

Yem Bezelyesinin Yonca Otu Yerine Kullanımının Ruminant Rasyonlarında Sindirilebilirlik, Metan ve Mikrobiyal Protein Üzerine Etkileri

Bilal SELÇUK^{1*}, Seyit Ahmet GÖKMEN²

^{1,2}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lâdik Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 55000, Lâdik, Samsun

¹<https://orcid.org/0000-0001-9136-5707>

²<https://orcid.org/0000-0003-3909-799X>

*Sorumlu yazar: bilal.selcuk@omu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 09.09.2025

Kabul tarihi: 10.11.2025

Online Yayınlanma: 15.06.2026

Anahtar Kelimeler:

Yonca

Yem bezelyesi

In vitro gaz

Metan üretimi

Mikrobiyal protein

ÖZ

Bu çalışmada; Samsun Ladik koşullarında yetiştirilen yoncanın (*Medicago sativa*), farklı düzeylerde (%0, %10, %20, %30) yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) kuru otu ile ikamesinin, Tam Karışım Rasyonları (TKR) üzerindeki *in vitro* ruminal fermentasyon parametreleri, metan üretimi ve mikrobiyal protein sentezi üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada; kontrol rasyonu (%0 ikame) tamamen yonca kuru otu içerecek şekilde hazırlanmıştır. Deneme rasyonları ise yonca kuru otunun ağırlık bazında kuru madde üzerinden sırasıyla %0 (Kontrol), %10 (%10YB), %20 (%20YB) ve %30 (%30YB) oranlarında yem bezelyesi kuru otu ile ikame edilmesiyle oluşturulmuştur. Rasyonlar, izokalorik (2400 kcal KM) ve izonitrojenik (%17 HP) olacak şekilde formüle edilmiş; gaz üretimi (GÜ), metan (CH₄), gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), gerçek sindirim derecesi (GSD), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP) ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ölçülmüştür. Bulgulara göre toplam gaz (97,67–101,67 ml) ve mutlak metan üretimi (14,51–15,51 ml) ikame düzeylerinden istatistiksel olarak etkilenmemiştir (P>0,05). Ancak sindirilebilirlik parametrelerinde önemli farklılıklar ortaya çıkmış; GSKM ve GSD’de kübik etki (P<0,01) gözlenmiştir. En yüksek sindirilebilirlik değerleri %10 ikame düzeyinde (GSKM: 385,40 mg; GSD: %76,17) elde edilirken, en düşük değerler %20 ikame düzeyinde (GSKM: 350,83 mg; GSD: %69,44) kaydedilmiştir. Mikrobiyal protein üretimi açısından kontrol grubuna göre düşüş göstermiştir (P<0,05). Mikrobiyal protein sentezleme etkinliğinde ise gruplar arasında anlamlı farklılık göstermemiştir. Bu sonuçlar, yem bezelyesi kuru otunun %10 düzeyinde yonca yerine kullanıldığında ruminal sindirilebilirliği (%5,02 artış) ve mikrobiyal protein üretimini iyileştirdiğini göstermektedir. Daha yüksek ikame oranları (%20 ve üzeri) ise sindirilebilirliği ve mikrobiyal protein sentezini olumsuz etkilemiştir. Metan üretimi tüm gruplarda benzer seviyelerde kalmıştır. Sonuç olarak, %10 yem bezelyesi ikamesi, ruminal verimliliğin iyileştirilmesinde avantajlı görünmektedir. Bununla birlikte, metan üretiminin azaltılması için ek stratejilerin (örneğin tanen veya yağ asidi katkıları) uygulanması gerektiği, ayrıca elde edilen bulguların *in vivo* çalışmalarla doğrulanmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Effects of Replacing Alfalfa Hay with Field Pea Hay on Digestibility, Methane Production, and Microbial Protein in Ruminant Diets

Research Article

Article History:

Received: 09.09.2025

Accepted: 10.11.2025

Published online: 15.06.2026

Keywords:

