

2. BÖLÜM

SÜT SIĞIRI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİYOGÜVENLİK YÖNETİMİ

(Biosecurity Management in Dairy Enterprises)

Dr. Mehmet Murat DOĞUSAN¹

1. Giriş

1.1. Endüstriyel Süt Sığırıcılığında Yoğun Üretim ve İmmünosupresyon

Endüstriyel süt sığırıcılığı işletmeleri, yüksek mekanizasyon seviyeleri, yüksek hayvan yoğunluğu, hızlı veri akışı ve yüksek süt verimine bağlı fizyolojik/metabolik stres faktörleri ile karakterize edilir. Bu yüksek verimli üretim modellerinde inekler, bağışıklık sistemlerini baskılayan sürekli bir metabolik baskı altındadır. Bu durum, subklinik enfeksiyonların klinik vakalara dönüşmesini kolaylaştırarak sürü sağlığını tehdit eder.

Biyogüvenlik (biosecurity) kavramı, çağdaş hayvancılık literatüründe bir işletmeye hastalık etkenlerinin girişini, işletme içinde yayılmasını ve işletmeden çevreye ya da diğer sürülere çıkışını önlemeyi amaçlayan, birbirini tamamlayan fiziksel, yönetsel ve tanısal önlemlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü (World Organisation for Animal Health [WOAH], 2023) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization [FAO], 2007) tarafından kurulan kavramsal çerçeve, biyogüvenliği üç ana eksen üzerinde değerlendirir: dış biyogüvenlik (external biosecurity / bioexclusion), iç biyogüvenlik (internal biosecurity / biocontainment) ve yönetsel biyogüvenlik. Süt sığırıcılığında bu üç eksenin de endüstriyel üretim sistemlerinin yapısal özelliklerinden, yem-su kaynaklarının endüstriyel boyutta yönetiminden ve yüksek mekanizasyondan derinden etkilendiği bilinmektedir.

1.2. Biyogüvenlik Yatırımlarının Maliyet-Fayda Analizi ve Sürü Ömrü

Süt sığırıcılığında biyogüvenlik yatırımları, doğrudan sürü ömrü, süt kalitesi ve döl verimi üzerinde belirleyicidir. Sürü sağlığının korunmasına yönelik küresel biyogüvenlik pazarının, enfeksiyon baskısını azaltmaya yönelik yapısal talepler doğrultusunda 2026 yılındaki 3,03 milyar USD seviyesinden 2036 yılına kadar %7,3 bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile 6,11 milyar USD seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Fact.MR, 2026).

PubMed verilerinde yer alan küresel sığır sütü sektörü hastalık kayıpları analizine göre (Rasmussen et al., 2024), 183 süt üreten ülkede yürütülen Monte Carlo simülasyonu, yıllık toplam küresel kaybı 65 milyar USD olarak tahmin etmektedir (Rasmussen et al., 2024).

Yapılan ekonomik simülasyon modelleri, sürü içi biyogüvenlik açıklarının doğrudan finansal kayıplara yol açtığını ortaya koymaktadır. Örneğin, sinsi ve yıkıcı bir salgın olan Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV) enfeksiyonunun, Yeni Zelanda sığırıcılık endüstrisine doğrudan üretim kayıpları bazında yıllık 150 milyon NZD'den fazla, kontrol harcamaları kapsamında ise yıllık 40 milyon NZD'yi aşan bir maliyet yüklediği bildirilmektedir (BVD Free New Zealand, 2020). BVD kontrolü ve eradikasyon programlarının genel fayda-maliyet oranı ise 1,80 olarak öngörülmektedir (BVD Free New Zealand, 2020). Biyogüvenlik eğitimlerinin yaygınlaştırılması, üreticilerin bu koruyucu önlemleri bir maliyet yükü olarak değil, verimlilik ve sürdürülebilirlik kaldırıcı olarak görmelerini sağlamaktadır.

2. Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Risk Analizi, Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) ve Kantitatif Biyogüvenlik Değerlendirmeleri

Biyogüvenliğin etkin uygulanabilmesi amacıyla Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu metodoloji, biyogüvenlik kontrol listeleriyle birleştirilerek sürünün dış ve iç risk parametrelerini sistematik olarak değerlendirir ve raporlar (FAO, 2007). Süt sığırcılığında biyogüvenlik risklerinin kantitatif olarak skorlanması, işletmelerin biyogüvenlik açıklarını ve yönetsel zayıf halkalarını objektif olarak ölçmekte, üreticilere sürü sağlığını iyileştirmek için veri tabanlı kararlar alma olanağı sunmaktadır (Ferreira et al., 2024).

Bununla birlikte, kantitatif biyogüvenlik uygulamaları ile süt kalitesi, sürü verimliliği ve ekonomik karlılık arasında doğrudan ilişkiler mevcuttur. Biyogüvenlik düzeyinin yüksek olması, mastitis gibi bulaşıcı ve ekonomik açıdan yıkıcı hastalıkların kontrol altına alınmasını kolaylaştırır (Borş et al., 2024). Biyogüvenlik önlemlerine uyum arttıkça somatik hücre sayısı düşmekte ve tank sütü kalitesi artmaktadır; bu durum işletmelere doğrudan ekonomik avantaj sağlar (Osawe et al., 2022). Metodolojik açıdan biyogüvenlik düzeyinin artışı ile sürü sağlığı parametrelerindeki iyileşmenin, sağım ekipmanı bakımı, altlık konforu ve personel eğitim düzeyi gibi meme sağlığını doğrudan etkileyen diğer yüksek standartlı yönetsel değişkenlerle eş zamanlı olarak geliştiği göz önünde bulundurulmalıdır (Benítez et al., 2026; Farre et al., 2024; Iraguha et al., 2026; Rodriguez et al., 2025). Bu bulgular, biyogüvenlik yatırımlarının doğrudan sürü sağlığını optimize ettiğini ve bulk tank süt kalitesini artırarak süt fiyatı ve prim ödemeleri yoluyla doğrudan ekonomik fayda sağladığını ortaya koymaktadır.

2.1. Dışarıdan Hayvan Alımı ve Semen Yoluyla Bulaşma Riskleri

İşletme düzeyinde belirlenen en kritik kontrol noktalarından biri dışarıdan gebe dişe, damızlık inek veya kontrolsüz semen alımıdır. Küresel düzeyde ari bir sürü statüsüne sahip olmak için kapalı sürü modelinin uygulanması önerilmektedir; ancak bu oran ülkeden ülkeye değişmekle birlikte (örneğin İrlanda’da %28 seviyesindedir) endüstriyel işletmelerde oldukça düşüktür (Osawe et al., 2022).

