,05$) (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.35. Altlık özelliklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
pH	I	5,54	2,13	0,38	1,98	8,56
	II	5,66	1,51	0,27	3,27	8,00
	III	6,08	1,89	0,34	2,20	8,48
EC	I	3,66 ^b	0,55	0,10	2,38	4,00
	II	3,54 ^c	0,76	0,14	1,53	4,00
	III	3,81 ^a	0,43	0,08	2,46	4,00
TDS	I	1830,13 ^b	281,39	50,54	1186	2000
	II	1765,58 ^c	381,85	68,58	766	2000
	III	1904,71 ^a	214,88	38,59	1244	2000
Nem	I	14,96 ^b	2,68	0,59	10,50	20,78
	II	11,62 ^c	1,06	0,23	9,23	14,03
	III	20,14 ^a	2,96	0,65	14,29	27,10
Organik madde miktarı	I	68,46 ^b	4,54	0,99	58,69	76,21
	II	73,02 ^a	2,74	0,60	68,37	79,12
	III	61,56 ^c	4,30	0,94	55,33	69,56
Kuru madde oranı	I	86,16 ^b	2,68	0,59	79,22	89,50
	II	88,81 ^a	1,06	0,23	85,97	90,77
	III	81,19 ^c	2,96	0,65	72,90	85,71
Organik C içeriği	I	54,70	0,13	0,03	54,46	54,90
	II	54,81	0,21	0,05	54,57	55,56
	III	54,70	0,24	0,05	54,27	55,56
Kül içeriği	I	17,70	3,22	0,70	12,75	23,60
	II	15,79	2,53	0,55	11,66	20,13
	III	19,63	3,18	0,69	15,91	27,62

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

4.2.4. Dozaj gruplarının altlığın karakteristik özelliklerine etkisi

Çalışmada kullanılan NaHSO₄'ün farklı dozajlarının ve NH₃ arıtımında en verimli olan dozajın diğer deneme gruplarından farklılığı ve altlık karakteristiğine etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. NH₃ azotunun uçuculuğunun azaltılmasında en önemli etken, amonyum azotu formunda altlıkta tutularak uçuculuğunun azaltılmasıdır. Bunun yanında diğer azot formlarının da altlığın özellikle kompost olarak kullanılmasında dikkate alınmaktadır (Li vd., 2012; Janczak vd., 2017; Zhou vd., 2019). Bu çalışmanın altlık karakteristiğinin incelendiği bölümde amonyum, nitrat, nitrit ve toplam azot incelenmiştir.

NH₃ gazının uçuculuğunun azaltılmasında en önemli göstergelerden biri NH₄⁺ azotunun altlıkta absorbe edilebilmesidir. NaHSO₄ uygulanmayan grupta, ilaveli gruplara göre daha düşük NH₄⁺-N bulunmaktadır (Çizelge 4.36). Kontrole göre sodyum bisülfat ilaveli gruplarda %23-73 oranında NH₄-N artış gerçekleşmiştir. Dozaj seviyesi arttıkça

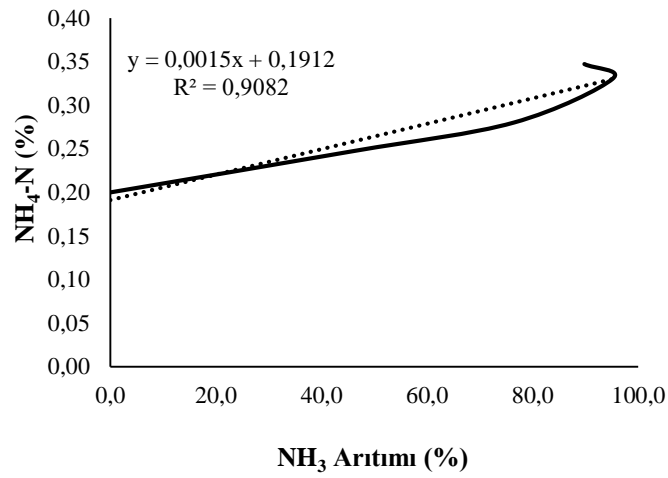
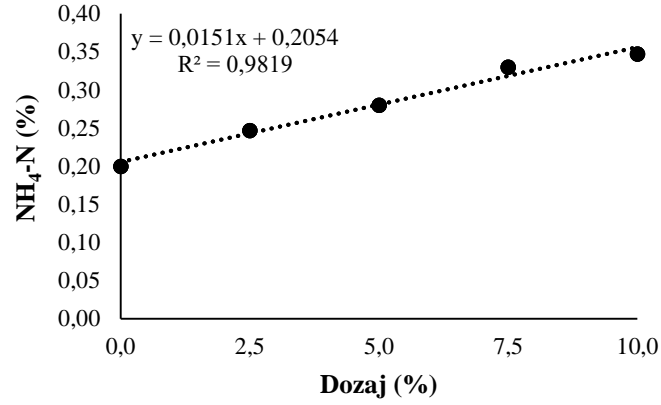
NH₃-N uçucu hale gelerek kaybolması yerine, altlıkta mikrobiyal aktivitenin azalmasıyla NH₄'un parçalanması yavaşlayarak NH₄⁺-N katı formunda altlıkta tutulur. Böylece NH₄⁺-N miktarının artmasıyla NH₃ uçuculuğunun azalması tutarlı bir durumdur. Altlıkta absorbe edilen NH₄⁺-N, azotun katı bir formda altlıkta tutulması NH₃-N uçuculuğunun azalmasını sağlaması, NaHSO₄ etkinliğinin göstergesidir.

Çizelge 4.36. NaHSO₄ uygulamasının farklı dozajlarına göre altlığın karakteristikleri (% , n=3, Ortalama ± Standart hata)

	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
NH ₄ -N	0,200±0,14	0,247±0,16	0,287±0,18	0,323±0,22	0,347±0,21
NO ₃ -N	0,183±0,09	0,193±0,10	0,350±0,28	0,357±0,17	0,257±0,19
NO ₂ -N	0,137±0,07	0,143±0,08	0,173±0,12	0,263±0,13	0,190±0,14
TOPLAM-N	4,517±0,47	4,383±0,22	4,207±0,32	4,127±0,42	4,230±0,50

Sims ve Luka-McCafferty (2002), yaptıkları çalışmada kümeste altlığa uyguladıkları alüminyum sülfat uygulamasında, kontrol grubuna göre alüminyum sülfat uygulanan altlıkta toplam N ve NH₄-N değerleri daha yüksek olduğu ve bunun da altlıktan kaynaklanan NH₃ kayıplarını azalttığını bildirmişlerdir. Hunolt vd. (2015), çalışmalarında et tavuğu altlığına ekledikleri sodyum bisülfatın altlığın NH₄⁺-N miktarını artırdığını belirtmişlerdir. Gübre uygulanmamış kontrol grubunda 2,25 g/kg, sodyum bisülfatın bir kez uygulandığı altlıkta ise 2,97 g/kg NH₄⁺-N olduğunu belirtmişlerdir. Madrid vd. (2012), yürüttükleri çalışmalarında alüminyum sülfat uygulanmış tavuk altlığının kontrol grubu altlığa kıyasla NH₄⁺-N içeriğinin daha yüksek değer gösterdiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar ile bu çalışmada elde edilen sonuç ile uyumlu olduğu görülmektedir.

NH₄⁺-N, dozajlar (R²=0,9819) ve NH₃ artım verimlilik performansı (R²=0,9082) arasında güçlü bir regresyon ilişkisi bulunmaktadır (Şekil 4.14). Uygulanan farklı dozajların içerdikleri NH₄-N içerikleri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. (p>0,05) (Çizelge 4.37). Ancak sürüler arasında p<0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir (Çizelge 4.38). NH₄⁺-N içeriğinin, uygulama dozajları (0,991) ve NH₃ artımı (0,953) ile aralarındaki korelasyon katsayıları, aralarında güçlü doğrusal bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir (p<0,01).



Şekil 4.14. NH₄-N'un dozaj oranı ve NH₃ arıtım verimliliği ile ilişkisi

Çizelge 4.37. Altlık azot içeriklerinin dozaj grupları arasındaki istatistiksel farklılığı

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₄ -N	Kontrol	0,200	0,246	0,143	0,01	0,48
	%2,5	0,247	0,273	0,158	0,02	0,55
	%5	0,287	0,312	0,180	0,02	0,63
	%7,5	0,323	0,378	0,218	0,03	0,75
	%10	0,347	0,371	0,214	0,02	0,75
NO ₂ -N	Kontrol	0,137	0,122	0,071	0,03	0,27
	%2,5	0,143	0,136	0,078	0,06	0,30
	%5	0,173	0,436	0,120	0,04	0,41
	%7,5	0,263	0,222	0,128	0,08	0,51
	%10	0,190	0,243	0,140	0,04	0,47
NO ₃ -N	Kontrol	0,183 ^c	0,163	0,094	0,04	0,36
	%2,5	0,193 ^c	0,179	0,103	0,08	0,40
	%5	0,350 ^a	0,587	0,280	0,05	0,90
	%7,5	0,357 ^a	0,300	0,172	0,11	0,69
	%10	0,257 ^b	0,332	0,192	0,05	0,64

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.37. Altlık azot içeriklerinin dozaj grupları arasındaki istatistiksel farklılığı (devam)

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
Toplam N	Kontrol	4,517	0,807	0,466	3,68	5,29
	%2,5	4,383	0,382	0,221	3,98	4,74
	%5	4,207	0,559	0,323	3,59	4,68
	%7,5	4,127	0,722	0,417	3,47	4,90
	%10	4,230	0,871	0,503	3,45	5,17

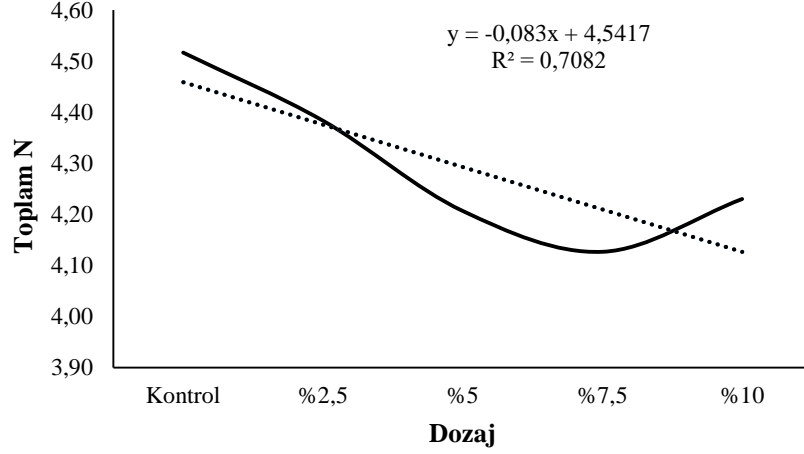
Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4.38. Altlık azot içeriklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı

	Sürü	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
NH ₄ -N	1	0,1900 ^b	0,058	0,026	0,11	0,27
	2	0,200 ^b	0,007	0,003	0,01	0,03
	3	0,6320 ^a	0,120	0,054	0,48	0,75
NO ₂ -N	1	0,126 ^b	0,103	0,046	0,04	0,27
	2	0,058 ^c	0,022	0,009	0,03	0,08
	3	0,440 ^a	0,260	0,116	0,11	0,81
NO ₃ -N	1	0,168 ^b	0,138	0,062	0,05	0,36
	2	0,080 ^c	0,032	0,014	0,04	0,11
	3	0,594 ^a	0,351	0,157	0,15	1,09
Toplam N	1	4,350	0,316	0,141	4,01	4,74
	2	3,634	0,215	0,096	3,45	3,98
	3	4,894	0,351	0,157	4,43	5,29

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer
*: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Toplam azot, tüm azot formlarının ölçüsüdür. NO₃ ve NO₂, toplam N'nin çok az bir kısmını oluşturmaktadır. Çalışmada, toplam azot içeriği uygulanan dozaj grupları arasında istatistiksel olarak önemli farklılık gözlenmemiştir (Çizelge 4.37). Ancak gruplar arasında anlamlı regresyon ilişkisi bulunmaktadır ($R^2=0,7082$) (Şekil 4.15). Sürüler arasındaki istatistiksel farklılıklar $p<0,05$ seviyesinde anlamlıdır (Çizelge 4.38). Toplam N ile NH₄⁺-N arasında iyi düzeyde pozitif korelasyon (0,794) bulunmaktadır ($p<0,01$). 2 hafta sonunda sodyum bisülfat uygulamalarında toplam N içeriğinde %3,0-8,6 seviyelerinde azalma gözlemlenirken, NH₃ artımında en verimli grubun toplam N içeriği diğer gruplara göre daha düşüktür.

