



Süt İneği Rasyonlarında Sindirilebilen ve Sindirilmeyen NDF'nin *İn Vitro* ve *İn Situ* Metotlarla Belirlenmesi

Hikmet TİTREK^{1,*} Huzur Derya ARIK² ¹ Trakya Üniversitesi, Keşan Meslek Yüksekokulu, Laborant ve Veteriner Sağlık Programı, 22800, Edirne, Türkiye² Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 42130, Konya, Türkiye

Geliş Tarihi: 14.02.2025

Kabul Tarihi: 16.04.2025

ÖZ

Bu çalışma, nötr deterjan lifi (NDF) içerikleri birbirinden farklı süt ineği rasyonlarında sindirilebilir ve sindirilmeyen NDF içeriğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada *in situ* ve *in vitro* yöntem kullanılmıştır. Farklı çiftliklerden toplanan on adet toplam karışık rasyon (TMR), NDF içeriğine göre iki gruba ayrılmıştır. Kuru madde sindirilebilirliği, NDF sindirilebilirliği ve sindirilmemiş NDF, 30, 48, 120 ve 240 saat inkübasyon periyotlarında *in vitro* ve *in situ* metot ile belirlenmiştir. *İn vitro* kuru madde sindirilebilirliği 240 saatin sonunda TMR1 ve TMR2 için sırasıyla %75.70 ve %78.68 (%KM) ($p=0.011$), *in situ* ise %76.61 ve %78.84 (%KM) ($p=0.001$) olarak belirlenmiştir. *İn vitro* NDF sindirilebilirliği 240 saatin sonunda TMR1 ve TMR2 için sırasıyla %65.47 ve %66.44 (%aNDF_{OM}), *in situ* NDF parçalanabilirliği %64.21 ve %69.78 (%aNDF_{OM}) ($p=0.001$) olarak belirlenmiştir. *İn vitro* sindirilmeyen NDF 240 saatin sonunda sırasıyla %14.91 ve %12.78 (%KM) ($p=0.001$), *in situ* ise %15.80 ve %11.29 (%KM) ($p=0.001$) olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak inkübasyon süresi ilerledikçe NDF sindirilebilirliğinin arttığı, sindirilmemiş NDF içeriğinin azaldığı, yüksek NDF'li TMR'da daha yüksek sindirilmemiş NDF içeriği olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hayvan yemi, *In vitro* teknikler, Sığır.

ABSTRACT

Determination of digestible and undigested NDF in dairy cow diets by *in vitro* and *in situ* methods

"This study was conducted to determine the digestible and undigested NDF content in dairy cow diets with different neutral detergent fiber (NDF) contents. In this study, *in situ* and *in vitro* methods were used. A total of ten total mixed rations (TMRs) were collected from different farms and divided into two groups according to their NDF content. Dry matter digestibility, NDF digestibility and undigested NDF were determined by *in vitro* and *in situ* methods at 30, 48, 120 and 240 h incubation times. *In vitro* dry matter digestibility was determined to be 75.70% and 78.68% (%DM) ($p=0.011$) for TMR1 and TMR2, respectively, at the end of 240 h. *In situ* dry matter degradability was determined to be 76.61% and 78.84% (%DM) ($p=0.001$) for TMR1 and TMR2, respectively, at the end of 240 h. *In vitro* NDF digestibility was 65.47% and 66.44% (%aNDF_{OM}) for TMR1 and TMR2, respectively, and *in situ* NDF degradability was 64.21% and 69.78% (%aNDF_{OM}) ($p=0.001$). *In vitro* undigested NDF was 14.91% and 12.78% (%DM) ($p=0.001$) and *in situ* 15.80% and 11.29% (%DM) ($p=0.001$) for TMR1 and TMR 2 respectively, at the end of 240 h. As a result, it was found that as the incubation period progressed, NDF digestibility increased and undigested NDF content decreased and there was a higher undigested NDF content in the high NDF TMR.

Keywords: Animal feed, Cattle, *In vitro* techniques.

GİRİŞ

Kaynağı ne olursa olsun, nötr deterjan lifi (NDF) sindirim sisteminde yer kaplamakta, yavaş ve eksik sindirilmektedir. Yemlerin NDF içeriği ve sindirilebilirliği, rasyon sindirilebilirliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Rasyondaki NDF miktarı arttıkça sindirilebilirlik azalır. Bir yemin NDF fraksiyonunun sindirim hızındaki artış, rumeni daha hızlı terk ettiği için yem tüketimini arttırmaktadır (Mertens 2002; Mertens 2009a; Mertens 2009b). Sindirilebilirlik açısından NDF fraksiyonu,

potansiyel olarak sindirilebilir (pdNDF) ve sindirilmeyen NDF'den (iNDF) oluşur (Mertens 2016). Sonsuz zamana ulaşamayacağından, gerçek sindirilemeyen NDF'nin (iNDF) ölçülmesi için fermentasyonun belirli zaman noktalarında sindirilmeyen NDF (uNDF) belirlenir ve hayvanda sindirilemeyen NDF'yi temsil eder (Raffrenato ve ark. 2018). Ancak uNDF, belirli bir zaman diliminde ölçüldüğü için iNDF'yi tam olarak yansıtmamaktadır (Cotanch ve ark. 2014). Fermentasyon süresi arttıkça, doğru iNDF ölçümüne yaklaşıldığı, doğru ölçüme en yakın değerin 240 saatlik fermentasyondan sonra hesaplanan