Dışarıdan hayvan alımında BVDV, Bovine Lökoz Virüsü (BLV) ve Paratüberküloz (Johne’s) taramaları yapılmalıdır. Yapay tohumlama ve embriyo transferinde sertifikalı negatif olmayan boğa sperması kullanımı, BVDV, IBR ve diğer venereal patojenlerin sürüye girişine yol açmaktadır. Kantitatif biyogüvenlik durum analizleri (Ferreira et al., 2024), küçük ölçekli işletmelerde hayvan satın alma sonrasında karantina uygulanmaması, teşhis testlerinin eksikliği ve izolasyon alanlarının bulunmaması gibi ciddi açıkları ortaya koymaktadır.

2.2. Geçiş Dönemindeki Hayvanların İmmünolojik Hassasiyetleri

Laktasyon dönemindeki hayvanların en hassas olduğu faz, doğum öncesi 60 gün ve sonrası 30 günü içine alan 90 günlük geçiş dönemidir (Mushfiq et al., 2023). Bu süreçte inekler, fetal gelişim ve ani başlayan laktasyon nedeniyle negatif enerji dengesine (NEB) girerler ve bu durum immün yetmezlikle sonuçlanarak mastitis, metritis ve ketozis gibi hastalıklara davetiye çıkarır. Bu süreçte ineklerin kuru madde tüketimindeki düşüşler, immün baskılanmayı daha da derinleştirir (Leblanc, 2010; Pascottini et al., 2020). Dolayısıyla, geçiş dönemindeki hayvanların besleme ve barındırma koşulları en kritik kontrol noktalarından biridir.

3. Dış Biyogüvenlik ve Kontaminasyon Engelleri

3.1. Lojistik Hatların Ayrılması ve Dezenfeksiyon Tünelleri

Patojenlerin işletme dışından taşınmasını engellemek üzere kurulacak fiziksel engeller, kesin hatlarla belirlenmiş “Temiz” ve “Kirlili” bölgelerin ayrılması esasına dayanır (Hristov et al., 2024). Yem kamyonları, süt tankerleri ve gübre araçları gibi yüksek riskli lojistik araçların işletme içine giriş yolları ile hayvan hareket yolları tamamen birbirinden izole edilmelidir. Çiftlik girişinde otomatik dezenfeksiyon tünelleri veya basınçlı

yıkama sistemleri kurulmalı, özellikle araç lastikleri ve alt şaseleri şap virüsü gibi dayanıklı patojenlere karşı sanitize edilmelidir.

3.2. Personel/Ziyaretçi Protokolleri ve Araç Kontrolü

Çiftliğe giren her birey için duş alma, işletmeye ait temiz kıyafet, koruyucu eldiven ve çizme giyme protokolü uygulanmalıdır. Araçlar çiftlik dışındaki dezenfeksiyon noktasında park edilmeli ve sadece zorunlu durumlarda çiftliğe sokulmalıdır. Ziyaretçilerin çiftlik sınırına girmesi gerektiğinde iki aşamalı ayakkabı protokolü uygulanmalıdır.



Şekil 1. Ayakkabı protokolü örneği

3.3. Entegre Vektör, Kemirgen ve Kuş Mücadelesi

Kemirgenler, kuşlar ve yabani hayvanların yemliklere erişimi kuş ağları ve mekanik tuzaklarla engellenmelidir. Özellikle sığırlar arasında mekanik kan taşıyıcısı olan ısırıcı sinekler (*Tabanidae* spp.) ve bitler, BLV ve diğer kan kaynaklı patojenlerin yayılmasında rol oynar; bu nedenle entegre sinek mücadele programları uygulanmalıdır. WOA standartları uyarınca, Yüksek Patojeniteli Kuş Gribi'nin (HPAI) sığırlar arasındaki yeni epidemiyolojik dinamikleri doğrultusunda, yaban kuşları ile temasın kesilmesi dış biyogüvenlik önceliklerine dahil edilmiştir (WOAH, 2025).

4. İç Biyogüvenlik (Internal Biosecurity) ve Sürü Sağlığının Korunması

4.1. Pedok Yönetimi ve Geçiş Dönemi Fiziksel Standartları

Geçiş dönemindeki ineklerde stresi minimize etmek ve kuru madde tüketimini maksimum düzeyde tutmak amacıyla pedok yoğunluğu ve konfor standartları çok sıkı yönetilmelidir. Aşırı stoklama, ineklerin sosyal hiyerarşisini bozarak yem tüketimini düşürür ve metabolik hastalık riskini artırır.

Stoklama Yoğunluğu ve Yemlik Alanı Optimizasyonu

- Stoklama Yoğunluğu: “Far-off” (doğuma uzak kuru) pedoklarında %100’ü aşmayacak (bireysel yataklık esasına göre) şekilde planlanmalı, doğuma yakın “Close-up” ve taze (fresh) inek pedoklarında ise rekabeti ve sosyal stresi azaltmak adına kapasite maksimum %80 düzeyinde sınırlandırılmalıdır (Nordlund et al., 2006).
- Yemlik Alanı: Hayvan başına en az 1 m doğrusal yemlik alanı sağlanmalıdır (DeVries et al., 2004). Mevcut kilit sistemlerinin fiziki kısıtları nedeniyle bu genişlemenin yapılamadığı durumlarda, sosyal stresi ve yemlik rekabetini azaltmak amacıyla yem itirme sıklığı artırılmalı, yemler her 2 saatte bir veya

otomatik yem itirme robotlarıyla ittirilerek yemin sürekli ulaşılabilir olması sağlanmalıdır (DeVries et al., 2005).

Yataklık Tasarımı ve Doğumhane (Maternity Pen) Yönetimi

- Yataklık Tasarımı: Derin yataklı kum duraklar veya hayvan başına büyük ırklarda (Holstein vb.) 15.4–25.8 m² dinlenme alanı sunan derin altlıklı sistemleri tercih edilmelidir (Creutzinger et al., 2021). Kum, inorganik yapısı nedeniyle organik altlıklara kıyasla çevre kaynaklı mastitis patojenlerinin üremesini baskılar (Westphal et al., 2011).
- Doğumhane (Maternity Pen) Yönetimi: Doğumhaneler sağılan sürüden tamamen izole edilmeli ve hastalıklı hayvan barınağı olarak kullanılmamalıdır. İnekler sadece doğumun birinci evresinin sonunda (ayakların görünmesi veya aktif sancı) doğumhaneye alınmalıdır. Erken taşımalar güç doğum ve ölü doğum riskini artırır. Doğum alanındaki dışkı kontaminasyonu MAP dikey geçişi ve buzağların enfeksiyona karşı yüksek duyarlılığı nedeniyle en kritik risk noktasıdır (Mallikarjunappa et al., 2021). Hayvanlar doğumhanede 12 saatten fazla tutulmamalı ve buzağı doğumun ardından hızla uzaklaştırılmalıdır (FAO, 2007).

