

Hayvancılık işletmelerinde atmosferik amonyak gazının AERMOD ile modellenmesi

Atilla MUTLU*

Balikesir Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Müh. Böl., Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 02.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.07.2023

Öz

Amonyak (NH_3) emisyonları, atmosferde insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkileri olabilecek $PM_{2.5}$ oluşumunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, daha önce bir süt sığırcılığı tesisinden atmosfere yayılan NH_3 gazı emisyon değerleri kullanılarak, işletme için NH_3 gazının saatlik ve günlük dağılımları modellenmiştir. İşletmeden salınan NH_3 gazı AERMOD (The American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) ile modellenmiştir. AERMOD günümüzde endüstriyel alanlarla birlikte hayvancılık tesislerinden salınan hava kirleticilerinin etkilerini belirlemek için kullanılan USEPA onaylı bir hava kalitesi dağılım modelidir. Çalışma alanı, yaklaşık 2200 baş hayvana sahip ticari bir süt sığırcılığı işletmesidir. Modelleme sonucunda, işletmeden en yakın yerleşim alanına olan saatlik NH_3 emisyon yükü yaklaşık $19 \mu g/m^3$ ve günlük NH_3 gazı emisyon etkisi yaklaşık $4 \mu g/m^3$ olarak tahmin edilmiştir. Bu değerlerin hem Amerikan ve hem de Avrupa hava kalitesi yasal sınır değerlerinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hayvancılık tesisi, amonyak, AERMOD.

Modeling of atmospheric ammonia gas from livestock farms with AERMOD

Abstract

Ammonia (NH_3) emissions play a very important role in the formation of $PM_{2.5}$ in the atmosphere, which can have significant effects on human health and the environment. In this study, hourly and daily dispersions of NH_3 gas for the dairy were modeled by using the NH_3 gas emission values emitted from the dairy facility. The emitted NH_3 gas from the operation has been modeled using AERMOD (The American Meteorological

*Atilla MUTLU, amutlu@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0777-0863>

Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model). AERMOD is an USEPA-approved air quality dispersion model employed to determine the impact of air pollutants released from industrial areas as well as livestock facilities. The study area is a commercial dairy farm with approximately 2200 head of animals. As a result of modeling, the hourly immission has been estimated to be approximately $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the daily NH_3 gas immission has been also estimated to be approximately $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ from the dairy to the nearest residential area. It has been determined that these estimated values are well below both the American and European air quality standards.

Keywords: Livestock, ammonia, AERMOD.

1. Giriş

Hayvancılık işletmeleri, özellikle süt endüstrisi, küresel ekonomiye önemli bir katkı sağlamaktadır. Söz konusu işletmeler, hayvansal proteinin ve süt üretiminin temel kaynakları olarak değerlendirilir. Ancak bu sektör, son yıllarda, amonyak (NH_3), hidrojen sülfid (H_2S) ve metan (CH_4) gibi zararlı gaz emisyonları başta olmak üzere önemli çevresel sorun kaynağı teşkil eden faaliyetler kapsamına dahil edilmiştir.

Amonyak gazı, atmosferdeki ince partiküllü maddenin ($\text{PM}_{2.5}$) önemli bir öncüsüdür. Amonyak, kükürt dioksit (SO_2) ve nitrojen oksitler (NO_x) gibi diğer kirleticilerle reaksiyona girdiğinde, $\text{PM}_{2.5}$ 'in ana bileşenleri olan amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ve amonyum nitrat NH_4NO_3 oluşturabilir [1,2]. Amonyak, özellikle hayvancılık faaliyetlerinden ve gübre uygulamasından kaynaklanan emisyonlarının yüksek olduğu tarım alanlarında olmak üzere birçok bölgede $\text{PM}_{2.5}$ oluşumuna önemli bir katkı sağlar. Bu durum, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [1].

Küresel ölçekte amonyak emisyonlarının %81'i tarımsal faaliyetlerden oluşmaktadır [1]. Amonyak emisyonları, küresel $\text{PM}_{2.5}$ oluşumuna da önemli oranlarda rol oynamaktadır. Bu oran, Avrupa'da %50, Amerika Birleşik Devletleri'nde %30 ve Çin'de ise %25 civarındadır [3-5].