ABSTRACT

This study investigated the effects of substituting alfalfa (*Medicago sativa*) with different levels (0%, 10%, 20%, 30%) of field pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) hay under the ecological conditions of Samsun-Ladik on the *in vitro* ruminal fermentation parameters, methane production, and microbial protein synthesis of Total Mixed Rations (TMR). In the experiment, the

control ration (0% substitution) was prepared to contain only alfalfa hay. The experimental rations were formulated by replacing alfalfa hay on a dry matter basis at rates of 0% (Control), 10% (10YB), 20% (20YB), and 30% (30YB) with field pea hay. The rations were formulated to be isocaloric (2400 kcal DM) and isonitrogenous (17% CP). Gas production (GP), methane (CH₄), truly digestible dry matter (TDDM), true digestibility (TD), partitioning factor (PF), microbial protein (MP), and microbial protein synthesis efficiency (MPSE) were measured. According to the results, total gas production (97.67–101.67 ml) and absolute methane production (14.51–15.51 ml) were not significantly affected by substitution levels ($P>0.05$). However, significant differences were observed in digestibility parameters, showing a cubic effect ($P<0.01$) for TDDM and TD. The highest digestibility values were obtained at the 10% substitution level (TDDM: 385.40 mg; TD: 76.17%), while the lowest were recorded at the 20% level (TDDM: 350.83 mg; TD: 69.44%). Microbial protein production decreased compared to the control group ($P<0.05$), whereas MPSE did not differ significantly among treatments. These findings indicate that replacing alfalfa hay with 10% field pea hay improved ruminal digestibility (by 5.02%) and microbial protein synthesis. Higher substitution levels (20% and above) negatively affected digestibility and microbial protein production. Methane production remained similar across all groups. In conclusion, a 10% substitution of field pea hay appears advantageous for enhancing ruminal efficiency. However, additional strategies (e.g., tannin or fatty acid supplementation) may be required to reduce methane emissions, and *in vivo* studies are recommended to validate these results.

To Cite: Selçuk B., Gökmen SA. Yem Bezelyesinin Yonca Otu Yerine Kullanımının Ruminant Rasyonlarında Sindirilebilirlik, Metan ve Mikrobiyal Protein Üzerine Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2026; 9(3): 1235-1244.

1. Giriş

Ruminant hayvan yetiştiriciliği; küresel gıda güvenliği açısından hayati öneme sahip olup et ve süt gibi hayvansal ürünlerin temel kaynağını oluşturmaktadır. Bu sistemin sürdürülebilirliği ve verimliliği büyük ölçüde kullanılan yem kaynaklarının kalitesine, maliyetine ve çevresel etkilerine bağlıdır (Beauchemin ve ark., 2008). Kaba yemler; ruminant rasyonlarının temel bileşenini oluşturarak rumen sağlığı ve fonksiyonları üzerinde belirleyici bir rol oynar. Yüksek besin değeri ve lezzeti nedeniyle yonca (*Medicago sativa*), yaygın olarak kullanılan bir kaba yem kaynağıdır (Jung ve Allen, 1995). Ancak yoncanın üretiminin belirli iklim ve toprak koşulları gerektirmesi, su tüketiminin yüksek olması ve maliyetindeki dalgalanmalar, alternatif kaba yem kaynaklarının araştırılmasını zorunlu kılmaktadır (Mueller-Harvey ve ark., 2019).

Bu bağlamda, baklagil familyasına ait olan yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.), dikkat çekici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Yem bezelyesi, iyi düzeyde ham protein ve enerji içeriğinin yanı sıra, toprağa azot bağlama kapasitesi ve düşük antinutrisyonel faktör içeriği gibi avantajlara sahiptir (Dahl ve ark., 2012). Ayrıca nişasta gibi kolay fermente olabilir karbonhidratlar bakımından zengin olması, ruminal fermentasyon deseni ve enerji salınım profilini değiştirebileceği için ayrı bir önem taşımaktadır (Titze ve ark., 2021).