4.2. Buzağı Kreşleri ve Kolostrum Hijyen Zinciri

Neonatal buzağların bağışıklık sistemi sıfır antikor ile doğar. Bu nedenle ilk birkaç saat içinde pasif transferin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi hayati önem taşır. Ancak, çiğ kolostrum; Johne's Disease (*Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*), *E. coli* ve *Salmonella enteritidis* gibi patojenlerin buzağıya geçmesinde en önemli dikey bulaşma kaynağıdır.

Kolostrum Isıl İşlem (LTLT) ve Potasyum Sorbat Uygulaması

- Isıl İşlem (LTLT): Colostrum, antikor (IgG) yapısını bozmadan patojenleri elimine etmek amacıyla 60 °C sıcaklıkta 60 dakika boyunca ısıtılmalıdır. Bu protokol, IgG konsantrasyonunu korurken zararlı bakterileri tamamen yok eder, buzağının bağırsaklarındaki IgG emilim etkinliğini artırır ve serum IgG seviyesini ortalama 15,4 g/L'den 18,0 g/L'ye yükselterek ishal riskini azaltır (Godden et al., 2012; Malik et al., 2022).
- Potasyum Sorbat Kullanımı: Hemen tüketilmeyecek veya dondurulmayacak kolostrumun içine %0,5 (wt/vol) nihai konsantrasyonda potasyum sorbat eklenerek buzdolabı koşullarında (4°C) saklanması, toplam plaka sayısını (TPC) 24 saat içinde anlamlı ölçüde düşürmekte ve en az 96 saat boyunca düşük seviyede tutmaktadır (Stewart et al., 2005). Koruyucu kullanılmadığında buzdolabında saklanan kolostrumun 1-2 gün içinde tüketilmesi önerilirken, potasyum sorbat katkısı bu süreyi en az 4 güne uzatmaktadır. Her iki çalışmada da endüstri standardı olarak TPC için <100.000 CFU/mL hedef değeri referans alınmıştır (Stewart et al., 2005; Denholm et al., 2026). Denholm et al. (2026), 50 g/100 mL konsantrasyondaki stok potasyum sorbat çözeltisinin %1 (hacim/hacim) oranında kolostruma eklenmesinin, %0,5 oranına kıyasla bakteriyel çoğalmayı önlemede daha etkili olduğunu bildirmiştir.

Patojenlerin Eliminasyonu

60 °C'de 60 dakikalık ısıtılma işlemi, *E. coli* ve *Salmonella enteritidis* bakterilerini tamamen yok ederken, bağırsakta faydalı *Bifidobacterium* kolonizasyonunu artırır. Ayrıca paratuberculosis (Johne's) etkeni olan *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* riskini dramatik ölçüde azaltır. Isıl işlem görmüş yüksek kalitedeki kolostrumda hedeflenen TPC < 20.000 CFU/mL, toplam koliform sayısı ise < 100 CFU/mL olmalıdır (Godden et al., 2019). Buzağlar ilk altı ay boyunca erişkin dışkıyla temas ettirilmemeli ve bireysel kulübelere barındırılmalıdır.

4.3. Sağımhane Biyogüvenliği ve Sağım Sırası

Sağım esnasında çapraz kontaminasyonu önlemek amacıyla katı bir sağım sırası (milking order) uygulanmalıdır:

1. Birinci laktasyondaki genç ve sağlıklı hayvanlar
2. Çoklu laktasyondaki sağlıklı inekler
3. Şüpheli / mastitis geçmişi olanlar
4. Klinik mastitisli aktif enfekte grup

Sağımclar her zaman koruyucu eldiven giymeli ve eldivenli ellerini sık sık sanitize etmelidir. Her inek için tek kullanımlık kağıt havlular kullanılmalıdır. Sağım sonrasında meme başları %1'lik iyot veya klorheksidin bazı post-dipping solüsyonları ile kaplanmalıdır (FAO, 2007).

5. Süt Sığırlarında Ekonomik Kayba Neden Olan Hastalıkların Yönetimi

5.1. Bovine Lökoz Virüsü (BLV) Eradikasyon Stratejileri

Enzootic Bovine Leukosis (EBL) etkeni olan BLV, sığırların lenfositlerini enfekte eden ve kronik bağışıklık yetersizliğine, verim kayıplarına ve lenfosarkom kaynaklı ölümlere yol açan retroviral bir enfeksiyondur. Virüs temel olarak enfekte beyaz kan hücrelerinin (lenfosit) transferi ile horizontal olarak yayılır.

Kan Kaynaklı Yatay Bulaşmanın Engellenmesi

Enjeksiyonlar: Sürüde kan yoluyla patojen transferini sıfırlamak amacıyla, her bir hayvanda özenle yeni, steril bir tek kullanımlık enjektör iğnesi kullanılmalıdır. Hayvancılıkta bir iğnenin marjinal maliyeti, BLV veya BVDV gibi sinsi salgınların yaratacağı binlerce dolarlık ekonomik yıkım ve sürü elden çıkarma maliyetleri karşısında tamamen önemsizdir. Bu nedenle iş gücü veya maliyet tasarrufu gerekçesiyle aynı iğnenin birden fazla hayvanda kullanılması önerilmemektedir. Çok büyük ölçekli sürülerde ise bu iş gücü yükünü hafifletmek adına alternatif bir ileri teknoloji yatırımı olarak “iğnesiz basınçlı gaz enjeksiyon sistemleri” (bkz. needle free injection technology) tercih edilebilir.

Rektal Muayeneler: Her rektal palpasyonda yeni bir jinekolojik eldiven kullanılmalıdır. Ultrasonografi muayenelerinde probu korumak amacıyla kullanılan kılıflar ve muayene eldivenleri her hayvanda özenle sıfır ve temiz olanlarla değiştirilmelidir. Maliyet veya iş gücü tasarrufu sağlamak amacıyla eldivenlerin ya da prob kılıflarının “ters yüz edilerek” yeniden kullanılması, mikroskopik kan izlerinin ve proviral lenfositlerin bir hayvandan diğerine taşınmasını engellemediği için önerilmemektedir; her muayenede tek kullanım uygulanmalıdır.

Kanlı Ekipmanlar: Boynuz köreltmede kanamaya yol açan testere veya gouge tipi dehornörler yerine koterizasyon tercih edilmelidir. Tırnak bıçakları her hayvan arasında dezenfekte edilmelidir.

