KSÜ Tarım ve Doğa Derg 29 (6), 1567-1582, 2026
KSU J. Agric Nat 29 (6), 1567-1582, 2026
https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1829240

Simmental Melezi Sığırlarda Yemleme Öncesi ve Sonrası Vücut Biyoelektrik Aktivitelerinin İncelenmesi

Hasan ÇELİKYÜREK[1]✉, Rıdvan BAYRAM[2]
[1]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Gevaş, Van, Türkiye, [2]Hakkâri Üniversitesi, Yüksekova Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kümes Hayvanları Yetiştiriciliği Programı, Yüksekova, Hakkâri, Türkiye
[1] https://orcid.org/0000-0001-5154-7979, [2] https://orcid.org/0000-0003-1624-6753
✉: hasancy@yyu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, sığırlarda yemleme öncesi ve sonrası biyoelektrik aktivitede meydana gelen değişimleri belirlemektir. İkincil olarak, biyoelektrik aktivitenin şehir, cinsiyet, yaş, fizyolojik durum ve canlı ağırlık gibi bireysel ve çevresel faktörlere göre nasıl farklılaştığı değerlendirilmiştir. Çalışmada, Van ilinden 16 ve Kars ilinden 14 adet olmak üzere toplam 30 adet Simmental Melezi sığır kullanılmıştır. Çalışma, Van (1.726 m) ve Kars (1.768 m) illerinde bulunan benzer rakımsal özelliklere sahip işletmelerde yürütülmüştür. Hayvanlar, 15 dişi ve 15 erkek hayvan olacak şekilde dengeli bir dağılım gözetilerek seçilmiştir. Çalışmaya dâhil edilen hayvanların yaşları 1 ile 6 yıl arasında değişmekte olup, canlı ağırlıkları yaklaşık 200–650 kg aralığında sınıflandırılmıştır. Hayvanların biyoelektrik aktivitesi, 35 gün boyunca her gün akşam yemleme öncesi ve sonrasında Avometre cihazı ile yalıtkan bir platform üzerinde ölçülmüştür. Elde edilen verilerle hayvanların cinsiyet, yaş, ağırlık ve şehir gibi faktörlere göre istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki ilde de hayvanların su ihtiyaçlarının ad libitum olarak karşılandığı ve besleme programlarının işletme rutinlerine uygun şekilde sürdürüldüğü gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan hayvanlar, deney süresince aynı barınma koşullarında tutulmuş ve ölçüm dönemleri boyunca herhangi bir müdahale bulunmamıştır. Ölçümler sonucu; yemleme öncesi 0.517±0.011 V ve yemleme sonrası 0.507±0.010 V biyoelektrik aktivite bulundurdukları tespit edilmiştir. Yemleme öncesi ve sonrası ölçülen biyoelektrik aktivite değerlerinin cinsiyet, yaş, durum, ağırlık ve şehir bakımından önemli bir fark oluşturdukları tespit edilmiştir. Vücut biyoelektrik aktivitesi, hücre içi ve hücre dışı iyonların (özellikle sodyum, potasyum ve kalsiyum) dağılımı ile doku su içeriğine bağlı olarak şekillenmektedir. Yemleme sonrası dönemde dolaşım sistemi, hormonal yanıtlar ve sindirim sürecine bağlı olarak sıvı–elektrolit dengesinde meydana gelen geçici değişimler, ölçülen biyoelektrik aktivitede dalgalanmalara yol açabilmektedir. Bu durum, sindirimle birlikte metabolik aktivitenin artması ve organizmanın yeni bir fizyolojik denge durumuna uyum sağlaması süreciyle açıklanabilir. Sonuç olarak, sığırlardaki biyoelektrik aktivitenin yemlemeden önce yüksek, yemlemeden sonra ise önemli oranda düştüğü tespit edilmiştir. Bu bulgular, yapılacak çalışmalarda biyoelektrik aktivite ölçümlerinin dinamik bir süreç olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, hayvanlardaki biyoelektrik aktivitenin günlük yaşam döngüsü içindeki değişimlerini anlamak için önemli bir ilk adımdır ve gelecekte bu konuda yapılacak araştırmalar için bir temel oluşturabilir.

Zootekni

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi
Geliş Tarihi : 14.09.2025
Kabul Tarihi : 05.02.2026

Anahtar Kelimeler
Sığır biyoelektrik aktivitesi
Simmental
Yemleme öncesi
Yemleme sonrası
Vücut elektriği

Investigation of Before- and After-Feeding Body Bioelectrical Activities in Simmental Crossbred Cattle

ABSTRACT

The primary aim of this study was to determine changes in bioelectrical activity in cattle pre and post feeding. As secondary objectives, the effects of city, sex, age, physiological status, and body weight on bioelectrical activity were evaluated. The study included a total of 30 Simmental crossbred cattle, comprising 16 animals from Van Province and 14 animals from Kars Province. The experiment was conducted in farms located in Van (1,726 m) and Kars (1,768 m), which share comparable altitudinal characteristics. Animals were selected to ensure a balanced sex distribution, with 15 females and 15 males. The ages of the animals ranged from 1 to 6 years, and body weights were categorized between approximately 200 and 650 kg. Bioelectrical activity was recorded daily pre and post evening feeding over a 35-day period using an avometer while the animals were placed on an insulated platform. The collected data were statistically analyzed according to sex, age, body weight, and location. In both provinces, animals had ad libitum access to water, and feeding regimes were maintained in accordance with routine farm management practices. All animals were kept under identical housing conditions throughout the experimental period, and no interventions were performed during the measurement sessions. Based on the measurements, the mean bioelectrical activity was determined as 0.517 ± 0.011 V pre feeding and 0.507 ± 0.010 V post-feeding. The bioelectrical activity values measured pre and post-feeding were found to differ significantly with respect to sex, age, physiological status, body weight, and location. Discussion: Body bioelectrical activity is shaped by the distribution of intracellular and extracellular ions, particularly sodium, potassium, and calcium, as well as tissue water content. During the post-feeding period, transient alterations in fluid–electrolyte balance associated with circulatory dynamics, hormonal responses, and digestive processes may lead to fluctuations in the measured bioelectrical activity. This phenomenon can be explained by increased metabolic activity following digestion and the organism's adaptation to a new physiological equilibrium. In conclusion, bioelectrical activity in cattle was found to be higher pre feeding and to decrease significantly pre-feeding. These findings indicate that bioelectrical activity measurements should be considered a dynamic process in future studies. The present study represents an important initial step toward understanding daily fluctuations in bioelectrical activity in animals and may provide a foundation for further research in this field.

Animal Science

Research Article

Article History
Received : 14.09.2025
Accepted : 05.02.2026

Keywords
Bovine bioelectrical activity
Simmental
Post-feeding
Pre-Feeding
Body electricity

Atıf İçin : Çelikyürek, H., Bayram, R. (2026). Simmental Melezi Sığırlarda Yemleme Öncesi ve Sonrası Vücut Biyoelektrik Aktivitelerinin İncelenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg 29* (6), 1567-1582. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.1783677.

To Cite: Çelikyürek, H., Bayram, R. (2026). Investigation of Before- and After-Feeding Body Bioelectrical Activities in Simmental Crossbred Cattle. *KSU J. Agric Nat 29* (6), 1567-1582. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.1783677.

GİRİŞ

Süre gelen zaman dilimi içerisinde elektriğin, bitki, insan ve hayvan üzerinde birçok farklı kullanım alanını kapsayacak şekilde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bunların bir kısmı; kanser hücrelerinin tedavisi, göz ile ilgili tedaviler, mide problemleri, kalp ritmini düzenlemek ve kalbin yeniden işleyiş kazanması, şeker hastalığının tedavisi, organlarda doku onarımı, cilt hastalığı tedavileri, kas ve sinir uyarımları, epilepsi, nanorobotlar ile tedavi, baş ağrıları gibi birçok durumu saymak mümkündür. Biyoelektriğin canlılardaki yaşamı, hücresel iletilerin gerçekleşmesi üzerinde etkisi oldukça önemlidir. Bu durum biyoelektrik iletimin olduğu her alanın etkisinden yararlanmak kaçınılmaz hâle gelmiştir.

Elektrik akımının etkinliği, organların çalışmasında çok düşünülen ve üzerinde durulan bir olgu değildir. Fakat bilinçli-bilinçsiz, fiziksel veya zihinsel fonksiyonların düşük seviyelerdeki elektrik akımlarıyla desteklendiği bir gerçektir (Suzuki, 2008; Atasoy, Sevim, Kaya, Yılmaz, Durmuş, Sönmez, Omay, Özdemir & Ovali, 2009; Koşalay, 2014).

Organizma tarafından gerçekleştirilen tüm faaliyetler, vücuttaki elektrik sinyallerinin etkinliği ile kontrol edilmektedir (Swanson, 2013; Geddes, 2014; Mohn, 2016). Ağrı, kas kasılması ve hareketi, sinirsel fonksiyonlar, glandüler sekresyonlar, iyileşme ve yenilenme, beyin aktivitesi, algının oluşması gibi fonksiyonlar elektriksel akımlar yardımıyla sürdürülür (Martindale, 2004; Suzuki, 2008). İnsan ve hayvan vücudunun vazgeçilmez organı olarak kalbi düşündüğümüzde, kalbin sağlıklı olup olmadığına kalpten gelen çok düşük elektrik sinyallerinin EKG ölçümleri ile karar verebiliyoruz. Düzensiz çalışan kalbin, kalp pillerinin düzenli elektrik impulsları ile düzenlendiği bilinen bir gerçektir (Suzuki, 2008; Swanson, 2013; Mohn, 2016; Plante, 2022).

Sinir sisteminde belli bir noktadan başka bir noktaya mesaj iletimi, hücreden hücreye atlayan elektrik yüküyle gerçekleşir. Vücutta oluşan elektrik, hayatın devamını sağlayan anahtardır (Layton, 2013; Mohn, 2016).

Vücut biyoelektrik aktivitesinin nasıl gerçekleştiğine hücre boyutunda bir açıklama yaparak konuyu netleştirmekte yarar görmekteyiz. Hücrelerin içinde ve dışında bulunan potasyum ve sodyum iyonlarının dengesindeki çok düşük düzeydeki farklılaşmalar elektrik oluşumunu sağlamaktadır. Hücre zarlarında bulunan sodyum–potasyum kanalları, iyon dengesindeki değişimler yoluyla elektriksel impulsların oluşmasını sağlar (McLaughlin, 2017; George, Selberg, & Levin, 2022). Hücre içinde potasyum iyonları sodyum iyonlarından fazladır. Hücre dışında ise sodyum iyonları fazladır (Layton, 2013; Swanson, 2013). Potasyum iyonları negatiftir, bu nedenle hücre içi biraz negatif yüke sahiptir. Sodyum iyonları pozitiftir ve hücre zarının hemen dışı pozitiftir (Martindale, 2004). Vücutta bir noktadan diğerine mesaj gönderileceği zaman bu kapılar açılır. Membran kapıları açıldığında sodyum ve potasyum iyonları serbest şekilde hücre dışına ve içine geçiş yaparlar. Potasyum iyonları hücre dışına çıkar ve membran dışındaki pozitif yüklü sodyum iyonlarını hücre içine iter (Layton, 2013; Swanson, 2013; Plante, 2022). Çok hızlı gerçekleşen iki tip iyon değişimi 0-1 arasındaki değişim anahtarı gibi elektrik impulsu oluşturur. Bu impuls da diğer hücredeki sodyum-potasyum kapısını tetikler, diğer hücredeki iyon değişimi gerçekleşir ve böylece devam eder (Alok, 2012). Karayaka ırkı koyunlarda vücut biyoelektrik aktivitesinin tespiti amacıyla yürütülen çalışma sonucunda; yemleme öncesi ve yemleme sonrasında biyoelektrik aktivitenin değiştiği tespit edilmiştir. (Bayram, Çelikyürek & Koyun, 2024)

Metabolizmanın çalışma prensibi bu elektrik sinyallerine dayandığından, vücut biyoelektrik aktivite sistemindeki bozukluk büyük problemlere sebep olmaktadır. Örneğin, elektrik çarpması gibi güç dalgalanmaları normal sistemin çalışmasını durdurur.