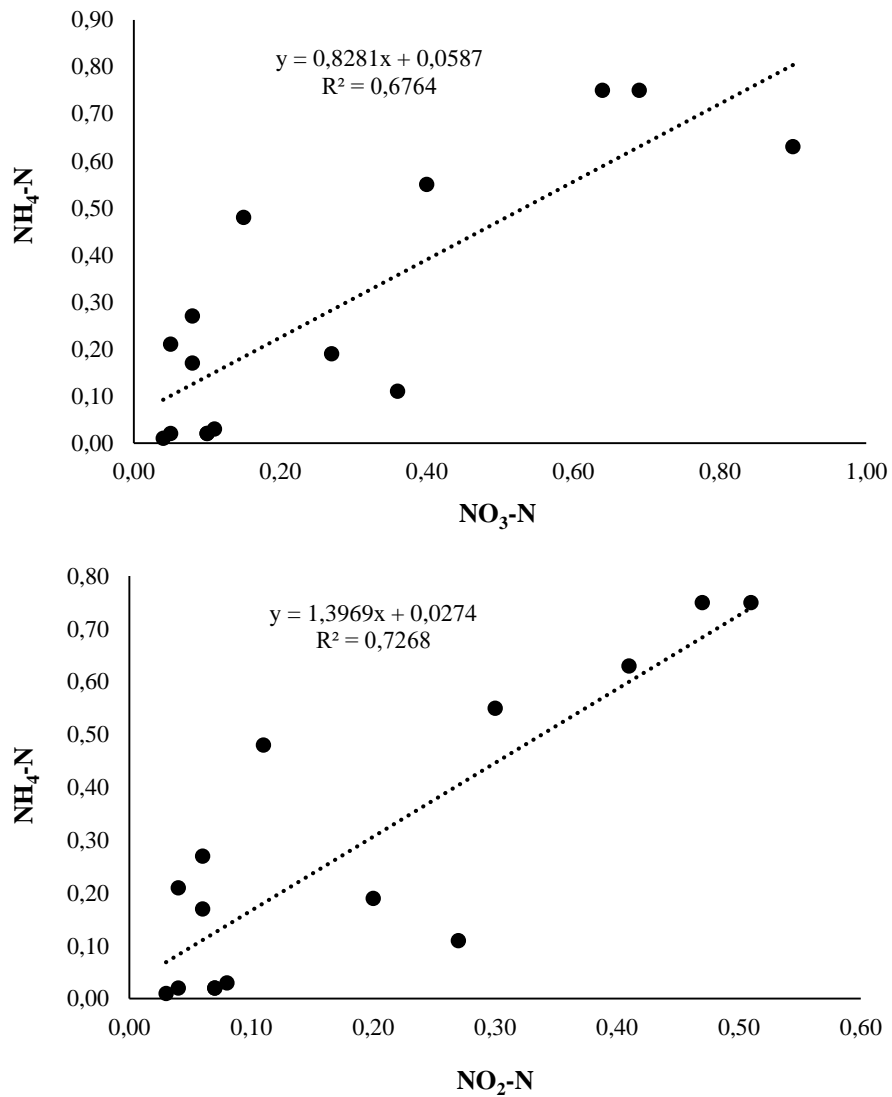


Şekil 4.15. Toplam N ve dozaj grupları arasındaki ilişkisi

Li vd., (2013), yaptıkları çalışmada laboratuvar ölçeğinde kümes hayvanı altlığında sodyum bisülfat uygulamışlardır. Organik ve toplam N içeriğinin kontrol grubunda daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Senyondo (2013), yaptığı çalışmada NH_3 emisyonlarını incelemiştir. Kontrol grubunun ortalama pH ve nem içeriğinin katkı madde ilaveli altlıktan daha yüksek çıktığını belirtirken, toplam NH_3 konsantrasyonunun anlamlı derecede farklı olmadığını belirtmiştir. Bunun dışında Hunolt vd. (2015), tavuk altlığında uyguladıkları PLT (kümes hayvanı altlık arıtımı)'nin ilk sürüde altlık N içeriğini değiştirmedığını, tekrarlı uygulanan PLT'nin sonraki sürülerde altlık N içeriğini önemli düzeyde artırdığını belirtmişlerdir. Graves (2023), yaptığı çalışmada tavuk altlığına eklediği biyokömürün 2 hafta sonunda toplam azot içeriğini %4,6-9,8 arasında azalma olduğunu belirtirken, sodyum bisülfat eklenen grupta ise %3,7'lik azalma olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmadaki toplam N ile ilgili elde edilen sonuçlar, yapılan çalışmalardaki yaklaşım ile uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 4.36'ya göre deneme gruplarının $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$ içerikleri kontrol grubuna kıyasla hafif bir artış göstermiştir. Ancak en yüksek dozajda küçük miktarda düşüş yaşandığı gözlenmiştir. Buna neden olarak eklenen daha yüksek dozajdaki katkı maddesinin yüksek elektriksel iletkenlik ve pH değerlerinin neden olduğu nitrifikasyonu bozması olarak açıklanabilir (Li vd., 2012). Ayrıca alınabilir azot formunda olan NO_3 , bitkiler tarafından azotun alımını kolaylaştırabilir.

Dozaj grupları arasında $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve toplam N değerleri için istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır ($p>0,05$) (Çizelge 4.37). Sürüler arasında ise $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, toplam N içerikleri için $p<0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir (Çizelge 4.38). NH_4 azotunun NO_3 (0,822) ve NO_2 (0,853) azotuyla arasındaki korelasyon katsayısı yüksek düzeyde ilişkinin sahip olduğunu göstermektedir ($p<0,01$). Ayrıca NH_4 azotunun NO_3 ($R^2=0,6764$) ve NO_2 ($R^2=0,7268$) azotuyla aralarında iyi düzeyde regresyon ilişkisi bulunmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. $\text{NH}_4\text{-N}$ 'un NO_3 ve NO_2 azotu ile ilişkisi

4.2.5. Dozaj gruplarına göre altlık ağır metal içeriği

Çalışmada sodyum bisülfatın farklı dozajlarının NH_3 gazının azaltılmasının yanında ağır metal içeriği üzerinde etkili olup olmadığını gözlemleyebilmek için istatistiksel olarak farklılığının olup olmadığı incelenmiştir. Ağır metallerin analizinde P, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb ve Cd elementleri dikkate alınmıştır. Farklı dozajların uygulandığı altlıklarda, Pb ve Cd çok düşük konsantrasyonlar göstermiştir (Çizelge 4.39). Ancak Pb içeriği dozajlama arttıkça daha yüksek değerler göstermiş, en yüksek dozajda ise Pb içeriğinde düşüş gözlenmiştir. P, Fe, Cu, Mn, Cr ve Ni konsantrasyonları en yüksek kontrol grubunda gözlenmiştir. Zn konsantrasyonu 446 ile 346 mg/kg arasında değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 4.39. Dozajlara göre ortalama ağır metal değişimi (mg/kg, n=3, Ortalama \pm Standart hata)

Ağır metaller	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
P	5904,61 \pm 338,28	5617,53 \pm 322,57	5266,04 \pm 503,88	5070,69 \pm 231,37	5213,90 \pm 479,70
Fe	833,29 \pm 160,00	656,24 \pm 113,68	589,02 \pm 87,62	703,95 \pm 36,33	642,23 \pm 91,16
Cu	65,12 \pm 3,55	64,61 \pm 6,15	62,10 \pm 5,70	62,54 \pm 6,07	58,45 \pm 3,96
Zn	440,92 \pm 22,51	446,41 \pm 49,71	385,18 \pm 20,93	367,37 \pm 18,98	346,47 \pm 26,40
Mn	473,90 \pm 32,19	436,33 \pm 29,97	427,43 \pm 19,11	390,55 \pm 22,63	375,09 \pm 22,49
Cr	3,06 \pm 0,62	2,73 \pm 0,78	2,61 \pm 0,47	3,37 \pm 0,55	3,36 \pm 0,60
Ni	5,85 \pm 0,76	5,59 \pm 1,12	5,13 \pm 0,96	5,57 \pm 1,04	5,60 \pm 0,83
Pb	0,40 \pm 0,30	0,82 \pm 0,22	0,72 \pm 0,46	1,34 \pm 0,29	0,41 \pm 0,23
Cd	0,10 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,07 \pm 0,01	0,09 \pm 0,01	0,07 \pm 0,02

Kılıç vd. (2014), yaptıkları çalışmada Bursa bölgesinde yumurta tavuğu gübresinin ağır metal içeriğini Zn 238 mg/kg, Mn 194 mg/kg, Cr 0,6 mg/kg, Ni 3,8 mg/kg, Cu 30 mg/kg, Pb 0,6 mg/kg ve Cd 0,1 mg/kg olarak ifade etmişlerdir. Et tavuğu gübresinde besin elementleri içeriklerini ise Zn 240 mg/kg, Mn 278 mg/kg, Cr 1,4 mg/kg, Ni 3,8 mg/kg, Cu 35 mg/kg, Pb 3,4 mg/kg ve Cd 0,2 mg/kg olduğunu belirtmişlerdir.

Janczak vd. (2017), tavuk altlığına ekledikleri biyokömürün makroelement, mikroelement ve ağır metal analizlerini incelemişlerdir. Katkı maddeli grupta P elementini 438 mg/kg, Pb içeriğini 1,9 mg/kg, Cd içeriğinin 0,5 mg/kg, Cu için 7,7 mg/kg, Ni için 2,8 mg/kg, Cr için 0,04 mg/kg, Zn için 8 mg/kg olduğunu ifade etmişlerdir.

Burt, (2015), yaptığı çalışmada tavuk altlığına baca gazı kükürt giderme işlemiyle alçı taşı (FGG) %20 ve %40 oranlarında altlığa eklemiştir. Altlıktaki değişikliğin element bileşimini P için 71 mg/kg ve Fe 1626 mg/kg olarak belirtmiştir.

Dozaj gruplarına göre ağır metal içerikleri arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Sürülere göre ise Zn ve Pb elementleri arasında $p<0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. P, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni, Cd için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmemiştir ($p>0,05$) (Çizelge 4.40-4.41).

Çizelge 4.40. Dozaj gruplarına göre ağır metal içerikleri arasındaki istatistiksel farklılık

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
P	Kontrol	5904,61	585,92	338,28	5417,89	6554,94
	%2,5	5617,53	558,71	322,57	4972,79	5959,77
	%5	5266,04	872,74	503,88	4447,96	6184,72
	%7,5	5070,69	400,75	231,37	4608,51	5321,50
	%10	5213,90	830,86	479,70	4597,69	6158,83
Fe	Kontrol	833,29	277,13	160,00	513,33	997,28
	%2,5	656,24	196,91	113,68	448,63	840,33
	%5	589,02	151,76	87,62	419,48	712,16
	%7,5	703,95	62,93	36,33	657,93	775,66
	%10	642,23	157,89	91,16	460,03	738,94
Cu	Kontrol	65,12	6,15	3,55	58,78	71,07
	%2,5	64,61	10,65	6,15	52,34	71,36
	%5	62,10	9,87	5,70	50,77	68,81
	%7,5	62,54	10,52	6,07	50,64	70,59
	%10	58,45	6,86	3,96	50,66	63,59
Zn	Kontrol	440,92	38,98	22,51	409,89	484,68
	%2,5	446,41	86,10	49,71	368,34	538,75
	%5	385,18	36,26	20,93	343,64	410,51
	%7,5	367,37	32,87	18,98	329,53	388,80
	%10	346,47	45,73	26,40	299,62	391,00
Mn	Kontrol	473,90	55,76	32,19	432,57	537,32
	%2,5	436,33	51,90	29,97	377,60	476,04
	%5	427,43	33,09	19,11	391,70	457,03
	%7,5	390,55	39,20	22,63	345,86	419,16
	%10	375,09	38,96	22,49	331,92	407,64
Cr	Kontrol	3,06	1,08	0,62	2,30	4,30
	%2,5	2,73	1,36	0,78	1,80	4,29
	%5	2,61	0,82	0,47	1,92	3,52
	%7,5	3,37	0,95	0,55	2,68	4,45
	%10	3,36	1,03	0,60	2,43	4,47
Ni	Kontrol	5,85	1,32	0,76	4,35	6,83
	%2,5	5,59	1,94	1,12	3,44	7,19
	%5	5,13	1,66	0,96	3,40	6,71
	%7,5	5,57	1,80	1,04	3,49	6,62
	%10	5,60	1,43	0,83	3,97	6,65

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer

Çizelge 4.40. Dozaj gruplarına göre ağır metal içerikleri arasındaki istatistiksel farklılık (devam)

	Dozaj Grupları	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
Pb	Kontrol	0,40	0,52	0,30	0,00	0,98
	%2,5	0,82	0,39	0,22	0,44	1,21
	%5	0,72	0,80	0,46	0,08	1,61
	%7,5	1,34	0,50	0,29	0,92	1,89
	%10	0,41	0,41	0,23	0,11	0,87
Cd	Kontrol	0,10	0,04	0,02	0,08	0,15
	%2,5	0,09	0,04	0,02	0,05	0,12
	%5	0,07	0,02	0,01	0,06	0,09
	%7,5	0,09	0,03	0,01	0,06	0,11
	%10	0,07	0,04	0,02	0,04	0,12

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer

Çizelge 4.41. Altlık ağır metal içeriklerinin sürüler arasındaki istatistiksel farklılığı

	Sürü	Ort.	S.S.	S.H.	Min.	Mak.
P	I	5569,42	668,40	298,92	4885,18	6554,94
	II	4808,97	391,40	175,04	4447,96	5417,89
	III	5865,28	371,73	166,24	5282,07	6184,72
Fe	I	809,03	112,44	50,29	712,16	989,27
	II	745,94	145,25	64,96	635,43	997,28
	III	499,88	94,66	42,33	419,48	657,93
Cu	I	67,75	4,22	1,89	61,10	71,36
	II	52,64	3,51	1,57	50,64	58,78
	III	67,31	3,01	1,35	63,59	70,59
Zn	I	432,48 ^a	77,29	34,57	348,80	538,75
	II	353,87 ^c	48,41	21,65	299,62	428,20
	III	405,47 ^b	18,95	8,48	383,78	432,15
Mn	I	455,05	57,68	25,80	385,71	537,32
	II	379,78	46,84	20,95	331,92	451,80
	III	427,15	20,42	9,13	406,62	455,34
Cr	I	3,95	0,56	0,25	3,19	4,45
	II	2,79	1,03	0,46	1,80	4,47
	III	2,35	0,32	0,14	1,92	2,68
Ni	I	6,59	0,26	0,12	6,15	6,83
	II	3,73	0,42	0,19	3,40	4,35
	III	6,32	0,70	0,31	5,27	7,19
Pb	I	1,03 ^a	0,78	0,35	0,21	1,89
	II	0,74 ^b	0,26	0,12	0,44	0,98
	III	0,44 ^b	0,54	0,24	0,00	1,21
Cd	I	0,11	0,03	0,01	0,07	0,15
	II	0,06	0,02	0,01	0,04	0,09
	III	0,08	0,02	0,01	0,06	0,11