Proviral Yük (PVL) Tabanlı Test ve Segregasyon Protokolü

Sürü genelinde ELISA ile antikor taraması yapıldıktan sonra, pozitif hayvanlar arasında proviral yükü (SS1 qPCR testi ile) en yüksek olan süper-saçıcı inekler öncelikli olarak sürüden ayıklanmalı veya tamamen izole edilmelidir. Pozitif ve negatif hayvanların tamamen ayrı barınaklarda tutulması ve reaktörlerin derhal sürüden uzaklaştırılması yatay bulaşmayı sınırlandırır; yerine geçecek hayvanların 30 - 60 gün aralıklı iki ardışık negatif AGID/ELISA testinden geçirilmesi önerilmektedir. Aynı zamanda kan emici böcek vektörlerini (at sinekleri, kara sinekler) kontrol etmeye yönelik sinek ağı ve insektisit uygulamaları da önerilmektedir (Shettigara et al., 1986; Mekata et al., 2015).

5.2. Bulaşıcı Mastitis Patojenlerinin Kontrolü

Bulaşıcı mastitislerin iki ana etkeni *Staphylococcus aureus* ve *Streptococcus agalactiae*'dir.

Staphylococcus aureus: Hücre içi yaşama yeteneği, konak savunmasından kaçması ve meme dokusunda mikroapseler/fibrozis oluşturmaları nedeniyle tedaviye dirençlidir. Ayrıca, ürettiği β -laktamaz enzimi ile penisilin grubu antibiyotikleri inaktif hale getirir. *S. aureus*'un dönüşümlü (siklik) saçılma paterni nedeniyle tek bir süt örneğinin duyarlılığı yalnızca %74,5 iken, ardışık günlerde alınan ikinci ve üçüncü örneklerle bu oran sırasıyla %94 ve %98'e yükselmektedir (Sears et al., 1990). Tedaviye yanıt vermeyen kronik vakalar sürüden derhal uzaklaştırılmalıdır.

Streptococcus agalactiae: Sadece meme içi dokuda yaşayabilen (obligat patojen) bir bakteridir. Çok hızlı yayılır ve bulk tank somatik hücre sayısını (SHS) 1,000,000 cells/mL'nin üzerine fırlatır. Ancak, meme dışında yaşayamaması ve β -laktam grubu antibiyotiklere (penisilin, amoksisilin) son derece duyarlı olması nedeniyle sistemik kuru dönem tedavileri ve "test-and-cull" protokolleriyle sürüden tamamen eradike edilmesi oldukça kolaydır.

Mastit Ekonomik Boyutu ve Beş Noktalı Plan: Yüksek verimli ticari işletmelerde klinik mastitin yarattığı toplam değer kaybı yıllık 22.396 USD/işletme olarak hesaplanmaktadır; başlıca kalemler süt kaybı (14.439 USD), tedavi maliyeti (4.380 USD) ve fertilitite bozukluklarından kaynaklanan kayıptır (Borş et al., 2024). Mastit kontrolünde teat dip uygulaması, kuru dönem tedavisi (dry cow therapy), klinik vakalar için patojen-bazlı tedavi, kroniklerin itlafı ve sağım makinesi bakımı adımlarını içeren klasik "Beş Noktalı Mastit Kontrol Planı" uygulanmalıdır (FAO, 2007). Antimikrobiyal direnci sınırlamak amacıyla sürü düzeyinde somatik hücre takibiyle yönlendirilen "seçici kuru dönem tedavisi" (selective dry cow therapy - SDCT) yaygınlaştırılmalıdır. Bilimsel konsensüs uyarınca, sürünün bu programa hazır sayılabilmesi için tank sütü somatik hücre sayısı (BTSCC) ortalaması <250.000 cells/mL olmalı (Rowe et al., 2020) ve sürüde bulaşıcı patojenler kontrol altına alınmış olmalıdır. Bireysel inek düzeyinde ise, son 3 aylık somatik hücre takibinde SCC değerleri sürekli <200.000 cells/mL olan ve mevcut laktasyon döneminde klinik mastitis geçmişi bulunmayan düşük riskli inekler antibiyotiksiz kuru dönem adaydır (Torres et al., 2008; Rowe et al., 2021). Bu hayvanların kuru döneme alınmasında, yeni enfeksiyonları önlemek amacıyla meme içi keratin tıkaçı (internal teat sealant) kullanımı önerilmektedir (Rowe et al., 2020).

5.3. Solunum Yolu Enfeksiyonları (BRD) ve Barınak Havalandırmasının Rolü

Sığır Solunum Yolu Hastalığı Kompleksi (BRD), kötü barınak koşullarında biriken nem, amonyak gazı ve tozun akciğer alveollerindeki siliyer savunma mekanizmasını bozmasıyla tetiklenir. Yetişkin bir süt sığırdı barınağında havalandırma tasarımı, patojen birikimini önleyen en kritik savunma mekanizmasıdır.

Hava Değişim Oranları (ACH) ve Isı Stresi Yönetimi

Hava Değişim Oranları (ACH): Kış aylarında nemi ve amonyağı uzaklaştırmak amacıyla MWPS (Midwest Plan Service) kılavuzuna göre minimum 4 ACH, yaz aylarında ise ısı stresini önlemek için 40–60 ACH hava değişimi sağlanmalıdır (Akdeniz et al., t.y.; Mondaca & Cook, 2019). Mondaca, Choi & Cook (2019), yaz aylarında 40 ACH'ın, yerel hava hızını artırıcı sirkülasyon fanlarıyla desteklenmesi gereken eşik değeri olduğunu bildirmiştir. Bu nemin kışın uzaklaştırılamaması yoğuşmaya ve patojenlerin havada asılı kalmasına yol açar.

Isı Stresi Standartları: Sığırlar Sıcaklık-Nem İndeksi (THI) 65 seviyesine ulaştığında ısı stresi yaşamaya başlar (Amamou et al., 2022). Bu süreçte dinlenme alanlarında inek yüksekliğinde (0.5 m) hava hızı ≥ 1 m/s (≥ 1 m/s) sağlanmalıdır (Reuscher et al., 2023). Hava hızının 2.4 m/s seviyesine çıkarılması, ineklerin yatma sürelerini ve kuru madde tüketimini artırmaktadır (Reuscher et al., 2023).

Mekanik ve Doğal Havalandırma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Mekanik Havalandırma: Çapraz havalandırmalı veya tünel havalandırmalı mekanik barınaklarda, hava akımını ineklerin üzerine yönlendirmek için 2.7-3 metre yükseklikte dikey yönlendirici perdeler (baffles) veya

fan sistemleri kullanılmalıdır. Baffle sistemlerinde tavan seviyesinde 30 cm boşluk bırakılarak hava yoğunlaşması engellenir.

