

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Süt Sığırlarında Dışkıdan Besin Madde Sindirilebilirliğinin
Tespitinde Yakın Kızıl Ötesi Spektrofotometreler (NIRs) İçin
Kalibrasyon Setleri Geliştirilmesi**

Şerife ERGÜL

Zootekni Anabilim Dalı

Nisan, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

**Süt Sığırlarında Dışkıdan Besin Madde Sindirilebilirliğinin
Tespitinde Yakın Kızıl Ötesi Spektrofotometreler (NIRs) İçin
Kalibrasyon Setleri Geliştirilmesi**

Şerife ERGÜL

Zootečni Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 25/04/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çoğunluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri	: Prof. Dr. Uğur SERBESTER	(Danışman)	
	: Dr. Celile Aylin OLUK	(2. Danışman)	
	: Prof. Dr. Hasan Rüştü KUTLU		
	: Prof. Dr. Şerafettin KAYA		
	: Prof. Dr. Zeynel CEBECİ		
	: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇINAR		

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootečni Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi ve Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2020-12901

Proje No: TAGEM/HSFYAD/A/21/A3/P3/2510

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Yemlerde Besin Madde Analizleri ve Sindirilebilirliğinin Belirlenmesi	5
2.1.1. Ruminantlarda Nişasta Sindirimi	5
2.1.2. Ruminantlarda Protein Sindirimi	6
2.2. NIR'in tarihçesi	10
2.3. NIR' a Yakından Bir Bakış	11
2.4. NIR Sistemlerinde Kalibrasyon ve Doğrulama	14
2.5. Yem Besin Madde Analizlerinde NIRs'dan Yararlanma	16
2.6. Yemlerde Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan Yararlanma	20
2.6.1. <i>In vivo</i> Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan yararlanma	20
2.6.2. <i>In vitro</i> ve <i>In situ</i> Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan yararlanma	23
3. MATERYAL VE METOT	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Hayvan Materyali	27
3.1.2. Deneme Bölmeleri	29
3.1.3. Yem Materyali	30
3.1.4. TMR ve Dışkı Örneklerine ait Besin Madde Bileşimi ve Sindirilebilirliklerine ait Veriler	32
3.2. Metot	47
3.2.1. <i>In vivo</i> Deneme	47
3.2.2. <i>In vitro</i> deneme	51
3.2.3. <i>In situ</i> deneme	52
3.2.4. NIR'da Spektrum Değerlerinin Ölçülmesi	54
3.2.5. Kalibrasyon	55
3.2.6. Doğrulama	56
3.2.7. Dış Doğrulama	57
3.2.8. İstatistik Analizleri	57
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59

4.1. <i>In vivo</i> Deneme Bulguları	59
4.1.1. Fizyolojik Dönemlere Göre İneklere ait Verim Parametreleri	59
4.1.2. TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar	62
4.1.3. Dışkı Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar	64
4.1.4. Laktasyonun Başlangıç Döneminde Kullanılan TMR'lerin Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	66
4.1.5. Laktasyonun Başlangıç Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	70
4.1.7. Laktasyonun Orta Döneminde Kullanılan TMR' de Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	78
4.1.8. Laktasyonun Orta Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	82
4.1.9. Laktasyonun Orta Döneminde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	86
4.1.10. Laktasyonun Son Döneminde Kullanılan TMR'de Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	89
4.1.11. Laktasyonun Son Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	93
4.1.12. Laktasyonun Son Döneminde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	97
4.1.13. Laktasyonda Kullanılan TMR' lerde Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	100
4.1.14. Laktasyondaki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	104
4.1.15. Laktasyondaki İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	108
4.1.16. Kuru Dönemde Kullanılan TMR'lerin Besin Madde Kompozisyonu ile İlgili Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	111
4.1.17. Kuru Dönemdeki İneklerden Toplanan Dışkıda Bulunan Besin Madde Kompozisyonu ile İlgili Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	115
4.1.18. Kurudaki İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	119
4.2. <i>In vitro</i> Deneme	122
4.2.1. <i>In vitro</i> Deneme Sonunda TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar.....	122
4.2.2. <i>In vitro</i> Deneme Sonunda TMR' lerde Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama	124
4.3. <i>In situ</i> Deneme Bulguları	127

4.3.1. <i>In Situ</i> Sindirilebilirliğe ait Bulgular	127
4.3.2. <i>In Situ</i> Deneme Sonunda TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar.....	127
4.3.3. Bütün Fizyolojik Dönemlerde <i>In Situ</i> Sindirilebilirliğe ait Bulgular.....	129
4.3.4. Kuru Dönemde <i>In Situ</i> Sindirilebilirliğe ait Bulgular.....	133
4.3.5. Laktasyon Dönemlerinde <i>In Situ</i> Sindirilebilirliğe ait Bulgular	137
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	141
5.1. <i>In vivo</i> Deneme.....	141
5.2. <i>In vitro</i> Deneme.....	145
5.3. <i>In situ</i> Deneme	145
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	163
Ek A: Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu Kararı.....	167



**Süt Sığırlarında Dışkıdan Besin Madde
Sindirilebilirliğinin Tespitinde Yakın Kızıl Ötesi
Spektrofotometreler (NIRs) için Kalibrasyon Setleri
Geliştirilmesi**

Şerife ERGÜL

Danışman: Prof. Dr. Uğur SERBESTER
2. Danışman: Dr. Celile Aylin OLUK

Zootekni Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışmada süt ineklerinin beslenmesinde kullanılan toplam karışım rasyonların (TMR) NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğinin belirlenmesinde yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRs) teknolojisinden yararlanmak için gerekli kalibrasyon setlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın *in vivo*, *in vitro* ve *in situ* denemeleri Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Hayvancılık Biriminde bulunan laktasyonda olmayan rumen kanüllü iki baş Siyah Alaca inek ve farklı fizyolojik dönemlerde bulunan 20 baş Siyah Alaca inek üzerinde yürütülmüştür. TMR örnekleri sabah yemlemesinde, dışkı örnekleri ise sabah yemlemesinden 2-4 saat sonra rektumdan alınmıştır. Bireysel örneklerin yanı sıra her bir fizyolojik dönem için toplanan dışkılar yaş ağırlığa göre eşit miktarda karıştırılarak karışım örnekler oluşturulmuştur. TMR ve dışkı örnekleri kuru madde, ham kül, ham protein, eter ekstrakt, aNDFom, ADFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta analizine tabi tutulmuştur ve dışkıdan NDF, protein ve nişasta sindirilebilirlikleri belirlenmiştir. TMR örneklerinin *in situ* NDF, protein ile nişasta sindirilebilirlikleri ve *in vitro* NDF sindirilebilirlikleri de belirlenmiştir. Klasik yöntemlerle analiz edilen örnekler NIR cihazında ölçülerek modifiye edilmiş en küçük kareler yöntemi kullanılarak kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur. Çalışma sonunda, NDF, protein ve nişasta sindirilebilirlikleri için tahmin yeteneği başarılı ($R^2 = 0.70-0.99$) kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur. Ancak laktasyon dönemlerinde bulunan ineklerden alınan dışkı örneklerinde NDIP için geliştirilen kalibrasyon denkleminin R^2 değerinin 0.70' ten büyük olmasına rağmen dış doğrulamada kalibrasyon denkleminin tahmin yeteneği iyi bulunmamıştır ($R^2 < 0.70$). Mevcut çalışma ile süt sığırı işletmeleri için ihtiyaca yönelik dengeli rasyonların NIRs yardımıyla daha hızlı ve düşük maliyetle belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süt sığırı, dışkı, toplam karışım rasyon, sindirilebilirlik, NIRs.

**Development of Calibration Sets for Near Infrared
Spectrophotometers (NIRs) in the Determination of Nutrient
Digestibility from Feces in Dairy Cattle**

Şerife ERGÜL

Advisor: Prof. Dr. Uğur SERBESTER

2. Advisor: Dr. Celile Aylin OLUK

Department of Animal Science

ABSTRACT

The aim of this study is to use NIRS technology in determining NDF, protein and starch digestibility of total mixed rations (TMR) used in feeding dairy cattle. *In vivo*, *in vitro* and *in situ* experiments of the study were carried out on two non-lactating Holstein cows with rumen cannulation and 20 Holstein cows in different physiological periods in the Livestock Unit of the Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute. TMR samples were taken from the rectum during morning feeding, and fecal samples were taken 2-4 hours after morning feeding. In addition to individual samples, the feces collected for each physiological period was mixed in equal amounts according to wet weight to form mixed samples. TMR and fecal samples were subjected to dry matter, crude ash, crude protein, ether extract, aNDFom, ADFom, ADLom, ADIP, NDIP and starch analysis and NDF, protein and starch digestibility of the feces were determined. *In situ* NDF, protein and starch digestibilities and *in vitro* NDF digestibilities of TMR samples were also determined. Samples analyzed with classical methods were measured in NIR device and calibration equations were created using modified least squares method. At the end of the study, successful ($R^2 = 0.70-0.99$) calibration equations were developed for NDF, protein and starch digestibility. However, although the R^2 value of the calibration equation developed for NDIP in fecal samples taken from cows in lactation periods was greater than 0.70, the predictive ability of the calibration equation was not found to be good in external validation ($R^2 < 0.70$). It was concluded that balanced rations for dairy farms can be prepared faster and at lower cost by using NIRs technology.

Keywords: Dairy cattle, feces, total mixed ration, digestibility, NIRS.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi birikimi ve deneyimleri ile bilimsel olarak gelişmeye katkı sağlayan, tez çalışmam boyunca her türlü desteği veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Uğur SERBESTER ve ikinci danışman hocam Dr. Celile Aylin OLUK' a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Doktora tez izleme jürimde yer alan, çalışmama yön veren, bilgi ve birikimlerini her zaman paylaştan değerli hocalarım Prof. Dr. Hasan Rüştü KUTLU, Prof. Dr. Armağan HAYIRLI ve Prof. Dr. Şerafettin KAYA' ya en içten dileklerle teşekkürlerimi sunuyorum.

Doktora tez savunma jürimde bulunan ve tezimin son halini almasında katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Zeynel CEBECİ ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ÇINAR' a teşekkür ederim.

Sağlamış olduğu maddi destek ve araştırmanın yürütülmesini sağlayan Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi ve Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü' ne, desteklerinden dolayı Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü yöneticilerine, bölüm başkanı Dr. Serdal ÇOBAN'a, çalışma için gerekli olan cerrahi operasyonu gerçekleştiren Dr. Öğr. Üyesi Uğur KARA, Dr. Öğr. Üyesi Erkan SAY ile Vet. Hek. Enver Gökhan ALTUN' a teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda tez çalışmasının bütün aşamalarında her türlü moral ve desteği veren Zir. Müh. Mehdi Ahmet COŞKUN' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü özveride bulunarak, yürekten destek olan annem Nigâr BEYAZITOĞLU ve babam Mehmet Sami BEYAZITOĞLU' na, doktora süresi boyunca desteğini ve yardımını esirgemeyen, her türlü güçlükleri benimle birlikte aşan ve hayatımın her aşamasında yanımda olan değerli eşim Zir. Yük. Müh. Atalay ERGÜL' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yorucu ve meşakkatli geçen doktora süresince bana anlayışını esirgemeyen çocuklarım Cevdet ERGÜL, Mustafa Buğra ERGÜL ve Nimet Duru ERGÜL' e sonsuz sevgilerimi sunuyorum.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Farklı fizyolojik dönemlerde yem tüketiminin belirlenmesi amacıyla yürütülen denemelerde hayvan materyaline ait tanımlayıcı değişkenler (ortalama $\pm$ standart hata).....	29
Çizelge 3.2. Fizyolojik dönemlere göre oluşturulan TMR'lerin bileşiminde bulunan hammaddelere ait besin madde bileşimi (havada kuru, %) ¹	31
Çizelge 3.3. Fizyolojik dönemlere göre TMR bileşimleri (havada kuru, kg/gün).....	32
Çizelge 3.4. Laktasyonun başlangıcında kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	33
Çizelge 3.5. Laktasyonun başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	33
Çizelge 3.6. Laktasyon başlangıcında dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler.....	34
Çizelge 3.7. Laktasyonun ortasında kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	34
Çizelge 3.8. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	35
Çizelge 3.9. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	35
Çizelge 3.10. Laktasyonun sonunda kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	36
Çizelge 3.11. Laktasyonun sonunda bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	37
Çizelge 3.12. Laktasyonun son döneminde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler..	37
Çizelge 3.13. Kuru dönemde kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	38
Çizelge 3.14. Kuru dönemde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru).....	38
Çizelge 3.15. Kuru dönemde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler.....	39
Çizelge 3.16. Laktasyon dönemlerinde kullanılan TMR'lerin <i>in vitro</i> sindirilebilirlik değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	40
Çizelge 3.17. TMR'lerin <i>in situ</i> inkübasyon sonrası nişasta değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	41
Çizelge 3.18. TMR'lerin <i>in situ</i> nişasta sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler	41
Çizelge 3.19. TMR'lerin <i>in situ</i> protein değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	42
Çizelge 3.20. TMR'lerin <i>in situ</i> ham protein sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler	43
Çizelge 3.21. TMR'lerin <i>in situ</i> aNDFom değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	44

Çizelge 3.22. TMR'lerin <i>in situ</i> NDF sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler	45
Çizelge 3.23. TMR'lerin <i>in situ</i> kuru madde sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler	46
Çizelge 4.1. Farklı fizyolojik dönemlerde bulunan ineklere ve süt kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler	60
Çizelge 4.2. Laktasyonun başlangıç döneminde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonunun kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	67
Çizelge 4.3. Laktasyonun başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	71
Çizelge 4.4. Laktasyonun başlangıcında sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹ ..	75
Çizelge 4.5. Laktasyonun ortasında kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	79
Çizelge 4.6. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	83
Çizelge 4.7. Laktasyon ortasında sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹ ..	87
Çizelge 4.8. Laktasyon sonunda kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	90
Çizelge 4.9. Laktasyon sonunda toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	94
Çizelge 4.10. Laktasyon sonu sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	98
Çizelge 4.11. Laktasyon döneminde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	101
Çizelge 4.12. Laktasyon dönemindeki ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması ¹	105
Çizelge 4.13. Laktasyon dönemleri sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹ ..	109

Çizelge 4.14. Kuru dönemde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	112
Çizelge 4.15. Kuru dönemde toplanan dışkı örneklerinde bulunan besin maddeleriyle ilgili kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	116
Çizelge 4.16. Kuru dönemde sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	120
Çizelge 4.17. Erken laktasyon, orta laktasyon, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde <i>In vitro</i> NDF sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	125
Çizelge 4.18. Erken laktasyon, orta laktasyon, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde <i>In situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	130
Çizelge 4.19. Kurudaki ineklere verilen TMR örneklerinde <i>In situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	134
Çizelge 4.20. Laktasyonun erken, orta ve son dönemindeki ineklere verilen TMR örneklerinde <i>In situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması ¹	138

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yakın kızılötesi ve elektromanyetik spektrum (Başlar, 2008).....	12
Şekil 2.2. Farklı ışınlar ve NIR cihazlarındaki yansıma modeli (Nursoy ve Şahin, 2017)	13
Şekil 2.3. Taşınabilir NIR cihazı.....	14
Şekil 3.1. Rumen kanülü ve rumen kanülünün ineklere uygulanması	28
Şekil 3.2. Rumen kanüllü inekler	28
Şekil 3.3. Deneme gruplarında bulunan hayvanların barındırıldığı bireysel bölmeler	30
Şekil 3.4. Bireysel yem tüketiminin belirlenmesi	47
Şekil 3.5. DATAEM süt sağım sistemi, süt toplama kapları ve süt örneklerinin alınması	48
Şekil 3.6. <i>In vivo</i> deneme hayvanlarının tartımı.....	49
Şekil 3.7. Toplanan TMR ve dışkı örnekleri.....	49
Şekil 3.8. Rumen sıvısının alınması ve Daisy İnkübatöre yerleştirilmesi.....	52
Şekil 3.9. <i>In situ</i> torbalarının yem örnekleri tartıldıktan sonra bağlanması ve rumene yerleştirilmesi.....	53
Şekil 3.10. İnkübasyon süresini tamamlayan <i>in situ</i> torbalarının yıkanması	54
Şekil 3.11. NIR cihazında örneklerin okutulması	55
Şekil 4.1. TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görüntüleri.....	63
Şekil 4.2. Dışkı örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görüntüleri.....	65
Şekil 4.3. Laktasyon başlangıcında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	70
Şekil 4.4. Laktasyon başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	74
Şekil 4.5. Laktasyon başlangıcında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	77
Şekil 4.6. Laktasyon ortasında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	82

Şekil 4.7. Laktasyon ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	86
Şekil 4.8. Laktasyon ortasında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	89
Şekil 4.9. Laktasyonun sonunda kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	93
Şekil 4.10. Laktasyonun sonundaki ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	96
Şekil 4.11. Laktasyonun sonunda dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	100
Şekil 4.12. Laktasyon döneminde kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	104
Şekil 4.13. Laktasyondaki ineklerden toplanan dışkı için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	108
Şekil 4.14. Laktasyon dönemlerinde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	111
Şekil 4.15. Kuru dönemde kullanılan TMR için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	114

Şekil 4.16. Kuru dönemdeki ineklerden toplanan dışkılar için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, Şekil 4.16. KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	119
Şekil 4.17. Kuru dönemde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.....	122
Şekil 4.18. <i>In vitro</i> deneme sonunda TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünümleri.....	123
Şekil 4.19. <i>In vitro</i> NDFS, KMS ve OMS için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	127
Şekil 4.20. <i>In situ</i> deneme sonunda TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünümleri.....	128
Şekil 4.21. <i>In situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen bütün fizyolojik dönemlere ait kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	132
Şekil 4.22. Kuru dönemde <i>in situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	136
Şekil 4.23. Laktasyon dönemlerinde <i>in situ</i> NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R ² :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.	140

SİMGELER VE KISALTMALAR

1-VR	: Çapraz Doğrulamanın Determinasyon Katsayısı
ADF	: Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif
ADFom	: Organik Madde Bazında ADF
ADIP	: Asit Deterjanda Çözünmeyen Protein
ADL	: Asit Deterjanda Çözünmeyen Lignin
ADLom	: Organik Madde Bazında Asit Deterjanda Çözünmeyen Lignin
aNDFom	: Amilaz ile Muamele Edilmiş Organik Madde Bazında Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif
ATK	: Ayçiçeği Tohumu Küspesi
CA	: Canlı Ağırlık
CaCl ₂ ·2H ₂ O	: Kalsiyum Klorür Dihidrat
CDA	: Kanonik Diskriminant Analizi
CNCPS	: Cornell Net Karbonhidrat ve Protein Sistemi
CO ₂	: Karbon dioksit
DATAEM	: Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
DT	: Eğilimi Engellemek
EE	: Eter Ekstrakt
GH	: Bir Örnek Noktasından Merkeze Uzaklık
HP	: Ham Protein
HPS	: Ham Protein Sindirilebilirliği
ISHPS	: İn Situ Ham Protein Sindirilebilirliği
ISKMS	: İn Situ Kuru Madde Sindirilebilirliği
ISNDFS	: İn Situ NDF Sindirilebilirliği
ISNISS	: İn Situ Nişasta Sindirilebilirliği
IVaNDFom	: İn Vitro İnkübasyon Sonucu Amilaz ile Muamele Edilmiş Organik Madde Bazında NDF
IVKMS	: İn Vitro Kuru Madde Sindirilebilirliği
IVNDFS	: İn Vitro NDF Sindirilebilirliği
IVOMS	: İn Vitro Organik Madde Sindirilebilirliği
KGS	: Kuru Dönemde Geçen Süre
KH ₂ PO ₄	: Potasyum Dihidrojen Fosfat
KM	: Kuru Madde
KMS	: Kuru Madde Sindirilebilirliği
KMT	: Kuru Madde Tüketimi
MgSO ₄ ·7H ₂ O	: Magnezyum Sülfat Heptahidrat

MLR	: Çoklu Doğrusal Regresyon
MPLS	: Modifiye Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu
N	: Azot
n	: Örnek Sayısı
Na ₂ CO ₃	: Sodyum Karbonat
Na ₂ S ₉ H ₂ O	: Sodyum Sülfid Nonahidrat
NaCl	: Sodyum Klorür
NDF	: Nötr Deterjan Lif
NDFom	: Organik madde bazında NDF
NDFS	: NDF Sindirilebilirliği
NDIP	: Nötr Deterjanda Çözünmeyen Protein
NE	: Net Enerji
NFC	: Lif Olmayan Karbonhidrat
NIR	: Yakın Kızılötesi Yansıma
NIRs	: Yakın Kızılötesi Yansıma Spektroskopisi
NISS	: Nişasta Sindirilebilirliği
Nm	: Nanometre
NPN	: Protein Tabiatında Olmayan Azotlu Bileşikler
NRC	: Nutrient Requirements of Dairy Cattle
OM	: Organik Madde
OMS	: Organik Madde Sindirilebilirliği
OMT	: Organik Madde Tüketimini
PCA	: Temel Bileşen Analizi
PLS	: Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu
R ²	: Determinasyon Katsayısı
R ² cal	: Kalibrasyonun Determinasyon Katsayısı
RPD	: Kalibrasyon İçin Nispi Tahminleyici
RPDv	: Doğrulamanın Nispi Tahminleyici
RYDP	: Rumende Yıkıma Dirençli Protein
RYP	: Rumende Yıkılabilir Protein
R ² val	: Doğrulamanın Determinasyon Katsayısı
SARA	: Subakut Ruminal Asidoz
SD	: Standart Sapma
SECV	: Çapraz Doğrulamanın Standart Hatası
SEP	: Sapma İçin Düzeltilmiş Standart Tahmin Hatası
SFK	: Soya Fasulyesi Küspesi
SGS	: Sağılan Gün Sayısı

SNV : Standart Normal Değişken
SV : Süt Verimi
T : Büyük Kalıntılara Sahip Aykırı Değerler
TDN : Toplam Sindirilebilir Besin Maddeleri
TMR : Toplam Karışım Rasyon
VK : Varyasyon katsayısı
VKS : Vücut Kondisyon Skoru
YSA : Yapay Sinir Ağları



1. GİRİŞ

Çiftlik hayvanlarının performansını etkileyen faktörler arasında yaş, cinsiyet, ırk, rasyon, beslenme, yem hammaddelerinin işlenmesi, çevre koşulları, yem katkı maddeleri, büyüme uyarıcılar ve hormonal implantlar, fiziksel aktivite ve yönetim bulunur (NASEM, 2016). Rasyonun bileşimi, sindirilebilirliği ve tüketim miktarını bilmek, ruminant hayvanları verimli ve sürdürülebilir olarak yönetmenin temelidir (Molle ve ark., 2023). Yem kalitesinin izlenmesinin hassasiyeti ve zamanında yapılması, yemleme sistemlerini etkili bir şekilde optimize etmek için zorunlu hale gelmektedir. Bu gereklilik, hızlı ve ekonomik açıdan uygulanabilir teknolojik çözümlerin benimsenmesiyle giderilebilir (Yang ve ark., 2024).

Yüksek verimli süt ineklerinin yönetimi, rasyonların sık sık izlenmesini ve zamanında düzeltmeler yapılmasını gerektirmektedir. Beslenme gereksinimlerinin tam olarak sağlanması için saha koşullarında rasyonun doğru ve zamanında besin madde analizleri temel bilgileri sağlamaktadır. Rasyonun uygun olmayan formülasyonu rumenin işlevini etkileyebilir ve özellikle yüksek verimli süt sığırlarında subakut ruminal asidoz (SARA), abomasum deplasmanı, yağlı karaciğer, laminitis, karaciğer apseleri gibi bazı metabolik hastalıkların gelişme riskini ya da insidansını artırabilir. Dahası, kötü formüle edilmiş rasyon, ineklerin üretkenliğini ve verimliliğini olumsuz etkileyerek süt üretim sektörünün sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır (Buonaiuto ve ark., 2021). Yemin doğru değerlendirilmesi, yalnızca hayvancılık üretiminde maliyetin üçte ikisi veya daha fazlasını besleme giderlerinin oluşturması nedeniyle değil, aynı zamanda performansın optimize edilmesi ve hayvancılık üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin en aza indirilmesi içinde son derece önemlidir. Bir yemin besin madde değerleri, genetik, agronomik, hasat, depolama ve işleme gibi faktörlere bağlı olarak yemler arasında ve içinde değişiklik gösterir. Rasyonun besin madde değerleri genellikle çizelge değerlerine dayanır ve karmalardaki besin madde düzeyleri genellikle protein, yağ ve lif gibi fraksiyonların analiz edilmesiyle şekillenir. Diğer yandan, bir besin maddesi fraksiyonunun sindirilebilirliği, yemden yeme önemli ölçüde değişebilmekte ve bu da verim ve sağlığı etkileyebilmektedir (Noel ve ark., 2022).

Çiftliklerde formüle edilen rasyonların orijinal özelliklerden önemli ölçüde farklı olduğu görülmüştür (Sova ve ark., 2014). Rasyonlardaki bu tutarsızlığın temel nedenlerinden biri, rasyonu oluşturan bileşenlerin besin madde içeriğindeki değişikliklerdir (Mikus ve Diamond, 2012). Gereksinmeye uygun hazırlanmayan rasyonlar, hayvansal ürünlerin kalitesini olumsuz etkilemekle kalmaz, aynı zamanda üretim maliyetini de etkiler. Hayvancılık işletmelerinde hazırlanan rasyonların daha dengeli olması, daha çabuk ve etkin şekilde besleme yönetim stratejilerine karar verilmesi için hammadde ve yemlerin besin madde analizlerinin yapılması bir gerekliliktir.

Yemler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle yapılan analizlere göre değerlendirilirler. Fiziksel analizler; görünüş, koku, tat, sertlik, irilik, kaba yemlerde yaprak, sap oranı, rasyonda kaba/kesif yem oranı ve sıcaklık şeklindedir. Bu yöntemler basit, hızlı ve maliyeti olmayan

yöntemlerdir. Bu analizlerde büyüteç ve mikroskop (yabancı madde), hektolitre kabı (tane dolgunluğu), elek (tane iriliği) ve terazi (1000 tane ağırlığı) kullanılabilir. Bu yöntemlerdir. Bu analizlerde büyüteç ve mikroskop (yabancı madde), hektolitre kabı (tane dolgunluğu), elek (tane iriliği) ve terazi (1000 tane ağırlığı) kullanılabilir.

Kimyasal analizler; ham protein, ham yağ, ham selüloz, ham kül ve nitrojensiz öz maddeleri kapsayan besin madde analizleridir ve çoğu zaman Weende analiz sistemine göre yapılmaktadır. Ayrıca amino asit, vitamin, yağ asidi, beslemeyi engelleyici zararlı ve yabancı madde analizleri gibi daha hassas analizler de yem değerlendirmede kullanılmaktadır. Kaba yemlerin kalitesi için önemli bir kriter olan ham selüloz; selüloz; lignin ve hemiselülozdan oluşur ve Lepper metoduna göre analizi yapılmaktadır. Ham selülozun fraksiyonlarından ADF (asit deterjan lif) ve NDF' nin (nötr deterjan lif) analizi ise Van Soest metoduna (1991) göre yapılmaktadır. NDF yemin özgül ağırlığı ve sindirim sistemi hacmini göz önünde bulundurduğundan yem tüketimi hakkında bilgi verir. ADF ise, yemin sindirilebilirliği ve enerji içeriği ve rumen doluluğu hakkında bilgi vermektedir (Kutlu, 2008).

Yemlerin sindirilebilirliklerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılır. Bunlardan ilki klasik sindirim denemeleri olan *in vivo* (canlı hayvan üzerinde) tekniklerdir. Sindirilebilirliği belirlenecek yem hayvana tartılarak verilir ve dışkı toplanarak ölçülür. Dışkı ile atılan besin maddesi yüksekse besin maddesinin sindirilebilirliği düşüktür. Hem hayvan hem de laboratuvar gerektiren diğer bir yöntem ise *in situ* tekniktir. Naylon kese tekniği ile rumende yıkılabilirlik ölçülmektedir. Yıkılabilirliğin belirlenmesinde inkübasyon süresi önemlidir. Aynı zamanda tamamen laboratuvar ortamında yürütülen diğer yöntem ise, *in vitro* yöntemidir. Bu yöntemde rumen simüle edilerek oluşturulan sistemlerde yem sindirilebilirlik analizi yapılmaktadır. Yöntemde çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bunlar; Tilley- Terry (1963) metodunda yem örneği, rumen sıvısı ve tampon çözeltilerle anaerobik ortamda fermente edilmekte ve arta kalan kalıntılar asit-pepsin ile sindirime tabi tutularak yemin sindirilebilirliği saptanmaktadır. Gaz üretimi tekniğinde ise yem ve rumen sıvısının içerisinde bulunduğu şırınga ağzı kapalı olarak 39°C' de tutularak oluşan gaz miktarı okunur ve sindirilebilirlik hesaplanır. En yaygın kullanılanı Hohenheim testidir. Ayrıca çeşitli enzimlerin kullanıldığı enzimatik metotlar da bulunmaktadır (Kutlu, 2008).

Yem endüstrisi, rasyonların optimum formülasyonu için yem maddelerinin besin değerinin hızlı ve doğru ölçümlerine ihtiyaç duymaktadır. Kimyasal analizler rasyon formülasyonlarında kullanılan çeşitli parametrelerin güvenilir ölçümlerini sağlar, ancak bu konuda uzman teknik personele yönelik gereksinimler, emek yoğun protokoller ve zorlu numune alma teknikleri, bu yöntemlerin rutin yem analizlerinde kullanımını sınırlamaktadır. Ayrıca, farklı yemlerin sindirilebilirliğini belirlemek için yaygın şekilde kullanılan *in vitro* ve *in situ* teknikler, laboratuvar ortamında rumen koşullarını simüle etmek için kanüllü hayvanlardan elde edilen rumen sıvılarının kullanılmasını gerektirir. Bu gereksinimler, doğru ve güvenilir yem analizi için gerekli olan kaynakların maliyetini daha da artırmaktadır (Campbell ve ark., 2022). Bazen analiz sonuçlarının gecikmesi, zamanında yönetimsel kararlar alınması açısından verilerin güncelliğini yitirmesine neden olabilmektedir (Xu ve ark., 2023). Özetle, laboratuvar analizleri pahalı ve zaman alıcıdır. Bu sebeple kimyasallara olan ihtiyacı ortadan kaldıran, tehlikeli atık üretimini en aza indirdiği için

uygun maliyetli ve çevre dostu bir yöntem olarak kabul edilen, yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRs; Near Infrared Reflectance Spectrum), kaba yemlerin kalitesini değerlendirmek için hızlı ve güvenilir bir yöntem olarak yaygın şekilde kabul edilmiştir (Deaville ve Flinn, 2000).

Yem hammaddeleri üzerindeki ilk çalışmalar, analitik niteliktedir ve bu çalışmalarda basit bir şekilde NIR spektroskopisi standart analiz yöntemleri ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Son çalışmalar (Paternostre ve ark., 2021; Noel ve ark., 2022; Guerra ve ark., 2023), NIR spektroskopisinin yemlerin kimyasal bileşimini etkili bir şekilde tahmin etme kapasitesini göstermiştir. Maliyet etkinliği ve teknik basitliği ile karakterize edilen NIR spektroskopisi, bir numune içindeki birden fazla bileşeni yüksek hassasiyetle aynı anda ölçme yeteneğine sahiptir. Bu, incelenen numunelere zarar vermeyen, pratik ve hızlı bir alternatif sunmaktadır (Evangelista ve ark., 2021). Ancak ilk yatırım maliyeti yüksektir.

Tez projesinin hazırlanma sürecinde, Ulusal Tez Merkezinde yapılan taramada tez konusu ve amacına yönelik Ülkemizde Gıda, Ziraat ve Veterinerlik alanında 26 lisansüstü (2'si doktora diğerleri yüksek lisans) tez çalışmasının yürütüldüğü saptanmıştır. Bu çalışmaların tamamına yakını (21'i) tahılların tanelerinde besin madde içeriklerinin belirlenmesinde NIR spektroskopisi teknolojisinden yararlanma konusudur. Büyükbaş hayvan çiftliklerinde kullanılan toplam karışım rasyonların (TMR) besin madde bileşimi ve sindirilebilirliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar henüz ülkemizde bulunmamaktadır. Bu nedenle, mevcut doktora tez projesinde, farklı fizyolojik dönemlerde bulunan süt ineklerinin beslenmesinde kullanılan TMR'lerin NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliklerinin dışkıdan belirlenmesinde NIR spektroskopisi teknolojisinden yararlanma hedeflenmiştir. Bu kapsamda yapılan *in vivo*, *in situ* ve *in vitro* denemelerle NIR cihazında tahmin yeteneği iyi olan kalibrasyon denklemleri geliştirilmeye ve bu denklemlerin doğrulukları tespit edilmeye çalışılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Yemlerde Besin Madde Analizleri ve Sindirilebilirliğinin Belirlenmesi

Süt ineklerinin toplam karışım rasyonlarla beslenmesi, kaba yem ve konsantre yemin uygun oranlarıyla daha dengeli rasyonun optimizasyonu kuru madde tüketimini artırarak süt üretimini yükseltmektedir. TMR beslemesiyle üretim verimliliğinin artması, mikrofloranın büyümesi, azot kullanımı ve mikrobiyal protein üretimi için sabit besin maddesi temini sağlanmaktadır. TMR ile besleme, geleneksel besleme sistemine kıyasla yem tüketimini %4 ve süt üretimini %5 oranında artırmıştır (Maskal'ová ve Vajda, 2015).

Süt sığırı çiftliklerinde süt üretiminin maliyet yönetiminde yemleme uygulamaları önemli bir rol oynamaktadır. Yemin sindirilebilirliğini artırmak, yemleme maliyetini azaltmak açısından da önemlidir. Süt sığırlarında yemin sindirilebilirliğinin değerlendirilmesi, dışkı toplama, naylon torba analizleri ve *in vitro* sindirim testleri gibi metodolojileri kapsayan çok yönlü çalışmalarla mümkün olabilmektedir. Seçilen teknik ne olursa olsun, yem ve dışkı kimyasal bileşiminin belirlenmesi, sindirilebilirliğin değerlendirilmesinde kritik bir unsurdur (Xu ve ark., 2023). Sindirilebilirliğin en doğru ölçümü, her bir hayvana ve rasyona özgü *in vivo* çalışmaları içerir. Bu tür çalışmalar, sığırların bireysel bölmeler içine yerleştirilmesini, rasyona adaptasyonu ve ardından yem tüketiminin kaydedilmesini, rasyon ve dışkı örneklerinin minimum 4 gün boyunca toplamasını gerektirir. *In situ* teknikler çok daha basittir, ancak yalnızca gerçek sindirilebilirlik açısından beslemeleri değerlendirmek için uygundur çünkü kuru madde tüketimi ve toplam sindirilebilirlik göz ardı edilir. Ek olarak, bu prosedürler için sığırlara cerrahi olarak rumen fistülü takılmalıdır. *In vitro* ve enzimatik analizler, bir yem ürünündeki besin madde içeriği ve bulunabilirliği hakkında tahminler sağlayabilir, ancak çoğu zaman hayvanın beslendiği yemin formunu yansıtmaz (Jancewicz, 2016).

2.1.1. Ruminantlarda Nişasta Sindirimi

Rasyonlarda temel yem ve enerji kaynağı olarak kullanılan tahılların %50' sinden fazlasını nişasta oluşturmaktadır. Diğer besin maddeleri (protein, lif, şeker ve organik asitler içeren nişasta dışındaki yapısal olmayan karbonhidratlar), önemli olsalar da hayvana enerji sağlamada daha az rol oynamaktadır. Yüksek oranda sindirilebilir nişasta granüllerinin çoğu, koruyucu bir protein matriksine gömülmüş olan tanenin endospermde bulunmaktadır. Endosperm, kavuzlu arpa ve yulaf veya buğdaydaki kepek ile çevrili yoğun, çok katmanlı bir perikarpa çevrilidir. Mısır ve sorgum, nişasta granüllerini çevreleyen ve amilolitik bakterilerin erişimini engelleyen vitröz bir endosperm içinde yoğun protein matriksleri içermektedir. Buna karşılık, buğday ve arpa, çok daha yaygın protein matrikslerine sahiptir. Perikarp ve kabuk az miktarda lignin içeren selüloz ve hemiselülozdan oluşur, bu da yapıyı sindirime dirençli hale getirmektedir. Tahıllara uygulanan işlemler sonucu, partikül boyutu küçülür ve perikarpı (ve eğer varsa kabuğu) parçalayarak, yüksek oranda sindirilebilir nişastanın, rumen içindeki sindirim enzimlerine maruz kalmasını sağlamaktadır

(Campbell ve ark. 2007). Tahıllara uygulanan işlemler, rumen pH'sının etkilenmemesi ve sindirilebilirliği artırmak için kullanılmaktadır. Çok ince öğütülen tahıllar (1 mm çapın altında) rasyonun lezzetini düşürmekte ve nişasta sindiriminin rumende asit birikmesine neden olacak kadar hızlandırmasından dolayı sindirim bozukluklarına yol açmaktadır (Mathison, 2000). Yem hammaddelerinin yoğun işlenmesi nişasta sindirilebilirliğini en üst düzeye çıkarmakta, ancak aynı zamanda sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkinin artmasına ve performans kayıplarına yol açabilmektedir. Hızlı nişasta sindirimi rumen fonksiyonlarını bozarak sığırlarda ciddi sağlık sorunları olan asidoz, şişkinlik, laminitis ve karaciğer apseleri gibi metabolik bozukluklara zemin hazırlayan yem tüketimi varyasyonuna neden olabilmektedir (Nagaraja ve ark. 2007).

Sindirim sistemi boyunca, nişasta sindirilebilirliği ve dışkıdaki nişasta konsantrasyonu, rasyonun nişasta içeriği ve rasyon kuru maddesinin sindirilebilirliği ile ilgilidir (Xu ve ark., 2023). Böylece nişasta sindirilebilirliği arttıkça kuru maddenin sindirilebilirliği de artmaktadır. Bununla birlikte, kuru madde sindirilebilirliği nişasta sindirilebilirliği ile eşzamanlı olarak artarken rasyonun nişasta içeriği arttıkça kuru madde sindirilebilirliği artmayabilmektedir. Rasyondaki nişasta sindirimini etkileyen diğer faktörler ise, rumen pH'sı ve mikrobiyal aktivite, sindirim için rumende kalma süresi ve rumen doluluğudur. Bu değişikliklerin, çeşitli yem bileşenlerinin sindirilebilirliği üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır. Kaba yemler ve çoğu endüstriyel yemler genellikle tahıllardan daha az sindirilebilir olduğundan, rasyondaki bu tür hammaddelerin yüksek olarak kullanılması genellikle rasyon kuru madde sindirilebilirliğini azaltmaktadır, diğer bir anlatımla rasyona sindirilemeyen kuru maddenin fazla miktarda eklenmesi dışkıda kuru madde miktarını artırmakta ve dışkıdaki kuru maddedeki nişasta konsantrasyonunu azaltmaktadır. Tahıllara uygulanan işlemler sonucu (örneğin flake) genellikle daha düşük dışkı nişasta konsantrasyonları ve dolayısıyla daha yüksek nişasta sindirilebilirliği görülmektedir (Owens ve ark., 2016).

Bütün analitik prosedürlerde olduğu gibi doğru sindirilebilirlik ölçümü, örnekleme ve rasyon ile dışkıların doğru analizini gerektirmektedir. Nişastanın rumende sindirim hızını veya derecesini tahmin etmek için *in vitro* ve *in situ* prosedürler kullanılmaktadır. Klasik olarak sindirilebilirlik, gerçek sindirilebilirlikten endojen materyalin (sindirim sisteminden salgılanan ancak sindirim sisteminden yeniden emilmeyen bileşikler) çıkartılması olarak tanımlanır. Sindirim sisteminin mikrobiyotası tarafından parçalanma ve yeniden sentez faaliyetleri bu durumu daha da karmaşık hale getirmektedir. Bakteriler sadece nişastayı yıkmakla kalmaz, özellikle azot eksikliği ile sindirilmemiş nişastadan ayırt edilemeyen glikojeni sentezler. Ayrıca diğer bileşikler (örn., glikoz, diğer indirgeyici şekerler) numune hazırlama veya analitik prosedürler nedeniyle nişasta olarak da analiz edilebilmektedir (Hall ve ark., 2001).