Ruminantlarda enterik metan (CH₄) üretimi, hem yem enerjisinin kaybına (brüt enerjinin %2-12'si) hem de güçlü bir sera gazı emisyonuna yol açması nedeniyle önemli bir sorundur (Johnson ve

Johnson, 1995). Metan üretimini azaltacak besleme stratejilerinin geliştirilmesi hem hayvan verimliliğini artırmak hem de çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek açısından kritik öneme sahiptir.

In vitro gaz üretim teknikleri, ruminal fermantasyon parametrelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan güvenilir bir yöntemdir (Menke ve Steingass, 1988). Bu yöntemle, yemlerin sindirilebilirliği, gaz ve metan üretimi, mikrobiyal protein sentezi ve fermantasyon etkinliği gibi parametreler hızlı ve ekonomik bir şekilde belirlenebilmektedir.

Literatürde, yem bezelyesinin kesif yem bileşeni veya tek başına kuru ot olarak değerlendirildiği çalışmalar mevcut olmakla birlikte (Soto-Navarro ve ark., 2012; Vahdani ve ark., 2014), yonca kuru otunun yerine Tam Karışım Rasyonu (TKR) içerisinde kısmen ikame edilmesinin ruminal fermantasyon, metan emisyonu ve mikrobiyal verimlilik üzerine etkilerini sistematik olarak inceleyen ve rasyonları izonitrojenik ve izokalorik tasarlayan kapsamlı çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı; Samsun-Ladik koşullarında yetiştirilen yonca otunun, yem bezelyesi kuru otu ile farklı düzeylerde (%0, %10, %20, %30) ikame edilmesinin, *in vitro* ruminal fermantasyon parametreleri, metan üretimi ve mikrobiyal protein sentezi üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmanın hipotezi, yem bezelyesi ikamesinin uygun düzeylerde kullanılması durumunda, ruminal sindirilebilirliği ve mikrobiyal protein sentezini iyileştirirken, enterik metan emisyonlarını azaltabileceği yönündedir. Araştırma sonuçlarının, ruminant rasyonlarında sürdürülebilir ve ekonomik alternatifler sunması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yem Materyallerinin Hazırlanması ve Kimyasal Analizler

Bu çalışmada kullanılan yonca (*Medicago sativa*) ve yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) kuru otları, Samsun ili Ladik ilçesi koşullarında aynı vejetasyon döneminde yetiştirilmiştir. Bitkiler çiçeklenme başlangıcı döneminde biçilmiş ve doğal koşullarda kurutulduktan sonra çekiçli bir değirmenden (1 mm elek) geçirilerek öğütülmüş ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Deneme rasyonlarında kullanılan kesif yem bileşenleri (soya küspesi, buğday kepeği, arpa) de aynı şekilde öğütülmüştür.

Tüm yem hammaddelerinin kuru madde (KM), ham kül (HK), ham yağ (HY) ve ham protein (HP) içerikleri standart AOAC (1990) yöntemlerine göre belirlenmiştir. Nötral deterjan lif (NDF) ve asit deterjan lif (ADF) içerikleri ise Van Soest ve ark., (1991) yöntemine göre, alfa amilaz ve sodyum sülfid kullanılmadan analiz edilmiştir. Yem hammaddelerinin kimyasal bileşimleri, 24 saatlik *in vitro* gaz üretimi (GÜ), metabolik enerji (ME) ve organik madde sindirilebilirlik (OMS) değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Metabolik enerji (MJ/kg KM) ve organik madde sindirimi (%) değerleri, Menke ve Steingass (1988) tarafından geliştirilen regresyon eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ME (MJ / KgKM) = 1,68 + (0,1418 * GÜ) + (0,073 * HP) + (0,217 * HY) - (0,028 * HK) \quad (1)$$

$$OMS (\%) = 14,88 + (0,8893 * GÜ) + (0,448 * HP) + (0,651 * HK) \quad (2)$$

GÜ: 24 saatlik inkübasyon, sonucunda üretilen gaz hacmi (200 mg/KM).

