

PAPER DETAILS

TITLE: Kati Faz Fermantasyonunun ayir Otu Besin Madde İerigi ve Anti-Metanojenik zelliklerine Etkisi

AUTHORS: Ali Ihsan ATALAY,Ramazan TOSUN,Ali KAYA

PAGES: 278-288

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2917178>



Katı Faz Fermantasyonunun Çayır Otu Besin Madde İçeriği ve Anti-Metanojenik Özelliklerine Etkisi

Effect of Solid State Fermentation on Meadow Grass Nutrient Content and Anti-Methanogenic Properties

Ali İhsan Atalay¹ , Ramazan Tosun² , Ali Kaya³ 

Geliş Tarihi (Received): 25.01.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 03.05.2023

Yayın Tarihi (Published): 21.08.2023

Öz: Bu çalışmada, çayır otunun 3 farklı fermantasyona uğratılarak yem değeri üzerine olan etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çayır otu; silaj suyu (SS), peynir altı suyu (PAS) ve PAS+SS (1:1) ile %70 nem içeriğinde 30 günlük fermantasyona tabi tutulmuştur. Fermantasyonun 0. 15. ve 30. günlerinde örnekler alınarak kimyasal ve *in vitro* gaz üretimindeki değişiklikler tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonucunda ham kül içeriği 30. gün örneklerde SS fermantasyonunda artarken, PAS fermantasyonunda azalmıştır. Fermantasyonun NDF ve ADF içerikleri üzerine etkisini 15. gün örneklerde önemli bulunmuştur. Selüloz içeriğine bakıldığında ise SS fermantasyonunda arttığı, PAS+SS fermantasyonunda ise azaldığı tespit edilmiştir. Fermantasyonun gaz üretimine etkisi incelendiğinde ise 0. gün örneklerine göre SS fermantasyonunda azaldığı, PAS fermantasyonunda ise 15. gün örneklerinde artmasına rağmen 30. gün örneklerinde azaldığı saptanmıştır. SS fermantasyonu % metan üretimini artırırken, PAS fermantasyonu net metan ve % metan içeriğini azaltmıştır. SS ve PAS ile yürütülen fermantasyonların gerçek sindirim derecesi, gerçek sindirilebilir kuru madde, taksimat faktörü, mikrobiyal protein ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliği üzerine pozitif etkisi olmuştur. Fermantasyon sırasında açığa çıkan enterik metan hem küresel ısınmaya hem de yemin enerji kaybına neden olmasından dolayı hem çevreciler ve hem de hayvan beslemeciler tarafından arzu edilmemektedir. Metan gazı karbondioksit gazından sonra küresel ısınmaya neden olan ikinci gazdır. SS fermantasyonun metan içeriğini artırdığı, PAS ve PAS+SS ile yürütülen fermantasyonlarda azaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak, katı faz fermantasyonu ile özellikle de PAS fermantasyonu sonucunda çayır otunun içeriğinin iyileştiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: çayır otu, *in vitro* gaz üretimi, katı faz fermantasyon, metan, mikrobiyal protein

&

Abstract: This study aimed to determine the effect on the feed value by three different fermentation of meadow grass. For this purpose, meadow grass was subjected to 30 days of fermentation with silage water (SS), whey (PAS) and PAS+SS (1:1) at 70% moisture content. Changes in chemical and *in vitro* gas production were determine by taking samples at 0, 15 and 30 days of fermentation. As a result of chemical analysis, while the crude ash content increased in SS fermentation in 30th day samples, decreased in PAS fermentation. The effect of fermentation on NDF and ADF contents was found significant in the 15th day samples. Considering the cellulose content, it increased in SS fermentation and decreased in PAS+SS fermentation. When the effect of fermentation on gas production was examined, it was determined that it decreased in SS fermentation compared to the 0th day samples, and decreased in the 30th day samples, although it increased in the 15th day samples in the PAS fermentation. While SS fermentation increased % methane production, PAS fermentation decreased net methane and % methane content. Fermentations carried out with SS and PAS had a positive effect on the true substrate digestibility, true dry matter digestion, partitioning factor, microbial protein yield and efficiency. Enteric methane, which is released during fermentation, is not desired by both environmentalists and animal nutritionists because it causes both global warming and energy loss of feed. Methane gas is the second gas that causes global warming after carbon dioxide gas. It was determined that SS fermentation increased the methane content and decreased in fermentations carried out with PAS and PAS+SS. As a result, it can be said that the content of meadow grass is improved as a result of solid state fermentation, especially PAS fermentation.

Keywords: meadow grass, *in vitro* gas production, solid state fermentation, methane, microbial protein

Atıf/Cite as: Atalay, A.I., Tosun, R., & Kaya, A. (2023) Katı Faz Fermantasyonunun Çayır Otu Besin Madde İçeriği ve Anti-Metanojenik Özelliklerine Etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 9 (2), 278-288. doi: 10.24180/ijaws.1242317

İntihal-Plagiarism/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹ Doç. Dr. Ali İhsan ATALAY, Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölüm, alihsanatalay66@hotmail.com (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

² Arş. Gör. Ramazan TOSUN Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölüm ramazantusun68@gmail.com

³ Arş. Gör. Ali KAYA Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü alikaya@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Kaba yemler hayvan beslemesinde vazgeçilmez yem kaynağıdır. Ucuz ve kaliteli kaba yeme kolay ulaşılabilirlik açısından ülke hayvancılığının kaba yem açığı/sorunu olduğu aşikardır. Söz konusu problemin çözümü için ya alternatif kaba yemler (Atalay vd., 2018; Kaya ve Kamalak, 2019; Atalay ve Kamalak, 2019; Keskin vd., 2021a,b; Beyzi vd., 2022) ya da mevcut düşük kaliteli kaba yemlerin (saman, mısır sapı vb.) kalitesinin artırılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Abera vd., 2018; You vd., 2019; Du vd., 2019; Khonkhaeng ve Cherdthong 2020; Datsomor vd., 2022; Canbolat, 2022). Mevcut kaba yemlerin kalitesini artırmaya yönelik fiziksel (Sarnklong vd., 2010; Du vd., 2019), kimyasal (Abera vd., 2018; You vd., 2019; Canbolat, 2022) ve biyolojik yöntemler (Ke vd., 2011; Khonkhaeng ve Cherdthong 2020; Datsomor vd., 2022) başta olmak üzere birçok yöntem araştırılmaktadır. Biyolojik yöntemlerin fiziksel ve kimyasal yöntemlere göre ekonomik ve çevre güvenliği açısından daha avantajlı bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Sufyan vd., 2021). Biyolojik yöntemlerden birisi de katı faz fermantasyon (KFF) metodudur. Katı faz fermantasyon kısaca suyun olmadığı veya çok az olduğu ortamda mikroorganizmaların kendi doğal ortamındaki gibi faaliyetini sürdürmesi olarak tanımlanabilir (Pandey, 2003). KFF yönteminin gıda, yem, ilaç sektörü başta olmak üzere birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır (Datsomor vd., 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022).