Halen üzerinde yok denecek kadar az çalışmanın olduğu biyoelektrik aktivite kullanımının nasıl sonuçlar doğuracağı merak edilen konular arasında yerini almaktadır. Ruminantlarda biyoelektrik aktiviteye yönelik çalışmaların sınırlı olmasının temel nedenleri arasında, ölçüm metodolojilerinin standardize edilmemiş olması, saha koşullarında non-invaziv ve tekrarlanabilir ölçüm zorlukları ile rumen fermentasyonu, sıvı–elektrolit dengesi ve metabolik aktivitenin eş zamanlı olarak biyoelektrik sinyalleri etkilemesi yer almaktadır. Mevcut literatürde biyoelektrik araştırmalarının büyük ölçüde hücresel düzeyde, in vitro sistemlerde veya insan ve laboratuvar hayvanları üzerinde yoğunlaştığı; ruminantlara özgü bütüncül vücut biyoelektrik aktivitesini ele alan çalışmaların ise oldukça sınırlı kaldığı bildirilmektedir (Kyle et al., 2004; Levin et al., 2025; Funk & Scholkmann, 2023).

- ✓ Kuluçka makinelerinde, *in vitro* simülasyon çalışmalarında ve mikrobiyolojik uygulamalarda biyoelektrik aktivite dikkate alınıyor mu?
- ✓ Rasyonların elektrik yükü (katyon-anyon dengesi) ile ilgili çok az sayıda çalışma gerçekleştirilmiş, fakat vücutta oluşan elektrikle ilgili bir bağlantı çalışması var mıdır?
- ✓ Doğal kuluçkada tavuk, yumurtayı ısı, nem ve çevirme işlemlerini gerçekleştirir. Fakat tavuğun kuluçkaya yatmadan hemen önce döktüğü göğüs tüyleri nedeniyle göğüs derisinden yumurtaya temas ile geçen biyoelektrik aktivite konusu araştırılmış mıdır?
- ✓ İn vitro sindirim ortamlarında (enzim metodu gibi), doğal olarak sindirimin gerçekleştiği sindirim organlarının maruz kaldığı biyoelektrik aktivite konusunda çalışmalar yapılmış mıdır?
- ✓ Yapay rumen ile yapılan çalışmalarda (Rusitec, Daisy İnkübatörü vs.) koyun, keçi ya da sığırın biyoelektrik aktivite üzerindeki etkileri araştırılmış mıdır?

Gibi birçok konu merak konusu olarak araştırılmayı beklerken, araştırmacılar tarafından birçok platform ve durum için vücut biyoelektrik aktiviteleri araştırılmış ve bilime katkı sunulmuştur. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

İn vitro olarak olgunlaştırılmış domuz oosit aktivasyonu (Liu, Cui, Li, Sun, Lu, Shen, Liu & Shi, 2015), tavşan oositlerinin partenogenetik gelişimi (Ozil, 1990), *Haemonchus contortus* gibi gastrointestinal nematodları taşıyan keçilerin iyileşmeleri için hayvanlara Biyoelektrik Empedans Analizi cihazı ile elektrik verilmesi (Siddique, Batchu, Shaik, Gurrapu, Erukulla, Ellington, Rubio Villa, Brown, Mahapatra, Panda, Morgan, Van Wyk, Shapiro-Ilan, Kannan & Terrill, 2025), hayvansal üretimlerde Biyoelektrik Empedans Analizi'nin kullanılması (Schumacher, Viégas, dos Santos Cardoso, Bertoluzzi Moro, João Tonin, Naetzold Pereira & Vargas Teixeira, 2021) insan vücudunda elektrik akımının nasıl iletildiği ve yaralanmalarda doğal iyileşmeyi nasıl etkilediği (Fish & Geddes, 2009), insan organizmasının gece dinlenmesi sırasında topraklanmasının fizyolojik süreçlerine etkisi (Sokal & Sokal, 2011), elektriğin mantar yetiştiriciliğinde meyve gövdesi oluşumuna etkisi (Takaki, Yoshida, Saito, Kusaka, Yamaguchi, Takahashi & Sakamoto, 2014), elektriksel uyarıların cilt yüzeyindeki etkileri (Xu, Zhang, Yan, Wang & Guo, 2021), doku elektriksel iletkenliği, iyon yoğunluğu ve su içeriği ile yakından ilişkilidir (Levin, Martyniuk & Adams, 2025). Doku onarımı ve değişiminde elektriksel uyarıların kullanılması (Balint, Cassidy & Cartmell, 2013), kemik ve kas terapilerinde kullanımı (Koşalay, 2014), DNA hasarı ve hücresel fonksiyonlarda elektriksel uyarıların kullanımı (Su, Yimaer, Wei, Xu & Chen, 2017), elektromanyetik alanların periferik kan mononükleer hücreleri üzerindeki *in vitro* etkileri (Atasoy ve ark., 2009), *in vitro* ve in vivo olarak Leishmania major üzerinde elektriğin parazit öldürücü etkisi (Hejazi, Eslami & Dalimi, 2004), balıklarda nesnelerin tespiti için elektro-algılama kullanımı (Caputi, Aguilera & Pereira, 2011), elektrikli yılan balıklarının elektriği nasıl kullandığı ve ilettiği (Finger, Piccolino & Stahnisch, 2013), kurbağalarda kas kasılmaları ve sinir iletimleri (Piccolino, 1998; Bresadola, 2008; Steinbach, 1950; Finger ve ark., 2013), hayvan etinin gevreklik ve kalitesi üzerinde elektriğin etkisi (Yanar, 1996), farelerin bozulmuş kaslarının iyileştirilmesinde elektriksel uyarıların kullanılması (Dow, Faulkner & Dennis, 2005) gibi birçok konuda elektrik akımının etkileri araştırılmış ve bilime katkı sağlanmıştır.

Ancak yapılan araştırmalar sonucu, koyunlar ve sığırlar için biyoelektrik aktivite tespiti ve rumen simülatörlerinde kullanımı gibi çalışmalara rastlanamamıştır. Hayvansal üretimde biyoelektrik aktivitelerin yapay ortamlara aktarımının, *in vitro* gibi çalışmaları gerçeğe daha yakın sonuçlar vermeye katkı sağlayacağı aşikârdır.

Canlı dokulardaki biyoelektrik sinyallerin, hücre membran potansiyelleri, iyon dağılımı ve dokuların elektriksel iletkenlik özellikleriyle yakından ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur (Pethig, 2017). Bu kapsamda, sığırlarda yemleme öncesi ve sonrası biyoelektrik aktivitede meydana gelen değişiklikler belirlenerek, söz konusu değişimlerin fizyolojik temelleri değerlendirilecektir. Beslenme durumunun doku su içeriği, elektrolit dengesi ve metabolik aktivite üzerinde etkili olması nedeniyle, biyoelektrik ve elektriksel iletkenlik parametrelerinde ölçülebilir değişikliklere yol açtığı bildirilmektedir (Kyle, Bosaeus, De Lorenzo, Deurenberg, Elia, Gómez, Heitmann, Kent-Smith, Melchior, Pirlich, Scharfetter, Schols & Pichard, 2004). Ayrıca elektriksel iletkenlik temelli ölçüm yaklaşımlarının, hayvan sağlığının izlenmesine yönelik non-invaziv, hızlı ve sahada uygulanabilir yöntemler sunarak hayvancılık uygulamalarında erken değerlendirme ve verimlilik takibine katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, canlı organizmaların vücudunda doğal olarak üretilen ve sürekli varlığını sürdüren biyoelektrik aktivitenin oluşum mekanizmalarını ve bu aktiviteyi etkileyen faktörleri incelemektir. Aynı zamanda, sığırlarda yemleme öncesi ve sonrası biyoelektrik aktivitede meydana gelen değişiklikleri tespit ederek, bu durumun fizyolojik sebepleri hakkında bilimsel veriler sunmaktır.

MATERYAL ve METOD

Hayvan materyali ve yem içeriği

Çalışma iki ayrı ilde (Kars ve Van) yürütülmüştür. Kars'ta rakımın 1.768 m olduğu ve Van ilinde rakımın 1.726 m olduğu il merkezinde bulunan işletmelerde yapılmıştır. Çalışmanın hayvan materyalini Simmental melezi sığırlar oluşturmuştur. Çalışma, Van ilinden 16, Kars ilinden 14 adet farklı yaş ve cinsiyetteki hayvanlar üzerinde yürütülmüştür. Hayvanlar, 15 dişi ve 15 erkek olacak şekilde dengeli bir dağılım gözetilerek seçilmiştir. Çalışmaya dâhil edilen hayvanların yaşları 1 ile 6 yıl arasında değişmekte olup, canlı ağırlıkları yaklaşık 200–650 kg aralığında sınıflandırılmıştır.

Hayvanların beslenmesinde işletmelerin mevcut uygulamaları esas alınmıştır. Kars ilindeki işletmelerde hayvanlara yem olarak yulaf samanı, arpa kırması, besi yemi (%16 ham protein, %3.5 ham yağ, %2.5 ham selüloz, %7.5 ham kül ve %0.3 sodyum), yulaf otu ve arpa samanı verildiği belirlenmiştir. Van ilindeki işletmelerde ise yeşil saman, yonca otu, süt yemi (dişi hayvanlar için), besi yemi (erkek hayvanlar için) ve kepek kullanıldığı tespit edilmiştir. Her iki ilde de hayvanların su ihtiyaçlarının ad libitum olarak karşılandığı ve besleme programlarının işletme rutinlerine uygun şekilde sürdürüldüğü gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan hayvanlar, deney süresince aynı barınma koşullarında tutulmuş ve ölçüm dönemleri boyunca herhangi bir müdahale bulunmamıştır.