HP: Ham protein (%)

HY: Ham yağ (%)

HK: Ham kül (%)

Tablo 1. Yem hammaddelerinin kimyasal bileşimleri, gaz üretimi, metabolik enerji ve organik madde sindirilebilirlik değerleri

YHM	HK (%)	HY (%)	HP (%)	GÜ (ml)	ME	OMS (%)
Yem bezelyesi	6,44	3,38	18,54	42,04	9,55	64,76
Yonca	9,41	1,52	13,42	47,70	9,49	70,44
Soya küspesi	7,33	2,41	52,86	55,74	13,76	92,90
Buğday kepeği	3,41	2,68	15,53	66,24	12,69	82,96
Arpa tanesi	1,61	1,76	13,13	59,13	11,36	76,85

YHM: Yem hammaddeleri, HK: Ham kül, HY: Ham yağ, HP: Ham protein, ME: Metabolik enerji (MJ/kgKM), GÜ: Gaz üretimi (200 mg /KM). OSM: Organik madde sindirimi

2.2. Deneyel Rasyonların Formülasyonu ve Hazırlanması

Araştırmada, kontrol rasyonu (%0 ikame) tamamen yonca kuru otu içerecek şekilde hazırlanmıştır, Deneme rasyonları ise yonca kuru otunun ağırlık bazında kuru madde üzerinden sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında yem bezelyesi kuru otu ile ikame edilmesiyle oluşturulmuştur. Tüm rasyonlar, NRC (2001)'e göre kuzular için bildirilen izonitrojenik (%17 ham protein) ve izokalorik (2400 kcal/kg KM metabolik enerji) olacak şekilde Microsoft Excel Yazılımı (2016) veri çözücü eklentisi kullanılarak formüle edilmiştir. Rasyon bileşenleri ve besin madde içerikleri Tablo 2'de verilmiştir.

2.3. Rumen Sıvısının Alınması ve İnkübasyon Ortamının Hazırlanması

In vitro gaz üretim deneyi için rumen sıvısı, özel bir kesimhaneden kesimi takiben üç erişkin Kıvrıcık koyundan alınmıştır, Sıvılar, 39°C'de termoslarda laboratuvara getirilmiş, 250 µm gaz tülü ile süzülerek partiküllerden arındırılmış ve sürekli CO₂ verilerek anaerobik koşullar sağlanmıştır. İnkübasyon ortamı (yapay tükürük), Menke ve ark., (1979) tarafından tanımlanan protokole uygun olarak hazırlanmıştır.

2.4. In Vitro Gaz Üretim Deneyi ve Örneklem

In vitro gaz üretimi, 100 ml'lik şırıngalarla (Häberle Labortechnik, Lonsee, Germany), Menke ve ark.,(1979) tarafından tanımlanan yöntemine uygun olarak ölçülmüştür. Her şırıngaya 500 mg (±10 mg) yem örneği konulmuş, üzerine 30 ml tampon solüsyonu ve 10 ml rumen sıvısı enjekte edilmiştir. Her bir rasyon için 4 tekerrür ve 4 adet kör (sadece inokulum ve buffer) şırınga hazırlanmıştır. Şırıngalar vakumlandıktan sonra 39°C'deki su banyosunda 24 saat süre ile inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda, her şırıngadaki toplam gaz üretimi (ml) kaydedilmiş ve kör değerleri çıkarılarak net gaz üretimi hesaplanmıştır.

Tablo 2. Deneysel rasyonların bileşimi (g)

	Katkı oranı (%)			
	Kontrol	%10YB	%20YB	%30YB
Yonca	500	400	300	200
Yem Bezelyesi	-	100	200	300
Yağ	30	30	30	30
Soya küspesi	111,20	97,86	84,52	71,22
Arpa tanesi	195	226,73	258,42	292
Buğday kepeği	137,78	126,41	115,08	102,19
Tuz	10	10	10	10
Kalsiyum karbonat	15	15	15	15
Min-Vit Mix	1	1	1	1
Toplam (g)	999,98	1007	1014,02	1021,41
ME (kcal KM)	2400	2400	2400	2400
HP (%)	17	17	17	17
HY (%)	4,80	4,99	5,18	5,37
HK (%)	6,58	6,24	5,90	5,56
NDF (%)	39,1	40,64	42,96	46,20
ADF (%)	19,14	20,22	21,4	24,5

ME: Metabolik enerji, HP: Ham protein, HY: Ham yağ, HK: Ham kül, NDF: Nötral deterjan fiber, ADF: Asit deterjan fiber, Min-Vit Mix: Mineral vitamin karışımı, YB: Yem bezelyesi ikame oranı.