Doğal Havalandırma: Baca etkisi rüzgara dayanır. Çatı sırt açıklığı her 3 metre bina genişliği için en az 2.5-4 cm olmalıdır. Kış fırtınalarında bile rüzgarlıklar/yan perdeler tamamen kapatılmamalı, en azından sırt açıklığının yarısı kadar bir yan açıklık bırakılmalıdır.

5.4. Topallık Kontrolü ve Ayak Banyoları

Topallık, süt sığırı işletmelerinde yıllık 6 milyar USD doğrudan kayıpla en büyük refah ve verim kayıplarından biridir (Rasmussen et al., 2024). Dijital dermatit kompleksi (*Treponema* spp.) gibi bulaşıcı topallık etkenlerinin yayılımını kesmek amacıyla zemin tasarımı, kuru/temiz yataklık, periyodik tırnak bakımı ve bakır sülfat ($\geq 5\%$; Jacobs et al., 2019) gibi solüsyonlar içeren rutin ayak banyosu programları sürdürülmelidir. Bununla birlikte, son dönemde yapılan çalışmalar formalin ayak banyolarının akut dijital dermatit üzerinde beklenen koruyucu etkiyi göstermediğini ortaya koymaktadır (Mudroň, 2024).

6. Temizlik ve Dezenfeksiyon (Sanitasyon) Programları

Dezenfeksiyonun başarısı, dezenfektandan önce yapılması gereken yüksek basınçlı yıkama ve deterjanlı mekanik temizliğe bağlıdır; çünkü yüzeyde biriken gübre, süt artığı veya biyofilm dezenfektanları inaktif kılar.

6.1. Dezenfektan Seçimi (pH, Organik Madde Direnci)

Dezenfektanların gücü, ortamdaki organik madde (çamur, gübre, süt vb.) yükünden doğrudan etkilenir. Organik maddeler klor ve iyot bazlı dezenfektanları hızla inaktif hale getirir.

- Asitler ve Alkaliler: pH değerini değiştirerek çalışırlar. 2% 'lik Sodyum Hidroksit (Lye) ve 0.2% 'lik Sitrik asit şap virüsüne karşı etkilidir ancak korozyon riski yüksektir.
- Potasyum Peroksimonosülfat: Organik madde varlığında dahi stabilitesini koruyan en güçlü oksitleyicilerden biridir; hem şap hem de paratüberküloz (Johne's) etkenine karşı yüksek etkinliğe sahiptir.
- Perasetik Asit Granülleri: Ayak banyolarında ve koridor zeminlerinde nemle aktive olarak uzun süreli dezenfeksiyon bariyeri sağlar.
- Halojenler (Klor/İyot) & QAC: Sağımhane temizliğinde ve teat-dip uygulamalarında yaygındır ancak organik kirlilikte etkinlikleri hızla düşer.

6.2. All-in/All-out Prensibi ve Kesinti Süresi (Downtime) Uygulaması

Doğru bir sanitasyon; kaba temizlik, deterjanlı yıkama, durulama, kurutma ve dezenfektan adımlarını içerir. Boşalan pedoklarda patojenlerin doğal desikasyonla (kuruma) yok edilmesi için belirli bir kesinti süresi (downtime, 24-48 saat) boş bırakılması biyogüvenlik standartlarındandır.

6.3. Ayak Banyosu (Footbath) Yönetimi

Bakır sülfat ($\geq 5\%$; Jacobs et al., 2019) ayak banyoları, sağımhane çıkışında veya günlük geçiş yollarında konumlandırılmalıdır. Bununla birlikte, Mudroň (2024) tarafından yapılan çalışmada, 5% formalin solüsyonu uygulanan dönemde akut dijital dermatit (M2) lezyonlarının görülme sıklığının ($12,1\%$), formalin kullanılmayan döneme kıyasla ($6,49\%$) daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle formalinin rutin ayak banyosu protokolünde ilk sıradaki tercih olmaması gerektiği söylenebilir. Bakır sülfatın toprağa ağır metal salınımı, formalinin ise kanserojen yapısı nedeniyle perasetik asit veya sitrik asit bazlı alternatif ticari solüsyonların kullanımı giderek artmaktadır.

7. Veri Odaklı Biyogüvenlik Yönetimi (PLF)

7.1. Sensörlerin Sınıflandırılması

Modern süt sığırcılığında Hassas Hayvancılık Teknolojileri (PLF), biyolojik verileri sürekli akış halinde işleyen entegre sistemlerdir.

Hayvan Üzerindeki Sensörler: Üç eksenli ivmeölçerler içeren tasmalar ve küpeler günlük ruminasyon, aktif yatma ve yürüme sürelerini ölçer. Klinik belirtiler çıkmadan 24–48 saat önce ruminasyon süresindeki düşüşleri yakalar. Rumen bolusları ise iç sıcaklık ve rumen pH değerini ölçerek sıcaklık stresi ve asidoz gibi durumları erken aşamada rapor eder. Vajinal sensörler ise amniyon sıvısının boşalmasıyla birlikte doğumun başladığını belirler.

Hayvandan Uzak Sensörler: Sağımhane veya geçiş koridorlarına yerleştirilen 3D kameralar ve derin öğrenme algoritmaları, ineklerin sırt hattını analiz ederek Vücut Kondisyon Skorunu (BCS) otomatik olarak belirler. Bilgisayarlı görü sistemleri ise yürüme bozukluklarını analiz ederek subklinik topallıkları erken evrede yakalar.

Hayvandan Veri Alan Sensörler: Sağım hattına entegre edilen inline süt analizörleri, sütün elektriksel iletkenliğini ve somatik hücre sayısını ölçerek subklinik mastitisi erken aşamada tespit eder ve ilgili hayvanın sütünü otomatik olarak ayırır. Aynı sistemler, sütteki β -hidroksibütirat seviyelerini ölçerek subklinik ketozisi, progesteron seviyelerini takip ederek de östrusu teyit eder.

7.2. Hassas Hayvancılık Teknolojilerinin Karantina ve İzolasyon Entegrasyonu

Bu veri akışları, çiftlik yönetim yazılımlarına entegre edilerek şüpheli veya enfekte bir hayvanın tespit edilmesi durumunda otomatik ayırma kapılarını tetikler; böylece hayvan sağlıklı sürüyle temas etmeden doğrudan izolasyon veya tedavi pedokuna sevk edilir. Sürü düzeyinde bulk tank süt analizlerinin (PCR ve ELISA) sensör verileriyle entegrasyonu, sürü sağlığının gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlar.