2.1.2. Ruminantlarda Protein Sindirimi

Yüksek verimli süt ineklerinde özellikle rasyon protein düzeyi en çok dikkat edilmesi gereken parametreler arasında yer almaktadır. Rumendeki mikroorganizmalar protein yapısında

olmayan azotlu bileşiklerden (NPN) protein ve aminoasit sentezleyebilme özellikleri sayesinde protein gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Özellikle, rasyonda protein yetersizliği varsa, rumendeki mikroorganizmalar için bu kaynaklar çok değerlidir. Ruminantlar gerçek proteine (bypass protein) ve mikrobiyal ham proteine ihtiyaç duyarlar. Ruminantlarda proteinler, genel olarak rumende yıkılabilir protein (RYP) ve rumende yıkıma dirençli protein (RYDP) olarak ikiye ayrılabilir. RYP, proteaz, peptidaz ve deaminaz gibi rumen bakterileri tarafından salgılanan enzimler tarafından parçalanarak peptitlere, amino asitlere ve amonyağa dönüştürülür. Amonyak daha sonra mikrobiyal proteine dönüştürülmekte ve bu da ince bağırsakta amino asitler ve peptitler olarak emilmektedir ve böylece emilebilir gerçek proteinin %50-80'ini sağlamaktadır (Bach ve ark., 2005; Kaufman, 2016). Laktasyondaki ineklerden genetik kapasitenin elverdiği ölçüde yüksek süt verimi almak için, rumen fermentasyonu ve mikroorganizmaların yıkımına karşı dirençli kaliteli proteinlerin rasyonda kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Jami ve ark. 2004). RYDP, rumen mikroorganizmaları tarafından parçalanmayan, bunun yerine doğrudan hayvan tarafından kullanılmak üzere abomasuma ve ince bağırsağa geçen başka bir gerçek proteindir. RYDP, ince bağırsakta sindirilir ve burada yaklaşık %80'i doku kullanımı için mikrobiyal protein ile amino asitler olarak emilir. RYDP, mikrobiyal proteine kıyasla yüksek verimli süt sığırlarına kaliteli amino asitler sağlamak açısından önemlidir (Owens ve Sapienza, 2015). Ruminantlar için proteininin önemli işlevleri vardır. Karbonhidrat sindirimini iyileştirmek ve mikrobiyal protein sentezi için rumen mikroorganizmalarının RYP gereksinimlerini karşılamak, RYDP tüketimiyle hayvanın büyümesi, optimum sağlığı ve üremesi için gereken proteini sağlamak ve rasyonda ham protein kullanımını azaltarak yüksek verimli ineklerin amino asit gereksinimlerini karşılamaktır (Tedeschi ve ark., 2015). Rumende protein ve enerji senkronizasyonunun olmaması mikrobiyal protein sentezini azaltmaktadır. Ayrıca düşük RYP seviyesi rumendeki amonyak seviyesi, kuru madde tüketimi ve mikrobiyal protein üretimini de azaltabilmektedir. Yüksek RYDP seviyelerine sahip yemlerin amonyağı ve sindirilebilirliği azalttığı bildirilmiştir (Putri ve ark., 2021). Artan besin sindirilebilirliği, rumenin daha iyi durumda olduğunu ve daha iyi fermentasyonun gerçekleştiğini işaret eder. Daha iyi rumen fermentasyonu ve mikrobiyal aktivite, artan enzim üretimine, daha yüksek kuru madde sindirilebilirliğine ve rumenden daha az besin madde kaybına yol açmaktadır. RYDP sindirilebilirliği, ruminantlarda verim için güncel protein değerlendirme sistemlerinde önemli bir parametredir ve verimi etkilemektedir. RYDP sindirilemezse, hayvana metabolik protein sağlayamamaktadır (Sharif ve ark., 2019). Rasyon kuru maddesinde %10-13 oranında RYP, %36 yapısal olmayan karbonhidrat olması durumunda kuru madde sindirilebilirliği, mikrobiyal protein sentez etkinliği ve rumende sentezlenen mikrobiyal protein miktarı en üst düzeye çıkmaktadır (NRC 2001).

2.1.3. Ruminantlarda NDF Sindirimi

Bitki hücresinin yapısını oluşturan karbonhidratlar yapısal olmayan karbonhidratlar (nişasta, şeker, organik asitler) ve yapısal karbonhidratlar (selüloz, hemiselüloz ve lignin) olarak ikiye ayrılır. Kaba yemlerin lif içeriği genellikle nötr deterjan lifi (NDF) ve asit deterjan lifi (ADF) fraksiyonları olarak ifade edilmektedir. ADF, birincil bileşenler olarak selüloz ve lignin içerir ve ADF konsantrasyonları yemlerin sindirilebilirliği hakkında bilgi vermektedir. NDF ise, yemlerin selüloz, hemiselüloz ile lignin fraksiyonlarını içerir ve yemin hacmi, sindirim sisteminin doluluğu ile hayvanın yem tüketimi hakkında bilgi verir (Kutlu, 2008). Lif içeriğini ve fiziksel olarak etkili NDF'yi artırmak ruminantlarda tükürük akışını, asetat-propionat oranını, süt yağ seviyesini artırmakta ve rumen pH'sını korumaktadır. Rasyondaki uygun NDF seviyesi ve partikül boyutu kuru madde tüketimi ve sindirilebilirliği artırarak performans üzerinde olumlu etki yaratmaktadır (Banakar ve ark., 2018).

NDF sindirilebilirliğinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir. Çünkü besleme uzmanları ve yem bitkisi yetiştiricileri yem kalitesini değerlendirmek, ruminant rasyonlarının sindirilebilirliğini tahmin etmek ve kaba yem temini için uygun bitki genotiplerini seçebilmeye olanak sağlamaktadır. Yemlerdeki enerji, esas olarak bitki lifini oluşturan hücre duvarında bulunan yapısal karbonhidratlardan elde edilmektedir. Ruminantlar, rumen fonksiyonunu korumak ve üretkenliği en üst düzeye çıkarmak için rasyonlarında NDF'ye ihtiyaç duysalar da aşırı NDF tüketimi rumen içindeki fiziksel doluluğu artırdığından yem tüketimini sınırlamaktadır. Yem tüketimi süt verimi için önemli bir faktör olduğundan, sadece NDF düzeyi değil, aynı zamanda sindirilebilirliği de önem arz etmektedir. Ancak, rasyon NDF ve nişasta düzeyleri, rumende yıkılabilirlik, kaba yem-konsantre yem oranı ve kuru madde tüketimi gibi çeşitli faktörler de süt verimini etkilediğinden, performansı yalnızca NDF sindirilebilirliğine bağlamakta mümkün değildir. Yemlerdeki NDF'nin sindirilebilirliği, süt sığırları rasyonlarının genel sindirilebilirliği hakkında bilgi verir ve yem NDF sindirilebilirliğinin süt ineklerinin kuru madde tüketimi ve laktasyon performansını tahmin etmede yardımcı olabileceği bildirilmiştir (Weisbjerg ve ark., 2016). Nousiainen ve ark. (2009) tarafından 92 çalışmadan elde edilen verilerin meta analizi, rasyon NDF konsantrasyonu ve sindirilebilirliğindeki değişikliklerin süt ineklerinde organik madde sindirilebilirliğini belirleyen en önemli faktörler olduğunu göstermiştir.

Hayvanların performansını değerlendirmek amacıyla rasyon NDF sindirilebilirliğini tahmin etmek için *in vivo*, *in vitro* ve *in situ* prosedürler bilim insanları tarafından geliştirilmiştir (Van Soest ve ark., 1966; Mehrez ve Ørskov, 1977; Combs, 2013; Raffrenato ve ark., 2018). Rasyon NDF'si iki bileşenden oluşur, bunlar potansiyel olarak sindirilebilir NDF ve sindirilemeyen NDF'dir. Potansiyel olarak sindirilebilen NDF oranı, yem türüne ve yetiştirme ortamına bağlı olarak değişmektedir. Sindirilemeyen NDF oranı, genellikle sığırların rumenlerinde lifin uzun süreli inkübasyonundan veya uzun süreli *in vitro* sindirimlerden tahmin edilmektedir. Örneğin, 240 saatlik inkübasyondan sonra kalan NDF kalıntısı, genellikle sindirilmeyen NDF'nin bir tahmini olarak kullanılır. Potansiyel

sindirilebilir NDF oranı, toplam NDF'den 240 saatlik inkübasyon sonunda kalan NDF fraksiyonunun çıkarılmasıyla belirlenmektedir. (Combs, 2015). Ayrıca, bitkilerdeki lignin ve lignifikasyon (odunlaşma), uzun süredir hücre duvarı bileşenlerinin sindirilebilirliğinin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir (Van Soest, 1991) ve lignin, NDF sindirilebilirliğini tahmin etmek için mevcut besleme modellerinde kullanılır. Çünkü odunlaşmanın artmasıyla lif sindirilebilirliğin azalması beklenir (NRC, 2001). Daha fazla odunlaşma derecesi ve daha az mikrobiyal erişilebilirlik, kuru madde tüketimini sınırlandırır. Ayrıca lignin, mikrobiyal enzimlere karşı fiziksel bir bariyer görevi görerek hücre duvarı polisakkaritlerinin sindirimini engellemektedir. Bu nedenle, lignifikasyonun sindirilebilirlik üzerinde doğrudan ve önemli bir etkisi vardır (Abreu ve ark., 2022).

Lignin, genel olarak, kaba yem sindirimini sınırlandıran madde olarak kabul edilmektedir. Van Soest ve ark. (2005), çeşitli kaba yemler için lignin ve sindirilmeyen NDF arasındaki yakın doğrusal ilişkiyi göstermiştir. CNCPS (Cornell Net Karbonhidrat ve Protein Sistemi) besleme modeli (Fox ve ark., 2004), bütün kaba yemlerde maksimum sindirim derecesi üzerinde ligninin sabit bir etkisi olduğunu varsayarken, NRC (2001) tahmin modeli, lignin konsantrasyonunun artmasıyla NDF sindiriminde azalma şeklinde bir etki öngörmektedir. NRC (2001) modelinde lignin, NDF sindirilebilirliğinin tahmin edilmesini etkiler, çünkü lignin tarafından kaplanan karbonhidratlar hesaplanamamaktadır. Ayrıca NDF, Weiss ve ark. (1992)' na göre denklemde NDF' ye bağlı azot içeriğini (NDIN) NDF'den çıkarılarak hesaplanmaktadır. Sindirilemeyen NDF, Baltık ülkelerinde kaba yemlerin lif kalitesinin rutin olarak belirlenmesi için NIRS kalibrasyonlarında kullanılmıştır.

In vivo tekniklerde dışkıdaki lif fraksiyonlarına (NDF ve ADF) bağlı nitrojen (N), organik form olarak atılan sindirilmemiş rasyon N'i olarak düşünülmektedir. Bitki hücre duvarına bağlanan N aslında mikrobiyal popülasyon tarafından yetersiz şekilde kullanılmakta veya hiç kullanılmamaktadır. Toplam dışkı N'i, sindirilmemiş rasyon N ve mikrobiyal ile endojen azot sekresyonunu içerir. Toplam dışkı N içeriği ile sindirilmemiş rasyon N'i (esas olarak NDIN olarak belirlenen liflere bağlı N) arasındaki fark, aynı zamanda dışkıyla atılan metabolik N miktarının (mikrobiyal N ve endojen N salgılanması) tahmin edilmesine de olanak tanımaktadır (Simoni ve ark., 2021).

Bu tür geleneksel yem değerlendirme yöntemleriyle ilgili zorluklar ve eksikliklerin tamamlanması istekleri NIR spektroskopisi gibi daha hızlı ve uygun maliyetli analiz yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına yol açmıştır (Yakubu ve ark., 2023). NIR spektroskopisi, yem besin maddelerinin hızla ölçülmesine yönelik artan talebi karşılayan pratik, geçerli ve doğru bir analitik teknik olmasının (Shenk ve Westerhaus, 1994) yanı sıra yemlerin sindirilebilirlikleri hakkında da bilgi vermektedir. Ancak, bir yem analiz yöntemi olarak bu tekniklerin doğruluğu, referans olarak kullanılan kimyasal ya da laboratuvar analiz yöntemlerinin varlıklarına dayanır.

2.2. NIR'in tarihçesi

Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi, William Herschel tarafından 18. yüzyılda (yy) keşfedilmesine karşın, 20.yy'ın ikinci çeyreğinden sonra kullanılmaya başlanmıştır. NIR spektrumlarının, titreşim davranışları göz önünde bulundurularak moleküller arası bağlar hakkında ve mevcut moleküllerin türleri hakkında bilgi sağlamada kullanılabileceği düşünülmüş ve bileşen analizlerinde kullanılabilirliği araştırılmaya başlanmıştır. İlk ticari fiber optik spektrofotometreler 1980'lerde tanıtılmıştır. ABD Tarım Bakanlığı'ndan Karl Norris, bu analitik tekniğin potansiyelini fark etmiş ve endüstriyel uygulamalarda modern NIR spektroskopisinin (NIRs) kullanılmasına öncelik etmiştir (Aenugu ve ark., 2011). Kızılötesi spektrumları araştıran ilk kişi olmasa da 1905 yılında Coblentz organik bileşiklerin spektral profilini görselleştirmek için ilk NIR spektrofotometresini oluşturmuş ve incelenen her bir bileşiğin benzersiz bir spektruma sahip olduğunu, tanımlanabilir spektral özelliklerin spesifik kimyasal fonksiyonel gruplara bağlanabileceğini ortaya çıkarmıştır (Aenugu ve ark., 2011). Coblentz tarafından yapılan bu ilk araştırmalar önemli iken NIR'in bilimsel deneylerde ciddi şekilde yer alması ya da yaygın kullanımı mümkün olmamıştır. Spektroskopi bilimi ilerledikçe, NIR spektroskopisinin klasik analizlere göre birçok avantaja sahip olduğu kanıksanmaya başlanmış ve NIR cihazlarında iyileştirmeler yapılmıştır. Bu ilerlemeler ölçümlerin hızını ve duyarlılığını artırmıştır. Bu gelişmelere rağmen çoğu araştırmacı spektrumları zayıf, örtüşen bantlar ve taban çizgisi kayması nedeniyle yorumlamakta zorlanmıştır. Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisinin analitik bir araç olarak yaygın bir şekilde kabul edilmesine yol açan en önemli olaylar, bilgisayarın ve kemometrik analizlerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Bu gelişme spektrumların toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanmasını daha kolay hale getirmiştir (Williams ve Norris, 2001). Tarımda NIR analizleri için dönüm noktası 1968'de Karl Norris ve çalışma arkadaşlarının NIR'ı kullanmasıyla olmuş ve tahılların hızlı olarak analizlerinde NIR bölgesindeki reflektans ölçümlerinin kullanım potansiyeli olduğu ortaya konmuş, tarım ürünlerinin NIR bölgesinde spesifik absorpsiyon bantları oluşturduğu belirlenmiştir (Başlar, 2008).

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 2002 yılında Ulusal Kaba Yem Test Birliği, NIR test yöntemini kabul edilen ve doğru yem analiz yöntemi olarak onaylamıştır (Berzaghi ve ark., 2010). Yakın kızılötesi yansıma cihazlarındaki son gelişmeler, bu aletlerin büyüklüğünü ve ağırlığını azaltmış ve kolayca taşınabilir hale getirmiştir. Ayrıca yine ABD' de çok sayıda yem laboratuvarı şu anda profesyonel olarak yetiştiricilere dışkıda besin madde bileşimini belirlemek için NIRS analizini sunmaktadır (Brognia ve ark., 2018).

Yakın kızılötesi spektroskopisi, ham protein, amino asitler, ADF, NDF ve nişasta içeriği gibi yem besin maddelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini tahmin edebilir (Campo ve ark., 2013). Bununla birlikte, besin madde fraksiyonları için NIR spektroskopisinin kullanmayı sınırlayan, güçlü kalibrasyonlar oluşturma gerekliliğidir (Wang ve Zijlstra, 2018). Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi tekniği ile sadece yemlerin kimyasal kompozisyonu ile ilgili analizler değil, *in vivo* ve *in vitro* teknikler esas alınarak, kuru madde tüketimi, organik madde sindirilebilirliği ve kuru

madde sindirilebilirliği, protein, selüloz, ADF ve NDF sindirilebilirlikleri gibi birçok biyolojik parametre için yapılan analizlerde yapılabilmektedir. Ayrıca toplam yapısal olmayan ve suda çözünür karbonhidrat içeriği ile birlikte protein fraksiyonları da başarıyla ölçülmüştür (Smith ve ark., 1991). Diğer yandan, NIRS ile birçok mineral maddenin analizi de yapılabilmektedir (Aldana ve ark., 1995; Ruano-Ramos ve ark., 1999; Cozzolino ve Moron, 2004). Ancak, NIR ile yem değerlendirmesinde, uygun laboratuvar analizleri ile birlikte uygun numuneler kullanılarak yapılan doğru kalibrasyonlar çok önemlidir (Deville ve Flinn, 2000).

Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisinin avantajları ve dezavantajları;

Avantajları;

- Pratik bir şekilde örneğin ölçümünü yaparak analiz sonuçlarına kısa sürede ulaşılmaktadır.
- Örneğe ait birden fazla besin maddenin analizi (kuru madde, protein, yağ, selüloz gibi) aynı anda yapılmaktadır.
- Numuneler bazen ön hazırlık gerektirmeden analiz edilebilmektedir.
- Örneğe hasar vermediği için, tekrar kullanılabilir.
- Kullanılan örnek miktarı çok azdır.
- Kimyasal madde kullanımı olmadığı için analiz maliyetini düşürmektedir.
- Kimyasal madde kullanımından doğacak tehlikeyi önler ve çevreye kimyasal madde atılımı olmamaktadır.

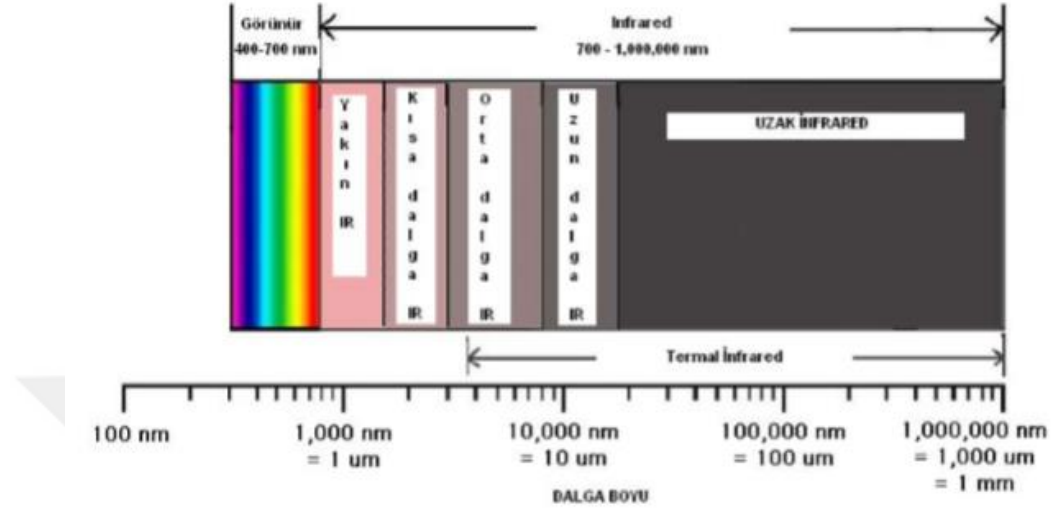
Dezavantajları;

- Sürdürülebilirliği iyi kalibrasyon modelleri geliştirmek yoğun emek istemektedir.
- NIR cihazının ilk satın alma masrafı yüksektir.
- NIR nispi bir teknik olduğundan modeller geliştirmek için ilgili değişkenle alakalı bilgi gerektirmektedir.
- Kalibrasyon modelleri geliştirilecek değişkenlerin her biri için ayrı ayrı tahmin denklemi geliştirilmelidir.
- NIR cihazında denklem geliştirebilmek için kullanılan kemometri teknikleri bilgi ve tecrübe gerektirmektedir (Başlar, 2008).

2.3. NIR' a Yakından Bir Bakış

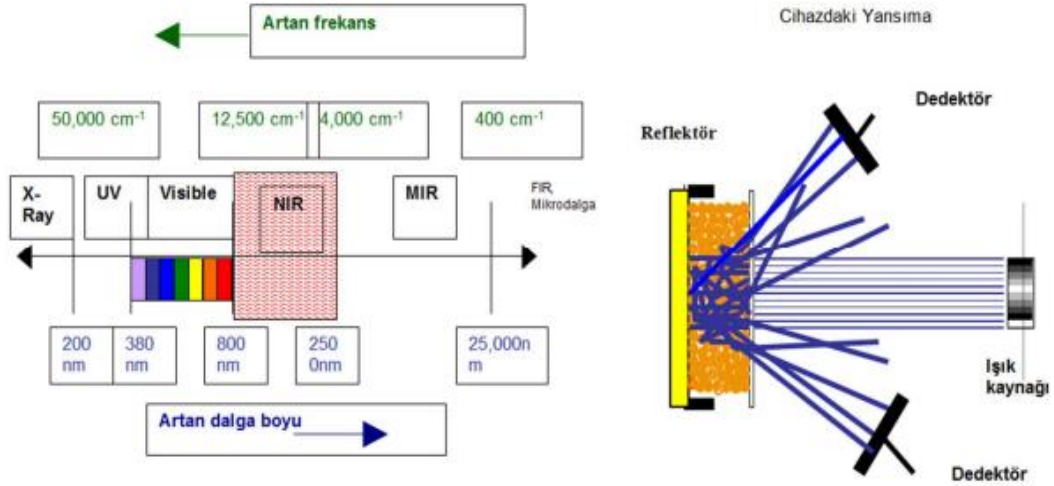
Spektroskopik analizler genel olarak, numunelerin ışığı absorbe etmesi, geçirmesi veya yansıtması gibi özelliklerinin ölçülmesine dayanan enstrümantal analizlerdir (Yetim, 2002). Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi, numune özelliklerine bağlı kalibrasyon eğrilerini geliştirmek için 400 ila 2500 nm (yakın kızılötesi bölge) bölgedeki bir dizi örnek tarafından absorbe edilen radyasyonu kullanan bir tekniktir (Font ve ark., 2003). NIR spektroskopisi, besin madde bileşimiyle

doğrudan ilişkili olan yemin moleküler yapıları hakkında bilgi sağlar. Uzun süredir NIR, yemler, tahıllar, yan ürünler ve silajlar da dahil olmak üzere bir dizi yemin kimyasal bileşimini belirlemek için yem analizlerinde vazgeçilmez bir araç olmuştur (McDonald ve ark., 2011; Manley, 2014; Foskolos ve ark., 2015).



Şekil 2.1. Yakın kızılötesi ve elektromanyetik spektrum (Başlar, 2008)

Kızılötesi spektrumlar fonksiyonel grupların niceliksel bilgilerini içermesi ilkesine dayanmaktadır. Yani, bir numunenin yapısında bulunan O-H, C-H, C-O ve N-H kovalent bağlarını temsil eden kombinasyon bantları hakkında yapısal bilgi sağlar, bu bağlar tarafından absorbe edilen enerjinin farklı formlarda titreşmesi ile spektrum olarak kaydedilir (Garcia-Sanchez ve ark., 2017). Söz konusu bölgede analiz edilecek olan örnek yakın kızılötesi ışınları ile karşılaştığı zaman, bu bağlar titreşimsel enerji değişikliklerine maruz kalmakta ve bunun sonucu olarak da moleküller titreştiğinde NIR bölgesindeki organik moleküllerin enerji absorpsiyonu meydana gelmektedir (Tiryaki, 2006). Yansıyan enerji, logaritma ($\log 1/R$) şeklinde depolanmakta ve spektra, örnekteki kimyasal bağlar hakkında bilgi verebilecek şekle çevrilmektedir (Shenk ve Westerhaus, 1991).



Şekil 2.2. Farklı ışınlar ve NIR cihazlarındaki yansımaya modeli (Nursoy ve Şahin, 2017)

Büyük ve kimyasal olarak çok çeşitli örnek veri kümeleri kullanılması küresel denklemlerin geliştirilmesi, modellerin sağlamlığını, kesinliğini ve doğruluğunu artıracaktır; ancak bu, uzun yıllar ve çeşitli ortamlardan toplanan örneklerinin eklenmesini gerektirecektir (Campbell ve ark., 2022).

Örnekteki suyun güçlü emme bantlarından dolayı yakın kızılötesi yansımaya spektroskopisinin radyasyon emilimine karşı yüksek hassasiyeti bulunmaktadır. Bu bantlar diğer besin maddelerinin spektral özelliklerini örtebilir ve gizleyebilir. Ayrıca, spektrumlar ile kimyasal özellikler arasında doğrusal olmayan ilişkilere yol açabilir. Yakın kızılötesi ile yansımaya ıslak yemlerin analizinin pratik yararları nedeniyle giderek daha popüler hale gelse de, yüksek su içeriğinin NIR analizinin doğruluğu üzerindeki spesifik etkisi hala belirsizliğini korumaktadır. Bu nedenle numunenin su içeriği NIR spektroskopisi tahminlerinin doğruluğunu artırmak için kuru numunelerin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (Lovett ve ark., 2004; Xu ve ark., 2023). Diğer yandan, nem içeriğinin numune hazırlama ve tarama sırasında sıcaklık gibi dış etkenlerden dolayı değişebileceği ve ortam neminin nem tayininin doğruluğunu etkileyebileceği daha önce bildirilmiş olup (Guo ve ark., 2021), örneklerin yaklaşık 25°C oda sıcaklığında analiz edilmesi gerektiği de rapor edilmiştir (Xu ve ark., 2023).

Yem besin maddelerinin bileşimi genellikle kuru madde bazında rapor edilir; bu, özellikle su içeriği değişkenlik gösteren silaj gibi yemler için geçerli bir uygulamadır. Sonuç olarak, kalibrasyonların, genellikle beslenme uzmanları tarafından kullanılan kuru madde bazında ifade edilen verilerle değerlendirilmesi gereklidir. Kuru madde esasına göre oluşturulan kalibrasyonlar, ıslak esaslı verilere göre oluşturulan kalibrasyonlardan daha küçük standart sapmalara yol açar. Varyasyon katsayısı (VK), ıslak bazda ölçümleri için daha yüksek olma eğilimindedir. Bunun nedeni VK'nın hem besin madde hem de nem konsantrasyonlarındaki değişikliklerden etkilenmesidir (Yang ve ark., 2024).

Spektrumlar absorpsiyon bantlarında yaptıkları piklere göre hangi dalga boyunda hangi moleküllerin bulunduğu hakkında bilgi verir. Bu konuda tam kesin bilgiler bulunmamakla birlikte

araştırmacılar tarafından gözlemlenen bazı pikler bildirilmiştir. Meradaki sütçü keçilerin beslenme rejimleri hakkında bilgi edinmek amacıyla yürütülen bir çalışmada dışkının besin madde bileşimi NIR spektroskopisi ile ölçülmüştür. Çalışmada spektrumların nem absorpsiyonu için 1450 ve 1940 nm civarında karakteristik olarak pik yaptığı görülmüştür. 1210, 1726, 1760, 2308 ve 2348 nm'deki bantların yağ asitlerine ve yağ içeriğine karşılık geldiği; 1516, 2056, 2174 ve 2468 nm'deki bantların protein emilimine karşılık geldiği ve dışkı spektrumundaki 1922, 2078–2110, 2268 ve 2420 nm'deki bantların ise lif içeriğine karşılık geldiği bildirilmiştir (Hernandez ve ark., 2023). Özellikle önemli karakteristik zirveler 2000–2100 nm ve 2250–2400 nm bölgelerinde gözlemlenebilir. Bu zirveler, Hoffman ve ark. tarafından tanımlandığı gibi CHO-H dalga bantlarının (karbonhidratlar) ve C-H kimyasal bağlarının (yağ) kombinasyonuna karşılık gelmektedir (Hoffman ve ark., 2001).

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte NIR spektrometreleri tezgâh üstü, taşınabilir ve elde taşınabilir olarak kullanılabilmektedir. Çevrimiçi ve çevrimdışı olarak kullanılması daha yakın mesafede ve hızlı geri bildirim şansı veren bir teknolojidir. Böylece, fiberoptik probu doğrudan öğütülmüş kurutulmuş numunelere uygulayarak, yemdeki söz konusu bileşenlerin anlık ve eş zamanlı olarak tahmin edilmesine ve belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Taşınabilir cihazın tezgâh üstü cihazlarla karşılaştırıldığında benzer bir performans gösterdiği, NIR spektroskopisinin, özellikle metabolik dengenin yüksek oranda tehlikeye girdiği dönemlerde (örneğin buzağılamadan sonra, laktasyonun zirvesinde, metabolik hastalık, ketozis, asidoz) ineklerin beslenmesini teşvik etmek için çiftlikte çok etkili bir yem analitik aracı olabileceği bildirilmiştir (Yakubu ve ark., 2023).



Şekil 2.3. Taşınabilir NIR cihazı

2.4. NIR Sistemlerinde Kalibrasyon ve Doğrulama

Kalibrasyon teknolojisinin amacı; sistemin özellikleri ile kızıl ötesi radyasyonun absorpsiyon ölçü miktarını, örneğin çok bileşenli bir sistemde bir bileşenin konsantrasyonunu göstermektedir. Sinyallerin işlenmesi (fourier ve dalgacık dönüşümü), düzleştirme, filtreleme, türev ve integrasyon için kullanılan algoritmalar vasıtasıyla gerçekleştirilir (Dinç, 2007). Spektral ön işlem genellikle gürültüyü azaltmak için kullanılır. Standart normal değişken (SNV) ön işlemi, bireysel

spektrumların taban çizgisinin düzeltilmesine izin verirken, spektrumların türetilmesi ise taban çizgisi kayması, eğimi, ters dönüşü vb. nedeniyle gürültüyü etkili bir şekilde ortadan kaldırır (Paternostre ve ark., 2021). Her bir reflektans nokta log 10 tabanında log (1/R) şeklinde bir spektra noktasına dönüştürülür. Bu spektral noktalar ile klasik laboratuvar yöntemleri ile belirlenmiş değerler arasında bahsedilen kemometrikler vasıtasıyla bir ilişki kurulur. Bu istatistiksel ilişki metodu kalibrasyonun temelini oluşturur (Cingöz, 2015). Kalibrasyon kalitesi determinasyon katsayısı (R^2) tarafından hesaplanır. Katılar için R^2 değeri 90'dan büyük, sıvılar için R^2 değeri 99'dan büyük olması istenir. Yani R^2 değeri %100 yaklaştıkça kalibrasyon setinin doğruluğunun yüksek olduğu ifade edilir (Conzen, 2006).

Kalibrasyon, genellikle, metodun kalibrasyonu ve bilinmeyen örnek değerinin tespiti şeklinde iki aşamada gerçekleşir; gerçek değer ile tahmin edilen değer karşılaştırılması modelin doğruluğunu gösterir. Doğrulama yapmak için çapraz doğrulama (*Cross Validation*) kullanılır. Çok bileşenli bir sistemde sadece örnekler, sistemi doğrulamak ve kalibre etmek için kullanılır. Çapraz doğrulama aslında daha küçük örnek sayısına olanak sağlar. Mevcut örnek sayısı sınırlı ise özellikle test seti üzerine doğrulama tercih edilmelidir. Daha kompleks yapıdaki örneklerde farklı sıcaklıklar ve nem miktarı gibi faktörler kalibrasyon setinin büyük olmasını gerektirir (Pehlevan, 2014).

Yakın kızılötesi yansıma spektrokopisi ile oluşturulan kalibrasyon modellerinin performansını belirlemek için kalibrasyon istatistiklerinin oranı önemlidir. Ayrıca kalibrasyon için kullanılan referans analiz yöntemlerinin doğru olarak uygulanması gereklidir. Kullanılan örneğin bileşimindeki varyasyon dar bir aralık gösteriyorsa NIR kalibrasyonlarının değerlendirilmesinde hataya neden olabilir. Tahmin denklemi ne kadar doğru olursa, bütün noktalar teorik 1:1 (orjinden geçen doğru) uygunluğun yakınında kümelenmektedir (Murray, 1993).

Kalibrasyonun standart hatası (Standart Error of Calibration: SEC), kalibrasyon veri seti tarafından bir regresyon eşitliği oluşturulduğunda tahmin edilen değerler ile referans değerler arasındaki farklılığı ifade eder. Yüksek R^2 ve SEC değerine sahip bir kalibrasyon oluşturulduktan sonra ise tahminin doğruluğu ve isabetinin değerlendirilmesi için bir validasyon metoduna ihtiyaç vardır. İsabet, zaman zaman validasyon eşitliğinin eğimi üzerinden değerlendirilse bile tahminin doğruluğunun belirlenmesinde tahminin standart hatası (SEP-standart error of prediction) ve çapraz doğrulamanın standart hatası (SECV- standart error of cross validation) denilen diğer tahmin araçları kullanılmaktadır. Tahminin standart hatası, kalibrasyonda kullanılmayan validasyon veri setine başvurulduğu zaman tahmin değerleri ile referans değerler arasındaki farkın varyasyonunu ifade eder. Çapraz doğrulamanın standart hatası ise eşitlik, kalibrasyon veri setindeki alt veri setlerine sırasıyla başvurduğunda ortaya çıkan standart hatadır. Çapraz doğrulamanın standart hatası prosedürü özellikle de veriler tekrar ediliyorsa aşırı iyimser sonuçlar verebilir ancak bu prosedür doğal bir popülasyondan tamamen tesadüfi olarak seçilmiş kalibrasyon örnekleri olduğunda değerlendirilir. Ek olarak SECV; sapmanın değerlendirilmesinde (yani bir validasyon veri setindeki tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların ortalaması) ve buna bağlı olarak

tahmin değerlerinin doğrulanmasında kullanılmaz. Uzun vadede NIR eşitliklerinin sağlamlığı büyük bir problem olarak değerlendirildiğinde SEP prosedürünün SECV prosedürüne göre daha üstün olduğu düşünülse bile her ikisi de isabetin tahmin edilmesinde yaygın şekilde kullanılan prosedürlerdir (Naes ve ark., 2002). Kalibrasyonun doğruluğunu test etmek veya modellerin tahmin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici [$RPD_v = \text{dahili doğrulama seti verilerinin SD} / \text{SEPC}$] kullanılmaktadır. Williams ve Norris (2001), RPD değerinin 2.4' ün üzerinde olması gerektiğini 1.5' un altındaki RPD değerlerinin ise kalibrasyonda kullanılamayacağını bildirmiştir. Modellerin gerçek doğruluğunu değerlendirmek için harici bir veri seti ile doğrulama yapılması gereklidir (Paternostre ve ark., 2021).

Tarım ürünlerini içeren ilk çalışmalarda kalibrasyonlar genellikle kısmi en küçük kareler regresyonu (PLS) veya çoklu doğrusal regresyon (MLR) kullanılarak geliştirilmiştir. Modifiye kısmi en küçük kareler regresyonu (MPLS) regresyonu, her faktörden sonra elde edilen her dalga boyundaki NIR artıkları, bir sonraki faktör hesaplanmadan önce standardize ettiğinden (her dalga boyu, artıkların standart sapmalarına bölünür) diğer regresyon algoritmalarından daha kararlı ve doğru olduğu bildirilmiştir (Guo ve ark., 2021). Araştırmacılar temel analitik uygulamaların ötesine geçtikçe, sonuçları yorumlamaya yardımcı olmak için farklı kemometrik tekniklerin gerekliliği kanısına varmışlardır. Tek değişkenli gruplar için (duyusal analiz) temel bileşen analizi (PCA) ve çoklu değişken gruplar için (gen fenotip tanımlaması) kanonik diskriminant analizi (CDA) gibi teknikler geliştirilmiştir. Son zamanlarda, verilerdeki doğrusal olmayan modelleri tanımlamak için yapay sinir ağı (YSA) analizi kullanılmaktadır (Kramer ve ark., 2004). Kalibrasyon uygulamalarının ötesinde kemometrik tekniklerin ilerlemesiyle kanıtlandığı gibi, bazı araştırmacılar NIR'ın temel analitik kullanımlarının ötesine geçmiş ve temel kompozisyondaki farklılıklara dayalı olarak, analitik olmayan özellikleri tahmin etmede başarı elde etmiştir (Huang ve ark., 2008).

2.5. Yem Besin Madde Analizlerinde NIRs'dan Yararlanma

Besleme uzmanının kurguladığı rasyonla hayvanlar tarafından tüketilen rasyon arasında farklılık besin madde düzeylerinde değişime yol açmaktadır (Sova ve ark., 2014). Hayvanların yetersiz veya aşırı yoğun bir rasyonla beslenmesi yüksek maliyete sebep olur (Weiss, 2004). Yetersiz besin madde içeriği verimi düşürürken, aşırı yoğun besin madde alımı maliyet açısından yük getirmektedir. Yem maliyetleri, herhangi bir hayvancılık işletmesinin en yüksek girdisi olduğundan, besin madde eksiklik ve fazlalıklarını telafi etmek, sürdürülebilir hayvansal üretim için önem arzeder (Sova ve ark., 2014). Bu nedenle de, besin madde içeriğindeki varyasyon uygun şekilde ölçülmesi ve kontrol edilmesi gerekir.

Kays ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada öğütülmüş tahıl ürünlerine ilişkin toplam rasyon lif düzeyinin NIR'la belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, yüksek yağ içeriğine sahip ürünler ile hem yüksek yağ hem de yüksek şeker içeriğine sahip ürünler için 7.07 ve 8.63 RPD (referans kimyasal analiz değerine ait standart sapmanın tahmin hata kareler ortalaması kareköküne

bölümü) ve 0.98 ve 0.99 R^2 katsayılarını elde etmiştir. Bu değerler sindirilebilir lif tahmininde yüksek bir hassasiyete işaret etmektedir. Flinn ve ark. (1998), kırılmamış ve öğütülmüş bezelye ve nohut tohumlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerin NIR’la belirledikleri çalışmada öğütmenin tahmin doğruluğunu artırdığını bildirmiştir. Aynı çalışmada ayrıca, tohumun fiziksel özelliklerinin kırılmamış tohumda, öğütülmüşten daha iyi tahmin edildiği sonucuna da ulaşılmıştır.

Çayır otu silajı kimyasal bileşimi ve NIR spektrumları konulu başka bir çalışmada (Alomar ve ark., 1999), farklı kalitedeki meralardan elde edilen 20 silaj numunesi alt örneklerle ayrılmış ve 65°C’de etüvde veya dondurularak kurutulmuştur. Çalışma sonucunda, kurutmanın spektral özellikler üzerindeki etkili olduğu ve NIR analizinde hata yapılmasından kaçınmak için örnek işlemenin tutarlı olması gerektiği vurgulanmıştır.

Cozzolino ve ark. (2000) tarafından ıslah programlarında mısır bitkilerinin (*Zea mays* L) kimyasal bileşimini tahmin etmek için bir çalışma yürütülmüştür. 1997, 1998 ve 1999 yıllarında farklı yerlerden (toprak tipleri, verimlilik, çeşitler) 400 mısır bitkisi toplanmıştır. Numuneler 60°C sıcaklıkta etüvde 48 saat boyunca sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Çalışma sonucunda, mısır bitkilerinde in vitro organik madde sindirilebilirliklerinin yanı sıra ADF ve NDF’nin, NIRS kullanılarak doğru bir şekilde tahmin edilebileceği ortaya konmuştur. Diğer yandan, iklimsel veya agronomik koşullarla etkileşimde olan parametreler (kuru madde gibi) için yeniden kalibrasyonların gerekebileceği de rapor edilmiştir.

Font ve ark. (2003), tam ve öğütülmüş Hint hardalı, Etiyopya hardalı ve kolza türlerine ait yüz elli örnekte ADF düzeyini NIR spektroskopisi ile tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda modifiye kısmi en küçük kareler regresyonu ile geliştirilen tahmin denklemleri ile hardal tohumlarındaki ADF içeriğinin bitki ıslah programlarında bir analiz aracı olarak kullanmak için yeterli doğrulukla saptanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, tohum rengi ve tür farklılığının NIR spektroskopisi modellerinin doğruluğunu artırdığı da bildirilmiştir.

Andres ve ark. (2005a) tarafından yapılan çalışmada, yem bitkisi örneklerinin kimyasal bileşim ve in vitro sindirilebilirliklerini tahmin etmede NIR teknolojisinin potansiyelini belirlemeye çalışılmıştır. Çalışmada, doğal meralardan toplanan 107 ot numunesi kimyasal bileşimlerini belirlemek için analiz edilmiş ve her bir ot örneğinin in vitro sindirilebilirliği iki farklı in vitro prosedürle ölçülmüştür. Kimyasal bileşenlerin tahmini için geliştirilen tahmin denklemleri, NIR teknolojisinin bu parametreleri doğru bir şekilde tahmin edebildiğini, özellikle de ham protein ve NDF için R^2 değerinin > 0.95 olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada elde edilen kalibrasyon ve validasyon istatistikleri, NIR teknolojisinin botanik olarak karışık ot örneklerinin, özellikle de ham protein ve NDF içeriğinin kimyasal bileşimini doğru bir şekilde tahmin etme potansiyeli olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar örnek sayısı yüksek ve çalışılan yemlerin botanik olarak daha homojen olması gerektiğini de bildirmiştir. Ayrıca, hem NIR spektroskopisi tarafından yapılan tahminlerin doğruluğu hem de in vitro ve in vivo sindirilebilirlik arasındaki ilişki, ot örneklerinin botanik bileşimine bağlı olarak değişebildiği de bildirilmiştir.

Andres ve ark. (2005b), doğal meralardan toplanan bitkilerin farklı botanik bileşim ve vejetatif dönemlerin kimyasal yapı özelliklerini değerlendirmek ve kuru madde ile ham proteinin rumende parçalanabilirliğini tahmin etmek için NIR spektroskopisi kullanmıştır. Çalışmada bitki olgunlaştıkça sap-yaprak oranı, ikincil hücre çeperinde ligninleşme derecesi ve kütiküler tabakanın arttığı tespit edilmiştir. Bu değişikliklerin meralarda baklagil türlerinde daha belirgin olduğu ve bitki dokularını mikrobiyal enzimlerin aktivitesine karşı daha dirençli hale geldiği, bunun da ruminal yıkılabilirliklerinde belirgin bir düşüşe neden olduğu ileri sürülmüştür. Ayrıca, referans verilerinin değişkenliğini, inkübasyonlardan sonra kalan artıklarda N'in belirlenmesiyle ilişkili analitik hataların yanı sıra in situ metodun kendi sınırlamalarının artırdığı da rapor edilmiştir. Çalışma sonucunda NIR spektrumları bağımsız değişken olarak kullanıldığında, kuru madde ve ham proteinin potansiyel veya etkili yıkılabilirliğini yüksek isabet derecesiyle tahminleyebildiği bulunmuştur. Ancak, referans yönteminde inkübasyon kalıntılarının mikrobiyal kontaminasyonu gibi hatalar nedeniyle, kuru madde yıkılabilirliğine nazaran ham protein yıkılabilirliği daha az başarılı olarak tahmin edilmiştir.

Yürütülen bir araştırmada (Cozzolino ve ark., 2006), mısır silajı örneklerinde kuru madde, ADFom, aNDFom, kül, ham protein ve pH tahmini için NIR spektroskopisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda NIR spektroskopisinin, mısır silajı örneklerinde kuru madde, ham protein ve ADFom tahmininde uygun bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, partikül boyutunun mısır silajı numunelerinin kalibrasyonu üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiği de bildirilmiştir.