2.5. Metan Analizi

İnkübasyon sonunda üretilen gazın metan (CH₄) içeriği, bir kızılötesi (IR) metan analizörü kullanılarak ölçülmüştür (Goel ve ark., 2008). Mutlak metan üretimi (ml), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{CH}_4(\text{ml}) = (\text{GÜ}(\text{ml}) * \text{CH}_4(\%)) / 100 \quad (3)$$

2.6. Sindirilebilirlik ve Mikrobiyal Protein Parametrelerinin Hesaplanması

Yirmi dört saatlik inkübasyon sonunda, şırıngalardaki artıklar toplanmıştır. Gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), gerçek sindirim derecesi (GSD), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein üretimi (MP) ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) değerleri, Blümmel ve ark., (1997) ve Vercoe ve ark., (2010) tarafından önerilen aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{GSKM}(\text{mg}) = [\text{İnkübasyona konulan KM}(\text{mg}) - \text{İnkübasyon sonrası artık KM}(\text{mg})] \quad (4)$$

$$\text{GSD}(\%) = (\text{GSKM} / \text{İnkübasyona konulan KM}(\text{mg})) \quad (5)$$

$$\text{TF} = (\text{GSKM} / \text{GÜ}) \quad (6)$$

$$\text{MP} = (\text{GKM} - (2,2 * \text{GÜ})) \quad (7)$$

$$\text{MPSE} = (\text{GSKM} - (2,2 * \text{GÜ})) / \text{GSKM} * 100 \quad (8)$$

GÜ: Gaz üretimi 24 saat fermentasyon sonrası üretilen gaz hacmi (500 mg/KM)

2.7. İstatistiksel Analiz

Araştırmadan elde edilen veriler, tamamen şansa bağlı deneme desenine göre yürütülmüş ve IBM SPSS Statistics 20,0 (SPSS, 2011) yazılımı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Farklı ikame oranlarının (0, 10, 20, 30) etkisi incelenmiştir, Ortalamalar arasındaki farkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır (Duncan, 1955), Ayrıca, ikame oranlarına bağlı doğrusal (L), kuadratik (Q) ve kübik (C) trendler polinom kontrast analizi ile test edilmiştir, İstatistiksel anlamlılık düzeyi olarak $P < 0,05$ kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, yonca kuru otunun farklı düzeylerde (%0, %10, %20, %30) yem bezelyesi kuru otu ile ikamesinin, izonitrojenik ve izokalorik Tam Karışım Rasyonları (TKR) üzerindeki *in vitro* ruminal fermentasyon parametreleri, metan üretimi ve mikrobiyal protein sentezi üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 3'te özetlenmiş olup, istatistiksel analizler önemli etkileşimleri ortaya koymuştur.

Tablo 3. Yonca kuru otunun yem bezelyesi kuru otuyla kısmen ikame edilmesinin rasyonlarının fermentasyon parametreleri ve mikrobiyal protein değerleri üzerine etkisi

	Katki oranı (%)				P values			
	Kontrol	%10YB	%20YB	%30YB	SHO	L	Q	C
GÜ (ml)/ inkübe edilmiş	97,67	98,00	98,67	101,67	2,59	,161	,488	,813
CH ₄ (ml)/ inkübe edilmiş	14,51	14,80	15,15	15,51	1,29	,437	,970	,987
CH ₄ (%)	14,84	15,05	15,35	15,26	1,05	,648	,847	,886
GSKM (mg)	365,43 ^{ab}	385,40 ^b	350,83 ^a	367,26 ^{ab}	8,52	,312	,777	,004
GSD (%)	72,53 ^{ab}	76,17 ^b	69,44 ^a	72,95 ^{ab}	1,75	,353	,962	,006
GÜ (ml)/g sindirilen KM	267,89	254,39	281,39	276,87	11,56	,179	,598	,084
CH ₄ (ml)/g sindirilen KM	39,78	38,45	43,22	42,24	3,66	,325	,949	,336
TF	3,74	3,93	3,56	3,61	0,16	,172	,561	,088
MP (mg)	150,55 ^{ab}	169,79 ^b	133,75 ^a	143,59 ^{ab}	12,40	,185	,607	,033
MPSE (%)	41,06	44,03	38,09	39,08	2,54	,179	,598	,084