7.3. PLF Sistemlerinde Veri Entegrasyonu, Açık API'lar ve Standartlar (ICAR ADE)

Hassas hayvancılık teknolojilerinin biyogüvenlik ve sürü sağlığı yönetimindeki en büyük kısıtı, farklı üreticiler tarafından geliştirilen sensörlerin (örneğin farklı markalara ait rumen bolusları, aktivite tasmaları ve otomatik sağım sistemleri) kendi kapalı veri depolarında kalması ve birbirleriyle iletişim kuramamasıdır. Biyolojik bir riskin erken tespiti, ancak birden fazla sensörden gelen verilerin birleştirilmesiyle mümkündür. Örneğin, bir hayvanda somatik hücre sayısı artışının, aktivite düşüşü ve geviş getirme süresindeki azalma ile eş zamanlı analiz edilmesi, klinik mastitis teşhisinin doğruluk oranını ve duyarlılığını maksimuma çıkarır.

Bu veri entegrasyonu engelinin aşılması ve PLF sistemlerinin sürü sağlığı yönetiminde etkin kullanılabilmesi için aşağıdaki yapısal stratejiler hayata geçirilmelidir:

Açık API Mimarileri (Open APIs): Çiftlik ekipman üreticileri, kapalı yazılım mimarileri yerine veri akışını standartlaştıran açık RESTful API (JSON/JSON-LD) bağlantılarını desteklemelidir.

ICAR ADE (Animal Data Exchange) Standartları: Hayvan kayıtları, süt verimleri, sağlık verileri ve sensör çıktılarının veri alışverişinde Uluslararası Hayvan Kayıt Komitesi (ICAR) tarafından geliştirilen ICAR ADE standartları ve API özellikleri benimsenmelidir. Bu ortak teknik dil, farklı markaların yazılımlarının tek bir Çiftlik Yönetim Bilgi Sistemi (FMIS) arayüzünde birleşmesini sağlar.

ISO 11784/11785 RFID Kimliklendirme: Tüm sensörlerden akan verilerin hayvan düzeyinde doğru eşleştirilmesi amacıyla, her hayvanın ISO 11784/11785 standartlarındaki benzersiz elektronik RFID numarası ortak anahtar (primary key) olarak kullanılmalıdır.

8. Karşılaştırmalı Biyogüvenlik Standartları ve Analizler

Aşağıdaki tablolarda, süt sığırı işletmelerinde uygulanan biyogüvenlik parametreleri, risk analizleri, temizlik ve havalandırma standartları sunulmuştur.

Tablo 1. Süt Sığırı İşletmelerinde Risk Faktörleri ve Kritik Kontrol Noktaları Karşılaştırması

Risk Alanı	Süt Sığırı Riski	Kontrol Stratejisi
Dışarıdan Hayvan Alımı	BVDV (PI Hayvanlar), BLV, Paratüberküloz (Johne's).	Karantina en az 10 gün (tercihan 3 hafta), serolojik/PCR taraması, ari sürülerden alım (Villarreal et al., 2007).
Çevresel Temas ve Çitler	Sınırlı mera kullanımı, lojistik araçların yarattığı kontaminasyon.	Komşu sınırlarda en az 3 m tampon bölge, çift çit sistemi, tünel dezenfeksiyonu.
Dikey Bulaşma Yolları	Johne's (MAP), E. coli ve Salmonella'nın colostrum ile buzağıya geçmesi.	Colostrumun 60 °C'de 60 dk ısıtılmasına tabi tutulması (Godden et al., 2012; Malik et al., 2022).
Hassas Fizyolojik Dönem	Negatif Enerji Dengesi (NEB) yaşanan 90 günlük Geçiş Dönemi.	Pedok yoğunluğunun düşürülmesi, özel rasyonlar, hassas izleme sensörleri.
Vektör Kaynaklı Riskler	Isırıcı sinekler (<i>Tabanidae</i>) vasıtasıyla BLV'nin mekanik olarak yayılması.	Entegre insektisit uygulamaları ve sinek tuzakları, HPAI yabani kuş ağları.

Tablo 2. Süt Sığırcılığında Biyogüvenlikle İlişkili Barındırma Parametreleri

Yönetim Parametresi	Hedef / Standart Değer	Biyogüvenlik Gerekçesi
Stoklama Yoğunluğu (Kuru/Taze Pedoklar)	≤%85–100 kapasite (Nordlund et al., 2006)	Aşırı kalabalık sosyal stresi artırır, immün baskılanmaya yol açar
Doğumhane Kalış Süresi	<12 saat (FAO, 2007)	Uzun süreli kalış MAP, E. coli gibi patojenlere maruziyeti artırır
Yataklık Alanı (Derin Altıklı Sistemler)	Büyük ırklar için 15,4–25,8 m ² (Creutzinger et al., 2021)	Yetersiz alan yataklık hijyenini bozar, mastitis riskini artırır

Tablo 3. Temizlik ve Dezenfeksiyon Programlarında Kullanılan Kimyasal Grupların Analizi

Dezenfektan Sınıfı	Şap Virüsü Etkinliği (Konsantrasyon)	Organik Madde Direnci	pH Duyarlılığı ve Korozyon Riski
Asitler ve Alkaliler	Çok Yüksek (%0.2 Sitrik asit, %2 NaOH)	Orta-Düşük	Aşırı pH değişimleriyle çalışır; metal ekipmanlarda yüksek korozyon riski.
Halojenler (Klor/İyot)	Yüksek (%3 Sodyum Hipoklorit)	Çok Düşük	Gübre, kan ve sütle anında inaktif olur. Metallerde korozyon yapar; pH yükseldikçe etkinlik düşer.
Peroksitler / Oksitleyiciler	Çok Yüksek (%1)	Yüksek	Diğer gruplara göre organik kirlilikte daha stabildir. Hafif asidik karakterde olup korozyon riski düşüktür.
Kuaterner Amonyum (QAC)	Düşük	Çok Düşük	Zarsız virüslere ve şap virüsüne karşı etkisizdir. Anyonik deterjanlarla geçimsizdir; nötr pH'ta çalışır, korozyon yapmaz.