Yöntem

İşletmelerde hayvanlar kapalı ahır sisteminde ağırlık bakımından sınıflandırılan hayvanlar 200, 300, 400, 500, 550, 650 kg şeklindedir. Bu hayvanların dişi sağmal, dişi sağmal olmayan, erkek tohumlamada kullanılan ve erkek tohumlamada kullanılmayan olmak üzere 4 grup altında incelenmesi öngörülmüştü. Ancak mevcut hayvanlar değerlendirildiğinde grup sayılarının azlığından iki grup oluşturulmuştur. Biyoelektrik aktiviteleri ölçülecek hayvanlar yalıtkan bir platform üzerine getirilerilip ölçümleri yapılmıştır. Biyoelektrik ölçümleri Mastech MS8264 tipi bir Avometre (Multimetre) ile yapılmıştır. Ölçümlerin sağlıklı bir ortamda ve doğru yapılabilmesi için bir ortam oluşturulmuştur. Bunun için dışarıda ıslak bir toprak alanına bakır bir levha gömülmüştür. Ardından bu bakır levhaya bakır bir kablo düzgün bir şekilde bağlanarak içeride ölçüm yapılan alana kadar uzatıldı. Avometrenin bir probu bu kabloya bağlandı (Şekil 1). Avometrenin diğer probu ise hayvanın tüysüz bölgesi olan anüs kısmına veya ağız kısmına temas ettirilmiştir (Şekil 2). Akım ölçümü olarak alternatif akım (AC) ve 20v ayarında ölçümler yapılmıştır. Ölçümlere başlanmadan önce avometrenin doğruluğu, bilinen referans gerilimler kullanılarak kontrol edilmiş ve cihazın ölçüm aralığı içinde güvenilir sonuçlar verdiği doğrulanmıştır. Ölçümü yapan personel ile hayvan bakıcıları plastik eldiven ve plastik çizme giymek suretiyle ölçülen değerlerin doğru ve hatasız olması konusunda dikkatli davranmışlardır.

Çalışmadaki hayvanların biyoelektrik değerleri 35 gün boyunca akşam yemlemesinden önce saat 17:00'de ve akşam yemlemesinden sonra 18:00'de ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için hayvanın herhangi bir yerle teması engellenmiş ve avometre ekranındaki alternatif akımın sabitlenmesi ile ölçüm son bularak tespit edilen değer kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Ölçümün hayvandaki probu ve avometrenin ölçüm ekranı

Figure 1 The probe on the animal for measurement and the multimeter's measuring screen.



Şekil 2. Ölçüm alanına uzatılan ve toprağa gömülen bekır levhaya bağlanan bakır kablo

Figure 2. A copper cable is connected to a copper plate that is extended to the measurement area and buried in the ground.

İstatistik analizi

Verilerin istatistik analizleri SAS (2023) istatistik yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. SAS'ta genelleştirilmiş doğrusal modellerin (Generalized Linear Models = GLM) Anova prosedürü ve En Küçük Kareler metoduna göre analizler yapılmıştır. Gruplar arasındaki farklar için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Yemleme öncesi ve yemleme sonrası değerler arasındaki farklar için ise eşleştirilmiş t testi (paired – dependant) analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi için ise R (2021) (x64 version 4.1.0) istatistik hesaplama yazılımı kullanılmıştır.

Çevresel heterojenliğin ele alınışı

Bu çalışma, iki farklı ilde (Van ve Kars) yürütülmüş olup, çevresel heterojenlik özellikle şehir (il) faktörü üzerinden modele dâhil edilmiştir. Şehir değişkeni; rakım, bakım–besleme koşulları, işletme yönetimi ve iklimsel farklılıkları kapsayan bütüncül bir çevresel etki olarak değerlendirilmiştir. Şehir faktörü sabit etki olarak modele alınmış, böylece ölçümlerdeki çevresel kaynaklı varyasyon istatistiksel olarak ayrıştırılmıştır. Sonuçlar, şehirlerarasında hem yemleme öncesi hem de yemleme sonrası ölçümlerde anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir ($p<0.001$).

Bireysel heterojenliğin modellemesi

Hayvanlar arası biyolojik farklılıklar faktörler aracılığıyla modele dâhil edilmiştir. Cinsiyet (erkek–dişi), Yaş (1, 2, 3, 4 ve 6 yaş), fizyolojik durum (sağmal dişi – tohumlamada kullanılmayan erkek), canlı ağırlık sınıfları (200–650 kg) şeklindedir. Bu faktörlerin her biri Genelleştirilmiş Doğrusal Model (GLM) yapısı içerisinde ana etki

olarak tanımlanmış ve En Küçük Kareler Ortalamaları (LSMeans) üzerinden değerlendirilmiştir. Böylece, hayvanlar arası doğal biyolojik varyasyon kontrol altına alınmış, yemleme öncesi–sonrası farkların bu faktörlerden bağımsız olarak da anlamlı olup olmadığı test edilmiştir.

Zamansal heterojenliğin kontrolü

Ölçümler, 35 gün boyunca, aynı saatlerde (17:00 ve 18:00), aynı hayvanlar üzerinde tekrarlı ölçüm şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım sayesinde, gün içi ve günler arası dalgalanmalar minimize edilmiş, haftalar ayrı ayrı analiz edilerek zamana bağlı değişkenlik açıkça gösterilmiştir. Ayrıca yemleme öncesi ve sonrası ölçümler için eşleştirilmiş t-testi (paired t-test) kullanılarak, her hayvanın kendi iç varyasyonu kontrol edilmiştir. Bu yaklaşım, bireyler arası heterojenliği güçlü biçimde denetleyen bir yöntemdir.

İnteraksiyon etkileri

Çevresel faktörler arası interaksiyonlar, çalışmanın özgün yapısı gereği bilinçli olarak modele dâhil edilmemiştir. Bunun temel nedenleri şunlardır: Örnek hacmi, çoklu etkileşim terimlerini (örneğin şehir × cinsiyet × yaş) güvenilir biçimde test etmek için sınırlıdır.

Çalışmanın temel amacı: karmaşık nedensel modeller kurmaktan ziyade, yemleme öncesi–sonrası fizyolojik durum farkının biyoelektrik aktivite üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. İlk defa ele alınan bir parametre olan "vücut biyoelektrik aktivitesi" için öncelikle ana etkilerin net biçimde gösterilmesi hedeflenmiştir.

Bununla birlikte, elde edilen bulgular şehir, yaş ve ağırlık gibi faktörlerin güçlü etkilerini ortaya koymuş; bu durum, gelecekte şehir × rasyon içeriği, yaş × ağırlık, fizyolojik durum × besleme gibi interaksiyonların test edilebileceği daha ileri modeller için sağlam bir temel oluşturmuştur.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Verilerin haftalara göre istatistiki analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, hayvanların vücut elektrik akımlarını tespit etmek amacıyla yemleme öncesi ve sonrası durumları, cinsiyet, yaş, hayvanların sağmal olması, tohumlamada kullanılma veya kullanılmama durumu ve hayvanların ağırlık sınıfları gibi faktörlerin etkilerinin ele alındığı görülmektedir.

Besleme ile biyoelektrik aktivite arasındaki ilişki, yalnızca yem alımının gerçekleşmesiyle sınırlı olmayıp, rasyonun elektrolit içeriği, katyon–anyon dengesi ve su tüketimi gibi faktörlerle yakından ilişkilidir. Yemleme sonrası dönemde rumen sıvı hacminin artması, iyonların (özellikle Na^+, K^+ ve Ca^{2+}) çözünürlüğünde ve dağılımında meydana gelen değişiklikler ile birlikte doku elektriksel iletkenliğinin geçici olarak farklılaşması beklenmektedir. Bu çalışmada yemleme öncesi dönemde daha yüksek ölçülen biyoelektrik aktivitenin, yem alımını takiben sindirim ve metabolik süreçlerin başlamasıyla birlikte vücudun yeni bir elektrofizyolojik denge durumuna geçmesi sonucu azaldığı düşünülmektedir. Yemleme sonrası dönemde ölçülen biyoelektrik aktivitedeki azalma, organizmanın yeni bir elektrofizyolojik dengeye geçmesiyle açıklanabilir (Cervera et al., 2016; Funk & Scholkmann, 2023). Ancak rasyonların elektrolit kompozisyonunun nicel olarak belirlenmemiş olması, ölçülen biyoelektrik değişimlerin belirli besin unsurlarına doğrudan atfedilmesini sınırlamaktadır. Bu durum, ilerleyen çalışmalarda katyon–anyon dengesi ve mineral alımı gibi parametrelerin de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Van ve Kars illeri arasında gözlenen farklılıkların yalnızca rakım değişkeni ile açıklanması yeterli değildir. Çalışmanın yürütüldüğü işletmelerde uygulanan bakım ve besleme programları, rasyon içerikleri, yem kaynaklarının türü ve bölgesel iklim koşulları gibi faktörlerin hayvanların metabolik aktivitesi üzerinde etkili olabileceği bilinmektedir. Bu çevresel ve yönetimsel farklılıkların, biyoelektrik aktivite ölçümlerine dolaylı olarak yansımış olabileceği düşünülmektedir.

Cinsiyet ve yaşa bağlı olarak gözlenen farklılıkların da biyoelektrik aktivite üzerinde etkili olduğu değerlendirilmektedir. Dişi hayvanlarda daha yüksek biyoelektrik aktivite ölçülmesi, östrojen ve progesteron gibi cinsiyet hormonlarının su–elektrolit dengesi, doku perfüzyonu ve hücresel membran geçirgenliği üzerindeki düzenleyici etkileri ile ilişkili olabilir. Ayrıca dişi hayvanlarda genellikle daha yüksek vücut yağ oranı ve kas–yağ dağılımındaki farklılıklar, dokuların elektriksel iletkenlik özelliklerini etkileyebilmektedir. Yaşlı hayvanlarda gözlenen artmış biyoelektrik aktivite ise yaşa bağlı metabolik adaptasyonlar, doku kompozisyonundaki değişimler ve iyon dağılımındaki farklılıklar ile açıklanabilir. Bu fizyolojik ve metabolik faktörlerin, cinsiyet ve yaşa bağlı olarak ölçülen biyoelektrik aktivite değerlerine katkıda bulunmuş olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Rasyonların elektrolit (Na, K, Cl, Ca, Mg) içerikleri ve katyon–anyon dengesi hesaplanmamış, su tüketimi ve bireysel kuru madde alımı ölçülmemiştir. Dolayısıyla besleme unsurları ile biyoelektrik aktivite arasındaki ilişki fizyolojik ve istatistiksel düzeyde değerlendirilmiş, ancak besin maddelerine dayalı nedensel bir model kurulmamıştır. Bununla birlikte, çalışma yemleme öncesi ve sonrası

Çizelge 1. Yemleme öncesi ve sonrası kimi faktörlere göre elde edilen bulguların en küçük kareler ortalamaları, çoklu karşılaştırma testi sonuçları ve önem dereceleri
Table 1. Least square means, multiple comparison test results and significance levels of the findings obtained according to some factors pre and post feeding.