Mentink ve ark. (2006) tarafından, TMR'deki ham protein, NDF, nişasta, lif olmayan karbonhidrat (NFC) ve yağ gibi temel besin maddeleri için NIR spektroskopisi tahmin modelleri geliştirilmiştir. NIR spektroskopisinin TMR'deki besin içeriğini ve hayvan performansının doğrudan veya dolaylı ölçümlerini tahmin etme potansiyeli ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle süt sığırlarına verilen TMR'de besin madde içeriği, *in vitro* sindirilebilir organik madde, *in vitro* NDF sindirilebilirliği ve in situ ham protein fraksiyonlarını tahmin etmek için NIR spektroskopisinin faydası araştırılmıştır. TMR' nin ham protein, NDF, nişasta, *in vitro* kuru madde ve *in vitro* sindirilmeyen NDF içerikleri, NIR spektroskopisi tarafından, düşük standart tahmin hatalarıyla yüksek derecelerde ($R^2 > 0.85$) isabetle tahmin edilmiştir. NIR spektroskopisi, TMR'nin NFC ($R^2 = 0.83$) ve yağ içeriğini ($R^2 = 0.81$) orta düzeyde tahminlemiştir. NIRS'ın TMR' deki hızlı, yavaş ve yıkılmamış *in situ* ham protein fraksiyonlarını tahmin isabet derecesinin düşük olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, çözünür ham protein, toplam etanolde çözünür karbonhidrat ve *in vitro* NDF sindirilebilirliği de (NDF' nin % 'si) NIRS tarafından isabetle tahmin edilmemiştir. Çalışma sonucunda bazı laboratuvar prosedürlerinin uygun NIRS tahminleri verecek kadar kesin olmadığı öne sürülmüştür. Veriler, NIRS'nin TMR'de HP, NDF, nişasta, NFC ve yağ gibi temel besinleri tahmin etmekte yararlı olduğunu göstermiştir. Diğer yandan, TMR'de *in situ* ham protein fraksiyonları ve *in vitro* NDF sindirilebilirliği gibi anahtar biyolojik besinleri tahmin etmede NIR spektroskopisi kullanılmasında zorluklar saptanmıştır. Bu bileşenlerin NIR spektroskopisiyle

tahminindeki zorluğun, TMR'deki besin madde aralığı ve referans yöntem hata seviyesiyle ilişkili olabileceği öne sürülmüştür.

Campo ve ark. (2013) tarafından yürütülen bir çalışmada, besin madde içeriği bakımından değişkenlik gösteren mısır sapı numunelerinde yapısal olmayan karbonhidratlar, suda çözünür karbonhidratlar, *in vitro* organik madde sindirilebilirliği, organik madde, ham protein, NDF, ADF ve nişasta düzeylerini tahmin etmede NIR spektroskopisi potansiyeli araştırılmıştır. Geniş aralıklı kalibrasyon denklemleri oluşturmak için, seçilen numuneler farklı genetik çeşitlilik kaynaklarından (doğal hatlar, deneysel melezler ve ticari melezler), farklı bölgelerden (Almanya, Fransa ve İspanya), farklı toprak işleme sistemlerinden (geleneksel ve organik) ve farklı vejetasyon dönemlerinden alınan ve 3.000'den fazla örnek NIR spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Bu örneklerden 450'si kalibrasyon için, 87 ise dış doğrulama için seçilmiştir. NIR spektroskopisi tekniğinin suda çözünür karbonhidrat ve yapısal olmayan karbonhidratı yüksek isabetle tahmin edebileceği, *in vitro* organik madde sindirilebilirliğinde ise sapmalar olduğu, organik madde, ham protein, NDF, ADF ve nişastanın NIR spektroskopisi tahminlerinin ise kısmen isabetli olduğu bildirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların kullanılan referans yöntemlerinde laboratuvar hatalarının olması ve rumen sıvısı değişkenliğinden ileri gelebileceği öne sürülmüştür.

Asekova ve ark. (2016), tarafından yürütülen bir çalışmada, soya fasulyesi sapının yem kalitesini belirlemek ve soya ıslah programlarında kullanmak için ham protein, ham selüloz, NDF ve ADF düzeylerini NIR spektroskopisi ile tahmin etmek ve kalibrasyon denklemleri geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışmada, ham protein ve ham yağ modeli için başarılı kalibrasyon denklemleri elde edilmiş, NDF ve ADF modelleri için orta derecede isabetli kalibrasyon denklemleri bulunmuştur. NDF ve ADF için düşük R^2 ve RPDv değerleri, hemiselüloz ve selüloz fraksiyonlarının yağ ve protein içeriği ile negatif korelasyon göstermesinden kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür.

Guo ve ark (2021), ruminant rasyonlarında kullanılan buğday samanı ve mısır sapının kimyasal bileşimini NIR kullanılarak belirlemeye yönelik bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, buğday samanı ve mısır sapı için ortak kalibrasyon ($n=233$) ve doğrulama ($n=58$) setleri oluşturularak geliştirilen kalibrasyon denklemi ile nem (R^2 : 0.78; RPD: 1.87), protein (R^2 : 0.98; RPD: 6.87), NDF (R^2 : 0.80; RPD: 2.21), ADF (R^2 : 0.87; RPD: 2.75) için kabul edilebilir doğrulukta bir tahmin yeteneği olduğunu ancak ADL (R^2 : 0.80; RPD: 2.26) ve hemiselüloz (R^2 : 0.24; RPD: 1.09) için ise sadece tarama amacıyla faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Noel ve ark (2022), domuz beslenmesinde kullanılan yem hammaddeleri ve karma yemlerde besin madde düzeylerini tek bir modelle NIR'da tahmin etmenin mümkün olup olmayacağını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda ham protein (R^2 : 0.78; RPD:2.24), eter ekstrakt (R^2 : 0.95; RPD:3.48), nişasta (R^2 : 0.75; RPD:1.95), ADF (R^2 : 0.90; RPD: 2.88) ve NDF (R^2 : 0.86; RPD:2.43) için tahmin değerlerinin iyi olduğu ancak ham kül (R^2 : 0,34; RPD:1.01) için elde edilen tahmin değerlerinin kullanılamaz olduğunu tespit edilmiştir.

Yakubu ve ark (2023), farklı büyüme aşamalarında hasat edilen kaba yem karışımlarının (İtalyan çimi içeren veya içermeyen) bazı temel besin madde değerlerini tahmin etmek için kalibrasyon modelleri geliştirmek ve silolanmış kaba yem karışımlarının fermantasyon aşamalarını NIR spektroskopisi kullanılarak tanımlamak amacıyla yürüttükleri çalışma sonucunda ham protein ($R^2= 0.96$), ham selüloz ($R^2= 0.95$), eter ekstrakt ($R^2= 0.93$) ve kül ($R^2= 0.96$) için mükemmel determinasyon katsayıları tespit ederken, toplam şeker ($R^2= 0.77$) için orta düzeyde bir determinasyon katsayısı tespit etmiştir.

Yang ve ark (2024), bütün olarak mısır bitkisinde (492 örnek) hem kurutulmuş ve öğütülmüş hem de kurutulmamış ve öğütülmemiş olarak NIR spektroskopisi kalibrasyonlarının doğruluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda en iyi R^2 ve RPD değerlerinin kurutulmuş ve öğütülmüş örneklerde bulunduğu bildirilmiştir. Kuru madde ($R^2: 0.93$; RPD: 30.22), ham kül ($R^2: 0.71$; RPD: 10.49), ham protein ($R^2: 0.91$; RPD: 30.24), eter ekstrakt ($R^2: 0.84$; RPD: 10.46), aNDF ($R^2: 0.95$; RPD: 20.86) ve nişasta ($R^2: 0.95$; RPD: 30.27) için tahmin isabet derecesinin yüksek olduğu rapor edilmiştir.

2.6. Yemlerde Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan Yararlanma

Verim, yemlerin (kaba yemler, konsantreler ve katkı maddeleri) en uygun kombinasyonunu ve ardından rasyonun daha da ince ayarlanması için bir araç olarak çıktılar (süt, idrar ve dışkı) doğru ölçümlerini içeren hassas besleme teknikleriyle artırılabilir. Bu da sindirimi ve genel besin madde kullanılabilirliğini yükseltmektedir. Besin maddelerinin sindirilebilirliği, yem enerji değeri ve yem verimliliğinin değerlendirilmesine olanak sağlayan özelliklerden biridir. Spesifik bir rasyon göz önüne alındığında, sindirilebilirliğin değerlendirilmesi, yemden yararlanmayı artırmak için kullanılabilecek fenotipik bir özelliktir (Babar ve ark., 2013). Yemdeki kuru maddenin rumende yıkılabilirliğinin belirlenmesi, hayvanın performansı üzerinde doğrudan etkisi olan besin maddelerinin kullanımını anlamak için önemlidir.

Yem besin madde içeriklerinin kimyasal analizlerle belirlenmesi ve NIR ile kalibrasyon denklemleri oluşturulması nispeten basit olmakla birlikte farklı besin maddelerinin sindirilebilirliği, in vivo, in vitro ve in situ olarak değerlendirilen geniş bir numune veri tabanı gerektirmekte ve sınırlı kapasite nedeniyle genellikle uzun yıllar almaktadır. Bu nedenle, sindirilebilirlikle ilgili şimdiye kadar geliştirilen NIR spektroskopisi kalibrasyonları sınırlı veri kümeleri üzerinde geliştirilmiş ve veri tabanları güçlü bir model oluşturmak için gereken doğal varyasyonu kapsayacak kadar büyük olmamıştır (Noel ve ark., 2022).

2.6.1. In vivo Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan yararlanma

Dışkı, hayvanlar tarafından tüketilen yemlerin biyolojik ve kimyasal özelliklerini ve ayrıca herbivorun fizyolojik durumunu yansıtan biyolojik bir örnektir. Dışkının NIR spektroskopisi ile bileşiminin belirlenmesi, hayvanın rasyonun bileşimini ve sindirilebilirliği ile tüketilen kuru madde

miktarını tahmin etmek için mükemmel bir araç olarak kabul edilmektedir (Buonaiuto ve ark., 2021). Böylece, rasyon özelliklerini değerlendirmek için dışkı NIR spektroskopisi analizinin, kaba yemlerin NIR spektroskopisi analizinden daha etkili veya daha verimli olabileceği de ileri sürülmüştür (Hernandez ve ark., 2023). Herbivor hayvanların dışkıları, sindirilmemiş kalıntılardan ve son ürünlerden kimyasal bağlar ve fonksiyonel gruplar (örneğin, C-H, O-H ve N-H) içerir ve bunlar, diyetin sindirilebilirliği ile yüksek oranda ilişkili NIR spektral bilgileri sağlayabilmektedir. Elektromanyetik radyasyonun dışkıdaki kuru madde ile etkileşimi, numunedeki kimyasal bileşenler hakkında bilgi verebilir ve spektrumlar daha karmaşık parametrelerle ilişkilendirilebilir (Forero ve ark., 2023). Numune alma sıklığının artırılması, dışkı numunesinin çoğaltılması ve kopyalanması, NIR spektroskopisi kalibrasyonunun olası iyileştirilmesiyle birlikte sindirilebilirlik tahminlerinin doğruluğunu artırmıştır (Guerra ve ark., 2023).

Ot tüketimini tahmin etmek için birçok teknik olmasına karşın bu tekniklerin merada uygulanmaları genellikle zordur. Çoğu durumda, yem tüketim tahminleri otlatma sırasında tüketilen otların ölçülmesine dayanır (Macon ve ark., 2003; Smit ve ark., 2005). Yem tüketimi, enerji gereksinimlerine dayalı hayvan performans ölçümleriyle de tahmin edilebilmektedir (NRC, 2001). Bu yöntemlerin, süt verimi bilinen ineklere uygulanması kolaydır. Dışkı NIR spektroskopisinin otlatma koşullarında uygulanması daha kolaydır, çünkü hayvan manipülasyonu veya ağır analitik prosedürler olmadan yem tüketimi ve sindirilebilirliği tahmin etmek için sadece kurutulmuş ve öğütülmüş dışkı örneklerinin analizi gerekir. NIR spektroskopisi dışkı spektrumunun sindirilebilirliği tahmin etmek için kullanılması, rasyon analizinden çok tüketilen rasyon hakkında daha fazla bilgi sağlar. Dışkı, NIR spektroskopisi yöntemi ile hayvanların beslenme kalitesini tahmin etmek için başarıyla kullanılmıştır (Boval ve ark., 2004). Dışkıda NIR spektroskopisi ile organik madde sindirilebilirliği ve organik madde tüketiminin yapılması için bu parametrelerin rumendeki sindirim hızı (Illius ve Jessop, 1996), bitki özellikleri (Jung ve Allen, 1995) ve hayvan davranışları (Provenza ve ark., 2003) gibi fizyolojik ve metabolik parametreler dikkate alınmalıdır.

Çeşitli NIR spektroskopisi kalibrasyonları, NIR spektroskopisinin yemlerde (Nousiainen ve ark., 2004; Refat ve Yu., 2022) ve sığır dışkılarında sindirilmeyen NDF'yi değerlendirmede iyi bir yeteneği olduğunu göstermiştir. Ayrıca dışkı NIR spektroskopisi kalibrasyonlarının türe özel olması gerekmektedir (Brognia ve ark., 2018). Süt sığırları (Decruyenaere ve ark., 2012), kasaplık sığırlar (Landau ve ark. 2016), süt keçileri (Landau ve ark., 2006, Glasser ve ark., 2008) ve kasaplık koyunlarda (Decruyenaere ve ark., 2016) yapılan çalışmalardan elde edilen dışkıdan NIRs ile rasyon bileşimi, rasyonun sindirilebilirliği ve otlayan ruminant hayvanların yem tüketimi konusunda yeterince bilgilendirme yeteneğini göstermiştir. Bazı çalışmalarda (Righi ve ark. 2017; Brognia ve ark. 2018) NIR spektroskopisi yönteminin hayvan dışkılarındaki kuru madde, ham protein, nişasta, kül, aNDFom, ADF, ADL ve sindirilmemiş NDF'yi (240. saatte) tahmin etmede etkili olduğu gösterilmiştir. Dışkıdaki nişasta konsantrasyonunun hızlı bir şekilde ölçülmesi ve süt ineklerinin nişasta sindirilebilirliğinin öngörülmesi için de kalibrasyonlar geliştirilmiştir (Fredin ve ark. 2014).

Lyons ve Stuth (1992), NIR spektroskopisi analiziyle dışkı örneklerinde kaba yem kalitesinin takip edilebileceğini ileri sürmüştür. Araştırmacılar, dışkıya uygulanan NIR spektroskopisi ile otların *in vivo* sindirilebilirliklerinin geleneksel analiz yöntemleriyle elde edilenle aynı doğrulukta tahmin edilebileceğini göstermiştir. Çalışma sonucunda uygun kalibrasyon denklemleriyle NIR spektroskopisinin, benzer örneklerin sindirilebilirliği ve tüketimini tahmin edebilen hızlı ve yararlı bir teknoloji olduğu da bildirilmiştir.

Kaba yemle beslenen koyunlarda rasyon kalitesi dışkının NIR spektroskopisi ile ölçülmesiyle takip edilebilmiştir (Li ve ark. 2007). Dışkının NIR spektroskopisi ile ölçülmesi sonucu elde edilen veriler, yalnızca otlayan hayvanların rasyon kalitesini izlemek ve iyileştirmek için bir yöntem sunmakla kalmamakta, aynı zamanda hayvancılık işletmelerinde otlatma alanlarının sağlıklı şekilde izlenmesinde de kullanılabilmektedir.

Decruyenaere ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, kaba yemlerde *in vivo* organik madde sindirilebilirliğini tahmin etme ve organik madde tüketimini (OMT, g/kg) hesaplamak için yem ve / veya dışkıya uygulanan yakın kızılötesi yansıtma spektroskopisinin potansiyeli değerlendirilmiştir. Dışkı spektrumları üzerinde çalışmak (tek başına veya birleştirilmiş) hem organik madde sindirilebilirliği hem de organik madde tüketim tahmini için en iyi kalibrasyon denklemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Çalışmada R^2 'nin 0.8' den büyük ve RPD'nin 3' ten daha yüksek olmasından dolayı başarılı kalibrasyonlar geliştirildiği bildirilmiştir.

Decruyenaere ve ark. (2012) tarafından merada konsantre yem takviyesi yapılan süt ineklerinde yapılan çalışmada dışkı NIR spektroskopisi verilerinin ot sindirilebilirliği ve ot tüketimini hızlı ve kolay bir şekilde kaydetmek için kullanılabileceği bildirilmiştir. Bu şekilde meradaki süt sığırlarının besleme yönetimlerinde NIR spektroskopisi sistemleri pratik olarak uygulanabilecektir.

Nirea ve ark. (2018) ve Schiborra ve ark. (2015), besinlerin sindirilebilirliğini tahmin etmek için NIR spektroskopisi dışkı spektrumları kullanılma potansiyelini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Decruyenaere ve ark. (2009), dışkıya (tek başına veya yem spektrumlarıyla birleştirilmiş) uygulanan NIR spektroskopisinin, organik maddenin sindirilebilirliğini veya ruminantların organik madde tüketimini tahmin etme potansiyelini göstermiştir.

Üç *in vivo* sindirilebilirlik denemesinden elde edilen 62 domuz yemi örneği ve 310 dışkı örneğinde kimyasal bileşimler (kuru madde, protein, yağ, kül, selüloz, nişasta, organik madde), besin madde (protein, selüloz, organik madde) sindirilebilirliği ve net enerji (NE) içeriğini tahmin etmek üzere NIR kalibrasyonları geliştirilmiştir. Yem örneklerinde tüm kimyasal bileşimler iyi şekilde tahmin edilirken, dışkı örneklerinde nişasta dışındaki diğer bileşimler doğru şekilde tahmin edilmiştir. Elde edilen besin sindirilebilirliği ve NE tahminleri ise orta düzeyde kalmıştır (Paternostre ve ark., 2021).

Xu ve ark (2023), süt sığırlarında dışkının kimyasal bileşimini yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi kullanılarak tahmin edilmesinin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışma sonunda

kuru madde ($R^2=0.95$, RPD= 4.11), protein ($R^2=0.82$, RPD= 2.29) ve ham kül ($R^2= 0.87$ ve RPD = 1.80) için yüksek düzeyde tahmin doğruluğu elde edilmiştir. NDF ($R^2 = 0.76$ ve RPD = 2.01) ve eter ekstrakt ($R^2= 0.79$ ve RPD=1.52) için tahmin modelleri, orta derecede doğruluk sergilemiştir. Ancak ADF ($R^2 = 0.66$ ve RPD = 1.10) ve nişasta ($R^2 = 0.52$ ve RPD = 1.40) tahmini için kalibrasyon denklemlerinde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir.

2.6.2. *In vitro* ve *In situ* Sindirilebilirliğin Belirlenmesinde NIRs' tan yararlanma

Yemlerde sindirilmeyen NDF'nin *in vitro* ve *in situ* prosedürler kullanılarak belirlenmesi genellikle doğrudur; ancak işkembe bazlı metodolojiler potansiyel olarak hayvanın doğasında olan farklılıklardan ve rumen sıvısının tutarsız doğasından kaynaklanan hatalara maruz kalabilmektedir. İkincisi, donör hayvanların idare edildiği beslenme koşullarındaki farklılıklardan da etkilenebilir. Rumen bazlı teknikler, rumen sıvısının toplanması (*in vitro*) ve uzun inkübasyon süreleri (*in situ*), donör hayvanların bakım maliyetinin yanı sıra hayvan refahı gibi ek kaygılara neden olmaktadır (Ahmadi ve ark., 2022). Kalıcı kanül implantasyonundan sonra peritonit ve rumen içeriğinin sızması gibi bazı komplikasyonlar ortaya çıkabilmektedir. Ekstrüde rumen sıvısı deri lezyonlarına neden olmakta, hoş olmayan bir koku üretmektedir. Ayrıca, büyük miktarda rumen içeriğinin sızması hayvanın dehidrasyonuna yol açabilmektedir (Abreu ve ark., 2022).

Waters ve Givens (1992), spektral verilerin bütün yıkılma özellikleri ile önemli ölçüde ilişkili olmasından dolayı, kimyasal bileşim ile karşılaştırıldığında protein parçalanabilirliğini tahmin etmede NIR spektroskopisinin daha yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Çayır otu ve yonca üzerinde yürütülen bir çalışmada (Antoniewicz ve ark., 1995), *in situ* ham protein ruminal parçalanabilirliği için bir NIR kalibrasyonu geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, NIR spektroskopisi ile ham protein ruminal parçalanabilirliğinin 0.85 ila 0.94 arasında değişen R^2 değerleri ile tahmin edilebileceği bildirilmiştir.

In situ ve *in vitro* laboratuvar yöntemleri ideal olarak *in vivo* sindirilebilirlik verilerine karşı kalibre edilmelidir. Sindirilmeyen NDF' nin belirlenmesinde gerekli olan *in situ* uzun inkübasyon süresi bir dezavantajdır (Krizan ve Huhtanen, 2012).

Kaba yem organik madde sindirilebilirliği, 288 saatlik ruminal *in situ* inkübasyondan sonra belirlenen sindirilmeyen NDF'nin (iNDF) düzeyi, tesbitiyle doğru ve kesin olarak tahmin edilmiştir. (Nousiainen ve ark., 2003). Ayrıca, iNDF ve kaba yem organik madde sindirilebilirliği arasındaki ilişki, organik madde sindirilebilirlik tahminlerinde diğer *in vitro* yöntemlere göre daha tutarlıdır (Huhtanen ve ark., 2006; Krizan ve ark., 2012). Ticari laboratuvarlar tarafından iNDF analizi için hızlı ve uygun maliyetli bir yöntem olarak görüldüğünden, yakın kızılötesi yansıtma spektroskopisinin kalibrasyonu geliştirilmiştir (Nousiainen ve ark., 2004). NIR spektroskopisi, sindirilmeyen NDF (*in situ* metodu; Nousiainen ve ark., 2004) için başarıyla kalibre edilmiş ve bütün Baltık ülkelerinde çiftlik örneklerinin rutin analizinde uygulanmaktadır.

Lundberg ve ark. (2004), NIR spektroskopisinin toplam sindirilebilir besin maddelerini (TDN) ve organik maddenin *in vitro* sindirilebilirliğini tahmin etmede etkili olabileceği sonucuna varmışlardır.

Lovett ve ark. (2004) tarafından yürütülen bir çalışmada, mısır silajının *in vitro* gaz üretimi ve *in situ* tekniklerle saptanan biyolojik parametrelerinin NIR spektroskopisi analizi ile tahmin etme potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmada mısır silajının mikrobiyal fermente edilebilirliği, rumen yıkılabilirliği ve sindirilebilirliği, *in vitro* gaz üretimi, *in situ* yıkılabilirlik ve *in vitro* sindirilebilirlik prosedürleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın materyalini 48 mısır silajı ile dört farklı olgunluk evresinde hasat edilen 12 silajlık mısır çeşidi oluşturmuştur. Çalışma sonucunda NIR spektroskopisi tekniğinin sadece kullanılan referans yöntem kadar iyi olabileceği ve partikül boyutunun küçük olmasının analizlerde aksaklıklara yol açabileceği bildirilmiştir. Araştırma sonucunda, farklı istatistiksel prosedürler ve numune hazırlama yöntemleri üzerinde durulması gerektiği de rapor edilmiştir.

Yürütülen bir çalışmada (Andres ve ark. 2005), doğal meralarda botanik olarak karışık olan ot örneklerinin NDF sindirilebilirliği ve yıkılabilirlik parametrelerini tahmin etmek için kimyasal kompozisyonundan faydalanarak NIR kalibrasyon modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, yaz-sonbahar ikincil büyümesinden sonra toplanan 62 ot örneği kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, NDF fraksiyonunun *in vitro* sindirilebilirliği ve yıkılabilirliği kinetik parametrelerinin, referans yöntemlere karşılık gelen hataların bir sonucu olarak doğru bir şekilde tahmin edilemeyebileceği saptanmıştır.

Yürütülen bir çalışmada kaba yem numunelerinde yıkılma parametreleri ve efektif parçalanmayı tahmin etmede NIRs kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır (Ohlsson ve ark., 2007). Çok yıllık çim ve domuz ayrığı örneklerinde (n=61) kuru madde, ham protein ve NDF'nin yıkılabilirliği *in situ* tekniği kullanılarak tespit edilmiştir. Çim numuneleri üç farklı vejetatif dönemde (erken vejetatif büyüme, erken generatif dönem ve geç generatif dönem) toplanmıştır. Güvenilir referans değerleri elde etmedeki zorluklardan dolayı NIR spektroskopisi tarafından yıkılabilirlik parametreleri için doğru tahmin elde edilememiştir. Kaba yem örneklerinde ham protein ve NDF konsantrasyonları NIR spektroskopisi kullanılarak tahmin edilmiş ve R² değeri sırasıyla 0.98 ve 0.92 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda numunelerin taramalarından elde edilen NIR kalibrasyon tahminlerinin, ruminant yemlerinde kuru madde, ham protein ve NDF' nin yıkılabilirliğinin tespitinde ümit vaat eden bir yöntem olduğu ancak daha yüksek bir doğruluk elde etmek için daha büyük veri kümelerinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Liu ve ark. (2008), kuru madde ve NDF sindirilebilirliğini tahmin etmek için NIR spektroskopisinin uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere toplam 142 silaj örneği kullanmıştır. Çalışma sonunda kullanılan örnek sayısının NIR kalibrasyonu ile bu tür bir sindirilebilirliği tahmin etme yeteneğini test etmek için yeterli olsa da, daha büyük bir popülasyonla kalibrasyon denkleminin isabet derecesinin artabileceği sonucuna varılmıştır.

Krizsana ve ark. (2015) tarafından NIR spektroskopisi kullanılarak farklı ot silajlarında sindirilmeyen NDF tayini için kalibrasyonlar geliştirmiştir. Çalışma sonunda ot silajlarında sindirilmeyen NDF'nin NIR spektroskopisi ile ölçümleri için ortak bir kalibrasyon denkleminin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Campbell ve ark. (2022), kahverengi deniz yosunlarının besin değerini ve *in vitro* kuru madde sindirilebilirliğini ölçmek için yakın kızılötesi ve orta kızılötesi (MIR) spektroskopinin etkinliğini karşılaştırmışlardır. NIR, ham proteinin ve toplam polifenolik içeriğin kantitatif tahmini için yüksek doğruluk göstermiştir. Kül, NDF, ADF, lignin ve *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği modelleri, kantitatif ölçümler için NIR spektroskopisinin uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Yapılan bir çalışmada (Abreu ve ark., 2022), NIR spektroskopisi ile maralfalfanın (fil otunun) *in vitro* sindirilebilirliğini tahmin etmek için kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur. NIR spektroskopisi ile oluşturulan tahmin modellerinin *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği ($R^2=0.95$) ve *in vitro* NDF sindirilebilirliği ($R^2=0.85$) için iyi performans gösterdiği bildirilmiştir ve kanüllü hayvanların kullanımına karşı alternatif bir yöntem olabileceği ileri sürülmüştür.

Molle ve ark. (2023), ağıl koşullarında karışım rasyonlarla beslenen sütçü koyunlarda bireysel yem tüketimi, besin madde sindirilebilirliği, rasyon bileşimi ve otlatma koşullarında grup olarak yem tüketimi, besin madde sindirilebilirliği, rasyon bileşimini kesin ve doğru bir şekilde tahmin edilip edilemediğini dışkıdan NIR ile tespit etmeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda bireysel ot tüketimi, saman tüketimi ve konsantrelerin tüketimi yüksek isabet derecesi ve doğrulukla tahmin ($R^2>0.90$) edilmiştir. Bireysel rasyon kompozisyonunun tahmini (besin madde içerikleri, %) ot ve saman için mükemmel ($R^2=0.97$) ve konsantre için iyi ($R^2=0.95$) olarak tahmin edilmiştir. Rasyondaki besin maddesi oranının tahmini (% KM) NDF, ADF, eter ekstrakt için iyi, ancak NFC için yetersiz olduğu ve bireysel sindirilebilirlik, çapraz doğrulamada zayıf bir şekilde tahmin edilmiştir. Grubun ot tüketimi ise orta düzeyde isabet derecesi ve doğrulukla tahmin edilmiştir. Araştırmacılar, kapalı ortamda karışım rasyonlarla beslenen süt koyunlarında bireysel tüketim ve bireysel rasyon kompozisyonunu tahmin etmede dışkı NIR spektroskopisi verilerinin kullanışlı olduğunu ve otlayan koyunların rasyonundaki ot ve NDF' nin oranını, dışkıdan tahmin etmek için dışkıdan ölçülen NIR spektroskopisi verilerinin kalibrasyon için uygun bir çapraz doğrulama performansını gösterdiğini bildirmiştir.

Guerra ve ark (2023), laktasyondaki mandalarda dışkıdan besin madde sindirilebilirliğinin değerlendirilmesi için belirteç olarak iNDF veya asitte çözünmeyen kül kullanılarak TMR ve dışkı örneğinde NIR spektroskopisinin kullanılabilme potansiyelini araştırmıştır. Araştırmada yapılan dış doğrulama sonucunda, yüksek R^2 ve RPD değerlerine sahip en iyi tahmin modellerinin eter ekstrakt, aNDFom, aNDF, N ve ham protein için ($R^2=0.72-0.83$) olduğu, kuru madde, ham kül, ADF ve asitte çözünmeyen kül için ($R^2=0.60-0.70$) olduğunu, dışkı nişastasını tahmin etmede ise en düşük doğruluğu ($R^2<0.60$) elde ettiklerini bildirilmiştir. Dışkıdan, yağ sindirilebilirliği, NDIN ve ADIN için ise tahmin modeli oluşturulabildiği belirtilmiştir. Toplam 18 tahmin modelinden 10' unun,

sindirilebilirliği tahmin etmede sindirilmeyen NDF kullanılarak daha iyi tahmin edildiği ve en ktu tahmin modellerinin, sindirilmeyen NDF kullanılarak aNDFom ve nişasta sindirilebilirliği için hesaplandığı rapor edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

Mevcut tez çalışması Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (DATAEM) Hacıali yerleşkesinde bulunan Hayvancılık Birimi Süt Sığırcılığı İşletmesinde yürütülmüştür. Tez çalışması kapsamında, dışkıdan nişasta, protein ve NDF sindirilebilirliğinin belirlenmesi için *in vivo* deneme, *in vitro* NDF sindirilebilirliği için *in vitro* deneme ile nişasta, protein ve NDF sindirilebilirliği için ise *in situ* deneme olmak üzere 3 deneme yürütülmüştür. Denemeler 1 Mayıs 2022- 16 Ocak 2024 tarihleri arasında yürütülmüştür.

3.1. Materyal

3.1.1. Hayvan Materyali

Tez çalışmasının *in vivo* denemelerinde kullanılan 20 baş Siyah Alaca ırkı süt ineği ile *in vitro* ve *in situ* denemelerinde kullanılan 2 baş Siyah Alaca ırkı reforme süt ineğinin kullanımı, Çukurova Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu tarafından “22.04.2022 tarih ve 2022/10 karar nolu yazısı ile onaylanmıştır (Ek A)”.

Rumen Kanüllü İnekler

Tez çalışmasının *in vitro* ve *in situ* denemelerini yürütmek üzere DATAEM Süt Sığırcılığı Biriminde bulunan üreme problemlerinden dolayı reforme edilmiş 72 ile 96 ay yaşta ve sırasıyla 987.5 ile 910.0 kg canlı ağırlıkta, 2 baş Siyah Alaca ırkı ergin ineğe rumen kanülü takılmıştır. Rumen kanülü ticari bir firmadan (Ankom, USA) temin edildikten sonra, deneme başlamadan 6 ay öncesinde ineklere takılmıştır. İneklerin cerrahi operasyondan 24 saat önce yem ve 12 saat önce su tüketimi kısıtlanmıştır (Lafin, 2008). İneklere rumen kanülü (#1C, merkez çap: 10 cm, Bar Diamond, Parma, Hindistan) bu alanda teknik bilgi ve donanıma sahip Veteriner hekimler tarafından takılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Rumen kanülü ve rumen kanülünün ineklere uygulanması

Rumen kanüllü inekler kaba yem: kesif yem oranı 80:20 (havada kuru) olan toplam karışım rasyon (TMR) ile yaşama payı+ %10 düzeyinde beslenmişlerdir. TMR bileşiminde 3.2 kg sığır süt yemi (19 ham proteinli), 7.4 kg mısır silajı, 2.1 kg yonca kuru otu ve 3.2 kg buğday samanı yer almıştır. TMR'ler sabah ve akşam olmak üzere günde iki öğüne bölünerek verilmiştir. İneklerin önünde otomatik suluklarda su taze ve sürekli olarak bulundurulmuştur.



Şekil 3.2. Rumen kanüllü inekler

In Vivo Denemede Kullanılan İnekler

Süt sığırlarında kuru madde tüketimini etkileyen faktörler arasında fizyolojik dönem de bulunur. Kuru madde tüketimi yemlerin sindirim sisteminde kalma süresini etkilemekte ve dolayısıyla sindirilebilirlik üzerinde rol oynamaktadır. Bu husus göz önünde bulundurularak mevcut tez projesinde farklı fizyolojik dönemlerde (kuru dönem, erken laktasyon, laktasyonun ortası ve sonu) bireysel yem tüketimi belirlenen hayvanlarda dışkı örneklerinin toplanması üzerinde durulmuştur. Bu amaçla hayvan materyali olarak yine DATAEM Süt Sığırcılığı Biriminde bulunan her bir fizyolojik dönem için 5 baş olmak üzere toplam 20 baş Siyah Alaca inek kullanılmıştır. Hayvanların seçimi sırasında canlı ağırlık ve vücut kondisyon skorlarının benzer olmasına özen gösterilmiştir. Deneme başında farklı fizyolojik dönemlerde olan ineklerin laktasyon sayıları (LS), deneme başında kuruda oldukları süre (KGS) ya da sağılan gün sayıları (SGS), canlı ağırlıkları (CA) ve vücut kondisyon skorları (VKS) Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kuru dönemde, laktasyon başlangıcında ve laktasyonun sonundaki inekler 4 yaşında, laktasyon ortasındaki inekler ise 3 yaşındadır. Kuru dönemde ve laktasyon ortasındaki ineklerin LS’ları 1, laktasyon başlangıcı ve laktasyon sonundaki ineklerin LS’ları ise 2’dir. Kurudaki ineklerde KGS 42 ± 1.21 (ortalama $\pm$ standart hata) gündür. Laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonundaki ineklerin SGS’ları sırasıyla 37.0 ± 3.57 , 142.0 ± 1.66 ve 239.0 ± 4.11 (ortalama $\pm$ standart hata) gündür.

Çizelge 3.1. Farklı fizyolojik dönemlerde yem tüketiminin belirlenmesi amacıyla yürütülen denemelerde hayvan materyaline ait tanımlayıcı değişkenler (ortalama $\pm$ standart hata)

Değişken	Laktasyon Dönemleri			
	Kuru dönem	Laktasyon başlangıcı	Laktasyon ortası	Laktasyon sonu
İnek sayısı (n)	5	5	5	5
Yaş (yıl)	4	4	3	4
Laktasyon sayısı	1	2	1	2
Kuruda olduğu süre (gün)	42.0 ± 1.21	-	-	-
Sağılan gün sayısı (gün)	-	37.0 ± 3.57	142.0 ± 1.66	239.0 ± 4.11
Canlı ağırlık (kg)	759.2 ± 52.30	668.6 ± 26.89	534.7 ± 7.27	626.1 ± 39.92
Vücut kondisyon skoru	3.4 ± 0.22	3.2 ± 0.15	3.05 ± 0.05	3.35 ± 0.06

3.1.2. Deneme Bölmeleri

Hayvanların bireysel performanslarını takip etmek üzere 4×4 m boyutlarında bölmeler oluşturulmuştur. Bölmelerde zemin beton olup otomatik suluklar yer almıştır (Şekil 3.3). Hayvanların önünde sürekli taze ve temiz su otomatik suluklar vasıtasıyla sağlanmıştır.



Şekil 3.3. Deneme gruplarında bulunan hayvanların barındırıldığı bireysel bölmeler

3.1.3. Yem Materyali

Fizyolojik dönemler için TMR formülasyonları oluşturulmuştur. TMR formülasyonlarında DATAEM hayvancılık İşletmesinde bulunan yem hammaddeleri esas alınmıştır. *In vivo* denemede fizyolojik dönemlere göre hazırlanan TMR' leri oluşturan hammaddelere ait besin madde bileşimleri (kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta) Çizelge 3.2'de verilmiştir. Rasyonu buğday, arpa, ayçiçeği küspesi, soya fasulyesi küspesi, sığır süt yemi (19 HP), fiğ-buğday silajı, buğday silajı, buğday samanı, yonca kuru otu ve yer fıstığı sapı oluşturmıştır.

Çizelge 3.2. Fizyolojik dönemlere göre oluşturulan TMR'lerin bileşiminde bulunan hammaddelere ait besin madde bileşimi (havada kuru, %)¹

Hammaddeler	Kuru madde	Ham kül	Eter ekstrakt	Ham protein	ADFom	aNDFom	ADLom	ADIP	NDIP	Nişasta
Buğday	91.2 ± 0.10	1.2 ± 0.04	2.1 ± 0.05	13.2 ± 0.07	2.7 ± 0.00	9.6 ± 0.11	0.2 ± 0.00	0.4 ± 0.01	1.0 ± 0.31	62.2 ± 0.13
Mısır	89.7 ± 0.03	0.9 ± 0.01	3.3 ± 0.16	7.0 ± 0.52	3.2 ± 0.00	15.0 ± 0.03	0.5 ± 0.00	0.6 ± 0.01	1.7 ± 0.11	62.6 ± 0.19
Arpa	92.4 ± 2.70	2.3 ± 0.04	1.9 ± 0.02	10.6 ± 0.03	4.3 ± 0.00	30.9 ± 0.15	0.3 ± 0.06	0.5 ± 0.02	1.9 ± 0.29	53.6 ± 0.38
Ayçiçeği küspesi	90.2 ± 0.08	6.5 ± 0.13	0.4 ± 0.03	29.2 ± 0.37	34.5 ± 0.00	38.9 ± 0.14	12.6 ± 0.06	1.6 ± 0.03	3.8 ± 0.09	4.0 ± 0.10
Soya küspesi	88.0 ± 0.06	6.7 ± 0.07	0.8 ± 0.02	42.9 ± 0.41	5.3 ± 0.05	6.9 ± 0.20	0.3 ± 0.06	1.5 ± 0.1	0.9 ± 0.03	8.4 ± 0.10
Süt yemi 19 HP	93.1 ± 2.59	8.0 ± 0.12	0.9 ± 0.21	19.1 ± 0.12	9.0 ± 0.01	19.3 ± 0.21	2.5 ± 0.00	0.9 ± 0.03	2.2 ± 0.04	35.3 ± 0.22
Fiğ buğday silajı	29.3 ± 0.00	8.6 ± 0.18	2.1 ± 0.01	8.2 ± 0.14	36.5 ± 0.03	45.7 ± 0.22	7.1 ± 0.02	0.8 ± 0.00	0.9 ± 0.03	7.8 ± 0.25
Buğday silajı	32.6 ± 0.00	6.5 ± 0.20	2.5 ± 0.09	6.8 ± 0.02	33.6 ± 0.16	49.8 ± 0.16	7.3 ± 0.04	0.7 ± 0.01	0.9 ± 0.07	1.7 ± 0.03
Mısır silajı	30.4 ± 0.00	2.1 ± 0.02	1.8 ± 0.02	6.2 ± 0.09	27.9 ± 0.00	45.2 ± 0.23	4.6 ± 0.01	0.6 ± 0.04	0.7 ± 0.01	16.3 ± 0.06
Buğday samanı	92.7 ± 0.54	10.1 ± 0.36	1.0 ± 0.06	2.7 ± 0.10	46.6 ± 0.02	69.5 ± 0.10	7.2 ± 0.07	1.1 ± 0.01	0.9 ± 0.01	0.2 ± 0.06
Yonca kuru otu	94.0 ± 0.23	8.4 ± 0.09	1.7 ± 0.04	16.6 ± 0.24	32.6 ± 0.03	40.1 ± 0.02	6.4 ± 0.00	0.8 ± 0.01	2.1 ± 0.00	4.3 ± 0.16
Yer fıstığı sapı	93.7 ± 0.67	13.7 ± 0.49	2.0 ± 0.05	5.7 ± 0.04	31.1 ± 0.02	42.0 ± 0.07	9.6 ± 0.11	0.9 ± 0.03	1.5 ± 0.01	11.1 ± 0.16

¹ Değerler, ortalama±standart hata şeklinde verilmiştir. HP: Ham protein, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: Nötr deterjanda çözünmeyen protein. Analizler 3 tekerrürlü yapılmıştır.

Fizyolojik dönemlere göre ayrılmış deneme gruplarının günlük olarak tükettikleri TMR formülasyonları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Fizyolojik dönemlere göre TMR bileşimleri (havada kuru, kg/gün)

Hammaddeler	Fizyolojik Dönemler (kg/gün)			
	Laktasyon başlangıcı	Laktasyon ortası	Laktasyon Sonu	Kuru Dönem
Arpa	0.6	1.5	1.5	0.5
ATK 25HP	4.2	1.5	1.0	1.0
Buğday	0.9	1.0	1.0	0.8
SFK 46 HP	1.4	2.0	1.5	1.2
Mısır	2.6	2.0	2.5	2.3
Buğday samanı		2.0	4.0	6.2
Fiğ Buğday Silajı	12.0	13.0	10.0	3.4
Mısır Silajı	18.0	17.0	15.0	
Buğday Silajı				10.4
Yerfıstığı sapı	2.0	1.0	2.0	
Mermer tozu	0.2			0.1
Tuz	0.1			0.1
Vitamin-mineral	0.1			0.1
Toplam	42.1	41.0	38.5	26.1

ATK: Ayçiçeği tohumu küspesi, SFK: Soya fasulyesi küspesi, HP: Ham protein.

3.1.4. TMR ve Dışkı Örneklerine ait Besin Madde Bileşimi ve Sindirilebilirliklerine ait Veriler

Laktasyonun Başlangıç Döneminde Kullanılan TMR’ ye ait Besin Madde Bileşimi

In vivo denemede laktasyonun başlangıç döneminde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.4’ te verilmiştir. TMR örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 50.5±0.90, 9.5±1.22, 1.1±0.10, 14.3±1.08, 26.5±2.04, 40.5±1.93, 6.0±1.48, 1.7±0.29, 1.8±0.10 ve 16.8±0.98 bulunmuştur.