Tablo 4. Süt Sığırcılığında Kritik Kontrol Noktaları (KKN), Riskler ve İzleme Göstergeleri

Kritik Kontrol Noktası	Tipik Risk	Biyogüvenlik Yanıtı	İzleme Göstergesi
İşletme Girişi	Araç/ziyaretçi ile mekanik patojen taşıma.	Dezenfeksiyon altlığı, kayıt defteri, KKE tulum.	Giriş kontrol kayıtları ve denetimler.
Sperma / Embriyo	Venereal yolla patojen girişi.	Sertifikalı negatif suni tohumlama boğalarının seçimi.	Tedarikçi laboratuvar analiz belgeleri.
Yem Zinciri	Salmonella, MAP, Listeria kontaminasyonu.	Kuru yem deposunun korunması, kemirgen kontrolü.	Bulk tank PCR analizleri, yem testleri.
Geçiş Dönemi	Metritis, ketozis, mastitis gelişimi.	Yakın sensör izleme, pedok yoğunluğu (<%80) kontrolü.	Aktivite, geviş, vücut sıcaklığı ve süt BHB.
Sağımhane	Patojenlerin inekten ineğe çapraz geçişi.	Sağım sırası, tek kullanımlık havlu, teat-dip uygulaması.	Somatik Hücre Sayısı (SHS), bulk tank TBC.
Gübre / Atık Çıkışı	Çevresel kontaminasyon ve meraya saçılım.	Kompostlaştırma (aerobik/ısıtılı fermentasyon), bekleme.	Sıcaklık (>55 °C) ve zaman kayıtları.

Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Süt sığırcılığı işletmelerinde biyogüvenlik, modern endüstriyel hayvancılığın en dinamik ve kritik savunma mekanizmasıdır. Yoğun üretim sistemlerinde yüksek süt veriminin getirdiği metabolik stres faktörleri, sürü sağlığını subklinik ve kronik hastalıklara karşı son derece kırılgan hale getirmektedir. PubMed verileri (Rasmussen et al., 2024) doğrultusunda saptanan yıllık 65 milyar USD’lik küresel hastalık kaybı, biyogüvenlik protokollerinin etkin bir şekilde saha uygulamalarına entegre edilmesinin ekonomik önemini ortaya koymaktadır.

Gelecekte biyogüvenlik yönetimi, tamamen entegre dijital sistemler ve Hassas Hayvancılık Teknolojileri (PLF) üzerine kurgulanacaktır. Yapay zekâ destekli bilgisayarlı görü (BCS ve topallık takibi) sistemleri, biyosensörler ve inline süt analizörleri, hastalıkları henüz subklinik aşamadayken ve sürü içi yayılım başlamadan önce tespit ederek otomatik ayırma kapıları aracılığıyla karantina süreçlerini yönlendirecektir. Bununla birlikte, biyogüvenlik yatırımlarının başarısı, sürekli personel eğitimleri ve yönetsel disiplinle mümkündür. Antimikrobiyal direncin (AMR) sınırlandırılması, sürü ömrünün (productive life) uzatılması ve “Tek Sağlık” (One Health) yaklaşımının hayata geçirilmesinde biyogüvenlik, sürdürülebilir süt hayvancılığının en güçlü kaldırıcı olmaya devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Amamou, H., Mahouachi, M., Dale, L. M., Beckers, Y., & Hammami, H. (2022). Vulnerability assessments in dairy cattle farms based on individual sensitivity to heat stress. *International Journal of Biometeorology*, 66(7), 1403–1414. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02285-3>
- Benítez, G., Chilibraste, P., Barca, J., Bouman, M., León, F. P. de, & Larriestra, A. (2026). Udder health and herd management practices associated with bulk milk somatic cell count and partial costs of subclinical mastitis on dairy farms in Uruguay. *Journal of Dairy Science*, 109(2), 1620–1634. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26985>
- Borş, A., Borş, S.-I., & Floriştean, V.-C. (2024). Mastitis impact on high-yielding dairy farm's reproduction and net present value. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, Article 1345782. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1345782>
- BVD Free New Zealand. (2020). Bovine Viral Diarrhoea (BVD) control and eradication business case. BVD Free New Zealand. <https://www.bvdfree.org.nz>
- Creutzinger, K., Dann, H., Krawczel, P., Habing, G., & Proudfoot, K. (2021). The effect of stocking density and a blind on the behavior of Holstein dairy cattle in group maternity pens. Part I: Calving location, locomotion, and separation behavior. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 7109–7121. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19744>
- Denholm, K. S., Carvalho, M., Haggerty, A., & Jones, R. (2026). Effects of various concentrations and volumes of potassium sorbate on colostrum bacterial contamination over time at ambient and refrigeration temperatures. *Journal of Dairy Science*, 109(4), 4263–4273. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27632>
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2005). Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(10), 3553–3562. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X)
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., & Weary, D. M. (2004). Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1432–1438. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73294-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73294-8)
- Fact.MR. (2026). Dairy animal biosecurity market forecast to reach US\$6.11B by 2036. <https://dairybusinessmea.com/2026/01/13/dairy-animal-biosecurity-market-forecast-to-reach-us6-11b-by-2036-fact-mr-reports/>
- Farre, M., Rattenborg, E., Hogeveen, H., Krömker, V., & Kirkeby, C. T. (2024). Employee Management in Dairy Farms Associated with Bulk Tank Somatic Cell Count and New Mastitis Infection Risk. *Veterinary Sciences*, 11(12), 646. <https://doi.org/10.3390/vetsci11120646>
- Ferreira, J. S., Baccili, C. C., Nemoto, B. S., Vieira, F. K., Sviercoski, L. M., Ienk, T., Pagno, J. T., & Gomes, V. (2024). Biosecurity practices in the dairy farms of southern Brazil. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, Article 1326688. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1326688>
- Food and Agriculture Organization. (2007). FAO biosecurity toolkit. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/a1140e/a1140e.pdf>
- Godden, S. M., Lombard, J. E., & Woolums, A. R. (2019). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 35(3), 535–556. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005>
- Godden, S. M., Smolenski, D. J., Donahue, M., Oakes, J. M., Bey, R., Wells, S., Sreevatsan, S., Stabel, J., & Fetrow, J. (2012). Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves: Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 4029–4040. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5275>
- Hristov, S., Stanković, B., Starič, J., Nakov, D., Prodanov-Radulović, J., Milovanović, B., Chantziaras, I., & Allepuz, A. (2024). Biosecurity measures on ruminant farms. 26TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE MEDITERRANEAN FEDERATION FOR HEALTH AND PRODUCTION OF RUMINANTS FeMeSPRum, Novi Sad (Serbia), 20th – 23rd June, 2024, pp. 118-138. <https://aspace.agrif.bg.ac.rs/handle/123456789/7370>
- Iraguha, B., Gasana, M. N., & Mpatwenumugabo, J. P. M. (2026). Bovine mastitis epidemiology: Prevalence, risk factors, control program gaps and biosecurity recommendations to improve animal health in the Rwandan smallholder dairy farms. *PLOS ONE*, 21(3), e0329250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329250>
- Jacobs, C., Beninger, C., Hazlewood, G. S., Orsel, K., & Barkema, H. W. (2019). Effect of footbath protocols for prevention and treatment of digital dermatitis in dairy cattle: A systematic review and network meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 164, 56–71. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.01.011>