		1. Hafta (v) *(week 1)*		2. Hafta (v) *(week 2)*		3. Hafta (v) *(week 3)*		4. Hafta (v) *(week 4)*		5. Hafta (v) *(week 5)*	
	n	Yem öncesi *(Pre-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem sonrası *(Post-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem öncesi *(Pre-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem sonrası *(Post-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem öncesi *(Pre-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem sonrası *(Post-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem öncesi *(Pre-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem sonrası *(Post-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem öncesi *(Pre-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yem sonrası *(Post-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Genel *(General)*	30	0.52±0.01	0.51±0.01	0.51±0.01	0.52±0.01	0.51±0.01	0.52±0.01	0.52±0.01	0.51±0.01	0.52±0.01	0.51±0.01
Şehir (City)		*p*<.0001	*p*<.0001	*p*=.003	*p*=.009	*p*=.004	*p*=.023	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001
Van	16	0.54±0.02 *	0.52±0.02 *	0.53±0.02 **	0.54±0.02 **	0.53±0.02 **	0.54±0.02 **	0.54±0.02 **	0.53±0.02 **	0.54±0.02 **	0.53±0.02 **
Kars	14	0.50±0.01	0.50±0.01	0.47±0.01	0.49±0.01	0.48±0.01	0.49±0.01	0.49±0.01	0.48±0.01	0.49±0.01	0.48±0.01
Cinsiyet *(Gender)*		*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*=.004	*p*=.002	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001
Erkek *(Male)*	15	0.48±0.01 *	0.47±0.01 *	0.48±0.01*	0.49±0.01*	0.48±0.01 ***	0.49±0.01 ***	0.49±0.01 ***	0.48±0.01 ***	0.49±0.01 *	0.48±0.01 *
Dişi *(Female)*	15	0.57±0.02	0.56±0.01	0.55±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02 *	0.53±0.02 *
Yaş *(age)*		*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001	*p*<.0001
1	3	0.47±0.02 a	0.43±0.04 a	0.46±0.02 a	0.49±0.01 a	0.47±0.01 a	0.50±0.01 a	0.49±0.01 a***	0.47±0.01 a***	0.50±0.01 a	0.49±0.02 a
2	12	0.49±0.01 ab**	0.48±0.00 b**	0.48±0.01 ab	0.49±0.01 a	0.48±0.01 ab***	0.49±0.01 b***	0.49±0.01 a	0.48±0.01 ab	0.49±0.01 b*	0.48±0.01 b*
3	6	0.55±0.01 c	0.55±0.01 c	0.49±0.01 ab	0.50±0.01 a	0.48±0.01 ab	0.49±0.01 b	0.50±0.01 a	0.48±0.01 ab	0.49±0.01 b	0.48±0.01 b
4	4	0.50±0.02 b	0.51±0.02 bc	0.52±0.01 b	0.49±0.01 a	0.51±0.01 b	0.49±0.02 b	0.49±0.01 a	0.51±0.01 b	0.49±0.02 b	0.48±0.01 b
6	5	0.64±0.01 d	0.61±0.02 d	0.65±0.01 c***	0.63±0.01 b***	0.63±0.01 c*	0.65±0.01 b*	0.63±0.01 b	0.63±0.01 c	0.65±0.01 b*	0.63±0.01 b*
Fizyolojik durum (*physiological state*)		*p*=.531	*p*=.390	*p*=.516	*p*=.622	*p*=.473	*p*=.926	*p*=.522	*p*=.409	*p*=1.000	*p*=.600
Sağmal *(Milking)*	15	0.57±0.02	0.56±0.01	0.56±0.02 *	0.54±0.02*	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02	0.54±0.02 *	0.53±0.02 *
T.Kmayan *(Not used for insemination)*	15	0.48±0.01 *	0.47±0.01 *	0.48±0.01	0.49±0.01	0.48±0.01 ***	0.49±0.01 ***	0.49±0.01 *	0.48±0.01 *	0.49±0.01 *	0.48±0.01 *
Ağırlık *(Weight)*		*p*=.106	*p*=.337	*p*=.302	*p*=.636	*p*=.911	*p*=.843	*p*=.170	*p*=.713	*p*=.406	*p*=.020
200	3	0.47±0.02 a	0.43±0.04 a	0.46±0.02 a	0.49±0.01 a	0.47±0.01 a	0.50±0.01 a	0.49±0.01 a***	0.47±0.01 a***	0.50±0.01 a	0.49±0.02 a
300	5	0.49±0.01 ab*	0.48±0.00 b*	0.47±0.01 ab	0.50±0.01 a	0.49±0.01 a*	0.49±0.01 a*	0.50±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.48±0.01 a
400	7	0.48±0.01 a	0.47±0.01 ab	0.49±0.01 ab	0.48±0.01 a	0.47±0.01 a*	0.49±0.01 a*	0.48±0.01 a	0.47±0.01 a	0.49±0.01 a**	0.47±0.01 a**
500	3	0.53±0.01 c	0.54±0.01 c	0.50±0.02 ab	0.50±0.01 a	0.48±0.02 a	0.47±0.01 a	0.50±0.01 a	0.48±0.02 a	0.47±0.01 a	0.46±0.01 a
550	7	0.52±0.02 bc	0.53±0.01 c	0.50±0.02 b	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a	0.49±0.01 a
650	5	0.64±0.01 d	0.61±0.02 d	0.65±0.01 c***	0.63±0.01 b***	0.63±0.01 b*	0.65±0.01 b*	0.63±0.01 b	0.63±0.01 b	0.65±0.01 b*	0.63±0.01 b*

Not: Yem öncesi: Yemleme öncesi, Yem sonrası: Yemleme sonrası, T.Kmayan: Tohumlamada kullanılmayan erkek sığır, *:*p*<.05, **:*p*<.01, ***:*p*<.001, a,b,c,d: Aynı sütunda, ana kategoriler içinde, farklı üst simge taşıyanlar p<.05, *p*<.01 veya *p*<.001 düzeyinde farklıdır. $\bar{x}$ = Ortalama, $S_{\bar{x}}$ = Standart hatayı temsil etmektedir.

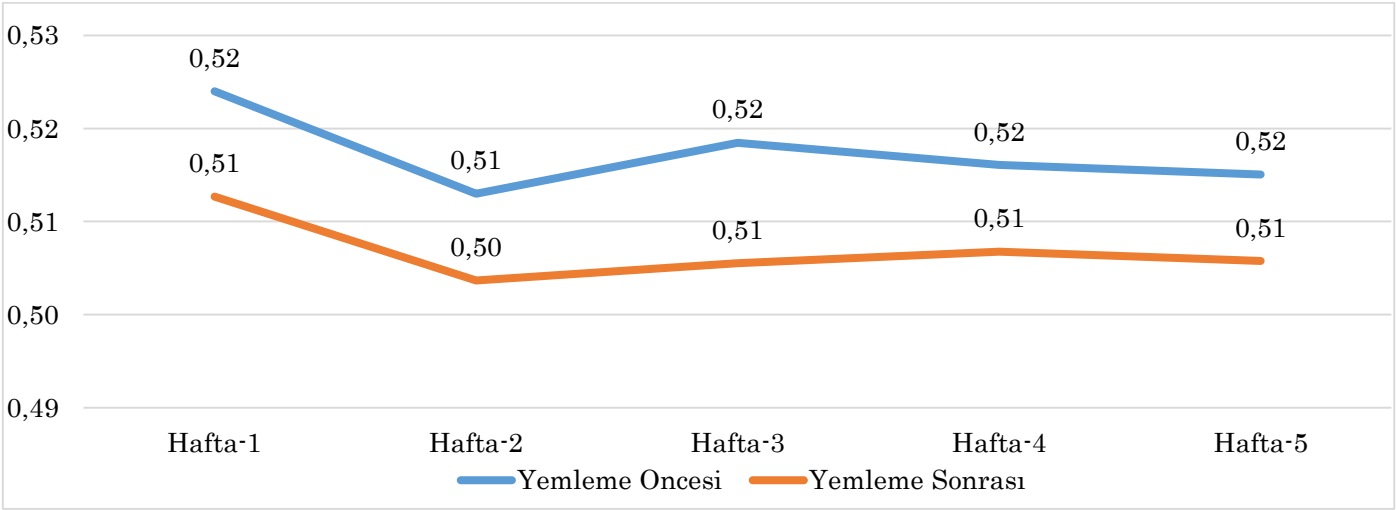
dönemde biyoelektrik aktivitenin anlamlı biçimde değiştiğini ortaya koyarak, gelecekte rasyon kompozisyonu temelli daha ayrıntılı araştırmalar için güçlü bir ön veri sağlamaktadır.

Bu çalışmada ayrıca rasyonların elektrolit (Na, K, Cl, S) içerikleri ile diyet katyon–anyon dengesi (DCAD) değerlerinin nicel olarak belirlenmemiş olması, besleme ile biyoelektrik aktivite arasındaki ilişkinin elektrolit temelli mekanizmalarının ayrıntılı biçimde ortaya konmasını sınırlandırmaktadır. Gelecek çalışmalarda rasyon elektrolit profillerinin belirlenmesi ve DCAD değerlerinin hesaplanarak değerlendirilmesi, besleme kaynaklı biyoelektrik değişimlerin daha bütüncül ve nedensel bir çerçevede yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

Elde edilen bulgular, ruminantlarda besleme ile ilişkili biyoelektrik aktivitenin yalnızca zamansal değil, aynı zamanda rasyonun elektrolit ve iyonik özellikleriyle de yakından ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar, biyoelektrik aktivite ölçümlerinin sığırlarda fizyolojik durumun izlenmesi ve besleme uygulamalarına verilen kısa dönemli yanıtların değerlendirilmesinde destekleyici bir araç olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir. Özellikle yemleme öncesi ve sonrası ölçümlerde gözlenen değişimlerin, sindirim ve metabolik adaptasyonlara duyarlı bir gösterge olabileceği düşünülmektedir. Bu yaklaşımın, sürü bazlı sağlık izleme sistemlerine entegre edilmesi ve rasyon optimizasyonuna yönelik karar süreçlerinde tamamlayıcı bir veri kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür.

Çizelge 1'de Simmental melezi hayvanların şehir, cinsiyet, yaş, fizyolojik durum ve ağırlık faktörlerine göre vücut biyoelektrik aktivite ölçümleri verilmiştir. 35 günlük ölçüm sonuçları 5 hafta olarak ele alınmıştır. Sonuçlar aşağıda belirtildiği gibi ilgili faktörler üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 3'de tüm haftalara göre yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerlerinin grafiği verilmiştir. Şekil 3'te de görüldüğü üzere yemleme öncesi ve sonrası arasında fark olduğu ve bu farkın istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Bayram ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada Karayaka koyunlarında yemleme öncesi değerlerin yemleme sonrası değerlerden yüksek olduğunu ve aradaki farkın önemli olduğunu (p<.05) tespit etmişlerdir.



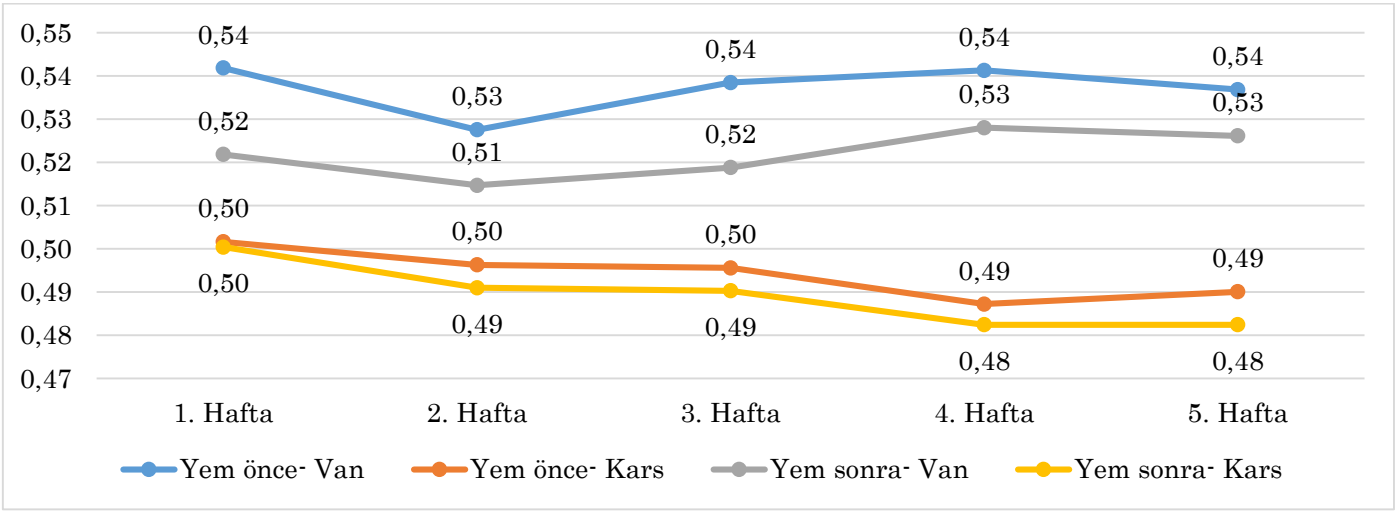
Şekil 3. Haftalara göre yemleme öncesi ve yemleme sonrası ortalama değerler
Figure 3. Weekly mean values pre and post feeding.