Amonyak gazı; gübre, idrar ve yataklık malzemelerinde organik nitrojenin parçalanması sırasında oluşan keskin kokulu renksiz bir gazdır [6]. Süt sığırcılığı yapılan hayvancılık tesislerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarının birincil kaynakları, hayvanların yaşam alanları ve gübre depolama, taşıma ve bertaraf sistemleridir. Hayvancılıkta kullanılan en yaygın gübre depolama sistemi, sıvı gübrenin tutulduğu büyük bir açık hava havzası olan lagündür. Gübre daha sonra lagünün dışına pompalanır ve gübre olarak ekili araziye uygulanır. Gübrenin depolanması ve işlenmesi sırasında, özellikle gübrenin sıcaklık ve pH seviyelerinin arttığı sıcak yaz aylarında atmosfere amonyak salınabilir [6-9].

Amonyak gazı emisyonları, havadaki diğer kirleticilerle reaksiyona girerek solunum ve kardiyovasküler sağlık sorunlarıyla bağlantılı ince parçacıklı madde olarak nitelendirilen $\text{PM}_{2.5}$ kirleticisinin oluşumuna etki etmektedir [9-11]. Ayrıca, yüksek düzeyde amonyaka maruz kalmak göz ve solunum yolu tahrişine neden olabilir ve aşırı durumlarda ölümcül olabilir [1,12,13].

Amonyak gazı emisyonları, süt endüstrisinde önemli bir evre sorunudur. Süt inekleri tarafından üretilen büyük miktarda gübrenin bir sonucu olarak, gübre depolama ve işleme, hayvan barınakları ve besi alanlarından amonyak gazı ve diğer zararlı gazların yayılmasına neden olabilir. Hayvancılıkta kullanılan en yaygın gübre depolama sistemi, sv gübrenin tutulduğu büyük bir açık hava havzası olan lagndr [1,6,14].

Belirli bir kirletici kaynağından salınan kirleticileri karakterize etmek için hava kirleticilerine ait AERMOD (The American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) gibi dağılım modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır [15,16]. Atmosferik dağılım modelleri, hava kirleticilerin atmosferdeki taşınmasını ve dağılımını simüle etmek için kullanılan bilgisayar programlarıdır. Bu modeller; rüzgar hızı, türbülans ve kararlılık dahil olmak üzere atmosferin davranışını açıklamak için matematiksel denklemler kullanır. AERMOD da, hayvancılık tesisleri de dahil olmak üzere endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan hava kalitesi etkilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir atmosferik dağılım modelidir [15-17]. Model ayrıca, bu konsantrasyonların halk sağlığı standartlarını açabileceği alanları belirlemek için de kullanılmaktadır [16].

Bu çalışmada, daha önce bir süt sğirciliği tesisinden atmosfere yayılan amonyak gazı emisyon değerleri kullanılarak, belirli kaynaklardan yayılan amonyak gazının saatlik ve günlük dağılımları modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar yasal limitler ile kıyaslanarak işletmenin, bölgede insan sağlığına ve çevreye olası etkileri incelenmiştir.