Çizelge 3.4. Laktasyonun başlangıcında kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	10	50.5	0.90	49.4	52.7	2.0	5	50.3	0.92	49.4	51.7	2.0
Ham kül	10	9.5	1.22	8.3	11.8	13.0	5	9.8	1.37	8.6	11.6	14.0
Eter ekstrakt	10	1.1	0.10	0.9	1.2	10.0	5	1.2	0.21	0.9	1.5	18.0
Ham protein	10	14.3	1.08	12.8	16.0	8.0	5	14.7	1.10	13.1	15.7	8.0
ADFom	10	26.5	2.04	22.7	29.3	8.0	5	27.0	1.24	25.6	28.6	5.0
aNDFom	10	40.5	1.93	38.0	43.6	5.0	5	39.6	1.36	38.0	41.1	3.0
ADLom	10	6.0	1.48	3.9	8.4	25.0	5	5.4	0.70	4.8	6.4	13.0
ADIP	10	1.7	0.29	1.4	2.3	17.0	5	1.5	0.41	1.2	2.2	28.0
NDIP	10	1.8	0.10	1.7	2.0	6.0	5	1.9	0.06	1.8	2.0	3.0
Nişasta	10	16.8	0.98	15.3	18.3	6.0	5	17.4	0.80	16.7	18.3	5.0

n: Örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: Asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: Nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Başlangıç Döneminde Bulunan İneklerden Toplanan Dışkıya ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda laktasyon başlangıç döneminde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.5’ de verilmiştir. Dışkı örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 14.3±0.75, 15.9±0.93, 0.6±0.45, 12.5±0.62, 31.8±1.84, 54.5±2.24, 13.3±1.11, 3.1±0.29, 4.2±0.35 ve 1.6±0.65 bulunmuştur.

Çizelge 3.5. Laktasyonun başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	50	14.3	0.75	12.8	15.7	5.0	25	14.1	0.76	12.8	15.5	5.0
Ham kül	50	15.9	0.93	14.0	18.2	6.0	25	15.7	0.73	14.3	16.7	5.0
Eter ekstrakt	50	0.6	0.45	0.1	1.8	3.0	25	0.5	0.32	0.1	1.1	10.0
Ham protein	50	12.5	0.62	11.1	14.2	5.0	25	12.3	0.49	11.1	13.2	4.0
ADFom	50	37.8	1.84	31.5	42.5	5.0	25	38.0	1.58	35.5	42.5	4.0
aNDFom	50	54.5	2.24	49.6	60.3	4.0	25	54.7	2.35	49.6	60.3	4.0
ADLom	50	13.3	1.11	10.4	15.7	8.0	25	13.1	1.11	11.1	15.2	9.0
ADIP	50	3.1	0.29	2.2	4.0	9.0	25	3.1	0.31	2.6	4.0	10.0
NDIP	50	4.2	0.35	3.5	4.9	8.0	25	4.1	0.33	3.5	4.9	8.0
Nişasta	50	1.6	0.65	0.5	3.3	4.0	25	1.5	0.54	0.5	2.4	35.0

n: Örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: Amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: Asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: Nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Başlangıç Döneminde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirliğe ait Veriler

In vivo deneme sonucunda laktasyonun başlangıç döneminde bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.6’ da verilmiştir. Dışkıdan kuru madde sindirilebilirliği, organik madde sindirilebilirliği, ham protein sindirilebilirliği, NDF sindirilebilirliği ve nişasta sindirilebilirliği % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 71.6±1.58, 73.7±1.52, 75.0±2.37, 61.5±2.85 ve 97.3±1.07 bulunmuştur.

Çizelge 3.6. Laktasyon başlangıcında dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişken	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
KMS	50	71.6	1.58	68.7	74.5	2.0	25	71.9	1.60	68.8	74.5	2.0
OMS	50	73.7	1.52	70.7	76.4	2.0	25	74.0	1.51	70.7	76.4	2.0
HPS	50	75.0	2.37	70.3	79.6	3.0	25	75.3	2.17	71.3	79.1	3.0
NDFS	50	61.5	2.85	54.8	70.0	5.0	25	61.2	2.62	55.7	68.5	4.0
NISS	50	97.3	1.07	94.8	99.1	1.0	25	97.2	1.21	94.4	99.0	1.0

n: örnek sayısı, n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği.

Laktasyonun Orta Döneminde Kullanılan TMR’ ye ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda laktasyonun orta döneminde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.7’ de verilmiştir. TMR örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 49.4±1.03, 8.2±0.35, 1.7±0.26, 12.7±0.39, 24.3±1.27, 37.9±0.97, 4.5±0.94, 1.7±0.28, 2.2±0.22 ve 16.3±1.53 bulunmuştur.

Çizelge 3.7. Laktasyonun ortasında kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	10	49.4	1.03	47.9	51	2.0	5	49.0	1.44	47.3	51.0	3.0
Ham kül	10	8.2	0.35	7.6	8.6	4.0	5	7.9	0.58	7.1	8.6	7.0
Eter ekstrakt	10	1.7	0.26	1.1	2	16.0	5	1.8	0.27	1.3	2.0	15.0
Ham protein	10	12.7	0.39	11.9	13.2	3.0	5	13.0	0.65	12.2	14.0	5.0
ADFom	10	24.3	1.27	21.9	25.9	5.0	5	24.1	1.63	21.9	25.8	7.0
aNDFom	10	37.9	0.97	36.5	39.4	3.0	5	38.2	0.75	37.2	39.3	2.0
ADLom	10	4.5	0.94	3.3	6.4	21.0	5	4.9	0.91	4.1	6.4	19.0
ADIP	10	1.7	0.28	1.4	2.4	17.0	5	1.8	0.16	1.6	2.0	9.0
NDIP	10	2.2	0.22	1.9	2.5	10.0	5	2.4	0.12	2.2	2.5	5.0
Nişasta	10	16.3	1.53	14.7	19.3	9.0	5	15.5	0.49	14.9	16.0	3.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Orta Döneminde Bulunan İneklerden Toplanan Dışkıya ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda laktasyonun orta döneminde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.8’ de verilmiştir. Dışkı örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 14.0±1.09, 14.4±1.31, 1.1±0.27, 11.7±0.87, 36.2±2.00, 55.6±2.14, 12.5±1.05, 2.9±0.28, 4.0±0.31 ve 1.5±0.63 bulunmuştur.

Çizelge 3.8. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	n	Kalibrasyon veri seti					n	Dış doğrulama veri seti				
		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	50	14.0	1.09	12.4	16.4	8.0	25	13.8	0.87	12.5	15.2	6.0
Ham kül	50	14.4	1.31	12.8	18.8	9.0	25	14.7	1.22	13.0	18.2	8.0
Eter ekstrakt	50	1.1	0.27	0.7	1.9	24.0	25	1.2	0.21	0.9	1.7	18.0
Ham protein	50	11.7	0.87	9.8	13.3	8.0	25	11.4	0.79	9.9	12.7	7.0
ADFom	50	36.2	2.00	30.3	40.0	6.0	25	36.0	1.89	31.0	38.3	5.0
aNDFom	50	55.6	2.14	50.4	59.6	4.0	25	55.2	1.95	51.9	59.0	4.0
ADLom	50	12.5	1.05	9.7	15.5	9.0	25	12.3	0.90	10.9	14.6	7.0
ADIP	50	2.9	0.28	2.3	3.5	10.0	25	2.8	0.29	2.4	3.3	10.0
NDIP	50	4.0	0.31	3.3	4.6	8.0	25	3.9	0.37	3.1	4.4	10.0
Nişasta	50	1.5	0.63	0.4	2.7	13.0	25	1.4	0.52	0.5	2.5	38.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Orta Döneminde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirliğe ait Veriler

In vivo deneme sonucunda laktasyonun ortasında bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.9’ de verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 71.6±2.26, 73.7±1.94, 73.6±1.95, 57.6±3.87 ve 97.4±0.99 bulunmuştur.

Çizelge 3.9. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişken	n	Kalibrasyon veri seti					n	Dış doğrulama veri seti				
		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
KMS	50	71.6	2.26	66.8	74.9	3.0	25	71.8	2.13	67.0	74.7	3.0
OMS	50	73.7	1.94	69.8	76.7	3.0	25	73.4	1.70	69.8	76.3	2.0
HPS	50	73.6	1.95	68.8	77.9	3.0	25	73.9	1.93	70.2	77.7	3.0
NDFS	50	57.6	3.87	47.9	64.6	7.0	25	57.9	3.77	48.6	63.7	7.0
NISS	50	97.4	0.99	95.4	99.1	1.0	25	97.2	1.17	95.0	99.0	1.0

n: örnek sayısı, n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği.

Laktasyonun Son Döneminde Kullanılan TMR' ye ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda laktasyonun son döneminde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.10' de verilmiştir. TMR örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 53.5±1.55, 9.9±1.56, 2.0±0.35, 13.0±0.92, 23.9±1.49, 39.1±1.71, 6.3±1.27, 1.6±0.13, 2.4±0.27 ve 15.2±1.20 bulunmuştur.

Çizelge 3.10. Laktasyonun sonunda kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	10	53.5	1.55	50.9	55.6	3.0	5	53.7	1.79	50.9	55.5	3.0
Ham kül	10	9.9	1.56	7.5	12.5	16.0	5	9.5	0.95	8.0	10.5	10.0
Eter ekstrakt	10	2.0	0.35	1.5	2.5	17.0	5	2.4	0.50	1.5	2.8	21.0
Ham protein	10	13.0	0.92	11.0	14.0	7.0	5	12.7	0.93	11.6	13.7	7.0
ADFom	10	23.9	1.49	21.2	26.5	6.0	5	23.4	0.89	22.5	24.5	4.0
aNDFom	10	39.1	1.71	37.2	42.4	4.0	5	38.8	2.05	37.3	42.4	5.0
ADLom	10	6.3	1.27	4.2	8.5	20.0	5	5.9	0.79	4.7	6.7	14.0
ADIP	10	1.6	0.13	1.4	1.9	8.0	5	1.5	0.03	1.5	1.6	2.0
NDIP	10	2.4	0.27	2.0	3.0	11.0	5	2.6	0.35	2.0	3.0	14.0
Nişasta	10	15.2	1.20	13.7	17.3	8.0	5	14.8	0.72	13.9	15.7	5.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Son Döneminde Bulunan İneklerden Toplanan Dışkıya ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda laktasyonun son döneminde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.11' de verilmiştir. Dışkı örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 14.5±0.96, 15.1±1.91, 0.9±0.12, 13.0±0.83, 36.3±1.52, 54.9±1.76, 13.0±0.96, 2.7±0.25, 4.1±0.34 ve 1.6±0.53 bulunmuştur.

Çizelge 3.11. Laktasyonun sonunda bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	n	Kalibrasyon veri seti					n	Dış doğrulama veri seti				
		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	50	14.5	0.96	13.0	17.3	7.0	25	14.3	0.79	13.0	15.7	6.0
Ham kül	50	15.1	1.91	11.7	22.5	13.0	25	15.4	2.24	12.0	22.5	15.0
Eter ekstrakt	50	0.9	0.12	0.7	1.3	13.0	25	0.9	0.11	0.7	1.2	12.0
Ham protein	50	13.0	0.83	11.4	14.6	6.0	25	12.6	0.75	11.4	14.2	6.0
ADFom	50	36.3	1.52	33.4	40.1	4.0	25	36.0	1.25	33.8	37.9	4.0
aNDFom	50	54.9	1.76	48.8	57.7	3.0	25	55.2	1.74	50.2	57.5	3.0
ADLom	50	13.0	0.96	10.9	15.3	7.0	25	13.4	0.92	10.8	15.3	7.0
ADIP	50	2.7	0.25	2.0	3.2	9.0	25	2.5	0.30	2.0	3.2	12.0
NDIP	50	4.1	0.34	3.4	4.7	6.0	25	3.8	0.42	3.1	4.7	11.0
Nişasta	50	1.6	0.53	0.7	2.7	34.0	25	1.4	0.44	0.7	2.3	30.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Laktasyonun Son Döneminde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirliğe ait Veriler

In vivo deneme sonucunda laktasyonun son döneminde bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.12’ de verilmiştir. Dışkıdan KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 72.8±1.82, 74.5±1.90, 72.4±2.74, 61.3±2.94 ve 97.2±1.00 bulunmuştur.

Çizelge 3.12. Laktasyonun son döneminde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	n	Kalibrasyon veri seti					n	Dış doğrulama veri seti				
		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)		Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
KMS	50	72.8	1.82	67.9	76	3.0	25	72.6	1.88	68.2	75.7	3.0
OMS	50	74.5	1.90	69.1	77.9	3.0	25	74.9	1.54	72.2	77.6	2.0
HPS	50	72.4	2.74	65.3	77.2	4.0	25	73.0	2.75	66.4	77.2	4.0
NDFS	50	61.3	2.94	55.3	69.1	5.0	25	61.2	2.96	55.3	68.3	5.0
NISS	50	97.2	1.00	94.8	98.7	1.0	25	97.0	1.16	94.3	98.7	1.0

n: örnek sayısı, n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği.

Kuru Dönemde Kullanılan TMR’ ye ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda kuru dönemde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.13’ te verilmiştir. TMR örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 53.7±3.89, 8.8±0.63, 1.7±0.25, 10.5±2.22, 28.1±4.52, 45.3±5.25, 5.0±1.74, 1.9±0.47, 2.1±0.37 ve 12.2±2.62 bulunmuştur.

Çizelge 3.13. Kuru dönemde kullanılan TMR örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	20	53.7	3.89	49.6	60.4	7.0	10	53.3	4.45	48.2	60.2	8.0
Ham kül	20	8.8	0.63	7.5	9.9	7.0	10	8.5	0.76	7.3	9.7	9.0
Eter ekstrakt	20	1.7	0.25	1.3	2.4	15.0	10	1.8	0.21	1.5	2.2	12.0
Ham protein	20	10.5	2.22	7.4	13.6	21.0	10	10.2	2.06	7.5	13.2	20.0
ADFom	20	28.1	4.52	22.2	35.8	16.0	10	28.7	4.09	22.8	35.6	14.0
aNDFom	20	45.3	5.25	38.6	56.2	12.0	10	46.1	4.88	39.1	55.9	11.0
ADLom	20	5.0	1.74	1.5	7.7	35.0	10	5.7	0.97	4.2	6.9	17.0
ADIP	20	1.9	0.47	1.4	2.8	25.0	10	1.7	0.50	1.3	2.8	29.0
NDIP	20	2.1	0.37	1.6	2.7	17.0	10	2.0	0.19	1.7	2.3	10.0
Nişasta	20	12.2	2.62	8.5	15.4	22.0	10	11.8	2.33	8.5	14.5	20.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Kuru Dönemde Bulunan İneklerden Toplanan Dışkıya ait Besin Madde Bileşimi

In vivo deneme sonucunda kuru dönemde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.14' da verilmiştir. Dışkı örneklerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta içerikleri % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 14.9±1.56, 14.5±1.41, 0.7±0.31, 11.2±2.48, 37.0±2.98, 55.5±3.34, 12.0±1.16, 2.7±0.44, 3.5±0.52 ve 1.4±0.67 bulunmuştur.

Çizelge 3.14. Kuru dönemde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Kuru dönemde bulunan hayvanlardan alınan dışkı örneklerine ait tanımlayıcı istatistikler												
Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort.	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort.	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru madde	100	14.9	1.56	12.2	19.6	11.0	50	14.7	1.46	12.3	18.8	10.0
Ham kül	100	14.5	1.41	9.4	17.0	10.0	50	14.4	1.47	9.7	16.5	10.0
Eter ekstrakt	100	0.7	0.31	0.1	1.9	14.0	50	0.7	0.24	0.1	1.0	37.0
Ham protein	100	11.2	2.48	7.4	15.4	22.0	50	11.0	2.47	7.6	14.9	22.0
ADFom	100	37.0	2.98	30.6	43.0	8.0	50	36.8	3.13	30.6	41.5	9.0
aNDFom	100	55.5	3.34	48.2	63.6	6.0	50	55.7	3.42	49.2	63.6	6.0
ADLom	100	12.0	1.16	9.3	15.3	10.0	50	11.8	1.16	9.8	14.9	10.0
ADIP	100	2.7	0.44	1.9	3.7	17.0	50	2.6	0.41	2.0	3.3	16.0
NDIP	100	3.5	0.52	2.2	4.8	15.0	50	3.4	0.58	2.2	4.5	17.0
Nişasta	100	1.4	0.67	0.5	3.7	18.0	50	1.3	0.65	0.6	3.6	19.0

n: örnek sayısı, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, ADFom: Külsüz ADF, aNDFom: amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ADLom: Külsüz ADL, ADIP: asit deterjanda çözünmeyen protein, NDIP: nötr deterjanda çözünmeyen protein.

Kuru Dönemde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirliğe ait Veriler

In vivo deneme sonucunda kuru dönemde bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.15’ de verilmiştir. Dışkıdan KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 72.3±2.08, 74.1±2.04, 70.6±4.41, 66.0±3.83 ve 96.4±2.60 bulunmuştur.

Çizelge 3.15. Kuru dönemde dışkıdan sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişken	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
KMS	100	72.3	2.08	64.1	76.4	3.0	50	72.1	2.05	64.9	75.5	3.0
OMS	100	74.1	2.04	65.7	78.2	3.0	50	73.9	2.08	66.3	77.5	3.0
HPS	100	70.6	4.41	54.0	79.9	6.0	50	70.4	4.33	54.6	80.0	6.0
NDFS	100	66.0	3.83	56.1	76.2	6.0	50	65.8	3.88	56.4	76.0	6.0
NISS	100	96.4	2.60	87.6	99.1	3.0	50	96.9	1.76	91.0	98.9	2.0

n: örnek sayısı, n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği.

In vitro Sindirilebilirliğe ait Veriler

In vitro deneme sonucunda laktasyonun başlangıç, orta, son dönemi ve kuru dönemde kullanılan TMR’ lerin sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.16’da verilmiştir. *İn vitro* NDF sindirilebilirliği (IVNDFS), *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği (IVKMS), *in vitro* organik madde sindirilebilirliği (IVOMS) % olarak hesaplanmıştır. Kuru dönemde kullanılan TMR’ ye ait IVNDFS, IVKMS ve IVOMS % (ortalama±standart sapma) olarak sırasıyla 78.0±5.42, 77.2±5.65, 83.9±6.25, laktasyon başlangıcında sırasıyla 85.8±1.10, 83.5±0.53 ve 90.2±1.18, laktasyon ortasında sırasıyla 79.1±1.03, 77.4±0.78, 82.8±1.00, laktasyon sonunda sırasıyla 77.6±1.15, 74.2±0.70, 80.0±1.01 tespit edilmiştir.

Çizelge 3.16. Laktasyon dönemlerinde kullanılan TMR'lerin *in vitro* sindirilebilirlik değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Dönem	Değişkenler	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönem	IVaNDFom	30	22.0	5.42	14.6	28.9	25.0	10	21.8	5.74	14.6	28.5	26.0
	IVNDFS	30	78.0	5.42	71.1	85.4	7.0	10	78.4	5.98	71.5	85.7	8.0
	IVKMS	30	77.2	5.65	70.2	83.7	7.0	10	78.4	7.60	70.2	93.5	10.0
	IVOMS	30	83.9	6.25	75.7	91.7	8.0	10	84.9	5.96	76.6	91.2	7.0
Laktasyon başlangıcı	IVaNDFom	15	14.2	1.10	12	15.8	8.0	5	14.6	0.43	14.0	15.2	3.0
	IVNDFS	15	85.8	1.10	84.2	88.0	1.0	5	86.2	0.82	85.3	87.5	1.0
	IVKMS	15	83.5	0.53	82.4	84.3	1.0	5	83.9	0.39	83.5	84.4	1.0
	IVOMS	15	90.2	1.18	88.1	91.9	1.0	5	89.5	0.41	88.6	91.7	2.0
Laktasyon ortası	IVaNDFom	15	20.9	1.03	19.1	22.6	5.0	5	20.6	1.13	19.1	21.8	6.0
	IVNDFS	15	79.1	1.03	77.4	80.9	1.0	5	79.6	1.04	78.2	80.9	1.0
	IVKMS	15	77.4	0.78	76.1	78.7	1.0	5	77.9	1.07	76.1	78.7	1.0
	IVOMS	15	82.8	1.00	80.8	84.5	1.0	5	83.1	1.09	81.2	83.9	1.0
Laktasyon sonu	IVaNDFom	19	22.4	1.15	20.6	24.8	5.0	5	22.8	1.39	21.1	24.0	6.0
	IVNDFS	19	77.6	1.15	75.2	79.4	2.0	5	77.2	1.39	76.0	78.9	2.0
	IVKMS	19	74.2	0.70	73.2	76.1	1.0	5	74.6	0.83	74.0	76.1	1.0
	IVOMS	19	80.0	1.01	78.5	82.1	1.0	5	79.4	0.50	78.5	79.8	1.0

n: örnek sayısı, n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, IVaNDFom: *in vitro* inkübasyon sonucu amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, IVNDFS: *in vitro* NDF sindirilebilirliği, IVKMS: *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği, IVOMS: *in vitro* organik madde sindirilebilirliği.

In situ Sindirilebilirliğe ait Veriler

In situ deneme sonucunda bütün laktasyon dönemlere ait TMR örneklerinin *in situ* inkübasyon sonrası nişasta içeriği ve *in situ* nişasta sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.17 ve 3.18' da verilmiştir. *In situ* nişasta içeriği 2.saatte %4-4.7 olarak hesaplanıp 48. saat sonunda bütün dönemlerde %0.0 olarak tespit edilmiştir. *In situ* nişasta sindirilebilirliği ise 2.saatte %60.2-73.1 olarak başlayıp, 48.saat sonunda nişasta sindirimi %100 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.17. TMR'lerin *in situ* inkübasyon sonrası nişasta değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde nişasta	2.saat	36	4.4	1.57	1.9	6.6	36.0	12	4.3	1.63	1.9	6.6	38.0
	6.saat	36	2.5	1.03	1.1	4.1	21.0	12	2.5	1.06	1.1	4.1	22.0
	12.saat	36	1.3	0.87	0.3	2.7	28.0	12	1.3	0.89	0.4	2.7	20.0
	24.saat	36	0.3	0.25	0.0	0.8	20.0	12	0.3	0.30	0.0	0.8	16.0
	48.saat	36	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	12	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
Laktasyon başlangıcında nişasta	2.saat	30	4.7	0.33	4.2	5.3	7.0	10	4.7	0.34	4.2	5.3	7.0
	6.saat	30	3.6	0.41	2.9	4.2	11.0	10	3.6	0.42	2.9	4.2	12.0
	12.saat	30	1.8	0.47	0.8	2.6	27.0	10	1.8	0.49	0.8	2.5	28.0
	24.saat	30	0.2	0.10	0.1	0.4	12.0	10	0.2	0.10	0.1	0.4	16.0
	48.saat	30	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	10	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
Laktasyon ortasında nişasta	2.saat	6	4.5	0.16	4.4	4.7	4.0	2	4.5	0.21	4.4	4.7	5.0
	6.saat	6	3.2	0.19	3.0	3.4	6.0	2	3.2	0.26	3.0	3.4	8.0
	12.saat	6	1.9	0.52	1.4	2.4	27.0	2	2.3	0.21	2.1	2.4	9.0
	24.saat	6	0.4	0.13	0.3	0.6	30.0	2	0.7	0.17	0.5	0.8	25.0
	48.saat	6	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	2	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
Laktasyon sonunda nişasta	2.saat	6	4.0	0.05	4.0	4.1	1.0	2	4.0	0.07	4.0	4.1	2.0
	6.saat	6	1.9	0.06	1.8	1.9	3.0	2	2.6	0.63	2.2	3.1	24.0
	12.saat	6	0.6	0.01	0.6	0.6	2.0	2	1.9	0.08	1.8	1.9	4.0
	24.saat	6	0.1	0.01	0.1	0.1	8.0	2	0.6	0.00	0.6	0.6	0.0
	48.saat	6	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	2	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı

Çizelge 3. 18. TMR'lerin *in situ* nişasta sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde nişasta sindirimi	2.saat	36	60.2	13.32	41.8	81.3	22.0	12	60.9	14.13	42.6	80.9	23.0
	6.saat	36	73.7	11.11	52.9	87.7	15.0	12	73.7	11.49	53.5	87.6	16.0
	12.saat	36	86.0	7.51	72.5	97.6	9.0	12	85.9	7.79	73.4	97.5	9.0
	24.saat	36	96.2	2.99	84.6	99.8	3.0	12	95.4	4.35	84.6	99.7	5.0
	48.saat	36	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0	12	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0
Laktasyon başlangıcında nişasta sindirimi	2.saat	30	70.4	3.56	63.9	75.8	5.0	10	70.4	3.70	63.9	75.6	5.0
	6.saat	30	77.5	2.82	71.2	82.0	4.0	10	77.5	2.93	71.4	81.6	4.0
	12.saat	30	89.0	3.16	84.0	95.0	4.0	10	89.0	3.29	84.1	94.9	4.0
	24.saat	30	98.6	0.62	97.6	99.7	1.0	10	98.6	0.65	97.6	99.7	1.0
	48.saat	30	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0	10	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0
Laktasyon ortasında nişasta sindirimi	2.saat	6	70.3	1.07	69.2	71.3	2.0	2	70.3	1.41	69.4	71.3	2.0
	6.saat	6	78.8	1.32	77.6	80.2	2.0	2	78.8	1.74	77.6	80.1	2.0
	12.saat	6	87.4	3.41	84.2	90.7	4.0	2	84.8	0.81	84.2	85.4	1.0
	24.saat	6	97.2	0.83	96.3	97.9	1.0	2	96.3	0.07	96.3	96.4	0.0
	48.saat	6	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0	2	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0
Laktasyon sonunda nişasta sindirimi	2.saat	6	73.1	0.36	72.6	73.4	1.0	2	73.1	0.45	72.8	73.4	1.0
	6.saat	6	87.5	0.43	87.1	88.1	1.0	2	81.6	0.71	81.1	82.1	1.0
	12.saat	6	95.9	0.09	95.7	96.1	0.0	2	87.5	0.54	87.1	87.9	1.0
	24.saat	6	99.2	0.06	99.1	99.2	0.0	2	95.9	0.02	95.9	95.9	0.0
	48.saat	6	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0	2	100.0	0.00	100.0	100.0	0.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı

In situ deneme sonucunda bütün fizyolojik dönemlere ait TMR örneklerinin *in situ* inkübasyon sonrası ham protein içeriği ve *in situ* ham protein sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.19 ve 3.20’de verilmiştir. *In situ* ham protein içeriği 2.saatte %3.7-5.8 olarak hesaplanıp 72. saat sonunda bütün dönemlerde %0.3-0.6 olarak tespit edilmiştir. *In situ* ham protein sindirilebilirliği ise 2.saatte %52.4-57.5 olarak başlayıp, 72.saat sonunda protein sindirimi %93.0-97.7 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.19. TMR’lerin *in situ* protein değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde HP	2.Saat	36	3.7	0.53	2.9	4.6	14.0	12	3.7	0.58	2.9	4.6	16.0
	4.Saat	36	3.2	0.43	2.6	4.0	13.0	12	3.3	0.48	2.6	4.0	15.0
	8.Saat	36	2.6	0.27	2.2	3.1	10.0	12	2.6	0.27	2.2	3.1	10.0
	12.Saat	36	2.1	0.38	1.7	2.9	18.0	12	2.0	0.37	1.7	2.8	18.0
	24.Saat	36	1.3	0.34	0.8	1.8	25.0	12	1.3	0.39	0.8	1.7	31.0
	48.Saat	36	0.8	0.24	0.4	1.2	31.0	12	0.8	0.21	0.4	1.0	27.0
	72.Saat	36	0.6	0.16	0.2	0.8	29.0	12	0.6	0.15	0.2	0.8	25.0
Laktasyon başlangıcında HP	2.Saat	30	5.8	0.38	5.1	6.3	7.0	10	5.8	0.39	5.1	6.2	7.0
	4.Saat	30	5.2	0.39	4.5	5.7	7.0	10	5.2	0.40	4.6	5.6	8.0
	8.Saat	30	3.8	0.77	1.9	4.6	20.0	10	3.8	0.80	2.0	4.6	21.0
	12.Saat	30	2.8	0.40	2.0	3.3	14.0	10	2.8	0.41	2.0	3.3	15.0
	24.Saat	30	1.3	0.41	0.9	2.2	31.0	10	1.4	0.44	1.0	2.2	32.0
	48.Saat	30	0.6	0.06	0.5	0.7	11.0	10	0.6	0.05	0.6	0.7	7.0
	72.Saat	30	0.3	0.04	0.2	0.4	11.0	10	0.3	0.02	0.2	0.3	7.0
Laktasyon ortasında HP	2.Saat	6	5.8	0.09	5.7	5.9	2.0	2	5.8	0.10	5.7	5.9	2.0
	4.Saat	6	5.1	0.16	4.9	5.3	3.0	2	5.1	0.21	4.9	5.2	4.0
	8.Saat	6	3.7	0.44	3.3	4.2	12.0	2	3.7	0.58	3.3	4.1	16.0
	12.Saat	6	2.7	0.61	2.1	3.3	23.0	2	3.3	0.31	3.1	3.3	21.0
	24.Saat	6	1.2	0.19	1.0	1.4	17.0	2	1.4	0.08	1.1	1.4	10.0
	48.Saat	6	0.4	0.06	0.3	0.5	14.0	2	0.7	0.14	0.3	1.0	5.0
	72.Saat	6	0.3	0.01	0.3	0.3	3.0	2	0.3	0.03	0.1	0.4	8.0
Laktasyon sonunda HP	2.Saat	6	5.2	0.03	5.2	5.3	1.0	2	5.2	0.03	5.2	5.2	1.0
	4.Saat	6	4.7	0.03	4.7	4.7	1.0	2	4.7	0.04	4.7	4.7	1.0
	8.Saat	6	3.5	0.02	3.5	3.5	1.0	2	3.5	0.03	3.5	3.5	1.0
	12.Saat	6	2.5	0.11	2.4	2.6	4.0	2	2.5	0.14	2.4	2.6	6.0
	24.Saat	6	1.1	0.03	1.0	1.1	3.0	2	1.5	0.24	1.2	1.7	3.0
	48.Saat	6	0.4	0.01	0.4	0.4	1.0	2	0.8	0.08	0.4	0.4	4.0
	72.Saat	6	0.3	0.04	0.3	0.4	14.0	2	0.4	0.11	0.4	0.4	1.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, HP: Ham protein

Çizelge 3.20. TMR'lerin *in situ* ham protein sindirilebilirliğe ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde HPS	2.Saat	36	57.4	3.63	49.0	63.2	6.0	12	58.2	3.83	51.3	63.1	7.0
	4.Saat	36	62.1	4.35	52.8	67.6	7.0	12	62.8	4.61	53.1	67.6	7.0
	8.Saat	36	68.7	5.13	60.5	78.4	8.0	12	69.8	5.86	61.2	78.3	8.0
	12.Saat	36	75.5	4.83	69.9	84.8	6.0	12	76.5	5.10	70.3	84.7	7.0
	24.Saat	36	83.5	5.41	76.2	93.7	7.0	12	84.9	6.14	76.4	93.5	7.0
	48.Saat	36	90.2	3.80	83.7	97.1	4.0	12	90.6	2.88	87.2	96.6	3.0
	72.Saat	36	93.0	2.75	89.0	98.1	3.0	12	92.5	2.61	89.0	98.0	3.0
Laktasyon başlangıcında HPS	2.Saat	30	57.5	3.32	50.7	62.2	6.0	10	57.5	3.43	50.9	61.7	6.0
	4.Saat	30	61.5	2.95	55.7	66.0	5.0	10	61.5	3.06	55.8	65.9	5.0
	8.Saat	30	72.0	5.43	67.4	85.5	8.0	10	72.0	5.65	67.5	85.2	8.0
	12.Saat	30	79.5	2.51	76.4	85.2	3.0	10	79.5	2.61	76.5	85.0	3.0
	24.Saat	30	90.1	3.40	83.0	93.0	4.0	10	89.9	3.72	83.0	92.9	4.0
	48.Saat	30	95.9	0.72	94.5	97.0	1.0	10	95.2	0.50	94.6	95.6	1.0
	72.Saat	30	97.7	0.29	97.2	98.4	0.0	10	97.6	0.06	97.6	97.7	0.0
Laktasyon ortasında HPS	2.Saat	6	52.4	0.73	51.3	53.3	1.0	2	52.5	0.87	51.7	53.0	2.0
	4.Saat	6	58.3	1.36	56.6	59.7	2.0	2	58.8	1.77	57.9	59.6	3.0
	8.Saat	6	69.6	3.63	65.8	73.3	5.0	2	70.1	4.79	67.2	73.0	7.0
	12.Saat	6	77.8	5.05	73.0	82.7	7.0	2	74.1	1.12	73.1	75.2	5.0
	24.Saat	6	90.2	1.63	88.6	91.9	2.0	2	88.4	0.83	88.1	88.7	2.0
	48.Saat	6	96.4	0.49	95.9	96.9	1.0	2	96.8	0.52	95.7	97.8	1.0
	72.Saat	6	97.7	0.07	97.6	97.7	8.0	2	97.6	0.47	97.6	97.6	8.0
Laktasyon sonunda HPS	2.Saat	6	57.2	0.25	56.7	57.4	1.0	2	57.2	0.28	57.0	57.4	1.0
	4.Saat	6	61.5	0.22	61.2	61.8	1.0	2	61.5	0.25	61.3	61.7	1.0
	8.Saat	6	71.3	0.19	71.0	71.5	2.0	2	71.3	0.19	71.1	71.4	1.0
	12.Saat	6	79.7	0.93	78.8	80.7	1.0	2	79.7	1.22	78.8	80.5	2.0
	24.Saat	6	91.4	0.31	91.0	91.7	2.0	2	89.8	1.31	89.1	90.4	4.0
	48.Saat	6	96.4	0.06	96.3	96.5	1.0	2	96.4	1.18	96.4	96.4	7.0
	72.Saat	6	97.5	0.29	97.0	97.8	1.0	2	97.7	0.80	97.7	97.7	1.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, HPS: Ham protein sindirilebilirliği.

In situ deneme sonucunda bütün fizyolojik dönemlere ait TMR örneklerinin *in situ* inkübasyon sonrası NDF içeriği ve *in situ* NDF sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.21 ve 3.22’ de verilmiştir. *In situ* NDF içeriği 4.saatte %28.5-36.9 olarak hesaplanıp 240. saat sonunda bütün dönemlerde %7.4-12.5 olarak tespit edilmiştir. *In situ* NDF sindirilebilirliği ise 4.saatte %40.5-57.9 olarak başlayıp, 240.saat sonunda protein sindirimi %93.6-96.6 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.21. TMR’lerin *in situ* aNDFom değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde aNDFom	4.Saat	36	36.9	3.72	30.1	43.1	10.0	12	37.7	3.96	30.8	42.8	11.0
	8.Saat	36	35.7	4.32	27.3	41.7	12.0	12	36.3	4.49	27.5	40.4	12.0
	16.Saat	36	34.8	4.72	24.3	40.3	14.0	12	34.8	5.06	24.5	39.9	15.0
	24.Saat	36	29.9	5.35	18.7	37.0	18.0	12	30.0	6.00	18.8	36.4	20.0
	48.Saat	36	22.6	4.43	14.0	31.2	20.0	12	25.5	3.45	22.7	30.3	14.0
	72.Saat	36	20.3	4.38	12.3	29.7	22.0	12	22.6	3.64	19.5	28.4	16.0
	96.Saat	36	17.0	4.03	10.2	25.0	24.0	12	18.0	4.07	10.6	23.2	23.0
	240.Saat	36	12.5	2.22	8.6	15.7	18.0	12	13.3	1.55	10.6	15.4	12.0
Laktasyon başlangıcında aNDFom	4.Saat	30	28.5	4.35	22.2	37.2	15.0	10	28.5	4.47	23.6	36.7	16.0
	8.Saat	30	25.0	2.11	20.3	28.4	9.0	10	24.9	2.06	21.2	27.5	8.0
	16.Saat	30	22.3	2.21	18.1	26.0	10.0	10	22.3	2.19	19.6	25.0	10.0
	24.Saat	30	16.8	1.78	13.2	20.3	11.0	10	16.4	1.65	14.3	19.8	10.0
	48.Saat	30	12.0	1.73	9.4	15.7	14.0	10	12.2	1.79	10.6	14.6	15.0
	72.Saat	30	10.6	1.73	8.0	14.4	16.0	10	10.6	2.80	8.6	13.8	27.0
	96.Saat	30	8.8	1.66	6.3	12.4	19.0	10	8.8	1.66	7.0	11.8	19.0
	240.Saat	30	7.4	1.11	5.0	9.7	15.0	10	7.2	0.93	5.9	9.4	13.0
Laktasyon ortasında aNDFom	4.Saat	6	34.5	1.21	32.1	36.2	3.0	2	34.6	0.78	34	35.1	2.0
	8.Saat	6	32.8	0.47	32.1	33.6	1.0	2	33.0	0.21	32.6	33.4	1.0
	16.Saat	6	29.8	0.57	28.8	30.6	2.0	2	30.1	0.58	29.4	30.8	2.0
	24.Saat	6	22.7	0.56	21.8	23.5	3.0	2	23.1	0.32	23.2	23.0	3.0
	48.Saat	6	18.3	0.51	17.5	19.1	3.0	2	18.5	0.28	17.8	19.2	1.0
	72.Saat	6	15.4	0.23	15.1	15.8	2.0	2	15.2	0.40	13.9	16.4	1.0
	96.Saat	6	15.0	0.16	14.7	15.1	1.0	2	14.9	0.23	14.9	14.9	2.0
	240.Saat	6	12.0	0.23	11.7	12.5	2.0	2	12.0	0.15	11.9	12.1	1.0
Laktasyon sonunda aNDFom	4.Saat	6	36.3	0.57	35.7	37.2	2.0	2	36.4	0.40	36.0	36.8	1.0
	8.Saat	6	34.8	0.45	34.1	35.3	1.0	2	35.2	0.30	34.5	35.8	1.0
	16.Saat	6	32.9	0.59	32.0	34.1	2.0	2	33.2	0.18	32.8	33.6	1.0
	24.Saat	6	27.1	0.45	26.5	27.8	2.0	2	27.4	0.27	26.8	27.9	3.0
	48.Saat	6	20.4	0.40	19.9	20.9	2.0	2	20.5	0.36	20.1	20.9	2.0
	72.Saat	6	18.8	0.47	18.2	19.5	3.0	2	18.4	0.12	18.4	18.4	1.0
	96.Saat	6	14.3	0.57	13.2	15.1	4.0	2	14.4	0.59	13.9	14.9	4.0
	240.Saat	6	12.2	0.37	11.6	12.7	3.0	2	12.4	0.32	11.9	12.8	3.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, aNDFom: Amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF.

Çizelge 3.22. TMR'lerin *in situ* NDF sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde NDFS	4.Saat	36	46.0	6.98	31.5	55.5	15.0	12	46.0	7.18	31.9	54.9	16.0
	8.Saat	36	50.7	7.89	35.4	64.1	16.0	12	50.8	8.10	37.0	63.8	16.0
	16.Saat	36	57.2	7.26	48.7	73.0	13.0	12	56.9	7.59	50.3	72.8	13.0
	24.Saat	36	67.8	8.66	58.1	86.4	13.0	12	68.3	9.08	58.7	85.9	13.0
	48.Saat	36	80.7	5.91	72.8	92.5	7.0	12	77.6	4.01	73.5	82.8	5.0
	72.Saat	36	84.7	4.79	76.2	93.6	6.0	12	82.2	3.72	76.5	86.0	5.0
	96.Saat	36	89.0	4.19	83.5	96.0	5.0	12	88.1	4.15	83.7	95.6	5.0
	240.Saat	36	93.6	1.85	91.2	96.9	2.0	12	93.1	1.50	91.2	95.5	2.0
Laktasyon başlangıcında NDFS	4.Saat	30	57.9	8.01	42.4	65.4	14.0	10	57.9	8.32	42.8	65.2	14.0
	8.Saat	30	66.9	2.75	62.7	71.7	4.0	10	66.9	2.82	63.4	71.6	4.0
	16.Saat	30	72.5	3.82	68.0	77.6	5.0	10	72.6	3.97	68.3	77.4	6.0
	24.Saat	30	86.7	1.45	84.0	88.5	2.0	10	87.0	1.24	84.7	88.4	1.0
	48.Saat	30	92.6	1.27	90.1	94.4	1.0	10	92.5	1.13	90.9	93.4	1.0
	72.Saat	30	94.2	1.18	91.5	95.8	1.0	10	94.2	1.75	92.3	95.7	2.0
	96.Saat	30	95.6	1.05	93.2	96.9	1.0	10	95.7	1.10	93.2	96.8	1.0
	240.Saat	30	96.6	0.96	94.7	97.9	1.0	10	96.8	0.85	95.3	97.8	1.0
Laktasyon ortasında NDFS	4.Saat	6	40.5	0.15	40.2	40.7	0.0	2	40.7	0.06	40.4	41.0	0.0
	8.Saat	6	52.7	0.88	51.8	54.0	2.0	2	52.8	1.13	52.0	53.6	2.0
	16.Saat	6	61.4	0.23	61.1	61.6	0.0	2	61.5	0.28	61.2	61.9	1.0
	24.Saat	6	78.6	0.61	77.9	79.3	1.0	2	78.1	1.25	78.1	78.1	1.0
	48.Saat	6	85.8	0.26	85.5	86.1	0.0	2	86.0	1.82	85.7	86.3	2.0
	72.Saat	6	90.7	0.60	90.0	91.6	1.0	2	90.9	1.34	90.2	91.6	3.0
	96.Saat	6	91.4	0.31	90.9	92.0	0.0	2	91.3	0.95	91.3	91.3	1.0
	240.Saat	6	93.7	0.37	93.0	94.1	0.0	2	93.5	0.73	93.0	94.0	1.0
Laktasyon sonunda NDFS	4.Saat	6	43.1	0.44	42.5	43.7	1.0	2	43.1	0.54	42.7	43.5	1.0
	8.Saat	6	54.3	0.17	54.0	54.6	0.0	2	54.4	0.20	54.2	54.5	0.0
	16.Saat	6	59.1	0.21	58.8	59.4	0.0	2	59.1	0.03	59.0	59.1	0.0
	24.Saat	6	72.6	0.67	71.9	73.8	1.0	2	72.9	0.41	72.4	73.4	2.0
	48.Saat	6	83.2	0.16	82.8	83.3	0.0	2	83.2	0.18	83.2	83.2	0.0
	72.Saat	6	87.5	0.41	87.0	88.0	1.0	2	87.9	0.64	87.9	87.9	1.0
	96.Saat	6	92.1	0.28	91.9	92.7	0.0	2	92.1	0.22	91.9	92.2	0.0
	240.Saat	6	94.3	0.32	94.0	94.6	0.0	2	94.3	0.42	94.0	94.6	0.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, NDFS: NDF sindirilebilirliği.