İllere göre değerlendirme

Çizelge 1 incelendiğinde, yemleme öncesi ve sonrası ölçümler arasındaki farkın Van ili için 1. Haftada t(15)= 2.69, p = .0167 düzeyinde önemli, 2, 3, 4 ve 5. haftalarda çok önemli (sırasıyla; t(15)= 3.23, p = .0056, t(15)= 3.38, p = .0041, t(15)= 3.88, p = .0015, t(15)= 3.16, p = .0064) düzeyde olduğu görülmektedir. Kars ilinde ise tüm haftalarda yemleme öncesi ve sonrası ölçümler arasında önemli bir farkın (haftalara göre sırasıyla; t(13)= 0.16, p = .8730, t(13)= 0.89, p = .3889, t(13)= 1.13, p = .2780, t(13)= 0.69, p = .5000, t(13)= 1.75, p = .1039) olmadığı görülmektedir. Fakat farklı illerde bulunan hayvanların yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerleri karşılaştırıldığında farkın önemli (yemleme öncesi; F= 72.82, p = <.0001, yemleme sonrası; F=46.96, p = <.0001) olduğu görülmektedir. Buna göre Van ilinde yetiştirilen Simmental ırkı sığırların ölçüm değerlerinin Kars ilinde yetiştirilen Simmental ırkı sığırlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). 6 yaşındaki sığırların Van ilinde çalışmaya dahil edilmesi ve daha iyi bir bakım, besleme şartlarına sahip olması bunun sebeplerinden biri olabilir.

Makalede besleme şartları ile biyoelektrik ölçüm değerleri arasındaki ilişki, doğrudan besin unsurlarına dayalı nicel bir model üzerinden değil; yemleme öncesi–sonrası fizyolojik durum farkı üzerinden kurulmuştur. Ölçüm değerlerindeki değişim sindirim, sıvı–iyon dengesi ve metabolik aktivitedeki artışla açıklanmış; ancak rasyonun

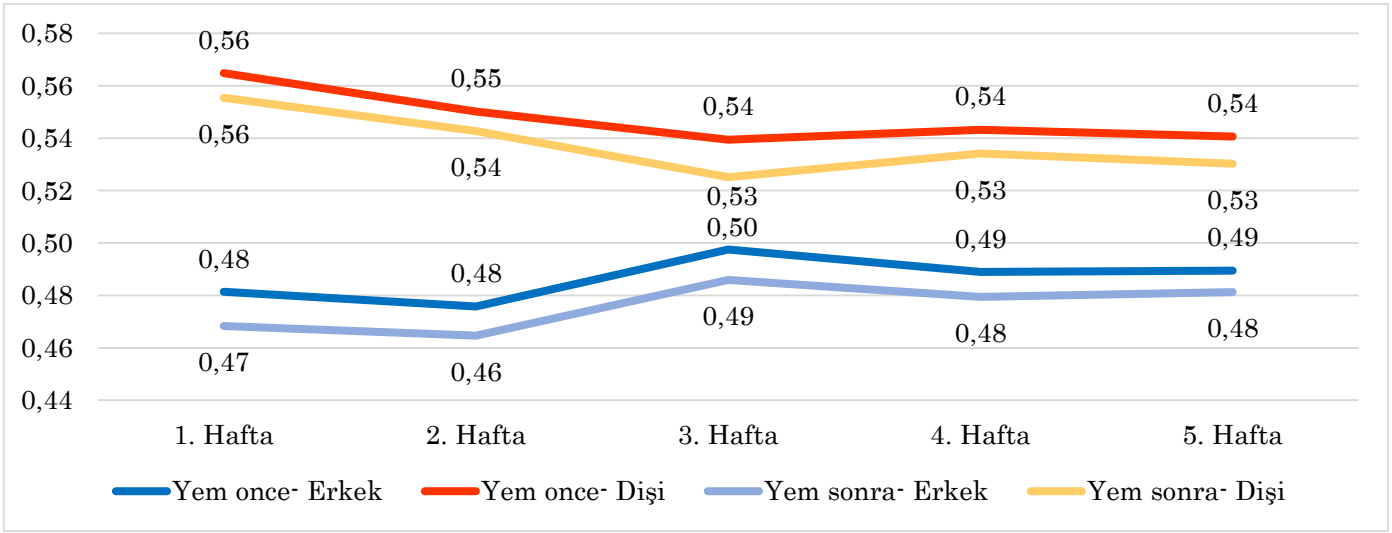
elektrolit içeriği, katyon–anyon dengesi veya mineral düzeyi ölçümle ilişkilendirilmemiştir. Bu nedenle ilişki fizyolojik olarak mantıklı ve istatistiksel olarak anlamlı olmakla birlikte, besleme unsurları açısından nedensel ve mekanistik düzeyde kurulmuş değildir. Gelecek çalışmalarda rasyonun elektrolit kompozisyonu ve DCAD (Dietary-Cation Anion Difference-Diyet Katyon-Anyon Farkı) değerlerinin ölçülerek biyoelektrik aktiviteyle korelasyon ve regresyon analizleri yapılması bu ilişkiyi bilimsel olarak güçlendirecektir.



Şekil 4. İllere göre yemleme öncesi ve yemleme sonrası ölçüm değerlerinin beş haftalık grafiği
Figure 4. Five-week graphical representation of measurement values pre and post feeding by province.

Cinsiyete göre değerlendirme

Tüm dişi sığırların, tohumlamada kullanılmayan tüm erkek hayvanlardan daha yüksek bir değere sahip oldukları tespit edilmiştir (Çizelge 1). Aralarındaki farkın önemli olduğu (yemleme öncesi; F= 161.76, p = <.0001, yemleme sonrası; F=150.52, p = <.0001) ve sağmal dişilerde ölçüm değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Yemleme öncesi ile sonrası erkek hayvanlarda fark bakımından yapılan analizde ise erkek sığırlarda 1, 2 ve 5. haftalarda erkek hayvanlar arasında farkın önemli (sırasıyla; t(14)= 2.36, p = .0330, t(14)= 2.18, p = .0472, t(14)= 2.70, p = .0172), 3 ve 4. haftalarda ise farkın çok önemli (sırasıyla; t(14)= 5.26, p = .0001, t(14)= 4.18, p = .0009) düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Dişi sığırlarda ise sadece 5. haftada farkın önemli (t(14)= 2.21, p = .0443) olduğu tespit edilmiştir.

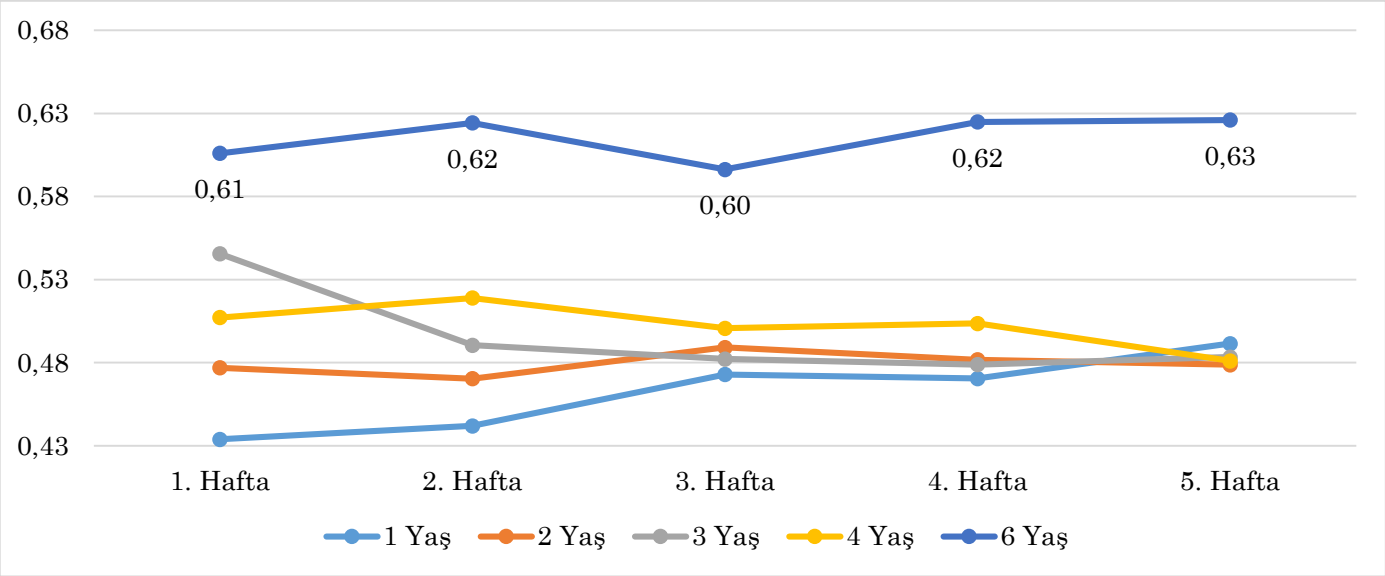


Şekil 5. Cinsiyete göre yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerlerinin beş haftalık grafiği
Figure 5. Five-week graphical representation of pre- and post-feeding measurement values by sex.

Yaşa göre değerlendirme

Yaş bakımından incelendiğinde, 2 yaşındaki sığırların yemleme öncesi ve sonrası biyoelektrik aktiviteleri arasında 1. haftada t(11)= 3.19, p = .0086, 3. haftada t(11)= 4.84, p = .0005 ve 5. haftada t(11)= 2.56, p = .0265 düzeyinde

önemli bir farkın olduğu gözlenmiştir. 6 yaşındaki hayvanların 2. haftada t(4)= 9.80, p = .0006 düzeyinde, 3 ve 5. haftalarda ise sırasıyla t(4)= 3.38, p = .0277 ve t(4)= 3.65, p = .0217 düzeyinde yemleme öncesi ve sonrası ölçümleri arasında önemli bir fark oluşturdukları tespit edilmiştir. 1. yaşındaki hayvanlarda ise 4. haftada yemleme öncesi ve sonrası arasında t(2)= 1.08, p = <.0001 düzeyinde önemli bir fark oluşturdukları tespit edilmiştir. Yaş faktörü bakımından incelendiğinde yaş arttıkça vücut elektrik değerlerinin de arttığı gözlenmektedir (Şekil 6). Yaşlar arasında istatistiki olarak önemli (yemlemeden önce F= 98.43, p = <.0001 ve yemlemeden sonra F= 75.56, p = <.0001) bir fark olduğu tespit edilmiştir. En fazla değerin 6 yaşındaki, en düşük değerin ise 1 yaşındaki sığırlarda ölçüldüğü tespit edilmiştir (Çizelge 1, Şekil 6).