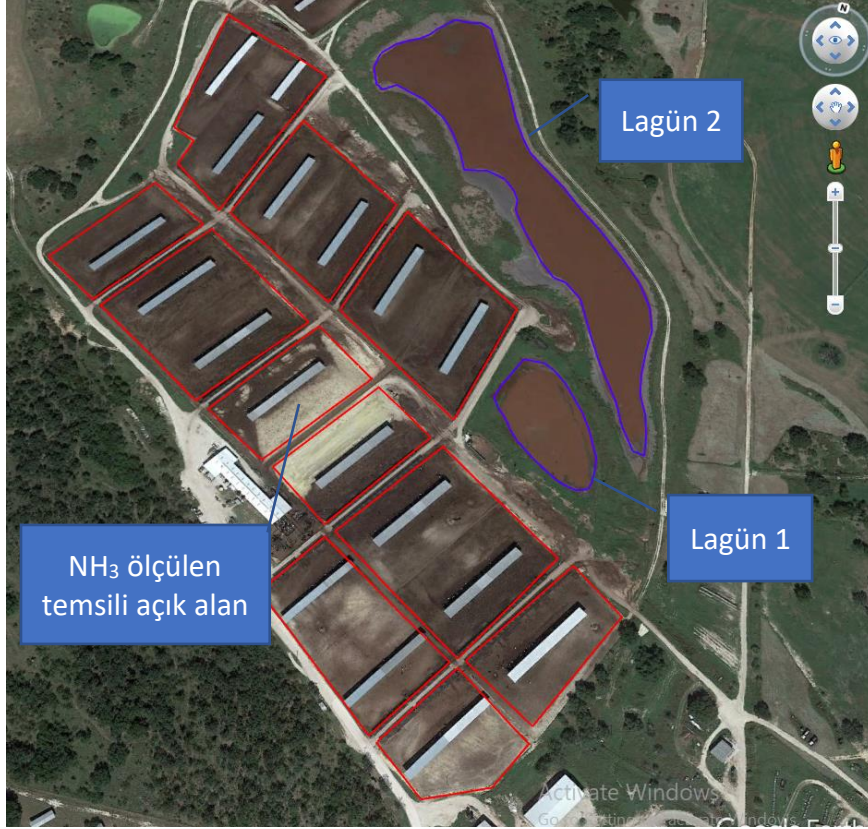
2. Materyal ve yöntem

İşletme içinde gerçek zamanlı NH₃ gazı konsantrasyonları ölçülmüş ve emisyonları hesaplanmıştır [14]. Ayrıca, söz konusu önceki çalışmaya ek olarak, atmosferik NH₃ gazı dağılım modellerinin oluşturulduğu hayvancılık işletmesine ait bilgiler, ölçüm ve modelleme yöntemleri takip eden kısımlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1. Çalışma alanı

Çalışmaya konu olan hayvancılık tesisi Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas eyaletinde bulunmaktadır. İşletmede, yaklaşık 2000 ba sağmal ve 200 ba kuruda ineğin bulunduğu, sundurmalı açık alanlardan oluşan süt sğirciliği yapan bir iletmedir. Bu işletmede, Œekil 1'de gösterildiği üzere, bağımsız barınaklara sahip merkezi besleme ve sulama alanları olan 16 adet toprak tabanlı serbest gezinti alanlarından oluşmaktadır [14]. Her bir bölmede, gübrenin (dışkı ve idrar) oğu serbest ahır tabanında birikmiş olsa da gübrenin ve prosten kaynaklanan atık suyun bir kısmı hayvanların yoğun olarak bulunduğu bekleme alanından (ineklerin geçici olarak sağım için bekletildiği alan) ve sağım haneden birincil lagne taşınmaktadır. İkincil lagün, birincil lagnden arıtılmış atık suyu depolamak ve işletmeye ait merayı sulamak için kullanılmaktadır. Açık alan bölmelerinde, hayvanların beslendikleri kısımdaki beton yolda biriken gübre günde bir kez traktörler ile toplanıp daha sonra sahada lagünler ve açık alanlar arasında istiflenmektedir. İstiflenen gübre yığınları, yk kamyonları kullanılarak işletmeden uzaklaştırılmaktadır [14].

Bu alımada, NH₃ gazı konsantrasyon ölçümleri gerçek zamanlı olarak Œekil 1'de gösterildiği üzere, rastgele seçilen bir açık alan yaşam bölmesinde gerçekleştirilmiştir [14].



Şekil 1. Amonyak gazı ölçümü yapılan işletme ve ölçüm kaynaklarının gösterimi [14].

2.2. NH_3 emisyonları

İşletme içinde belirlenen açık alanlarda ölçülen gerçek zamanlı NH_3 konsantrasyonları daha önce belirlenen ölçüm protokolüne göre [14], eşitlik (1) kullanılarak kütle konsantrasyonuna ($C_{küttele}$) dönüştürülmüştür.

$$C_{küttele} = 1000 \times \left[\frac{P}{RT} \right] \times C_{ppm} \times MW_{NH_3} \quad (1)$$

$C_{küttele}$: amonyak gazı kütle konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)

R : gaz sabiti (0.08206 atm-L/gmol-K)

T : mutlak sıcaklık (K)

P : basınç (atm)

C_{ppm} : ölçülmüş amonyak gazı hacimsel konsantrasyonu (ppm)

MW_{NH_3} : amonyak gazı moleküler ağırlığı (17.03 g/mol)

Kütle konsantrasyonu, eşitlik (2) kullanılarak emisyon akılarına dönüştürülmüştür. Kullanılan hacimsel akış hızı bu örnekleme için 7 L/dk ve akı ölçüm ünitesinin “ayak izi” alanı $0,192 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir.

$$\theta_{NH_3} = \frac{C_{küttele} \times V_{\theta}}{A_{\theta}} \quad (2)$$

θ_{NH_3} : amonyak gazı akısı ($\mu g/m^2 \cdot s$)