Hayvan besleme açısından besleme değeri düşük kaliteli yemlerin çeşitli mikroorganizmalar ile ideal koşullar altında fermantasyona tabi tutulduğunda lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi yapısal karbonhidratların azaltılabileceği, besin madde içerikleri ve sindirilebilirliğinin iyileştirilebileceği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ke vd., 2011; Yaşar ve Tosun, 2020; Sufyan vd., 2021; Datsomor vd., 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022). Kolza samanı ile *G. lucidum* ve *C. utilis* karışımının fermantasyonu sonucunda kolza samanının ham protein içeriğinin %226 (%4,98'den %16,23'e) oranında arttığı belirtilmiştir (Ke vd., 2011). Datsomor vd. (2022) tarafından yürütülen araştırmada çeltik samanını mikroorganizma kullanmadan (kontrol), *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium* ve her iki fungalın karışımı ile 30 günlük fermantasyona uğratmışlardır. Fermantasyon sonucunda kontrol grubuna göre mikroorganizma kullanılan fermantasyonlarda ham protein içeriği yaklaşık %27-31 oranında, ham kül içeriğinde ise %17-44 oranında artma olduğunu saptamışlardır. Fermantasyon sonunda çeltik samanının kuru madde, organik madde, NDF, ADF, ADL, selüloz ve hemiselüloz içeriğinin önemli derecede azaldığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan kontrol grubuna göre *Pleurotus ostreatus* ve iki fungal karışımının *in vitro* kuru madde sindirimini, uçucu yağ asiti ve gaz üretimi artarken *Phanerochaete chrysosporium* ile yürütülen fermantasyonda azaldığı saptanmıştır. Buğday samanı ve talaşın yapısal karbonhidratların azaltılması ve sindirilebilirliğini artırmak amacıyla yürütülen bir fermantasyonda *L. edodes* ile 12 haftalık fermantasyona uğratılmıştır (van Kuijk vd., 2016). Fermantasyon sonucunda buğday samanının ADL içeriği %81, hemiselüloz %66 oranında azalırken selüloz içeriği %13, gaz üretimi %23 oranında arttığı saptanmıştır. Benzer şekilde talaşında ADL içeriği %46, hemiselüloz içeriği %25 oranında azalırken gaz üretimi %228 oranında arttığı tespit edilmiştir. Sufyan vd. (2021) yürüttükleri çalışmada buğday samanı, çeltik samanı ve mısır sapını 3 farklı fungal mikroorganizma (*P. eryngii*, *P. ostreatus* ve *P. florida*) ile 30 gün katı faz fermantasyona maruz bırakarak besin madde içeriğine ve sindirilebilirliğine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda en fazla ligninin parçalandığı, beslenme değeri ve sindirilebilirliklerinin iyileştiği fermantasyonların buğday ve çeltik samanının *P. ostreatus* ile mısır sapının ise *P. florida* ile yürütülenlerde olduğu saptanmıştır.

Literatürdeki bilgiler doğrultusunda bu çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinin kuzeyinde yaygın olarak yetişen çayır otunun peynir altı suyu, silaj suyu ve her ikisinin karışımı (1:1) ile 30 gün katı faz fermantasyona tabi tutarak besin madde ve sindirilebilirliği üzerine etkisinin tespiti amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çayır otu Iğdır Üniversitesi Şehit Bülent Yurtseven kampüsündeki 3 bin dönümlük mera alanından 10 farklı noktadan alınarak homojen bir hal alacak şekilde karıştırılmıştır. Toplanan çayır otu oda sıcaklığında kurutulmuş ve 2-3 cm boyutunda olacak şekilde parçalanmış ve homojenliği sağlayana kadar karıştırılmıştır. Kurutulan ve parçalanmış örnekler 121 °C'de 30 dk otoklavlanmış ve oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmaya bırakılmıştır.

Fermantasyon çalışmasında kullanılan peynir altı suyu (PAS) Iğdır ilinde faaliyet gösteren özel bir süt ürünleri fabrikasından temin edilmiştir. Silaj suyu (SS) ise Iğdır Üniversitesi Zootekni laboratuvarında bulunan mısır silajı örneklerinin 1/10 oranında sulandırılarak 10 dk çalkalanması ve süzülmesi ile elde edilmiştir.

Fermantasyona hazırlanan inokulant ve substratların herbiri 3 tekerrürlü olacak şekilde plastik kavanozlara doldurularak homojen olacak şekilde karıştırılmış ve Çizelge 1’de verilen koşullar altında fermantasyona bırakılmıştır. 0. gün fermantasyonda inokulant ile substrat homojen olarak karıştırıldıktan sonra hemen kurutma fırınına aktararak kurutulmuştur.

Çizelge 1. Fermantasyon koşulları ve deneme deseni.

Table 1. Fermentation conditions and experiment design.

Parametre	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3
İnokulant	PAS	SS	PAS+SS (1:1)
pH	6.07±0.18	5.19±0.18	5.55±0.18
Nem, %	70.08±0.179	69.78±0.179	69.52±0.179
Sıcaklık, °C		37±2 °C	
Karıştırma		Günde 5 dk 100 rpm	
Örnekleme periyodu, gün		0, 15 ve 30	