^{abc}Aynı sembolle gösterilen ve aynı satırda yer alan ortalamalar arasında fark yoktur, SHO: Standart hata ortalaması ($P < 0,05$), GÜ: Gaz üretimi 500 mg KM, CH₄ (ml) ve CH₄ (%): Rasyonların metan üretim miktarı 500 mg KM, GSD: Gerçek sindirim derecesi, GSKM: Gerçek sindirilebilir kuru madde 500 mg KM, TF: Taksimat faktör, MP: Mikrobiyal protein, MPSE: Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği. YB: Yem bezelyesi ikame oranı.

Deneme rasyonlarının toplam gaz üretimi (GÜ) 97,67 ml (kontrol) ile 101,67 ml (%30YB ikame) arasında değişim göstermiş olmasına rağmen, ikame düzeyleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($P > 0,05$). Benzer şekilde, mutlak metan üretimi (CH₄ ml) (14,51-15,51 ml) ve metan yüzdesi (CH₄ %) (%14,84-%15,35) parametrelerinde de ikame düzeylerine bağlı belirgin bir

değişim gözlenmemiştir ($P>0,05$). Bu sonuçlar, yem bezelyesi ikamesinin ruminal metanojenez üzerinde doğrudan bir baskılama etkisi oluşturmadığını göstermektedir.

Literatürle karşılaştırıldığında, Yi ve ark, (2023) nişasta içeriği yüksek yemlerin propiyonat üretimini artırarak H_2 kullanımını teşvik ettiğini ve dolaylı yoldan metanı azaltabileceğini belirtmiştir. Ancak bu çalışmada, yem bezelyesinin yüksek nişasta içeriğine (Tablo 1) rağmen metan üretiminde azalma olmaması, rasyonun genel lif içeriğindeki (NDF: %39,1'den %46,20'ye) artışla ilişkili olabilir. Nitekim Li ve ark, (2022), yapısal karbonhidratların (NDF/ADF) metanojenez için daha fazla H_2 kaynağı oluşturduğunu vurgulamaktadır. %20 ve %30 ikame gruplarında artan ADF içeriği (%21,4-24,5, Tablo 2), selüloz fermentasyonuna bağlı metan üretimini sürdürmüş ve nişastadan beklenen potansiyel azaltıcı etkiyi maskeleyiş olabilir.

İkame oranlarının gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) üzerinde belirgin kübik etki yarattığı tespit edilmiştir (sırasıyla, $P<0,01$ ve $P<0,01$). En yüksek GSKM (385,40 mg) ve GSD (%76,17) değerleri %10YB ikame grubunda elde edilirken, %20YB ikame grubunda bu değerler anlamlı şekilde düşmüştür ve (sırasıyla 350,83 mg ve %69,44), %30 ikame düzeyinde ise parametreler kontrol grubu seviyelerine geri dönmüştür. Bu kübik eğilim, kısmi ikamenin sindirimi desteklerken, yüksek düzeylerin olumsuz etki yaratabileceğine ve bu etkinin lineer olmadığına işaret etmektedir.