V_{θ} : akı ölçüm ünitesine giden hacimsel akış (7 L/dak)

A_{θ} : akı ölçüm ünitesi alanı ($0,192 \text{ m}^2$)

Amonyak gazı emisyon oranlarını tahmin etmek için kütle konsantrasyonları ve emisyon akı değerleri bilinmelidir. Emisyon oranları, eşitlik (3) kullanılarak temsili ölçüm yapılan açık alan için amonyak gazı emisyon oranları hesaplanmıştır.

$$EO_{NH_3} = \theta_{NH_3} \times A \quad (3)$$

EO_{NH_3} : amonyak gazı emisyon oranı ($\mu\text{g/s}$)

A : emisyon oranının hesaplandığı kaynak alanı (m^2)

2.3. AERMOD dağılım modeli

AERMOD, hava kirleticilerin atmosferdeki taşınmasını ve dağılmasını öngören, yaygın olarak kullanılan bir hava kalitesi dağılım modelidir. Emisyon kaynağından çeşitli mesafelerde bulunan alıcılardaki kirletici konsantrasyonunu hesaplamak için bir Gauss bulut modeli kullanır [15,16]. AERMOD, havadaki kirleticilerin konsantrasyonunu tahmin etmek için rüzgar hızı, rüzgar yönü, atmosferik kararlılık ve arazi engebeliği gibi çeşitli faktörleri hesaba katar [17-20]. AERMOD sonuçları literatürde yaygın bir şekilde doğrulanmıştır ve dünya çapındaki düzenleyici kurumlar tarafından geniş çapta kabul görmüştür [21]. AERMOD ayrıca, kırsal alanlarda bulunan hayvancılık tesisleri için önemli olabilecek dağılım üzerinde arazinin etkisini modelleme seçeneğini de içerir [18]. Genel olarak AERMOD gibi hava kalitesi dağılım modelleri, amonyak gazı emisyonlarının etkisini değerlendirmek için güvenilir ve sağlam bir çerçeve sağlar [19] ve insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkiyi azaltmak için etkili azaltma önlemlerinin belirlenmesine yardımcı olabilir [15-17].

AERMOD sürecinin çıktısı, insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkiyi değerlendirmek için kullanılabilen, çeşitli alıcı noktalarında tahmin edilen bir kirletici konsantrasyonu olarak değerlendirilmektedir [21,22]. AERMOD sürecinin, izleme, modelleme ve hafifletme önlemlerini içeren daha büyük bir hava kalitesi yönetim sisteminin bileşenlerinden yalnızca biri olduğuna dikkat etmek önemlidir. AERMOD sürecinin doğruluğu ve güvenilirliği, girdi verilerinin kalitesi ve modelleme sürecinde yapılan varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [22]. Çalışma kapsamında elde edilen NH_3 emisyonu dağılım modelleri sonuç kısmında sunulmuştur.

3. Sonuçlar ve tartışma

Çalışmanın yapıldığı işletmeye ait kirletici kaynakları olan açık alanlar ve lagünlere ait alansal bilgiler, akı ünitesi, amonyak gazı ölçüm ve hesaplanan akı, emisyon oranı ve emisyon faktörü değerleri Tablo 1’de sunulmuştur [14].

Tablo 1. İşletmeye ait amonyak gazı ölçüm değerleri.

Kirletici Kaynakları	Alan (m^2)	Akış (L/dk)	NH_3 (ppb)	NH_3 Kütle Konst. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NH_3 Akı ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$)	Emisyon Oranı (kg/gün)	Emisyon Faktörü (kg/yıl/baş)
Gezinti Alanları	102840	7.03 ^a	4178.1	2910.16	1.78	15.78	2.62
		0.02 ^b	65	45.27	0.03	0.25	0.04
Lagün-1	6275	6.6	22998.6	16019.15	9.18	4.98	0.83
		1.9 ^b	11427.7	7959.70	4.56	2.47	0.41

Tablo 1 (devamı)