In situ deneme sonucunda bütün fizyolojik dönemlere ait TMR örneklerinin *in situ* kuru sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.23’de verilmiştir. *In situ* kuru madde sindirilebilirliği 2.saatte %26.5-37.0 olarak başlayıp, 96.saat sonunda kuru madde sindirimi %75.5-82.7 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.23. TMR’lerin *in situ* kuru madde sindirilebilirliğine ait tanımlayıcı istatistikler (% , havada kuru)

Değişkenler	Saat	Kalibrasyon veri seti						Dış doğrulama veri seti					
		n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)	n	Ort	SD	Min	Maks	VK (%)
Kuru dönemde KMS	2. saat	36	30.3	6.52	18.0	38.5	22.0	12	30.4	5.98	20.6	37.1	20.0
	4. saat	36	36.1	6.81	27.6	48.5	19.0	12	36.0	7.16	28.5	47.7	20.0
	8. saat	36	41.4	7.28	30.8	55.2	18.0	12	41.6	6.99	33.3	54.4	17.0
	16. saat	36	47.6	6.69	38.1	59.7	14.0	12	47.7	7.13	38.4	59.6	15.0
	24. saat	36	54.7	6.42	43.3	65.0	12.0	12	54.6	7.67	43.4	65.3	14.0
	48. saat	36	64.1	5.59	55.2	72.3	9.0	12	63.4	5.81	55.3	70.6	9.0
	72. saat	36	70.0	4.62	64.6	79.2	7.0	12	68.5	3.05	65.6	73.8	5.0
	96. saat	36	75.5	5.84	68.8	85.2	8.0	12	74.6	5.91	69.4	84.2	8.0
Laktasyonun başlangıcında KMS	2. saat	30	37.0	4.72	32.3	45.9	13.0	10	36.9	5.55	31.5	47.4	15.0
	4. saat	30	43.1	3.75	38.5	50.2	9.0	10	42.8	3.42	39.3	49.2	8.0
	8. saat	30	49.7	2.65	46.0	55.8	5.0	10	49.3	2.38	46.1	52.4	5.0
	16. saat	30	55.4	3.78	51.7	63.0	7.0	10	55.8	4.05	51.8	62.6	7.0
	24. saat	30	69.8	1.29	67.4	72.8	2.0	10	70.3	0.79	69.1	71.4	1.0
	48. saat	30	76.9	1.77	73.9	80.4	2.0	10	75.9	0.79	74.8	76.6	1.0
	72. saat	30	80.2	1.12	78.3	82.2	1.0	10	80.0	0.94	79.4	81.1	1.0
	96. saat	30	82.7	0.86	81.0	83.9	1.0	10	82.5	0.97	80.8	83.8	1.0
Laktasyonun ortasında KMS	2. saat	6	31.4	0.34	31.1	32.0	1.0	2	31.8	0.20	31.7	32.0	1.0
	4. saat	6	37.4	0.34	37.0	37.9	1.0	2	37.3	0.58	36.9	37.7	2.0
	8. saat	6	42.6	0.49	42.1	43.2	1.0	2	42.4	0.60	42.0	42.8	1.0
	16. saat	6	47.3	0.30	47.0	47.7	1.0	2	47.5	0.10	47.3	47.7	0.0
	24. saat	6	62.2	1.32	60.0	64.1	2.0	2	62.4	0.23	61.8	62.9	3.0
	48. saat	6	72.0	0.42	71.5	72.7	1.0	2	72.6	0.16	71.8	73.4	1.0
	72. saat	6	75.4	0.34	75.1	75.8	1.0	2	75.4	0.32	75.4	75.4	2.0
	96. saat	6	78.7	0.51	78.1	79.3	1.0	2	79.2	0.09	79.2	79.2	1.0
Laktasyon sonunda KMS	2. saat	6	26.5	0.45	25.8	26.9	2.0	2	26.0	0.42	25.7	26.3	2.0
	4. saat	6	34.0	0.98	33.0	35.0	3.0	2	34.5	1.04	33.3	35.6	3.0
	8. saat	6	36.7	0.78	36.0	38.0	2.0	2	36.9	0.96	36.2	37.6	3.0
	16. saat	6	41.9	0.76	41.1	42.8	2.0	2	41.6	0.81	41.1	42.2	2.0
	24. saat	6	48.4	0.27	48.1	48.8	1.0	2	48.7	0.34	48.4	48.9	3.0
	48. saat	6	62.1	0.44	61.5	62.9	1.0	2	63.1	0.21	63.1	63.1	1.0
	72. saat	6	72.0	0.16	71.9	72.3	0.0	2	71.2	1.01	71.2	71.2	1.0
	96. saat	6	75.8	0.51	75.2	76.3	1.0	2	75.8	0.97	75.1	76.4	1.0

n: örnek sayısı, Ort: Ortalama, SD: standart sapma, Min.: Minumum, Maks: Maksimum, VK: Varyasyon katsayısı, KMS: Kuru madde sindirilebilirliği

3.2. Metot

3.2.1. *In vivo* Deneme

Yem Tüketimlerinin Belirlenmesi

Hayvan materyalinin bireysel bölmelere ve oluşturulan TMR' ye adaptasyonları için her bir fizyolojik dönemde 1 haftalık alıştırmaya dönemi uygulanmıştır. TMR'ler sabah ve akşam olmak üzere günde iki kez verilmiştir. Alıştırma dönemi sonunda verilen yemden bir sonraki öğünde kalan yem çıkarılmıştır, sabah ve akşam yem tüketimi toplanarak günlük yem tüketimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. Bireysel yem tüketiminin belirlenmesi

Süt Verimi ve Kompozisyonunun Belirlenmesi

Laktasyon dönemindeki inekler DATAEM sağım sisteminde (Westfalia, Almanya) sağılmış ve sistem tarafından kaydedilen sabah, akşam ve toplam süt verimleri alınmıştır. Ayrıca haftada iki gün (pazartesi ve perşembe günleri) sabah ve akşam olmak üzere günde iki kez 50 ml'lik plastik tüplere süt örnekleri alınmıştır. Süt örneklerinin bir sağımı temsil etmesi için sağım sistemine ait süt örnekleri toplama aparatlarından (Şekil 3.5) faydalanılmıştır. Toplanan süt örneklerinde yağ, protein, laktoz, süt üre düzeyleri Çukurova Üniversitesi Zootekni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Anabilim Dalında yer alan süt analiz cihazında (FT-120, FOSS, Danimarka) saptanmıştır.



Şekil 3.5. DATAEM süt sağım sistemi, süt toplama kapları ve süt örneklerinin alınması

Canlı Ağırlık ve Vücut Kondisyon Skorunun (VKS) Saptanması

Hayvan materyali deneme başlangıcı ve deneme sonu dahil olmak üzere 5 hafta süreyle haftalık olarak tartılmış ve bu tartımlar sırasında VKS'leri kaydedilmiştir. Tartımlar sabah yemlemesinden önce yapılmış ve 5'lik VKS puanlaması (Ferguson ve ark. 1994) iki kişi tarafından alınarak ortalaması alınmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. *In vivo* deneme hayvanlarının tartımı

TMR ve Dışkı Örneklerinin Toplanması

TMR ve dışkı örnekleri 4 fizyolojik dönem x 5 hayvan x 4 gün olacak şekilde alınmıştır. Sabah yemlemesinde toplanan TMR örnekleri ağzı kapalı numune torbalarına konulmuştur. Örneklerin alınmasında yemlik uzunluğu dikkate alınarak eşit aralıklarla 3 ya da 4 örnek alınıp daha sonra birleştirilip, karıştırılarak homojen örnek alma prensibi uygulanmıştır. Dışkı örnekleri ise sabah yemlemesinden (07:00) 2 saat sonra başlayarak 09:00, 13:00 ve 17:00 saatlerinde olmak üzere günde 3 kez rektumdan (Fredin ve ark., 2014) alınmıştır. Biriktirilen örnekler toplanıp eşit ağırlıklarda karıştırılmıştır. Bu işlem ardışık olarak 4 gün boyunca tekrarlanmıştır.



Şekil 3.7. Toplanan TMR ve dışkı örnekleri

Her örnek toplama günü sonunda dışkı örneklerinden yaklaşık 400 g derin dondurucuda depolanmış, geriye kalan dışkı ise analizleri yapılmak üzere ağırlıkları kaydedilerek etüvde 60°C de 48 saat kurumaya bırakılmıştır. Aynı şekilde sabah yemlemesinden alınan TMR örneklerinin bir kısmı derin dondurucuda depolanmış bir kısmı ise etüvde analizleri yapılmak üzere kurutulmuştur.

Bireysel dışkı örneklerinin yanı sıra her bir fizyolojik dönem için bireysel olarak toplanan dışkılar yaş ağırlığa göre eşit miktarda karıştırılarak 4 karışım örnek oluşturulmuştur. Böylece 80 bireysel (4 fizyolojik dönem x 5 baş inek x 4 gün) ve 20 karışım dışkı (her bir hayvandan 1 karışım dışkı) olmak üzere toplam 100 dışkı örneği elde edilmiştir. TMR örnekleri içinde her bir fizyolojik dönem için 4 gün toplanan TMR örneklerinden bir karışım örnek elde edilmiş olup toplam 20 TMR örneği (4 fizyolojik dönem x 5 örnek (4 gün ve 1 karışım)) elde edilmiştir.

TMR ve Dışkıda Besin Madde İçeriklerinin Belirlenmesi

Mevcut çalışmada kapsamında *in vivo* koşullarda dışkıdan besin madde sindirilebilirliği denemesinden elde edilen dışkı ve TMR örnekleri hava sirkülasyonlu etüvde (Binder FP 240, Almanya) 60°C’de 48 saat tutularak kurutulmuştur. Daha sonra yaklaşık 200 g’ı 1 mm’lik elekten, 500 g’ı ise *in vitro* ve *in situ* denemeler için 2 mm’ lik elekten geçecek şekilde laboratuvar değirmeninde (Retsch ZM 200, Almanya) öğütülmüştür. Kimyasal yöntemlerle analiz edilecek olan TMR ve dışkı örneklerinin öncelikle spektrumları yakın kızılötesi spektrofotometre (Foss, NIRS–XDS, Danimarka) ve ISI SCAN programı (versiyon 4.2.0, Infracore International Port Matilda, PA, ABD) kullanılarak 3 paralel olarak ölçülmüştür. Daha sonra kimyasal analizler yapılmıştır.

TMR ve dışkı örneklerinde ham besin madde analizleri AOAC (1998)’de belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır. Kuru madde tayininde (Metot 930.040, 934.01) örnekler 60°C’de 48 saat ve 105°C’de 3 saat kurutmaya bırakılmıştır. Ham kül analizi için örnekler (Metot 942.05) 550°C’de yaklaşık 5 saat kül fırınında yakılmıştır. Ham protein (Metot 984.13) Kjeldahl yöntemine göre yaş yakma, distilasyon ve titrasyon aşamaları tamamlandıktan sonra bulunan azot değerinin 6.25 ile çarpılmasıyla tespit edilmiştir. Eter ekstrakt tayini ise (Metot 920.39) soxhelet cihazında (Gerhardt Soxtherm 2000, Kanada) petrol eteri kullanılarak yapılmıştır. NDF, ADF ve ADL içeriklerinin saptanmasında ise lif analiz cihazından (ANKOM A220 Fibre Analyzer Ankom technology Corporation, NY, USA) faydalanılarak Van Soest ve ark. (1991) tarafından geliştirilen analiz yöntemleri kullanılmıştır. NDF tayini sırasında α -amilaz ve sodyum sülfat kullanılmıştır. ADF, NDF ve ADL analizleri sonrası kül tayini yapılarak organik madde bazında (ADFom, aNDFom ve ADLom) verilmiştir. Ayrıca NDF ve ADF analizleri sonrası kalan örneklerde Kjeldahl yöntemine göre azot belirlenmiştir. Böylece asit deterjanda çözünmeyen protein (ADIP) ve nötr deterjanda çözünmeyen protein (NDIP) düzeyleri saptanmıştır (Licita ve ark., 1996). Nişasta analizi ISO 6493:2000’ a göre polarimetrik metot kullanılarak yapılmıştır. Örnekler 3 paralel halinde analize tabi tutulmuştur.

TMR örneklerinde brüt besin madde sindirilebilirliği (NDF, protein, nişasta, kuru madde ve organik madde) TMR ve dışkıdaki besin madde miktarları arasında tespit edilen farktan hesaplanmıştır (Kutlu, 2008).

$$\text{Brüt Sindirilebilirlik (\%)} = \frac{\text{Yemle tüketilen besin maddesi} - \text{Dışkıda bulunan besin maddesi}}{\text{Yemle tüketilen besin maddesi}} * 100$$

3.2.2. *In vitro* deneme

In vitro denemeler Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Laboratuvarında yapılmıştır. Fizyolojik dönemlere göre toplanan TMR örneklerinde *in vitro* kuru madde sindirilebilirliği (IVKMS) ve *in vitro* NDF sindirilebilirliğinin (IVNDFS) belirlenmesi için rumen ortamını simüle eden DaisyII İnkübatör Cihazı (Ankom Technology Corporation, Fairport, NY, USA) kullanılmıştır.

In vitro Analiz Yöntemi

TMR örneklerinin *in vitro* sindirilebilirliklerini belirlemek için filtre torbalarından (F57 filter bag, Ankom Technology Corp., Fairport, NY, USA) faydalanılmıştır. Filtre torbaları 3-5 dk asetonda bekletildikten sonra havada kurutulmuştur. Böylece mikrobiyal sindirime engel olabilecek etkenler ortadan kaldırılmıştır. Her bir filtre torbasının darası alınıp kaydedildikten (W1) sonra, içerisine 0.5 g TMR örneği (W2) tartılarak filtre torbalarının ağız kısımları sıcaklıkla yapıştırılmıştır (Heat sealer, Ankom Technology Corporation, Fairport, NY, USA). Her bir örnek NIR cihazında okutulmak ve NDF analizlerini yapabilmek için 20 paralel olarak analiz edilmiştir, ayrıca inkübatör cihazında bulunan her bir kavanoza düzeltme faktörü olarak 2 adet darası alınmış (C1) boş torba eklenmiştir.

Diğer yandan inkübasyon için tampon çözeltiler (Tampon A ve tampon B) hazırlanmıştır. Tampon A çözeltisi için; 10 g potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4), 0.5 g magnezyum sülfat heptahidrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 0.5 g sodyum klorür (NaCl), 0.1 g kalsiyum klorür dihidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve 0.5 g üre 1 litre saf su içerisinde çözündürülerek, Tampon B çözeltisi ise; 15 g sodyum karbonat (Na_2CO_3), 1 g sodyum sülfat nonahidrat ($\text{Na}_2\text{S}_9\text{H}_2\text{O}$) 1 litre saf su içerisinde çözündürülerek hazırlanmıştır. Daha sonra ayrı bir kapta 266 ml tampon B çözeltisi ile 1330 ml tampon A çözeltisi (sırasıyla 1:5 oranında) karıştırılarak pH'sı 6.8 olarak ayarlanan tampon çözelti hazır hale getirilmiştir.

İnkübasyonun gerçekleşmesi için gerekli olan rumen sıvısı DATAEM Hayvancılık Biriminde bulunan 2 baş rumen kanüllü Siyah Alaca ırkı inekten sabah yemlemesi öncesinde alınmıştır. Rumen sıvısı, 39°C' ye sıcak su ile ayarlanmış bir termosla sonda yardımıyla alınmıştır ve içerisine yaklaşık iki avuç dolusu rumendeki yem içeriğinden eklenmiştir. Laboratuvara hızlı bir şekilde getirilen rumen sıvısı elektrikli parçalayıcıya eklendikten sonra CO_2 gazı verilerek 30 sn boyunca karıştırılmıştır. Bu karışım dört katlı tülbentten süzülmüştür. İnkübatörün her bir sindirim kavanozuna arasındaki bölmenin her iki tarafına eşit olacak şekilde boş filtre torbaları da dahil en fazla 25 filtre torbası olacak şekilde yerleştirilmiştir, üzerine 1600 ml tampon çözelti (Tampon A ve tampon B karışımı), CO_2 gazı eşliğinde 400 ml rumen sıvısı eklenmiş ve 30 sn boyunca CO_2 gazı verilerek kapaklar sıkıca kapatılmıştır. 39°C'ye ayarlanmış inkübatöre hazırlanan sindirim kavanozları yerleştirilerek 48 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda bütün filtre

torbaları kavanozlardan çıkarılarak çeşme suyu altında çok sıkmadan iyice durulanmıştır. Filtre torbaları oda koşullarında kurutulduktan sonra, etüvde 105°C’ de 3 saat kurutularak ağırlıkları kaydedilmiştir (W3).

In vitro sindirilebilirlik sonrasında filtre torbalarında kalan yem örnekleri boşaltılarak paraleller birleştirilmiş ve NIR cihazında 4 paralel olarak spektrumları ölçülmüştür. Daha sonra NDF analizleri lif analiz cihazından (ANKOM A220 Fibre Analyzer Ankom technology Corporation, NY, USA) faydalanılarak Van Soest’ e (1991) göre yapılmıştır.



Şekil 3.8. Rumen sıvısının alınması ve Daisy İnkübatöre yerleştirilmesi

In vitro NDF sindirilebilirliği ve kuru madde sindirilebilirliği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{IVKMS} / \text{IVNDFS} = 100 - [(W3 - (W1 \times C1)) \times 100 / W2]$$

W1 : Filtre torbalarının (F57) darası

W2 : Örnek miktarı veya kuru örnekteki besin madde miktarı (KM, NDF)

W3 : İnkübasyon sonrası ağırlık (Torba+Yem) veya kalan örnekteki besin madde miktarı (KM, NDF)

C1 : Kör ağırlığı (inkübasyon sonrası kuru boş torba ağırlığı)

3.2.3. *In situ* deneme

Tez projesi kapsamında *In situ* protein, NDF ve nişasta sindirilebilirliğinin tespitinde naylon kese yöntemi kullanılmıştır. Kullanılacak naylon keseler rumen ortamında parçalanmayan sentetik bezlerden (dakron veya poliester) oluşmuştur. Bu keseler, $50 \pm 10 \mu$ gözenek büyüklüğünde 10 cm x 20 cm boyutlarındadır.

Naylon Kese Yönteminin Uygulanması

Naylon keseler 15 dk. süreyle ılık çeşme suyunda (39°C) yıkandıktan sonra 60°C’ de 48 saat kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra keseler tartılarak daraları kaydedilmiştir. Naylon keselere TMR örneklerinden yaklaşık 5 g tartılmıştır. Keselerin ağzı önce paket lastiği sonra da naylon iple bağlanmış, daha sonra bu torbalar yaklaşık 50 cm uzunluğunda bir hortuma monte edilerek rumene eş zamanlı olarak sarkıtılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. *In situ* torbalarının yem örnekleri tartıldıktan sonra bağlanması ve rumene yerleştirilmesi

Bu torbalardan 3 tanesi yıkama kaybını hesaplayabilmek için 15 dk süreyle ılık çeşme suyu altında yıkanarak 60°C de 48 saat kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Bu şekilde kolay çözülebilen veya kese gözeneklerinden geçebilen materyaller kolay yıkılabilir kısım olarak değerlendirilmiştir (Nocek, 1988). TMR örnekleri NDF sindirilebilirliği için 4, 8, 16, 24, 48, 72, 96, 240 saat, nişasta sindirilebilirliği için 2, 6, 12, 24, 48 saat ve protein sindirilebilirliği için 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 saat rumen ortamında inkübe edilmiştir.

Rumen içerisinde inkübasyon sürelerini tamamlayan keseler, rumen dışına alınarak bekletilmeden soğuk su dolu bir kovaya mikrobiyal faaliyeti durdurmak için aktarılmıştır. Ardından akar durumdaki çeşme suyu altında, yıkama suyu berraklaşmaya kadar yıkanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. İnkübasyon süresini tamamlayan *in situ* torbalarının yıkanması

Yıkama işleminden sonra keseler sıkılmadan oda koşulunda kurutulduktan sonra etüvde 60°C’de 48 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlanınca, keseler tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra aynı inkübasyon sürelerine ait yem örnekleri numune torbalarına aktarılmıştır. İnkübasyon sonrası kalan örneklerin NIR cihazında spektrumları 3 paralel olarak ölçüldükten sonra protein, NDF ve nişasta analizi yapılmak üzere -20°C’de derin dondurucuda saklanmıştır.

Naylon kese tekniği ile belirlenen rumende kuru madde, NDF, protein ve nişasta yıkılabilirliklerinin hesaplanmasında, Orskow ve McDonald (1979) tarafından geliştirilen ve $P=a+b(1-e^{-ct})$ denklemi kullanan excel tabanlı NEWAY (versiyon 6, for office XP, International Feed Resources Unit MLRUI, Aberdeen, UK) bilgisayar programından yararlanılmıştır. Burada;

$$P=a+b(1-e^{-ct})$$

$P=$ t zamandaki yıkılabilirlik oranı (%)

a: hızlı şekilde yıkılan kısım (%)

b: yavaş yıkılan kısım (%)

c: b kısmın yıkılabilir hız sabiti (%/saat)

a+b: potansiyel yıkılabilirlik (%)

t: İnkübasyon süresi (saat)

3.2.4. NIR’da Spektrum Değerlerinin Ölçülmesi

TMR ve dışkı örneklerinin spektrumlarını ölçmek için yakın kızılötesi spektrofotometre (NIRS–XDS, Foss, Danimarka) ve ISI tarama programı (versiyon 4.2.0, Infrasoft International Port Matilda, PA, ABD) kullanılmıştır. Kuru maddesi belirlenen yaklaşık 5 g örnek 3.75 cm çapında küçük halka şeklindeki standart örnek kapına (US-ISIH-0305) konulmuştur. TMR ve dışkı örneklerinin her biri 400 ve 2500 nm (segment 1: 400-1098.2 ile segment 2: 1100-2498.2) dalga

boyları arasında 2 nm aralıklarla 20 kez taranarak absorpsiyonlar ölçülmüş, kalibrasyon ve çapraz doğrulama için ortalama spektrumları kaydedilmiştir (Cingöz, 2015).



Şekil 3.11. NIR cihazında örneklerin okutulması

3.2.5. Kalibrasyon

Mevcut çalışmada *in vivo* deneme sonucunda laktasyon başlangıcında, laktasyon ortasında, laktasyon sonunda ve kuru dönemde kullanılan TMR örneklerinin, bu dönemlerde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimi ve bu değerlerden hesaplanan NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için hem dönemlere göre ayrı ayrı hem de laktasyon dönemleri ve kuru dönem için kalibrasyon denklemleri geliştirilmiştir. *In vitro* deneme sonrası NDF sindirilebilirliği için tüm dönemler birlikte kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur. *In situ* deneme sonrasında ise NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için ise hem tüm dönemler için hem de laktasyon dönemleri ve kuru dönem için kalibrasyon denklemleri geliştirilmiştir.

Kimyasal analizler sonucu elde edilen değerler ve bu değerlerden hesaplanan besin madde sindirilebilirlik değerleri, absorbans spektrumları ile bir ilişki kurabilmek ve kalibrasyon modelleri geliştirebilmek için NIR spektrofotometre veri tabanı olan WinISI III yazılım (versiyon 1.61, Infrasoft International Port Matilda, PA, ABD) programına girilmiştir. Kalibrasyon modellerinin oluşturulmasında örneklerdeki spektral bilgiler ve laboratuvar referans değerleri arasında ilişki kuran, model inşası sırasında doğrusal olmayan problemlerle başa çıkabilen ve tarımsal ürünlerin analizi için doğru yöntemler üretebilen modifiye kısmi en küçük kareler (MPLS) regresyon metodu seçilmiştir (Cozzolino ve Moron, 2004; Abreu ve ark., 2022; Ikoyi ve Younge, 2022; Peters ve ark., 2023).

Her örnek matematiksel muamelelerle birlikte spektrumların saçılımını azaltmak ve aykırı değerleri ortadan kaldırmak için standart normal değişken (SNV) ve ölçümler arasında nakil etkisini (gürültüyü azaltmak ve veri matrisindeki kusurları ortadan kaldırmak) gidermek için Detrend (DT) gibi spektrum ön işleme yöntemlerine tabi tutulmuştur (Naes ve ark., 2002). Ayrıca, TMR ve dışkı örneklerinin kimyasal kompozisyonu için bu değerleri daha doğru bir şekilde tahmin etmek üzere

kalibrasyonu maksimize etmek ve istatistiksel sonuçları iyileştirme amacıyla, birinci derece türevden 1-4-4-1, ikinci derece türevden 2-6-8-1 ve 2-4-4-1 olmak üzere üç matematiksel ön işlem yapılmıştır. Böylece yapılan türevlendirme ile örtüşen tepe noktalarından kaynaklanan sorunları azaltabilmekte ve ince spektral özellikler hakkında bilgi vermeye yardımcı olabilmektedir. Burada, sırasıyla birinci sayı $\log 1/R$ 'nin birinci ve ikinci türevleri, ikinci sayı türevin hesaplandığı veri noktalarındaki boşluğu, üçüncü sayı birinci düzeltirme ve dördüncü sayılar ikinci düzeltirme için kullanılan veri noktalarının sayısını göstermektedir (Ikoyi ve Younge, 2020). Kalibrasyon spektrumlarının düzenlenmesi için bütün aykırı değerler veri setinden temizlenerek yeniden hesaplamalar yapılmıştır. Aykırı değerler ayıklanırken, T (referans değer - tahmin edilen değer / SEC) ve GH (bir örnek noktasından merkeze uzaklık, Mahalanobis mesafesi) kullanılmıştır. Büyük kalıntılara sahip aykırı değerler ($T > 2.5$, $GH > 10$) elimine edilmiş ve kalibrasyon tekrar yapılmıştır (Shenk ve Westerhaus, 1996; Patil ve ark., 2010). Kalibrasyonda elde edilen farklı denklemlerin performansları, dahili bir yöntem olarak kullanılan çapraz doğrulama ile belirlenmiştir.

Kalibrasyon ve çapraz doğrulama sonucunda oluşturulan kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kalibrasyonun standart hatası (SEC), çapraz doğrulamanın standart hatası (SECV), kalibrasyonun determinasyon katsayısı (R^2) ve çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı, 1-VR) hesaplanmıştır (Brognia ve ark., 2018). Optimum kalibrasyon denklemleri, en yüksek R^2 veya 1-VR ve en düşük SEC veya SECV değerlerine göre elde edilmiştir (Williams ve Norris, 2001). Kalibrasyon için nispi tahminleyici (RPD, relative predictive determinant for calibration) kalibrasyon denklemlerinin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. RPD, referans analizlerinin standart sapmasının (SD), çapraz doğrulamanın standart hatasına (SECV) bölünmesi ile hesaplanmıştır.

3.2.6. Doğrulama

Kalibrasyonun doğruluğunu test etmek veya modellerin tahmin yeteneğini değerlendirmek için, tahminin standart hatası (SEP), doğrulamadaki belirleme katsayısı (R^2), sapma için düzeltilmiş standart tahmin hatası [SEP (C)], tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici [$RPD_v = \text{dahili doğrulama seti verilerinin SD} / \text{SEP (C)}$] ve referans değerlerinin tahmin edilen değerlere göre doğrusal regresyonu olan eğim (slope) ile referans ile tahmin edilen değerler arasındaki ortalama farkı oluşturan sapma (bias) her model için hesaplanmıştır. 1'e yakın bir eğim değeri ve 0'a yakın bir sapma, kalibrasyon modelinin tahmin doğruluğuna katkıda bulunmaktadır (Font ve ark., 2003).

Williams ve Norris (2001), RPD değerinin 2.4' ün üzerinde olması gerektiğini 1.5' un altındaki RPD değerlerinin ise kalibrasyonda kullanılamayacağını bildirmiştir. Ayrıca Galvez-Sola ve ark. (2010) ise mükemmel kalibrasyonlar için $R^2 > 0.95$ ile $RPD > 4$, başarılı kalibrasyonlar için $R^2 = 0.90-0.95$ ile $RPD = 3.0-4.0$, orta derecede başarılı kalibrasyonlar için $R^2 = 0.8-0.9$ ile $RPD = 2.25-3.0$ ve orta derecede kullanılabilir kalibrasyonlar için ise $R^2 = 0.7-0.8$ ile $RPD = 1.75-2.25$ olması gerektiğini bildirmişlerdir.

3.2.7. Dış Doğrulama

Her bir fizyolojik dönemde kullanılan TMR ve dışkı örneklerinin yaklaşık %25-30' u dış doğrulama yapmak için ayrılmıştır ve geriye kalan yaklaşık %70-75' lik kısmı ise kalibrasyon denklemleri oluşturmak için kullanılmıştır (Ikoyi ve Younge, 2022). Çapraz doğrulama, dahili veya dış doğrulamayla karşılaştırıldığında aşırı iyimser sonuçlar sağladığı kabul edildiğinden (Naes ve ark., 2002), kalibrasyon veri tabanlarından hariç tutulan veriler kullanılarak daha ileri bir doğrulama çalışması için yürütülmüştür. Yapılan kalibrasyonun doğruluğunu test etmek veya modellerin tahmin yeteneğini değerlendirmek için ayrıca dış doğrulama yapılmıştır. Oluşturulan kalibrasyon denklemleri Win ISI tarama programına eklenerek dış doğrulama için ayrılan örnekler bu kalibrasyon denklemlerinde okutulmuştur. Daha sonra elde edilen tahmin değerleri ile kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler arasında yapılan basit doğrusal regresyon analizi ile regresyon denklemleri elde edilmiştir ve R^2 değerlerine göre denklemlerin tahmin yeteneği hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

3.2.8. İstatistik Analizleri

Tez projesi kapsamında toplanan verilerin derlenmesinde Excel 2016'dan (Microsoft Corp., Redmond, A.B.D.) yararlanılmıştır. Elde edilen verilerin tanımlayıcı istatistiklerinin hesaplanmasında JASP (versiyon 0.18.3, Mac DougLL, 2024), kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulaması yapıldıktan sonra elde edilen verilerin basit doğrusal regresyon analizi ve grafiklerin oluşturulmasında ise JAMOVİ (versiyon 2.5.4, Navarro ve Fox Craft, 2025) istatistik paket programından faydalanılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. *In vivo* Deneme Bulguları

Kuru madde tüketimi yemlerin sindirim sisteminde kalma süresini dolayısıyla da sindirilebilirliği etkileyebildiğinden mevcut çalışmada fizyolojik dönemlerde KMT'yi etkileyebilen canlı ağırlık, VKS ve süt kompozisyonu gibi parametrelere ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

4.1.1. Fizyolojik Dönemlere Göre İneklere ait Verim Parametreleri

Farklı fizyolojik dönemlerde bulunan ineklerin kuru madde tüketimi (KMT), süt verimi (SV), canlı ağırlık (CA) ve vücut kondisyon skorlarına (VKS) ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kuru dönem, laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonundaki ineklerin KMT'leri sırasıyla ortalama 12.0 ± 2.91 kg/gün, 20.0 ± 4.03 kg/gün, 21.3 ± 2.76 kg/gün ve 21.4 ± 2.48 kg/gün olarak belirlenmiştir. Bu dönemlerdeki canlı ağırlıklar sırasıyla 760.2 ± 102.3 kg, 598.2 ± 60.72 kg, 651.9 ± 84.62 kg ve 620.3 ± 50.14 kg, VKS'ler ise sırasıyla 3.4 ± 0.40 , 3.1 ± 0.24 , 3.3 ± 0.13 ve 3.1 ± 0.07 olarak tespit edilmiştir. Laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonundaki ineklerin SV'leri sırasıyla 29.3 ± 5.79 kg/gün, 18.7 ± 2.81 kg/gün ve 18.9 ± 4.30 kg/gün olarak belirlenmiştir. Laktasyonun başlangıcında ineklerin süt verimleri hızla artmaya başlar, laktasyonun ortasına doğru pik yapar ve laktasyon sonuna doğru süt verimi düşmektedir. Mevcut çalışmadaki bulgular ineklerde laktasyon başlangıcında yüksek, orta laktasyonda ve laktasyon sonunda birbirine benzer oranda daha düşük olarak bulunmuştur. Laktasyonun ortasındaki ve sonundaki süt verimlerinin benzer olmasının sebebi bu ineklerde yem tüketimlerinin de benzer olmasından kaynaklanabilmektedir.

KMT'nin yüksek miktarda olması, genellikle daha fazla besin maddesinin rumende fermente olmasına ve sindirilebilirliğin artmasına neden olmaktadır. Bu durum rasyon kalitesine bağlı olarak değişebilmektedir. Yüksek lif içeren kaba yemler, rumende doluluğu artırarak yem tüketimini azaltabilir ve buna bağlı olarak sindirilebilirliği düşürebilmektedir. Ayrıca, KMT dışkıda besin madde bileşimini doğrudan etkilemektedir. Sindirilebilirliği yüksek yemler ile beslemede, dışkıda görülen besin madde miktarı düşmektedir (NRC, 2001).

Çizelge 4.1. Farklı fizyolojik dönemlerde bulunan ineklere ve süt kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikler

Dönemler	Değişkenler	n	Ortalama	SD	Minimum	Maximum	VK (%)
Kuru Dönem	CA	5	760.2	102.13	602.0	858.5	0.13
	VKS	5	3.4	0.40	2.8	4.0	0.12
	KMT	5	12.0	2.91	5.5	18.3	0.24
Laktasyon başlangıcı	CA	5	598.2	60.72	514.5	755.0	0.10
	VKS	5	3.1	0.24	2.8	3.5	0.08
	KMT	5	20.0	4.03	10.4	26.6	0.20
	SV	5	29.3	5.79	20.5	43.2	0.20
	Kuru madde (%)	40	12.9	0.54	11.9	14.0	0.04
	Yağ (%)	40	4.2	0.44	3.3	5.2	0.10
	Protein (%)	40	3.1	0.20	2.8	3.7	0.07
	Laktoz (%)	40	4.7	0.19	4.1	5.0	0.04
	Üre Azotu (mg/dl)	40	19.0	3.79	11.7	27.0	0.20
Laktasyon ortası	CA	5	651.9	84.62	558.0	797.5	0.13
	VKS	5	3.3	0.13	3.0	3.5	0.04
	KMT	5	21.3	2.76	12.8	26.6	0.13
	SV	5	18.7	2.81	13.3	26.7	0.15
	Kuru madde (%)	40	12.5	0.89	9.4	13.8	0.07
	Yağ (%)	40	4.0	0.53	2.6	5.0	0.14
	Protein (%)	40	3.3	0.26	3.0	4.4	0.08
	Laktoz (%)	40	4.4	0.63	2.4	5.0	0.14
	Üre Azotu (mg/dl)	40	18.8	4.50	8.5	26.5	0.24
Laktasyon sonu	CA	5	620.3	50.14	515.5	682.0	0.08
	VKS	5	3.1	0.07	3.0	3.1	0.02
	KMT	5	21.4	2.48	9.6	23.7	0.13
	SV	5	18.9	4.30	12.7	30.0	0.20
	Kuru madde (%)	40	13.1	0.60	12.1	14.2	0.05
	Yağ (%)	40	4.1	0.48	3.1	5.0	0.12
	Protein (%)	40	3.6	0.25	3.0	4.0	0.07
	Laktoz (%)	40	4.6	0.10	4.3	4.8	0.02
	Üre Azotu (mg/dl)	40	18.0	3.12	12.0	23.9	0.17

KMT: Kuru madde tüketimi (Kg/gün), SV: Süt verimi (kg/gün), CA: Canlı ağırlık (kg/hafta), VKS: Vücut kondisyon skoru (haftalık), n: örnek sayısı, SD: standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı, Kuru madde (%), Yağ (%), Protein (%), Laktoz (%), Üre Azotu (mg/dl): Süt kompozisyonuna ait veriler.

In vivo denemede kullanılan ineklerden alınan süt örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Mevcut çalışmada laktasyon başlangıcında, laktasyon ortasında ve laktasyon sonunda sütün kuru madde içeriği (ortalama±standart sapma) sırasıyla %12.9±0.54, %12.5±0.89, %13.1±0.60, yağ içeriği %4.2±0.44, %4.0±0.53, %4.1±0.48, protein içeriği %3.1±0.20, %3.3±0.26, %3.6±0.25, laktoz içeriği %4.7±0.19, %4.4±0.63, 4.6±0.10 ve üre azotu ise %19.0±3.79, %18.8±4.5, %18.0±3.12 olarak bulunmuştur. Laktasyon sonunda sütün kuru maddesi diğer dönemlere göre daha yüksek belirlenmiştir. Laktasyonun son döneminde sütün toplam kuru madde içeriği Bolukçu (2024)’nün sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Sütün yağ içeriği, laktasyon ortasında bulunan ineklerde diğer göre daha düşük bulunmuştur. Bu çalışmadaki bulgular, literatürdeki bulgularla (Stoop ve ark., 2009; Pratap ve ark., 2014; Lim ve ark., 2020) uyum içerisinde, ancak Bohmanova ve ark. (2009) ise laktasyonun

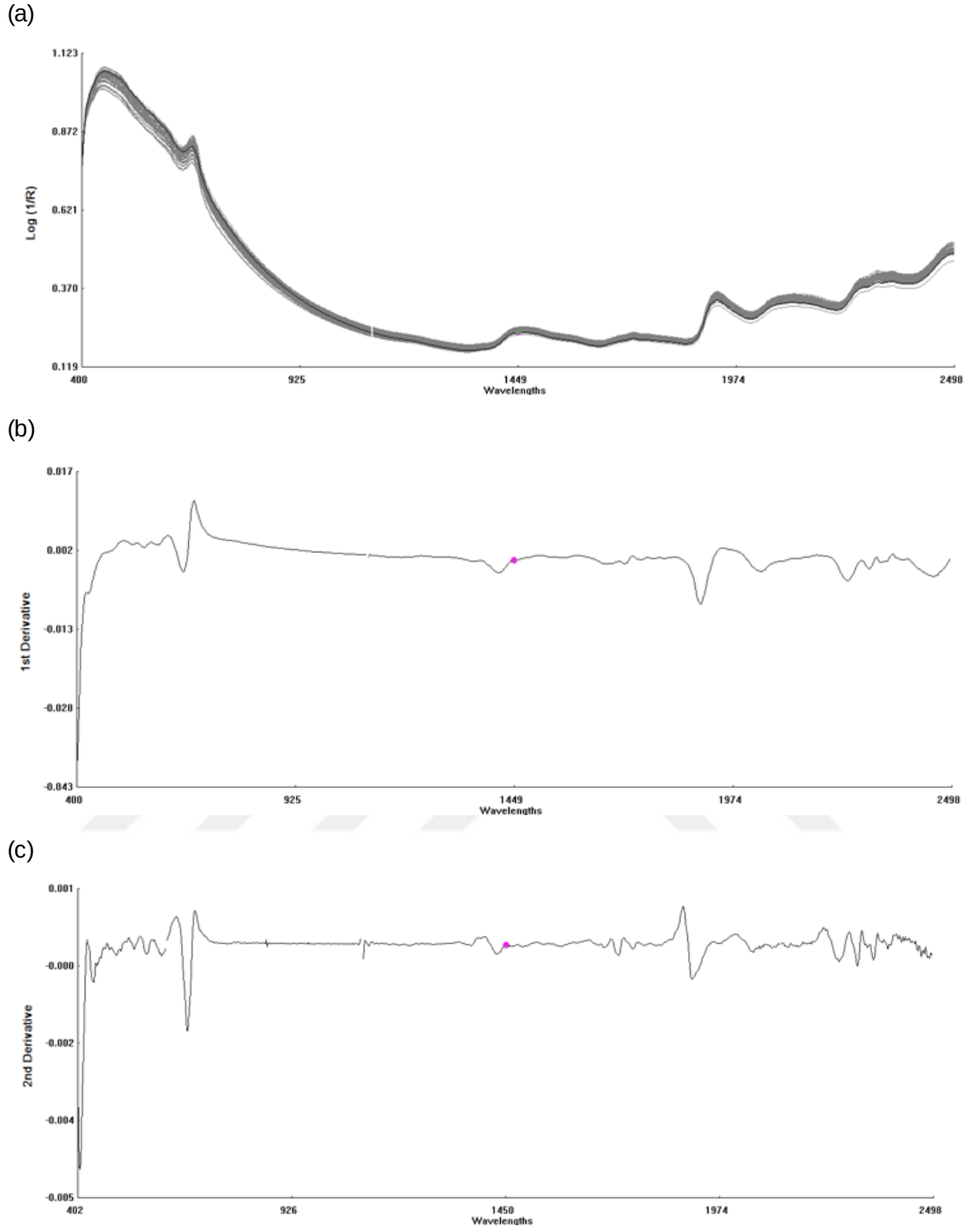
sonundaki ineklerde süt yağ içeriğinin daha düşük olduğu bildirilmiştir. Sütün protein içeriği, diğer çalışmalarda bildirilenlerle (Gallo ve ark., 2022; Chen ve ark., 2024; Johanson ve ark., 2024;) benzerlik göstermiştir. Lim ve ark. (2020) sütün protein içeriğini mevcut çalışmadaki değerden daha düşük (%2.82), Sanjayan ve ark. (2023) ise daha yüksek (4.38) olarak tespit etmişlerdir. Laktasyon dönemleri arasında sütün laktoz içeriği bakımından belirgin farklılıklar olmamakla birlikte laktasyonun orta döneminde düşük bulunması süt verimi ile süt laktoz içeriğinin ilişkili olmasından kaynaklanabilir. Pratap ve ark. (2014) ineklerde süt laktoz içeriğini mevcut çalışmadaki değerlere benzer bulgular elde etmişlerdir. Süt üre azotu protein metabolizmasının son ürünüdür ve rasyon enerji seviyesiyle negatif ilişkilidir (Lim ve ark., 2020). Süt üre azotunun belirlenmesi rasyonun enerji ve protein dengesi hakkında bilgi veren hızlı bir yöntemdir. Böylece ineklerin süt verimi için proteini verimli kullanıp kullanmadığı rahatlıkla anlaşılabilir (Salfer, 2007). Optimum süt üre azot düzeyini kimi araştırmacılar 11-17 mg/dl olması gerektiğini (Hong ve ark., 2003), kimi araştırmacıların 10-14 mg/dl düzeyinde olması gerektiğini (Rajala-Shultz ve ark., 2001), bazıları da süt üre düzeyinin 12.7 mg/dl olması gerektiğini (Kohn ve ark., 2007) bildirmişlerdir. Süt üre düzeyinin yüksek olmasının sebebinin çok yüksek süt verimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Rajala-Shultz ve ark., 2001).