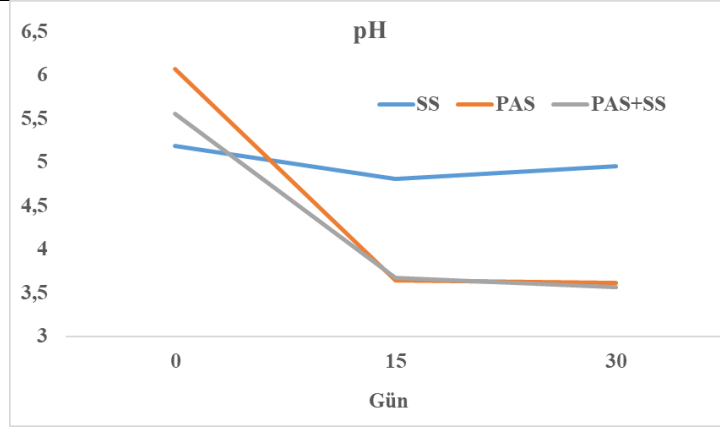
PAS: peynir altı suyu, SS: silaj suyu

Fermantasyonun 0, 15 ve 30. gününde alınan örnekler 60 °C’de kurutulup 1 mm elekten geçirilerek öğütülmüş ve analizler için hazır hale getirilmiştir. Yemlerin kuru madde (KM), ham kül (HK) ve ham protein (HP) analizi AOAC (1990) tarafından bildirilen yöntemle, NDF, ADF ve ADL içerikleri Van Soest vd. (1991) bildirdiği metoda göre, selüloz içeriği ise ADF ve ADL içerikleri kullanılarak hesap yolu ile tespit edilmiştir (Karabulut ve Canpolat, 2005). *İn vitro* gaz üretiminin (İVGÜ) ölçümleri ise Menke ve Steingass, (1988) gaz üretim tekniği ile tespit edilmiştir. Metan içeriği ise Goel vd. (2008) metoduna göre S-AMG 1010 cihazında % ve ml olarak tespit edilmiştir. *İn vitro* gaz ölçümlerinde kullanılan rumen sıvısı kesimhaneden kesim işleminin ardından alınmış ve hemen kullanılmıştır. Gerçek sindirilebilir kuru madde miktarı (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein üretimi (MP) ve sentezleme etkinliği (MPSE) Blümmel vd. (1997) ile Vercoe vd. (2010)’nın bildirdiği metotlara göre yapılmıştır. Organik madde sindirimi (OMS) Menke ve Steingass (1988), kuru madde sindirimi (KMS), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) ise Rohweder vd., (1978) tarafından bildirilen eşitliklik kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda örneklerin kimyasal bileşimleri ve gaz üretimlerine ait sonuçlar ONE-WAY-ANOVA ile varyans analizine tabi tutulmuş, muamele grupları arasındaki farklar Tukey (SPSS, 2016) çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çayır otunun PAS ve PAS+SS fermantasyonlarında pH değeri önemli derecede düşmüştür (Şekil 1) ($P<0.001$). Bu çalışmadaki pH değerindeki düşüş literatürde laktik asit bakterileri ile yürütülen fermantasyon çalışmalarının sonuçları ile benzerlik içindedir (Jonh vd., 2006; Bartkiene vd., 2014; Yaşar ve Tosun, 2018). Laktik asit bakterileri ile yürütülen fermantasyonlarda mikroorganizmaların organik asit (özellikle de laktik asit) üretimi ve CO₂ salınımı neticesinde pH değerinin önemli derecede düştüğü bilinmektedir (Joseph vd., 2008; Yaşar ve Tosun, 2018). Bu çalışmada da organik asit üretimi ve CO₂ salınımının pH değerinin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 1. Fermentasyon süresince pH değerinde gözlemlenen değişim.

Figure 1. Observed change in pH value during fermentation.

Çayır otu ile yürütülen 3 farklı fermentasyon sonucunda besin madde içeriklerinde istatistiksel olarak önemli değişiklikler tespit edilmiştir (Çizelge 2) ($P < 0.001$).

Çayır otu ile yürütülen tüm fermentasyonlarda KM ve HP içeriklerinde rakamsal bir değişiklik olsa da istatistiksel olarak fark önemsiz bulunmuştur. Çayır otunun SS ile yürütülen fermentasyonunda HK içeriği artmıştır. En fazla artış ise fermentasyonun 15. gününde %11 oranında olmuştur. Diğer taraftan SS ile yürütülen fermentasyonun aksine PAS ile yürütülen fermentasyonda HK içeriği azalmıştır. En fazla azalma ise fermentasyonun 15. gününde %12 oranında olduğu saptanmıştır. PAS+SS ile yürütülen fermentasyonlarda ise HK içeriğinde bir değişim tespit edilmemiştir. Fermentasyonun yapısal karbonhidratlara etkisi incelendiğinde SS ile yürütülen fermentasyonlarda çayır otunun ADF ve selüloz içerikleri fermentasyon süresi boyunca artmıştır. NDF içeriği ise fermentasyonun ilk 15. gününde artmasına rağmen daha sonra 0. gün NDF içeriği ile istatistiki bir fark olmayacak kadar azalmıştır. PAS ile yürütülen fermentasyonlarda ise NDF ve ADF içerikleri fermentasyonun ilk 15. gününde azalmıştır. Ancak fermentasyonun ilerleyen zamanında (15-30. günler arası) NDF ve ADF içeriklerinde artmış ve 0. gündeki NDF ve ADF içerikleri ile aralarında farklılık tespit edilememiştir.

Çizelge 2. Fermentasyonun çayır otu besin madde içeriğine etkisi (%KM).

Table 2. Effect of fermentation on nutrient content of meadow grass (%DM).

İnokulant	Gün	KM (%)	HK (%)	HP (%)	NDF (%)	ADF (%)	ADL (%)	Selüloz (%)
SS	0	30.22	13.18 ^e	12.55	61.76 ^b	32.71 ^{bc}	4.61 ^{ab}	28.10 ^{cd}
	15	30.20	14.68 ^b	13.33	65.55 ^a	36.55 ^{ab}	3.65 ^b	32.90 ^{ab}
	30	28.97	14.12 ^{bcd}	13.33	64.02 ^{ab}	38.53 ^a	4.80 ^{ab}	33.73 ^a
PAS	0	29.92	15.40 ^a	12.82	55.46 ^{cd}	30.94 ^{cd}	4.63 ^{ab}	26.30 ^{cd}
	15	30.75	13.56 ^{de}	13.84	50.44 ^e	27.28 ^d	3.10 ^b	24.18 ^d
	30	28.74	14.18 ^{bcd}	13.17	52.83 ^{de}	31.74 ^{cd}	3.64 ^b	28.10 ^{cd}
PAS+SS	0	30.48	14.39 ^{bc}	12.94	58.04 ^c	33.68 ^{bc}	4.90 ^{ab}	28.79 ^{bc}
	15	29.86	13.90 ^{cd}	13.33	57.45 ^c	31.51 ^{cd}	2.78 ^b	28.73 ^{bc}
	30	29.45	14.22 ^{bc}	13.87	58.18 ^c	29.93 ^{cd}	6.06 ^a	23.87 ^d
p değeri		0.087	0.000	0.087	0.000	0.000	0.002	0.000
SHO		0.179	0.124	0.116	0.936	0.676	0.229	0.674

^{abcde} Aynı harflere sahip ve aynı sütun yer alan ortalamalar arasında fark yoktur ($P < 0.05$), SHO: Standart hata ortalaması, KM: Kuru madde; HK: Ham kül; HP: Ham protein; NDF: Nötr çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler; ADF: Asit çözücülerde çözünmeyen lifli bileşikler; ADL: Asit çözücülerde çözünmeyen lignin.