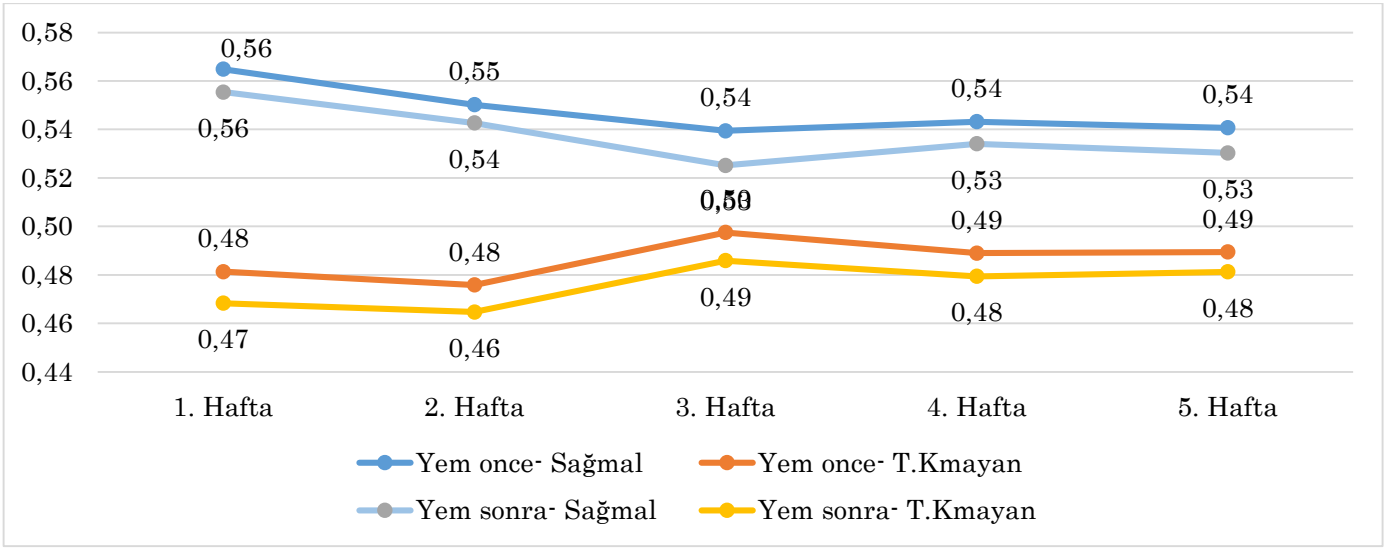
Şekil 6. Yaşa göre yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerlerinin beş haftalık grafiği
Figure 6. Five-week graph of pre- and post-feeding measurement values by age

Hayvanın fizyolojik durumuna göre değerlendirilmesi

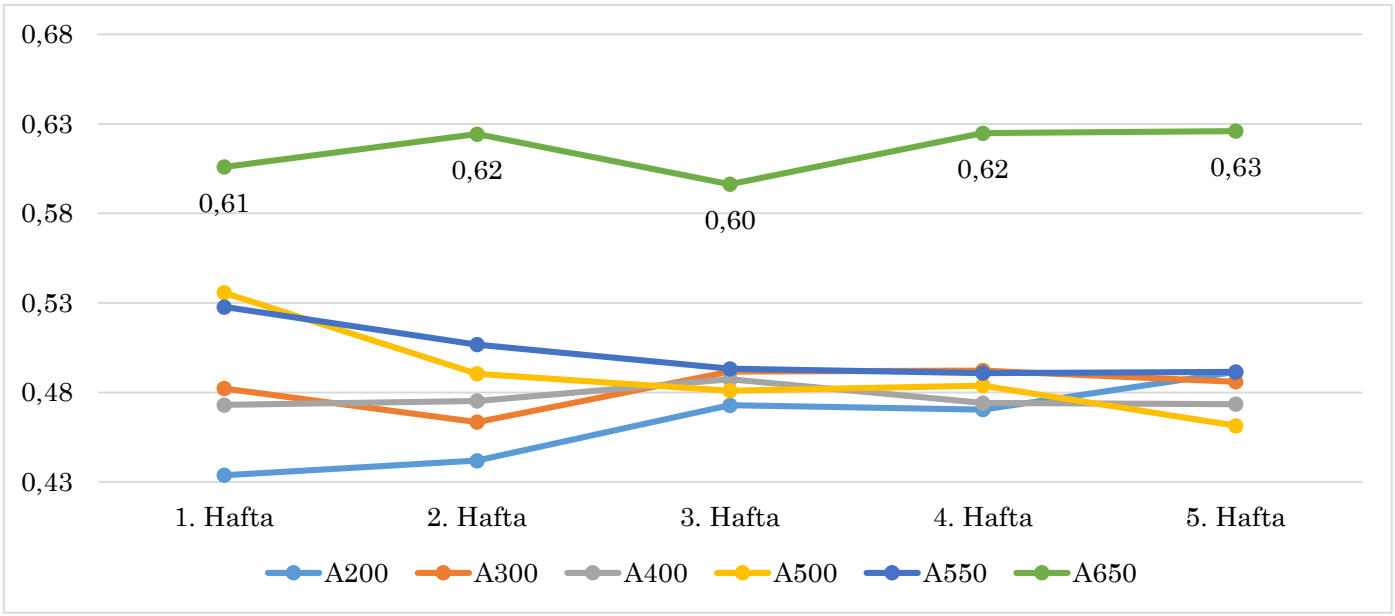
Çalışmada hayvanların fizyolojik ve fonksiyonel özellikleri (cinsiyet ve üreme/sağım durumu) esas alınarak başlangıçta dört grup oluşturulması planlanmıştır: dişi sağmal, dişi sağmal olmayan, erkek tohumlamada kullanılan ve erkek tohumlamada kullanılmayan hayvanlar. Ancak dişi sağmal olmayan ve erkek tohumlamada kullanılan hayvanlara yeterli sayıda ulaşılamaması nedeniyle bu gruplar çalışmaya dâhil edilememiştir. Bu nedenle araştırma, 15 dişi sağmal ve 15 erkek tohumlamada kullanılmayan hayvan olmak üzere iki grup üzerinden yürütülmüştür. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, dişi sağmal hayvanların erkek tohumlamada kullanılmayan hayvanlara kıyasla daha yüksek vücut biyoelektrik aktivite değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1, Şekil 7). Yemleme öncesi ve sonrası ölçümler arasındaki farkların istatistiksel önem düzeyi incelendiğinde; dişi sağmal hayvanlarda 2. haftada t(14)=2.12, p = .0539 ve 5. haftada t(14)=2.23, p = .0438 düzeyinde, erkek tohumlamada kullanılmayan hayvanlarda ise 1. haftada t(14)=2.36, p = .0330, 3. haftada t(14)=5.37, p = <.0001, 4. haftada t(14)=2.78, p = .0139 ve 5. haftada t(14)=2.67, p = .0176 düzeyinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Canlı ağırlığa göre değerlendirme

Ağırlık bakımından sınıflandırılan hayvanlarda sınıflar 200, 300, 400, 500, 550, 650 kg şeklindedir. Yapılan ölçümlerde yemleme öncesi ve sonrası arasında 200 kg gelen hayvanlarda 4. haftada t(2)= 1.08, p = <.0001 düzeyinde, 300 kg gelen hayvanlarda 1. haftada t(4)= 3.21, p = .0327 ve 3. haftada t(4)= 3.50, p = .0249 düzeyinde, 400 kg olan hayvanlarda 3. haftada t(6)= 3.24, p = .0177 düzeyinde, 5. haftada t(6)= 3.87, p = .0082 düzeyinde ve 650 kg olan hayvanlarda 2. haftada t(4)= 9.80, p = .0006 düzeyinde, 3. haftada t(4)= 3.38, p = .0277 ve 5. haftada t(4)= 3.65, p = .0217 düzeyinde önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Gruplar karşılaştırıldığında ise aralarında istatistiki olarak F=1.34, p = .2587 düzeyinde bir fark olduğu tespit edilmiştir. Buna göre 300 kg gelen hayvanların 200 kg ve 400 kg gelen hayvanlardan daha yüksek bir biyoelektrik aktiviteye sahip olduğu gözlenmiştir. Diğer 200, 400, 500, 550 ve 650 kg gelen hayvanların ağırlık arttıkça biyoelektrik aktivitelerinin de yükseldiği gözlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Fizyolojik duruma göre yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerlerinin beş haftalık grafiği
Figure 7. Five-week graph of pre- and post-feeding measurement values according to physiological status



Şekil 8. Ağırlığa göre yemleme öncesi ve sonrası ölçüm değerlerinin beş haftalık grafiği
Figure 8. Five-week graphical representation of pre- and post-feeding measurement values by age.

Çizelge 2'de Simmental melezi hayvanlarda vücut biyoelektrik aktivite ölçüm değerlerinin genel ortalaması yemleme öncesi 0.517 ± 0.011 V ve yemleme sonrası 0.507 ± 0.010 V olduğu tespit edilmiştir. Bayram ve ark. (2024)'nın Karayaka ırkı koyunlarda yapmış oldukları çalışmada yemleme öncesi; 0.12±0.001v, yemleme sonrası; 0.09±0.002v, $p<.05$ olduğunu tespit etmişlerdir.

Çizelge 2'de bulunan tüm haftaların ölçüm değerlerinin ortalamalarına bakıldığında yemleme öncesi değerlerin yemleme sonrası değerlerden daha yüksek olduğu ve bu farkın önemli olduğu tespit edilmiştir. Şehirlerin karşılaştırılmasında ise Van lehine önemli farkların olduğu gözlenmektedir. Van ilinde yetiştirilen Simmental ırkı hayvanların daha yüksek biyoelektrik aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yemleme öncesi ile yemleme sonrası arasındaki farkın çok önemli ($t(15)= 4.21$, $p = .0008$), Kars ilinde yetiştirilen hayvanlarda ise önemli ($t(13)= 2.46$, $p = .0285$) düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Cinsiyete göre incelendiğinde, dişi hayvanların erkek hayvanlara göre daha yüksek bir değer taşıdıkları ve bu farkın önemli olduğu tespit edilmiştir. Yemleme öncesi ve yemleme sonrası değerlerin karşılaştırılması

bakımından erkeklerde t(14)= 4.00, p = .0013 düzeyinde ve dişi hayvanlarda t(14)= 3.06, p = .0086 düzeyinde önemli bir fark oluşturdukları tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Yemleme öncesi ve sonrası kimi faktörlere göre elde edilen bulguların en küçük kareler ortalamaları, çoklu karşılaştırma sonuçları ve önem düzeyleri (tüm kayıtlar)

Table 2. Least square means, multiple comparison results and significance levels of findings obtained according to some factors pre and post feeding (all records)