Süt kompozisyonu, ırk ve genotip, beslenme, laktasyon sayısı, laktasyon dönemleri, mevsim ve hayvanın fizyolojik durumu gibi bir dizi faktörden etkilenmektedir (Lim ve ark., 2020). Diğer yandan laktasyonun orta ve geç dönemindeki ineklerin süt bileşimi, laktasyonun erken dönemindeki ineklerin süt bileşimine göre rasyon bileşimindeki değişikliklere daha duyarlıdır (NRC, 2001). Ayrıca yemlerin sindirilebilirliği de süt kompozisyonunu etkilemektedir. Yemlerin sindirilebilirliğinin artması ile günlük süt veriminin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Sindirilebilirlikteki artış sonucunda kuru madde tüketimi artar, böylece rumen mikroorganizmaları için yüksek miktarda enerji sağlanarak rumen fermantasyonunu iyileştirebilir ve lif sindirilebilirliğinin artması ile rumen asetat üretimi artarak ve süt yağı yükselebilir (Kramer-Schmid ve ark., 2016). Buna karşın yemlerin sindirilebilirliğinin artması ile süt yağı ve protein konsantrasyonu üzerinde bir etkisinin olmadığı, süt laktoz konsantrasyonunun arttığı da bildirilmiştir (Oba ve Allen, 1999). Yemlerin sindirilebilirliğinin artması rumende mikrobiyal protein sentezinin artmasına ve süt protein konsantrasyonunda artışa neden olabilmektedir. Ayrıca enerji tüketiminin artması ile birlikte süt laktoz içeriği de artabilmektedir (Alstrup ve ark., 2014).

4.1.2. TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar

TMR örneklerine ait NIR cihazında belirlenen ham spektrum görünümleri (1/log) ve bu spektrumlara uygulanan ön işlemler sonucu normalleştirilmiş spektrumlar Şekil 4.1'de gösterilmiştir. 400 ile 2498 nm dalga boyları arasında TMR örneklerinin ham spektrumları elde edilmiştir. Spektrum grafiği incelendiğinde farklı fizyolojik dönemlerdeki TMR örneklerinin spektrumlarının benzer olduğu görülmektedir. Yakın kızılötesi spektroskopisi, O-H, C-H, C-O ve N-H moleküler bağ kombinasyonlarının titreşim davranışını esas alarak bileşenlerin yapısı hakkında bilgi verir (Cen ve He, 2007). Bu nedenle birçok organik makro bileşiğin (ham selüloz, ham protein, ham yağ ve nişasta) düzeyini tahmin etmek için kullanılabilir. Spektrumlar incelendiğinde yaklaşık olarak 1450 nm, 1700 nm, 1950 nm, 2300 nm ve 2500 nm dalga boylarında pik yapmıştır. 1450 nm dalga boyu O-H molekül bağlarının varlığını göstermekte olup örnekteki nem içeriğini, 1700 nm dalga boyu C-H molekül bağlarının varlığını göstermekte olup örnekteki lif fraksiyonları ve yağ içeriği hakkında bilgi vermektedir (Yang ve ark., 2017). 1950-2100 nm dalga boyları arasında ise C-O molekül bağlarının varlığı görülür ve bu molekül bağları örnekteki nişasta içeriği hakkında bilgi verir. 2100-2300 nm dalga boylarında ise N-H molekül bağları bulunur ve ham protein içeriği hakkında bilgi verir (Williams, 2020).

Yang ve ark. (2024), çalışmalarındaki NIR spektrumlarının, 1450 nm ve 1970 nm dalga boyunda O-H molekül varlığının nem içeriğini ve 2000-2100 nm dalga boyunda C-O-H molekül varlığı ile karbonhidrat içeriğini belirttiğini bildirmiştir. Bu sonuçlar mevcut çalışmadaki bulgularla benzemektedir. Yakubu ve ark. (2023)'ün çalışmasındaki NIR spektrumları incelendiğinde 1450 ve 1930 nm dalga boyunda O-H molekül varlığı ile nem içeriği, 1725 nm dalga boyunda C-H molekül varlığı ile lif içeriği, 1590 ve 2100 nm dalga boyunda N-H molekül varlığı ile protein varlığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar da mevcut çalışma bulguları ile benzerlik göstermektedir.

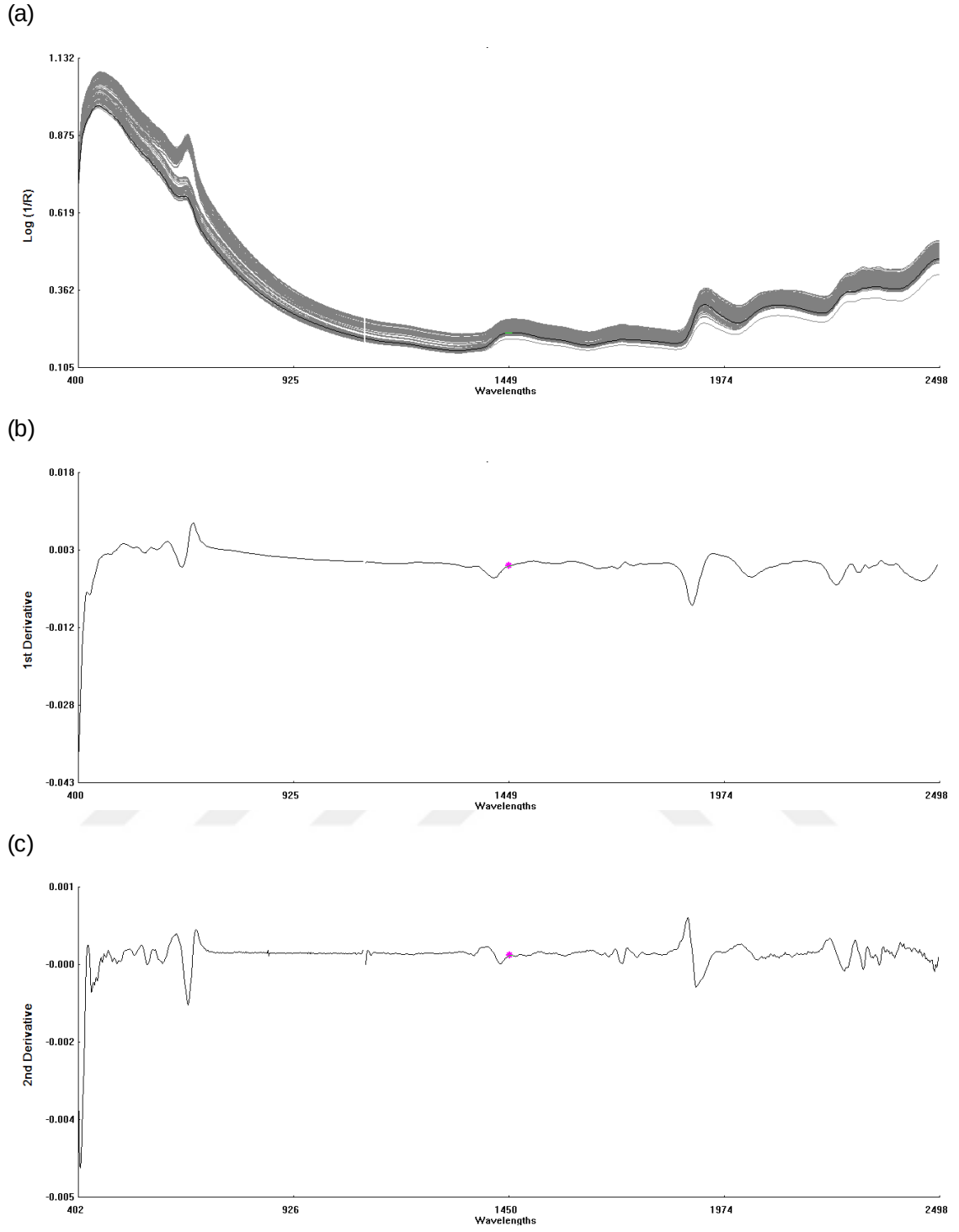


Şekil 4.1. TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünümleri

4.1.3. Dışkı Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar

Dışkı örneklerine ait NIR cihazında belirlenen ham spektrum görünümleri (1/log) ve bu spektrumlara uygulanan ön işlemler sonucu normalleştirilmiş spektrumlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. 400 ile 2498 nm dalga boyları arasında dışkı örneklerinin ham spektrumları elde edilmiştir. Spektrum grafiği incelendiğinde farklı fizyolojik dönemlerdeki ineklerden toplanan dışkı örneklerinin spektrumlarının benzer olduğu görülmektedir. Dışkı örneklerine ait spektrumlar TMR örneklerinin spektrumlarına benzer dalga boylarında pikler yapmıştır. Sığır dışkısında bulunan bileşenler, sindirilmemiş kalıntılardan ve son ürünlerden kaynaklanan C-H, O-H ve N-H dahil olmak üzere çeşitli kimyasal bağlardan ve fonksiyonel gruplardan oluşur. Bu bileşenler, rasyonun sindirilebilirliğiyle yakından ilişkili olan NIR spektral bilgisine katkıda bulunmaktadır (Xu ve ark., 2023). Spektrumlar incelendiğinde yaklaşık olarak 1450 nm, 1700 nm, 1950 nm, 2300 nm ve 2500 nm dalga boylarında pik yapmıştır. Bu dalga boylarındaki pikler, O-H, C-H, C-O ve N-H molekül bağlarının varlığını göstermekte olup örnekteki nem içeriği, lif fraksiyonları, yağ içeriği, nişasta içeriği ve ham protein içeriği hakkında bilgi vermektedir (Yang ve ark., 2017; Williams, 2020).

Hernandez ve ark. (2023), dışkıdaki spektrumlarının 1450 ve 1940 nm dalga boyunun nem içeriğini, 1210, 1726, 1760, 2308 ve 2348 nm dalga boyundaki bantların, yağ asitlerine ve yağ içeriğine, 1516, 2056, 2174 ve 2468 nm'deki bantların protein içeriğine ve 1922, 2078–2110, 2268 ve 2420 nm'deki bantların lif içeriğine karşılık geldiğini belirlemiş olup mevcut çalışma bulgularıyla uyum içerisindedir. Simoni ve ark. (2021), dışkıda NIR spektrumlarının 1735, 1772 nm dalga boyunun yağ içeriği, 1211, 1446–1513, 2067–2180 nm dalga boyunun karbonhidrat içeriği, 1940 nm dalga boyunun su içeriği, 1446'dan 1513 nm'ye ve 2067'den 2180 nm'ye kadar olan dalga boyunun ise protein varlığıyla ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Mevcut çalışmadaki bulgularla karşılaştırıldığında yağ içeriği ve karbonhidrat içeriği ile ilgili tespit edilen dalga boyları benzerken, su ve protein içeriği ile ilgili tespit edilen dalga boyu farklılıklar göstermektedir.



Şekil 4.2. Dışkı örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünüşleri

4.1.4. Laktasyonun Başlangıç Döneminde Kullanılan TMR'lerin Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

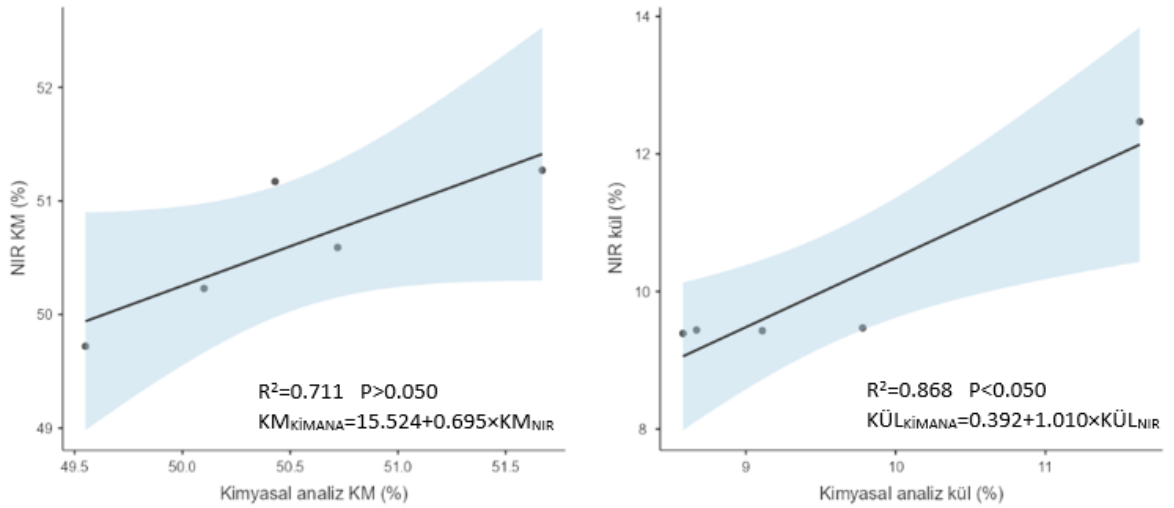
Laktasyon başlangıcındaki ineklerde kullanılan TMR örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.74, 0.97, 0.57, 0.91, 0.98, 0.89, 0.89, 0.95, 0.61, 0.86; tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 0.99, 3.61, 1.09, 2.53, 5.43, 2.10, 2.08, 2.50, 0.95, 2.00 olarak belirlenmiştir. Geliştirilen kalibrasyonlar ve laboratuvar değerlerinin karşılaştırılmasında R^2 ve RPD kullanıldığında (Williams ve Norris, 2001; Galvez-Sola, 2010; Ikoyi ve Young, 2022), kuru madde için ($R_{cal}^2=0.74$, RPD=0.99) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kullanılabilir olduğu, ham kül ($R_{cal}^2=0.97$, RPD=3.61), ADFom ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.43) ve ADIP ($R_{cal}^2=0.95$, RPD=2.5) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, ham protein ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=2.53), aNDFom ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=2.10), ADLom ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=2.08) ve nişasta ($R_{cal}^2=0.86$, RPD=2.0) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olarak kabul edildiğini, eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.57$, RPD=1.09) ve NDIP ($R_{cal}^2=0.61$, RPD=0.95) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin sadece tarama için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. NDIP selüloz ve lignin gibi polisakkaritlere güçlü olarak bağlanmış proteinler olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda tanenler ve fenolik bileşiklere bağlı proteinleri de içerebilirler. Bu bileşikler proteinlerin çözünürlük özelliklerini değiştirerek sindirimini zorlaştırmaktadır. Kimyasal yapısının karmaşık olması, yüksek molekül ağırlığı ve sıkı bağlı protein komplekslerinden meydana gelmesi (Van Soest, 1994) NDIP' nin kalibrasyonunu zorlaştırmaktadır. NIR spektrumunda farklı makro bileşenlerin (protein, karbonhidrat, su ve yağlar) absorpsiyon bantları sıklıkla üst üste binebilir ve güçlü olan absorpsiyon bantları bulunan bileşenler (örneğin su) yağların zayıf sinyallerini örtebilirler (Williams ve Norris, 2001). Yağlar yemlerde düşük konsantrasyonlarda (1.1 ± 0.10 , Çizelge 3.4) bulunduğu için, NIR ile ölçüm yapıldığında sinyallerin zayıf ve gürültülü olmasına neden olabilirler. Bu durum da sonuçların doğruluğunu olumsuz olarak etkileyebilir. Ayrıca yağlar bazen yemler içerisinde homojen olarak karıştırılamayabilmekte, bu heterojen dağılım da dalgalanmaya neden olarak ölçüm sonuçlarını etkileyebilmektedir (Shenk ve Westerhaus, 1996).

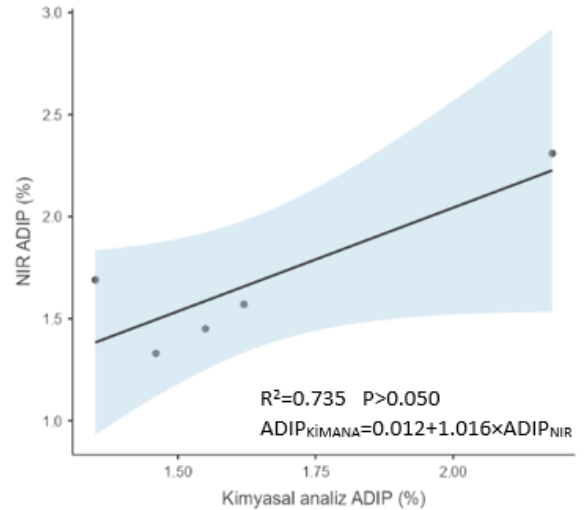
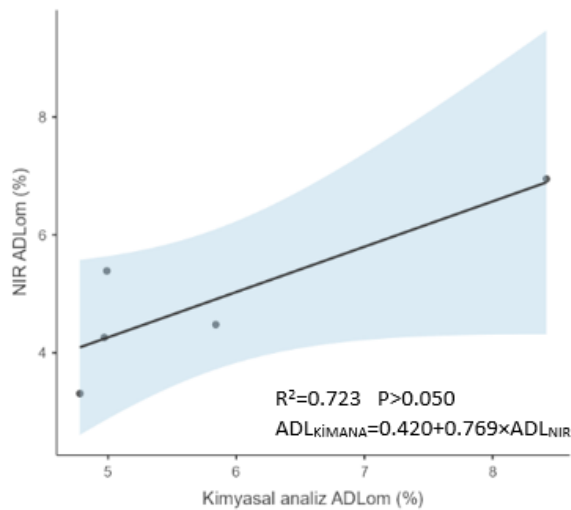
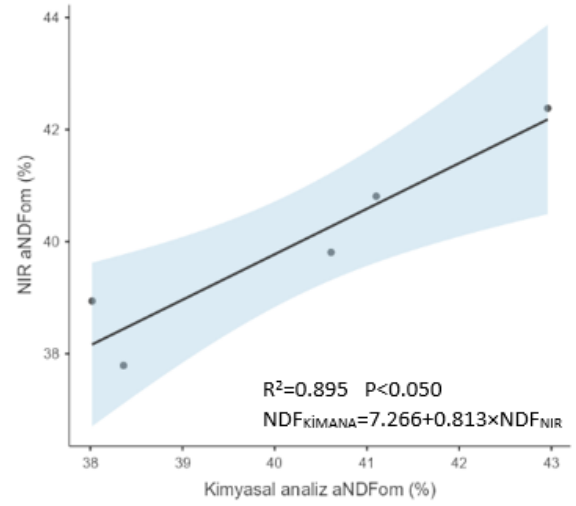
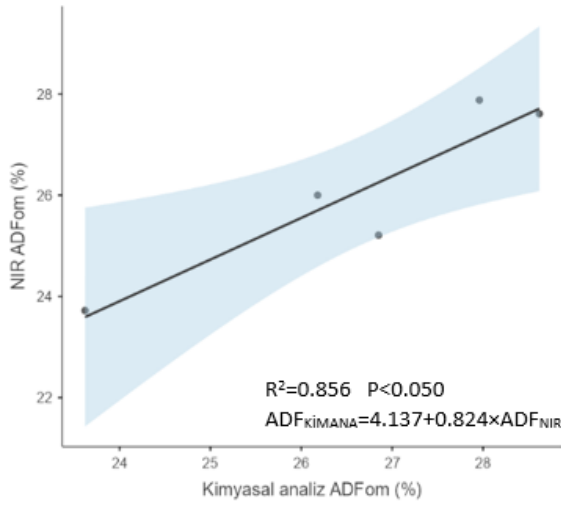
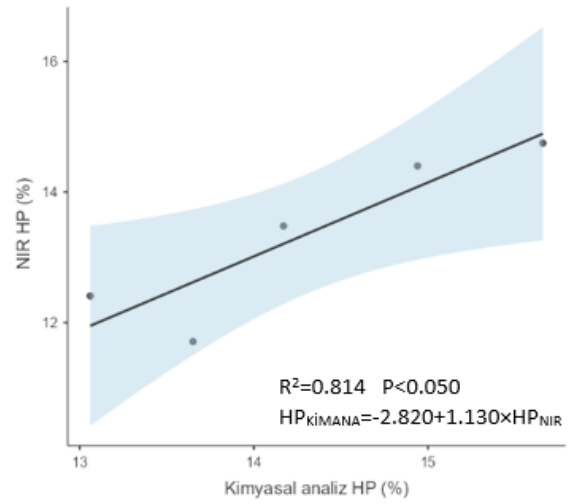
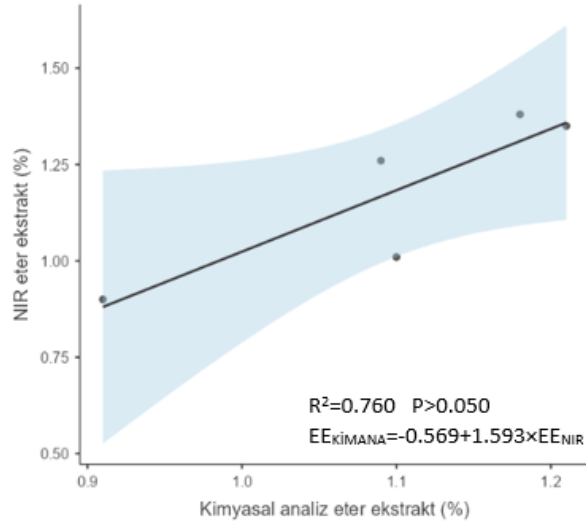
Çizelge 4.2. Laktasyonun başlangıç döneminde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonunun kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

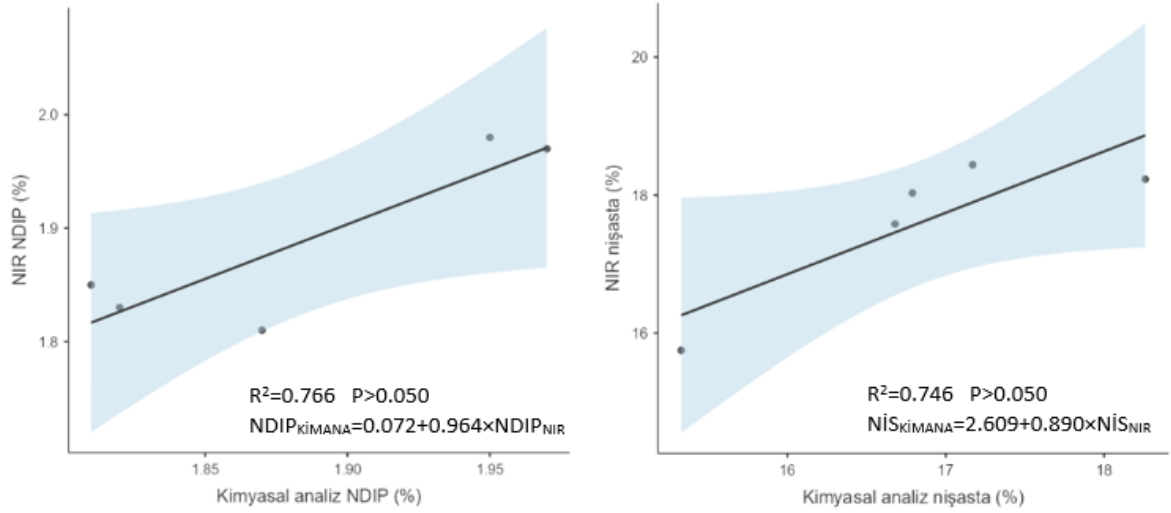
Değişkenler	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum Ön İşlem	Matematiksel Ön İşlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	10	SNV + Detrend	2,6,8,1	0.45	0.74	1.00	0.11	0.99	50.5	0.90	50.5	0.99
Ham kül	10	-	2,6,8,1	0.22	0.97	0.35	0.93	3.61	9.5	1.22	9.5	1.27
Eter ekstrakt	10	-	2,6,8,1	0.07	0.57	0.09	0.35	1.09	1.1	0.10	1.1	0.10
Ham protein	10	SNV + Detrend	1,4,4,1	0.35	0.91	0.46	0.86	2.53	14.3	1.08	14.3	1.16
ADFom	9	-	2,6,8,1	0.34	0.98	0.43	0.97	5.43	26.5	2.04	26.4	2.31
aNDFom	10	SNV	2,6,8,1	0.67	0.89	0.94	0.79	2.10	40.5	1.93	40.6	1.97
ADLom	10	SNV	2,6,8,1	0.50	0.89	0.73	0.79	2.08	6.0	1.48	6.1	1.53
ADIP	10	-	2,6,8,1	0.06	0.95	0.11	0.86	2.50	1.7	0.28	1.7	0.28
NDIP	10	-	1,4,4,1	0.07	0.61	0.12	0.05	0.95	1.9	0.10	1.8	0.11
Nişasta	10	SNV	2,6,8,1	0.37	0.86	0.50	0.77	2.00	16.9	0.98	16.9	0.99

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun başlangıcında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.71, ham kül için 0.87, eter ekstrakt için 0.76, ham protein için 0.81, ADFom için 0.86, aNDFom için 0.90, ADLom için 0.72, ADIP için 0.74, NDIP için 0.77 ve nişasta için 0.75’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda ham kül, ham protein, ADFom ve aNDFom için belirlenen R^2 değerleri başarılı, kuru madde, eter ekstrakt, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta için R^2 değerleri de kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Yapılan doğrulamalar sonucunda incelenen parametreler bakımından oluşturulan kalibrasyonların kullanılabileceği görülmüştür. Ham protein miktarı Molle ve ark. (2023)’nın geliştirdiği kalibrasyon sonucu elde ettikleri R^2 ve RPD değerlerinden yüksek, Swart ve ark. (2012) ile Brogna ve ark. (2018)’nın elde ettiği R^2 ve RPD değerleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. ADF (Swart ve ark., 2012; Brogna ve ark., 2018; Molle ve ark., 2023) ve NDF (Swart ve ark., 2012; Brogna ve ark., 2018) için belirlenen R^2 ve RPD değerleri literatürle benzerlik gösterirken (Swart ve ark., 2012; Brogna ve ark., 2018; Molle ve ark., 2023); eter ekstrakt (Swart ve ark., 2012; Brogna ve ark., 2018; Molle ve ark., 2023) ve ADL için belirlenen R^2 ve RPD değerlerinin (Brogna ve ark., 2018) mevcut çalışmadan yüksek olduğu bildirilmiştir. Mevcut çalışmada nişasta (Brogna ve ark., 2018) ve kül için tespit edilen R^2 ve RPD değerlerinin (Swart ve ark., 2012) ise önceki çalışmalardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.







Şekil 4.3. Laktasyon başlangıcında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.5. Laktasyonun Başlangıç Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

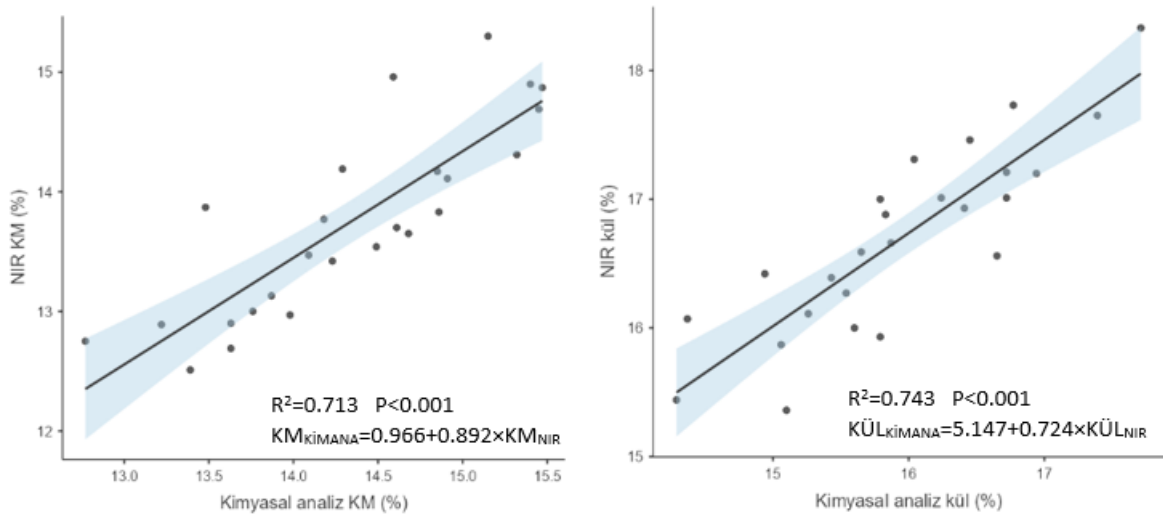
Laktasyonun başlangıç dönemindeki ineklerden alınan dışkı örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.3’de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.94, 0.79, 0.93, 0.62, 0.91, 0.92, 0.79, 0.73, 0.64, 0.94 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 2.40, 1.32, 2.39, 1.09, 1.76, 1.60, 1.11, 0.84, 0.98, 2.54 olarak belirlenmiştir. Geliştirilen kalibrasyonlar ve laboratuvar değerlerinin karşılaştırılmasında R^2 ve RPD kullanıldığında (Williams ve Norris, 2001; Galvez-Sola, 2010; Ikoyi ve Young, 2022), kuru madde için ($R_{cal}^2=0.94$, $RPD=2.40$), eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.93$, $RPD=2.30$), ADFom ($R_{cal}^2=0.91$, $RPD=1.76$), aNDFom ($R_{cal}^2=0.92$, $RPD=1.60$), nişasta ($R_{cal}^2=0.94$, $RPD=2.54$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, ham kül ($R_{cal}^2=0.79$, $RPD=1.32$), ADLom ($R_{cal}^2=0.79$, $RPD=1.11$), ADIP ($R_{cal}^2=0.73$, $RPD=0.94$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin R_{cal}^2 değerleri incelendiğinde kullanılabilir olarak değerlendirilse de kalibrasyonun performansını değerlendiren RPD değerlerinin 1.5’un altında olduğu, kalibrasyonda kullanılamayacağı fakat örnekler hakkında bu parametreler bakımından tahmin yürütebilmek için taramada kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Ham protein ($R_{cal}^2=0.62$, $RPD=1.09$) ile NDIP ($R_{cal}^2=0.64$, $RPD=0.98$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin ise R_{cal}^2 ile RPD değerleri bakımından düşük değerlere sahip olduğu ve sadece tarama için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

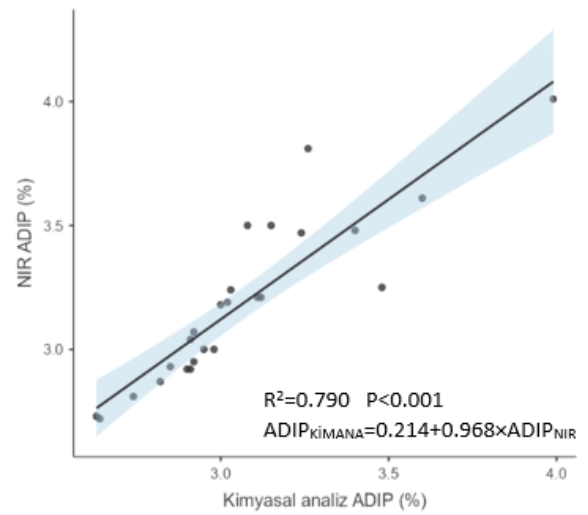
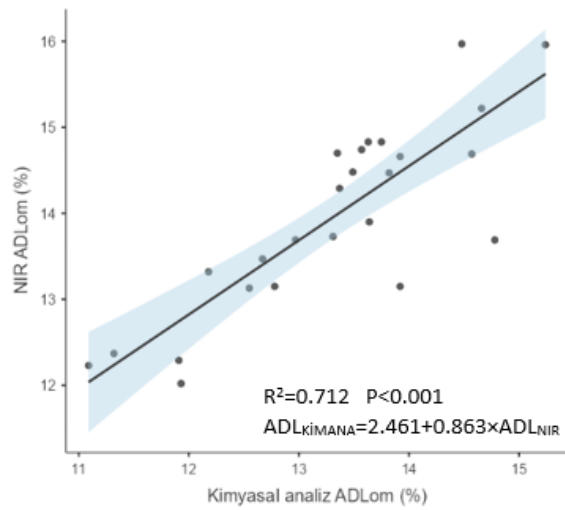
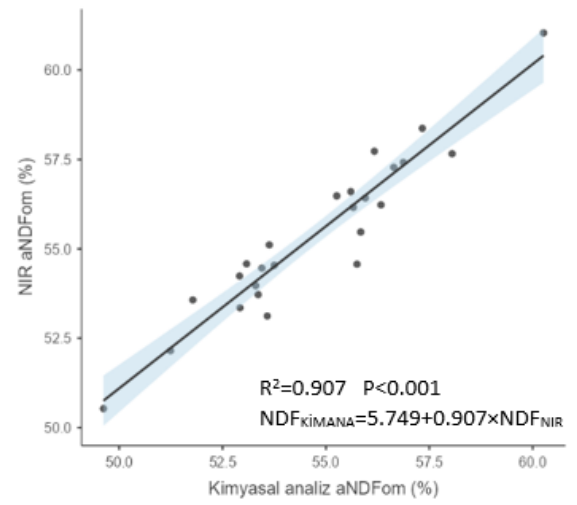
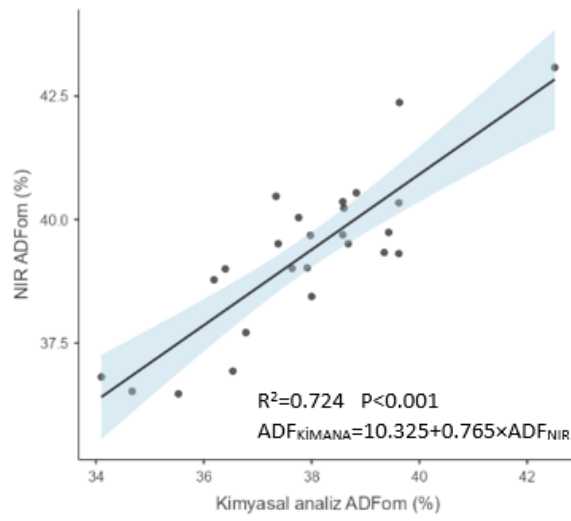
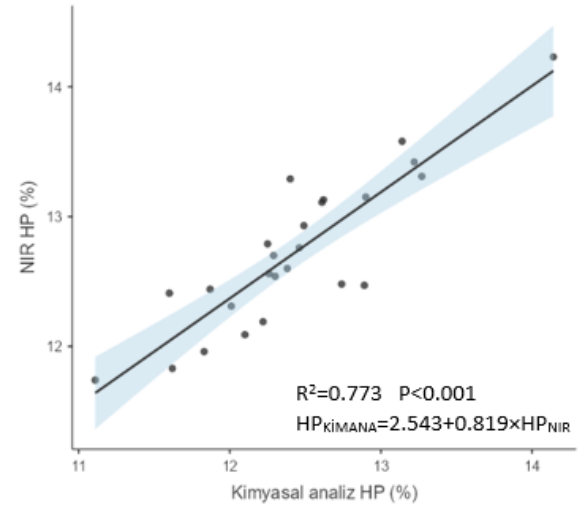
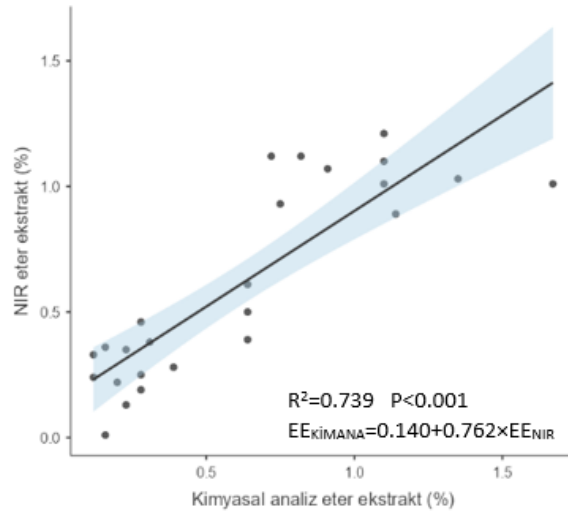
Çizelge 4.3. Laktasyonun başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

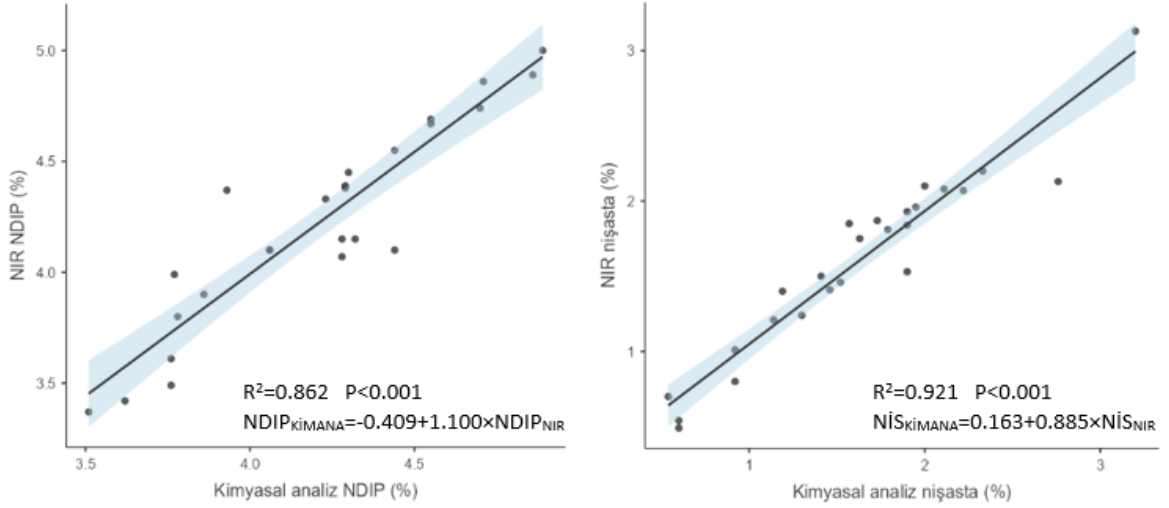
Değişken	Örnek sayısı	Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	Kalibrasyon		Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
				SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	48	SNV + Detrend	2,6,8,1	0.18	0.94	0.30	0.84	2.4	14.33	0.76	14.32	0.71
Ham kül	48	-	2,6,8,1	0.43	0.79	0.65	0.53	1.32	15.84	0.97	15.92	0.85
Eter ekstrakt	47	-	2,6,8,1	0.10	0.93	0.16	0.84	2.39	0.62	0.46	0.57	0.38
Ham protein	46	SNV + Detrend	1,4,4,1	0.36	0.62	0.43	0.47	1.09	12.51	0.58	12.51	0.46
ADFom	49	-	2,6,8,1	0.49	0.91	0.94	0.68	1.76	37.75	1.87	37.80	1.67
aNDFom	50	SNV	2,6,8,1	0.62	0.92	1.33	0.64	1.60	54.45	2.2	54.45	2.12
ADLom	50	SNV	2,6,8,1	0.52	0.79	0.93	0.34	1.11	13.32	1.13	13.31	1.02
ADIP	48	-	2,6,8,1	0.12	0.73	0.24	-0.16	0.84	3.09	0.28	3.09	0.20
NDIP	47	-	1,4,4,1	0.20	0.64	0.28	0.29	0.98	4.22	0.33	4.22	0.27
Nişasta	48	SNV	2,6,8,1	0.16	0.94	0.24	0.86	2.54	1.62	0.65	1.60	0.62

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun başlangıcındaki ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.4’ de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.71, ham kül için 0.74, eter ekstrakt için 0.74, ham protein için 0.77, ADFom için 0.72, aNDFom için 0.91, ADLom için 0.71, ADIP için 0.79, NDIP için 0.86 ve nişasta için 0.92’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda aNDFom, NDIN, nişasta için belirlenen R^2 değerleri başarılı, kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, ADLom ve ADIN için ise belirlenen R^2 değerleri kullanılabılır olarak değerlendirilmiştir. Xu ve ark. (2023)’nın, kuru madde ($R_{val}^2=0.95$), protein ($R_{val}^2=0.82$) ve ham kül ($R_{val}^2=0.87$) için belirledikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgulardan yüksek, eter ekstrakt ($R_{val}^2=0.79$) için belirlenen tahmin değerleri mevcut çalışmanın bulgularına benzer ve NDF ($R_{val}^2=0.76$), nişasta ($R_{val}^2=0.52$) ve ADF ($R_{val}^2=0.66$) için elde edilen tahmin değerleri ise mevcut çalışmadaki bulgulardan daha düşük olarak bulunmuştur. Paternostre ve ark. (2021), domuzların dışkısında yaptıkları çalışmada elde ettikleri R^2 ve RPD değerleri, kuru madde ve eter ekstrakt için mevcut çalışmadaki bulgulardan daha yüksek, ham protein ve ham kül için ise elde ettikleri R^2 ve RPD değerleri mevcut çalışmadan daha düşük olarak bulunmuştur.