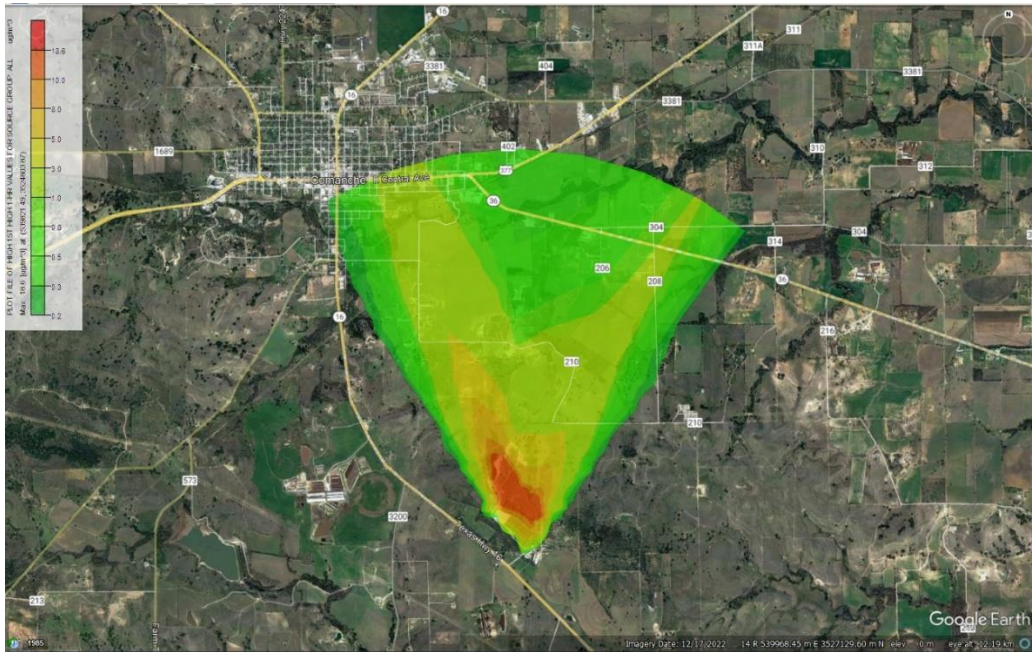
Lagün-2	46094	6.9	12700.9	8846.52	5.30	21.10	3.50
		0.4 ^b	1053.8	734.00	0.12	0.48	0.08
Toplam						41.9 ^c	6.9 ^c

^a Ortalama^b 95% güven aralığı (CI)^c Toplam

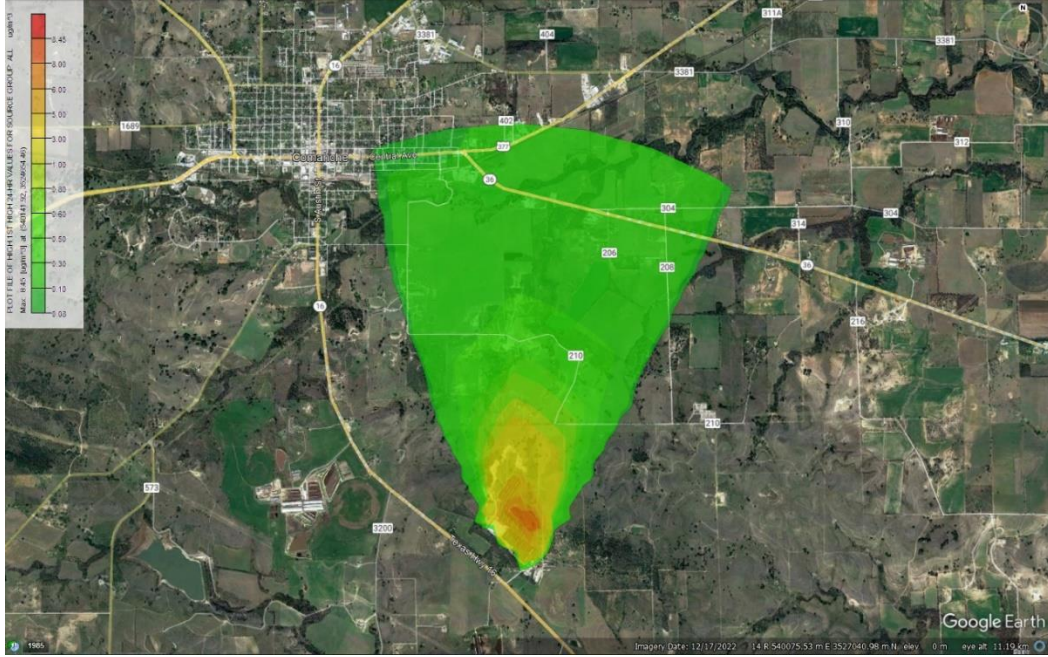
Ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, işletmeden tüm kaynakların dahil edilmesiyle beraber emisyon oranı olarak yaklaşık olarak günlük 42 kg NH₃ gazı salımı yapıldığı tespit edilmiştir. Bu değer kullanılarak, hayvan başına yaklaşık olarak yıllık 7 kg civarında NH₃ salımı yapıldığı belirlenmiştir [14]. Amonyak gazı emisyonlarının kaynak bazlı dağılımları incelendiğinde, su içeriği çok yüksek olan atıkların depolandığı Lagün-2 kaynağı yaklaşık olarak %50 oranı ile ilk sırayı almaktadır. Hayvanların yaşam faaliyetlerini sürdürdüğü gezinti alanları bölmeleri yaklaşık %38 pay ile ikinci kaynak olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en yüksek NH₃ konsantrasyonlarının ölçüldüğü (yaklaşık 23 ppm) ancak en küçük alana sahip olan Lagün-1 kaynağından ise yaklaşık %10'luk bir katkı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, yaklaşık 2200 baş hayvana sahip ticari bir süt sığırı işletmesinden hava yolu ile dış ortama salınan NH₃ gazı yayılımı, AERMOD algoritması dağılım modelleri kullanarak saatlik ve günlük olarak oluşturulmuştur. Hayvancılık işletmesi için oluşturulan dağılım modeli sonucunda, NH₃ gazı emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan yeryüzü seviyesi konsantrasyonları saatlik ve günlük maksimum seviyeleri hesaplanarak sırasıyla Şekil 2. ve Şekil 3. de sunulmuştur.