Çayır otunun PAS ile fermentasyonunda selüloz içeriğinde önemli bir değişim saptanmamıştır. PAS+SS ile yürütülen fermentasyonlarda ise NDF ve ADF içeriklerinde istatistiksel bir farklılık olmamıştır. Selüloz içeriğinin ise ilk 15. günde farklılık olmamasına rağmen fermentasyonun ilerleyen aşamasında %17

oranında azaldığı saptanmıştır. Çayır otunun SS ve PAS ile yürütülen fermentasyonlarında ADL içeriklerinde rakamsal bir değişiklik olsa da istatistiksel olarak farklılık önemsiz bulunmuştur. PAS+SS fermentasyonunda ise 15 ve 30 gün örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmiştir.

Çayır otunun HK içeriği SS fermentasyonunda artarken PAS fermentasyonunda azalmıştır. Literatürdeki sonuçlara bakıldığında HK içeriği çok fazla değişkenlik göstermektedir (Olukomaiye vd., 2020; Terefe vd., 2021). Uvere vd. (2009) fermentasyon sırasında mikroorganizma ve enzim aktivitelerinden dolayı organik madde kaybı neticesinde inorganik maddede artış olabileceğini belirtmiştir. Terefe vd. (2021) ise fermentasyon koşullarına ve fermentasyonda kullanılan mikroorganizmaya bağlı olarak inorganik madde içeriklerinin değişebileceğini, bazı mikroorganizmaların fermentasyon esnasındaki faaliyetlerinde inorganik maddeleri kullanarak azalttığını bazı mikroorganizmaların ise tamamen organik maddeler üzerinde faaliyet göstermesi sonucunda toplam kütlede inorganik maddede artışın olabileceğini bildirmişlerdir. Çayır otunun SS ile yürütülen fermentasyonunda da suda çözünabilir organik maddelerin kaybı neticesinde HK içeriğinde artış olduğu düşünülmektedir. Ancak PAS ile yürütülen fermentasyonda ise mikroorganizmaların faaliyetleri esnasında inorganik maddeleri kullandığı ve sonucunda HK içeriğinin azaldığı düşünülmektedir. SS ve PAS ile yürütülen fermentasyonların HK içeriklerindeki farklılığın ise inokulant farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Fermentasyonun yapısal karbonhidratlara etkisi incelendiğinde SS ile yürütülen fermentasyonlarda NDF, ADF ve selüloz içeriklerinde artma, PAS ile yürütülen fermentasyonda ise NDF içeriğinde azalma gözlenmiştir. PAS+SS ile yürütülen fermentasyonunda ise ADL içeriği 15. günden sonra artmıştır, bu artmaya bağlı olarak selüloz içeriği düşmüştür. Literatürdeki çalışmalar irdelendiğinde mikrobiyal fermentasyon sonucunda yapısal karbonhidratların azalabileceğine dair sonuçlar mevcuttur (Xie vd. 2016; Kutshik vd., 2016; Nasehi vd., 2017). Birçok araştırmacı bu azalmanın mikroorganizmaların (özellikle de fungal) fermentasyon sırasında ekstraselüler enzimleri salgıladıklarını ve bu enzimlerinde ADF, NDF, ADL ve ham selüloz gibi bileşikler parçalamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Lynch vd., 2014; Shrivastava vd., 2014; Nasehi vd., 2017). Ancak, Ramli vd. (2005) ve Olukomaiya vd. (2020a,b) mikrobiyal fermentasyonlarda NDF, ADF ve ham selülozun artabileceğini bu artmanın şeker gibi basit karbonhidratların ve sekonder metabolitlerin parçalanmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. SS ile yürütülen fermentasyon çalışmasındaki NDF ve ADF içeriğinin artması Ramli vd. (2005) ve Olukomaiya vd. (2020a,b) çalışmalarının sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Bu artmanın basit karbonhidratların ve sekonder metabolitlerin parçalanması sonucunda kütleli bir artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan PAS ile yürütülen fermentasyonda NDF içeriğinin azalması literatürdeki birçok çalışma ile paralellik içerisindedir (Lynch vd., 2014; Shrivastava vd., 2014; Nasehi vd., 2017).

Çayır otunun katı faz fermentasyon sonucunda net gaz, metan (ml), % metan, GSKM, TF, MP, EMP ve GSD değerleri önemli derecede etkilenmiştir (Çizelge 3) ($P<0.001$). Çizelge 3'de verilen 0. gün besin maddelerinin farklı olmasının nedeni fermentasyonda kullanılan inokulant içeriklerinden kaynaklanmaktadır. Çayır otunun SS ile yürütülen fermentasyonda fermente son ürünlerinin (30. gün) gaz üretimi 0. gün gaz üretimine göre %14 oranında düştüğü saptanmıştır. PAS ile yürütülen fermentasyonda ise net gaz üretimi 15. gün örneklerinde %6 oranında artmasına rağmen 30. gün örneklerinde azalarak 0. gün net gaz üretimine göre istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir. PAS+SS ile yürütülen fermentasyonun net gaz üretimine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Çayır otunun SS ile fermentasyonunda net metan üretimi fermentasyon süresince artarken, PAS ve PAS+SS ile yürütülen çalışmalarda net metan üretimi 30. gün örneklerinde sırasıyla %5.5 ve %3.7 oranında azaldığı belirlenmiştir. Fermentasyonun % metan üretimine etkisi incelendiğinde SS ile yürütülen fermentasyon sonunda elde edilen fermente ürünün % metan üretimini %18 oranında artmıştır. PAS fermentasyonunun % metan üretimine etkisi ise çok değişkenlik göstermiştir. 15. gün örneklerinde %10 oranında düşüş saptanmış ancak 30. gün fermente örneklerde bu düşüş tespit edilememiştir. PAS+SS ile yürütülen fermentasyonda % metan üretimi fermentasyon boyunca azaldığı saptanmıştır. Gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM) SS fermentasyonunda 15. gün fermente üründe %18 oranında düşüş olmasına rağmen 30.

gün fermente üründe 0. güne göre etkisinin olmadığı saptanmıştır. PAS fermentasyonunda ise %11 oranında artmıştır. Fermentasyonun TF'ye etkisi incelendiğinde SS ve PAS fermentasyonu TF' yi %15-16 oranında artırmıştır. PAS+SS fermentasyonunda ise 15. gün örneklerde azaldığı belirlenmiş ancak 30. gün örneklerinde bu azalma olmamıştır. MP fermentasyon sonunda SS'de %29, PAS'da ise %55 oranında artış olmuştur. MP'nin artışına bağlı olarak MPSE de SS ve PAS fermentasyonlarında %30-40 oranında artma olmuştur. PAS+SS fermentasyonunda MP ve MPSE 15. gün örneklerde azalmıştır. Fermentasyonun GSD üzerine etkisi ise SS fermentasyonun 15. günde düşmesine rağmen 30. gün fermente üründe 0. gündeki örneklerle arasında farklılık olmadığı saptanmıştır. PAS fermentasyonunda ise yaklaşık %12 oranında GSD iyileşmiştir.