uNDF miktarı (uNDF₂₄₀) olduğu belirtilmektedir (Mertens 2016). Bu amaçla 240 ve 288 saat inkübasyon kullanılan çalışmalar mevcuttur (Bettero ve ark. 2021; Kale-Mosalmali ve ark. 2021; Wang ve ark. 2021; Zhang ve ark. 2021). Yüksek uNDF içeriğine sahip rasyon ile besleme, rumen yükünü arttırmakta, geçiş oranını azaltmakta, yemlerin rumende tutulma süresini arttırmaktadır. Azalmış yem geçiş hızı ve uzamış rumen tutulma süresi yem tüketimini kısıtlamaktadır (Harper ve McNeill 2015; Mertens 2016). Bu nedenle, uNDF miktarını belirlemek önemlidir. Bu amaçla, *in situ* ve *in vitro* yöntemler kullanılmaktadır (Harper ve McNeill 2015). Geçmişte yapılan çalışmalarda uNDF ve NDF sindirilebilirliği, *in vitro* ve *in situ* yöntemler kullanılarak belirlenmiştir (Fustini ve ark. 2017; Molavian ve ark. 2020; Diepersloot ve ark. 2021; Kale-Mosalmali ve ark. 2021; Zhang ve ark. 2021). Bu çalışmanın amacı, farklı NDF içeriğine sahip süt ineği rasyonlarındaki kuru madde sindirilebilirliği, NDF sindirilebilirliği ve sindirilmemiş NDF içeriğini *in situ* ve *in vitro* yöntemler ile belirlemektir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Deney Hayvanları Üretim ve Araştırma Merkezinin (SÜVDAMEK) 3.10.2019 tarih ve 2019/11-2019/75 sayılı onayı ile gerçekleştirilmiştir.

Hayvan Materyali

Araştırmada hayvan materyali olarak, yaklaşık 650 kg canlı ağırlığında iki adet Holstein rumen kanüllü inek kullanılmıştır. Hayvanlara, NRC (NRC 2001) verilerine göre hazırlanmış, kaba/konsantre yem oranı 60/40 olacak şekilde, KM'de %13.43 HP, %43.50 NDF içeren kuru yonca ve %17.32 HP, %37.82 NDF içeren karma yem verilmiştir. Yemleme sabah 08:00 ve akşam 17:00 olmak üzere iki öğünde, eşit miktarlarda yapılmıştır. Hayvanlara sürekli olarak taze ve temiz su sağlanmıştır.

Yem Materyali

Çalışmada kullanılacak yem materyallerinin seçiminde NDF içeriği dikkate alınmıştır. Farklı çiftliklerden toplanan on adet toplam karışık rasyon (TMR) numunesi, NDF içeriğine göre düşük ve yüksek (% 37.03 ve % 44.25) olarak iki gruba ayrılmıştır (Tablo 1). Her iki grup beş adet TMR numunesinden oluşmaktadır. Numuneler, ağırlıkları sabit olana kadar 48 saat boyunca 60 °C'de kurutulmuş, *in situ* yöntemde kullanılmak için 2 mm'lik, *in vitro* yöntem için 1 mm'lik elek kullanılarak öğütülmüştür. Her bir TMR numunesi, her inkübasyon periyodunda (30, 48, 120, 240 s), *in situ* tekniği için 8 tekrarlı, *in vitro* tekniği için 6 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Tüm TMR numunelerinin kuru madde (KM), ham protein (HP), ham yağ (HY) ve ham kül (HK) analizleri AOAC (1990)'a göre yapılmıştır. Araştırmada kullanılan TMR numunelerinin nötr deterjan lifi (aNDF_{OM}) konsantrasyonları, Van Soest ve ark. (1991) tarafından bildirilen yöntemle göre Ankom 200 Fiber Analiz Cihazında (Ankom Technology Corp., Fairport, NY) sodyum sülfid ve α-amilaz ile belirlendi. Daha sonra ham kül düzeltmesi (550 °C) uygulanmıştır. Asit deterjan lifi (ADF) ve asit deterjan lignin (ADL) düzeyleri de Van Soest ve ark. (1991) tarafından bildirilen yöntemle göre Ankom 200 Fiber Analyzer (Ankom Technology Corp., Fairport, NY) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Metot