İşletmeden yerleşim alanına olan NH₃ emisyonu dağılımı Şekil 2. de sunulmuştur. İşletmeye ait, saatlik NH₃ gazı emisyon dağılımları incelendiğinde; işletmeden en yakın yerleşim alanına olan NH₃ emisyon yükü yaklaşık 19 µg/m³ olarak tahmin edilmiştir. Yine dağılım sonuçlarına göre, işletmeden salınan saatlik NH₃ emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan etkisi ise 3 µg/m³'den küçük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. Saatlik NH₃ emisyonu dağılımları.

Yine aynı işletmeye ait, günlük NH₃ gazı emisyon dağılımları incelendiğinde; işletmeden en yakın yerleşim alanına olan konsantrasyon emisyon etkisi yaklaşık 4 µg/m³ olarak tahmin edilmiştir. İşletmeden yerleşim alanına olan günlük NH₃ dağılımı Şekil 3.'de sunulmuştur. Yine dağılım sonuçlarına göre, işletmeden salınan günlük NH₃ emisyonlarının en yakın yerleşim alanına olan etkisi ise 1 µg/m³'den küçük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Günlük NH₃ gazı dağılımları.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA), amonyak gazı için 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) olarak izin verilen maruz kalma sınırı (PEL) 50 ppm veya bir başka ifadeyle 35 mg/m³ (1 ppm=0.70 mg/m³) olarak belirlemiştir [23, 24]. İngiltere'de İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi tarafından ise maruz kalma limiti 35 ppm veya bir başka ifadeyle 25 mg/m³ olarak belirtilmiştir [25]. Ayrıca, Avrupa Birliği'nde, Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA), amonyak gazı için 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) olarak 20 ppm veya 14 µg/m³ olarak belirtilmiştir [26].

Çalışmaya konu olan işletmeden, en yakın yerleşim alanına olan maksimum saatlik dağılım değeri olan 19 µg/m³ ve ayrıca maksimum günlük dağılımı olan 4 µg/m³ değeri hem Amerikan ve hem de Avrupa yasal sınır değerlerinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu işletmeden salınan NH₃ emisyonu dağılımı göz önüne alındığında yerleşim alanı içinde insan sağlığını olumsuz etkileyecek bir etki tespit edilmemiştir.

Hayvancılık tesislerinden kaynaklanan NH₃ emisyonları civarda sadece tek bir işletme göz önüne alındığında insan sağlığı ve çevresel olarak sorun yaratmadığı düşünülebilir. Ancak, söz konusu işletmeden daha geniş ve daha çok sayıda ticari hayvancılık ve süt üretimi yapan işletmelerinin olduğu yerlerde hem insan sağlığı hem de hava kalitesi

özellikle PM_{2.5} seviyeleri için ilerisi için daha kapsamlı ölçüm ve modelleme çalışmalarının yapılmasını gerektirmektedir.