- Pascottini, O. B., Leroy, J. L. M. R., & Opsomer, G. (2020). Metabolic Stress in the Transition Period of Dairy Cows: Focusing on the Prepartum Period. *Animals*, 10(8), 1419. <https://doi.org/10.3390/ani10081419>
- Malik, M. I., Rashid, M. A., & Raboisson, D. (2022). Heat treatment of colostrum at 60°C decreases colostrum immunoglobulins but increases serum immunoglobulins and serum total protein: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 105(4), 3453–3467. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21231>
- Mallikarjunappa, S., Brito, L. F., Pant, S. D., Schenkel, F. S., Meade, K. G., & Karrow, N. A. (2021). Johne's disease in dairy cattle: An immunogenetic perspective. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, Article 718987. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.718987>
- Mekata, H., Sekiguchi, S., Konnai, S., Kirino, Y., Honkawa, K., Nonaka, N., Horii, Y., & Norimine, J. (2015). Evaluation of the natural perinatal transmission of bovine leukaemia virus. *Veterinary Record*, 176(10), 254. <https://doi.org/10.1136/vr.102464>
- Mondaca, M. R., Choi, C. Y., & Cook, N. B. (2019). Understanding microenvironments within tunnel-ventilated dairy cow freestall facilities: Examination using computational fluid dynamics and experimental validation. *Biosystems Engineering*, 183, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.016>
- Mondaca, M. R., & Cook, N. B. (2019). Modeled construction and operating costs of different ventilation systems for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 896–908. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14697>
- Mudroň, P. (2024). Effectiveness of formalin footbaths in the control of digital dermatitis in dairy cows. *Folia Veterinaria*, 68(4), 33–37. <https://doi.org/10.2478/fv-2024-0035>
- Mushfiq, S. R., Aabidy, M. H., & Rafed, R. (2023). Dairy Cows Transition Period Feeding and Management. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 2(4), 182–190. <https://doi.org/10.55544/jrasb.2.4.26>
- Nordlund, K. V., Cook, N. B., & Oetzel, G. R. (2006). Commingling dairy cows: Pen moves, stocking density and health. *The AABP Proceedings*, 39, 36–42.
- Osawe, O. W., Läpple, D., & Mee, J. F. (2022). Economic analysis of biosecurity adoption in dairy farming: Evidence from Ireland. *Journal of Animal Science*, 100(9), skac218. <https://doi.org/10.1093/jas/skac218>
- Pascottini, O. B., Leroy, J. L. M. R., & Opsomer, G. (2020). Metabolic Stress in the Transition Period of Dairy Cows: Focusing on the Prepartum Period. *Animals*, 10(8), 1419. <https://doi.org/10.3390/ani10081419>
- Rasmussen, P., Barkema, H. W., Osei, P. P., Taylor, J., Shaw, A. P., Conrady, B., Chaters, G., Muñoz, V., Hall, D. C., Apenteng, O. O., Rushton, J., & Torgerson, P. R. (2024). Global losses due to dairy cattle diseases: A comorbidity-adjusted economic analysis. *Journal of Dairy Science*, 107(9), 6945–6970. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24626>
- Reuscher, K. J., Cook, N. B., da Silva, T. E., Mondaca, M. R., Lutterhand, K. M., & Van Os, J. M. C. (2023). Effect of different air speeds at cow resting height in freestalls on heat stress responses and resting behavior in lactating cows in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 9552–9567. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23364>
- Rodriguez, Z., Lopez-Benavides, M., Gentilini, M. B., & Ruegg, P. L. (2025). Impact of training dairy farm personnel on milking routine compliance, udder health, and milk quality. *Journal of Dairy Science*, 108(2), 1615–1624. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25609>
- Rowe, S. M., Godden, S. M., Nydam, D. V., Gorden, P. J., Lago, A., Vasquez, A. K., Royster, E., Timmerman, J., & Thomas, M. J. (2020). Randomized controlled trial investigating the effect of 2 selective dry-cow therapy protocols on udder health and performance in the subsequent lactation. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6493–6503. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17961>
- Rowe, S. M., Vasquez, A. K., Godden, S. M., Nydam, D. V., Royster, E., Timmerman, J., & Boyle, M. (2021). Evaluation of 4 predictive algorithms for intramammary infection status in late-lactation cows. *Journal of Dairy Science*, 104(10), 11035–11046. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20504>
- Sears, P. M., Smith, B. S., English, P. B., Herer, P. S., & Gonzalez, R. N. (1990). Shedding pattern of *Staphylococcus aureus* from bovine intramammary infections. *Journal of Dairy Science*, 73(10), 2785–2789. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78964-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78964-3)
- Shettigara, P. T., Samagh, B. S., & Lobinowich, E. M. (1986). Eradication of bovine leukemia virus infection in commercial dairy herds using the agar gel immunodiffusion test. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 50(2), 221–226.
- Stewart, S., Godden, S., Bey, R., Rapnicki, P., Fetrow, J., Farnsworth, R., Scanlon, M., Arnold, Y., Clow, L., Mueller, K., & Ferrouillet, C. (2005). Preventing bacterial contamination and proliferation during the harvest, storage, and feeding of fresh bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2571–2578. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72933-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72933-7)

- Torres, A. H., Rajala-Schultz, P. J., DeGraves, F. J., & Hoblet, K. H. (2008). Using dairy herd improvement records and clinical mastitis history to identify subclinical mastitis infections at dry-off. *Journal of Dairy Research*, 75(2), 240–247. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003257>
- Villarroel, A., Dargatz, D. A., Lane, V. M., McCluskey, B. J., & Salman, M. D. (2007). Suggested outline of potential critical control points for biosecurity and biocontainment on large dairy farms. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 230(6), 808–819. <https://doi.org/10.2460/javma.230.6.808>
- Westphal, A., Williams, M. L., Baysal-Gurel, F., LeJeune, J. T., & McSpadden Gardener, B. B. (2011). General suppression of *Escherichia coli* O157:H7 in sand-based dairy livestock bedding. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(6), 2113–2121. <https://doi.org/10.1128/AEM.01655-10>
- World Organisation for Animal Health. (2023). Terrestrial animal health code. World Organisation for Animal Health. <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/>
- World Organisation for Animal Health. (2025). Official statement on high pathogenicity avian influenza (HPAI) in cattle. World Organisation for Animal Health.