

**HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ:
HAYVAN REFAHI, İŞ GÜVENLİĞİ, ÖLÇÜM
TEKNİKLERİ VE MODERN YÖNETİM
YAKLAŞIMLARI**

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Öğr. Gör. Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

ISBN: 978-625-5753-16-8

Ankara -2025

**HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ:
HAYVAN REFAHI, İŞ GÜVENLİĞİ, ÖLÇÜM TEKNİKLERİ
VE MODERN YÖNETİM YAKLAŞIMLARI**

YAZARLAR

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ¹

Öğr. Gör. Dr. Gülcan TÜRKOĞLU²

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Adana,
Türkiye

sgoncu@cu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-0360-2723

²Çukurova Üniversitesi, Adana MYO, Gıda İşleme Bölümü, Adana,
Türkiye

gturkoglu@cu.edu.tr

ORCID ID: 0009-0002-2955-4499

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17715394>



Copyright © 2025 by UBAK publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by

any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. UBAK International Academy of Sciences Association Publishing House®

(The Licence Number of Pubicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com

www.ubakyayinevi.org

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-5753-16-8

November / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Hayvancılık işletmelerinde hava kalitesi, hem hayvan refahı hem de çalışanların iş güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Kapalı barınakların yaygınlaşması, üretim yoğunluğunun artması ve modern işletmecilik teknikleri, hava kalitesinin sistematik olarak izlenmesini ve iyileştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kitap, hava kalitesini etkileyen faktörleri, ölçüm yöntemlerini, alınabilecek teknik ve organizasyonel önlemleri, ayrıca sektörde gelişen yeni teknolojileri bütüncül bir yaklaşımla ele almak amacıyla hazırlanmıştır.

Sekiz bölümden oluşan bu eser; hava kalitesinin hayvan refahı ve iş güvenliği üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde incelemekte, işletmelerde uygulanabilir iyileştirme stratejileri sunmakta ve modern izleme teknolojilerinin kullanımına ışık tutmaktadır.

Bu kitabın, araştırmacılar, öğrenciler ve sektörün farklı alanlarında görev yapan profesyoneller için hem bilgilendirici hem de uygulamada yol gösterici nitelikte değerli bir akademik başvuru kaynağı olacağını düşünüyoruz. Bu kitapta emeği geçen ve çalışmanın ortaya çıkmasına katkı sağlayan herkese gönülden teşekkür ederiz.

26.11.2025

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Öğr. Gör. Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 3

BÖLÜM 1

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAYVAN REFAHI VE İŞ
GÜVENLİĞİ AÇISINDAN HAVA KALİTESİ VE ALINABİLECEK
ÖNLEMLER.....(7-17)

BÖLÜM 2

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAYVAN REFAHI VE HAVA
KALİTESİ.....(18-22)

BÖLÜM 3

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN HAVA
KALİTESİ.....(23-25)

BÖLÜM 4

TÜRK HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ
PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....(26-30)

BÖLÜM 5

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ KONUSUNDA
ALINACAK TEKNİK ÖNLEMLER.....(31-39)

BÖLÜM 6

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ KONUSUNDA
ALINACAK ORGANİZASYONEL VE EĞİTSEL ÖNLEMLER.....(40-45)

BÖLÜM 7

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ AÇISINDAN
YENİ TEKNOLOJİLER VE İNOVATİF ÇÖZÜMLER.....(46-51)

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER.....(52-53)

KAYNAKLAR.....(54-64)

BÖLÜM 1

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAYVAN REFAHI VE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN HAVA KALİTESİ VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, küresel gıda güvenliğinin sağlanması ve ekonomik kalkınmanın desteklenmesi açısından kritik öneme sahip bir üretim alanıdır (FAO, 2020; Göncü ve ark. 2016). Bununla birlikte, hayvancılık işletmelerinde sürdürülebilir ve verimli üretim için sadece hayvanların beslenmesi ve bakımı değil, barındıkları ortamın çevresel koşulları da büyük önem taşır. Bu bağlamda, ahır ve kapalı hayvan barınaklarındaki hava kalitesi, hayvanların refahını, sağlık durumunu ve üretim performansını doğrudan etkileyen temel bir faktördür (Heinrichs, 2012). Hayvancılık işletmelerinde çalışan işçiler, mesleki maruziyetler nedeniyle çeşitli sağlık riskleri ile karşı karşıyadır. En sık görülen hastalıklar arasında solunum yolu hastalıkları (örneğin, organik tozlara bağlı kronik bronşit, astım, akciğer enfeksiyonları), zoonotik enfeksiyonlar (örneğin, bruselloz, leptospiroz, tüberküloz) ve deri hastalıkları (mantar enfeksiyonları, dermatit) yer almaktadır (Dosman ve ark., 2000; Thorn ve ark., 2014). Ayrıca, hayvancılıkta çalışanlarda biyolojik ajanlara ve kimyasal maddelere maruz kalma sonucu alerjik reaksiyonlar ve toksik etkiler de sıkça rapor edilmiştir

(Roussel ve ark., 2015). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının yetersiz olduğu durumlarda, bu hastalıkların görülme sıklığı artmakta ve çalışanların yaşam kalitesi olumsuz etkilenmektedir (Madsen ve ark., 2012). Hayvancılık işletmelerinde çalışanlar, kapalı ve yarı kapalı alanlarda uzun süre solunum yoluyla ortamdaki havaya maruz kalmaktadır. Bu ortamlarda biriken organik tozlar, amonyak, hidrojen sülfür, karbondioksit gibi zararlı gazlar, çalışanların sağlığını doğrudan tehdit eden unsurlar arasındadır (Rylander & Haglind, 1998; Madsen et al., 2012; Göncü, S. 2018). Kötü hava kalitesi;

- Solunum yolu hastalıkları (astım, kronik bronşit, hipersensitivite pnömonisi),
- Alerjik reaksiyonlar,
- Göz ve cilt tahrişi,
- Baş ağrısı, yorgunluk, konsantrasyon bozukluğu,
- İş kazalarında artış gibi sonuçlara yol açmaktadır (Donham, 2007; Hansson et al., 2002).

Özellikle amonyak gibi gazlar, düşük konsantrasyonlarda bile mukozal tahrişe neden olabilirken, hidrojen sülfür yüksek düzeyde toksik olup ani ölümlere yol açabilecek kadar tehlikelidir (Shusterman, 1992). Ayrıca, yüksek toz konsantrasyonu çalışanların görüş alanını kısıtlayarak, kazalara zemin hazırlar. İş güvenliği açısından değerlendirildiğinde, hava kalitesinin kötü olması, iş gücü kaybı, verimlilik düşüşü, sağlık giderlerinde artış ve iş kazası riskinin yükselmesi anlamına gelir. Bu nedenle, işletmelerde hava kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesi, hem çalışan sağlığını

korumak hem de işletme performansını sürdürülebilir kılmak için temel bir gerekliliktir (OSHA, 2020).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hayvansal protein tüketiminin artması ve hayvancılık sektöründeki gelişmeler sonucunda, hayvansal üretim işletmeleri artık küçük aile işletmeleri şeklindeki yaygın ve düşük yoğunluklu (ekstansif) üretimden, daha fazla sayıda hayvanın barındırıldığı ya da büyük kapasiteli işletmeler şeklindeki yoğun (entansif) üretim sistemlerine doğru bir dönüşüm yaşanmıştır. Bu üretim sistemlerindeki değişim, hayvansal üretim faaliyetlerinin endüstriyel boyuta ulaşmasına yol açmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1997 yılı tarım sayımlarına göre, 1000 baş kapasiteli besi sığırlı işletmelerinin yalnızca %2'si, pazarda satılan toplam kırmızı etin %80'ini üretmektedir. Benzer şekilde, broyler yetiştiriciliği yapan işletmelerin %11'i, ülke genelinde üretilen beyaz etin yarısını sağlamaktadır (Anonim, 2005).

Hayvancılık işletmelerinde yaşanan bu yapısal dönüşüm, hayvan barınaklarının çevre üzerindeki etkilerini artırmakta ve çevre örgütleri tarafından eleştirilmektedir. Büyük ve endüstriyel işletmelerde barınaklardan kaynaklanan atıklar, iç ortam havasının hızla kirlenmesine neden olarak hem barınaktaki hayvanların hem de çalışanların sağlığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, barınak içinde oluşan gazlar ve partiküler maddeler gibi kirlleticiler, havalandırma yoluyla dış çevreye salınmakta ve çevresel sorunlara yol açmaktadır.

Farklı hayvancılık türlerinde, üretim hedeflerine bağlı olarak barınak yapıları, yem rasyonları ve gübre yönetim sistemleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak

barınak içinde oluşan mikrobiyal ortam ve ortaya çıkan kirleticilerin türleri de yetiştiricilik türüne göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda amonyak (NH₃), diazot oksit (N₂O), hidrojen sülfür (H₂S), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), partiküler madde (PM) ve uçucu organik bileşikler (VOC) gibi kirleticilerin hangi hayvancılık türlerinde önemli miktarlarda oluştuğu belirtilmiştir.

Çizelge 1. Hayvancılık barınak içi ideal hava parametreleri

Parametre	İdeal Değer Aralığı	Açıklama
Sıcaklık (°C)	10 – 25 °C	Hayvan türüne göre değişmekle birlikte çoğunlukla konfor aralığıdır (Heederik ve ark., 2007).
Göreceli Nem (%)	%50 – %70	Nem oranının dengede tutulması solunum sağlığı için önemlidir (Berckmans, 2017).
Amonyak (NH ₃) Konsantrasyonu (ppm)	≤ 10 ppm	Uzun süreli yüksek maruziyet sağlık sorunlarına yol açar (Donham ve ark., 2002).
Karbon Dioksit (CO ₂) Konsantrasyonu (ppm)	≤ 3000 ppm	Yüksek CO ₂ seviyeleri stres yaratır (Misselbrook ve ark., 2016).
Partiküler Madde (PM ₁₀) (µg/m ³)	≤ 150 µg/m ³	Toz seviyeleri solunum hastalıkları riskini etkiler (Heederik ve ark., 2007).
Hava Değişim Hızı (h ⁻¹)	4 – 12 değişim/saat	Yeterli havalandırma için gereklidir (Misselbrook ve ark., 2016).
Hava Hızı (m/s)	0.2 – 0.5	Çok yüksek hız hayvanları rahatsız eder (Berckmans, 2017).
Hava Basıncı	Dış ortama yakın	Dengeli basınç sağlanmalıdır (Donham ve ark., 2002).

Kapalı hayvancılık işletmelerinde hava kalitesi, hayvan refahı ve verimliliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle yüksek amonyak (NH₃) konsantrasyonu, hayvanların solunum yollarında irritasyona neden olmakta, bağışıklık sistemini zayıflatmakta ve solunum yolu enfeksiyonlarına zemin hazırlamaktadır (Seedorf et al., 1998). Toz ve partikül madde, yemleme ve yataklık uygulamalarından

kaynaklanarak bronkopulmoner rahatsızlıkların artmasına yol açmaktadır (Donham et al., 2002). Ayrıca, yetersiz havalandırma koşullarında biriken karbondioksit (CO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) gibi gazlar, hem hayvan hem de çalışan sağlığını tehlikeye atabilmektedir (Phillips et al., 1996). Özellikle sıcak ve nemli ortamlarda artan ısı stresi, süt veriminde düşüş, yem tüketiminde azalma ve fertilitte bozukluklarıyla ilişkilidir (West, 2003). Bu bağlamda, hayvan barınaklarının doğal veya mekanik yollarla yeterince havalandırılması, ortam havasındaki gazların seyreltilmesi ve termal konforun sağlanması, sürdürülebilir hayvancılık uygulamalarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Hayvancılıkta hava kalitesi, özellikle organik toz, amonyak (NH_3), karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve diğer zararlı gazların yoğunluğunun kontrolüyle ilişkilidir. Bu gazlar ve partiküller, yetersiz havalandırma veya uygun olmayan barınak yönetimi durumlarında birikerek hem hayvanlarda hem de çalışanlarda sağlık sorunlarına yol açabilir (Donham, 2007; Rylander & Haglind, 1998). İş sağlığı açısından değerlendirildiğinde, hayvanlarla birlikte çalışan işçilerin maruz kaldığı kötü hava koşulları, solunum yolu hastalıkları, alerjik reaksiyonlar ve kronik rahatsızlıkların gelişme riskini artırmakta, iş verimliliğini ve güvenliğini olumsuz etkilemektedir (Madsen ve ark., 2012).