Çizelge 3. Fermentasyonun çayır otu net gaz, metan (ml ve %), GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD'ye etkisi.

Table 3. Effect of fermentation on net gas, methane (ml and %), GSKM, TF, MP, MPSE and GSD of meadow grass.

İnokulant	Gün	Net Gaz (ml)	Net Metan (ml)	Metan (%)	GSKM (mg)	TF	MP (mg)	MPSE (%)	GSD (%)
SS	0	35.52 ^d	19.24 ^{ab}	21.35 ^b	266.64 ^b	3.23 ^{bc}	84.77 ^b	31.79 ^{bc}	52.56 ^b
	15	30.32 ^e	19.38 ^a	25.41 ^a	219.25 ^c	3.13 ^{cd}	65.24 ^c	29.76 ^{bcd}	43.56 ^c
	30	30.44 ^e	19.44 ^a	25.24 ^a	265.00 ^b	3.75 ^a	109.53 ^a	41.30 ^a	52.37 ^b
PAS	0	40.27 ^b	19.43 ^a	19.24 ^{de}	271.30 ^b	2.93 ^d	67.43 ^{bc}	24.85 ^d	54.09 ^b
	15	42.86 ^a	18.87 ^{ab}	17.21 ^f	298.35 ^a	2.96 ^d	76.87 ^{bc}	25.76 ^d	58.27 ^a
	30	39.12 ^b	18.35 ^b	18.92 ^e	300.01 ^a	3.37 ^b	104.21 ^a	34.68 ^b	60.49 ^a
PAS+SS	0	37.62 ^c	19.33 ^a	20.23 ^c	271.24 ^b	3.09 ^{cd}	78.37 ^{bc}	28.89 ^{cd}	53.39 ^b
	15	37.34 ^c	18.83 ^{ab}	20.02 ^{cd}	252.84 ^b	2.93 ^d	62.90 ^c	24.79 ^d	50.16 ^b
	30	37.86 ^c	18.62 ^{ab}	19.71 ^{cde}	270.00 ^b	3.08 ^{cd}	76.32 ^{bc}	28.53 ^{cd}	53.52 ^b
p değeri		0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SHO		0.777	0.091	0.518	4.573	0.050	3.233	1.026	0.914

^{abcde} Aynı harflere sahip ve aynı sütun yer alan ortalamalar arasında fark yoktur (P<0.05), SHO: Standart hata ortalaması, GSKM: Gerçek sindirilen kuru madde; TF: Taksimat faktörü; MP: Mikrobiyal protein; MPSE: Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği; GSD: Gerçek sindirim derecesi.

Çayır otunun SS ile fermentasyonu sonucunda gaz üretiminin düştüğü, PAS fermentasyonunun 15. gün örneklerinde ise arttığı saptanmıştır. SS ile yürütülen fermentasyondaki gaz içeriğinin düşüşünün KFF'de kolay sindirilebilir karbonhidratların parçalandığı ve toplam kütlede sindirimi düşük ADF ve NDF gibi yapısal karbonhidratların artması neticesinde gaz üretiminin düşük olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Çünkü Nasehi vd. (2017) ADF ve NDF ile gaz üretimi arasında negatif korelasyon olduğunu ve KFF'de depo karbonhidratların parçalanmasının fermente ürünün gaz içeriğini düşürebileceğini belirtmişlerdir. Nitekim SS fermentasyonunda da NDF ve ADF içeriğinin artışına paralel olarak gaz üretiminin düştüğü, PAS fermentasyonunda ise 15. gün örneklerinde NDF ve ADF içeriğinin düştüğü gaz üretiminin ise arttığı saptanmıştır. PAS fermentasyonunun 30. gün örneklerinde ise NDF ve ADF içeriklerinin arttığı ve gaz üretiminin düştüğü tespit edilmiştir. Çayır otu fermentasyonunun gaz üretimine etkisi Nasehi vd. (2017) tarafından yürütülen fermentasyon çalışmasının sonuçlarına uyum göstermektedir. Bu çalışmada gaz üretiminin düşüşü toplam kütlede yapısal karbonhidrat miktarının artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Menke ve Steingass (1988) yaptıkları bir çalışmada toplam gaz üretiminin HK ve NÖM ile ters ilişkili olduğunu bildirmiştir. Yani HK ve NÖM içeriği fazla olan yemlerin toplam gaz üretimi düşük olmaktadır. Fermentasyon sırasında açığa çıkan gaz, direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde oluşmakta olup; açığa çıkan gaz miktarının fermente olan besin madde miktarına bağlı olduğu bilinmektedir. Yemin içerisinde ne kadar fazla fermente olabilen madde varsa o kadar fazla gaz üretimi olmaktadır (Cengiz ve Kamalak 2020). Ruminant beslemede diğer bir önemli gazda metandır. Yemlerin antimetanojenik özelliğe sahip olması hayvan besleme ve çevre açısından önemlidir. Çünkü fermentasyon sırasında açığa çıkan enterik metan hem küresel ısınmaya hem de yemin enerji kaybına neden olmasından dolayı hem çevreciler ve hem de hayvan beslemeciler tarafından arzu edilmemektedir. Metan gazı karbondioksit gazından sonra küresel ısınmaya neden olan ikinci gazdır. Toplam salınan metan miktarı az olmasına rağmen güneşten gelen ısıyı karbondioksite göre 23 kat daha fazla tutmaktadır.