Çalışmada TMR numunelerinin ruminal parçalanabilirliklerini belirlemek için yürütülen *in situ* inkübasyon, Ørskov ve ark. (1980) tarafından bildirilen naylon torba tekniği ile gerçekleştirildi. Bu teknikte 7x14

cm ebatlarında, gözenek boyutu 45 µm olan naylon torbalar kullanılmıştır. Inkübasyon periyotları 30, 48, 120 ve 240 s olarak belirlenmiştir. Rumenden çıkarıldıktan sonra torbalar berraklaşana kadar akan su altında tutulmuş, ardından 5 dakika boyunca mini bir yıkama makinesinde yıkanmış ve torbalar 55 °C'de 48 saat kurutulmuştur. Bu işlemler sonunda torbadaki kalıntı miktarı tartılmış ve kayıplar hesaplanmıştır. Yıkama kaybının belirlenmesi için, numune içeren naylon torbalar rumende inkübasyon yapılmadan aynı yıkama prosedürlerine tabi tutulmuştur. *İn situ* kuru madde parçalanabilirliği (İSKMS), *in situ* NDF parçalanabilirliği (İSNDFS) ve *in situ* sindirilmeyen NDF (İSuNDF) miktarları *in vitro* yöntemle benzer şekilde hesaplanmıştır.

Bu çalışmada TMR örneklerinin *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği (İVKMS), *in vitro* NDF sindirilebilirliği (İVNDFS) ve *in vitro* sindirilmemiş NDF (İVuNDF) miktarı, Tilley ve Terry (1963) tarafından bildirilen iki aşamalı yöntem NDF prosedürü uygulanarak filtre torbası (25 µm gözenek boyutu) ve ANKOM Daisy^{II} Inkübatörü (Ankom Technology Corp., Fairport, NY) kullanılarak belirlenmiştir. *İn vitro* inkübasyon tekniğinde 30, 48, 120 ve 240 s inkübasyon periyotları belirlenmiştir. Uygulama süresince uzun süreli inkübasyonlarda bakterilerin aktif kalıp kalmayacağı kesin olmadığından rumen sıvısı ve solüsyonlar 120 saat sonra yenilenmiştir. Kullanılan rumen sıvısı rumen kanüllü ineklerden sağlanmıştır.

Kuru madde sindirilebilirliğini hesaplamak için ANKOM tarafından bildirilen aşağıdaki formül kullanılmıştır (Ankom Technology 2021).

$$\text{İVKMS (\%KM)} = [(100 - (D3 - (D1 * C))) * 100] / [D2 * KM]$$

D1: Torbanın boş ağırlığı D2: Numune miktarı D3: Inkübasyondan sonra kuru numune ve torbanın boş ağırlığı C: Torba düzeltme faktörü

NDF sindirilebilirliğini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanıldı (Ankom Technology 2021).

$$\text{İVNDFS (\%aNDF}_{OM}) = [(100 - (D3 - (D1 * C))) * 100] / [D2 * \text{aNDF}_{OM}]$$

D1: Torbanın boş ağırlığı D2: Numune miktarı D3: Inkübasyondan sonra NDF kalıntısı ve torbanın boş ağırlığı C: Torba düzeltme faktörü

uNDF hesaplamasında inkübasyon periyotları sonunda torbada kalan NDF kalıntısı üzerinden, torba düzeltme faktörü dahil edilerek, yukarıda bildirilen formüllerden yararlanılmıştır (Ankom Technology 2021).

$$\text{uNDF (\%KM)} = [D3 - (D1 * C) / D2] * 100$$

D1: Torbanın boş ağırlığı D2: Numune miktarı D3: Inkübasyondan sonra NDF kalıntısı ve torbanın boş ağırlığı C: Torba düzeltme faktörü

İstatistiksel Analiz

Nicel değişkenlerin normallik incelemelerinde Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmış olup, normalliğin sağlandığı iki grup ortalamalarının karşılaştırması Bağımsız t testi ile gerçekleştirilmiştir. Gruplar arasındaki farkları belirlemek için ANOVA ve Post-hoc test olarak Duncan testi kullanılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi SPSS 25.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları ortalama±standart sapma olarak sunulmuştur. p<0.05 düzeyi istatistiksel olarak önem sınırı kabul edilmiştir.

BULGULAR

Bu çalışmada, farklı NDF içeriğine süt ineği rasyonlarının kuru madde sindirilebilirliği, NDF sindirilebilirliği ve

sindirilmeyen NDF içeriği belirlenmiştir. Çalışmada TMR1 ve TMR2'nin kimyasal bileşimi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Farklı NDF içeriklerine sahip TMR numunelerinin kimyasal bileşimi (% KM) (ortalama±SS).

Table 1: Chemical composition of TMR samples with different NDF contents (% DM) (mean±SD).

Kimyasal Kompozisyon	TMR1 ¹	TMR2 ²
KM	%51.22±7.99	%50.21±10.79
HP	16.05±1.18	16.28±0.47
HY	3.31±0.38	4.08±0.68
HK	8.07±0.22	8.23±0.22
aNDF _{FOM}	44.25±0.41	37.03±0.41
ADF	14.95±1.16	11.71±0.98
ADL	3.65±0.21	3.01±0.26
NFC ³	28.33±0.94	34.37±0.83

¹Yüksek NDF TMR, ²Düşük NDF TMR, ³NFC = 100 - [%HP+%NDF+%HK+%HY], KM: Kuru madde, HP: Ham Protein, HY: Ham yağ, HK: Ham kül, aNDF_{FOM}: Alfa amilaz ve kül düzeltmesi yapılmış nötr deterjan lifi, ADF: Asit deterjan lifi, ADL: Asit deterjan lignin, NFC: Fiber olmayan karbonhidrat.