Ort. : Ortalama değer, S.S. :Standart sapma, S.H. :Standart hata, Min. :Minimum değer, Mak. : Maksimum değer

**: Farklı harfler, gruplar arasındaki farklılıkların 0,05 seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmektedir.*

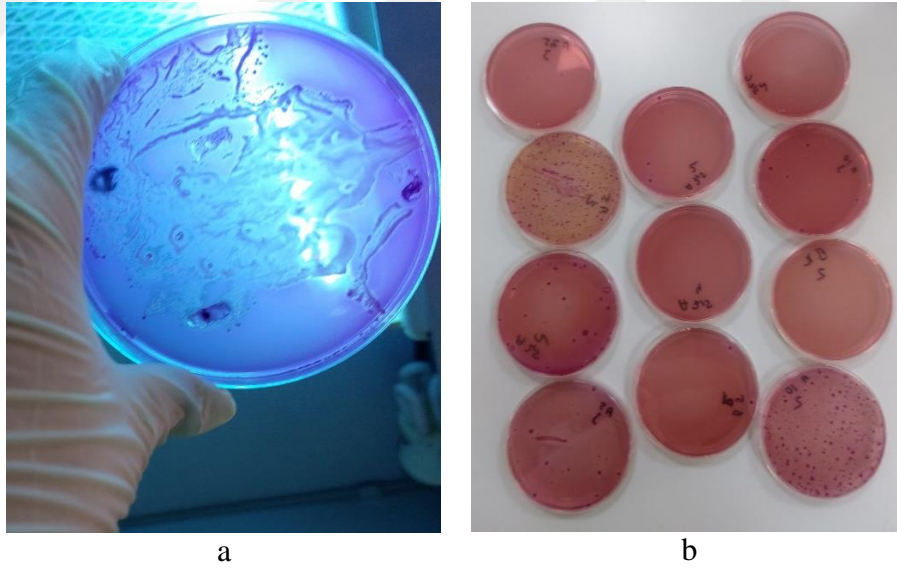
Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslandığında içeriklerin farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Cd değeri literatür ile uyumludur. Pb, Ni, Fe ve Cr literatüre yakın değerler gösterdiği gözlenmiştir. Mn, Zn, Cu ve P ise daha yüksek konsantrasyon

değerlerine sahiptir. Gelecek çalışmalarda katkı maddeli gruplarda ağır metallerin uzun süreli dönüşümlerine yönelik daha geniş kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

4.2.6. Dozaj gruplarına göre altlıklarda muhtemel toplam fekal *Koliform* bakteri ve *Escherichia Coli* sayımı

Altlıklarda farklı dozajlarda sodyum bisülfat uygulamalarının, altlıktaki mikrobioatının değişimine ilişkin yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada sodyum bisülfat ilavesinde dozajlama oranlarının altlıktaki patojenik popülasyon üzerinde ne ölçüde etkili olduğu değerlendirilmiştir. İnkübasyon sonunda gelişen tipik kolonilerden uzun dalga boylu UV lamba altında incelenmiştir (Şekil 4.17a). Floresan ışığa verenler *E. coli* kolonileri olarak kabul edilmiştir (Halkman vd., 2019).

Her iki besiyeri için de inkübasyon sonunda gelişen bakterilerin sayımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.17b). İnkübasyon sonundaki sayım sonuçları Çizelge 4.35’de verilmiştir. Altlık örneklerinde bulunan fekal koliform bakterilerin yarısından fazlası *Escherichia coli*’dir.



Şekil 4.17. a) UV lamba altında kolonilerin ışığa verme durumları b) İnkübasyon sonucu spesifik fekal koliform bakteri koloni oluşumu

Fekal koliformlar 1. günden 7. güne kadar artmıştır, ancak 14. güne kadar azalma gözlenmiştir. Kontrol grubunda *Koliform* ve *E.coli* kolonilerinin kararsız olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.42). NH_3 çıkışının en az ve en fazla; NH_3 artırımının en yüksek

ve en düşük seviyede sağlandığı dozaj gruplarında (sırasıyla %7,5 ve %2,5) fekal koliform bakteri kolonilerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. 14. günde de %5 dozaj grubunun *E.Coli*'yi azaltmadığı, bunun dışında diğer dozaj gruplarında *E. Coli* varlığına rastlanmamıştır.

Yüksek dozaj gruplarında bakteri yoğunluğunun azaldığı ancak NH₃ konsantrasyonu ile ilişkisinin net olarak ortaya konulması için geniş kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Farklılıkların sodyum bisülfatın etkin olmayışı ya da diğer çevresel kaynaklı faktörler kaynaklı olabilir. Çalışmada gerçekleştirilen mikrobiyal analiz, inkübasyon işleminin farklı laboratuvarlarda yapıldığı için anında bakılamadığından taşınma ve işleme süresinin geç olması da oranların daha yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir.

Çizelge 4.42. Kullanılmış et tavuğu altlık malzemelerine değişen oranlarda sodyum bisülfat uygulanması sonucu belirlenen muhtemel toplam fekal koliform grubu bakteri ve *E. coli* sayımı (log KOB/g)

	Dozaj Oranları				
	Kontrol	%2,5	%5	%7,5	%10
Toplam Fekal Koliform (log KOB/g)					
1. gün	0,90				
7.gün	3,93	3,15	4,37	3,11	5,27
14.gün	3,53	1,44	3,69	1,96	2,85
Escherichia coli (log KOB/g)					
1. gün	0,43				
7.gün	2,30	2,17	4,14	2,90	4,12
14.gün	0,69	-	2,20	-	-

*-: Tespit edilememiştir.

Chung vd. (2015), kümes hayvanı altlığına ekledikleri Kore Kırmızı Ginseng posasının alüminyum sülfat ve sadece alüminyum sülfatın altlıktaki patojen popülasyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda hem alüminyum sülfatlı kore kırmızı ginseng posasının hem de tek başına alüminyum sülfat ile karıştırılan altlıkta kontrole kıyasla bir azalma gözlenmiştir. Beş haftalık süre boyunca 3,90-6,28 log 10 KOB/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir. *E. coli* seviyelerinin deney süresi boyunca alüminyum sülfatlı kore kırmızı ginseng posasının (T1 ve T2) ve tek başına alüminyum sülfat (T3) ile artan Kore Kırmızı Ginseng marşı seviyeleri ile kısmen azaldığını belirtmişlerdir (p<0,05). Ancak 1. ve 4. haftalarda *E. coli* seviyelerinde önemli bir fark olmadığını ifade etmişlerdir.

Weiss (2015), çalışmasında altlığa eklediği sodyum bisülfatın NH₃ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ancak toplam aerobik bakteri ve koliformlar üzerindeki etkilerinin ticari koşullar altında anlamlı olmadığını belirtmişlerdir.

Pereira vd. (2020), domuz gübresiyle yaptıkları çalışmada, gübrenin depolanması boyunca sıvı kısmının biyokömür ve klinoptilolit ilavesinde fizikokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında biyokömürün ilavesinde *E. coli* seviyesinde artış gözlenirken klinoptilolit ilavesinde önemli ölçüde daha düşük seviyeye geldiğini ifade etmişlerdir.

Johnson vd. (2021), yaptığı çalışmasında kümes hayvanı altlığına ekledikleri sodyum bisülfatın bakteri popülasyonundaki mikrobiyal aktivitesini incelemişlerdir. Sodyum bisülfat, yeniden kullanılan altlığın üst tabakasındaki mikrobiyotayı etkileyerek *Escherichia spp.* ve *Faecalibacterium spp.* türlerinde artışa neden olmuştur. Ayrıca, kültüre alınabilir *Escherichia coli*'nin azalma süresi boyunca 1,5 log birim azalmış, ancak NaHSO₄'ten sonra üst katmanda artış olduğu ifade edilmiştir.

Yeniden kullanılacak altlık için *E. coli* suşlarının özellikleri hakkında ve altlıkta asitleştirici uygulamaların altlık sağlığı üzerinde nasıl bir etkisinin olduğu, *E.coli* suşlarının tavuklarda ve insanlarda hastalıklara neden olma potansiyelinin tespit edilmesi için daha fazla çalışma yapılması gereklidir.

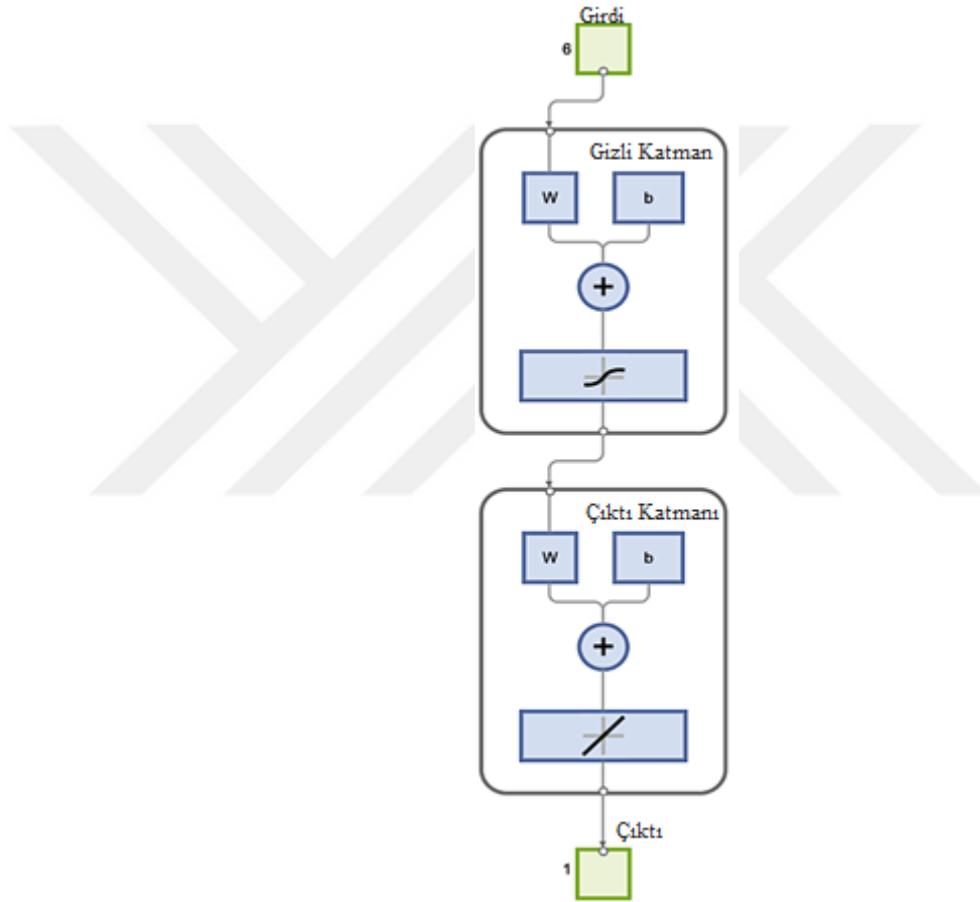
4.2.7. Yapay sinir ağları ile NH₃ arıtım verimliliği tahmini

II. denemede elde edilen verilerin NH₃ arıtım verimliliği tahminlenmesinde kullanılan parametreler Çizelge 4.43'de verilmiştir. Yapay sinir ağ yapısı oluşturulurken 6 adet girdi, 1 adet ara katman (nöronlar) ve 1 adet çıktı (NH₃ arıtım verimliliği) verileri kullanılmıştır. Tahminleme için iki katmanlı ileri beslemeli eğitim algortimalarının sinir ağ modeli Şekil 4.18'de verildiği gibi tasarlanmıştır. Nem içeriği de NH₃ konsantrasyonu ve arıtımı üzerinde etkilidir. Ancak veri setleri üzerinde diğer parametrelerle analiz günlerinde uyumluluk göstermediği için tahminlemede nem içeriği kullanılamamıştır.

Çizelge 4.43. YSA için girdi ve çıktı parametreleri

Girdiler					
	Birim	Minimum	Maksimum	Std. Sapma	Ortalama
NH ₃ Konsantrasyonu	ppm	0,03	67,46	12,33	9,54
Dozaj Oranı	%	0	10	1,44	1,94
pH	-	1,98	8,56	1,85	5,84
EC	µS/m	1526	3999	600,65	3669,54
TDS	mg/L	766	2000	302,80	1833,47
Sıcaklık	°C	18,85	30,35	3,49	26,64

Çıktılar					
	Birim	Minimum	Maksimum	Std. Sapma	Ortalama
NH ₃ Arıtımı	%	0	99,8	38,16	58,63



Şekil 4.18. İki katmanlı ileri beslemeli eğitim algoritmasının 6 değişken için yapay sinir ağı modeli

Gizli katmandaki nöron sayısı sinir ağı modellerinin oluşturulmasında önemlidir. Nöron sayısı ile ilgili kesin bir kriter yoktur, ancak gizli katmanda bulunacak nöron sayısının az olması istenen bir durumdur. Nöron sayısının fazla olması ağıın ezberleme yeteneğini kazanarak ezber sonuçlar vermesine neden olabilir. Bu çalışmada performanslarının

karşılaştırılması için 2 ve 20 arasında değişen 10 adet (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20) nöron sayısında 4 farklı veri grubu için tahminlemeler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.44). En iyi YSA modelinin belirlenmesi için R^2 , MSE, RMSE, MAPE ölçütleri değerlendirilmiştir.