Ruminant hayvanlar tarafından alınan sindirilebilir enerjinin %2-12'si enterik metan üretiminde harcanarak kaybedilmektedir (Getachew ve ark., 2005; Johnson ve Johnson, 1995). Çünkü metan üretimi ruminant hayvanlar için yemlerdeki sindirilebilir enerji kaybı anlamına gelmektedir (Cengiz ve Kamalak, 2020). SS fermantasyonun metan içeriğini artırdığı, PAS ve PAS+SS ile yürütülen fermantasyonlarda azaldığı saptanmıştır. Katı faz fermantasyon sonucunda metan içeriğinin artması literatürdeki sonuçlarla uyum göstermektedir (Tuyen vd., 2013; Khonkhaen ve Cherdthong, 2020). GSKM ve GSD içeriği ile NDF, ADF ve ADL içeriği arasında negatif korelasyon olduğunu bildirilmiştir (Datsomor vd., 2022). Bu çalışmada da GSKM ve GSD içeriğinin NDF, ADF ve ADL içerikleri arasında negatif korelasyon görülmektedir. GSKM ve GSD ile NDF, ADF ve ADL arasındaki negatif korelasyon literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir (van Kuijk vd., 2015; Özkan vd., 2020; Datsomor vd., 2022). Çayır otunun SS ve PAS ile fermantasyonunun TF üzerinde pozitif bir etkisi (SS fermantasyonunda TF 3.23'den 3.75'e, PAS fermantasyonunda ise 2.93'den 3.37'e yükselmiştir) olduğu saptanmıştır. Ruminant hayvanların beslenmesinde kullanılan yemlerin teorik TF'si 2.75 ile 4.41 arasında olduğu ve TF'nin MPSE'yi belirleyen temel faktörlerden olduğu bildirilmiştir (Blümmel ve Lebzien, 2001; Cengiz ve Kamalak, 2020; Özkan vd., 2020). Literatürde de belirtildiği üzere bu çalışmada da TF'nin artmasına paralel olarak MPSE ve MP içeriğinde artış tespit edilmiştir. TF ile MP ve MPSE arasındaki ilişki literatürdeki çalışma sonuçları ile de uyum içerisindedir (Cengiz ve Kamalak, 2020; Özkan vd., 2020).

Çayır otunun farklı inokulanlar kullanılarak yürütülen 30 günlük fermantasyon sonucunda KMS, KMT, NYD ve OMS içeriklerinde istatistiksel olarak önemli değişiklikler tespit edilmiştir (Çizelge 4) ($P < 0.001$).

Fermantasyonun KMS'ye etkisi incelendiğinde SS ile yürütülen fermantasyonda azaldığı, PAS ile fermantasyonunda 15. gün örneklerinde arttığı, PAS+SS ile yürütülen fermantasyonda ise fermantasyon süresince arttığı saptanmıştır. Çayır otunun 3 farklı fermantasyonu sonucunda KMT'nin SS fermantasyonunda azaldığı, PAS fermantasyonunda arttığı ve PAS+SS fermantasyonunda ise istatistiksel bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. NYD ise KMS ve KMT'ye bağlı olarak SS fermantasyonunda azalırken, PAS ve PAS+SS fermantasyonlarında arttığı saptanmıştır. NYD'ne benzer şekilde OMS'de SS fermantasyonunda azalırken, PAS ve PAS+SS fermantasyonlarında artmıştır.

Çizelge 4. Fermantasyonun çayır otu KMS, KMT, NYD ve OMS'ye etkisi.

Table 4. Effect of fermentation on KMS, KMT, NYD and OMS of meadow grass.

İnokulant	Gün	KMS (%)	KMT (%)	NYD	OMS (%)
SS	0	63.42 ^{bc}	1.94 ^c	95.49 ^e	52.95 ^e
	15	60.43 ^{cd}	1.83 ^d	85.72 ^f	48.77 ^f
	30	58.89 ^d	1.87 ^{cd}	85.56 ^f	48.84 ^f
PAS	0	64.80 ^{ab}	2.16 ^b	108.67 ^{bc}	57.44 ^b
	15	67.65 ^a	2.38 ^a	124.74 ^a	60.08 ^a
	30	64.18 ^{ab}	2.27 ^a	113.00 ^b	56.49 ^{bc}
PAS+SS	0	62.66 ^{bc}	2.07 ^b	100.45 ^{de}	55.07 ^d
	15	64.35 ^{ab}	2.09 ^b	104.20 ^{cd}	54.96 ^d
	30	65.59 ^{ab}	2.06 ^b	104.90 ^{cd}	55.69 ^{cd}
p değeri		0.000	0.000	0.000	0.000
SHO		0.526	0.034	2.366	0.699

^{abcdef} Aynı harflere sahip ve aynı sütun yer alan ortalamalar arasında fark yoktur ($P < 0.05$), SHO: Standart hata ortalaması, KMS: kuru madde sindirimi; KMT: kuru madde tüketimi; NYD: nispi yem değeri; OMS: organik madde sindirimi.

Kaba yemlerin sindirimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi lignin içeriği olup, çeşitli metotlar uygulanarak lignin içeriğinin azaltılması neticesinde kuru madde sindirimimin artacağı bildirilmiştir (Fazaeli vd., 2007; Jafari vd., 2007; Sufyan vd., 2021). Benzer şekilde araştırmacıların çeşitli samanların fermantasyonu sonucunda ligninin azaldığını ve KMS'nin iyileştiğini belirtmişlerdir (Fazaeli vd., 2007; Jafari vd., 2007; Sufyan vd., 2021). Bu çalışmada da çayır otunun PAS ve PAS+SS ile fermantasyonlarının

15. gün örnekleri ile literatürdeki lignin ve KMS arasındaki ilişkiye benzer sonuçlar elde edilmiştir (Fazaeli vd., 2007; Jafari vd., 2007; Sufyan vd., 2021). Benzer şekilde 30. gün örneklerinde ligninin artması ile KMS'nin 15. gün örneklere göre azalması (PAS fermentasyonu) ve değişmediği (PAS+SS fermentasyonu) bu korelasyonu destekler nitelikte sonuçlardır. Ancak SS ile yürütülen fermentasyonda bu korelasyon bulunamamış ve literatürdeki çalışmalarla uyum göstermemektedir (Fazaeli vd., 2007; Jafari vd., 2007; Sufyan vd., 2021). Datsomor vd. (2022) yaptıkları çalışmada ise sadece ligninin azaltılması KMS'nin iyileştirilmesinde yeterli olamayacağını selüloz içeriğinin de sabit kalması veya azalması gerektiğini, artması durumunda KMS'nin düşeceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da çayır otunun SS ile fermentasyonunda KMS'si yaklaşık %7 oranında düşmüştür. Bu düşüş fermentasyonda selüloz içeriğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Çayır otunun SS fermentasyonunda KMS içeriğinde elde edilen sonuçlar Datsomor vd. (2022) çeltik samanı ile *P. chrysosporium* ile yürüttükleri fermentasyon çalışmasının sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Yemlerin yapısındaki NDF, ADF ve lignin içeriklerinin artması KMT, NYD ve OMS içeriklerinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Van Soest, 1994; Canbolat, 2012). Bu fermentasyon çalışmasında da hücre duvarı bileşenlerinin artması ile KMT, NYD ve OMS azalması (SS fermentasyonu), hücre duvarı bileşenlerinin azalması ile KMT, NYD ve OMS artması (PAS ve PAS+SS fermentasyonu) literatürdeki sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Van Soest, 1994; Canbolat, 2012).