Çalışmada TMR örneklerine ait farklı inkübasyon sürelerinde belirlenen İVKMS ve İSKMS Tablo 2'de, İVNDFS, İVuNDF, İSNDFS ve İSuNDF Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2: Farklı inkübasyon sürelerinde İVKMS ve İSKMS (% KM) (ortalama±SS).

Table 2: IVDMD and ISDMD (% DM) at different incubation times (mean±SD).

	TMR1 ¹	TMR2 ²	p-değeri ³
İVKMS			
30 s	50.52±0.87 ^c	53.70±0.78 ^c	0.009*
48 s	63.42±1.19 ^b	64.32±1.17 ^b	0.593
120 s	75.82±0.81 ^a	77.29±0.85 ^a	0.215
240 s	75.70±0.81 ^a	78.68±0.80 ^a	0.011*
İSKMS			
30 s	62.01±0.81 ^c	64.83±0.64 ^c	0.008*
48 s	71.26±0.44 ^b	73.35±0.54 ^b	0.004*
120 s	71.53±0.52 ^b	74.55±0.55 ^b	0.001*
240 s	76.61±0.40 ^a	78.84±0.38 ^a	0.001*

¹Yüksek NDF TMR, ²Düşük NDF TMR, ³Farklı NDF içeriğine sahip TMR1 ve TMR2'nin aynı inkübasyon periyotlarında anlamlılık düzeyinin göstermektedir (Bağımsız t test, p<0.05). ^{a,b,c}Aynı sütundaki farklı harfler, aynı TMR grubu için farklı inkübasyon periyotları arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir. Farklı harfler istatistiksel olarak anlamlıdır (Duncan test, p<0.05). TMR: Toplam karışık rasyon, İVKMS: *In vitro* teknikle belirlenen kuru madde sindirilebilirliği, İSKMS: *In situ* teknikle belirlenen kuru madde parçalanabilirliği, 30-48-120-240: İnkübasyon periyotlarının süresi.

Çalışmamızın her iki grubunda da, İVKMS ve İSKMS inkübasyon süresi ilerledikçe artmış (p<0.05), *in vitro* çalışmada her iki TMR grubu için 120 ve 240 saat inkübasyon sonucunda belirlenen kuru madde

sindirilebilirliği arasında anlamlı bir fark yok iken (p>0.05), *in situ* kuru madde parçalanabilirliği bakımından 120 ve 240 saatlik sonuçların anlamlı şekilde farklı olduğu görülmüştür (p<0.05).

Tablo 3: Farklı inkübasyon sürelerinde *in vitro* NDFS, *in situ* NDFS (%aNDF_{FOM}), *in vitro* uNDF, *in situ* uNDF (% KM) (ortalama±SS).

Tablo 3: *In vitro* NDFD, *in situ* NDFD (%aNDF_{FOM}), *in vitro* uNDF, *in situ* uNDF (% DM) at different incubation times (mean±SD).

	TMR1 ¹	TMR2 ²	p-değeri ³
İVNDFS			
30 s	37.70±1.17 ^d	40.45±1.37 ^d	0.133
48 s	45.27±1.49 ^c	50.25±1.75 ^c	0.034*
120 s	61.71±0.50 ^b	64.28±1.04 ^b	0.031*
240 s	65.47±0.46 ^a	66.44±0.72 ^a	0.260
İVuNDF			
30 s	26.41±0.79 ^a	23.03±0.54 ^a	0.001*
48 s	22.09±0.93 ^b	20.26±0.65 ^b	0.110
120 s	15.89±0.61 ^c	14.15±0.26 ^c	0.012*
240 s	14.91±0.48 ^d	12.78±0.27 ^d	0.001*
İSNDFS			
30 s	47.76±0.36 ^d	56.29±0.55 ^c	0.001*
48 s	49.06±0.25 ^c	57.81±0.63 ^c	0.001*
120 s	53.63±0.49 ^b	60.14±0.65 ^b	0.001*
240 s	64.21±0.54 ^a	69.78±0.30 ^a	0.001*
İSuNDF			
30 s	23.19±0.33 ^a	16.20±0.38 ^a	0.001*
48 s	20.96±0.61 ^b	14.80±0.39 ^b	0.001*
120 s	21.02±0.39 ^b	15.67±0.40 ^b	0.001*
240 s	15.80±0.35 ^c	11.29±0.21 ^c	0.001*

¹Yüksek NDF TMR, ²Düşük NDF TMR, ³Farklı NDF içeriğine sahip TMR1 ve TMR2'nin aynı inkübasyon periyotlarında anlamlılık düzeyini göstermektedir (Bağımsız t test, p<0.05). ^{a, b, c, d} Aynı sütundaki farklı harfler, aynı TMR grubu için farklı inkübasyon periyotları arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir. Farklı harfler istatistiksel olarak anlamlıdır (Duncan test, p<0.05). TMR: Toplam karışık rasyon, İVNDFS: *In vitro* teknikle belirlenen nötr deterjan lifi sindirilebilirliği, İVuNDF: *In vitro* teknikle belirlenen sindirilmeyen nötr deterjan lifi, İSNDFS: *In situ* teknikle belirlenen nötr deterjan lifi parçalanabilirliği, İSuNDF: *In situ* teknikle belirlenen sindirilmeyen nötr deterjan lifi, 30, 48, 120, 240: İnkübasyon periyotlarının süresi.