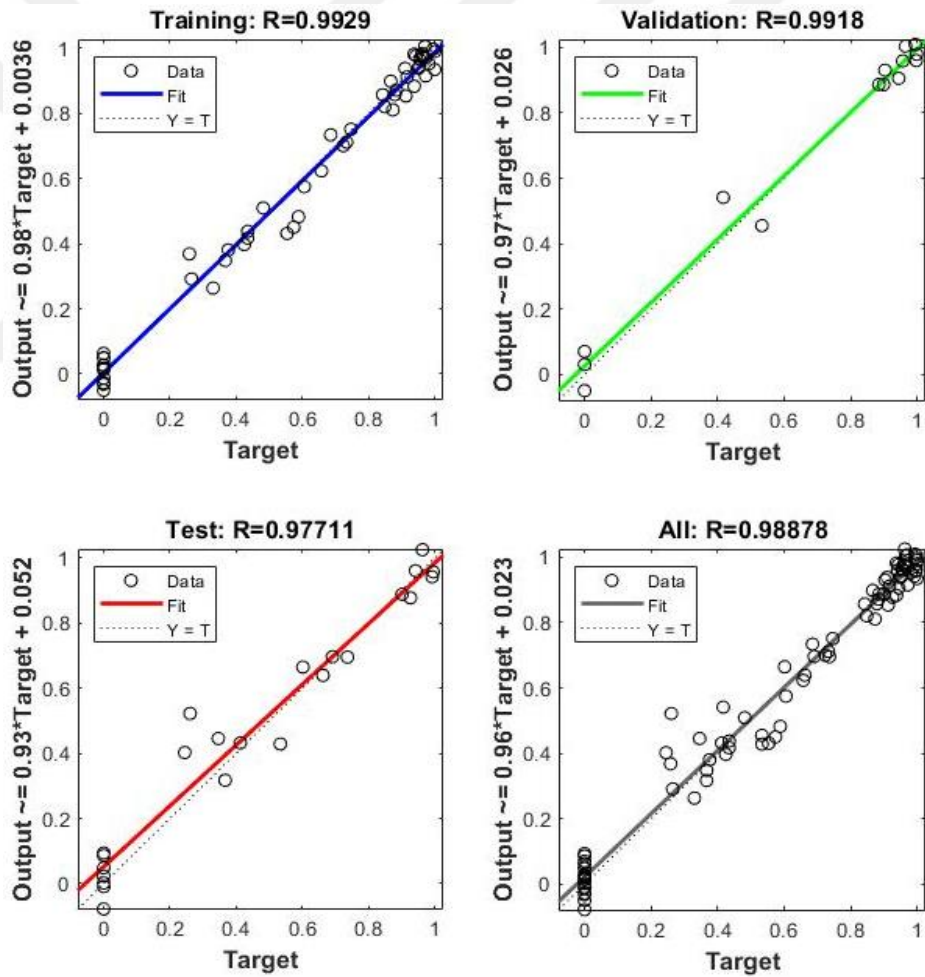
Çizelge 4.44. NH_3 artırım tahmini için yapay sinir ağlarında farklı algoritmaların performansları

Algoritma	Nöron Sayısı	R	R^2	MSE	RMSE	MAPE
Levenberg Marquardt	2	0,9823	0,9649	0,0052	0,0721	0,1058
	4	0,9767	0,9539	0,0068	0,0825	0,1143
	6	0,9841	0,9684	0,0053	0,0728	0,1103
	8	0,9834	0,9671	0,0052	0,0721	0,1058
	10	0,9844	0,9690	0,0046	0,0678	0,0921
	12	0,9888	0,9777	0,0033	0,0574	0,0833
	14	0,9856	0,9713	0,0045	0,0671	0,0899
	16	0,9847	0,9696	0,0045	0,0671	0,0895
	18	0,9883	0,9768	0,0034	0,0583	0,0861
	20	0,9853	0,9709	0,0043	0,0656	0,0829
	Nöron Sayısı	R	R^2	MSE	RMSE	MAPE
Fletcher- Reeves	2	0,95854	0,9188	0,0119	0,109	0,1480
	4	0,95826	0,91826	0,0120	0,110	0,1849
	6	0,95932	0,9203	0,0117	0,108	0,1552
	8	0,95189	0,9061	0,0140	0,118	0,1535
	10	0,96195	0,9253	0,0110	0,105	0,1638
	12	0,94665	0,8961	0,0154	0,124	0,1993
	14	0,95412	0,9103	0,0131	0,114	0,1724
	16	0,94506	0,8931	0,0158	0,126	0,1900
	18	0,96179	0,9250	0,0111	0,105	0,1439
	20	0,97651	0,9536	0,0068	0,082	0,0939
	Nöron Sayısı	R	R^2	MSE	RMSE	MAPE
Scaled Conjugate Gradient	2	0,9686	0,9381	0,0091	0,0954	0,1400
	4	0,9587	0,9191	0,0121	0,1100	0,1598
	6	0,9424	0,8881	0,0164	0,1281	0,1918
	8	0,9665	0,9342	0,0100	0,1000	0,1474
	10	0,9712	0,9432	0,0083	0,0911	0,1417
	12	0,9535	0,9092	0,0133	0,1153	0,1772
	14	0,9727	0,9461	0,0080	0,0894	0,1403
	16	0,9594	0,9205	0,0117	0,1082	0,1701
	18	0,9538	0,9098	0,0133	0,115	0,1773
	20	0,9570	0,9158	0,0130	0,114	0,1635
	Nöron Sayısı	R	R^2	MSE	RMSE	MAPE
Bayesian	2	0,9718	0,9444	0,0082	0,0906	0,1375
	4	0,97615	0,9529	0,0072	0,0849	0,1223
	6	0,97109	0,9430	0,0084	0,0917	0,0581
	8	0,98551	0,9712	0,0044	0,0663	0,0614
	10	0,98566	0,9715	0,0043	0,0656	0,0707
	12	0,97562	0,9518	0,0072	0,0849	0,0631
	14	0,98062	0,9616	0,0057	0,0755	0,0723
	16	0,98159	0,9635	0,0059	0,0768	0,0453
	18	0,98512	0,9705	0,0044	0,0663	0,0734
	20	0,98175	0,9638	0,0054	0,0735	0,0685

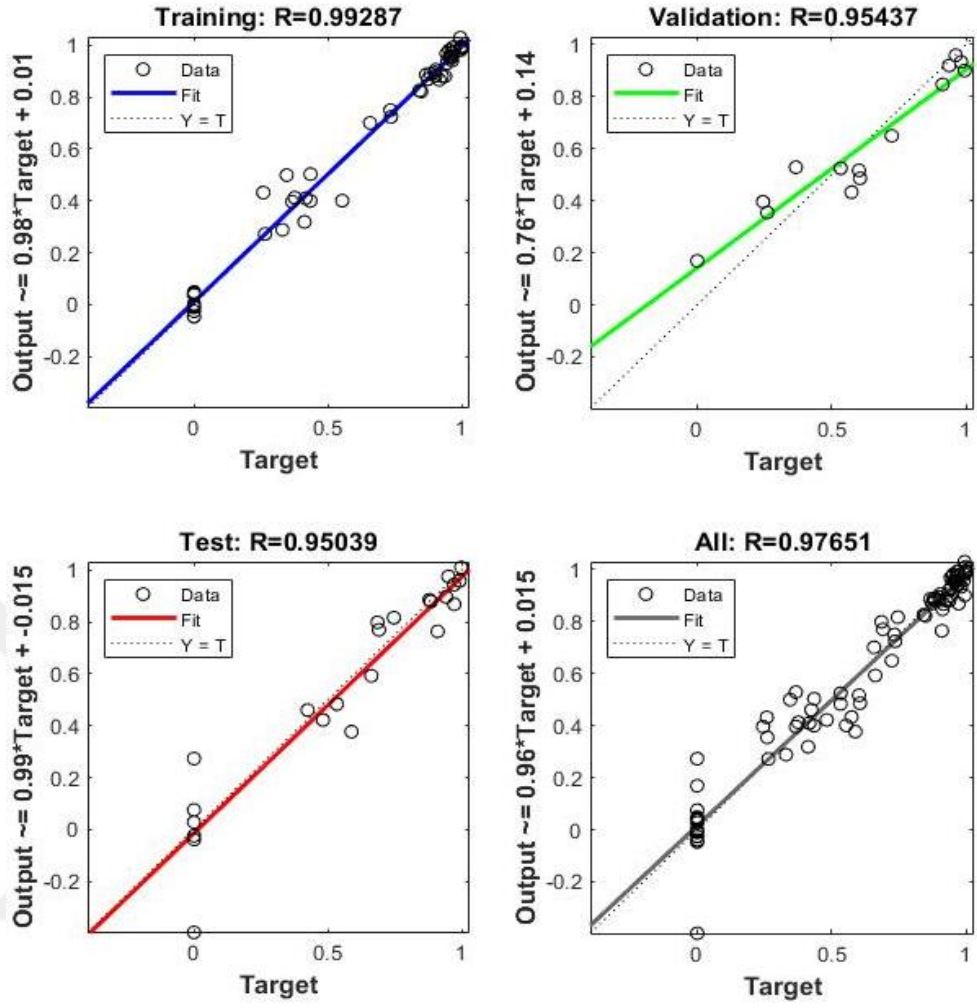
R^2 değeri 0 ile 1 arasında değerler göstermektedir. 1 değerine yakın olması performansın iyi olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca düşük MSE, RMSE ve MAPE

değerleri iyi bir modelin göstergesi olarak kabul edilir. Değerler sıfır değerine ne kadar yakın olursa sinir ağı performansı o kadar başarılıdır. Yapay sinir ağları ile tahminlemede kullanılan data setleri içerisinde en iyi performansı gösteren algoritmalar Levenberg Marquardt ve Bayesian modelleri olmuştur.

Levenberg Marquardt yöntemine göre en iyi performansı 12 nöron sayısında vermiştir (Şekil 4.19). İkinci en yüksek performansı Bayesian modeli 10 nöron sayısı ile elde edilmiştir (Şekil 4.22). Fletcher-Reeves modelinde 20 ve Scaled Conjugate Gradient modelinde 14 nöron sayısı için en başarılı performanslar elde edilmiştir (Şekil 4.20-4.21).

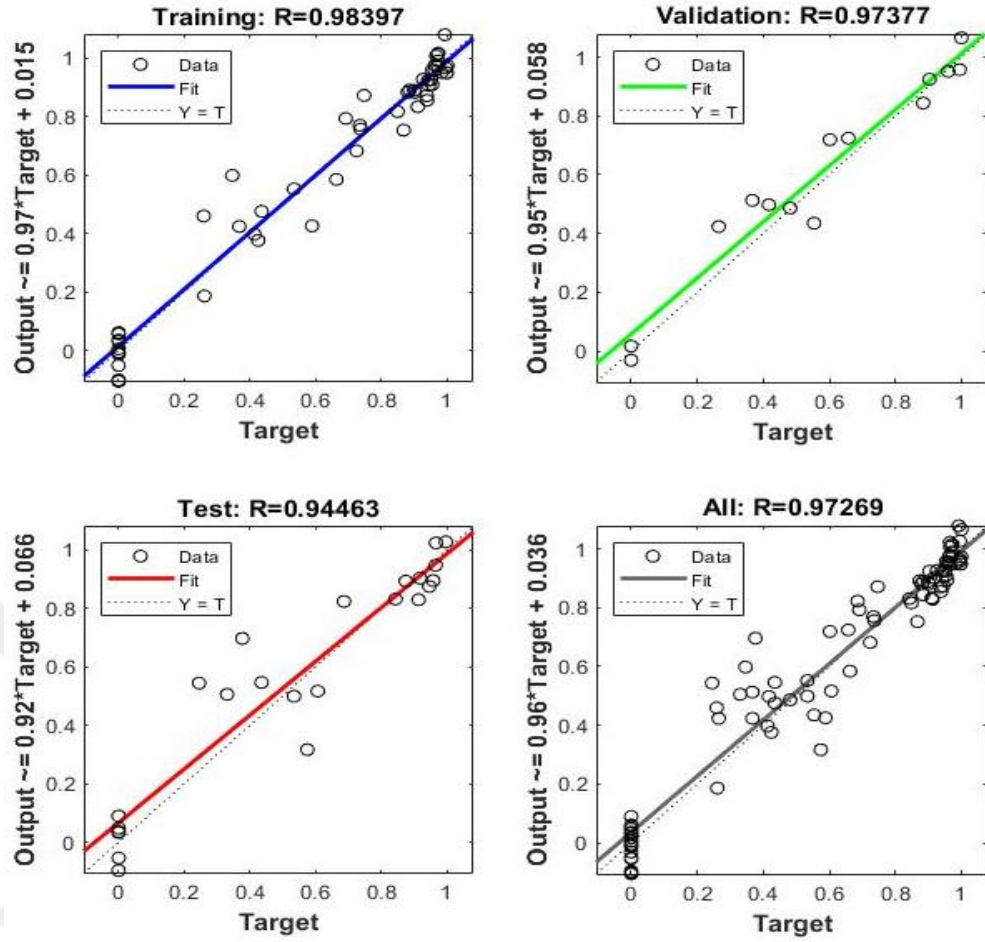


Şekil 4.19. Levenberg Marquardt modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri



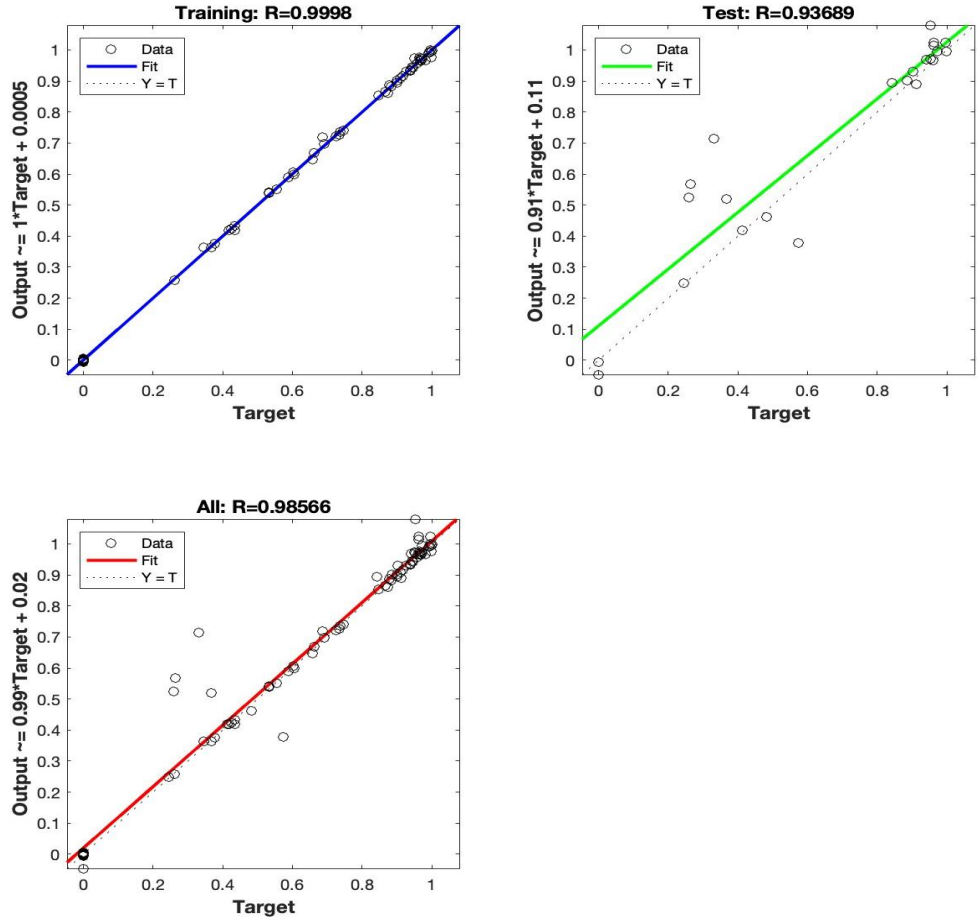
Şekil 4.20. Fletcher-Reeves modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri

En yüksek performans gösteren Levenberg Marquardt algoritması analizi sonuçlarına göre regresyon katsayısı ($R^2=0,9888$) en yüksek değeri vermiştir. Diğer modellerde ise regresyon katsayıları Fletcher-Reeves için 0,9765, Scaled Conjugate Gradient 0,9727 ve Bayesian modeli için 0,98566 olarak elde edilmiştir. MAPE değerleri Scaled Conjugate Gradient modeli dışında diğer modellerde yüksek doğrulukta ($<0,1$) başarılı tahminler gerçekleştirmiştir (Moreno vd., 2013). Genel olarak değerlendirme yapıldığında tahminlemede performans değerleri başarılı sonuç vermiştir.

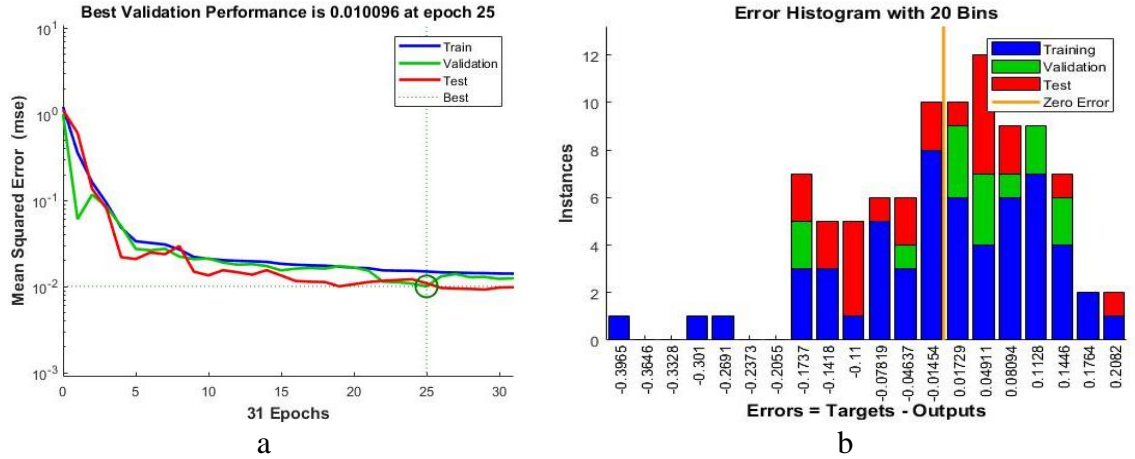


Şekil 4.21. Scaled Conjugate Gradient modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri

NH₃ artırımının en iyi olduğu modelin test ve eğitim test hatasında düzgün bir azalma yaşandığı gözlenmiştir (Şekil 4.23a). En iyi eğitim performansının 25. epokta elde edilmiştir. Şekil 4.23(b)'ye göre hata histogramı, hatanın esas olarak -0,3965 ile 0,2082 arasında dağıldığını göstermektedir. Hata alanındaki hatanın çoğunluğunun sıfır çizgisine yakın olarak dağılması performansının iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.22. Bayesian modeline göre performansın en yüksek olduğu regresyon grafikleri



Şekil 4.23. NH₃ arıtımı için en iyi YSA modeline ait performans grafiği (a) ve hata histogramı (b)

5. SONUÇ

Broyler kümeslerinden kaynaklanan NH_3 emisyonları, artan gıda talebini karşılamak amacıyla hızla büyüyen kümes hayvanları ve yumurta üretimi ile ilişkilidir. Sektördeki üretim girdileri ve emisyonlar dikkate alındığında, öngörülen büyüme ile birlikte hayvansal üretimde çevresel sürdürülebilirliğin geliştirilmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Kümeslerde NH_3 emisyonları, altlıkta bulunan belirli bakterilerin gübre ve dışkıda yer alan ürik asit ve organik azotu ayrıştırması sonucu oluşmaktadır. Etlik tavuklar genellikle altlık malzemesiyle doğrudan temas halinde olduğundan, sürekli bu temas, onları patojenlere karşı hassas hale getirmektedir.

Bu çalışmada; ticari karakterli kümeslerde üretim periyodunun sonuna gelmiş ya da tamamlanmış broyler altlıklarına çeşitli kimyasal katkı maddeleri uygulanarak NH_3 emisyonu üzerindeki etkisi analiz edilmiş, sonrasında en iyi performans gösteren kimyasal maddenin en verimli uygulama dozajının belirlenmesi için bir düzenek içerisinde laboratuvar ölçekli denemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada aynı dozajda alüminyum sülfat (D_1), zeolit (D_2), sodyum bisülfat (D_3) ve magnezyum sülfatın (D_4) broyler altlığına muamelesinde, NH_3 gazını en yüksek seviyede arıtımını sağlayan ve önerilen madde NaHSO_4 (sodyum bisülfat) olmuştur. D_3 grubu, altlığın pH ve altlık nem seviyesini diğer gruplardan daha düşük seviyede tutarak ve NH_3 gazının uçuculuğunu azaltarak, altlık arıtımında en başarılı performansı göstermiştir. NaHSO_4 'ın farklı dozajlarının (%2,5, %5, %7,5, %10) et tavuğu altlığına uygulanmasıyla NH_3 arıtımı değerlendirilmiştir. Bu oranların içerisinde %7,5 dozaj grubu NH_3 arıtımında en yüksek verimlilik oranına sahip grup olmuştur. Bu dozajın uygulandığı grup, altlık neminin en yüksek grup olduğu gözlenmiştir. NaHSO_4 'ın higroskopik bir madde olması ve altlıktaki N'un gaz halinde NH_3 olarak kaybolması yerine katı formda NH_4^+ formunda tutularak kristallerinin erimesiyle daha nemli bir altlığa neden olmuş olduğu düşünülmektedir. Ancak altlıkta NH_3 uçuculuğunu ve ayak dermatitini artırdığı bilindiği için ıslak taban istenmez. Çalışmanın yapıldığı koşullar, coğrafik konum, kümesin yönetimi ve işletimi gibi protokoller farklılık göstererek sonuçları ve kullanılan altlık iyileştirici maddenin de etkinliğini değiştirebilir. Sonraki çalışmalarda belirlenen kimyasal maddenin çalışmaları ile kümes ortamında denenmesi

düşünülmektedir. Yapay zekânın tarımda kullanımı, daha ekonomik, pratik ve insan gücünden tasarruf sağlaması son yıllarda oldukça ilgi çekicidir. NH₃ arıtım verimliliğinde en başarılı katkı maddesi seçilen sodyum bisülfatın, yapay zekâ araçlarından yapay sinir ağı ile tahminlenmesindeki başarısı dört algoritma ile geliştirilmiştir. Geliştirilen dört modelin de tahmin performansı başarılı sonuçlar vermiştir. R² (0,9777), MSE (0,0033), RMSE (0,0574) ve MAPE (0,0833) değerleriyle tahminlemede en başarılı model Levenberg Marquardt olmuştur. Çalışmanın sonucunda, kümeslerde NH₃ konsantrasyonunu doğru, hızlı ve başarılı bir şekilde tahmin etmek için yapay sinir ağı yönteminin etkili bir şekilde kullanılabileceği ve alternatif bir yaklaşım olarak önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kümes iç ortam koşullarının iyileştirilmesi tavukçulukta verimliliğin sağlanması ve hayvan ile işçi sağlığının ve refahının korunması açısından oldukça önemlidir. Kümes içerisinde NH₃ ve diğer zararlı gazların azaltılması işlemleri yüksek maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışma sayıları yetersizdir. Kümeslerde amonyak azaltmanın bir yolu olarak katkı maddelerinin uygulanması, basit uygulama teknikleri ve hayvanların yaşam koşullarına düşük müdahale nedeniyle çok ilgi çekicidir. Ayrıca katkı maddelerinin atıklar üzerindeki kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal etkileri, minimum sermaye harcanması, altlığın birden fazla sürü yetiştirmek için yeniden kullanılması gibi avantajlara sahiptir. Adsorbanların etkin kullanımları için uygun uygulama yöntemlerinin seçimi çok önemlidir. Tekniğini geliştirmek ve etkinliğinin daha iyi anlaşılması için daha çok çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca yapılmış çalışmalar, gelecekte NH₃'ün azaltılmasıyla, kükürt dioksit ve azot oksitler üzerindeki kontrolden ziyade PM_{2.5} için daha etkin bir kontrol stratejisi olabileceğini göstermiştir. Ek olarak, katkı maddelerin NH₃ emisyonlarını azaltmasının yanında diğer gaz, partikül, hayvan refah ve verimi üzerine olan etkileri ile ilgili daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

Broyler altlığı, bitkisel üretimde gübreleme için önemli bir besin kaynağıdır ve altlığın içerdiği besin elementleri önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Ancak başarılı gübre yönetiminde hem toprağın hem de bitkinin besin ihtiyacını karşılamaya yönelik uygulanmasını gerektirir. Bu çalışmada muamele edilen altlıkların, içeriğinde tutulan

azot oranı dikkate alındığında ileride bitkisel üretimde gübre olarak kullanılması ve işlevselliği üzerine geniş ölçekli saha çalışmaları yapılabilir.