SONUÇ

Çayır otunun 3 farklı katı faz fermentasyonu sonucunda kompozisyonunda önemli değişiklikler tespit edilmiştir. Yürütülen fermentasyonlarda yapısal karbonhidratlarda ve % metanda azalma, net gaz üretimi, GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD parametrelerinde artış olması neticesinde PAS ile yürütülen fermentasyon (özellikle de 15. günündeki örneklerde) yemlerin kompozisyonunun iyileştirilmesi açısından önerilebilir. Ancak PAS ile kaba yemler üzerinde yapılacak katı faz fermentasyon çalışmalarında katkı maddesi kullanılması ile fermentasyon etkinliğini artırılabilirliği düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçların *in vivo* denemelerle hayvanlarda yem tüketimine ve sindirim derecesine olan etkisinin belirlenmesi fayda sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

YAZAR KATKISI

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abera, F., Urge, M., & Animut, G. (2018). Feeding value of maize stover treated with urea or urea molasses for hararghe highland sheep. *The Open Agriculture Journal*, 12(1), 84-94. <https://doi.org/10.2174/1874331501812010084>.
- AOAC. (1990). *Official Method of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. 15.edition. Washington, DC. USA.
- Atalay, A. I., Ozkan, C. O., Kaya, E., Kamalak, A., & Canbolat, O. (2018). Chemical composition, nutritive value and rumen methane potential of some legume tree pods. *Livestock Research for Rural Development*, 30(5).
- Atalay A. İ., & Kamalak, A. (2019). Olgunlaşma dönemlerinin sirkén (*Chenopodium album*) otunun kimyasal kompozisyonuna, besleme değerine ve metan üretimine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 489-493. <https://doi.org/10.30910/turkjans.595363>.
- Bartkiene, E., Krungleviciute, V., Juodeikiene, G., Vidmantienė, D., & Maknickienė, Z. (2014). Solid state fermentation with lactic acid bacteria to improve the nutritional quality of lupin and soya bean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 1336-1342. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6827>.
- Beyzi, S. B., Ülger, İ., & Konca, Y. (2022). Chemical, fermentative, nutritive and anti-nutritive composition of common reed (*Phragmites australis*) plant and silage. *Waste Biomass Valorization*, <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01903-w>.
- Blümmel, M., Steingass, H., & Becker, K. (1997). The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and N-15 incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77, 911-921. <https://doi.org/10.1079/BJN19970089>.
- Canbolat, Ö., (2012). Bazı buğdaygil kaba yemlerinin *in vitro* gaz üretimi, sindirilebilir organik madde, nispi yem değeri ve metabolik enerji içeriklerinin karşılaştırılması. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(4), 571-577. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2011.5833>.

- Canbolat, Ö., (2022). Alkalilerle işlemenin mısır samanının besin madde bileşim, *in vitro* gaz üretim ve yem değeri üzerine etkisi. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 27, 61-67.
- Carrillo-Díaz, M. I., Miranda-Romero, L. A., Chávez-Aguilar, G., Zepeda-Batista, J. L., González-Reyes, M., García-Casillas, A. C., Tirado-González, D. N., & Tirado-Estrada, G. (2022). Improvement of ruminal neutral detergent fiber degradability by obtaining and using exogenous fibrolytic enzymes from white-rot fungi. *Animals*, 12(7), 843. <https://doi.org/10.3390/ani12070843>.
- Cengiz, T., & Kamalak, A. (2020). Farklı bölgelerde yetişen söğüt yapraklarının potansiyel besleme değerlerinin ve antimetanojenik özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1351-1358. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.679689>.
- Datsomor, O., Gou-qi, Z., & Miao, L. (2022). Effect of ligninolytic axenic and coculture white-rot fungi on rice straw chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics. *Science Report*, 12, 1129. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05107-z>.
- Du, C., Nan, X., Wang, K., Zhao, Y., & Xiong, B. (2019). Evaluation of the digestibility of steam-exploded wheat straw by ruminal fermentation, sugar yield and microbial structure *in vitro*. *RSC Advances*, 9, 41775–41782. <https://doi.org/10.1039/c9ra08167d>.
- Fazaeli, H. (2007). Nutritive value index of treated wheat straw with *Pleurotus* fungi. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 23, 169–180.
- Getachew G, Robinson PH, DePeters EJ, Taylor SJ, Gisi DD, Higginbotham GE, Riordan TJ2005. Methane production from commercial dairy rations estimated using an in vitro gas technique. *Feed Science and Technology*, 123-124:391-402.
- Goel, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2008). Effect of Sesbania sesban and Carduus pycnocephalus leaves and Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L) seed sand the extract on partitioning of nutrients from roughage and concentrate-based feeds to methane. *Animal Feed Science Technology*, 147: 72-89.
- Jafari, M. A., Nikkhar, A., Sadeghi, A. A., & Chamani, M. (2007). The effect of *Pleurotus* spp. fungi on chemical composition and *in vitro* digestibility of rice straw. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 2460–2464.
- Johnson KA, Johnson DE 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483-2492.
- John, R. P., Nampoothiri, K. M., & Pandey, A., (2006). Solid-state fermentation for l-lactic acid production from agro wastes using *Lactobacillus delbrueckii*. *Process Biochemistry*, 41(4), 759-763. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.09.013>.
- Joseph, I., Raj, R. P., & Bhatnagar, D. 2008. Effect of solid state fermentation on nutrient composition of selected feed ingredients. *Indian Journal of Fisheries*, 55(4), 327-332.
- Karabulut, A., & Canbolat, Ö. (2005). *Yem değerlendirme ve analiz yöntemleri*. Uludağ Üniversitesi Yayınları.
- Kaya, E., & Kamalak, A. (2019). Determination of chemical compositions and gas production values of some root and tuber crops from market wastes. *Black Sea Journal of Agriculture*, 2(4), 186-190.
- Ke, L., Wu, Q., & Zhang, D. (2011). Bioconversion of rape straw into a nutritionally enriched substrate by *Ganoderma lucidum* and yeast. *African Journal of Biotechnology*, 10(29), 5648-5653.
- Keskin, B., Temel, S., & Eren, B. (2021a). Bazı yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. arvense L.) çeşitlerinin farklı ekim zamanlarındaki tohum verimi ve verim öğelerine olan etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(6), 1315-1326. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.870115>.
- Keskin, B., Temel, S., & Eren, B. (2021b). Farklı zamanlarda ekilen bazı yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. arvense L.) çeşitlerinin tohum ve kesinin besin değerleri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(1): 96-105. <https://doi.org/10.24180/ijaws.870687>.
- Khonkhaeng, B., & Cherdthong, A. (2020). Improving nutritive value of purple field corn residue and rice straw by culturing with white-rot fungi. *Journal of Fungi*, 6, 69. <https://doi.org/10.3390/jof6020069>.
- Kutshik, J. R., Usman, A. M., & Ali-Dunkrah, U. (2016). Comparative study of protein enrichment of lignocellulose wastes using baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) for animal feeds. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*, 2(7), 73-77. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29745.48485>.
- Lynch, J. P., O'Kiely, P., Murphy, R., & Doyle, M. (2014). Changes in chemical composition and digestibility of three maize stover components digested by white-rot fungi. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98, 731–738. <https://doi.org/10.1111/jpn.12131>.
- Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, 7-55.