Buna göre *in vitro* teknikte 120 saatin sonunda kuru madde sindirilebilirliğinin tamamlandığı, ancak *in situ* teknikte 120 saatin sonunda kuru madde parçalanabilirliğinin devam ettiği 240 saat sonunda belirlenen kuru madde parçalanabilirliğinin her iki grup için anlamlı şekilde yüksek olduğu belirlenmiştir (p<0.05).

Çalışmamızda uNDF₂₄₀/ADL katsayısı Chandler ve ark. (1980) tarafından belirlenen 2.4 (lignin*2.4) katsayısından büyük, *in vitro* ve *in situ* için farklı bulunmuştur (TMR1'de 4.42 ve 4.39, TMR2'de 4.14 ve 3.92) (Tablo 4).

Tablo 4: *In vitro* ve *in situ* belirlenen uNDF/ADL sabit katsayıları (ortalama±SS).

Table 4: uNDF/ADL constant coefficients determined by *in vitro* and *in situ* (mean±SD).

	TMR1 ¹	TMR2 ²
İVuNDF₂₄₀/ADL	4.42±0.22	4.14±0.16
İSuNDF₂₄₀/ADL	4.39±0.21	3.92±0.39

¹Yüksek NDF TMR, ²Düşük NDF TMR, TMR: Toplam karışık rasyon, İVuNDF₂₄₀: *In vitro* teknikle 240 saat periyotta belirlenen sindirilmeyen nötr deterjan lifi, İSuNDF₂₄₀: *In situ* teknikle 240 saat periyotta belirlenen sindirilmeyen nötr deterjan lifi, ADL: Asit deterjan lifi.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bir çalışmada, bitkinin tamamı, yaprakları ve kök kısmının ayrı ayrı silajı yapılmış, en yüksek NDF içeriğine sahip kök kısmından elde edilen silajın en düşük *in vitro* kuru madde sindirilebilirliğine sahip olduğu belirlenmiştir (Hao ve ark. 2021). Çalışmamızda bu çalışmaya benzer olarak yüksek NDF'li TMR numunelerimizde, İVKMS₂₄₀ ve İSKMS₂₄₀ diğer gruba göre daha düşük belirlenmiştir (sırasıyla $p=0.011$ ve $p=0.001$). Literatürde belirtildiği gibi yüksek NDF, numunelerimizde sindirilebilirliği azaltmıştır. Mertens (2009b) yüksek NDF sindirilebilirliği olan yemlerin kuru madde sindirilebilirliğinin de yüksek olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda 240 saat inkübasyon sonunda Mertens (2009b) ile uyumlu olarak TMR₂'de İSNDFS ($p=0.001$) ve İSKMS daha yüksek bulunmuştur ($p=0.001$). Çalışmamızda NDF sindirilebilirliğinin *in vitro* ve *in situ* çalışmalarda inkübasyon süresi ilerledikçe arttığı ($p<0.05$), *in vitro* teknikte TMR1 ve TMR2 arasında 240 saat sonunda anlamlı fark yok iken ($p=0.260$), *in situ* teknikte iki grup arasında anlamlı fark olduğu belirlenmiştir ($p=0.001$). Sindirilmeyen NDF içeriği bakımından *in situ* ve *in vitro* teknikte, yüksek NDF içeriğine sahip TMR grubunda daha yüksek uNDF içeriği olduğu görülmüştür ($p=0.001$). Çalışmamızda, İVNDFS₃₀ ve İVNDFS₂₄₀ TMR1 ve TMR2 için sırasıyla %37.70 ve %40.45 ile %65.47 ve %66.44 (%aNDF_{OM}) olarak belirlendi. Krogstad (2020), TMR örneklerinde (sırasıyla %19 ve %11.3 NDF) İVNDFS₃₀ (%NDF) miktarını sırasıyla %76.3 ve %57.5, İVNDFS₂₄₀ (%NDF) miktarını ise %87.7 ve %76.8 olarak bildirmiştir. Çalışmamızda TMR1 ve TMR2 için İVuNDF₃₀ ve İVuNDF₂₄₀ sırasıyla %26.41 ve %23.03 ile %14.91 ve %12.78 olarak bulundu. Molavian ve ark. (2020) yüksek NDF içeren yemlerin yüksek uNDF içeriğine sahip olduğunu bildirmiştir. Yapılan bir çalışmada uNDF_{OM} (%KM), %69.2 NDF (%KM) içeriğine sahip uzun çayır samanında, %51.9 NDF (%KM) içeriği olan mısır bitkisine göre daha yüksek bulunmuştur (Ahmadi ve ark. 2022). Sonuçlarımıza bakıldığında belirtilen çalışmayla uyumlu olduğu görülmektedir (Tablo3). Sindirilemeyen NDF'nin belirlenmesi özellikle yüksek verimli süt ineği rasyonlarının ayarlanmasında önemli hale gelmiştir. Lopes ve ark. (2015) iNDF'deki her %'de birimlik artış için, toplam sindirim sistemi NDF sindirilebilirliğinin %0.96 oranında azaldığını belirtmektedir. Çalışmamızda, ölçülen uNDF miktarının iki farklı TMR grubunda da inkübasyon süresinin ilerlemesiyle azaldığı ve farkın anlamlı olduğu gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Bir çalışmada tropikal yem baklagillerinde lif sindirilebilirliğinin aNDF_{OM} ve lignin konsantrasyonlarıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Nurdianti ve ark. 2024). Bir çalışmada, rasyonun aNDF_{OM} içeriği %69.21 ve ADL içeriği %27.88 iken, İVNDFS₂₄₀ ve İVuNDF₂₄₀ miktarının sırasıyla %24.72 ve %52.12 olduğu bildirilmiştir (Bonfante ve ark. 2016). Bu çalışma, yüksek NDF ve ADL içeriğinin sindirilen ve sindirilmeyen NDF fraksiyonları üzerindeki etkiyi açıkça göstermektedir. Çalışmamızda yüksek NDF ve ADL içeriği olan grupta (TMR1) hem *in situ* hem *in vitro* daha yüksek uNDF₂₄₀ belirlenmiştir (Tablo 3). Fustini ve ark. (2017) TMR örneklerindeki (%31.7-%35.2 aNDF_{OM}) İVuNDF₂₄₀ miktarının %9.4 ile %11 (%KM) arasında olduğunu bildirmiştir. Grant ve ark. (2018) %36.1 aNDF_{OM} içeren TMR için İVuNDF₂₄₀ içeriğinin %11.5 (%KM) olduğunu bildirmiştir. Bu iki çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, elde ettiğimiz verilerle benzer olduğu görülmüştür. Çalışmamızda TMR1 ve TMR2 için İSNDFS₃₀ sırasıyla %47.76 ve %56.29, İSNDFS₂₄₀ ise sırasıyla %64.21 ve %69.78 (%aNDF_{OM}) olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda TMR1 ve TMR2 için İSuNDF₃₀ ve İSuNDF₂₄₀ sırasıyla