Katkı maddelerinin emisyon azaltımına yönelik laboratuvar ortamında elde edilen bulgular, katkı maddelerin ticari üretim tesislerinde uygulanması durumunda ön hazırlık olarak düşünülmelidir. Hem çevreci bir yöntem hem de üretimde devamlılığın sağlanmasının öngörülmesiyle hem de sürdürülebilir tarım kapsamında önemli bir alternatif yöntem olacağı düşünülmektedir. Kümeslerde NH₃ emisyonunu azaltmak için etkin ve kolay uygulanabilir tekniği ile sürdürülebilir tarımsal kalkınma için gelecekteki çalışmalara yön vermesi beklenmektedir. Ayrıca NH₃ emisyonunu azaltılması sayesinde ortamdaki kokunun azalacağı hem hayvanların hem de çalışanların refahı açısından da daha ideal bir ortam oluşması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkol, S., Akıllı, A., & Cemal, İ. (2017). Comparison of artificial neural network and multiple linear regression for prediction of live weight in hair goats. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Science*, 27, 21-29.
- Almomani, F. (2020). Prediction of biogas production from chemically treated co-digested agricultural waste using artificial neural network. *Fuel*, 280, 118573.
- Altun, Ö. (2022). Yapay zekâ yöntemleriyle hazine taşınmazlarının değerlendirilmesi: Yapay sinir ağları ile kamu konutları üzerine bir uygulama. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(2), 62-73.
- Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R. W., Phillips, V. R., Misselbrook, T. H., & Pain, B. F. (1997). A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-odorase for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresource Technology*, 61, 229-237.
- Anderson, N., Strader, R., & Davidson, C. (2003). Airborne reduced nitrogen: ammonia emissions from agriculture and other sources. *Environment International*, 29(2-3), 277-286.
- Anderson, K., Moore Jr, P. A., Martin, J., & Ashworth, A. J. (2020). Effect of a new manure amendment on ammonia emissions from poultry litter. *Atmosphere*, 11(3), 257. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11030257>
- Andersson, M. (1994). Performance of additives in reducing ammonia emissions from cow slurry. Erişim tarihi: <https://alliednutrition.com/wp-content/uploads/2015/09/Performance-of-Additives-in-Reducing-Ammonia-sept-2004.pdf>
- Andrade, W. R., Ferreira, C. D. F., Gates, R. S., Borges, A. C., & Santos, T. (2020). Response from anaerobic digestion of laying hen manure with biochar addition. *Engenharia Agrícola*, 40(3), 315-321.
- Aneja, V. P., Bunton, B., Walker, J. T., & Malik, B. P. (2001). Measurement and analysis of atmospheric ammonia emissions from anaerobic lagoons. *Atmospheric Environment*, 35(11), 1949-1958.
- Anonim. (2005). Petition for Exemption From EPCRA and CERCLA Reporting Requirements for Ammonia Emission. Erişim adresi: <https://www.uspoultry.org/environment/docs/PoultryPetition.pdf>
- Anonim. (2020). Emissions of air pollutants in the UK, 1970 to 2018 – Ammonia (NH₃). Erişim adresi: <https://www.gov.uk/government/publications/emissions-of-air-pollutants/emissions-of-air-pollutants-in-the-uk-1970-to-2018-ammonia-nh3>
- Arjona-Román, J. L., Hernández-García, R. P., Navarro-Limón, I., Coria-Hernández, J., Rosas-Mendoza, M. E., & Meléndez-Pérez, R. (2017). Heat capacity prediction during pork meat thawing: Application of artificial neural network. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12399.
- Atapattu, N. S. B. M., Senaratna, D., & Belpagodagamage, U. D. (2008). Comparison of ammonia emission rates from three types of broiler litters. *Poultry Science*, 87(12), 2436–2440.
- Atasoy, F. (2000). Tavuk yetiştiriciliğinde altlığın kullanılması ve önemi. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 40(1), 90-97.

- Atılgan, A., Coşkan, A., Hasan, Ö. Z., & İşler, E. (2010). Etlik piliç kümesinde kış döneminde amonyak gaz düzeyinin vakum sistemi ile azaltılması. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16(2), 257-262.
- Barbosa, D. K., Garcia, R. G., Burbarelli, M. F. C., Komiyama, C. M., Gandra, E. R. S., Przybulinski, B. B., Castilho, V. A. R., Bueno, J. P. T., & Santos, W. (2022). Different litter compositions influence broiler chicken locomotion. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 23(2), 137-146.
- Bajwa, S.G., & Gadiraju, H. (2007, September, 16-19). *Laboratory evaluation of clinoptilolite for ammonia emission mitigation from broiler litter*. International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, Broomfield, Colorado.
- Baxter, J. A. (1997). *The effects of sodium bisulfate as a poultry litter amendment on poultry house environment and litter quality for broiler chickens* [Master of Science Dissertation, Stephen F. Austin State University].
- Beker, A., Vanhooser, S. L., Swartzlander, J. H., & Teeter, R. G. (2004). Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 13, 5-9.
- Bhagya Raj, G. V. S., & Dash, K. K. (2020). Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2756–2783.
- Boyacı, S., & Küçükönder, H. (2020). Comparison between artificial neural networks and some mathematical models in leaf area estimation of Red Chief apple variety. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(1), 15-20.
- Bucklin, R. A., Jacob, J. P., Mather, F. B., Leary, J. D. & Naas, I. A. (2009). Tunnel ventilation of broiler houses. Erişim adresi: <https://www.secondcontinentalarmy.com/wp-content/uploads/2016/06/Chickens-Tunnel-Ventilation-of-Broiler-Houses.pdf>
- Burns, R. T., Armstrong, K. A., Walker, F. R., Richards, C. J., & Raman., D. R. (2003, June, 2-4). *Ammonia emissions from a broiler production facility in the United States*. International Symposium on Gaseous and Odor Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Denmark.
- Burt, C. D. (2015). *Effects of gypsum addition to broiler litter* [Doctoral dissertation, University of Georgia].
- Burt, C. D., Cabrera, M. L., Rothrock Jr, M. J., & Kissel, D. E. (2018). Urea hydrolysis and calcium carbonate precipitation in gypsum-amended broiler litter. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 162-169.
- Bist, R. B., Subedi, S., Chai, L., & Yang, X. (2023). Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 328, 116919.
- Blake, J. P. (2001). Sodium bisulfate (PLT) as a litter treatment.
- Boggia, A., Paolotti, L., & Castellini, C. (2010). Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poultry Science Journal*, 66(1), 95-114.
- Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* (1st ed., pp. 1149-1178).
- Brouček, J., & Čermák, B. (2015). Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekológia (Bratislava)*, 34(1), 89-100.

- Cabrera, M. L., & Chiang, S. C. (1994). Water content effect on denitrification and ammonia volatilization in poultry litter. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 811-816.
- Carlile, F. S. (1984). Ammonia in poultry houses: A literature review. *World's Poultry Science Journal*, 40(2), 99-113.
- Chai, L., Zhao, Y., Xin, H., Wang, T., Atilgan, A., Soupir, M., & Liu, K. (2017). Reduction of particulate matter and ammonia by spraying acidic electrolyzed water onto litter of aviary hen houses: a lab-scale study. *Transactions of the ASABE*, 60(2), 497-506.
- Chai, L., Xin, H., Zhao, Y., Wang, T., Soupir, M., & Liu, K. (2018). Mitigating ammonia and PM generation of cage-free henhouse litter with solid additive and liquid spray. *Transactions of the ASABE*, 61(1), 287-294.
- Chen, B., Shao, Y., Shi, M., Ji, L., He, Q., & Yan, S. (2021). Anaerobic digestion of chicken manure coupled with ammonia recovery by vacuum-assisted gas-permeable membrane process. *Biochemical Engineering Journal*, 175, 108135.
- Choi, I. H., & Moore, P. A. (2008). Effect of various litter amendments on ammonia volatilization and nitrogen content of poultry litter. *Journal of Applied Poultry Research*, 17, 454-462.
- Chun, C. W., Jamaludin, N. F. M., & Zainol, N. (2015). Optimization of biogas production from poultry manure wastewater in 250 ml flasks. *Jurnal Teknologi*, 75(1), 275-285.
- Chung, T. H., Park, C., & Choi, I. H. (2015). Effects of Korean Red Ginseng marc with aluminum sulfate against pathogen populations in poultry litters. *Journal of Ginseng Research*, 39, 414417.
- Cook, K. L., Rothrock Jr, M. J., Warren, J. G., Sistani, K. R., & Moore Jr, P. A. (2008). Effect of alum treatment on the concentration of total and ureolytic microorganisms in poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2360-2367.
- Dach, J., Czekala, W., Boniecki, P., Lewicki, A., & Piechota, T. (2014). Specialised internet tool for biogas plant modeling and market analysis. *Advanced Materials Research*, 909, 305-310.
- Dai, Y., Wang, W., Lu, L., Yan, L., & Yu, D. (2020). Utilization of biochar for the removal of nitrogen and phosphorus. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120573.
- Demir, H. ve Polat, E. (2003). Zeolit (klinoptilolit) ve tarımda kullanımı. *Hasad*, 221, 54-59.
- Derouane, E. G., Vadrine, J. C., Pinto, R. R., Borges, P. M., Costa, L., Lemos, M. A. N. D. A., Lemos, F., & Ribeiro, F. R. (2013). The acidity of zeolites: concepts, measurements and relation to catalysis: a review on experimental and theoretical methods for the study of zeolite acidity. *Catalysis Reviews*, 55(4), 454-515.
- De Jong, I. & Van Harn, J. (2012). Management Tools to reduce footpad dermatitis in broilers. Erişim adresi: http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Broiler_Breeder_Tech_Articles/English/AviaTech-FoodpadDermatitisSept2012.pdf
- Do, J. C., Choi, I. H., & Nahm, K. H. (2005). Effects of chemically amended litter on broiler performances, atmospheric ammonia concentration and phosphorous solubility in litter. *Poultry Science*, 84, 679-686.

- Dorak, S. (2023). *Tuzlu ve kireçli toprak koşullarında biyokömür, vermikompost ve leonardit uygulamalarının etkinlikleri yönünden karşılaştırılması* [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
- Dunlop, M. W., McAuley, J., Blackall, P. J., & Stuetz, R. M., (2016). Water activity of poultry litter: relationship to moisture content during a grow-out. *Journal of Environmental Management*, 172, 201–206.
- Eleroğlu, H. ve Yalçın, H. (2004). Zeolitle karıştırılan altlığın etlik piliçlerde besi performansı ile bazı altlık parametreleri üzerine etkileri. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 5(1), 31-40.
- Eleroğlu, H., & Yalçın, H. (2005). Use of natural zeolite-supplemented litter increased broiler production. *South African Journal of Animal Science*, 35(2), 90-97.
- Ershadi, S. Z., Heidari, M. D., Dutta, B., Dias, G., & Pelletier, N. (2021). Comparative life cycle assessment of technologies and strategies to improve nitrogen use efficiency in egg supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105275.
- Eugene, B., Moore Jr, P. A., Li, H., Miles, D., Trabue, S., Burns, R., & Buser, M. (2015). Effect of alum additions to poultry litter on in-house ammonia and greenhouse gas concentrations and emissions. *Journal of Environmental Quality*, 44(5), 1530-1540.
- Ezenwosu, C., Udeh, V. C., & Onyimonyi, A. E. (2022). Litter treatment using zeolite as a management protocol to enhance broiler performance and control ammonia emission in broiler production in the humid tropics. *Asian Journal of Research and Review in Agriculture*, 4(1), 58–72.
- Faghihian, H., Maragheh, M. G., & Malekpour, A. (2002). Adsorption of radioactive iodide by natural zeolites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254, 545-550.
- Farrow, C., Crolla, A., Kinsley, C., & Mcbean, E. (2016). Anaerobic digestion of chicken manure: Process optimization employing struvite precipitation and novel digestion technologies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(1), 73-82.
- Faulkner, W. B., & Shaw, B. W. (2008). Review of ammonia emission factors for United States animal agriculture. *Atmospheric Environment*, 42, 6567–6574.
- Ferreira, S., Pinheiro, V., Outor-Monteiro, D., Borges, J., Pereira, J. L., Trindade, H. (2018, August, 27-30). *Use of additives for reducing ammonia volatilization in poultry production - effect on the performances of broilers*. 28° Congresso Brasileiro de Zootecnia, Goiânia, Brasil.
- Follett, R. F., & Hatfield, J. L. (Eds). (2001). *Gaseous nitrogen emissions from livestock farming systems*, Elsevier.
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J. (2003). The nitrogen cascades. *Bioscience*, 53, 341–356.
- Gates, R. S., Xin, H., & Wheeler, E. F. (2002, October, 28-30). *Ammonia Losses, Evaluations and Solutions for Poultry Systems*. National Poultry Waste Management Symposium, Birmingham, AL.
- Gerlach, H., & Schmidt, H. P. (2012). Biochar in poultry farming. *Ithaka Journal*, 2012(1), 262-264.

- Gilmour, J. T., Koehler, M. A., Cabrera, M. L., Szajdak, L., & Moore Jr, P. A. (2004). Alum treatment of poultry litter: Decomposition and nitrogen dynamics. *Journal of Environmental Quality*, 33(1), 402-405.
- Gislon, G., Ferrero, F., Bava, L., Borreani, G., Dal Prà, A., Pacchioli, M. T., Sandrucci, A., Zucali, M., & Tabacco, E. (2020). Forage systems and sustainability of milk production: feed efficiency, environmental impacts and soil carbon stocks. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121012.
- Gonzalez-Mora, A. F., Rousseau, A. N., Loyon, L., Guiziou, F., & Cécicourt, P. (2024). Leveraging the use of mechanistic and machine learning models to assess interactions between ammonia concentrations, manure characteristics, and atmospheric conditions in laying-hen manure storage under laboratory conditions. *In Intelligence Systems for Earth, Environmental and Planetary Sciences* (pp. 229-259). Elsevier.
- Graves, C. L. L. (2023). *Evaluating Acidified Miscanthus Biochar as a Broiler Litter Amendment for Ammonia Control*. [Master of Science Dissertation, North Carolina State University].
- Guo, M., Uchimiya, S. M., & He, Z. (Eds.) (2016). *Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers*. Soil Science Society of America Special Publication.
- Gülen, J., Zorbay, F. ve Arslan, S. (2012). Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 63-68.
- Halkman, A. K. (Ed.) (2019) *Gıda Mikrobiyolojisi*. Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Hunolt, A. E., Maguire, R. O., Ogejo, J. A., Badgley, B. D., Frame, W. H., & Reiter, M. S. (2015). Multiple applications of sodium bisulfate to broiler litter affect ammonia release and litter properties. *Journal of Environmental Quality*, 44(6), 1903-1910.
- Idowu, O. M. O. (2011). The effect of graded levels of magnesium sulphate (MgSO₄) in practical broiler starter diets in the humid tropics. *Nigerian Journal of Animal Production*, 38(2), 122-138.
- Ismael, E., & Ismail, E. M. (2021). Effectiveness of sodium bisulfate and calcium carbonate litter amendments on the microbial load of broiler built-up litter. *SVU-International Journal of Veterinary Sciences*, 4(2), 1-10.
- Işık, Ö., & Kırkpınar, F. (2020). The effect of feeding on environmental pollutant emissions in broiler production. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(1), 234-238.
- Janczak, D., Malińska, K., Czekala, W., Cáceres, R., Lewicki, A., & Dach, J. (2017). Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. *Waste Management*, 66, 36-45.
- Jha, B., & Singh, D. N. (2011). A review on synthesis, characterization and industrial applications of flyash zeolites. *Journal of materials Education*, 33(1), 65.
- Jha, S., Okolie, J. A., Nanda, S., & Dalai, A. K. (2022). A review of biomass resources and thermochemical conversion technologies. *Chemical Engineering & Technology*, 45(5), 791-799.