İkamenin %10YB olduğu gruptaki olumlu sonuçlar, yem bezelyesinin yoncaya kıyasla daha dengeli karbonhidrat fraksiyonları (kolay fermente olabilir nişasta + sindirilebilir lif) sunmasıyla açıklanabilir (Titze ve ark., 2021). Bu etkileşim, rumen mikrobiyal popülasyonu için daha uygun bir substrat profili sağlayarak sindirimi artırmış olmasından kaynaklanabilir. Ancak %20YB ikamede, artan NDF/ADF oranları (Tablo 2) ve yapısal karbonhidratların mikrobiyal parçalanmaya direnci, sindirilebilirliği sınırlandırmış olabilir. Bu durum Van Soest (1994)'in yüksek NDF/ADF içerikli yemlerin ruminal parçalanmayı azaltabileceği yönündeki bulgularıyla örtüşmektedir, %30YB gruptaki kısmi toparlanma ise, rumen mikroorganizmalarının artan lifli substrata adaptasyonu veya farklı mikrobiyal popülasyonların devreye girmesiyle ilişkili olabilir.

Mikrobiyal protein üretimi (MP) değerlerinde de GSKM ve GSD'de olduğu gibi belirgin bir kübik etki gözlenmiştir ($P<0,05$). En yüksek MP değeri %10YB ikame grubunda (169,79 mg) kaydedilirken, en düşük değer ise %20YB ikame grubunda (133,75 mg) tespit edilmiştir. Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve taksimat faktörü (TF) değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşmamıştır ($P>0,05$).

İkamenin %10YB olduğu gruptaki MP artışı, bu rasyonun rumen mikroorganizmaları için optimal besin dengesini (enerji ve azot) sağladığını düşündürmektedir. Yem bezelyesinin sağladığı kolay fermente olabilir nişastanın, mikrobiyal büyüme için gerekli enerji kaynağı olarak kullanılması (Yi ve ark., 2023), MP artışını açıklayabilir. Buna karşılık, %20YB ikamede gözlenen düşüş, sindirilebilirliğin azalmasıyla paraleldir ve muhtemelen artan yapısal karbonhidrat içeriğinin rumen mikrobiyal popülasyonunun büyüme verimliliğini olumsuz etkilemesiyle ilişkilidir. Taksimat faktörü

ve MPSE'de gruplar arasında anlamlı bir fark olmamıştır ($P>0,05$). Taksimat faktörü önemli fermentasyon parametrelerinden biri olup, bu çalışmada 3,56 ile 3,93 arasında değişmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen taksimat faktörleri değerleri, Blümmel ve ark. (1997b) tarafından belirtilen teorik aralığa (2,75 - 4,41) düşmektedir. Blümmel ve ark. (1997a) , yüksek taksimat faktörüne sahip kaba yemlerin daha yüksek yem tüketim değerine sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle, yem bezelyesi ilavesiyle oluşan bölme faktörlerindeki düşüş yem alımını, dolayısıyla süt üretimini veya kuzuların büyüme performansını olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

4, Sonuç

Elde edilen bulgular, %10 yem bezelyesi ikamesinin optimum sonuçları sağladığını ortaya koymaktadır, Bu düzeyde ikame ile GSD %72,53'ten %76,17'ye çıkarak %5,02 oranında artmış, MP ise 150,55 mg'dan 169,79 mg'a yükselerek %12,8'lik bir artış göstermiştir. Ayrıca, metan üretiminde herhangi bir artış gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, hipotezimizin kısmen desteklendiğini göstermektedir: Yem bezelyesi, %10 düzeyinde ikame edildiğinde sindirilebilirlik ve mikrobiyal protein sentezini iyileştirebilmekte, ancak metan azaltımı sağlayamamaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından ise, metan azaltımı için ek stratejiler (yağ asitleri, tanen ilavesi vb,) gerekliliği açıktır. Bu çalışmanın temel sınırlılığı, *in vitro* koşulların rumen dinamiklerini tam olarak yansıtamamasıdır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak araştırmalarda *in vivo* denemelerle rumen sıvısının uçucu yağ asitleri profili ve mikrobiyal kompozisyonunun incelenmesi, farklı iklim koşullarında yetiştirilen yem bezelyesi varyetelerinin performanslarının karşılaştırılması ve yem bezelyesinin metan azaltıcı ajanlarla (örneğin tanenler, saponinler) kombinasyon halinde kullanımının değerlendirilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: BAP08-2025-5561

Çıkar Çatışma Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

AOAC. Official Method of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition, Washington, DC, USA, 1990.