Faktörler *(Factors)*	n	Yemleme öncesi *(Before-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Yemleme sonrası *(After-feeding)* $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	t değeri *(t value)*	p değeri *(p value)*
Genel ortalama *(Overall avarage)*	30	0.517 ± 0.011	0.507 ± 0.010		
Şehir *(City)*		p<.0001	p<.0001		
Van	16	0.537 ± 0.019 ***	0.523 ± 0.017 ***	4.21	0.0008
Kars	14	0.494 ± 0.004 *	0.489 ± 0.004 *	2.46	0.0285
Cinsiyet *(Gender)*		p<.0001	p<.0001		
Erkek *(Male)*	15	0.485 ± 0.004 **	0.477 ± 0.004 **	4.00	0.0013
Dişi *(Female)*	15	0.549 ± 0.018 **	0.537 ± 0.015 **	3.06	0.0086
Yaş *(age)*		p<.0001	p<.0001		
1	3	0.477 ± 0.012 a	0.463 ± 0.018 a	1.51	0.2697
2	12	0.488 ± 0.003 ab ***	0.481 ± 0.003 ab ***	4.69	0.0007
3	6	0.500 ± 0.006 b	0.495 ± 0.004 bc	1.17	0.2956
4	4	0.503 ± 0.003 b	0.500 ± 0.004 c	1.00	0.3910
6	5	0.644 ± 0.007 c **	0.616 ± 0.006 d **	4.80	0.0086
Fizyolojik durum (*physiological state*)		p=.532	p=.393		
Sağmal *(Milking)*	15	0.551 ± 0.019 **	0.539 ± 0.016 **	3.12	0.0081
T.Kmayan *(Not used for insemination)*	15	0.487 ± 0.004 **	0.479 ± 0.004 **	3.87	0.0015
Ağırlık *(Weight)*		p=.433	p=.259		
200	3	0.477 ± 0.012 a	0.463 ± 0.018 a	1.51	0.2697
300	5	0.490 ± 0.003 ab	0.484 ± 0.002 bc	2.45	0.0705
400	7	0.486 ± 0.005 ab **	0.479 ± 0.004 ab **	3.87	0.0082
500	3	0.497 ± 0.003 ab	0.490 ± 0.006 bc	2.00	0.1835
550	7	0.503 ± 0.005 b	0.500 ± 0.003 c	0.79	0.4571
650	5	0.644 ± 0.007 c **	0.616 ± 0.006 d **	4.80	0.0086

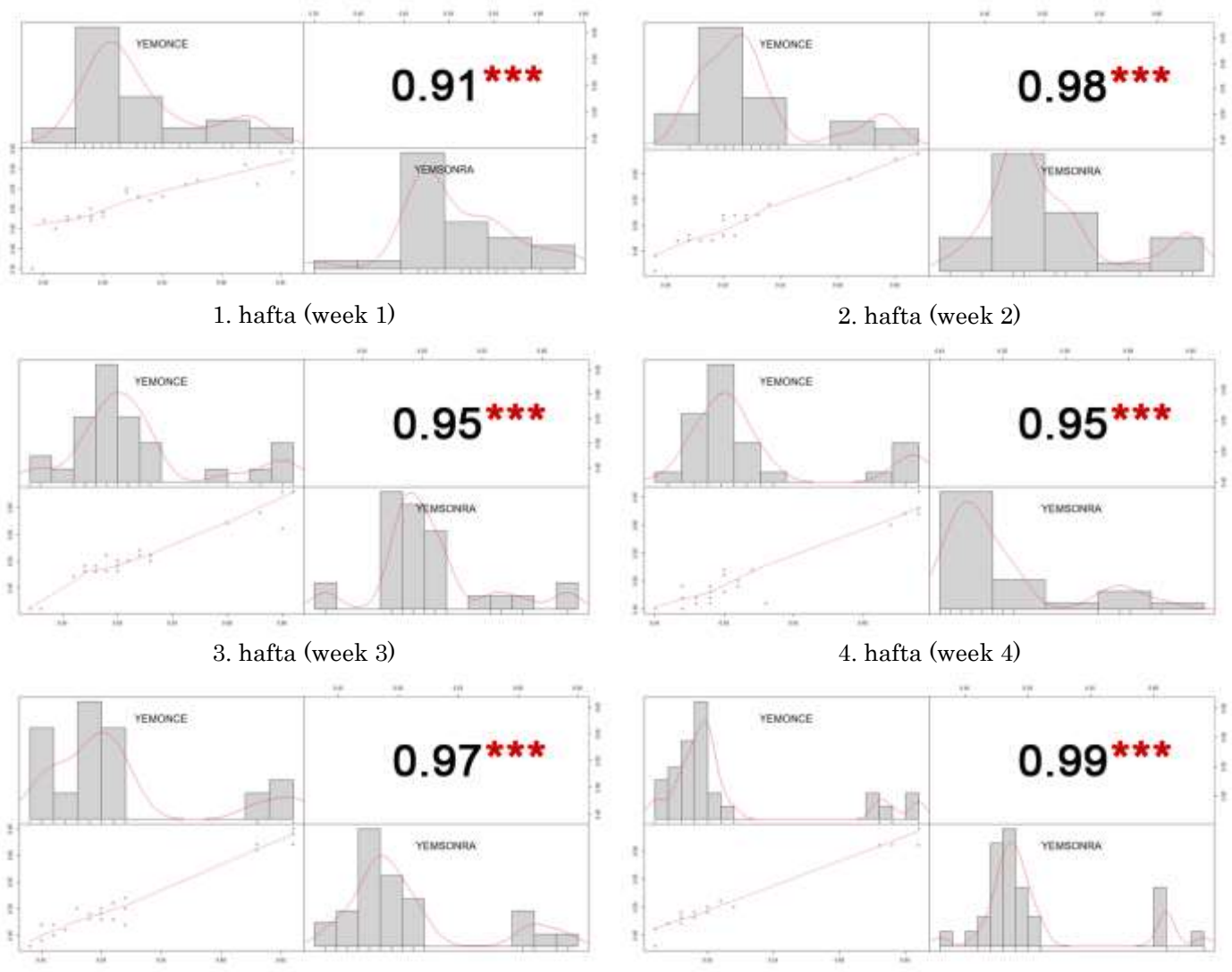
Not: Yem öncesi: Yemleme öncesi, Yem sonrası: Yemleme sonrası, T.Kmayan: Tohumlamada kullanılmayan erkek sığır, *: p<.05, **:p<.01, ***: p<.001, a,b,c,d: Aynı sütunda, ana kategoriler içinde, farklı üst simge taşıyanlar p<.05, p<.01 veya p<.001 düzeyinde farklıdır. $\bar{x}$ = Ortalama, $S_{\bar{x}}$ = Standart hatayı temsil etmektedir.

Hayvanların yaşlarına göre yapılan karşılaştırmada, yaşın ilerledikçe biyoelektrik aktivitelerinin de arttığı ve aralarındaki bu farkın önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Yemleme öncesi ve yemleme sonrası değerlerin karşılaştırılması bakımından 2 yaşlı hayvanlarda tespit edilen değerlerin arasındaki farkın çok önemli (t(11)= 4.69, p = .0007), 6 yaşındaki hayvanlarda önemli (t(4)= 4.80, p = .0086), 1, 3 ve 4 yaşlı hayvanlarda ise yemleme öncesi ve sonrası arasındaki farkın önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada dişi sağmal grup ile erkek tohumlamada kullanılmayan grupların karşılaştırılmasında aradaki farkın önemli olduğu ve dişi sağmal hayvanlarda tespit edilen değerlerin diğer gruba oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Buna göre her iki grupta da yemleme öncesi ile yemleme sonrası ölçüm değerleri arasındaki farkın sağmal grupta t(14)= 3.12, p = .0081 ve tohumlamada kullanılmayan erkek grupta t(14)= 3.87, p = .0015 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 2'den anlaşıldığı üzere ağırlık arttıkça biyoelektrik aktivite değerlerinin de arttığı ve ağırlık sınıfına göre gruplar arasında fark olduğu görülmektedir. Ağırlığı 400 kg ve 650 kg olan hayvanların yemleme öncesi ve yemleme sonrası değerleri arasındaki farkın sırasıyla t(6) = 3.87, p = .0082, t(4) = 4.80, p = .0086 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. En küçük ağırlığa (200 kg) sahip hayvanlarda tespit edilen değer 0.463 ± 0.018v

bulunurken en büyük ağırlığa (650 kg) sahip hayvanlarda vücut biyoelektrik aktivite değeri 0.616 ± 0.006v olduğu tespit edilmiştir.



1. hafta (week 1) 2. hafta (week 2)

3. hafta (week 3) 4. hafta (week 4)

5. hafta (week 5) Tüm kayıtlar (all records)

Şekil 9. Haftalara göre ve tüm kayıtlara göre yemleme öncesi ve yemleme sonrasına ait pearson korelasyon katsayıları

Figure 9. Pearson correlation coefficients for pre- and post-feeding measurements by week and across all records.

Şekil 9'da haftalara göre yemleme öncesi ve sonrası hayvanların biyoelektrik aktivite değerlerinin Pearson Korelasyon Katsayıları verilmiştir. Şekil 9'da da görüldüğü üzere 1, 2, 3, 4 ve 5. haftalarda yemleme öncesi ile yemleme sonrası arasında çok önemli ve pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Sırasıyla; 1. hafta: r(29) = .91, p =< .001, 2. hafta: r(29) = .98, p =< .001, 3. hafta: r(29) = .95, p = < .001, 4. hafta: r(29) = .95, p = < .001, 5. hafta: r(29) = .97, p = < .001 şeklindedir. Tüm kayıtları içeren biyoelektrik aktivite değerlerinin Pearson Korelasyon Katsayıları ise r(29) = .99, p = < .001 şeklindedir. Yemleme öncesi ve sonrası değerler bakımından tüm hafta ve tüm kayıtlar arasında çok önemli ve pozitif yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan analizlerden anlaşıldığı üzere, hayvanlardaki biyoelektrik aktivite yemleme öncesi değerin yemleme sonrası değerden yüksek olduğu anlaşılmıştır. Van ilinde yetiştirilen hayvanların Kars ilinde yetiştirilen hayvanlardan yüksek, dişi hayvanların erkek hayvanlardan yüksek, hayvanların yaşı arttıkça değerlerin yükseldiği, sağmal ineklerin vücut biyoelektrik aktivite değerlerinin tohumlamada kullanılmayan erkek hayvanlardan yüksek ve hayvanların canlı ağırlığı arttıkça biyoelektrik aktivite değerlerinin de yükseldiği ve istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yapılan literatür taramalarında konu ile ilgili çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışma, gelecekte yapılacak araştırmalara kaynak teşkil etmesi bakımından önem arz etmektedir. "Çalışmaların, büyük sürülerle ve her faktörü kapsayacak şekilde daha geniş kapsamlı yürütülmesi gerekmektedir." Özellikle ruminant hayvanlarda mikrobiyal bir sindirimin söz konusu olması, verilen rasyonun besin maddesi içeriğinin anyonik veya katyonik değerlilikte oluşu ve bundan etkilenen her bir mikroorganizma grubunun, biyoelektriksel yükü hem kendi gelişimlerinde hem de söz konusu oldukları organizmaların gelişimlerinde etkili oldukları için biyoelektriksel yükün önemi oldukça dikkat çekmektedir. Söz konusu biyoelektriksel aktiviteye sahip olan ve ruminant sindiriminde büyük rol oynayan mikroorganizmaların gerçek sindirim aktivitesini, yapay rumen olarak adlandırılan *in vitro* daisy II inkübatöründe yakalayabilmek için ruminantlarda var olan biyoelektrik aktiviteyi kullanmak, gerçek sindirimin elde edilmesinde büyük önem arz etmektedir.