AERMOD hava kalitesi dağılım modellerinin uygulama sürecinin sonunda elde edilen bulguların doğruluğu ve güvenilirliği; girdi verilerinin kalitesi ve modelleme sürecinde yapılan varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [27, 28]. İşletmelerden kaynaklanan amonyak emisyonlarını azaltmak veya kontrol etmek için uygulanabilecek bazı işletme yönetimi uygulamalarına ihtiyaç olabilir. Bu uygulamalardan ham protein içeriğini azaltan ve yem verimliliğini artıran besleme stratejileri, hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilmektedir [28, 29], ayrıca, enzimler ve iyonoforlar gibi belirli besin takviyelerinin eklenmesi, yem verimliliğini artırabilir ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan amonyak emisyonlarını azaltabilmekte [29] ve yine kapalı veya muhafazalı gübre deposu kullanma, gübre saçılması ve akmasının önlenmesi ayrıca tarım alanlarına uygun şekil ve zamanda gübre uygulamasını içeren gübre yönetimi, işletmelerden kaynaklanan amonyak emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilmektedir [28, 30].

Sonuç olarak NH₃ emisyonları, atmosferde insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkileri olabilecek PM_{2.5} oluşumunda çok önemli bir rol oynamaktadır. Amonyak emisyonlarının azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesine ve PM_{2.5} ile ilişkili sağlık etkilerinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Amonyak ve PM_{2.5} arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak ve hayvancılık kaynaklı, özellikle ülkemizde daha küçük ölçekli işletmelerin daha yoğun olduğu dikkate alındığında, NH₃ emisyonları için bir envanter alt yapısını hazırlanmak önem arz etmektedir. Hazırlanacak envantere göre, NH₃ emisyonlarını azaltmak için etkili stratejiler geliştirmek ve buna bağlı olarak ileride daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Wyer, K.E., Kelleghan, D.B., Blanes-Vidal, V., Schauburger, G. ve Curran, T.P., Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health, **Journal of Environmental Management**, 323, 116285, (2022).
- [2] Giannakis, E., Kushta, J., Bruggeman, A., ve Lelieveld, J., Costs and benefits of agricultural ammonia emission abatement options for compliance with European air quality regulations, **Environ. Sci. Eur.**, 31 (1), 93, (2019).
- [3] Bauer, S.E., Tsigaridis, K., Miller, R., Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation, **Geophys. Res. Lett.** 43, 5394–5400, (2016).
- [4] Behera, S., Sharma, M., Aneja, V.P., ve Balasubramanian, R., Investigating the potential role of ammonia in ion chemistry of fine particulate matter formation for an urban environment, **Sci. Total Environ.**, 408 (17), 3569–3575, (2010).
- [5] Han, X., Zhu, L., Liu, M., Song, Y., ve Zhang, M., Numerical analysis of the impact of agricultural emissions on PM_{2.5} in China using a high-resolution ammonia emissions inventory, **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, 3, 1–31, (2020).
- [6] Behera, S. N., Sharma, M., Aneja, V. P., ve Balasubramanian, R. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies, **Environmental Science And Pollution Research**, 20(11), 8092–8131, (2013).
- [7] Rotz, C.A., Management to reduce nitrogen losses in animal production. **Journal of Animal Science**, 82(13), E119–E137, (2004).