- Jiang, J., Stevenson, D. S., Uwizeye, A., Tempio, G., & Sutton, M. A. (2021). A climate-dependent global model of ammonia emissions from chicken farming. *Biogeosciences*, 18, 135–158.
- Jindo, K., Suto, K., Matsumoto, K., García, C., Sonoki, T., & Sanchez-Monedero, M. A. (2012). Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresource technology*, 110, 396-404.
- Joerger, R. D., Ganguly, A., de Los Santos, M., & Li, H. (2020). Effect of sodium bisulfate amendments on bacterial populations in broiler litter. *Poultry Science*, 99(11), 5560-5571.
- Johnson, T. M., & Murphy, B. (2008). Use of sodium bisulfate to reduce ammonia emissions from poultry and livestock housing. In *Proceedings of the Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations. Conference Proceedings, Des Moines, IA. Iowa State University* (pp. 74-78).
- Johnson, J., Zwirzitz, B., Oladeinde, A., Milfort, M., Looft, T., Chai, L., Zock, G., Sommers, M., Tunim, S., & Aggrey, S. E. (2021). Succession patterns of the bacterial community in poultry litter after bird removal and sodium bisulfate application. *Journal of Environmental Quality*, 50(4), 923-933.
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press.
- Kalus, K., Koziel, J. A., & Opaliński, S. (2019). A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. *Applied Sciences*, 9(17), 3494.
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359–378.
- Karamanlis, X., Fortomaris, P., Arsenos, G., Dosis, I., Papaioannou, D., Batzios, C., & Kamarianos, A. (2008). The effect of a natural zeolite (clinoptilolite) on the performance of broiler chickens and the quality of their litter. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(11), 1642-1650.
- Kelleher, B. P., Leahy, J. J., Henihan, A. M., O'Dwyre, T. F., Sutton, D. & Leahy, M. J. (2002). Advances in poultry litter disposal – A review. *Bioresource Technology*, 83, 27-36.
- Kılıç, İ. ve Şimşek, E. (2009). Hayvan barınaklarından kaynaklanan gaz emisyonları ve çevresel etkileri. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 14(2).
- Kılıç, U. (2023). *Yumurta tavuğu kümesinde amonyak emisyonlarının yapay sinir ağıları kullanılarak tahmin edilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Kılıç, I., Uguz, S., & Asik, B. B. (2014). Soil pollution by trace metals derived from animal feed and manure in the Bursa region of Turkey. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96(10), 1476-1488.
- Kim, W. K., & Patterson, P. H. (2003). Effect of minerals on activity of microbial uricase to reduce ammonia volatilization in poultry manure. *Poultry Science*, 82, 223–231.
- Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (2013, 12 Ağustos). *Resmi Gazete* (Sayı: 28733). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18709&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

- Kołodzyńska, D., Bąk, J., Majdańska, M., & Fila, D. (2018). Sorption of lanthanide ions on biochar composites. *Journal of Rare Earths*, 36(11), 1212-1220.
- Kundu, P., Debsarkar, A., Mukherjee, S., & Kumar, S. (2014). Artificial neural network modelling in biological removal of organic carbon and nitrogen for the treatment of slaughterhouse wastewater in a batch reactor. *Environmental Technology*, 35(10), 1296-1306.
- Kunes, R., Havelka, Z., Olsan, P., Smutny, L., Filip, M., Zoubek, T., Bumbalek, R., Petrovic, Bojana, Stehlik, R., & Bartos, P. (2022). A Review: Comparison of approaches to the approval process and methodology for estimation of ammonia emissions from livestock farms under IPPC. *Atmosphere*, 13(12), 2006.
- Küçükönder, H., Boyacı, S., & Akyüz, A. (2016). A modeling study with an artificial neural network: developing estimation models for the tomato plant leaf area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(2), 203-212.
- Küçüktopcu, E., & Cemek, B. (2021). Comparison of neuro-fuzzy and neural networks techniques for estimating ammonia concentration in poultry farms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105699.
- Li, H., Xin, H., & Burns, R. T. (2006). *Reduction of ammonia emission from stored poultry manure using additives: Zeolite, Al⁺ Clear, Ferix-3 and PLT*. (Paper No. 064188). In 2006 ASAE Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Li, H., Xin, H., Liang, Y., & Burns, R. T. (2008). Reduction of ammonia emissions from stored laying hen manure through topical application of zeolite, Al⁺ Clear, Ferix-3, or poultry litter treatment. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(4), 421-431.
- Li, X., Lin, C., Wang, Y., Zhao, M., & Hou, Y. (2010). Clinoptilolite adsorption capability of ammonia in pig farm. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1598-1612.
- Li, R., Wang, J. J., Zhang, Z., Shen, F., Zhang, G., Qin, R., Li, X., & Xiao, R. (2012). Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. *Bioresource Technology*, 121, 362-368.
- Li, H., Lin, C., Collier, S., Brown, W., & White-Hansen, S. (2013). Assessment of frequent litter amendment application on ammonia emission from broilers operations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(4), 442-452.
- Li, M. M., Sengupta, S., & Hanigan, M. D. (2019). Using artificial neural networks to predict pH, ammonia, and volatile fatty acid concentrations in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 8850-8861.
- Liang, Y., Xin, H., Li, H., Koziel, J. A., & Cai, L. (2005). Evaluation of treatment agents and diet manipulation for mitigating ammonia and odor emissions from laying hen manure. (Paper No. 054160). In 2005 ASAE Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Lim, J. E., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2015). Efficiency of poultry manure biochar for stabilization of metals in contaminated soil. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 58(1), 39-50.
- Lin, C. (2014). *Mitigating ammonia emission from broilers with frequent litter amendment application* [Doctoral dissertation, University of Delaware].

- Liu Z., Wang, L., Beasley, D., & Oviedo, E. (2007). Effect of moisture content on ammonia emissions from broiler litter: A laboratory study. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 58(1), 41–53.
- Liu, S., Ni, J. Q., Heber, A. J., & Liang, W. Z. (2019). Modeling of dynamic ammonia concentrations in two commercial layer hen houses. *Journal of Environmental Informatics*, 33(1), 56-67.
- Madrid, J., López, M. J., Orengo, J., Martínez, S., Valverde, M., Megías, M. D., & Hernández, F. (2012). Effect of aluminum sulfate on litter composition and ammonia emission in a single flock of broilers up to 42 days of age. *Animal*, 6(8), 1322-1329.
- Maguire, R. O., & Sims, J. T. (2002). Soil testing to predict phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1601-1609.
- McCrary, D. F., & Hobbs, P. J. (2001). Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review. *Journal of Environmental Quality*, 30(2), 345-355.
- Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., & Baran, A. (2016). Effect of poultry litter biochar on soil enzymatic activity, ecotoxicity and plant growth. *Applied Soil Ecology*, 105, 144-150.
- Miles, D. M., Branton, S. L., & Lott, B. D. (2004). Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poultry Science*, 83, 1650-1654.
- Miles, D. M., Rowe, D. E., Cathcart, T. C. (2011a). Litter ammonia generation: moisture content and organic versus inorganic bedding materials. *Poultry Science*, 90, 1162–1169.
- Miles, D. M., Rowe, D. E., & Cathcart, T. C. (2011b). High litter moisture content suppresses litter ammonia volatilization. *Poultry Science*, 90, 1397–1405.
- Mitroi, R., Stoian, O., Covaliu, C. I., & Manea, D. (2021). Pollutants resulting from intensive poultry farming activities and their impact on the environment. *In E3S Web of Conferences*, 286, 03018.
- Moore Jr, P. A., & Miller, D. M. (1994). Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium, and iron amendments. *Journal of Environmental Quality*, 23(2), 325-330.
- Moore Jr, P. A., Daniel, T., & Edwards, D. R. (2000). Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate. *Journal of Environmental Quality*, 29(1), 37-49.
- Molaey, R., Bayrakdar, A., Sürmeli, R. Ö., & Çalli, B. (2018). Anaerobic digestion of chicken manure: Mitigating process inhibition at high ammonia concentrations by selenium supplementation. *Biomass and Bioenergy*, 108, 439-446.
- Mondaca, M. R., Choi, C. Y., & Cook, N. B. (2019). Understanding microenvironments within tunnel-ventilated dairy cow freestall facilities: Examination using computational fluid dynamics and experimental validation. *Biosystems Engineering*, 183, 70–84.
- Montes, F., Rotz, C. A., & Chaoui, H. (2009). Process modeling of ammonia volatilization from ammonium solution and manure surfaces: A review with recommended Models. *Transactions of the ASABE*, 52(5), 1707–1720.
- Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500-506.

- Moshoeshoe, M., Nadiye-Tabbiruka, M. S., & Obuseng, V. (2017). A review of the chemistry, structure, properties and applications of zeolites. *American Journal of Materials Science*, 7(5), 196-221.
- Nahm, K. H. (2007). Feed formulations to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresource Technology*, 98(12), 2282-2300.
- Nakaue, H. S., Koelliker, J. K. & Pierson, M. L. (1981). Studies with clinoptilolite in poultry: II. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite zeolite on clean and reused broiler litter on broiler performance and house environment. *Poultry Science*, 60, 1221–1228.
- Naseem, S., & King, A. J. (2018). Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment—techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15269-15293.
- National Institute for Occupational Safety & Health. (2007). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. Erişim adresi: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/21265>
- Ndegwa, P. M., Hristov, A. N., Arogo, J. & Sheffield, R. E. (2008). A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosystems Engineering*, 100, 453-469.
- Ndegwa, P. M., Vaddella, V. K., Hristov, A. N. & Joo, H. S. (2009). Measuring concentrations of ammonia in ambient air or exhaust air stream using acid traps. *Journal of Environmental Quality*, 38, 648-653.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 539-579.
- Nesheim, M. C., Austic, R. E., & Card, L. E. (1979). Poultry Production. *12th. Ed. Lea and Febriger. Philadelphia.*
- Ni, J. Q., Heber, A. J., Hanni, S. M., Lim, T. T., & Diehl, C. A. (2010). Characteristics of ammonia and carbon dioxide releases from layer hen manure. *British Poultry Science*, 51(3), 326-334.
- Ni, J. Q., Chai, L., Chen, L., Bogan, B. W., Wang, K., Cortus, E. L., Heber, A. J., Lim, T. T., & Diehl, C. A. (2012). Characteristics of ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and particulate matter concentrations in high-rise and manure-belt layer hen houses. *Atmospheric Environment*, 57, 165-174.
- Ni, J. Q. (2015). Research and demonstration to improve air quality for the U.S. animal feeding operations in the 21st century – a critical review. *Environmental Pollution*, 200, 105–119.
- Ni, J. Q., Erasmus, M., Jones, D. R., & Campbell, D. L. (2023). Effectiveness and characteristics of a new technology to reduce ammonia, carbon dioxide, and particulate matter pollution in poultry production with artificial turf floor. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 102976.
- Nuernberg, G. B., Moreira, M. A., Ernani, P. R., Almeida, J. A., & Maciel, T. M. (2016). Efficiency of basalt zeolite and Cuban zeolite to adsorb ammonia released from poultry litter. *Journal of environmental management*, 183, 667-672.
- Nyazika, T., Jimenez, M., Samyn, F., & Bourbigot, S. (2019). Pyrolysis modeling, sensitivity analysis, and optimization techniques for combustible materials: a review. *Journal of Fire Sciences*, 37, 377–433.

- Occupational Safety and Health Administration (2020). Ammonia. Erişim adresi: <https://www.osha.gov/chemicaldata/623>
- Oenema, O., Oudendag, D., & Velthof, G. L. (2007). Nutrient losses from manure management in the European Union. *Livestock Science*, *112*, 261–272.
- Okano, Y., Hristova, K. R., Leutenegger, C. M., Jackson, L. E., Denison, R. F., Gebreyesus, B., Lebauer, D., & Scow, K. M. (2004). Application of real-time PCR to study effects of ammonium on population size of ammonia-oxidizing bacteria in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, *70*(2), 1008–1016.
- Oliveira, M. C. D., Almeida, C. V., Andrade, D. O., & Rodrigues, S. M. M. (2003). Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *32*, 951-954.
- Ortíz, F. A. Q., Valenzuela, J. T., & Reyes, C. A. R. (2011). Zeolitisation of Neogene sedimentary and pyroclastic rocks exposed in Paipa (Boyacá), in the Colombian Andes: Simulating their natural formation conditions. *Earth Sciences Research Journal*, *15*(2), 89–100.
- Pakari, A., & Ghani, S. (2021). Comparison of different mechanical ventilation systems for dairy cow barns: CFD simulations and field measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, *186*, 106207.
- Patterson, P. H., & Adrizal. (2005). Management strategies to reduce air emissions: emphasis – dust and ammonia. *Journal of Applied Poultry Research*, *14*(3), 638-650.
- Pereira, J. L., Ferreira, S., Pinheiro, V., & Trindade, H. (2019a). Effect of magnesium sulphate addition to broiler litter on the ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from housing. *Atmospheric Pollution Research*, *10*(4), 1284-1290.
- Pereira, J. L., Ferreira, S., Pinheiro, V., & Trindade, H. (2019b). Ammonia and greenhouse gas emissions following the application of clinoptilolite on the litter of a breeding hen house. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(8), 8352-8357.
- Pereira, J. L., Figueiredo, V., Pinto, A. F., Silva, M. E., Brás, I., Perdigão, A., & Wessel, D. F. (2020). Effects of biochar and clinoptilolite on composition and gaseous emissions during the storage of separated liquid fraction of pig slurry. *Applied Sciences*, *10*(16), 5652.
- Pereira, J. L., Perdigão, A., Marques, F., Wessel, D. F., Trindade, H., & Figueiro, D. (2022). Mitigating ammonia and greenhouse gas emissions from stored pig slurry using chemical additives and biochars. *Agronomy*, *12*(11), 2744.
- Pope, M. J., & Cherry, T. E. (2000). An evaluation of the presence of pathogens on broilers raised on poultry litter treatment-treated litter. *Poultry Science*, *79*, 1351-1355.
- Puga, A. P., Abreu, C., Melo, L. C. A., & Beesley, L. (2015). Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *Journal of Environmental Management*, *159*, 86-93.
- Querol, X., Moreno, N., Umaña, J. T., Alastuey, A., Hernández, E., Lopez-Soler, A., & Plana, F. (2002). Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. *International Journal of Coal Geology*, *50*(1-4), 413-423.