%23.19, %16.20 ve %15.80 ve %11.29(%KM) olarak bulunmuştur. Yemlerde ölçülen uNDF miktarının iNDF'ye en yakın olduğu zamanın 240 saatlik fermentasyon olduğu (Mertens 2016), yüksek NDF içeren yemlerdeki uNDF miktarının da yüksek olduğu belirtilmektedir (Molavian ve ark. 2020). Çalışmamızda, yukarıda belirtildiği gibi inkübasyon periyodunun ilerlemesiyle uNDF'nin azaldığı, yüksek NDF içeren TMR grubunda *in situ* ve *in vitro* uNDF'nin daha yüksek olduğu gözlenmiştir ($p=0.001$). Kahyani ve ark. (2019b) ortalama %30 NDF ve %2 lignin içeriğine sahip TMR örneklerinde, İSuNDF₃₀ (%KM) miktarının %16.9 ile %17.5 arasında, İSuNDF₂₄₀ (%KM) miktarının ise %8.31 ile %10.9 arasında olduğunu bildirmiştir. Molavian ve ark. (2020) %31.19, %32.30 ve %33.4 NDF içeriği olan TMR örneklerinde, İSuNDF₃₀ içeriğini sırasıyla %22.1, %22.7, %23.5 ve İSuNDF₂₈₈ içeriğini sırasıyla %8, %9.21 ve %11.5 (%KM) bildirmiştir. Bu iki çalışma ile sonuçlarımız arasında 30 saatlik inkübasyonlarda bir uyum gözlenmesi dahi zaman arttıkça (240-288 saat) sonuçlarımız arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Kahyani ve ark. (2019a) farklı TMR örneklerinde (NDF içeriği ortalaması %32, lignin içeriği ortalaması %2), İSuNDF₂₄₀ (%KM) içeriğinin %8.75 ile %10.21 arasında olduğunu bildirmiştir. Kullandığımız TMR örneklerinin NDF ve ADL içeriklerinin belirtilen çalışmadan yüksek olması, çalışmamızda elde edilen uNDF'nin yakın ancak daha yüksek olmasına neden olmuş olabilir. Ortalama %35 NDF, %6.75 ve %7.10 lignin içeren TMR örneklerinin İSuNDF₂₄₀ miktarlarının sırasıyla %17.83 ve %16.25 olduğu bildirilmiştir (Soufizadeh ve ark. 2018). Benzer şekilde, %34.28 NDF ve %6.64 lignin içeren TMR için İSuNDF₂₄₀ miktarı %16.32 olarak bulunmuştur (Zali ve ark. 2015). Bu çalışmalar, lignin içeriği yüksek olduğunda uNDF'nin yükseldiğini açıkça göstermektedir. Benzer durum çalışmamızda da yüksek lignin içeriği olan TMR1 için gözlenmiştir (Tablo 3). Çalışmamızda uNDF₂₄₀/ADL katsayısı Chandler ve ark. (1980) tarafından belirlenen 2.4 (lignin*2.4) katsayısından büyük belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda (Krämer ve ark. 2010; Soufizadeh ve ark. 2018) sabit katsayılı ADL içeriğinin kullanılmasının iNDF belirlenmesinde farklı sonuçlar ortaya koyduğu bildirilmiştir. Krämer ve ark. (2010) iNDF ile ADL arasındaki katsayının 0.30-4.70 olduğunu bildirirken, Serva ve ark. (2021) uNDF₂₄₀/ADL katsayısının 2.44-2.85 olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda belirlenen uNDF₂₄₀/ADL katsayılarının yukarıda bildirilen katsayılar ile benzer olduğu görülmektedir (Tablo 4).