Hayvan barınaklarından kaynaklanan gazlar ve partiküller maddeler, yerel, bölgesel, ulusal ve hatta küresel ölçekte atmosferde kirliliğe ve çeşitli çevresel problemlere yol açabilir. Özellikle barınak çevresinde yükselen amonyak (NH_3) kaynaklı oksitlenmiş veya

indirgenmiş azot (N) konsantrasyonları aşağıdaki olumsuz etkilerle ilişkilendirilmektedir (Jongbloed ve ark., 1999; Arogo ve ark., 2006):

- İçme sularında nitrat kirliliğine sebep olur.
- Su yüzeylerinde ve su kütlelerinde ötröfikasyona yol açarak, zararlı alglerin çoğalması sonucunda su kalitesini düşürür.
- Diazot oksit (N_2O) oluşumuna katkıda bulunarak iklim değişimine neden olur.
- Toprakta nitrifikasyon ve yıkanma süreçleriyle asidifikasyona ve orman topraklarında azot doygunluğuna (N saturasyonu) sebep olur.

Atmosferde yüksek konsantrasyonlarda bulunan NH_3 gazı, ekosistemde aşırı gübreleme, asidifikasyon ve ötröfikasyon süreçlerini tetikler. NH_3 salımları, asit yağmurlarının oluşmasına yol açan asidifikasyona zemin hazırlar. Örneğin, Hollanda'da 1989 yılında toplam asit birikiminin yaklaşık %45'inin amonyaktan kaynaklandığı bildirilmiştir (Groot Koerkamp ve ark., 1998). NH_3 gazı, atmosferde bulunan asidik aerosollerle (örneğin nitrik asit [HNO_3], sülfürik asit [H_2SO_4]) reaksiyona girerek hızla amonyum (NH_4^+) aerosollerine dönüşür. Bu ikincil aerosoller, özellikle $PM_{2.5}$ (2.5 mikrondan küçük partiküller) konsantrasyonunun artmasına neden olarak hava kalitesini olumsuz etkiler. Böylece, yüksek NH_3 seviyeleri atmosferde ikincil partiküllerin oluşumunu artırarak görüş mesafesinin azalmasına ve hava kirliliğine katkıda bulunur (Anonim, 2003). NH_3 , atmosferdeki diğer bileşiklerle girdiği reaksiyonların sonucuna göre farklı etkiler gösterir. Örneğin, NH_3 'ün oksidasyonu sonucunda oluşan N_2O , güçlü bir sera gazı olarak iklim değişikliğine katkı sağlar ve yer seviyesinde

ozon etkisi oluşturur. Ayrıca, NH_3 ile uçucu organik bileşiklerin etkileşimi kötü kokuların oluşmasına yol açar (Janzen ve ark., 1998). NH_3 atmosferde yayıldıktan sonra azot dğsne dahil olur. Bu dğ kapsamında her bir azot atomu, atmosferik görüş mesafesinden toprak asitliği, karasal ekosistemlerin biyolojik çeşitliliği, nehirlerin asitliği ve kıyusal verimlilik gibi birçok çevresel faktöre etki eder. Reaktif azotun aşırı birikimi karasal ekosistemlerde biyolojik çeşitlilik kaybına neden olabilir (Galloway ve Cowling, 2002). NH_3 konsantrasyonu kaynak yakınında daha yüksek olup, çökelme hızına bağlı olarak hızla azalır. Bir broyler kümesinin çevresinde yapılan çalışmada, 15 metre mesafede NH_3 konsantrasyonu $23\text{-}63 \mu\text{m m}^{-3}$ arasında bulunurken, 270 metre uzaklıkta bu değer $1\text{-}2 \mu\text{m m}^{-3}$ 'e kadar düşmüştür. Aynı çalışmada, 15 ve 270 metre mesafedeki amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) keltme miktarları sırasıyla 42 ve 5 kg N ha^{-1} olarak lmştr (Fowler ve ark., 1998; Arogo ve ark., 2006). Yüksek NH_3 salımları, özellikle hayvan barınaklarının çevresindeki ormanlarda zararlı etkilere neden olmuştur. Fangmeier ve ark. (1994), iğne yapraklı ormanlarda yüksek NH_3 konsantrasyonlarının ağaç dokusunda lmlere yol açarak, ilerleyen dönemlerde ağaçların tamamen ölmesine sebep olduğunu raporlamıştır. Hidrojen sülfürün (H_2S) atmosferde kalış süresi kısa olduğundan, hayvan barınaklarından kaynaklanan H_2S salımlarının ulusal ekte çevresel etkisi diğer kaynaklara göre görece azdır. Ancak, hayvancılık işletmelerinin yoğun olduğu bölgelerde bölgesel evre sorunlarına yol açabilir (Schnoor ve ark., 2002; Anonim, 2003). H_2S atmosferde sülfür dioksite (SO_2) okside olur ve nem ile reaksiyona girerek

sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturur. H_2SO_4 , asidifikasyonda önemli bir rol oynayan bileşiklerden biridir. Ayrıca SO_2 , NH_3 ile reaksiyona girerek amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ve amonyum sülfid ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$) gibi sülfür içeren ikincil partiküler maddelerin oluşumuna neden olur (Chetner ve Sasaki, 2001). Hayvan barınaklarından kaynaklanan H_2S salımlarının yerel ölçekte en önemli çevresel problemi koku oluşumudur. Bu kokuya en çok H_2S ve uçucu organik sülfür bileşikleri katkı sağlar (Hartung, 1998). Metan (CH_4), atmosferdeki küresel ısınma potansiyeli nedeniyle önemli bir sera gazıdır ve hayvancılık sektöründeki üretimden kaynaklanan CH_4 salımları, iklim değişikliği açısından ciddi çevresel sorunlar oluşturabilir. Dünya yüzeyinin sıcaklığı, güneşten gelen enerji ile gezegenimizden yansıyan ışınların oranı (albedo) tarafından belirlenir (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000). Atmosferdeki gazlar, güneş ışığını emip yansıtarak bu dengeyi etkiler. Normal şartlarda, bu gaz reaksiyonları atmosferin sıcak kalmasını sağlar. Ancak, sera gazlarının artışı bu dengeyi bozarak atmosfer ve dünya yüzeyinde ısınmaya neden olur (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000; Marcillac, 2007).

Çizelge 2. Hayvan barınaklarından kaynaklanan gazlar ve çevresel etkileri

Gaz	Kimyasal Formül	Çevresel Etkiler
Amonyak	NH_3	- İçme suyunda nitrat kirliliği (Jongbloed ve ark., 1999)- Su ve toprakta ötrofikasyon (Arogo ve ark., 2006)- Asit yağmuru oluşumu (Groot Koerkamp ve ark., 1998)- $\text{PM}_{2.5}$ oluşumu ve görüş mesafesinin azalması (Anonim, 2003)- Koku oluşumu (Janzen ve ark., 1998)
Diazot Oksit	N_2O	- Güçlü sera gazı etkisi (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000)- İklim değişimine katkı (Marcillac, 2007)

Hidrojen Sülfür	H ₂ S	- Bölgesel asidifikasyon (Schnoor ve ark., 2002)- Koku problemi (Hartung, 1998)- Sülfürik asit oluşumu (Chetner ve Sasaki, 2001)
Metan	CH ₄	- Küresel ısınmaya katkı (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000)- Atmosferde sera gazı etkisi (Marcillac, 2007)
Karbondioksit	CO ₂	- Sera gazı olarak iklim değişikliğine katkı
Partiküler Madde (PM2.5)	PM2.5	- Hava kalitesi düşüşü- Görüş mesafesi azalması (Anonim, 2003)
Uçucu Organik Bileşikler	VOC	- Koku oluşumu- Hava kirliliği ve sağlık sorunları

Hayvancılık işletmelerinde toz problemi, özellikle kapalı ve yoğun hayvan barınaklarında önemli bir çevresel sağlık riski olarak kabul edilmektedir. Hayvancılık işletmelerinde toz, özellikle kapalı ahır ve barınak ortamlarında önemli bir çevresel stres faktörü olarak öne çıkmaktadır. Organik toz partikülleri, saman, yem, hayvan tüyü, deri döküntüleri ve mikroorganizmalar (bakteri, mantar, endotoksin gibi) içermektedir ve bu bileşim, hem hayvanlar hem de çalışanlar için solunum yolu hastalıklarının gelişiminde kritik bir faktördür (Rylander & Haglind, 1998). Ayrıca, bu toz partikülleri çalışanların sağlığını da olumsuz etkileyerek mesleki astım, bronşit ve diğer solunum yolu rahatsızlıklarının görülme sıklığını artırmaktadır (Madsen ve ark., 2012). Toz partiküllerinin büyüklüğü ve bileşimi, barınak içi yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişiklik göstermekte olup, özellikle PM10 ve daha küçük partiküller solunum sisteminin alt bölgelerine kadar ulaşarak kronik bronşit, astım ve hipersensitivite pnömonisi gibi hastalıklara zemin hazırlamaktadır (Madsen ve ark., 2012). Bu bağlamda, hayvanların solunum yolu mukozasında inflamasyon, enfeksiyonlara karşı hassasiyet artışı ve performans düşüşü gibi olumsuz etkiler gözlenmektedir (Donham, 2007).

Tozun yoğunluğu ve bileşimi, barınak yönetimi, yemleme şekli ve temizlik sıklığı gibi işletme koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Donham, 2007). İşletme koşullarının yanı sıra, yemleme biçimi, barınak zemin yapısı ve temizlik sıklığı da toz oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Örneğin kuru ve gevrek yem materyalleri ile kötü havalandırılmış alanlarda toz konsantrasyonları önemli ölçüde artmaktadır (Kristensen ve ark., 2000). Tozun yoğunluğunu azaltmaya yönelik uygulamalar arasında yem ve zemin nemlendirmesi, düzenli temizlik ve etkin havalandırma sistemlerinin kullanımı bulunmaktadır. Bunlar, partikül havada kalma süresini azaltmak ve solunum yollarındaki tahrişi minimize etmek için gereklidir (Heinrichs, 2012).

Ayrıca, çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanımı da iş güvenliği açısından önemlidir (Madsen ve ark., 2012). Yapılan çalışmalar, tozun azaltılmasına yönelik nemlendirme, düzenli temizlik ve havalandırma gibi önlemlerin hayvan sağlığı ve iş güvenliği açısından kritik olduğunu göstermektedir (Kristensen ve ark., 2000). Bu nedenle, hayvancılık işletmelerinde toz kontrolü, hem üretim verimliliği hem de sürdürülebilirlik için vazgeçilmez bir uygulama alanıdır.

Hayvancılık işletmelerinde toz problemi, sadece hayvan sağlığını değil, aynı zamanda iş gücü sağlığını da doğrudan tehdit eden bir faktör olarak görülmelidir. Tozun etkin kontrolü, hayvan refahını artırırken işletmenin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini de olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle, kapsamlı toz yönetimi

stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması, sektörde hem ekonomik hem de sağlık açısından öncelikli bir konu olarak ele alınmalıdır.

Bu bölümde, hayvancılıkta hava kalitesinin hayvan refahı ve iş güvenliği üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenecek; bu alanda alınması gereken teknik ve organizasyonel önlemler literatür ışığında ele alınacaktır. Ayrıca, güncel ölçüm teknikleri ve vaka çalışmalarıyla desteklenen pratik öneriler sunulacaktır. Amaç, sürdürülebilir ve sağlıklı hayvancılık işletmeleri için hava kalitesi yönetiminin önemini vurgulamaktır.