- Rabbani, G., Hossain, M. F., & Parveen, Z. (2020). Morphological properties and nutrient status of different waste derived slow pyrolyzed biochars. *World Journal of Agriculture & Soil Science*, 6, 1-8.
- Rahmani, F., Haghghi, M., & Amini, M. (2015). The beneficial utilization of natural zeolite in preparation of Cr/clinoptilolite nanocatalyst used in CO₂-oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 142-155.
- Ratner, M. A., & Ratner, D. (2003). *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. Prentice Hall Professional.
- Reece, F. N., Lott, B. D., & Deaton, J. W. (1980). Ammonia in the atmosphere during brooding affects performance of broiler chickens. *Poultry Science*, 59(3), 486-488.
- Regueiro, I., Coutinho, J., Gioelli, F., Balsari, P., Dinuccio, E., & Fanguero, D. (2016). Acidification of raw and co-digested pig slurries with alum before mechanical separation reduces gaseous emission during storage of solid and liquid fractions. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 227, 42–51.
- Rhoades, M. B., Parker, D. B., Cole, N. A., Todd, R. W., Caraway, E. A., Auvermann, B. W., Topliff, D. R., & Schuster, G. L. (2010). Continuous ammonia emission measurements from a commercial beef feedyard in Texas. *Transactions of the ASABE*, 53(6), 1823-1831.
- Ritz, C. W., Fairchild, B. D., & Lacy, M. P. (2004). Implications of ammonia production and emissions from commercial poultry facilities: A review. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(4), 684-692.
- Robarge, W. P., Edwards, A., & Johnson, B., (1983). Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14, 1207- 1215.
- Rockafellow, E. M., Koziel, J. A., & Jenks, W. S. (2012). Laboratory-scale investigation of UV treatment of ammonia for livestock and poultry barn exhaust applications. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 281-288.
- Rodić, V., Perić, L., Đukić-Stojčić, M., & Vukelić, N. (2011). The environmental impact of poultry production. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(4), 1673-1679.
- Roll, V. F. B., Dai Pra', M. A., & Roll, A. P. (2011). Research on Salmonella in broiler litter reused for up to 14 consecutive flocks. *Poultry Science*, 90(10): 2257–2262.
- Rothrock Jr, M. J., Cook, K. L., Warren, J. G., & Sistani, K. (2008). The effect of alum addition on microbial communities in poultry litter. *Poultry science*, 87(8), 1493-1503.
- Ruben, G. B., Yuebo, X., & Samuel, A. A. A. (2016). Estimation of ammonia-nitrogen (NH₃-N) using an artificial neural networks under bacterial technology. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(1), 37.
- Sadhu, J. (2005). *Evaluation of economic gains to broiler producers by modulating ventilation and using alum for ammonia control*. [Master of Science Dissertation, Oklahoma State University].
- Sahoo, S. P., Kaur, D., Sethi, A. P. S., Sharma, A., Chandra, M., & Chandrabas. (2017). Effect of chemically amended litter on litter quality and broiler performance in winter. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 533-537.

- Sanchis, E., Calvet, S., del Prado, A., & Estellés, F. (2019). A meta-analysis of environmental factor effects on ammonia emissions from dairy cattle houses. *Biosystems Engineering*, 178, 176-183.
- Saravanan, K. (2018). A Study on the concept of reutilization of litter in broiler poultry farms. *International Journal of Engineering Research and General Science* 6, 30–34.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2020). *Çevre mühendisliği ve bilimi için kimya*. (İsmail Toröz, Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık (Orijinal eserin basım tarihi 2003)
- Schneider, A. F., Almeida, D. D., Yuri, F. M., Zimmermann, O. F., Gerber, M. W., & Gewehr, C. E. (2016). Natural zeolites in diet or litter of broilers. *British Poultry Science*, 57(2), 257-263.
- Şekeroğlu, A., Eleroğlu, H., Sarıca, M., & Camcı, Ö. (2013). Yerde üretimde kullanılan altlık materyalleri ve altlık yönetimi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10, 25-34.
- Senyondo, N. S. (2013). *Mitigation of ammonia emissions from broiler houses using a biodegradable litter amendment* [Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University].
- Shah, S., Westerman, P., & Parsons, J. (2012). Poultry litter amendments. Air Quality Education in Animal Agriculture.
- Sheng, J., Adeli, A., & Miles, D. M. (2015). Effects of N and P immobilizing agents on ammonia emissions and nutrient contents of broiler litter. *JSM Environmental Science and Ecology*, 3(2), 1017.
- Sims, J. T., & Luka-McCafferty, N. J. (2002). On-farm evaluation of aluminum sulfate (alum) as a poultry litter amendment: Effects on litter properties. *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 2066-2073.
- Sigurdarson, J. J., Svane, S., & Karring, H. (2018). The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 17(2), 241-258.
- Solorzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by the Phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14, 799-801.
- Spiehs, M. J., Woodbury, B. L., & Parker, D. B. (2019). Ammonia, hydrogen sulfide, and greenhouse gas emissions from lab-scaled manure bedpacks with and without aluminum sulfate additions. *Environments*, 6(10), 108.
- Steiner, C., Das, K. C., Melear, N., & Lakly, D. (2010). Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1236-1242.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow - environmental issues and options*. United Nations Food and Agriculture Organization.
- Stowell, R. (2018). Ammonia loss and emission reporting: Considerations for cattle operations. Erişim adresi: <https://water.unl.edu/article/animal-manure-management/ammonia-loss-and-emission-reporting>
- Sun, H., Pan, Y., Zhao, Y., Jackson, W., Nukles, L., Malkina, I., Antega, V. & Mitloehner, F. (2008). Effects of sodium bisulfate on alcohol, amine, and ammonia emissions from dairy slurry. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 608-614.

- Sutton, M. A., Erisman, J. W., Dentener, F., & Möller, D. (2008). Ammonia in the environment: From ancient times to the present. *Environmental Pollution*, 156(3), 583-604.
- Takma, Ç., Atil, H., & Aksakal, V. (2012). Çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı modellerinin laktasyon süt verimlerine uyum yeteneklerinin karşılaştırılması. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(6).
- Tallentire, C. W., Mackenzie, S. G., & Kyriazakis, I. (2017). Environmental impact trade-offs in diet formulation for broiler production systems in the UK and USA. *Agricultural Systems*, 154, 145-156.
- Tasistro, A. S., Ritz, C. W., & Kissel, D. E. (2007). Ammonia emissions from broiler litter: response to bedding materials and acidifiers. *British Poultry Science*, 48(4), 399-405.
- Tavar, M., Rabbani, H., Gholami, R., Ahmadi, E., & Kurtulmus, F. (2024). Investigating the effect of packaging conditions on the properties of peeled garlic by using artificial neural network (ANN). *Packaging Technology and Science*, 37(8), 755-767.
- Terzich, M., Quarles, C., Goodwin, M. A., & Brown, J. (1998). Effect of poultry litter treatment (PLT) on death due to ascites in broilers. *Avian Diseases*, 42(2), 385-387.
- The America Conference of Governmental Industrial Hygienists (2020). Documentation of the Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs) - Ammonia. Erişim adresi: <https://www.acgih.org/ammonia/>
- Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (2000). Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environmental Pollution* 110, 535-541.
- Trampel, D. W., Hasiak, R. J., Hoffman, L. J., & Debey, M. C. (2000). Recovery of Salmonella from water, equipment, and carcasses in turkey processing plants. *Journal of Applied Poultry Research*, 9(1), 29-34.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2024). Kümes Hayvancılığı Üretimi. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=80&locale=tr>
- USEPA. (1995). Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods.
- USEPA. (2001). United State Environmental Protection Agency, *Emissions from Animal Feeding Operations*. Erişim Tarihi: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/draftanimalfeed.pdf>
- USEPA. (2022). United State Environmental Protection Agency, *Ammonia*. Erişim adresi: <https://www.epa.gov/caddis-vol2/ammonia>
- Vaddella, V. K., Ndegwa, P. M., Ullman, J. L., & Jiang, A. (2013). Mass transfer coefficients of ammonia for liquid dairy manure. *Atmospheric Environment*, 66, 107-113.
- Van der Heyden, C., Demeyer, C., & Volcke, E. I. P. (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: state-of-the-art and perspectives. *Biosystems Engineering*, 134, 74-93.
- Vazquez-Cruz, M. A., Luna-Rubio, R., Contreras-Medina, L. M., TorresPacheco, I., & Guevara-Gonzalez, R. G. (2012). Estimating the response of tomato (*Solanum lycopersicum*) leaf area to changes in climate and salicylic acid applications by means of Artificial Neural Networks. *Biosystems Engineering*, 112, 319-327.

- Vicente, J. L., Higgins, S. E., Hargis, B. M., & Tellez, G. (2007). Effect of poultry guard litter amendment on horizontal transmission of Salmonella Enteritidis in broiler chicks. *International Journal of Poultry Science*, 5, 314-317.
- Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., Wang, M., Chen, H., & Zhang, Z. (2018). Combining biochar, zeolite and wood vinegar for composting of pig manure: The effect on greenhouse gas emission and nitrogen conservation. *Waste Management*, 74, 221-230.
- Wang, J., Guo, Y., Peng, S., Wang, Y., Zhang, W., Zhou, X., Jiang, L., & Lai, B. (2024). Prediction of effluent ammonia nitrogen in wastewater treatment plant based on self-organizing hybrid neural network. *Journal of Water Process Engineering*, 59, 104930.
- Watanabe, F. S., & Olsen, S. R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), 677-678.
- Wei, F. X., Hu, X. F., Sa, R. N., Liu, F. Z., Li, S. Y., & Sun, Q. Y. (2014). Antioxidant capacity and meat quality of broilers exposed to different ambient humidity and ammonia concentrations. *Genetics and Molecular Research*, 13, 3117-3127.
- Weiss, A. (2015). *Effects of acidic litter amendments with multiple application on ammonia, microbial environment, production performances, and health of broilers*. [Master of Science dissertation, University of Delaware].
- Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A., & Singh, S. (2014). Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 146, 189-197.
- Wlazło, Ł., Nowakowicz-Dębek, B., Kapica, J., Kwiecień, M., & Pawlak, H. (2016). Removal of ammonia from poultry manure by aluminosilicates. *Journal of Environmental Management*, 183, 722-725.
- Wood, D. J., & Van Heyst, B. J. (2016). The effects of PLT Poultry litter treatment on ammonia and particulate matter emissions in a commercial turkey grow-out facility. *Transactions of the ASABE*, 59(3), 983-991.
- Wu-Haan, W., Powers, W. J., Angel, C. R., Hale III, C. E., & Applegate, T. J. (2007). Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poultry Science*, 86(1), 182-190.
- Xin, H., Gates, R. S., Green, A. R., Mitloehner, F. M., Moore Jr., P. A., & Wathes, C. M. (2011). Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry Science*, 90, 263-277.
- Xing, Y.-F., Xu, Y.-H., Shi, M.-H., & Lian, Y.-X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, 8(1), E69-E74.
- Yakubu, A., Oluremi, O. I. A., & Ekpo, E. I. (2018). Predicting heat stress index in Sasso hens using automatic linear modeling and artificial neural network. *International Journal of Biometeorology*, 62(7), 1181-1186.
- Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2021a). Mitigation of ammonia from litter by additives in poultry houses. D. Kavak (Ed.), *Current Engineering Sciences Research* (pp. 103-116). Lyon: Livre de Lyon.
- Yaylı, B., & Kılıç, İ. (2021b). Determination of nitrogen pollution amount from livestock breeding in Turkey. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1250-1257.

- Yelmen, B., Şahin, H., & Cakir, M. T. (2019). The use of artificial neural networks in energy use modeling in broiler farms: a case study of Mersin province in the Mediterranean region. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(6), 13169-13183.
- Youssef, I. M. I., Beineke, A., Rohn, K., & Kamphues, J. (2010). Experimental study on effects of litter material and its quality on foot pad dermatitis in growing turkeys. *International Journal of Poultry Science*, 9, 1125-1135.
- Zhang, Z., Zhu, Z., Shen, B., & Liu, L. (2019). Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. *Energy*, 171, 581-598.
- Zhou, S., Zhang, X., Liao, X., Wu, Y., Mi, J., & Wang, Y. (2019). Effect of different proportions of three microbial agents on ammonia mitigation during the composting of layer manure. *Molecules*, 24(13), 2513.
- Zikic, D., Djukic-Stojcic, M., Bjedov, S., Peric, L., Stojanovic, S., & Uscebrka, G. (2017). Effect of litter on development and severity of foot-pad dermatitis and behavior of broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19, 247-254.