Şekil 4.4. Laktasyon başlangıcında bulunan ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.6. Laktasyonun Başlangıç Döneminde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

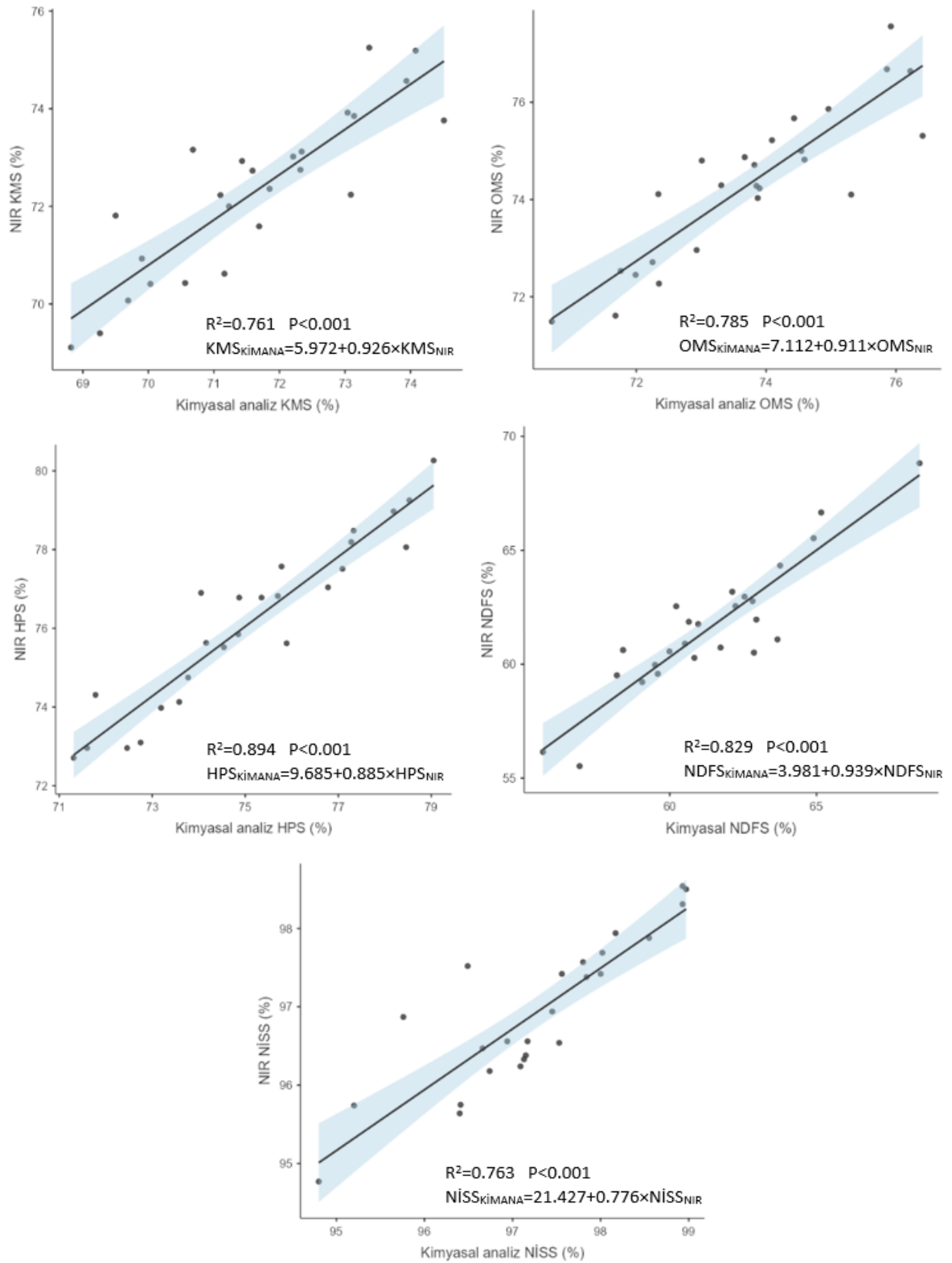
Laktasyonun başlangıç dönemindeki ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.4’de verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS’ ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.96, 0.91, 0.81, 0.89 ve 0.94 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 2.68, 1.97, 1.20, 2.15 ve 2.31 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=2.68), OMS için ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=1.97) ve NISS için ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=2.31) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, NDFS için ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=2.15) geliştirilen kalibrasyon denkleminin başarılı olduğu, HPS ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.20) için ise R_{cal}^2 değeri başarılı olsa da RPD değeri incelendiğinde bu denklemin taramada kullanılabileceği ancak kalibrasyonda kullanılamayacağı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Laktasyonun başlangıcında sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum Ön İşlem	Matematiksel Ön İşlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
KMS	48	-	1,4,4,1	0.31	0.96	0.58	0.87	2.68	71.63	1.60	71.64	1.55
OMS	49	SNV	1,4,41	0.45	0.91	0.73	0.77	1.97	73.72	1.52	73.76	1.44
HPS	49	SNV	1,4,41	1.05	0.81	1.82	0.41	1.20	74.93	2.43	75.05	2.18
NDFS	48	SNV	2,6,8,1	0.94	0.89	1.35	0.78	2.15	61.58	2.91	61.59	2.90
NISS	47	SNV + Detrend	1,4,4,1	0.26	0.94	0.43	0.83	2.31	97.27	1.08	97.37	1.00

¹ KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), SD: Standart sapma, RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, "-": Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun başlangıcında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.5’ te verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri KMS için 0.76, OMS için 0.79, HPS için 0.89, NDFS için 0.83 ve NISS için 0.76’ dır. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Molle ve ark. (2023), dışkıdan NIR ile ağıl koşullarında karışım rasyonlarla beslenen süt koyunlarında besin madde sindirilebilirliğini saptamıştır, sonuçta HPS ($R^2_{val}=0.71$) için tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla uyuşmakta, KMS ($R^2_{val}=0.60$), OMS ($R^2_{val}=0.74$), NDFS ($R^2_{val}=0.75$) için tahmin değerleri mevcut çalışmadaki değerlerden düşük olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmada KMS için elde edilen tahmin değerleri genel olarak diğer araştırmacılar (Landau ve ark. (2006), $R^2 = 0.81$; Decandia ve ark. (2009), $R^2 = 0.82$) daha iyi sonuçlar vermiştir. Guerra ve ark (2023), laktasyondaki mandalarda NIR spektroskopisi ile dışkıdan besin madde sindirilebilirliği için elde ettikleri tahmin değerleri KMS ($R^2= 0.10$), OMS ($R^2= 0.21$), NDFS ($R^2= 0.15$), HPS ($R^2= 0.31$), NISS ($R^2= 0.08$) için çok düşüktür, mevcut çalışmadaki bulguların ise aksine ($R^2> 0.70$) bu parametreler için başarılı sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.5. Laktasyon başlangıcında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.7. Laktasyonun Orta Döneminde Kullanılan TMR' de Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

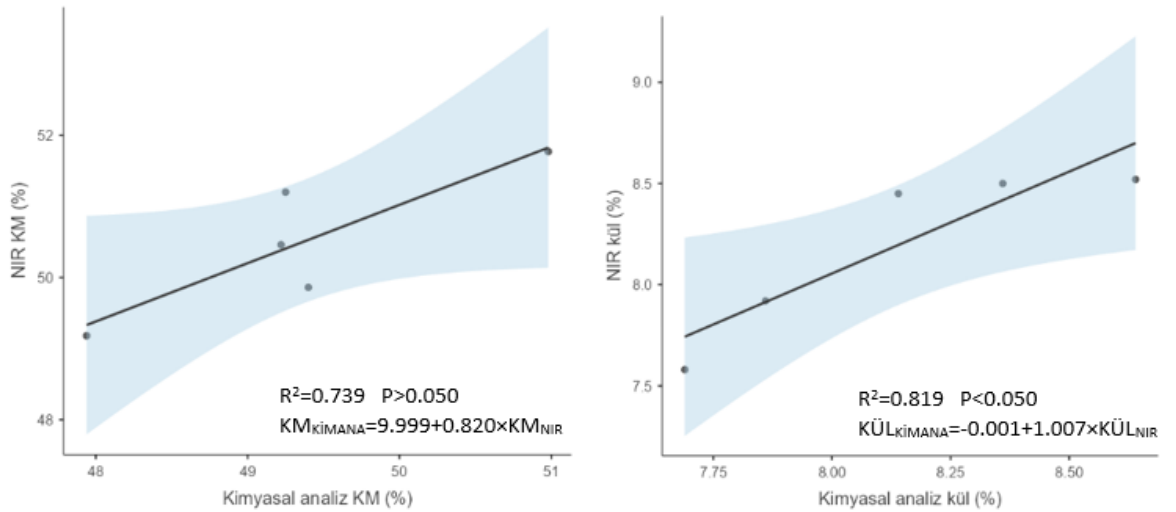
Laktasyonun ortasında bulunan ineklerde kullanılan TMR örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.5'de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.83, 0.98, 0.95, 0.88, 0.87, 0.87, 0.94, 0.88, 0.85 ve 0.75 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 1.26, 3.92, 1.22, 1.65, 1.99, 1.29, 1.44, 1.60, 1.52 ve 1.22 olarak belirlenmiştir. Ham kül ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=3.92) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.95$, RPD=1.22), ADL ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=1.44), kuru madde ($R_{cal}^2=0.83$, RPD=1.26), NDF ($R_{cal}^2=0.87$, RPD=1.29), NDIP ($R_{cal}^2=0.85$, RPD=0.52) ve nişasta ($R_{cal}^2=0.74$, RPD=0.99) için geliştirilen denklemlerin R_{cal}^2 değeri bakımından yüksek değerlere sahip olduğu ancak RPD değerlerinin düşük (RPD<1.5) olduğu için sadece taramada kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Ham protein ($R_{cal}^2=0.88$, RPD=1.65), ADF ($R_{cal}^2=0.87$, RPD=1.99) ve ADIP ($R_{cal}^2=0.88$, RPD=1.60) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olarak tespit edilmiştir.

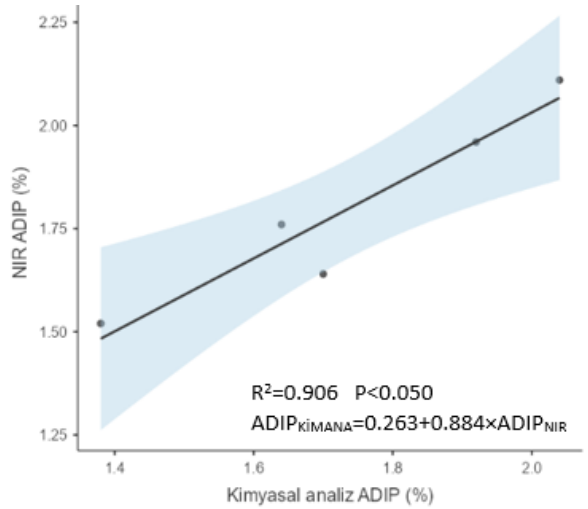
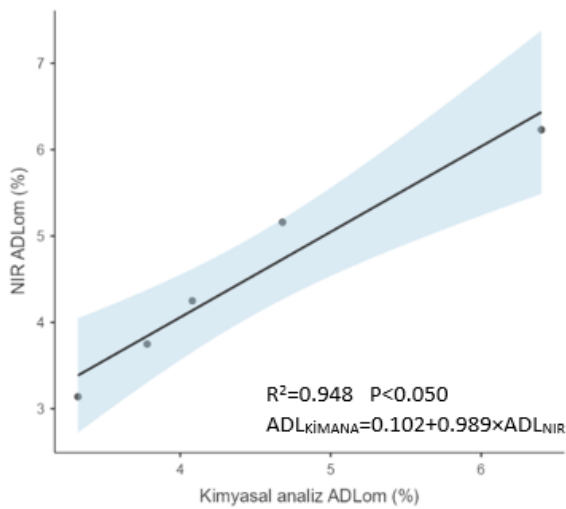
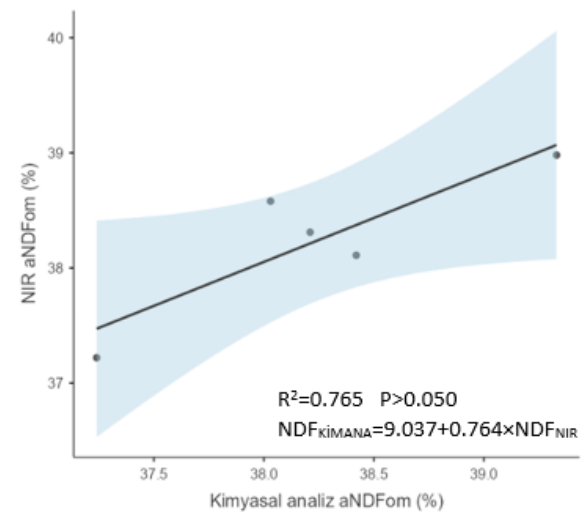
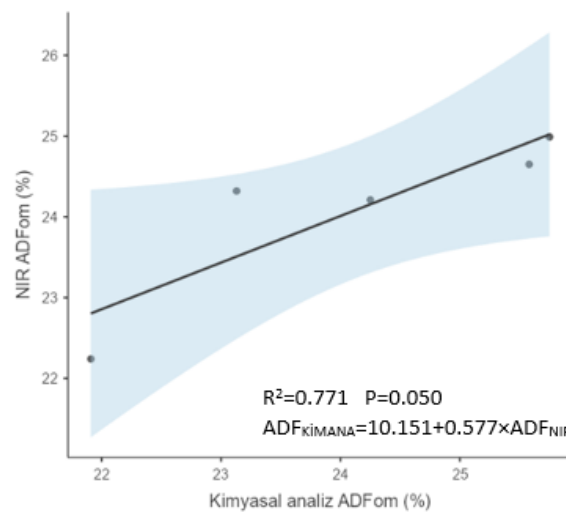
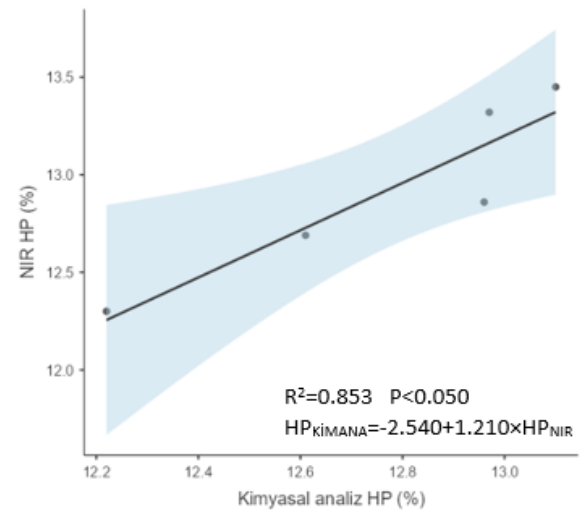
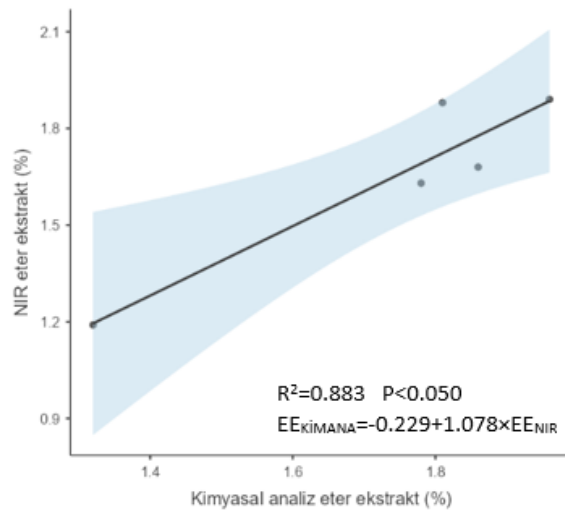
Çizelge 4.5. Laktasyonun ortasında kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

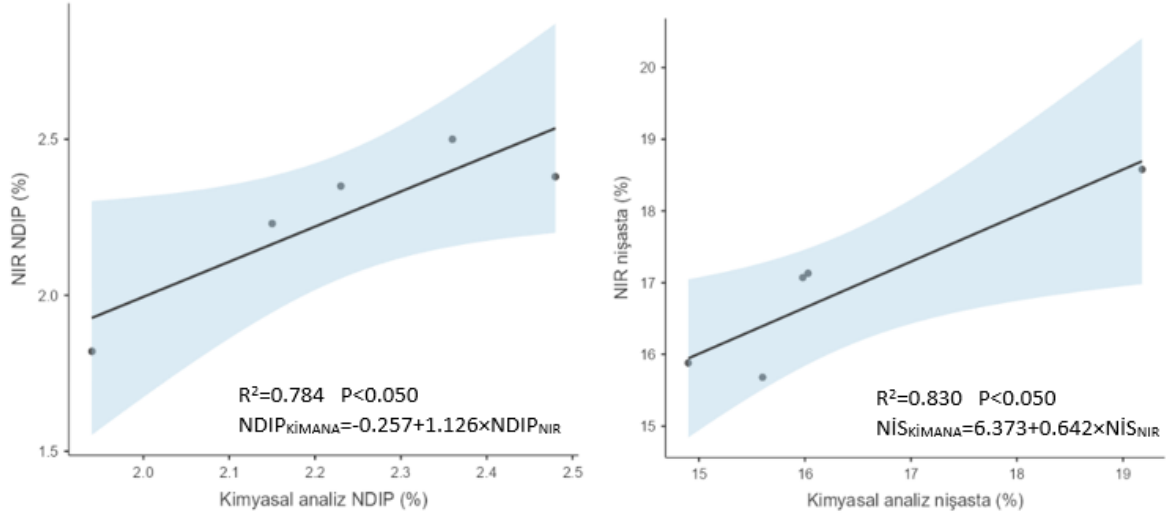
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	10	SNV	1,4,4,1	0.43	0.83	0.84	0.44	1.26	49.38	1.03	49.39	1.06
Ham kül	10	SNV	2,6,8,1	0.04	0.98	0.09	0.94	3.92	8.19	0.35	8.21	0.35
Eter ekstrakt	10	SNV	2,6,8,1	0.06	0.95	0.23	0.39	1.22	1.69	0.26	1.66	0.27
Ham protein	10	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.14	0.88	0.26	0.68	1.65	12.72	0.39	12.7	0.42
ADFom	10	-	2,6,8,1	0.42	0.87	0.57	0.78	1.99	24.32	1.27	24.42	1.13
aNDFom	10	SNV	1,4,4,1	0.38	0.87	0.82	0.42	1.29	37.91	0.97	37.74	1.06
ADLom	9	SNV	1,4,4,1	0.15	0.94	0.44	0.61	1.44	4.46	0.94	4.26	0.63
ADIP	10	SNV	1,4,4,1	0.11	0.88	0.19	0.65	1.60	1.72	0.28	1.70	0.31
NDIP	10	-	1,4,4,1	0.09	0.85	0.15	0.64	1.52	2.16	0.22	2.12	0.22
Nişasta	10	SNV	1,4,4,1	0.78	0.75	1.28	0.40	1.22	16.34	1.53	16.34	1.56

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, "-": Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun ortasında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.6’ de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.74, ham kül için 0.82, eter ekstrakt için 0.88, ham protein için 0.85, ADFom için 0.77, aNDFom için 0.77, ADLom için 0.95, ADIP için 0.91, NDIP için 0.78 ve nişasta için 0.83’ tür. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. TMR örneklerinde besin madde bileşimini NIR spektroskopisinde tahmin eden Simoni ve ark. (2021), kuru madde ($R^2=0.76$), ham kül ($R^2=0.82$) ve ham protein ($R^2=0.83$) için saptadıkları R^2 değerleri mevcut çalışmanın bulgularıyla uyushmaktadır, ADLom için ($R^2=0.53$) ve ADIN için ($R^2=0.68$) elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki değerlerden daha düşük, aNDF için ($R^2=0.80$), NDIP için ($R^2=0.80$), ADF için ($R^2=0.86$) için elde edilen R^2 değerleri mevcut çalışmanın bulgularından yüksek olarak bulunmuştur. Noel ve ark. (2022)’nın, nişasta için ($R^2= 0.85$) saptadıkları tahmin değerinin mevcut çalışmanın bulgularına benzemektedir, ham kül için ($R^2= 0.65$) belirlenen tahmin değeri mevcut çalışmanın bulgularından düşük, ham protein ($R^2= 0.92$), eter ekstrakt ($R^2= 0.97$), NDF ($R^2= 0.94$) ile ADF ($R^2= 0.96$) için belirlenen tahmin değerlerinin ise mevcut çalışmadaki değerlerden yüksek olarak bulunmuştur.







Şekil 4.6. Laktasyon ortasında kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.8. Laktasyonun Orta Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

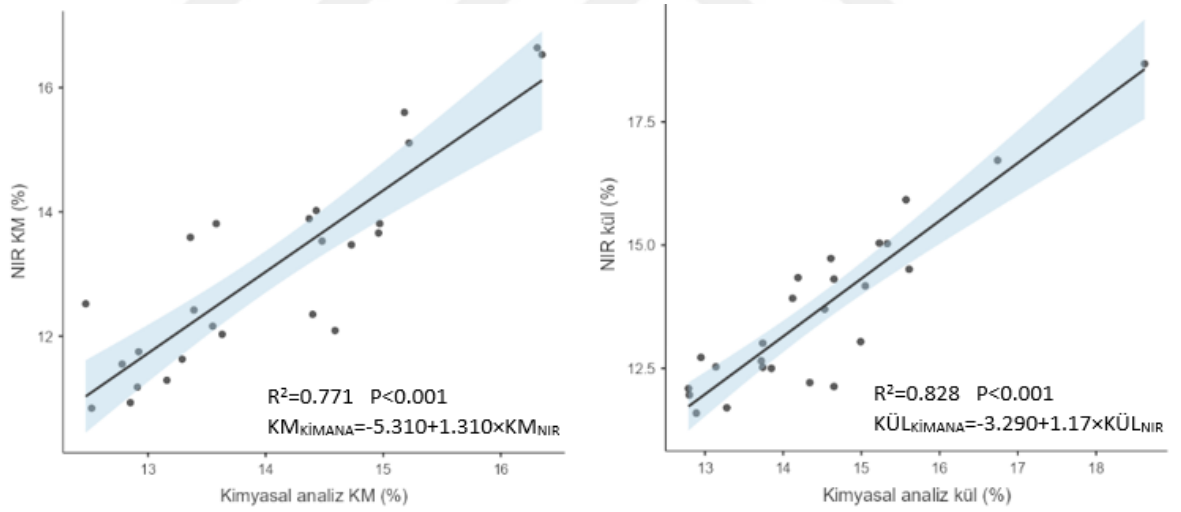
Laktasyonun ortasında bulunan ineklerden alınan dışkı örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.6’da verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri 0.97, 0.84, 0.70, 0.93, 0.80, 0.93, 0.86, 0.76, 0.66 ve 0.84 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 3.32, 1.48, 1.09, 2.21, 1.56, 1.81, 1.93, 1.19, 0.91 ve 1.65 olarak belirlenmiştir. Kuru madde için ($R_{cal}^2=0.97$, $RPD=3.32$), ham protein ($R_{cal}^2=0.93$, $RPD=2.21$), aNDFom ($R_{cal}^2=0.93$, $RPD=1.81$), için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, ham kül ($R_{cal}^2=0.84$, $RPD=1.48$), ADFom ($R_{cal}^2=0.80$, $RPD=1.56$), ADLom ($R_{cal}^2=0.86$, $RPD=1.93$), nişasta ($R_{cal}^2=0.84$, $RPD=1.65$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğu, eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.70$, $RPD=1.09$), ADIP ($R_{cal}^2=0.76$, $RPD=1.19$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. NDIP için geliştirilen kalibrasyon denkleminin ($R_{cal}^2=0.66$, $RPD=0.91$) ise sadece tarama için kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

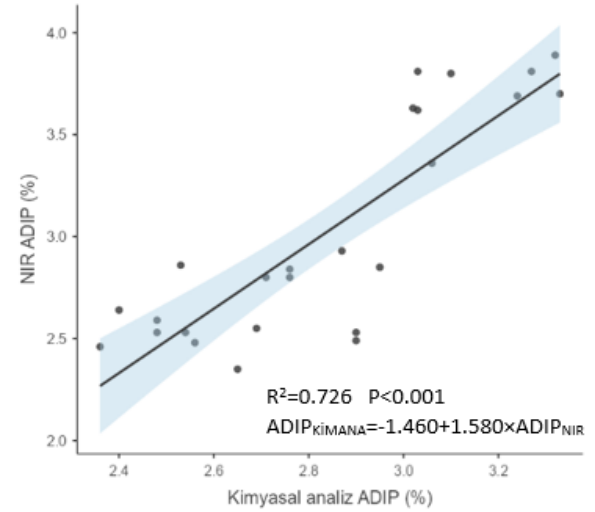
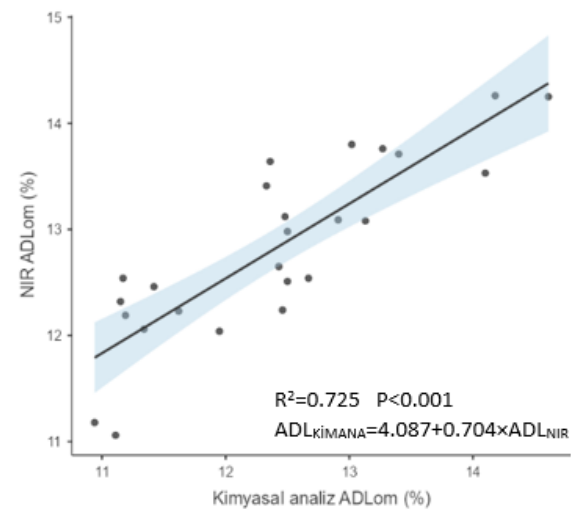
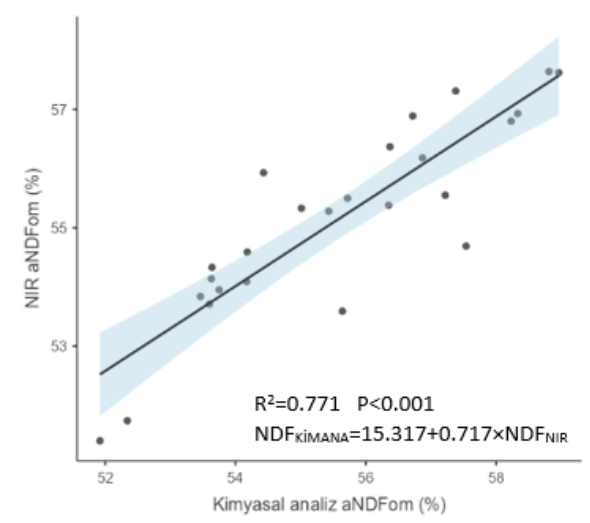
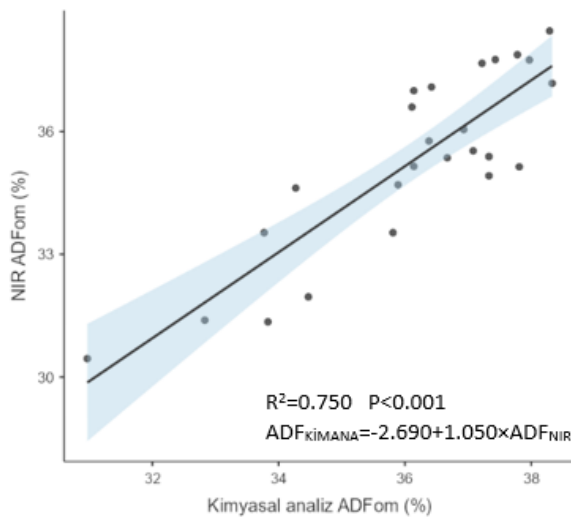
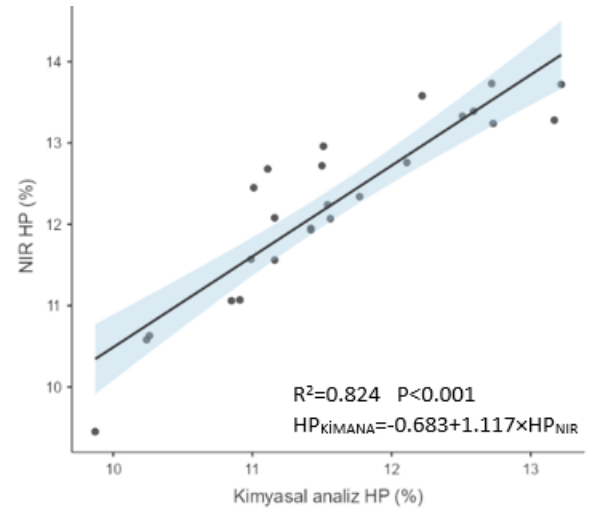
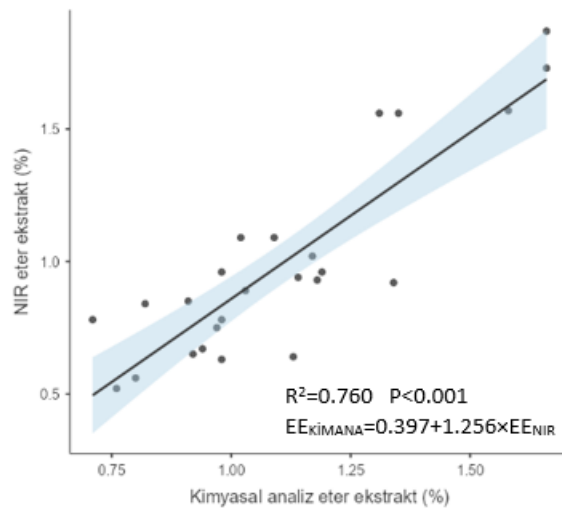
Çizelge 4.6. Laktasyonun ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

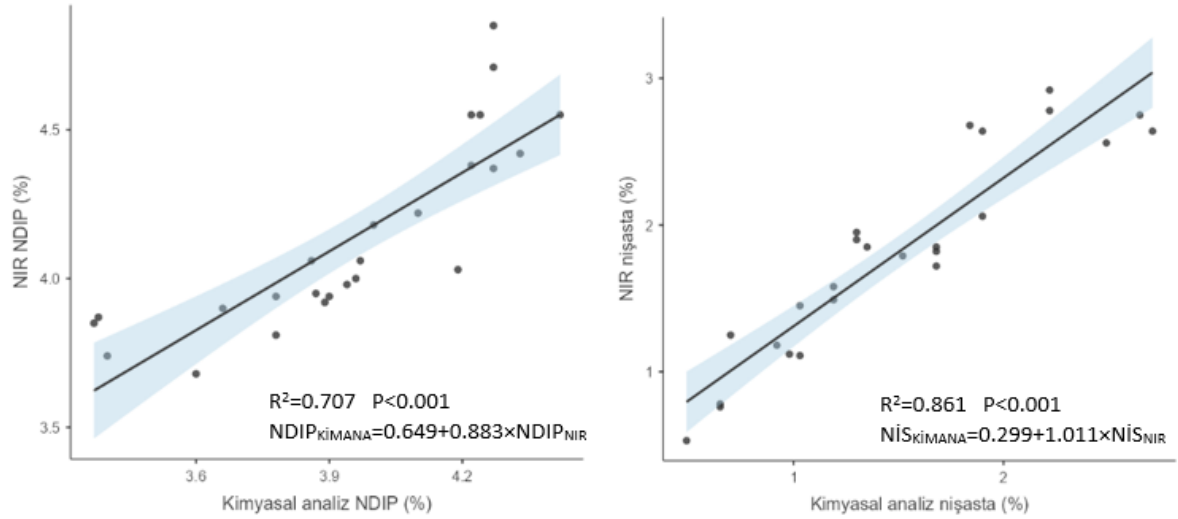
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	48	SNV	2,6,8,1	0.20	0.97	0.33	0.91	3.32	14.02	1.10	13.98	1.08
Ham kül	50	SNV	1,4,4,1	0.52	0.84	0.83	0.60	1.48	14.43	1.31	14.43	1.22
Eter ekstrakt	50	-	2,6,8,1	0.15	0.70	0.22	0.38	1.09	1.11	0.27	1.05	0.23
Ham protein	48	SNV	2,6,8,1	0.21	0.93	0.36	0.81	2.21	11.69	0.87	11.63	0.79
ADFom	50	-	2,6,8,1	0.94	0.80	1.21	0.66	1.56	36.20	2.09	36.2	1.88
aNDFom	50	SNV	2,6,8,1	0.58	0.93	1.18	0.71	1.81	55.61	2.21	55.61	2.14
ADLom	48	SNV	2,6,8,1	0.40	0.86	0.59	0.72	1.93	12.48	1.08	12.56	1.14
ADIP	49	SNV	2,6,8,1	0.13	0.76	0.19	0.47	1.19	2.87	0.27	2.87	0.23
NDIP	50	SNV	2,6,8,1	0.18	0.66	0.29	0.15	0.91	3.96	0.31	3.96	0.26
Nişasta	50	SNV	1,4,4,1	0.25	0.84	0.36	0.70	1.65	1.49	0.64	1.49	0.59

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, "-": Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken.

Laktasyonun ortasındaki ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.7’ da verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.77, ham kül için 0.83, eter ekstrakt için 0.76, ham protein için 0.82, ADFom için 0.75, aNDFom için 0.77, ADLom için 0.73, ADIP için 0.73, NDIP için 0.71 ve nişasta için 0.86’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Guerra ve ark. (2023) tarafından, laktasyondaki mandalarda dışkının besin madde bileşimi NIR spektroskopisi ile değerlendirilmiştir. Yapılan dış doğrulama sonucunda, dışkıda belirlenen R^2 değerleri ham kül ($R^2 = 0.70$), eter ekstrakt ($R^2 = 0.72$), aNDFom ($R^2 = 0.72$), kuru madde ($R^2 = 0.63$), ADL ($R^2 = 0.66$), ADIP ($R^2 = 0.45$), NDIP ($R^2 = 0.21$) ve nişasta ($R^2 = 0.06$) için mevcut çalışmadaki bulgulardan düşük, ADFom ($R^2 = 0.77$) ve ham protein ($R^2 = 0.83$) için ise mevcut çalışmadaki bulgulardan yüksek olarak tespit edilmiştir. Ikoyi ve Younge (2022), atlardan toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşiminin NIR spektroskopisi ile tahmin edilmesi için yürüttükleri çalışmada, dışkı için geliştirilen kalibrasyon sonucunda yapılan doğrulamada belirledikleri R^2 değerleri aNDF bileşimi için ($R^2 = 0.83$), ADF için ($R^2 = 0.77$) mevcut çalışmadaki bulgulardan yüksek, ADL için ($R^2 = 0.41$) ise daha düşük olduğu bildirilmiştir.







Şekil 4.7. Laktasyon ortasında bulunan ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R²:Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.9. Laktasyonun Orta Döneminde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

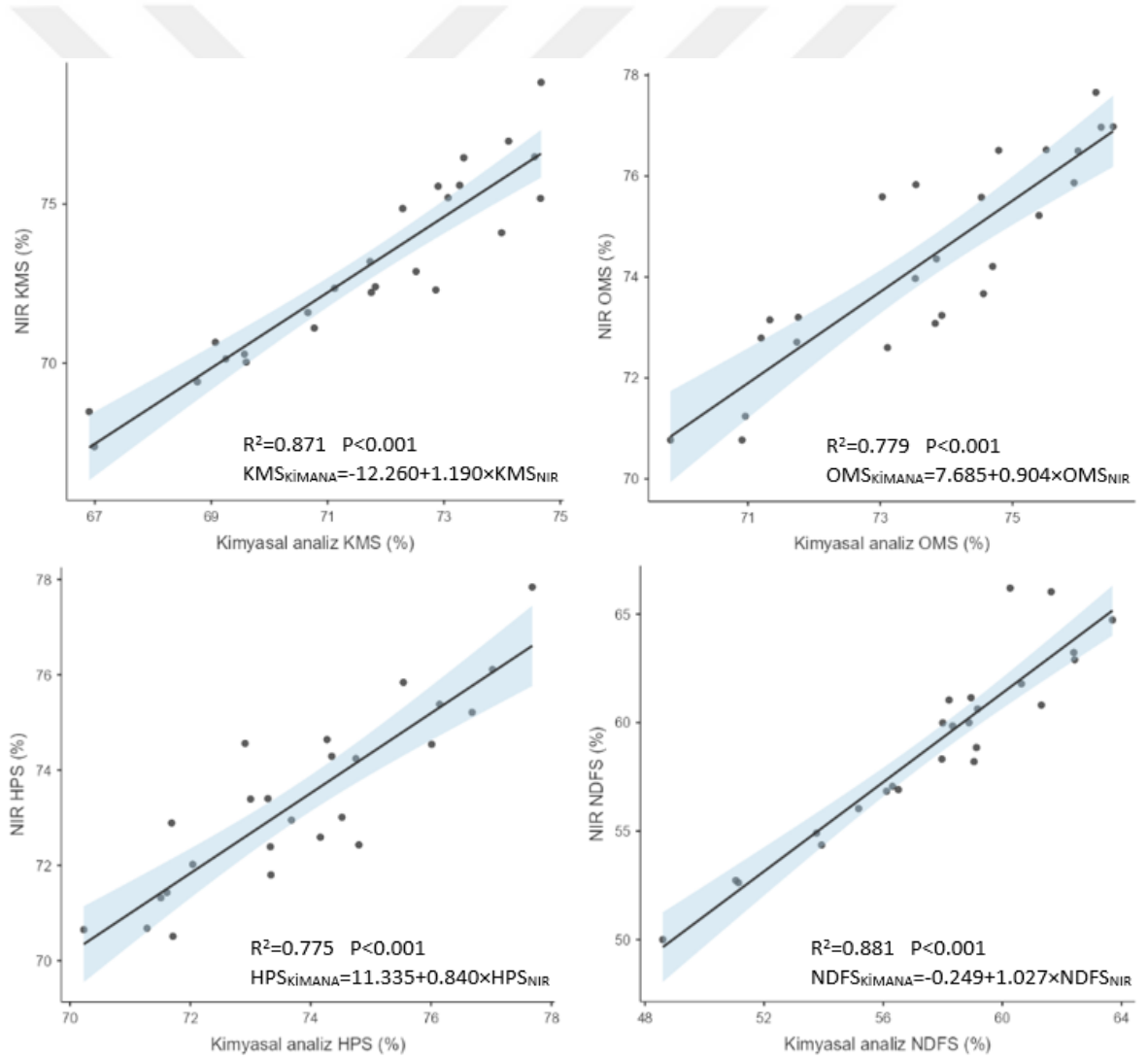
Laktasyonun ortasında bulunan ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.7’de verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS’ ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R² değerleri sırasıyla 0.98, 0.98, 0.94, 0.99 ve 0.93 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 2.57, 2.46, 1.85, 2.51 ve 1.24 olarak belirlenmiştir. KMS için (R_{cal}²=0.98, RPD=2.57), OMS için (R_{cal}²=0.98, RPD=2.46), HPS (R_{cal}²=0.94, RPD=1.85), NDFS için (R_{cal}²=0.99, RPD=2.51) ve NISS için (R_{cal}²=0.93, RPD=1.24) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu tespit edilmiştir.

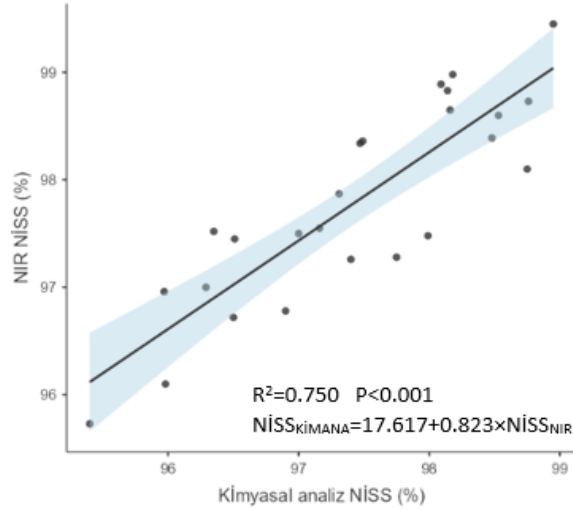
Çizelge 4.7 Laktasyon ortasında sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	Kalibrasyon		Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
				SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
KMS	49	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.34	0.98	0.87	0.85	2.57	71.60	2.26	71.56	2.24
OMS	49	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.31	0.98	0.78	0.84	2.46	73.71	1.95	73.69	1.93
HPS	46	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.47	0.94	0.97	0.73	1.85	73.53	1.95	73.44	1.79
NDFS	47	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.40	0.99	1.38	0.85	2.51	57.61	3.94	57.85	3.46
NISS	50	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.27	0.93	0.78	0.43	1.24	97.42	0.99	97.42	0.96

¹ KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), SD: Standart sapma, RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir

Laktasyonun ortasında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.8’ de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri KMS için 0.87, OMS için 0.78, HPS için 0.78, NDFS için 0.88 ve NISS için 0.75’ tir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Simoni ve ark. (2021)’ nın yapmış oldukları kalibrasyon sonucu tahmin değerleri (KMS; $R^2=0.38$, NDFS; $R^2=0.30$, HPS; $R^2=0.36$) mevcut çalışmadaki bulgulardan çok düşük olarak tespit edilmiştir, araştırmacılar sonuçlarının kalibrasyonda kullanılamayacağını açıklamışlardır. Jancewicz ve ark. (2016)’nın, NISS için ($R^2=0.93$) elde ettikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla benzemektedir ancak, KMS ($R^2=0.86$), OMS ($R^2=0.88$), HPS ($R^2=0.73$), ve NDFS ($R^2=0.48$), için elde edilen bulgular ise mevcut çalışmadaki tahmin değerlerinden düşüktür. Çalışmamızdaki tespit edilen tahmin diğer çalışmalara göre oldukça güçlü olarak bulunmuştur.