BÖLÜM 2

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAYVAN REFAHI VE HAVA KALİTESİ

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

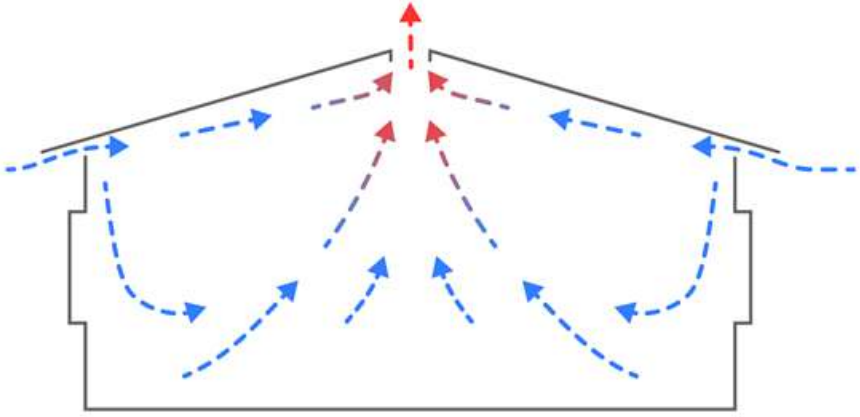
Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Çevre koşullarının barınak yapı şekillerinde etkisi büyüktür. Oysa Ülkemizde hayvan barınaklarının planlama ve projelenmesinde çevreye uygun barınak tasarımı ihmal edilen konu başlığı olmaktadır. Yanlış tasarlanan barınakları düzeltmek ise daha büyük ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Hayvan yetiştiriciliğinde ekonomik sınırlar içinde en iyi bir şekilde uygun çevre koşullarını sağlayabilecek barınak tasarımı gerekmektedir (Göncü, 2019, Göncü ve Koluman 2019). Ayrıca hayvanların genetik yeteneklerinin anlaşılabilmesi için uygun çevre koşullarının sağlandığı barınaklar zorunludur. Hayvan refahı, barınak içi hava kalitesi ile doğrudan ilişkilidir; zira yüksek düzeyde amonyak (NH_3), partiküler madde ($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$) ve diğer kirleticiler, solunum irritasyonu, mukozal hasar ve stres yanıtlarının artması yoluyla hem fizyolojik hem de davranışsal olumsuzluklara yol açmaktadır (Place & Mitloehner, 2014; Guo, Zhao, Jia, He, & Chen, 2022). Örneğin, Place ve Mitloehner (2014) tarafından vurgulandığı üzere, barınak içindeki **subklinik** NH_3 maruziyeti dahi süt ineklerinde yem tüketiminde azalmaya ve immün yanıt parametrelerinde değişimlere neden olabilir; benzer şekilde, PM birikimi yavru ruminantlarda solunum yolu enfeksiyon riskini yükselterek büyüme

performansında düşüşe yol açabilir (Place & Mitloehner, 2014). Guo ve ark. (2022) tarafından yapılan kapsamlı bir incelemede, mekanik havalandırma sistemlerinin biyofiltre, kimyasal filtre ve inlet/outlet hava filtrasyon teknolojileri ile entegrasyonunun NH_3 ve partiküler madde düzeylerinde %40–70 arasında azalma sağladığı rapor edilmiştir; bu sayede hayvanların termal konforu korunurken stres biyobelirteçlerinde düşüş ve üretkenlik kriterlerinde iyileşme gözlemlenmiştir (Guo et al., 2022). Ayrıca gerçek zamanlı sensör tabanlı izleme sistemleri, kirletici piklerinin erken tespiti ve otomatik havalandırma kontrolü imkânı sunarak, barınak ortamındaki NH_3 , CO_2 , H_2S ve PM değerlerinin kritik eşiklerin altında sürdürülmesine yardımcı olmaktadır (Place & Mitloehner, 2014; Guo et al., 2022).

Hayvancılıkta kötü hava kalitesinin en çok yoğun olduğu alanlar genellikle kapalı ve yetersiz havalandırılan mekanlardır (Türkoğlu ve Göncü 2025a,b). Özellikle şu alanlarda hava kalitesi sorunları daha fazla yaşanır: Hayvanların yoğun olduğu kapalı alanlarda amonyak, karbondioksit ve diğer zararlı gazlar birikir. Yetersiz havalandırma bu gazların birikmesini artırır. Hayvan gübresi depolandığı veya işlendiği alanlarda, özellikle gübrenin çürüme sürecinde metan, amonyak ve diğer zararlı gazlar ortaya çıkar. Küflenmiş veya bozulmuş yemler, havada zararlı partiküllerin ve mikroorganizmaların yayılmasına neden olabilir. Yüksek sıcaklık ve nem oranının olduğu kapalı barınaklarda, hava kalitesi hızla düşer. Kısaca, hayvancılıkta hava kalitesi sorunları en çok kapalı, yetersiz havalandırılan ve hayvanların yoğun bulunduğu alanlarda yaşanır. Bu yüzden iyi bir havalandırma sistemi ve düzenli temizlik çok önemlidir.

Havalandırma, modern tarım işletmelerinde hayvanların sağığı ve verimliliğı açısından kritik öneme sahiptir (Türkoğlu ve Göncü 2025 a,b). Hayvancılık işletmelerinde, ahırların en uygun çevresel koşullarda tutulması için etkili ve düşük maliyetli çözümler araştırılmaktadır. Bu noktada doğal havalandırma en önemli çözümdür. Doğal havalandırma sistemlerinde hava akışı, rüzgar ve sıcaklık farkları gibi doğal etkenlerin kullanma amacı ise hayvanlar için sağılıklı ve konforlu bir yaşam alanı sağlamaktır.



Şekil 1. Doğal havalandırma örneğı

Doğal Havalandırmanın en önemli avantajı enerji maliyetinin olamasıdır. Ek bir mekanik sisteme ihtiyaç duymadan çalışır. Elektrik tüketimini azaltarak işletme maliyetlerini düşürür. Ayrıca, hayvan ve çalışan sağılığına da temiz hava sirkülasyonu sağılayarak, amonyak, nem ve toz gibi zararlı maddeleri uzaklaştırarak katkı sağılar. Üstelik, karbon ayak izini de azaltır. Sürdürülebilir tarım ve yapı tasarımlarında özellikle tercih edilmelidir.

Böylece, hava kalitesi iyileştirme stratejileri (optimum havalandırma, periyodik filtre bakımı, biyolojik/kimyasal arıtma sistemleri) hayvan refahı göstergelerinin (yem tüketimi, büyüme/süt verimi, klinik olmayan solunum semptomları, stres hormon düzeyleri) uzun vadeli izlenmesi ve iyileştirilmesinde kritik rol oynar.

2.1 Zararlı Gazların Etkileri

Hayvancılık işletmelerinde en yaygın ve zararlı gazlar amonyak (NH_3), hidrojen sülfür (H_2S), karbondioksit (CO_2) ve metandır (CH_4) (Kristensen ve ark., 2000). Amonyak, özellikle hayvan dışkılarından kaynaklanan mikrobiyal parçalanma sonucunda açığa çıkar. 10 ppm'nin üzerindeki amonyak konsantrasyonları hayvanların solunum yollarında tahrişe ve mukoz membranlarda hasara yol açar (Donham ve Thelin, 2006). Bu durum, hayvanlarda enfeksiyonlara karşı direncin düşmesine, dolayısıyla hastalıkların artmasına neden olur.

Hidrojen sülfür ise özellikle gübre depolama alanlarında oluşan yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler gösterebilir. Solunum sisteminde ciddi hasara ve nörolojik etkilenmelere sebep olabilir (Shusterman, 1992). Karbondioksit ve metan gibi gazlar ise yüksek konsantrasyonlarda hayvanlarda hipoksiye (oksijen yetersizliği) neden olur, bu da hayvan refahını olumsuz etkiler.

2.2 Toz ve Partiküllerin Etkileri

Organik tozlar saman, yem, hayvan tüyü ve mikroorganizmalar içerir. Bu toz partikülleri hayvanların solunum yollarına girerek bronşit, astım ve diğer kronik solunum hastalıklarına neden olabilir (Rylander ve Haglind, 1998). Ayrıca, tozun taşıdığı mikotoksinler ve

endotoksinler bağımsızlık sisteminde zayıflamaya yol açar, hayvanları enfeksiyonlara karşı daha hassas hale getirir.

2.3 Hava Kalitesi ve Stres İlişkisi

Kötü hava kalitesi, hayvanlarda stres hormonlarının (kortizol gibi) yükselmesine neden olur (Moberg, 2000). Uzun süreli stres ise büyüme hızını azaltır, üreme performansını olumsuz etkiler ve süt veriminde düşüşe yol açar (Wathes ve ark., 2002). Böylece, hayvan refahındaki bozulma ekonomik kayıplara da yansır.

Kristensen ve ark (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, amonyak seviyelerinin 20 ppm üzerine çıkması durumunda tavuklarda solunum sistemi hastalıklarının %30 oranında arttığı rapor edilmiştir. Donham ve Thelin (2006) ise büyükbaş hayvan işletmelerinde amonyak ve toz konsantrasyonlarının yüksek olduğu ortamlarda iş gücü verimliliğinin düştüğünü belirtmiştir.

BÖLÜM 3

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN HAVA KALİTESİ

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Hayvancılık sektöründe çalışanlar, hayvanlarla yakın temas halinde olup uzun saatler kapalı alanlarda bulunmaları nedeniyle ortam havasının kalitesinden doğrudan etkilenirler. İş güvenliği açısından değerlendirdiğimizde, iç ortam hava kalitesinin kötü olması pek çok sağlık riski ve iş kazasına zemin hazırlamaktadır.

Hayvan barınaklarında organik toz ve amonyak (NH_3) maruziyetinin eşzamanlı bulunduğu ortamlar, solunum irritasyonu, kronik bronşit benzeri tablolar ve hava yolu fonksiyonlarında anlamlı azalmalar ile ilişkilendirilmiştir; özellikle toz ve amonyak bir arada olduğunda FEV_1 ve FEF_{25-75} parametrelerinde çalışma periyodu boyunca %35–61 oranında daha şiddetli düşüşler gözlenmiştir (Donham, Cumro & Reynolds, 2002; Reynolds ve ark., 2002; Göncü ve ark. 2016; Göncü ve ark. 2019). Organik toz içindeki endotoksinler akut inflamatuvar yanıtlara (Organic Dust Toxic Syndrome) yol açarken, kronik maruziyet durumunda hava yolu obstrüksiyonu ve solunum semptomlarının artışı rapor edilmiştir (Von Essen, 2005; Donham, Cumro & Reynolds, 2002).

Çizelge 3. İş Güvenliği Açısından Hava Kalitesi

Solunum Yolu Hastalıkları ve Alerjik Reaksiyonlar	Çalışanların maruz kaldığı organik toz partikülleri, amonyak ve diğer gazlar, kronik bronşit, astım, hipersensitivite pnömonisi gibi solunum yolu hastalıklarının başlıca nedenlerindendir (Rylander & Haglind, 1998). Özellikle toz ve endotoksin içeriği yüksek ortamlarda çalışanlarda alerjik reaksiyonlar ve mesleki astım vakalarında artış gözlenmiştir (Madsen ve ark., 2012). Bu durum iş gücünde verim düşüşü ve iş gücü kayıplarına yol açar.
Toz Patlamaları ve Yangın Riski	Hayvancılıkta organik tozların yoğun birikimi, özellikle yem hazırlama ve depolama alanlarında yangın ve patlama riski oluşturur. İnce organik toz partiküllerinin uygun konsantrasyonda havada asılı kalması ve bir kıvılcımla temas etmesi ciddi iş güvenliği tehlikesi yaratır (Madsen ve ark., 2012). Bu tür kazalar işletmelerde maddi kayıpların yanı sıra insan hayatını da tehdit eder.
İş Kazaları ile Hava Kalitesi İlişkisi	Yoğun tozlu ve kötü havalandırılmış ortamlarda çalışanların görüş alanı kısıtlanır, nefes alma zorluğu ve yorgunluk artar. Bu durum, çalışanların konsantrasyonunun azalmasına ve iş kazalarının artmasına neden olur (Hansson ve ark., 2002). Ayrıca, solunum problemleri nedeniyle iş gücü devamsızlıkları sıklaşır ve iş verimliliği düşer.
Mesleki Maruziyet ve Yasal Düzenlemeler	Birçok ülkede iş yerlerinde zararlı gazlar ve toz partiküllerine maruziyet sınırları yasal olarak belirlenmiştir. Örneğin, amonyak için OSHA (Occupational Safety and Health Administration) tarafından belirlenen izin verilen maruziyet limiti 25 ppm'dir (OSHA, 2020). Bu limitlerin aşılması durumunda işverenlerin ortamı iyileştirme ve çalışanları koruma yükümlülüğü vardır. Türkiye'de de iş sağlığı ve güvenliği mevzuatları bu çerçevede düzenlenmektedir.