- [8] Hristov, A.N., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T.A., Ndegwa, P., ve Rotz, A., Review: ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. **Can. J. Anim. Sci.**, 9, 11–35, (2011).
- [9] Sutton, M.A., Erisman, J.W., Dentener, F., ve Moller, D., Ammonia in the environment: from ancient times to the present. **Environ. Pollut.**, 156(3), 583–604, (2008).
- [10] Xue, J., Lau, A.K., ve Yu, J.Z., A study of acidity on PM_{2.5} in Hong Kong using online ionic chemical composition measurements, **Atmos. Environ.**, 45(39),7081–7088, (2011).
- [11] Brunekreef, B., Harrison, R.M., Künzli, N., Querol, X., Sutton, M.A., Heederik, D.J.J., ve Sigsgaard, T., Reducing the health effect of particles from agriculture. **Lancet Respir. Med.**, 3 (11), 831–832, (2015).
- [12] Thakrar, S.K., Balasubramanian, S., Adams, P.J., Azevedo, I.M.L., Muller, N.Z., Pandis, S. N., Polasky, S., , C. Arden Pope, I., Robinson, A.L., Apte, J.S., Tessum, C.W., Marshall, J.D., ve Hill, J.D., Reducing mortality from air pollution in the United States by targeting specific emission sources, **Environ. Sci. Technol. Lett.**, 7 (9), 639–645, (2020).
- [13] Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution, **J. Am. Med. Assoc.**, 287, 1132–1141, (2002).
- [14] Mutlu, A., Characterization of Ammonia Emissions From Ground Level Area Sources at Central Texas Dairies, Doktora Tezi, Texas A&M University, Biological and Agricultural Engineering, Texas, A.B.D., (2007).
- [15] United States Environmental Protection Agency (USEPA), User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD), Office of Air Quality Planning and Standards: Research Triangle Park, NC, USA, (2018).
- [16] Wu, C., Yang, F., Brancher, M., Liu, J., Qu, C., Piringer, M., ve Schaubberger, G., Determination of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a commercial dairy farm with an exercise yard and the health-related impact for residents, **Environ. Sci. Pollut. Res.**, 27, 37684–37698, (2020).
- [17] O'Shaughnessy, P. T., ve Altmaier, R., Use of AERMOD to Determine a Hydrogen Sulfide Emission Factor for Swine Operations by Inverse Modeling, **Atmos. Environ.**, 45(27), 4617–4625, (2011).
- [18] Huang, D., ve Guo, H., Dispersion modeling of odour, gases, and respirable dust using AERMOD for poultry and dairy barns in the Canadian Prairies, **Science of The Total Environment**, 690, 620-628, (2019).
- [19] Karageorgos, P., Latos, M., Mpasiakos, C., Chalarakis, E., Dimitrakakis, E., Daskalakis, C., Psillakis, E., Lazaridis, M., ve Kalogerakis, N., Characterization and dispersion modeling of odors from a piggery facility, **J. Environ. Qual.**, 39 (6), 2170–2178, (2010).
- [20] Sarr, J.H., Goïta, K., ve Desmarais, C., Analysis of air pollution from swine production by using air dispersion model and GIS in Quebec, **J. Environ. Qual.**, 39 (6), 1975–1983, (2010).
- [21] Hayes, E.T., Curran, T.P., ve Dodd, V.A., A dispersion modelling approach to determine the odour impact of intensity poultry production units in Ireland, **Bioresour. Technol.**, 97 (15), 1773–1779, (2006).
- [22] Xing, Y., Guo, H., Feddes, J., Yu, Z., Shewchuck, S., ve Predicala, B., Sensitivities of four air dispersion models to climatic parameters for swine odor dispersion, **Trans. ASABE**, 50 (3), 1007–1017, (2007).

- [23] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Ammonia, United States, Department of Labor, <https://www.osha.gov/chemicaldata/623> , (14.04.2023)
- [24] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Pocket Guide to Chemical Hazards: Ammonia, U.S. Department of Health & Human Services, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0028.html> , (14.04.2023)
- [25] Health and Safety Executive (HSE). Workplace Exposure Limits, 3rd Edition, <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40>, (14.04.2023).
- [26] European Chemical Agency (ECHA), Ammonia, <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.028.760> , (14.04.2023).
- [27] Tahat, H., Gueneron, M., Pruitt, G., Ndegwa, P., ve Embertson, N., Regional Air Emissions Reduction from Dairy Operations Via Best Management Practices, **American Journal of Environmental Protection.**, 10(6), 158-165, (2021).
- [28] Nannan Zhang, N., Bai, Z., Winiwarter, W., Ledgard, S., Luo, J., Liu, J., Guo, Y., ve Ma., L., Reducing ammonia emissions from dairy cattle production via cost-effective manure management techniques in China, **Environmental Science & Technology**, 53 (20), 11840-11848, (2019).
- [29] Hristov, A.N., Heyler, K., Schurman, E., Griswold, K., Topper, P., Hile, M., Ishler, V., Fabian-Wheeler, E., ve Dinh, S., CASE STUDY: Reducing dietary protein decreased the ammonia emitting potential of manure from commercial dairy farms, **The Professional Animal Scientist**, 31(1), 68-79, (2015).
- [30] Xu, P., Zhang, Y., Gong, W., Hou, X., Kroeze, C., Gao, W., ve Luan, S., An inventory of the emission of ammonia from agricultural fertilizer application in China for 2010 and its high-resolution spatial distribution, **Atmospheric Environment**, 115, 141-148, (2015).