Gelecek Çalışmalar

Rasyon elektrolit içeriği ve biyoelektrik aktivite ilişkisinin incelenmesi

Mevcut çalışmada yemleme sonrası biyoelektrik aktivitedeki düşüş, sindirim süreciyle birlikte sıvı-elektrolit dengesinde meydana gelen geçici değişimlerle açıklanmaktadır. Ancak kullanılan rasyonların elektrolit kompozisyonu nicel olarak belirlenmediği için, bu değişimlerin doğrudan hangi besin unsurlarından kaynaklandığı netleştirilememiştir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, rasyonun katyon-anyon dengesi, mineral alımı ve elektrolit içeriği ile vücut biyoelektrik aktivitesi arasındaki korelasyonun detaylı olarak analiz edilmesi önerilmektedir.

Daha büyük örneklemlerle farklı ırklar üzerinde çalışmalar

Bu araştırma 30 adet Simmental melezi sığır ile sınırlı tutulmuştur. Gelecekte daha geniş hayvan popülasyonları ve farklı sığır ırkları üzerinde yapılacak çalışmalarla, biyoelektrik aktivitenin ırka özgü varyasyonları ve karmaşık çevresel etkileşimleri daha net bir şekilde ortaya konulmalıdır.

Biyoelektrik aktivitenin hayvan refahı veya verimlilik göstergesi olarak kullanılabilirliği

Elektriksel iletkenlik temelli ölçüm yaklaşımları, hayvan sağlığının izlenmesi için hızlı, sahada uygulanabilir ve non-invaziv yöntemler sunma potansiyeline sahiptir. Biyoelektrik aktivitenin günlük yaşam döngüsü içindeki değişimlerinin anlaşılması, hayvancılıkta verimlilik takibi ve erken sağlık değerlendirmeleri için önemli bir temel oluşturmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu ölçümlerin hayvan refahını belirlemede ve verimlilik parametrelerini tahmin etmede bir biyomarker olarak kullanılabilirliğini test etmeye odaklanmalıdır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın yürütüldüğü işletmelerdeki işletme sahiplerine ve istatistiki analizlerin yapılmasında Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA hocamıza teşekkür ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Hasan ÇELİKYÜREK: Deney tasarımı ve denetimi, kaynak araştırma, orijinal taslak yazımı, inceleme ve düzenleme, metodoloji, grafik tasarımları ve kavramsallaştırma aşamalarında görev almıştır. Rıdvan BAYRAM: Örnek toplama, deney yürütme, özelliklerin ölçümü, makalenin incelenmesi ve düzenlenmesi aşamalarında görev almıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Kurul Kararı

Araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu (VAN YÜHADYEK) tarafından E-27552122-604.01.02-352295 Sayı No ile 06.04.2023 tarihinde onaylanmıştır.

KAYNAKLAR

Alok, J. (2012). Review: Discover: My bright idea: Electricity is the power that controls us: Memory, personality, hormone regulation, our senses-all are governed by currents within our bodies, says Frances Ashcroft. *The Observer,* http://search.proquest.com/docview/1021916621?pq-origsite=summon

Atasoy, A., Sevim, Y., Kaya, İ., Yilmaz, M., Durmus, A., Sonmez, M., Omay SB, Ozdemir, F. & Ovali, E. (2009). The effects of electromagnetic fields on peripheral blood mononuclear cells in vitro. *Bratisl Lek Listy 110* (9), 526–529.

Balint, R., Cassidy, N.J. & Cartmell, S.H. (2013). Electrical Stimulation: A Novel Tool for Tissue Engineering. *Tissue Engineering: Part B, 19*(1), 48-57. Mary Ann Liebert, Inc. https://doi.org/10.1089/ten.teb.2012.0183.

Bayram, R., Çelikyürek, H. & Koyun, H. (2024). Türk Karayaka Koyunlarında Beslenme Öncesi ve Sonrası Vücut Elektrik Akımının Önemi ve Belirlenmesi. *Türk Tarım - Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 12*(2), 338–343. https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i2.338-343.6665

Bresadola, M. (2008). Animal Electricity at the End of the Eighteenth Century: The Many Facets of a Great Scientific Controversy. *Journal of the History of the Neurosciences, 17,* 8–32, ISSN: 0964-704X print / 1744-5213 online, https://doi.org/10.1080/09647040600764787

Caputi, A´.A., Aguilera, P.A. & Pereira, A.C. (2011). Active Electric Imaging: Body-Object Interplay and Object's "Electric Texture". *PLoS ONE 6*(8), e22793. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022793.

Dow, D.E., Faulkner, J.A. & Dennis, R.G. (2005). Distribution of Rest Periods Between Electrically Generated Contractions in Denervated Muscles of Rats. *Artificial Organs, 29*(6), 432–435, Blackwell Publishing, Inc. http://dx.doi.org/10.1111/j.1525-1594.2005.29086.x

Finger, S., Piccolino, M. & Stahnisch, F.W. (2013). Alexander von Humboldt: Galvanism, Animal Electricity, and Self-Experimentation Part 2: The Electric Eel, Animal Electricity, and Later Years. *Journal of the History of the Neurosciences, 22*:327–352, ISSN: 0964-704X print / 1744-5213 online, https://doi.org/10.1080/0964704X.2012.732728.

Fish, R.M. & Geddes L.A. (2009). Conduction of electrical current to and through the human body: a review. *Eplasty. 9*, e44. PMID: 19907637; PMCID: PMC2763825.

Funk, R. H. W. & Scholkmann, F. (2023). The significance of bioelectricity on all levels of organization of an organism. *Progress in Biophysics and Molecular Biology, 177*, 185–201. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2022.12.002

Geddes, L. (2014). Healing spark: Hack body electricity to replace drugs, *Newscientist Magazine* https://www.newscientist.com/article/mg22129570-500-healing-spark-hack-body-electricity-to-replace-drugs/

George, L. F., Selberg, J. & Levin, M. (2022). Mechanisms underlying the influence of bioelectricity in cellular communication. *Frontiers in Cell and Developmental Biology, 10*, 888328. PMCID: PMC8883286. https://doi.org/10.3389/fcell.2022.888328

Hejazi, H., Eslami, G. & Dalimi, A. (2004). The parasiticidal effect of electricity on Leishmania major, both in vitro and in vivo. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology, 98* (1), 37–42. https://doi.org/10.1179/136485913X13789813917661

Kyle, U.G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A.D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J.M., Heitmann, B.L., Kent-Smith, L., Melchior, J.C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A.M.W.J. & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis - Part I: Review of principles and methods. *Clinical Nutrition, 23*(5), 1226–1243. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004

Koşalay, İ. (2014). Elektromanyetik Alanlar ve Bioenerji Olgusu. *Pamukkale Univ. Muh. Bilim. Derg., 20*(8), 287-293, (Emanet 2013 Özel Sayısı). https://doi.org/10.5505/pajes.2014.36854

Layton, J. (2013). How does the body make electricity and how does it use it? *Health brain & central nervous system.* http://health.howstuffworks.com/human-body/systems/nervous-system/human-body-make-electricity.htm

Levin, M., Martyniuk, C. J. & Adams, D. S. (2025). Structural electrobiology: Architecture of the bioelectric code. *Open Biology, 15*(2), 240379. https://doi.org/10.1098/rsob.240379

Liu, S., Cui, K., Li, H.L., Sun, J.M., Lu, X.R., Shen, K.Y., Liu, Q.Y. & Shi, D. S. (2015). Comparison of chemical, electrical, and combined activation methods for in vitro matured porcine oocytes. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal, 51,* 103-112. https://doi.org/10.1007/s11626-014-9819-1

Martindale, D. (2004). *The body electric.* New Scientist. 5/15/2004, 182 (2447), 38-41. 4p.

McLaughlin, K.A. (2017). Bioelectric signaling in regeneration: Mechanisms of ionic control of cell behavior. *Developmental Biology, 433*(2), 177–188. PMCID: PMC5753428. https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.08.002

Mohn, E. (2016). *Bioelectrogenesis,* Salem Press Encyclopedia of Science, 2016. 2p. https://www.ebsco.com/research-starters/physics/bioelectrogenesis-bioelectricity

Ozil, J.P. (1990). The parthenogenetic development of rabbit oocytes after repetitive pulsatile electrical stimulation. *Development, 109,* 117–127. https://doi.org/10.1242/dev.109.1.117

Pethig, R. (2017). Dielectrophoresis: Theory, methodology and biological applications. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Nanomedicine and Nanobiotechnology, 9*(6), e1442. https://doi.org/10.1002/wnan.1442

Piccolino, M. (1998). Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin, 46* (5), 381–407. https://doi.org/10.1016/S0361-9230(98)00026-4

Plante, A. (2022). How the human body uses electricity. *University of Maryland School of Graduate Studies.* https://www.graduate.umaryland.edu/gsa/gazette/February-2016/How-the-human-body-uses-electricity/

R, (2021). Camp Pontanezen, Copyright (C) 2021 The R Foundation for Statistical Computing, R version 4.1.0 (2021-05-18). Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

SAS, (2023). SAS/Stat Software Hangen and Enhanced, SAS Institute Incorporation, USA.

Schumacher, L. L., Viégas, J., dos Santos Cardoso, G., Bertoluzzi Moro, A., João Tonin, T., Naetzold Pereira, S., Vargas Teixeira, J. (2021). Bioelectrical impedance analysis (BIA) in animal production: Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, 12*(2), 553–572. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5821

Siddique, A., Batchu, P., Shaik, A., Gurrapu, P., Erukulla, T.T., Ellington, C., Rubio Villa, A.L., Brown, D., Mahapatra, A., Panda, S., Morgan, E., Van Wyk, J., Shapiro-Ilan, D., Kannan, G. and Terrill, T.H. (2025). Evaluating the efficacy of bioelectrical impedance analysis using machine learning models for the classification of goats exposed to Haemonchosis. *Frontiers in Veterinary Science*. *12,* 1584828. ISSN= 2297-1769. https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1584828

Sokal, K. & Sokal, P. (2011). Earthing the Human Body Influences Physiologic Processes. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 17* (4), 301–308, https://doi.org/10.1089/acm.2010.0687.

Steinbach, H.B. (1950). Animal Electricity. Source: *Scientific American, 182*(2), 40-43.

Su, L., Yimaer, A., Wei, X., Xu, Z. & Chen, G. (2017). The effects of 50 Hz magnetic field exposure on DNA damage and cellular functions in various neurogenic cells. *Journal of Radiation Research, 58*(4), 488–500. https://doi.org/10.1093/jrr/rrx012

Suzuki, D. (2008). *The Body Electric*, Issue of Skin Inc. Magazine, http://www.skininc.com/skinscience/physiology/17969919.html#sthash.dgvPIkRP.dpuf

Swanson, L. (2013). *How The Human Body Generates Electricity*, https://www.todayifoundout.com/index.php/2013/07/how-the-human-body-generates-electricity/#comments

Takaki, K., Yoshida, K., Saito, T., Kusaka, T., Yamaguchi, R., Takahashi, K. & Sakamoto, Y. 2014. Effect of Electrical Stimulation on Fruit Body Formation in Cultivating Mushrooms. *Microorganisms 2,* 58-72; https://doi.org/10.3390/microorganisms2010058

Xu, X., Zhang, H., Yan, Y., Wang, J. & Guo, L. (2021). Effects of electrical stimulation on skin surface. *Acta Mechanica Sinica 37*(12), 1843–1871, https://doi.org/10.1007/s10409-020-01026-2

Yanar, M. (1996). Et Hayvanlarının Karkasları Üzerine Elektriksel Stimülasyonun Etkileri. *Atatürk Üniversitesi, Zir. Fak. Derg., 27*(4), 596-602.