Yetersiz havalandırılan barınak ortamlarında NH_3 konsantrasyonunun yükselmesi, göz, burun ve boğaz mukozasında irritasyona; yüksek düzeylerde ise solunum spazmı, baş ağrısı ve konsantrasyon bozukluğu gibi akut semptomlara neden olabilir

(Reynolds ve ark., 2002; Misselbrook, 2016). Partiküler madde ($PM_{2.5}/PM_{10}$) birikimi, yalnızca solunum yolu irritasyonunu ve kronik bronşit riskini artırmakla kalmayıp aynı zamanda görüş mesafesinin azalması yoluyla iş kazası riskini de yükseltmektedir. Bu biyolojik ve kimyasal maruziyetlerin etkin kontrolü; otomatik ve doğru tasarlanmış havalandırma sistemleri, düzenli gübre uzaklaştırma mekanizmaları, nem dengeli yatak malzemesi kullanımı ve toz bastırma yöntemleri ile mümkün olmakta; saha çalışmaları, uygun havalandırma yönetiminin NH_3 ve toz düzeylerinde %40–60’a varan azalma sağlayabileceğini göstermiştir (Misselbrook, Johnson & Pain, 2016; Heederik ve ark., 2007). Sonuç olarak, barınak tasarımı ve işletme yönetiminde sistematik izleme, gerçek zamanlı gaz ve toz sensörleri, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve düzenli eğitim programları, maruziyetlerin azaltılması ve çalışan sağlığının korunması açısından zorunludur (Donham, Cumro & Reynolds, 2002; Berckmans, 2017)

BÖLÜM 4

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Hava kalitesi, havanın ne kadar temiz veya kirli olduğunun bir ölçüsüdür. Hava kalitesinin izlenmesi, canlıların sağlığı için en önemli yaşamsal faaliyetlerden olan nefesi sağlar. Atmosferimizdeki hava çoğunlukla Dünya'daki yaşam için gerekli olan iki gazdan oluşur: nitrojen ve oksijen. Ancak, hava ayrıca daha az miktarda yer seviyesindeki ozon, karbon monoksit, kükürt dioksit, azot dioksit ve havadaki parçacıklar veya aerosoller birçok başka gaz ve partikül içerir. Yer seviyesindeki ozon ve havadaki partiküller, insan sağlığına en büyük riski oluşturan iki hava kirleticisidir. Bu nedenle "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. ASHRAE 62–1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi “İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır” olarak açıklanmaktadır (ASHRAE, 1989, 2001 ve 2007).

Hayvancılık işletmelerinde hava kalitesinin izlenmesi ve yönetilmesi, hem hayvan sağlığının hem de çalışanların iş güvenliğinin korunması için zorunludur. Bu süreçte, belirli

parametrelerin düzenli ölçümü yapılmalı ve elde edilen veriler doğrultusunda önlemler alınmalıdır. Hava kalitesi ölçümü, atmosferdeki zararlı maddelerin miktarını belirleyerek çevre sağlığını ve insan sağlığını değerlendirmek için kullanılır. Özellikle kentlerdeki endüstriyel tesisler, taşıtlar ve enerji üretimi gibi emisyon kaynaklarından kaynaklanan hava kirliliği, solunum yolu hastalıkları, astım, alerjik reaksiyonlar ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir. Hava kalitesi ölçümü, hava kirliliğinin boyutunu anlamak ve koruyucu önlemler almak için kritik bir rol oynar.

Hava kalitesi ölçümü, çeşitli parametreleri değerlendirmek için farklı yöntemleri kullanır.

- Partikül madde ölçümü
- Gaz ölçümü
- Meteorolojik verilerin incelenmesi en yaygın ölçüm yöntemlerindedir.

Hayvan barınaklarında önemli kabul edilen başlıca hava kalitesi parametreleri ile bunların ölçüm tekniklerini ve ilgili literatür referansları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Hayvan barınaklarında başlıca hava kalitesi parametreleri ve ölçüm teknikleri

Parametre	Ölçüm Tekniği / Cihaz	Prensip / Açıklama
Amonyak (NH ₃)	- Fotoakustik spektroskopi (PAS) cihazları- Elektro-kimyasal sensörler- Kemosorbent tüpleri + kolorimetrik analiz- Islak kimya (asit tuzak + titrasyon)- Renk tüpleri (colorimetric tubes)	- PAS: Modüle edilen ışığın NH ₃ molekülleri tarafından absorpsiyonuyla oluşan akustik sinyal ölçülür; ppb–ppm aralığında hassas tayin sağlar.- Elektro-kimyasal sensör: NH ₃ gazı elektrot yüzeyinde reaksiyona girerek

		elektriksele akım değışikliğı ölçölür; taşınabilir, anlık izleme imkânı sunar.- Kemosorbent tüpleri: Belirli akış hızında hava tüpten geçirilir; adsorplanan NH ₃ sonraki analizde kolorimetri veya spektrofotometriyle belirlenir.- Islak kimya: Hava tuzaklı sıvı örnekleri titrasyon veya spektrofotometrik analiz ile laboratuvarde ölçölür.- Renk tüpleri: Saha kontrolü için hızlı, ancak daha düşük hassasiyetli yöntem.
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	- Elektro-kimyasal sensörler- Renk tüpleri (colorimetric tubes)- PTR-MS (Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry)- Gaz kromatografisi (GC) + dedektör (ör. FPD)- Optik/fluoresans sensörler	- Elektro-kimyasal sensör: H ₂ S ile reaksiyona giren elektrot yüzeyindeki akım değışikliğı ölçölerek anlık düzey belirlenir; alarmlı portatif üniteler yaygın.- PTR-MS: Çok düşük konsantrasyonda (ppb düzeyi) anlık tayin imkânı; araştırma ölçeğinde.- GC+FPD: Hava örneğı toplanıp laboratuvarde analiz edilir; yüksek doğruluklu, bileşen bazında tayin.- Renk tüpleri: Sahada hızlı, pratik; fakat sınırlı doğruluk/hassasiyet.- Optik/fluoresans sensörler: Belirli platformlarda deneysel.
Karbon Dioksit (CO ₂)	- NDIR (Non-Dispersive Infrared) sensörleri- Fotoakustik spektroskopisi (PAS)- Açık-yol lazer (Open-path laser) ölçölmleri- Kimyasal absorpsiyon (laboratuvar, nadiren saha)	- NDIR: CO ₂ 'ün IR ışığını soğurması prensibiyle konsantrasyon tayini; yaygın ve taşınabilir.- PAS: CO ₂ absorpsiyonundan akustik sinyal üretir; daha hassas ölçölmler sunabilir.- Open-path lazer: Uzun mesafede ortalama konsantrasyon ölçölümü; havalandırma performansı analizlerinde kullanılır.- Kimyasal metodlar: Daha az yaygın, laboratuvar gerektirir.

Amonyak (NH₃): Hayvan atıklarının mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu açığa çıkan keskin kokulu bir gazdır. İnsanlarda ve hayvanlarda solunum yolu tahrişine, göz yanmasına neden olur (Donham, 2007). Tipik olarak 10 ppm üzeri konsantrasyonlar zararlıdır. **Hidrojen Sülfür (H₂S):** Özellikle gübre depolama alanlarında oluşan toksik bir gazdır. Düşük konsantrasyonlarda bile sinir sistemi etkilenebilir (Shusterman, 1992).

Karbondioksit (CO₂): Normal atmosfer konsantrasyonunun üzerine çıktığında, oksijen yetersizliği ve solunum sorunlarına yol açar (Heinrichs, 2012). **Toz ve Organik Partiküller:** Saman, yem, hayvan tüyü ve mikrobiyal içeriğe sahip partiküllerdir. Solunum yolu hastalıkları için kritik parametredir (Madsen ve ark., 2012). **Nem ve Sıcaklık:** Yüksek nem, tozun havada kalmasını artırırken, aşırı sıcaklık hayvan ve insan sağlığını olumsuz etkiler (Kristensen ve ark., 2000).

Gaz Ölçüm Cihazları: Amonyak, H₂S, CO₂ gibi gazlar için elektro-kimyasal sensörler ve fotoiyonizasyon detektörleri kullanılır. Bu cihazlar anlık ve sürekli ölçüm yapabilir (Heinrichs, 2012). **Toz Ölçerler:** Partikül büyüklüğüne göre (PM₁₀, PM_{2.5}) toz yoğunluğunu ölçen cihazlar kullanılır. Organik toz yoğunluğunun belirlenmesi için gravimetrik yöntemler de yaygındır (Madsen ve ark., 2012). **Nem ve Sıcaklık Sensörleri:** Ortamın mikroklimasını izlemek için higrometreler ve termometreler kullanılır. **Hava Değişim Hızı Ölçümü:** Havalandırma etkinliğinin değerlendirilmesi için anemometreler ile hava akış hızı ölçülür.

Uluslararası iş sağlığı kurumları, çeşitli gaz ve tozlar için izin verilen maksimum maruziyet değerleri belirlemiştir. Örneğin;

- OSHA Amonyak sınırı: 25 ppm (8 saatlik ortalama)
- WHO Amonyak tavsiye limiti: 10 ppm (uzun süreli maruziyet için)
- Toz partikülleri PM₁₀ sınırı: 150 µg/m³ (24 saatlik ortalama)

Türkiye İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmelikler de bu değerleri esas almakta ve işletmelerin bu limitlere uymasını zorunlu kılmaktadır.

BÖLÜM 5

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ KONUSUNDA ALINACAK TEKNİK ÖNLEMLER

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Hava kirliliğinin oluşumu ve oluşuktan sonra çözümü çok sayıda mühendislik dalını yakından ilgilendirmektedir. Havakirliliğinin daha balangıçta oluşumu ve giderilmesi, özellikle projelendirme ve tasarım açısından önemlidir. Pratik açıdan bakıldığında, havakirliliği konusunda çalışanlar genel olarak

1. Hava kirliliği yönetmelik ve kanunlarının öngördüğü koşulları gerçekleştirmek,
2. Tozların çevrede bulunan canlılar, cihazlar, tesisatlar ve yapılar üzerine yaptığı olumsuz etkileri azaltmak,
3. Çeşitli işlemler için gerekli olan temiz gaz veya ahavanın hazırlanmasını sağlamak,
4. Yararlı madde, ısı veya enerji geri kazanmak,
5. Yangın, patlama veya diğer tehlikeleri azaltmak fonksiyonlarından bir veya birkaçı için tasarımla ilgilenirler.

Hayvancılık işletmelerinde hava kalitesinin iyileştirilmesi için teknik önlemler, hem hayvanların sağlığını hem de çalışanların iş güvenliğini koruyacak şekilde planlanmalıdır. Hava kalitesi, sadece konfor için değil, sağlık ve verimlilik için de gereklidir. Binalarda

hava kalitesini kontrol için genelde havalandırma ve temizlik olmak üzere 2 yaklaşım benimsenmiştir.

Bu önlemler, gaz ve toz emisyonlarının azaltılması, havalandırmanın optimize edilmesi ve kişisel koruyucu ekipmanların kullanımı gibi başlıklarda toplanabilir.

5.1 Havalandırma Sistemleri

Doğru tasarlanmış havalandırma sistemleri, kapalı hayvan barınaklarında zararlı gazların ve tozların birikmesini önler. Havalandırma doğal havalandırma ve mekanik havalandırma olmak üzere iki temel şekilde uygulanabilir:

- **Doğal Havalandırma:** Rüzgâr ve sıcaklık farklarından yararlanarak hava akışını sağlar. Maliyet avantajı vardır ancak dış hava koşullarına bağımlıdır ve kontrolü zordur (Heinrichs, 2012).
- **Mekanik Havalandırma:** Fan ve kanallar yardımıyla havanın zorlanarak hareket ettirilmesidir. Daha kontrollü hava akışı sağlar, zararlı gaz ve tozları etkin şekilde uzaklaştırır. Enerji maliyetleri yüksektir ancak sağlık açısından en güvenilir yöntemdir (Madsen ve ark., 2012).

Havalandırma sistemi tasarımında hayvan sayısı, barınak büyüklüğü, dış ortam koşulları ve üretim tipi göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca havalandırmanın aşırı olmaması, hayvanlarda soğuk stresine yol açmaması için sıcaklık kontrolü yapılmalıdır (Kristensen ve ark., 2000). Doğal havalandırma, sıcak ve soğuk hava arasındaki yoğunluk farkından dolayı hava kitlesinin yer

değiştirmesi ilkelerine dayanır. Dışarıdan barınak içine giren soğuk hava ısınarak, yükselir ve hava çıkış açıklıklarından barınağı terkeder. Terkeden bu havanın yerine barınağın uygun yerlerinden açılmış olan hava giriş açıklıklarından hava içeri girer. Bu sistemin çalışması, barınak içi ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı hava giriş ve çıkış açıklıklarının yeri, şekli, arasındaki yükseklik farkı, rzgarhızı ve yönü ile barınağın inşa yeri gibi unsurlara bağlıdır. Doğal havalandırma sistemiinin planlanmasında en önemli husus, hava giriş ve çıkış açıldıkları kesit alanının saptanmasıdır. Ayrıca her bölgenin iklim koşulları dikkate alınarak özel tasarım binalar yapılması gerekir.