Süt ineği rasyonlarının sindirilebilirliği ve hayvanların kuru madde tüketimi, kaba yemin NDF içeriği ve sindirilebilirliği ile ilişkilidir. Yüksek NDF içeren TMR1 için, hem NDF hem de ADL'nin yüksek olması, diğer gruba kıyasla kuru madde ve NDF sindirilebilirliğini olumsuz etkilemiştir. Her iki TMR örneği için de NDF sindirilebilirliği, inkübasyon süresi ilerledikçe artarken, sindirilmemiş NDF azalmıştır. Çalışmamızda, *in vitro* ve *in situ* belirlenen uNDF₂₄₀/ADL katsayısının, literatürde bildirilen sabit katsayılardan farklı ancak bu katsayılar ile benzer olduğu belirlenmiştir. Rutin olarak NDFS, KMS ve uNDF'nin belirlenmesi, tüketilen kuru maddenin ve NDF'nin sindirilebilirliği üzerindeki etkisi nedeniyle ülkemizde süt çiftçiliğinin verimliliğinin artırılması ve yem kalitesinin daha doğru belirlenmesi açısından faydalı olacaktır. Yemlerin NDF içerikleri benzer olsa da, NDFS ve uNDF'nin dikkate alınarak daha kaliteli yemlerin kullanılması hayvanlarda verimi arttıracak ve yemin kalitesine göre fiyatlandırılması ile daha ekonomik hayvancılık sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

TEŞEKKÜR VE BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (SUBAP) tarafından "19202071" proje numarasıyla desteklenmiştir.

Bu çalışma, Hikmet TİTREK isimli yazarın doktora tezinden özetlenmiştir.

YAZAR KATKILARI

Fikir/Kavram: HDA, HT
Denetleme/Danışmanlık: HDA
Veri Toplama ve/veya İşleme: HT
Analiz ve/veya Yorum: HT, HDA
Makalenin Yazımı: HT
Eleştirel İnceleme: HDA