- Nasehi, M., Torbatinejad, N. M., Zerehdaran, S., & Safaie, A. R. (2017). Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on nutritive value of some agro by-products. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 221-226. <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1150850>.
- Olukomaiya, O. O., Fernando, W. C., Mereddy, R., Li, X., & Sultanbawa, Y. (2020a). Solid-state fermentation of canola meal with *Aspergillus sojae*, *Aspergillus ficuum* and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 127, 109362. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109362>.
- Olukomaiya, O. O., Adiamo, O. Q., Fernando, W. C., Mereddy, R., Li, X., & Sultanbawa, Y. (2020b). Effect of solid-state fermentation on proximate composition, anti-nutritional factor, microbiological and functional properties of lupin flour. *Food Chemistry*, 315, 126238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126238>.
- Özkan, Ç. Ö., Cengiz, T., Yanık, M., Evlice, S., Selçuk, B., Ceren, B., & Kamalak, A., (2020). Ruminant hayvan beslemede kullanılan bazı kaba ve kesif yemlerin *in vitro* gaz üretiminin, metan üretiminin, sindirim derecesinin ve mikrobiyal protein üretiminin belirlenmesi. *Black Sea Journal of Agriculture*, 3(1), 56-60.
- Pandey A, 2003. Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13, 81-84.
- Ramli, M. N., Imura, Y., Takayama, K., & Nakanishi, Y. (2005). Bioconversion of sugarcane bagasse with Japanese koji by solid-state fermentation and its effects on nutritive value and preference in goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(9), 1279–1284.
- Rohweder, D. A., Barnes, R. F., & Jorgensen, N. (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 47(3), 747-759. <https://doi.org/10.2527/jas1978.473747x>.
- Sarnklong, C., Cone, J. W., Pellikaan, W., & Hendriks, H. (2010). Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(5), 680 – 692. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.80619>.
- Shrivastava, B., Jain, K. K., Kalra, A., & Kuhad, R. C. (2014). Bioprocessing of wheat straw into nutritionally rich and digested cattle feed. *Science Report*, 4,1–9. <https://doi.org/10.1038/srep06360>.
- Sufyan, A., Ahmad, N., Shahzad, F., Embaby, M. G., AbuGhazaleh, A., & Khan, N. A. (2022). Improving the nutritional value and digestibility of wheat straw, rice straw, and corn cob through solid state fermentation using different *Pleurotus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(6), 2445-2453. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11584>.
- Terefe, Z. K., Omwam-Ba, M. N., & Nkudo, J. M. (2021). Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and *in vitro* protein digestibility of maize flour. *Food Science and Nutrition*, 9(11), 6343-6352. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2599>.
- Tuyen, D. V., Phuong, H. N., Cone, J. W., Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S. M., & Hendriks, W. H. (2013). Effect of fungal treatments of fibrous agricultural by-products on chemical composition and *in vitro* rumen fermentation and methane production. *Bioresource Technology*, 129, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.128>.
- Uvere, P. O., Onyekwere, E. U., & Ngoddy, P. O. (2010). Production of maize-bambara groundnut complementary foods fortified pre-fermentation with processed foods rich in calcium, iron, zinc and provitamin A. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(4), 566-573. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3846>.
- Van Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H., & Cone, J. W. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. *Biotechnology Advances*, 33, 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.014>.
- Van Kuijk, S. J. A., del Río, J. C., Rencoret, J., Gutierrez, A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H., & Cone, J. W. (2016). Selective ligninolysis of wheat straw and wood chips by the white-rot fungus *Lentinula edodes* and its influence on *in vitro* rumen degradability. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 55. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0110-z>.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2. ed. Ithaca, N.Y., Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Vercoe, P. E., Makkar, H. P. S., & Schlink, A.C. (2010). *In vitro* screening of plant resources for extranutritional attributes in ruminants: Nuclear and related methodologies. Springer Science + Business Media B.V. Springer, Dordrecht.
- Xie, P. J., Huang, L. X., Zhang, C. H., & Zhang, Y. L. (2016). Nutrient assessment of olive leaf residues processed by solidstate fermentation as an innovative feedstuff additive. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 28-40. <https://doi.org/10.1111/jam.13131>.
- Yasar, S., & Tosun, R. (2018). Predicting chemical, enzymatic and nutritional properties of fermented barley (*Hordeum vulgare* L.) by second derivate spectra analysis from attenuated total reflectance-Fourier transform infrared data and its nutritional value in Japanese quails. *Archives of Animal Nutrition*, 72(5), 407-423. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1500242>.

- Yasar, S., & Tosun, R. (2020). Improving nutritional qualities of tomato pomace by *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium* fermentation. *Journal Of Agriculture and Nature*, 23(2), 527-535. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.629347>.
- You, Z., Zhang, S., Kim, H., Chiang, P. C., Sun, Y., Guo, Z., & Xu, H. (2019). Effects of corn stover pretreated with NaOH and CaO on anaerobic co-digestion of swine manure and corn stover. *Applied Sciences*, 9(1), 123. <https://doi.org/10.3390/app9010123>.