5.2 Toz Kontrolü

Hayvancılıkta toz oluşumunun kaynağında engellenmesi, hava kalitesini artırmak için önemlidir. Alınabilecek başlıca nlemler:

- **Yemlerin ve samanın nemlendirilmesi:** Kuru materyallerin nem oranı artırılarak tozlaşma azaltılır (Donham, 2007).
- **Düzenli temizlik ve hijyen:** Zeminlerin, yüzeylerin ve ekipmanların düzenli olarak temizlenmesi toz birikimini önler.
- **Toz bariyerleri ve kaplama:** Zemin ve duvarların toz tutmayan materyallerle kaplanması etkili olabilir.
- **Hava filtreleme sistemleri:** Mekanik havalandırmaya entegre edilebilen HEPA filtreler toz partiküllerinin yayılımını engeller (Madsen ve ark., 2012).

5.3 Zararlı Gazların Azaltılması

- **Gübre Yönetimi:** Gübrelerin düzenli ve doğru depolanması, gübre bacalarının izole edilmesi amonyak ve hidrojen sülfürün atmosfere yayılmasını engeller (Rylander ve Haglind, 1998).
- **Kimyasal Bağlayıcılar:** Amonyak salınımını azaltmak için gübreye uygulanan çeşitli kimyasallar kullanılabilir.
- **Barınak Isıtma ve Nem Kontrolü:** Aşırı nem, zararlı gazların birikimini artırır. Nem kontrolü hem gazların hem de tozun azaltılmasına katkı sağlar (Kristensen ve ark., 2000).

5.4 Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

Hayvan barınaklarında solunum sistemi ve cilt/bölgesel temas yoluyla maruziyeti azaltmak için KKD kullanımı, mühendislik ve idari kontroller ile birlikte ele alınmalıdır. KKD, maruziyetin tam engellenemediği veya ek koruma gerektiği durumlarda hayati önemdedir (Donham, Cumro & Reynolds, 2002; Legault, Ayers & McDonald, 2007).

Çizelge 5. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

KKD Türü	Koruduğu Risk / Maruziyet	Kullanım Durumu / Önerilen Koşullar	Seçim Kriterleri
FFP2 / FFP3 Maskeler (EN 149) / N95/N99 (NIOSH)	- Organik toz (PM _{2.5} /PM ₁₀), biyoaerosoller (endotoksinler)- Düşük-orta düzey gaz (düşük konsantrasyon	- Günlük rutin işlerde, yetersiz/orta dereceli toz maruziyeti olan bölümlerde- Havalandırma yetersiz seyreltme	- Partikül filtreleme verimliliği (FFP2 ≥%94, FFP3 ≥%99 filtrasyon) (European Committee for Standardization,

	NH ₃ pikleri, H ₂ S)	sağladığında, kısa süreli işler (örn. yem dolumu, temizlik sırasında toz artışı)	2001)- Yüz uyumu (fit test & fit check yapılmış olmalı)- Tek kullanımlık veya üretici önerisine göre değiştirilebilir filtre ömrü (Legault, Ayers & McDonald, 2007)
Kimyasal Kartuşlu Yarım / Tam Yüz Maskeleri	- Spesifik gaz/buhar: NH ₃ , H ₂ S, VOC'ler (düşük-orta konsantrasyon)- Toz + Gaz kombinasyonu (bileşik maruziyet)	- Orta düzey gaz (NH ₃ /H ₂ S pikleri) veya toz+gaz bir arada bulunduğu- Tam yüz: ek olarak göz/ yüz koruması gerektiğinde (sıvı sıçraması, kimyasal yıkama)	- Hedef gaz/buharın kimyasal özelliklerine uygun filtre kartuş seçimi (örn. NH ₃ için özel amonyak kartuşu; H ₂ S için uygun kartuş)- Filtre ömrü ve son kullanma tarihleri izlenmeli- Tam yüz tercihinde görüş konforu ve buğulanma kontrolü (Legault, Ayers & McDonald, 2007)
PAPR (Positive Air-Purifying Respirator)	- Yüksek ortalama toz (organik toz yükü fazla), orta-yüksek gaz maruziyeti- Uzun süreli kullanıma bağlı solunum yükünü azaltma	- Orta-uzun süreli işlerde (gübre temizliği, toz yoğun işlemler)- Toz + gaz kombinasyonu olduğunda ve yarım maskede nefes alma direnç problemi yaşandığında	- Yüksek filtrasyon kapasitesi (HEPA filtreler) ve uygun kimyasal kartuş entegrasyonu- Batarya ve fan çalışır durumda olmalı; bakım, temizlik ve pil

			değişimi takip edilmeli- Kullanıcı ergonomisi (ağırlık, ses, görüş alanı) göz önünde bulundurulmalı (Berckmans, 2017)
SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus)	- IDLH seviyeleri: yoğun NH ₃ /H ₂ S sızıntıları, kapalı alanda ani yüksek konsantrasyon riski	- Acil durumlar: bakım onarım sırasında ani gaz kaçağı, tank/çukur içi müdahaleler, pompa arızası gibi yüksek maruziyet senaryoları	- Yeterli hava tankı (çalışma süresi ihtiyacına göre)- Kullanıcı eğitimi, periyodik test ve bakım (basınç testi, contaların durumu)- Doğru takım seçimi (full-face maskeli; göz koruması da sağlar)
Göz / Yüz Koruyucular (Gözlük / Siperlik / Full-face)	- Kimyasal sıçrama (amonyaklı yıkama, dezenfektan)- Toz parçacık temas riski- Biyolojik risk (sıçrama, aerosol)	- Kimyasal yıkama, dezenfeksiyon işlemleri- Toz fırtınası benzeri durumlar (yüksek toz kalkıntısı)- Tam yüz maskede entegre kullanılabilir	- Ventiltsiz veya uygun sızdırmaz tasarım (gazın/sıçrayan sıvının göze ulaşmasını engelleyecek)- Anti-buğu ve geniş görüş özelliği- Kolay temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir malzeme (Donham ve ark., 2002)
Koruyucu Giysi / Coverall	- Cilt teması yoluyla kimyasal ve kirleticilere	- Kimyasal çalışma (dezenfektan, amonyak yıkama)-	- Kimyasal sıçramaya karşı dirençli malzeme

	maruziyet (sıvı gübre, dezenfektan, toz birikimi)	Yüksek tozlu işlemler (gübre temizliği, tahıl/toz taşıma)- Zoonotik patojen riski dönemlerinde izolasyon prosedürü	(nitril kaplama veya özel bariyer)- Nefes alabilirlik (%), ısı stresi dengesi göz önünde tutulmalı- Tek kullanımlık (biyolojik risk) veya yeniden kullanılabilir temizlenebilir tip seçimi
Eldivenler (Nitril/Neopren/Kauçuk)	- Kimyasal (amonyak, dezenfektan) ve biyolojik patojen teması riski	- Kimyasal yıkama, gübre elleçleme, hastalık şüphesi altındaki hayvanlarla temas- Genel temizlik ve hijyen işlemlerinde	- Uygun kimyasal dirence sahip malzeme seçimi (NH ₃ direnç: nitril/ neopren vb.)- Uygun uzunluk (kolu koruyacak), yırtılma dayanımı- Tek kullanımlık/zaten kullanılabilir tipin değişim sıklığı (Eldiven bütünlüğü önemlidir)
Bot / Ayak Koruması (Çelik burunlu, Kimyasal dirençli)	- Sıvı gübre teması, kayan-zemin riski, ağır nesne darbesi	- Gübre pompalama/temizleme, kimyasal taşınımı, ağır ekipman yakınında çalışma	- Kimyasal geçirmez taban ve ayak üstü malzeme- Kaymaz taban, çelik burun koruması- Pantolon paçalarının bot içine alınmasına uygun tasarım
Kulak Koruyucular (Earplugs / Earmuffs)	- Yüksek gürültü: makineler, traktör,	- Sürekli yüksek sesli makinelerin yanında	- Ses yalıtım derecesi (dB)

	pompa üniteleri	çalışma	AZALTIMI), kullanım süresi ve konfor- Hijyen ve temizlik: kulak içi enfeksiyonu önlemek için düzenli bakım
Gözlem / Yansıtıcı Giysi	- Düşük ışık koşullarında görünürlük, acil durumlarda hızlı tespit	- Gece veya karanlık alan çalışmaları, acil tahliye / bakım durumları	- Yansıtıcı bant ölçüleri, dayanıklı malzeme
PPE Depolama ve Bakım	- Tüm KKD'in etkinliği maruz kalmadan önce ve sonra korunması	- KKD depolama odaları, acil durum dolapları	- Temiz, kuru, kimyasaldan uzak alan; başlıca respirator fit test kayıtları ve son kullanma tarihleri izlenmeli

Hayvan barınaklarında çalışanların zararlı gaz ve tozlara karşı korunmasında KKD unsurları; doğru respirator seçimi (FFP, kimyasal kartuş, PAPR, SCBA), göz-yüz ve cilt koruyucuları, eldiven ve ayak koruması, işitme koruyucular ve uygun giysi yönetimini içerir. KKD kullanımı; fit test, eğitim, periyodik bakım ve depolama koşullarıyla desteklenmeli, mühendislik/idari kontrollerle entegrasyon sağlanmalıdır. Ayrıca, iklim koşulları, çalışma süresi ve maruziyet seviyeleri göz önünde bulundurularak ergonomik ve konforlu ekipman tercih edilmelidir. Bu kapsamlı yaklaşım, çalışan sağlığının korunmasını ve verimli bir üretim ortamını mümkün kılar.

Çizelge 6. Hayvancılık işletmelerinde hava kalitesi için yapılacaklar

Mühendislik ve İdari Kontroller	KKD, maruziyet tamamen ortadan kalkmadığında veya ek koruma gerektiğinde devreye girer. Önce kaynağı azaltma, havalandırma, kapalı sistemleştirme gibi mühendislik önlemleri uygulanmalı; iş rotasyonu, maruziyet süre sınırlaması gibi idari kontroller hayata geçirilmeli (Misselbrook, Johnson & Pain, 2016; Heederik ve ark., 2007).
Fit Test ve Eğitim	Respirator kullanımı mutlaka düzenli fit test ve fit check uygulamalarıyla sağlanmalıdır. Çalışanlara KKD doğru giyilme, çıkarılma, bakım ve atık yönetimi eğitimi verilmeli (Donham, Cumro & Reynolds, 2002; Legault, Ayers & McDonald, 2007).
Ergonomi ve Konfor	Isı-stres riski yüksek barınaklarda ağır koruyucu giysiler ısı yükünü artırabilir. Bu durumda molalar, soğuk dinlenme alanları ve hafif PAPR sistemleri tercih edilmelidir.
Periyodik Bakım ve Değişim	Filtre kartuşları, PAPR bataryaları, maskelerin contaları ve eldiven/yüzey malzemeleri periyodik olarak kontrol edilmeli ve üretici talimatlarına göre yenilenmelidir.
Depolama ve Erişim	KKD, kolay erişilebilir acil durum dolaplarında, temiz ve kuru ortamlarda saklanmalıdır. SCBA gibi ekipmanlar kritik noktalarda hazır bulundurulmalı.
Sağlık Gözetimi	Solunum koruyucu kullanan personel düzenli spirometri ve mesleki sağlık kontrollerinden geçirilmeli; cilt semptomları izlenmeli.
Dokümantasyon	İş güvenliği prosedürleri, KKD kullanım talimatları ve maruziyet kayıtları yazılı olarak tutulmalı, sürekli iyileştirme amaçlı analiz edilmeli.

Bu açıklamalar, hayvan barınaklarında çalışanların zararlı gaz ve tozlara karşı koruyucu KKD programı oluşturulurken temel rehberlik sağlar. Her işletme, yerel yasal düzenlemeler, iklim koşulları, barınak tipi ve hayvan yoğunluğuna göre bu önerileri uyarlayıp detaylandırmalıdır.