KAYNAKLAR

- Ahmadi F, Li YF, Jeong EC et al. (2022). Comparative accuracy of in vitro rumen fermentation and enzymatic methodologies for determination of undigested neutral detergent fiber in forages and development of predictive equations using NIRS. *Agriculture*, 12 (11), 1914.
- Ankom Technology (2021). In vitro true digestibility using the DAISYTM Incubator. Erişim tarihi: 1 Ocak 2022. Erişim adresi: https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_3_InVitro_D200_D200L.pdf
- AOAC (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15. Edition. Arlington, USA.
- Bettero RV, Campos AF, Dib V et al. (2021). Indigestible neutral detergent fiber evaluation with incubation in different species. *Arch Zootec*, 70 (269), 13-19.
- Bonfante E, Palmonari A, Mammi Let al. (2016). Effects of a completely pelleted diet on growth performance in Holstein heifers. *J Dairy Sci*, 99 (12), 9724-9731.
- Chandler JA, Jewell WJ, Gossett JM, Van Soest PJ, Robertson JB (1980). Predicting methane fermentation biodegradability. *Biotechnol Bioeng Symp*, 10, 93-107.
- Cotanch KW, Grant RJ, Van Amburgh ME et al. (2014). Applications of uNDF in ration modeling and formulation. Erişim tarihi: 6 Nisan 2022. Erişim adresi: https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/37979/CNC2_014_15_Grant_Cotanch.pdf;sequence=1
- Diepersloot EC, Paula EM, Sultana H et al. (2021). Effects of seeding rate and hybrid relative maturity on yield, nutrient composition, ruminal in vitro neutral detergent fiber digestibility, and predicted milk yield of dairy cows in whole-plant corn forage in subtropical conditions. *Appl Anim Sci*, 37 (2), 106-114.
- Fustini M, Palmonari A, Canestrari G et al. (2017). Effect of undigested neutral detergent fiber content of alfalfa hay on lactating dairy cows: Feeding behavior, fiber digestibility, and lactation performance. *J Dairy Sci*, 100 (6), 4475-4483.
- Grant RJ, Smith WA, Miller MD, Ishida K, Obata A (2018). Relationships between undigested and physically effective fiber in lactating dairy cows. Erişim tarihi: 6 Nisan 2022. Erişim adresi: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/59839/Grant%20%28manu%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Hao Y, Huang S, Liu G et al. (2021). Effects of different parts on the chemical composition, silage fermentation profile, in vitro and in situ digestibility of paper mulberry. *Animals*, 11 (2), 413.
- Harper KJ, McNeill DM (2015). The Role of iNDF in the Regulation of Feed Intake and the Importance of Its Assessment in Subtropical Ruminant Systems (the Role of iNDF in the Regulation of Forage Intake). *Agriculture*, 5 (3), 778-790.
- Kahyani A, Ghorbani GR, Alikhani M et al. (2019a). Adjusting for 30-hour undigested neutral detergent fiber in substitution of wheat straw and beet pulp for alfalfa hay and corn silage in the diet of high-producing cows. *J Dairy Sci*, 102 (8), 7026-7037.
- Kahyani A, Ghorbani GR, Alikhani M et al. (2019b). Performance of dairy cows fed diets with similar proportions of undigested neutral detergent fiber with wheat straw substituted for alfalfa hay, corn silage, or both. *J Dairy Sci*, 102 (12), 10903-10915.
- Kale-Mosalmanni AS, Ghasemi E, Khorvash M (2021). Feeding low-quality date leaves as a substitute to conventional forages in dairy cows diet: effects on digestibility, feeding behavior, milk yield, and feed efficiency. *Trop Anim Health Prod*, 53, 1-10.
- Krämer M, Weisbjerg MR, Lund P (2010). Estimation of indigestible NDF in feedstuffs for ruminants. In: Proceedings of 1st Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden.
- Krogstad K (2020). Effects of NDF digestibility on Lactating Jersey Cows: Observed and Modeled Performance. PhD thesis, University of Nebraska, USA.
- Lopes F, Ruh K, Combs DK (2015). Validation of an approach to predict total-tract fiber digestibility using a standardized in vitro technique for different diets fed to high-producing dairy cows. *J Dairy Sci*, 98 (4), 2596-2602.
- Mertens DR (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *J Assoc Off Assoc Chem Int*, 85, 1217-1240.
- Mertens DR (2009a). Maximizing forage use by dairy cows. *WCDS Adv Dairy Technol*, 21, 303-319.
- Mertens DR (2009b). Impact of NDF content and digestibility on dairy cow performance. *WCDS Adv Dairy Technol*, 21, 191-201.
- Mertens DR (2016). Using uNDF to predict dairy cow performance and design rations. In: Proceedings of the Four-State Dairy Nutrition and Management Conference, Dubuque, IA, USA.
- Molavian M, Ghorbani GR, Rafiee H, Beauchemin KA (2020). Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. *J Dairy Sci*, 103 (9), 8034-8047.
- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7. Edition. Washington DC, USA.
- Nurdianti RR, Dickhoefer U, Castro-Montoya JM (2024). Relationship between nutritional composition and fibre digestibility in tropical forages compared to temperate forages. *Ital J Anim Sci*, 23 (1), 1839-1853.
- Ørskov ER, De B, Hovell FD, Mould F (1980). The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop Anim Prod*, 5, 195-213.
- Raffrenato E, Ross DA, Van Amburgh ME (2018). Development of an in vitro method to determine rumen undigested andNDFom for use in feed evaluation. *J Dairy Sci*, 101 (11), 9888-9900.
- Serva L, Magrin L, Andrighetto I, Marchesini G (2021). The relationship between dietary particle size and undegraded neutral detergent fibre in lactating dairy cows: A prospective cohort observational study. *Anim Feed Sci Tech*, 279, 115017.
- Soufizadeh M, Pirmohammadi R, Alijoo Y, Behroozyar HK (2018). Indigestible neutral detergent fibers: Relationship between forage fragility and neutral detergent fibers digestibility in total mixed ration and some feedstuffs in dairy cattle. *Vet Res Forum*, 9 (1), 49.
- Tilley JMA, Terry RA (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of foragecrops. *J Br Grassl Soc*, 18, 104-111.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J Dairy Sci*, 74, 3583-3597.
- Wang E, Wang J, Lv J et al. (2021). Comparison of ruminal degradability, indigestible neutral detergent fiber, and total-tract digestibility of three main crop straws with alfalfa hay and corn silage. *Animals*, 11 (11), 3218.
- Zali SM, Teimouri Yansari A, Jafari Sayyadi A (2015). Effect of particle size and fragility of corn silage and alfalfa hay on intake, digestibility, performance, and chewing activity of fattening male lambs. *Res Rev J Vet Sci*, 1, 47-57.
- Zhang GJ, Wang Y, Yan YH et al. (2021). Comparison of two in situ reference methods to estimate indigestible NDF by near infrared reflectance spectroscopy in alfalfa. *Heliyon*, 7 (6), e07313.