- Beauchemin KA., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister TA. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Animal Production Science*, 2008; 48(2): 21–27. <https://doi.org/10.1071/EA07199>
- Blümmel M., Steingass H., Becker K. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition* 1997a, 77(6): 911-921. <https://doi.org/10.1079/bjn19970089>
- Blümmel M., Ørskov ER., Makkar HPS., Becker K. In vitro gas production: A technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1997b; 77(1-5): 24–34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x>
- Dahl WJ., Foster LM., Tyler RT. Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition* 2012; 108(S1): S3-S10. <https://doi.org/10.1079/BJN2002792>
- Duncan DB. Multiple range and multiple F tests, *Biometrics*, 1955; 11(1): 1–42.
- Goel G., Makkar HP., Becker K. Effects of *Sesbania sesban* and *Carduus pycnocephalus* leaves and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seeds and their extracts on partitioning of nutrients from roughage-and concentrate-based feeds to methane. *Animal Feed Science and Technology* 2008; 147(1–3): 72–89.
- Johnson KA., Johnson DE. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 1995; 73(8): 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Jung HG., Allen MS. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 1995; 73(9): 2774-2790. <https://doi.org/10.2527/1995.7392774x>
- Li Q., Wang R., Ma ZY., Zhang XM., Jiao J., Zhang ZG., Ungerfeld EM., Yi K., Zhang B., Long L., Long Y., Tao Y., Huang T., Greening C., Tan Z., Wang M. Dietary selection of metabolically distinct microorganisms drives hydrogen metabolism in ruminants. *The ISME Journal* 2022; 16(11): 2535–2546. <https://doi.org/10.1038/s41396-022-01294-9>
- Menke KH., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science* 1979; 93(1): 217–222.
- Menke KH., Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid, *Animal Research and Development* 1988; 28: 7–55.
- Microsoft Corporation. Microsoft Excel, Retrieved from <https://office.microsoft.com/excel> 2016.
- Mueller-Harvey I., Bee G., Dohme-Meier F., Hoste H., Karonen M., Kölliker R., Terrill TH. Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: Importance of structure,

- concentration, and diet composition. *Crop Science* 2019; 59(3): 861–885. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0369>
- National Research Council. NRC, Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev, ed.), National Academies Press, 2011. <https://doi.org/10.17226/9825>
- Soto-Navarro SA., Encinias AM., Bauer ML., Lardy GP., Caton JS. Feeding value of field pea as a protein source in forage-based diets fed to beef cattle. *Journal of Animal Science* 2012; 90(2): 585–591. <https://doi.org/10.2527/JAS.2011-4098>
- SPSS. IBM SPSS statistics for Windows, version 20.0, New York: IBM Corp 440, 2011,
- Titze N., Krieg J., Steingass H., Rodehutsord M. In situ crude protein and starch degradation and in vitro evaluation of pea grains for ruminants. *Archives of Animal Nutrition* 2021; 1–13. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1994831>
- Vahdani N., Moravej H., Rezayazdi K., Dehghan-Banadki M. Evaluation of nutritive value of grass pea hay in sheep nutrition and its palatability as compared with alfalfa. *Journal of Agricultural Science and Technology* 2014; 16(3): 537–550. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143170193>
- Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant (2nd ed,) Cornell University Press, 1994.
- Van Soest PV., Robertson JB., Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *Journal of Dairy Science* 1991; 74(10): 3583-3597.
- Vercoe PE., Makkar HP., Schlink AC. (Eds,), In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: Nuclear and Related Methodologies 2010; 247, Heidelberg: Springer.
- Yi S., Zhang XM., Zhou J., Gao C., Ma ZY., Wang R., Tan Z., Wang M. Fermentation of increasing ratios of grain starch and straw fiber: effects on hydrogen allocation and methanogenesis through in vitro ruminal batch culture. *PeerJ* 2023; 11: e15050. <https://doi.org/10.7717/peerj.15050>