BÖLÜM 6

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ KONUSUNDA ALINACAK ORGANİZASYONEL VE EĞİTSEL ÖNLEMLER

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Teknik önlemlerin etkinliği, ancak işletme organizasyonunun doğru yapılandırılması ve çalışanların bilinçlendirilmesi ile mümkün olmaktadır. Hayvancılıkta iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulması, eğitim programlarının uygulanması ve çalışanların aktif katılımı sürdürülebilir bir çalışma ortamı için kritik öneme sahiptir.

6.1 İş Güvenliği Kültürünün Oluşturulması

İşletmelerde güvenlik kültürü; yöneticilerin liderliği, politika ve prosedürlerin belirlenmesi, risk değerlendirmelerinin düzenli yapılması ile şekillenir (Cooper, 2000). Hayvancılık işletmelerinde hava kalitesi ve iş güvenliği konularında açık ve sürekli iletişim kanalları oluşturulmalı, çalışanların sorunları rahatça bildirebileceği ortam sağlanmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği komiteleri kurulmalı, denetimler sıklaştırılmalıdır.

6.2 Çalışanların Eğitimi ve Bilinçlendirilmesi

Çalışanların hava kalitesi, zararlı etkileri ve alınması gereken önlemler konusunda düzenli eğitim almaları gerekir. Eğitimlerin içeriği şunları kapsamalıdır:

- Zararlı gazlar, toz ve hastalıklar hakkında temel bilgiler
- Havalandırma sistemlerinin önemi ve kullanımı
- Kişisel koruyucu donanımın doğru seçimi ve kullanımı
- Acil durum prosedürleri ve ilk yardım uygulamaları

Eğitimlerin uygulamalı ve tekrarlı olması bilgilerin pekiştirilmesini sağlar (Hansson ve ark., 2002).

6.3 Çalışanların Sağlık Takibi ve Risk Değerlendirmesi

Düzenli sağlık kontrolleri ile çalışanların solunum yolu hastalıkları gibi mesleki hastalıklara karşı erken teşhisi sağlanmalıdır. Ayrıca ortam risk değerlendirmeleri periyodik olarak güncellenmeli ve yeni risklere karşı önleyici tedbirler alınmalıdır (OSHA, 2020).

6.4 İş Güvenliği Politikalarının Güncellenmesi ve Uygulanması

Yasal mevzuatlar ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda iş güvenliği politikaları gözden geçirilmeli, yenilenmeli ve tüm çalışanlara duyurulmalıdır. İşletme yönetimi, bu politikaların uygulanmasında aktif rol almalı ve çalışanları teşvik etmelidir (Cooper, 2000).

Mevcut durum

Hayvancılıkta hava kalitesi yönetimi üzerine yapılan araştırmalar ve uygulanan vaka çalışmaları, sektörde başarılı örneklerin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Hayvancılık işletmelerinde, özellikle barınak ortamında, organik toz ve amonyak (NH₃) gazı, hem hayvan sağlığı hem de çalışanların iş sağlığı

açısından önemli riskler oluşturur (Göncü ve ark. 2017). Organik toz partikülleri, mikrobiyal bileşenler, mantar sporları, endotoksinler ve hayvansal materyallerden oluşurken; amonyak ise gübre ayrışması sonucu açığa çıkan bir gazdır. Bu kirleticiler, solunum yolu hastalıkları, alerjik reaksiyonlar, kronik bronşit gibi sağlık sorunlarına neden olabilir (Donham ve ark., 2002). Son yıllarda yürütülen araştırmalar, modern hayvancılık teknikleri ve çevresel kontrol yöntemleri ile bu maruziyetin etkin şekilde azaltılabileceğini göstermektedir. Türkiye’de özellikle büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık işletmelerinde yapılan çalışmalar, hava kalitesinin iyileştirilmesinin hem hayvan sağlığı hem de çalışan iş güvenliği açısından olumlu etkilerini göstermektedir (Göncü ve ark. 2010; Göncü, 2025). Hayvancılık işletmelerinde solunan hava, yoğun organik toz, endotoksinler ve iritan gazlar (özellikle amonyak ve H₂S) içerdiğinde çalışanlarda akut ve kronik solunum sistemi rahatsızlıkları gözlenmektedir; bu koşullar kronik bronşit, astım benzeri semptomlar, rinit ve hava yolu tıkanıklığı riski ile ilişkilendirilmiştir (Donham, Cumro & Reynolds, 2002; Sigsgaard ve ark., 2020). Donham ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, tavuk çiftliği çalışanlarının toz ve amonyak maruziyetine eşzamanlı maruz kalmasının FEV₁ düşüşlerini %35–61 arasında artırdığı ve kronik bronşit benzeri tabloların prevalansını yükselttiği gösterilmiştir. Benzer şekilde, Younis ve ark. (2020) tarafından Mısır’daki çeşitli tavuk çiftliklerinde yapılan incelemede, çalışanlarda öksürük, hırıltı ve nefes darlığı sıklığının kontrole göre anlamlı derecede yüksek olduğu, spirometrik parametrelerin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir. Avrupa’daki bir

EAACI konum belgesinde, yoğun hayvan barınaklarında çalışanlarda iş ilişkili astım, rinit, kronik bronşit ve FEV₁ düşüş riskinin sürdüğü ve maruziyetin azaltılmasının öncelikli koruyucu önlem olduğu vurgulanmıştır (Sigsgaard ve ark., 2020). Ayrıca, kapsamlı derlemelerde uzun süreli kapalı barınak maruziyetinin COPD benzeri hava yolu obstrüksiyonuna katkıda bulunabileceği ve solunum fonksiyonlarında hızlanmış düşüşlere yol açabileceği belirtilmiştir (Sigsgaard ve ark., 2020; Omland, 2002). Bu bulgular, havalandırma iyileştirmeleri, toz ve gaz emisyonlarının mühendislik kontrolleri, uygun hijyen uygulamaları ve kişisel koruyucu donanım (respiratör) kullanımıyla işçilerin solunum sağlığının korunması gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Çizelge 7. Modern hayvancılık teknikleri ve çevresel kontrol yöntemleri

İyi Tasarlanmış Havalandırma Sistemleri	Barınak içi havalandırma, organik toz ve amonyak konsantrasyonlarının kontrolünde en kritik faktörlerden biridir. Mekanik havalandırma sistemleri, hava akışının yönlendirilmesi ve temiz hava girişinin sağlanması ile kirleticilerin seyreltilmesini ve ortamdan uzaklaştırılmasını sağlar. Araştırmalar, havalandırmanın doğru tasarlanması ve periyodik bakımının yapılması durumunda NH ₃ ve toz seviyelerinde %40–60 oranında azalma sağlandığını ortaya koymuştur (Misselbrook ve ark., 2016). Ayrıca, havalandırma stratejileri iklim koşullarına göre optimize edilerek enerji tasarrufu ile birlikte etkin kontrol sağlanmaktadır.
Yatak Malzemesi ve Gübre Yönetimi	Barınak zeminlerinde kullanılan yatak materyalleri, toz oluşumunun ve amonyak salımının önemli belirleyicilerindendir. Organik yatak materyalleri, nem tutma kapasiteleri sayesinde toz partiküllerinin havaya karışmasını engellerken, uygun gübre yönetimi amonyak oluşumunu

	sınırlar (Heederik ve ark., 2007). Yapılan araştırmalarda, lignoselülozik materyallerin yatak malzemesi olarak kullanılması, toz partiküllerinde %30–50, NH ₃ emisyonlarında ise %25–35 oranında azalma sağladığı rapor edilmiştir (Huang ve ark., 2019).
Otomatik Gübre Toplama Sistemleri	Gübre birikimi, amonyak oluşumunda başlıca kaynak olduğundan, gübrenin barınaktan hızlı ve düzenli olarak uzaklaştırılması maruziyet riskini azaltmaktadır. Modern işletmelerde kullanılan otomatik gübre sıyırıcıları ve vakum sistemleri, gübre kalıntılarının etkin şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. Bu teknolojiler, amonyak konsantrasyonlarını %20–40 oranında düşürürken, aynı zamanda çalışanların maruziyet süresini kısaltmaktadır (Pedersen ve ark., 2013).
Bitkisel ve Biyolojik Filtre Sistemleri	Amonyak ve toz partiküllerinin dış ortama salınımını azaltmak amacıyla biyofiltreler ve bitkisel filtreleme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, kirleticileri mikroorganizmalar aracılığıyla biyolojik olarak parçalarken, filtre ortamı olarak odun talaşı, kompost ve diğer organik materyaller kullanılmaktadır. Yapılan saha çalışmaları, biyofiltrelerin NH ₃ emisyonlarını %60’a kadar azaltabildiğini göstermektedir (Nicolai ve ark., 2016).
Barınak İç Ortam Koşullarının İzlenmesi ve Kontrolü	Günümüzde IoT tabanlı sensör sistemleri ile organik toz ve amonyak konsantrasyonları gerçek zamanlı olarak izlenmekte ve otomatik havalandırma ve filtrasyon sistemleri bu verilere göre yönetilmektedir. Bu teknoloji, kirletici düzeylerinin kritik eşik değerlerinin üzerine çıkmasını engelleyerek ortam kalitesini sürekli olarak yüksek tutmaktadır (Berckmans, 2017).
Çalışan Eğitimi ve Koruyucu Önlemler	Teknolojik çözümlerin yanı sıra, hayvancılık çalışanlarının organik toz ve amonyak maruziyeti konusunda bilinçlendirilmesi, uygun kişisel koruyucu donanım kullanımı ve hijyen uygulamaları maruziyeti azaltmada önemlidir. Araştırmalar, düzenli eğitim programları ve koruyucu ekipman kullanımının işyeri hava kalitesine bağlı hastalıkların sıklığını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır (Donham ve ark., 2000).

Rylander ve Haglind (1998) tarafından İsveç’te yürütülen araştırmada, organik toz ve amonyak maruziyetinin azaltıldığı modern

hayvancılık işletmelerinde işçi sağlığı belirgin şekilde iyileşmiştir. Benzer şekilde, ABD’de yapılan bir çalışmada, yüksek verimli havalandırma sistemleri ile işletmelerde hem yangın riskinin hem de mesleki hastalık oranlarının azaldığı rapor edilmiştir (Madsen ve ark., 2012).

BÖLÜM 7

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ AÇISINDAN YENİ TEKNOLOJİLER VE İNOVATİF ÇÖZÜMLER

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Son yıllarda hava kalitesi yönetiminde dijital sensör sistemleri ve otomatik havalandırma kontrolü yaygınlaşmıştır. Hayvancılık sektörü, artan küresel nüfus ve değişen tüketim alışkanlıklarıyla birlikte üretim kapasitesini artırma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma ihtiyacı duymaktadır. Bu bağlamda, yeni teknolojiler ve inovatif çözümler, hayvansal üretim süreçlerinde verimliliği artırırken çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan kritik araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş veri analizlerinden robotik sistemlere, biyoteknolojiden yenilenebilir enerji uygulamalarına kadar birçok teknoloji, modern hayvancılıkta devrim yaratmaktadır. Dijitalleşme, hayvancılık sektöründe “Akıllı Hayvancılık” kavramını ön plana çıkarmıştır. IOT (Nesnelerin İnterneti) sensörleri sayesinde hayvanların sağlık durumu, yem tüketimi, hareketliliği ve çevresel koşullar gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir (Wolfert ve ark., 2017). Bu teknolojiler sayesinde hastalıkların erken teşhisi, verimlilik artışı ve hayvan refahı sağlanabilmektedir. Ayrıca, büyük veri (big data) ve yapay zeka algoritmaları, işletme yönetiminde karar destek sistemleri oluşturarak üretim optimizasyonunu mümkün kılmaktadır

(Berckmans, 2017). Sağım robotları, otomatik yemleme sistemleri ve temizlik robotları gibi uygulamalar, insan gücüne olan bağımlılığı azaltmakta ve iş gücü verimliliğini artırmaktadır. Hayvancılık sektöründe robotik ve otomasyon teknolojileri, üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak, iş gücü maliyetlerini azaltmak ve hayvan refahını geliştirmek amacıyla hızla yaygınlaşmaktadır. Geleneksel manuel uygulamaların yerini alan bu teknolojiler, özellikle büyük ölçekli ve entansif işletmelerde operasyonel etkinliği önemli ölçüde yükseltmektedir (Eastwood ve ark., 2012).

Çizelge 8. Hayvancılık sektöründe robotik ve otomasyon teknolojileri

Otomatik Sağım Sistemleri	Robotik sağım sistemleri, süt sığırcılığında en yaygın kullanılan otomasyon teknolojilerindendir. Bu sistemler, hayvanların sağım zamanlarını ve sıklığını bireysel olarak takip ederek optimize eder, böylece süt verimini ve kalitesini artırırken stres ve hastalık risklerini azaltır (Hodgson ve ark., 2017). Sağım robotları, aynı zamanda işletme sahibine detaylı veri sağlayarak sürü yönetimi ve hayvan sağlığı takibini kolaylaştırır.
Otomatik Yemleme ve Su Sağlama Sistemleri	Yemleme, hayvan üretiminde önemli bir maliyet kalemidir ve otomatik yemleme sistemleri ile yem dağıtımı hassas ve kontrollü bir şekilde yapılmaktadır. Bu sistemler, hayvanların yaşına, ağırlığına ve üretim dönemine göre farklı yem rasyonlarını otomatik olarak sunabilir (Rotz ve ark., 2019). Aynı zamanda otomatik su sistemleri, hayvanların su tüketimini izleyerek dehidratasyon gibi sağlık sorunlarının önüne geçilmesine yardımcı olur.
Hayvan İzleme ve Davranış Analizi	Robotik ve otomasyon sistemleri, hayvanların hareket, yeme, dinlenme ve sosyal davranışlarını sensörler ve kameralar aracılığıyla sürekli izler. Yapay zeka destekli analizler, anormal davranışları veya sağlık problemlerini erken dönemde tespit ederek müdahaleyi mümkün kılar (Berckmans, 2017). Bu sayede hayvan refahı artırılırken, hastalıkların yayılması önlenir ve tedavi

	maliyetleri azaltılır.
Temizlik ve Atık Yönetimi Robotları	Hayvan barınaklarında hijyen büyük önem taşır. Robotik temizlik sistemleri, ahır tabanlarının düzenli temizliği ile hastalık risklerini düşürür ve iş gücünden tasarruf sağlar (Froehlich ve ark., 2019). Ayrıca, otomatik gübre toplama ve taşımada kullanılan robotlar, çevresel kirliliği azaltmak için etkin gübre yönetimi sağlar.
Enerji ve Kaynak Verimliliği	Otomasyon sistemleri enerji ve kaynak kullanımını optimize etmek için programlanabilir. Örneğin, barınakların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, hayvan yoğunluğu ve dış ortam koşullarına göre otomatik olarak ayarlanabilir (Misselbrook ve ark., 2016). Böylece enerji tüketimi azaltılırken hayvan konforu sağlanır
Gelecek Perspektifleri ve Entegrasyon	Robotik ve otomasyon sistemlerinin geleceği, yapay zeka, makine öğrenimi ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin entegrasyonu ile şekillenmektedir. Bu sayede çiftlik yönetimi daha kapsamlı ve veri odaklı hale gelecek, tüm üretim süreci optimize edilebilecektir (Wolfert ve ark., 2017). Ayrıca, insansız hava araçları (drone) ve otonom araçlar, hayvanların açık alanlarda takibi ve yem dağıtımı gibi görevlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Robotik ve otomasyon teknolojileri, hayvancılıkta üretkenlik, sürdürülebilirlik ve hayvan refahı hedeflerinin gerçekleştirilmesinde kilit rol oynarken, teknolojik yatırımlar ve bilgi birikiminin artırılması sektördeki dönüşümün hızlanmasına katkı sağlamaktadır.

Otomatik sağım robotları, hayvanların bireysel süt verimini takip ederek optimal sağım zamanlarını belirlerken, otomatik yemleme sistemleri yem israfını minimize etmektedir (Eastwood ve ark., 2012). Bu sistemler, işletmelerin hem üretim hem de iş sağlığı ve güvenliği açısından gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Biyoteknoloji ve Genetik İyileştirme

Moleküler biyoloji ve genomik alanlarındaki gelişmeler, hayvan genetik kaynaklarının iyileştirilmesinde önemli fırsatlar sunmaktadır.

Hayvancılık sektöründe biyoteknoloji ve genetik iyileştirme uygulamaları, üretim verimliliğini artırmak, hastalıklara dirençli ve çevresel streslere dayanıklı hayvan ırkları geliştirmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Moleküler biyoloji teknikleri, genom analizleri ve ileri genetik mühendisliği yöntemleri, hayvan genetik kaynaklarının daha etkin bir şekilde değerlendirilmesini ve geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Hayes ve ark., 2013).

Çizelge 9. Hayvancılık sektöründe biyoteknoloji ve genetik iyileştirme uygulamaları

Genetik Seçim ve Islah	Klasik genetik seçim yöntemleri, kuşaklar boyunca üstün özelliklere sahip bireylerin seçilmesi yoluyla gen havuzunun iyileştirilmesini sağlar. Günümüzde ise genomik seçim teknikleri sayesinde, bireylerin DNA profilleri incelenerek üretim, sağlık ve adaptasyon özelliklerine dair daha hassas ve hızlı değerlendirmeler yapılmaktadır (Meuwissen ve ark., 2001). Bu yöntemle, süt verimi, et kalitesi, üreme performansı gibi ekonomik özelliklerin genetik potansiyeli yüksek bireylerde artırılması hedeflenmektedir.
Genom Düzenleme Teknolojileri	CRISPR-Cas9 gibi yeni nesil gen düzenleme teknolojileri, hedeflenen genlerin hızlı ve kesin bir şekilde değiştirilmesini sağlar. Bu teknoloji ile hastalıklara dirençli, çevresel streslere dayanıklı ve daha verimli hayvanların geliştirilmesi mümkündür (Wang ve ark., 2020). Ayrıca, gen düzenleme teknikleri kullanılarak zararlı mutasyonların ortadan kaldırılması veya belirli üretim özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır.
Klonlama ve	Klonlama teknolojileri, üstün genetik özelliklere sahip bireylerin

Embriyo Transferi	genetik kopyalarını üretmek için kullanılmaktadır. Böylece, genetik potansiyeli yüksek hayvanların sayısı artırılarak işletme verimliliği yükseltilmektedir (Wilmot ve ark., 1997). Embriyo transferi teknikleri ise genetik olarak üstün bireylerin çok sayıda yavru üretmesini mümkün kılarak, genetik ilerlemeyi hızlandırmaktadır.
Biyoteknoloji ve genetik iyileştirme,	hayvancılıkta sürdürülebilir üretim ve rekabet gücünü artıran temel araçlar arasında yer almakta, geleceğin hayvancılık sistemlerinde kritik bir rol üstlenmektedir Genetik seçim teknikleri, hastalıklara dirençli, çevresel streslere dayanıklı ve yüksek verimli hayvanların yetiştirilmesini desteklemektedir (Hayes ve ark., 2013). Ayrıca, CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknolojileri, istenilen özelliklere sahip bireylerin geliştirilmesinde yeni olanaklar sağlamaktadır (Wang ve ark., 2020).
Transgenik Hayvanlar	Biyoteknolojinin bir diğer önemli alanı olan transgenik hayvanlar, dışarıdan alınan genlerin hayvan genomuna eklenmesiyle özel özellikler kazandırılmış bireylerdir. Örneğin, süt üretimini artıran veya belirli hastalıklara direnç sağlayan genlerin aktarımı ile hayvancılık verimliliğinde önemli gelişmeler elde edilmektedir (Wall et al., 2005).
Etik ve Yasal Boyutlar	Biyoteknoloji ve genetik iyileştirme uygulamalarında etik, çevresel ve sosyal boyutlar önem taşımaktadır. Genetik manipülasyonun hayvan refahı, biyolojik çeşitlilik ve toplum sağlığı üzerindeki etkileri dikkatle değerlendirilmelidir. Ayrıca, yasal düzenlemeler ve standartlar, bu teknolojilerin güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (European Food Safety Authority, 2012).
Yenilenebilir Enerji Uygulamaları	Hayvancılık işletmelerinde kullanılan fosil yakıtların yerine güneş enerjisi, biyogaz ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, karbon ayak izini azaltmaktadır. Örneğin, çiftlik gübresi ve atıklardan elde edilen biyogaz üretimi, hem enerji ihtiyacını karşılamakta hem de çevre kirliliğini minimize etmektedir (Deublein ve Steinhäuser, 2011). Güneş panelleriyle çalışan otomatik sistemler ise işletme maliyetlerini düşürmekte ve sürdürülebilirliği artırmaktadır.

Çevresel İzleme ve Emisyon Kontrolü Teknolojileri	Barınaklarda oluşan gaz emisyonlarının ölçümü ve kontrolü için yeni nesil sensörler ve hava kalitesi izleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu teknolojiler, amonyak, metan ve diğer zararlı gazların konsantrasyonlarını gerçek zamanlı izleyerek etkili havalandırma ve filtreleme sistemlerinin çalışmasını optimize etmektedir (Misselbrook ve ark., 2016). Ayrıca, biyofiltre ve fotokatalitik filtreleme gibi inovatif arıtma teknolojileri, çevresel yükü azaltmada kullanılmaktadır.
Sürdürülebilir Besleme ve Yem Teknolojileri	Yeni yem formülasyonları ve alternatif protein kaynakları, hayvan beslemesinde hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajlar sunmaktadır. Böcek proteinleri, algler ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yemler, geleneksel yemlerin çevresel etkilerini azaltmak için geliştirilmekte ve kullanılmaktadır (Van Huis ve ark., 2013). Ayrıca, yemlerde kullanılan enzim ve probiyotikler, besin verimliliğini artırarak hayvanların daha az yemle daha fazla üretim yapmasını sağlamaktadır.

Bu teknolojiler, sürdürülebilir, verimli ve çevre dostu hayvancılık sistemlerinin oluşturulmasında temel unsurlar olarak görülmekte ve geleceğin hayvancılık sektörünü şekillendirmektedir. Ayrıca, bu inovasyonların yaygınlaştırılması için eğitim, finansman ve politika desteklerinin önemi büyüktür. Bu teknolojiler, gerçek zamanlı hava kalitesi takibi ile hızlı müdahale imkânı sağlar (Heinrichs, 2012). Ayrıca biyolojik filtreler ve zararlı gazları bağlayan kimyasal ajanlar kullanılarak çevre kirliliği azaltılmakta ve iş güvenliği artırılmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Prof. Dr. Serap GÖNCÜ

Dr. Gülcan TÜRKOĞLU

Hayvancılık işletmelerinde ortam hava kalitesi, hem hayvan refahı hem de çalışan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açarak önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Özellikle kapalı barınaklarda biriken amonyak, hidrojen sülfür ve organik tozlar; hayvanlarda solunum yolu hastalıklarını tetiklemekte, süt ve et veriminde düşüşe, yemden yararlanma oranlarında azalmaya neden olmaktadır (Kristensen et al., 2000; Wathes et al., 2002). Aynı zamanda, bu ortamda çalışan personel de yüksek düzeyde toz ve gaz maruziyeti nedeniyle astım, bronşit ve organik toz toksik sendromu gibi meslek hastalıkları ile karşı karşıya kalmaktadır (Donham, 2007; Madsen et al., 2012). Bu durum, iş gücü kaybı, sağlık giderlerinde artış, üretimde sürekliliğin bozulması ve işletme performansında düşüş gibi çok yönlü kayıplar yaratmaktadır. Ayrıca, kötü hava koşulları nedeniyle artan bakım-onarım ihtiyacı, enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar da işletme maliyetlerini yükseltmekte, sürdürülebilir üretim hedeflerini tehdit etmektedir.

Yapılan araştırmalar ve uygulanan vaka çalışmaları, uygun havalandırma, toz ve zararlı gazların kontrolü ile eğitim ve organizasyonel tedbirlerin entegre edilmesinin olumlu etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

Hayvanların sağlıklı bir ortamda yetiştirilmesi, üretim verimliliğinin artmasına, hastalık oranlarının azalmasına ve uzun vadede işletme sürdürülebilirliğine katkı sağlar. Aynı zamanda, çalışanların solunum yolu hastalıkları ve iş kazalarından korunması, iş gücü verimliliğinin artması ve iş güvenliği mevzuatlarına uyumun sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda öneriler şunlardır:

- Hayvancılık işletmelerinde modern havalandırma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve düzenli bakımlarının yapılması,
- Toz ve zararlı gaz kaynaklarının tespiti ve kaynağında kontrolü için etkin yöntemlerin uygulanması,
- Çalışanlara yönelik düzenli eğitim programlarının oluşturulması ve iş güvenliği kültürünün güçlendirilmesi,
- Yasal düzenlemelerin etkin uygulanması için denetim mekanizmalarının iyileştirilmesi,
- Teknolojik yeniliklerin (sensörler, otomatik kontrol sistemleri) entegrasyonu ile gerçek zamanlı hava kalitesi takibinin sağlanması,
- Kamu ve özel sektör iş birliği ile finansal ve teknik destek programlarının geliştirilmesi.

Sonuç olarak, hayvancılıkta hava kalitesi yönetimi; sağlıklı hayvan, güvenli çalışan ve sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmada vazgeçilmezdir. Bu alanda yapılacak yatırımlar, hem ekonomik hem de sosyal açıdan uzun vadeli kazanımlar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2003). *Ammonia emissions and secondary particulate matter formation*. Environmental Protection Agency Report.
- Arogo, J., et al. (2006). Emission of ammonia and odor from animal agriculture. *Transactions of the ASABE*, 49(4), 1051–1062.
- ASHRAE, 1989. “Standard 62- 1989- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta, 1989.
- ASHRAE, 2001. “Standard 62- 2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta, 2001.
- ASHRAE, 2007. “Standard 62.1-2007 user's manual”, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11.
<https://doi.org/10.2527/af.2017.0101>
- Chetner, M., & Sasaki, S. (2001). Sulfate and sulfite aerosol formation in agricultural areas. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 40(3), 255–271.

- Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36(2), 111–136.
[https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00035-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00035-7)
- Donham, K. J. (2007). Organic dust toxic syndrome. *Occupational Medicine*, 21(3), 523-530.
- Donham, K. J., Cumro, D., & Reynolds, S. J. (2002). Synergistic effects of dust and ammonia on the occupational health effects of poultry production workers. *Journal of Agromedicine*, 8(2), 57–76.
- Donham, K. J., Reynolds, S. J., Whitten, P., Merchant, J. A., Burmeister, L. F., & Popendorf, W. (2000). Respiratory dysfunction in swine production facility workers: Dose-response relationships of environmental exposures and pulmonary function. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(2), 124–132.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(200002\)37:2<124::AID-AJIM6>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(200002)37:2<124::AID-AJIM6>3.0.CO;2-R)
- Eastwood, C. R., Cottle, D. J., & Phyn, C. V. C. (2012). The economics of robotic milking for pasture-based dairy systems: A review. *Animal Production Science*, 52(3), 177–189.
<https://doi.org/10.1071/AN11226>

- ECHA. (t.y.). Registration Dossier: Recommended protective equipment for ammonia and chemical exposures. European Chemicals Agency.
- European Committee for Standardization. (2001). EN 149:2001 – Respiratory protective devices — Filtering half masks to protect against particles — Requirements, testing, marking.
- Fangmeier, A., et al. (1994). Effects of ammonia on forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 76(1-2), 81–93.
- Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2000). *Chemistry of the upper and lower atmosphere*. Academic Press.
- Fowler, D., et al. (1998). Ammonia emission and deposition around animal housing. *Atmospheric Environment*, 32(11), 1911–1922.
- Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(Suppl 1), S1.
<https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-S1-S1>
- Froehlich, H., Deschamps, F., & Bodas-Salcedo, A. (2019). Robotic cleaning systems in livestock buildings: Enhancing hygiene and productivity. *Journal of Agricultural Engineering*, 50(4), 235–243.
- Galloway, J. N., & Cowling, E. B. (2002). Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio*, 31(2), 64–71.

- Göncü, S. (2018). Sığır Davranışları ve Sürü Yönetimi. Akademisyen Kitabevi A.Ş.
- Göncü, S. (2019). Sığır yetiştiriciliğinde stressiz ve güvenli sığır yönlendirme. Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences, 34(2), 161–170.
- Göncü, S., & Koluman, N. (2019). Çiftliklerde hayvanla temas kaynaklı yaralanmalar ve önleme yolları. In 1. Uluslararası Erciyes Tarım, Hayvancılık ve Gıda Bilimleri Konferansı (24–27 Nisan 2019).
- Göncü, S., Bayram, A., Uslucan, B., & Yapça, İ. (2010). Hayvancılık işletmelerinde çalışan faktörü ve üretime etkileri. Hasad Dergisi, 25(297), 44–49.
- Göncü, S., Türkoğlu, G., Koluman, N., Görgülü, M., 2016. The effect of Work Safety, Animal Welfare Criteria on Profitability in Dairy Farms. 17th Animal Science Congress(AAAP), Kyushu Sangyo University, Fukuoka, Japan, from 22 to 25 August 2016. Poster
- Göncü, S., Türkoğlu, G., Önder, D., & Koluman, N. (2017). Risk factors for animal related injury among livestock farmers. In International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2017), Cappadocia, Nevşehir, Turkey, May 15–17, 2017 (p. 111).

Göncü, S., 2025. Tarımda Kaza Türleri ve Önleyici Uygulamalar .
Kitap bölüm, Sürdürülebilir çiftlikler: topraktan genlere,
güvenlikten verime. Sf7-40, Editorler: Takma ç., Adanacioğlu h.
ISBN: 978-625-5923-61-5

Groot Koerkamp, P. W. G., et al. (1998). Ammonia emissions from
livestock housing in the Netherlands, II: Effects on nitrogen
deposition and acidification. *Environmental Pollution*, 102(1),
135–142.,

Guo, L., Zhao, B., Jia, Y., He, F., & Chen, W. (2022). Mitigation
strategies of air pollutants for mechanical ventilated livestock
and poultry housing—A review. *Atmosphere*, 13(3), 452.

Hansson, M., et al. (2002). Work environment and health in
agriculture: A review. *Scandinavian Journal of Work,
Environment & Health*, 28(6), 397-403.
<https://doi.org/10.5271/sjweh.691>

Hartung, J. (1998). Odor control in animal production. *Livestock
Production Science*, 56(2), 105–110.

Heederik, D., Sigsgaard, T., Thorne, P. S., Kline, J. N., & Schultz, A.
(2007). Health effects of airborne exposures from concentrated
animal feeding operations. *Environmental Health Perspectives*,
115(2), 298–302.

- Heederik, D., Sigsgaard, T., Thorne, P. S., Kline, J. N., & Schultz, A. (2007). Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations. *Environmental Health Perspectives*, 115(2), 298–302. <https://doi.org/10.1289/ehp.8830>
- Heinrichs, A. J. (2012). Ventilation design in dairy cattle housing. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28(2), 271-282. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.04.003>
- Hodgson, R., Proudfoot, K., & Penno, J. (2017). The impact of automatic milking systems on dairy cow health and production. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 2446–2455. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11901>
- Huang, Q., Yan, X., & Wang, Z. (2019). Effects of bedding materials on air quality and animal health in livestock housing: A review. *Journal of Cleaner Production*, 223, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.127>
- IIAR / OSHA Görüşü. (t.y.). Personal Protective Equipment for NH₃ Releases Less Than 15,000 PPM of Vapor.
- Janzen, H. H., et al. (1998). Odor and ammonia emissions from livestock operations. *Journal of Agricultural Science*, 130(4), 493–500.

- Jongbloed, A. W., et al. (1999). Impact of ammonia emissions from animal production on environmental pollution. *Environmental Pollution*, 104(3), 447–453.
- Kristensen, H. H., et al. (2000). Ammonia emission and animal health in animal production. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(1), 135-143.
<https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0590>
- Legault, M., Ayers, P. D., & McDonald, S. K. (2007). Agricultural Respiratory Protective Equipment – 5.020. Colorado State University Extension.
- Madsen, A. M., et al. (2012). Dust and bioaerosol exposure in livestock buildings. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 18(3), 219-234.
<https://doi.org/10.13031/2013.41225>
- Marcillac, C. (2007). Climate change and livestock emissions. *Environmental Science & Policy*, 10(4), 261–269.
- Misselbrook, T. H., et al. (2016). Automated ventilation control and its impact on air quality in dairy housing. *Biosystems Engineering*, 142, 115–126.
- Misselbrook, T., Johnson, R., & Pain, B. (2016). Improving air quality in livestock buildings through ventilation management. *Biosystems Engineering*, 142, 115–126.

- Moberg, G. P. (2000). Biological response to stress: Implications for animal welfare. In G. P. Moberg & J. A. Mench (Eds.), *The biology of animal stress* (pp. 1-21). CABI Publishing.
- NASD / PSU Extension. (t.y.). Farm Respiratory Protection Guidelines.
- Nicolai, R., Yates, S., & Smith, L. (2016). Biotrickling filters for ammonia removal from livestock building exhaust air. *Journal of Environmental Management*, 180, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.066>
- Omland, Ø. (2002). Exposure and respiratory health in farming in temperate zones—a review of the literature. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 9(2), 119–136.
- OSHA. (2020). Occupational safety and health standards: Permissible exposure limits. U.S. Department of Labor.
- Pedersen, S., Nørgaard, P., & Pedersen, P. (2013). Effects of automatic manure scrapers on ammonia emissions and barn air quality. *Livestock Science*, 155(2-3), 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.019>
- Place, S. E., & Mitloehner, F. M. (2014). The nexus of environmental quality and livestock welfare. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2(1), 555–569. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114242>

- Phillips, V. R., Holden, M. R., White, R. P., Sneath, R. W., Longhurst, P. J., & Nicholson, R. J. (1996). Measuring and modelling ammonia emissions from intensive livestock buildings. *Environmental Pollution*, 93(1), 47–52.
- Reynolds, S. J., Donham, K. J., Whitten, P., Merchant, J. A., Burmeister, L. F., & Popendorf, W. (2002). Synergistic effects of dust and ammonia exposures on pulmonary function over a work shift. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(2), 124–132.
- Rotz, C. A., Montes, F., & Chianese, D. S. (2019). Automated feeding systems and their impact on livestock production efficiency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.022>
- Rylander, R., & Haglind, P. (1998). Organic dust exposure and respiratory symptoms in farmers. *American Journal of Industrial Medicine*, 34(1), 58–63. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199807\)34:1<58::AID-AJIM10>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199807)34:1<58::AID-AJIM10>3.0.CO;2-O)
- Schnoor, J. L., et al. (2002). Environmental impacts of hydrogen sulfide emissions from livestock operations. *Environmental Science & Technology*, 36(9), 1789–1795.

Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., ... & Wathes, C. M. (1998). Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 59–77.

Shusterman, D. (1992). Critical review: The health effects of hydrogen sulfide exposure. *Occupational Medicine*, 7(3), 541-556.

Türkoğlu, G. ve Göncü, S., 2025. Emergency Management In Livestock Enterprises Munzur 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Ve İnovasyon Kongresi, 24-26 Temmuz 2025, Tunceli

Türkoğlu, G., Göncü, S., 2025. Ergonomic Risks And Physical Work Safety In Livestock Enterprises. Munzur 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 24-26 Temmuz 2025, Tunceli.

Türkoğlu, G., Göncü, S., 2025. Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Tehlike Unsurları. Kitap bölüm, Sürdürülebilir çiftlikler: topraktan genlere, güvenlikten verime. Sf 41-71, Editorler: Takma ç., Adanacioğlu h. ISBN: 978-625-5923-61-5

Sigsgaard, T., Basinas, I., Doekes, G., de Blay, F., Folletti, I., Heederik, D., ... & Schlünssen, V. (2020). Respiratory diseases

and allergy in farmers working with livestock: an EAACI position paper. *Clinical and Translational Allergy*, 10, 29. <https://doi.org/10.1186/s13601-020-00334-x>

Von Essen, S. G. (2005). Organic dust toxic syndrome: A noninfectious febrile illness after exposure to the hog barn environment. *American Association of Swine Veterinarians*, 13(5), 273–276.

Wathes, C. M., et al. (2002). Environmental effects on animal health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 85(7), 1963–1970.

West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Younis, F., Salem, E., & Salem, E. (2020). Respiratory health disorders associated with occupational exposure to bioaerosols among workers in poultry breeding farms. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(16), 19869–19876.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08485-x>

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE HAVA KALİTESİ: HAYVAN REFAHI, İŞ GÜVENLİĞİ, ÖLÇÜM TEKNİKLERİ VE MODERN YÖNETİM YAKLAŞIMLARI