Şekil 4.8. Laktasyon ortasında dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 :Dış doğrulamamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.10. Laktasyonun Son Döneminde Kullanılan TMR'de Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

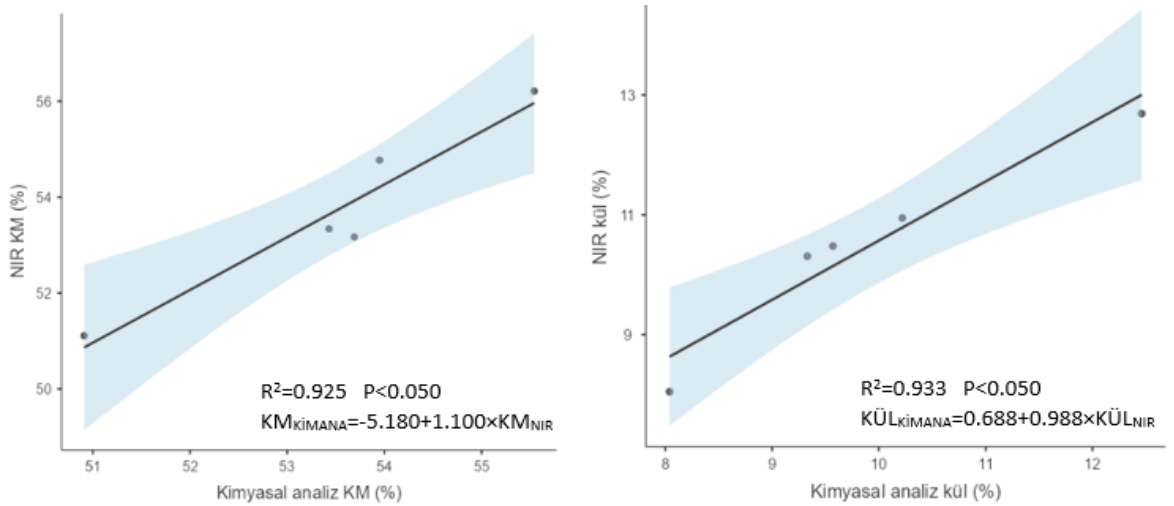
Laktasyonun son dönemindeki ineklerde kullanılan TMR örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.8'de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri 0.98, 0.94, 0.45, 0.96, 0.95, 0.90, 0.88, 0.13, 0.13, 0.86 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 3.13, 3.09, 0.82, 3.02, 2.54, 2.18, 1.96, 0.77, 0.79, 2.24 olarak belirlenmiştir. Kuru madde ($R_{cal}^2=0.98$, $RPD=3.13$), ham kül ($R_{cal}^2=0.94$, $RPD=3.09$), ham protein ($R_{cal}^2=0.96$, $RPD=3.02$), ADFom ($R_{cal}^2=0.95$, $RPD=2.54$), aNDFom ($R_{cal}^2=0.90$, $RPD=2.18$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğunu, ADLom ($R_{cal}^2=0.88$, $RPD=1.96$) ile nişasta ($R_{cal}^2=0.86$, $RPD=2.24$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğunu ve eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.45$, $RPD=0.82$), ADIP ($R_{cal}^2=0.13$, $RPD=0.77$) ile NDIP ($R_{cal}^2=0.13$, $RPD=0.79$) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin R^2 ve RPD değerleri düşük olarak tespit edilmiştir.

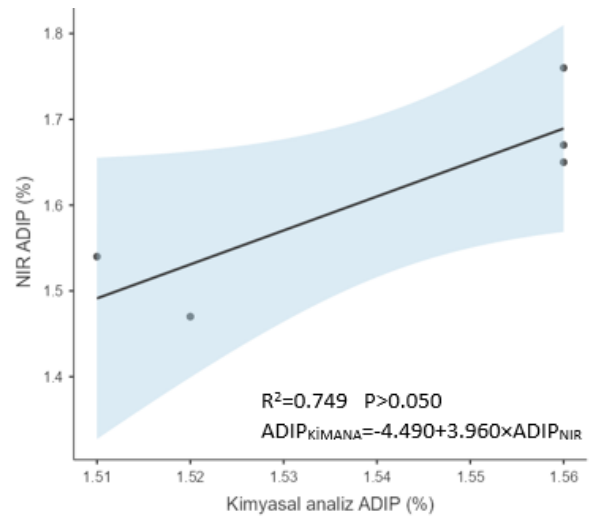
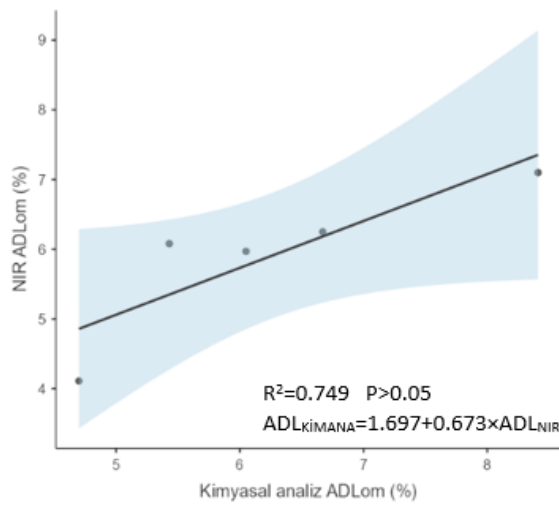
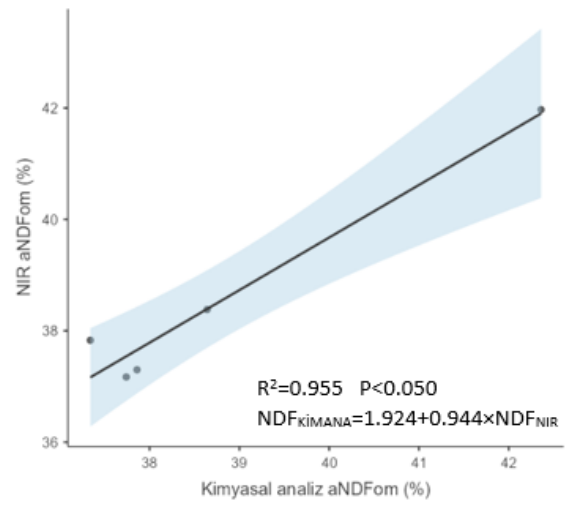
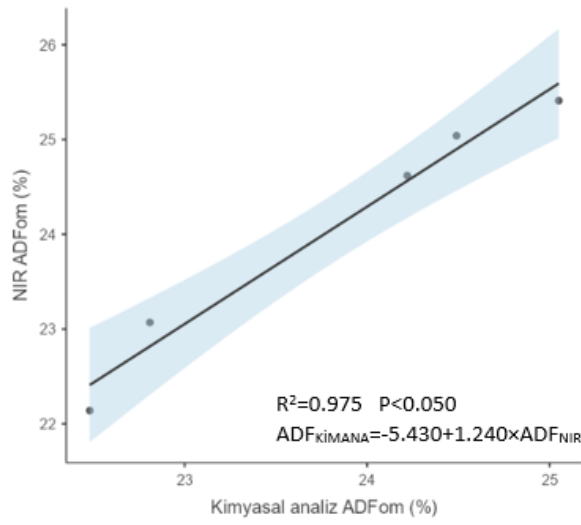
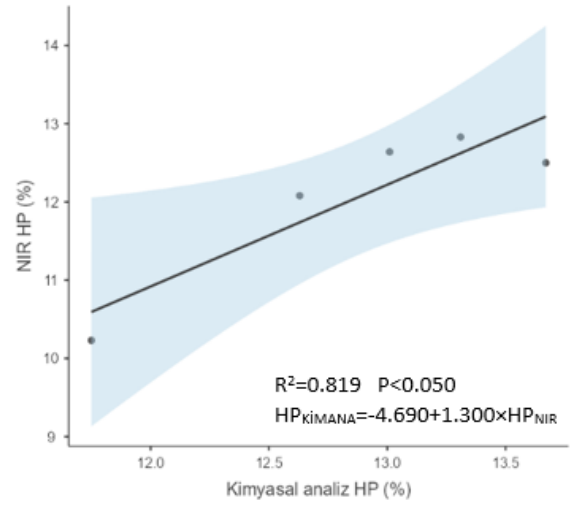
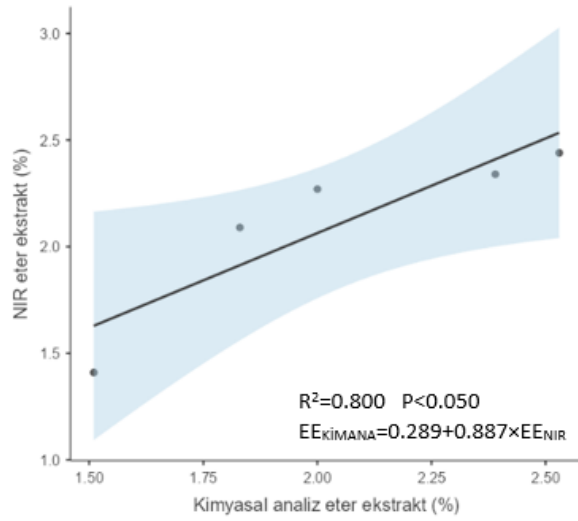
Çizelge 4.8. Laktasyon sonunda kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

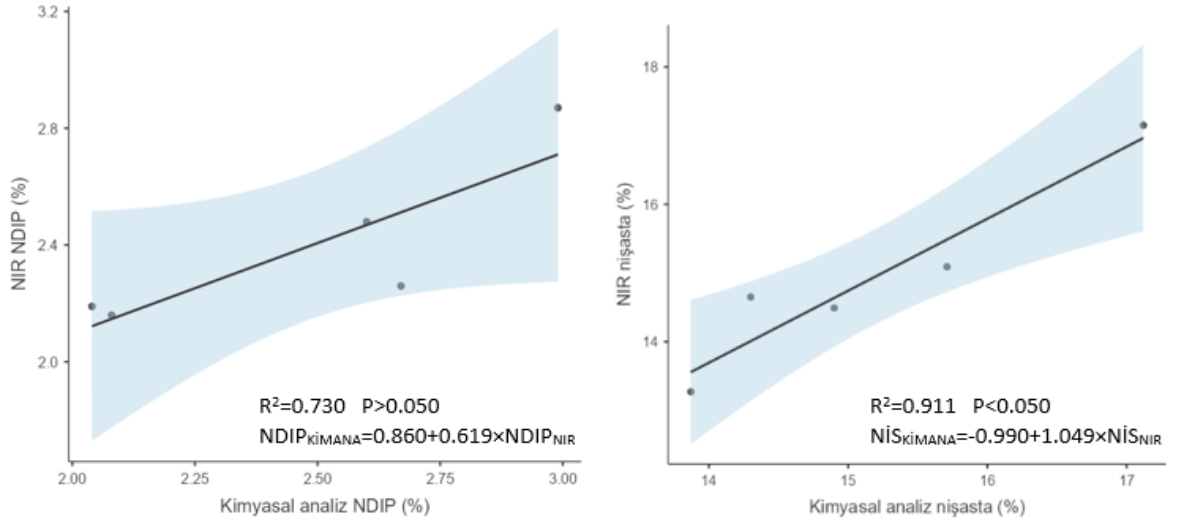
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	10	SNV	2,6,8,1	0.22	0.98	0.50	0.91	3.13	53.45	1.55	53.42	1.58
Ham kül	10	SNV	2,6,8,1	0.40	0.94	0.52	0.90	3.09	9.85	1.56	9.81	1.62
Eter ekstrakt	10	-	2,6,8,1	0.24	0.45	0.40	-0.37	0.82	2.01	0.34	1.99	0.33
Ham protein	10	SNV+Detrend	1,4,4,1	0.22	0.96	0.34	0.90	3.02	13.01	0.92	13.08	1.02
ADFom	10	-	2,6,8,1	0.39	0.95	0.67	0.86	2.54	23.91	1.48	23.96	1.70
aNDFom	10	SNV	2,6,8,1	0.50	0.90	0.73	0.81	2.18	39.13	1.71	39.30	1.60
ADLom	10	SNV	2,6,8,1	0.44	0.88	0.65	0.75	1.96	6.28	1.27	6.30	1.27
ADIP	10	-	1,4,4,1	0.15	0.13	0.20	-0.43	0.77	1.58	0.13	1.59	0.16
NDIP	10	-	2,6,8,1	0.18	0.13	0.24	-0.48	0.79	2.40	0.27	2.37	0.19
Nişasta	10	-	1,4,4,1	0.47	0.86	0.55	0.81	2.24	15.18	1.20	15.18	1.23

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun sonunda kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikleri Şekil 4.9’ de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.93, ham kül için 0.93, eter ekstrakt için 0.80, ham protein için 0.82, ADFom için 0.98, aNDFom için 0.96, ADLom için 0.75, ADIP için 0.75, NDIP için 0.73 ve nişasta için 0.91’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Kalibrasyon denklemlerinin R^2 değerleri eter ekstrakt, ADIP ve NDIP için incelendiğinde düşük olmasına rağmen yapılan dış doğrulama sonucunda bu parametrelere ait kalibrasyonun tahmin yeteneğinin iyi olduğu görülmüştür. Bu da bize bu denklemlerinde tarama için kullanılabileceğini göstermektedir. Paternostre ve ark. (2021)’ nin yapmış oldukları çalışmada, domuzlarda kullanılan TMR örnekleri çalışmamızdakine benzer besin madde bileşimine sahiptir. Bu TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemi, kuru madde, protein, yağ, kül, ham selüloz, nişasta ve organik madde doğru bir şekilde tahmin edilebildiklerini ($R^2=0.81$ ile 0.96 arasında) bildirmişlerdir ve bu değerler mevcut çalışmadaki kuru madde, ham kül, ham protein, aNDFom ve nişasta için elde edilen bulgularla benzer olarak, mevcut çalışmadaki eter ekstrakt, ADLom, ADIN ile NDIN için elde edilen bulgulardan yüksek olduğu ve ADFom için elde edilen bulgulardan düşük olduğu görülmüştür. Buonaiuto ve ark. (2021), saman bazlı TMR' nin kimyasal bileşimini tahmin etmede NIR spektroskopisinin etkinliğini araştırmışlardır. Nişasta ($R^2=0.84$), ADF ($R^2=0.79$), aNDFom ($R^2=0.73$), ham protein ($R^2=0.73$), ADL ($R^2=0.62$) ve ham kül ($R^2=0.47$) için elde edilen değerler mevcut çalışmadaki değerlerden daha düşük olarak saptanmıştır.







Şekil 4.9. Laktasyonun sonunda kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.11. Laktasyonun Son Dönemindeki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

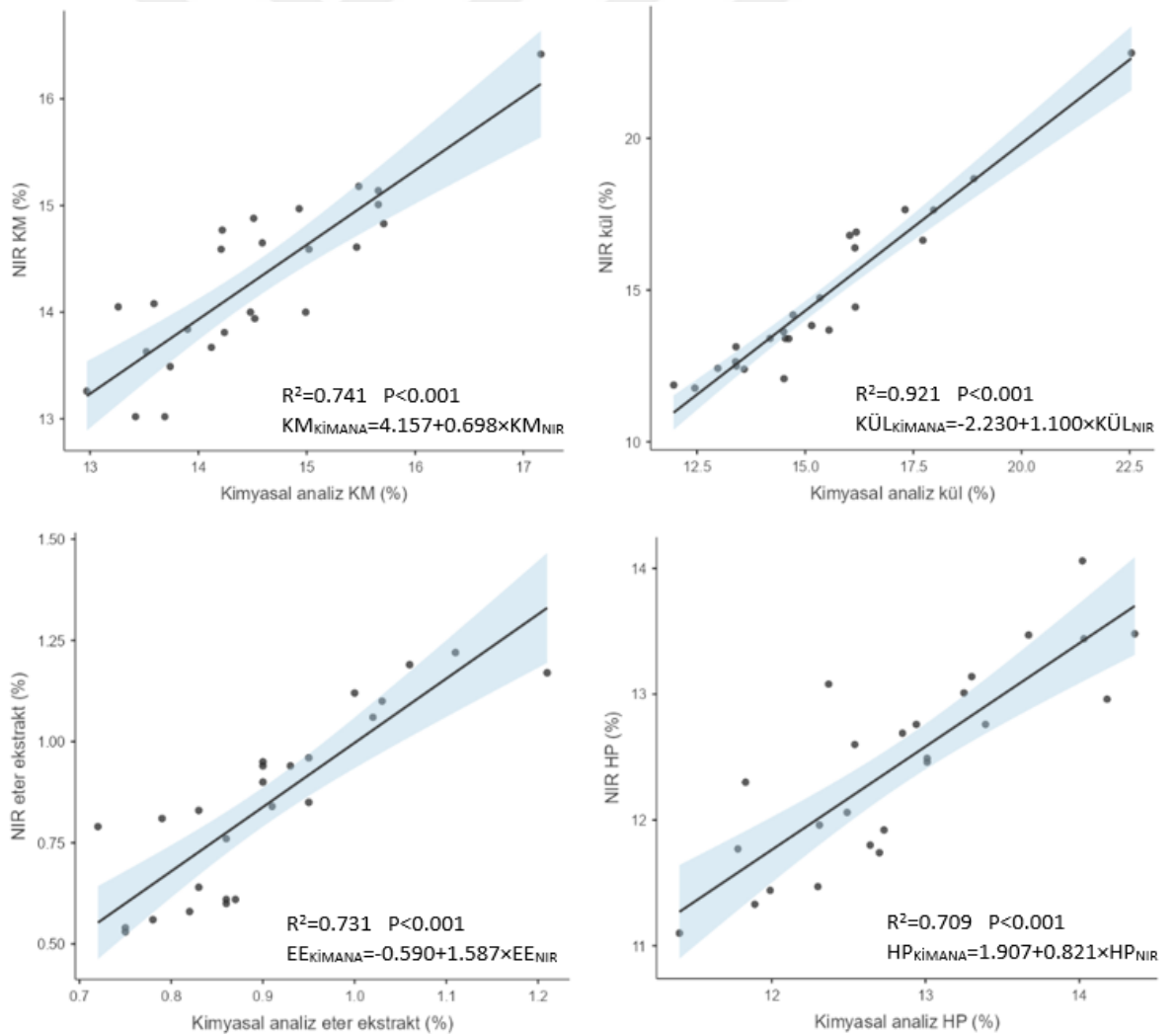
Laktasyon sonundaki ineklerden alınan dışkı örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.9’da verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.94, 0.92, 0.69, 0.96, 0.90, 0.72, 0.88, 0.82, 0.84, 0.90 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 2.00, 2.85, 1.07, 2.77, 1.65, 1.00, 1.34, 1.53, 1.98, 1.79 olarak belirlenmiştir. Kuru madde için ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=2.00), ham kül ($R_{cal}^2=0.92$, RPD=2.85), ham protein ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=2.77), ADFom ($R_{cal}^2=0.90$, RPD=1.65), nişasta ($R_{cal}^2=0.90$, RPD=1.79) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, ADLom ($R_{cal}^2=0.88$, RPD=1.34), ADIP ($R_{cal}^2=0.82$, RPD=1.53), NDIP ($R_{cal}^2=0.84$, RPD=1.98) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğu ve eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.69$, RPD=1.07) ile aNDFom ($R_{cal}^2=0.72$, RPD=1.00) için geliştirilen kalibrasyon denklemleri tarama için kullanılabilir olarak tespit edilmiştir.

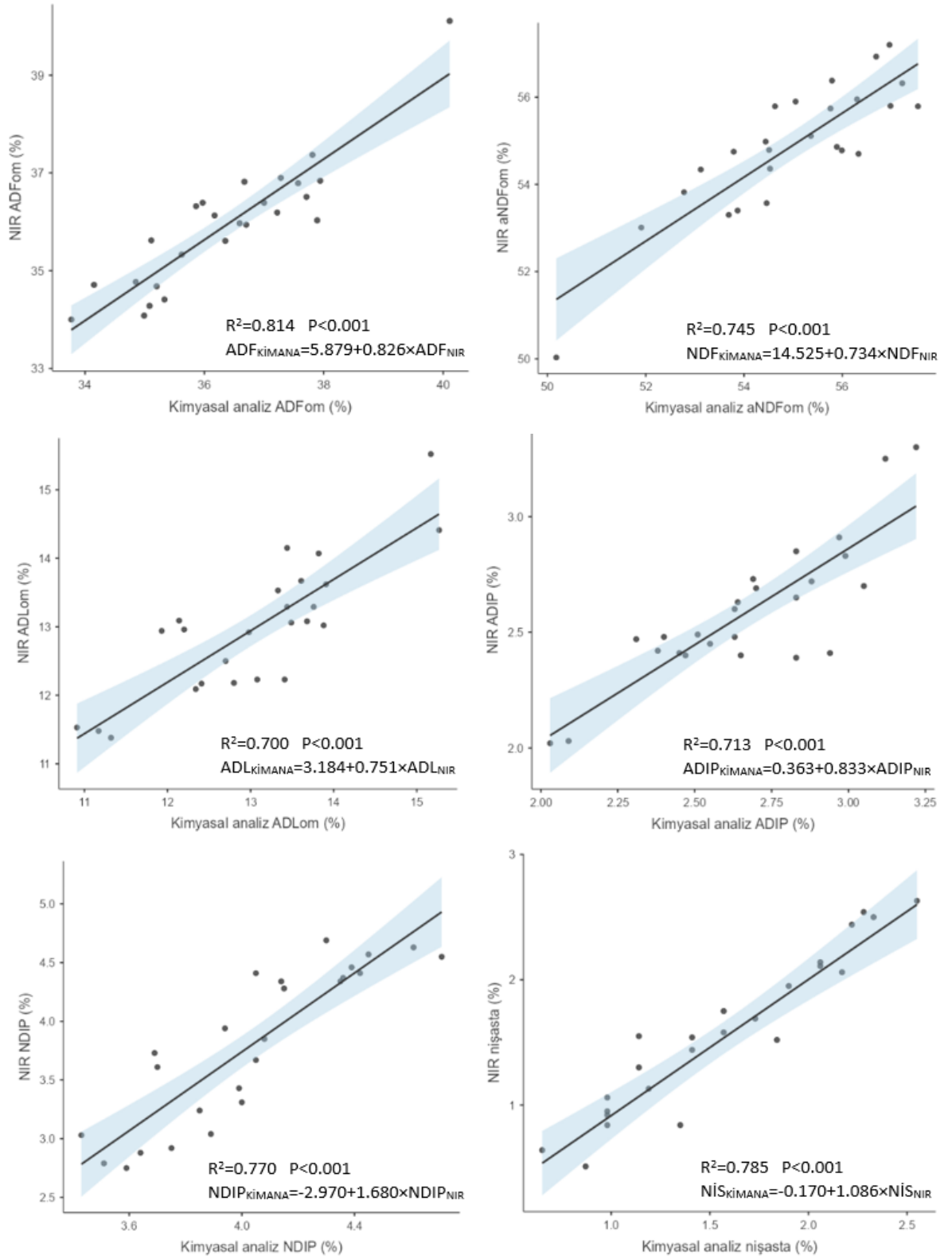
Çizelge 4.9. Laktasyon sonunda toplanan dışkı örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	49	SNV	2,6,8,1	0.24	0.94	0.46	0.77	2.00	14.52	0.97	14.49	0.92
Ham kül	49	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.44	0.92	0.55	0.88	2.85	15.01	1.70	14.98	1.58
İter ekstrakt	45	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.05	0.69	0.07	0.37	1.07	0.87	0.09	0.88	0.08
Ham protein	47	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.16	0.96	0.29	0.88	2.77	13.04	0.84	13.11	0.79
ADFom	47	SNV	2,6,8,1	0.46	0.90	0.91	0.62	1.65	36.25	1.57	36.39	1.50
aNDFom	48	SNV	2,6,8,1	0.73	0.72	1.23	0.21	1.00	54.87	1.78	55.03	1.23
ADLom	49	SNV	2,6,8,1	0.30	0.88	0.60	0.51	1.34	12.92	0.90	12.98	0.81
ADIP	47	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.09	0.82	0.13	0.62	1.53	2.66	0.23	2.70	0.19
NDIP	47	-	1,4,4,1	0.13	0.84	0.15	0.79	1.98	4.05	0.35	4.06	0.30
Nişasta	48	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.16	0.90	0.29	0.69	1.79	1.56	0.53	1.50	0.52

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyonun sonundaki ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.10'da verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.74, ham kül için 0.92, eter ekstrakt için 0.73, ham protein için 0.71, ADFom için 0.81, aNDFom için 0.75, ADLom için 0.70, ADIP için 0.71, NDIP için 0.77 ve nişasta için 0.79' dur. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Decruyenaere ve ark. (2012), süt ineklerinde dışkı besin madde bileşimini NIR spektroskopisi ile belirlemişlerdir. Ham protein ($R^2= 0.80$) ve ham kül ($R^2= 0.77$) için elde edilen tahmin değerlerinin mevcut çalışmadaki bulgulardan düşük olduğu, ADFom ($R^2= 0.87$) için elde edilen tahmin değerinin ise yüksek olduğu saptanmıştır. Niero ve ark. (2018), domuzlarda dışkının eter ekstrakt içeriği ($R^2= 0.69$) için tahmin edilen değer mevcut çalışmadaki bulgularla aynı olduğu, ham protein ($R^2= 0.89$) için elde edilen tahmin değerinin yüksek, NDF ($R^2= 0.94$) için elde edilen tahmin değerinden ise düşük olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.10. Laktasyonun sonundaki ineklerden toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.12. Laktasyonun Son Döneminde Bulunan İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

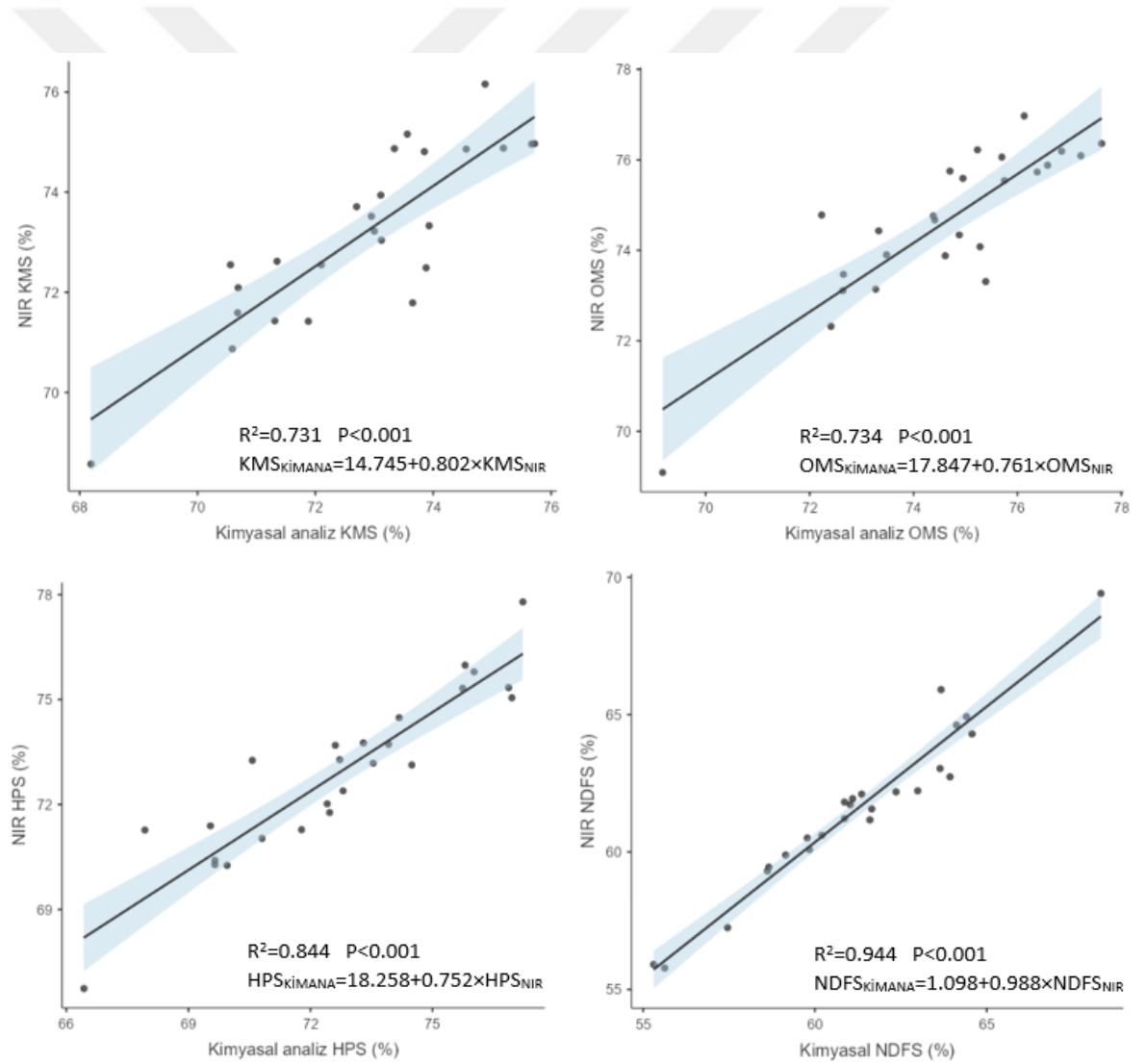
Laktasyonun son dönemindeki ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.10'da verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS' ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.81, 0.79, 0.84, 0.75 ve 0.79 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 1.42, 1.28, 1.30, 1.39 ve 1.42 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=2.68), OMS için ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=1.97), NISS için ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=2.31), HPS ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.20) ile NDFS için ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=2.15) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğu tespit edilmiştir.

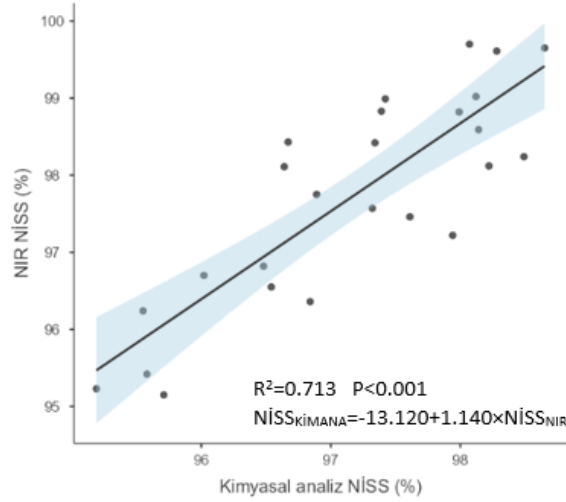
Çizelge 4.10. Laktasyon sonu sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
KMS	49	SNV	2,6,8,1	0.48	0.93	0.89	0.76	1.94	72.8	1.83	72.9	1.73
OMS	48	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.50	0.93	0.94	0.76	1.95	74.5	1.92	74.6	1.82
HPS	50	-	2,6,8,1	0.97	0.87	1.54	0.66	1.64	72.3	2.68	72.3	2.52
NDFS	48	SNV	2,6,8,1	0.91	0.91	1.58	0.72	1.78	61.3	2.97	61.4	2.81
NISS	47	SNV	1,4,4,1	0.30	0.90	0.44	0.78	2.10	97.2	1.01	97.3	0.93

¹ KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), SD: Standart sapma, RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir

Laktasyonun sonunda dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.11’de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri KMS için 0.73, OMS için 0.73, HPS için 0.84, NDFS için 0.94 ve NISS için 0.71’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Paternostre ve ark. (2021)’nın, OMS ($R^2=0.82$) için tespit edilen tahmin değeri mevcut çalışmadaki bulgulardan yüksek, HPS ($R^2=0.79$) için elde edilen tahmin değeri ise daha düşük olarak bulunmuştur. Crespo ve ark. (2022), OMS ($R^2=0.83$) için saptanan tahmin değerinin mevcut çalışmadaki bulgulardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Valiente ve ark. (2004), OMS için elde ettikleri tahmin değerini ($R^2= 0.75$) mevcut çalışmadaki bulgulardan düşük olarak bildirmiştir. Mentink ve ark. (2006), dışkıdan KMS için $R^2=0.88$ değeri ile mevcut çalışmadaki bulgularla arasında benzerlik bulunmaktadır.





Şekil 4.11. Laktasyonun sonunda dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kımyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.13. Laktasyonda Kullanılan TMR' lerde Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

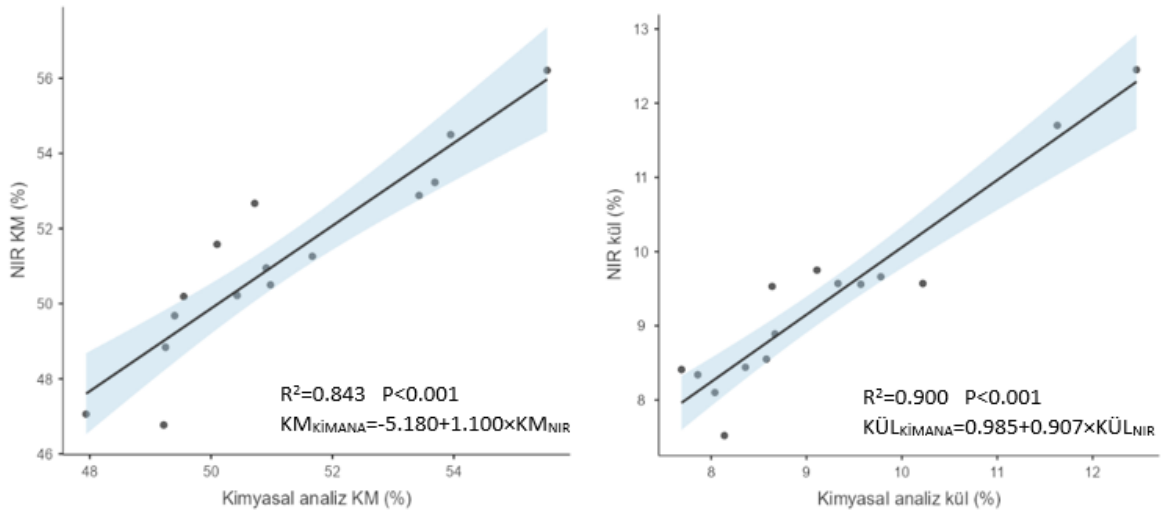
In vivo deneme sonucunda bütün laktasyon döneminde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerinin besin madde bileşimlerine ait bilgiler Çizelge 3.4, 3.7 ve 3.10'da laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonunda kullanılan TMR'lere ait bulgular başlığı adı altında verilmiştir. Laktasyon dönemlerinde bulunan bütün ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması ise Çizelge 4.11'de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.97, 0.99, 0.91, 0.96, 0.98, 0.94, 0.87, 0.76, 0.88 ve 0.92 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 2.65, 5.26, 1.55, 3.64, 4.74, 1.91, 2.20, 1.16, 1.44 ve 1.82 olarak belirlenmiştir. Kuru madde ($R_{cal}^2=0.97$, RPD=2.65), ham kül ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=5.26), eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=1.55), ham protein ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=3.64), ADFom ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=4.74), aNDFom ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=1.91) ve nişasta ($R_{cal}^2=0.92$, RPD=1.82) için geliştirilen kalibrasyon modellerinin mükemmel olduğu, ADLom ($R_{cal}^2=0.87$, RPD=2.20) ve NDIP ($R_{cal}^2=0.88$, RPD=1.44) için geliştirilen kalibrasyon modellerinin başarılı olduğu, ADIP ($R_{cal}^2=0.76$, RPD=1.16) için geliştirilen kalibrasyon modelinin ise kullanılabılır olarak değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

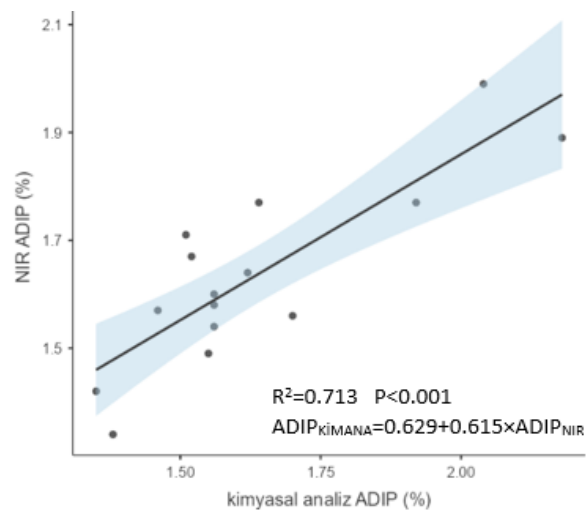
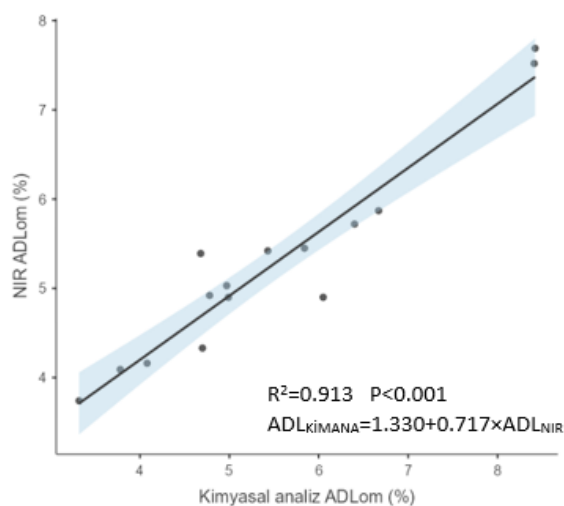
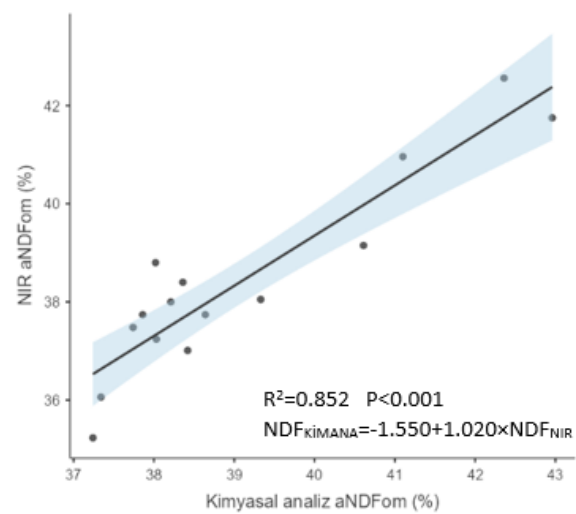
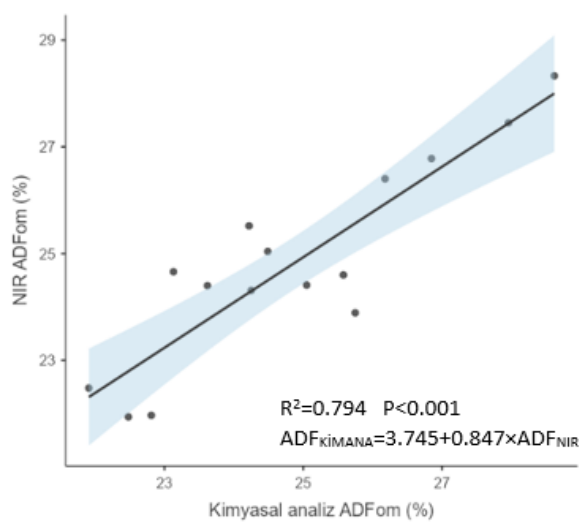
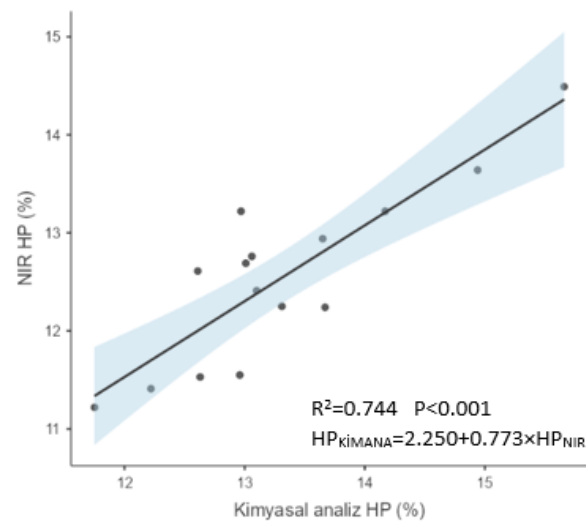
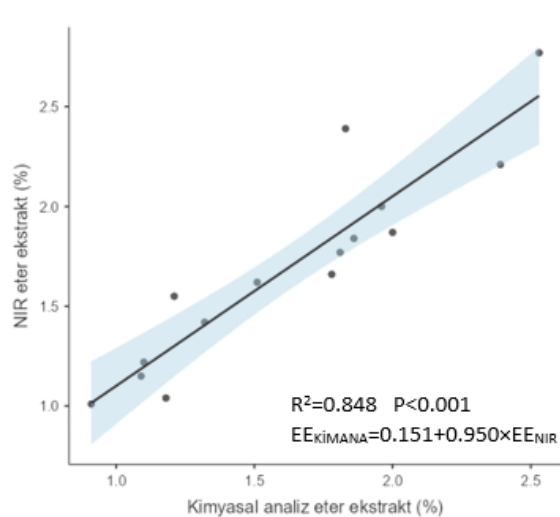
Çizelge 4.11. Laktasyon döneminde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

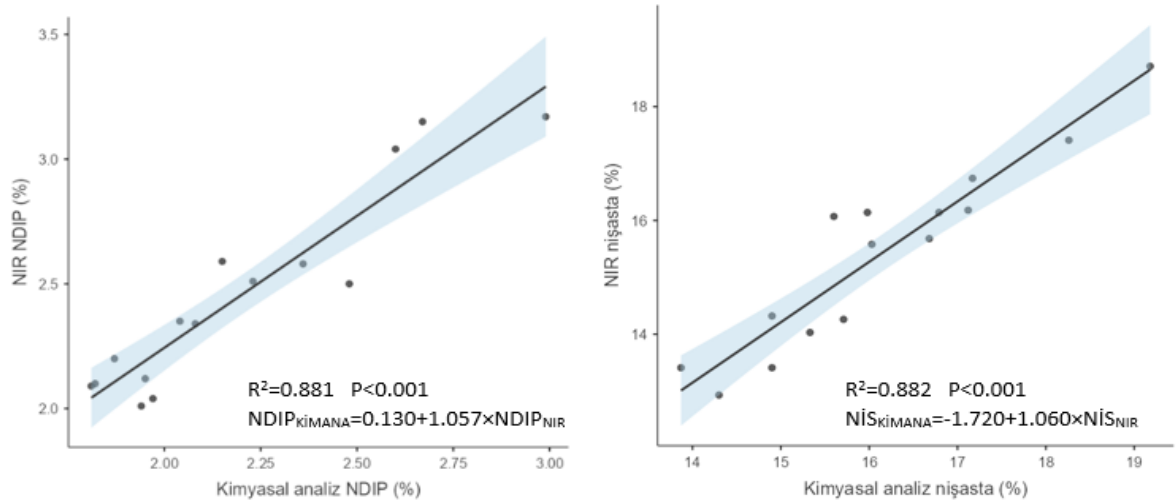
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	27	-	2,6,8,1	0.40	0.97	0.78	0.87	2.65	51.12	2.10	51.23	2.08
Ham kül	29	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.14	0.99	0.25	0.97	5.26	9.19	1.36	9.15	1.33
Eter ekstrakt	29	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.13	0.91	0.27	0.63	1.55	1.58	0.46	1.55	0.41
Ham protein	29	-	1,4,4,1	0.24	0.96	0.31	0.93	3.64	13.27	1.15	13.39	1.12
ADFom	27	SNV+Detrend	1,4,4,1	0.28	0.98	0.41	0.95	4.74	25.91	1.97	25.13	1.95
aNDFom	30	-	2,6,8,1	0.48	0.94	0.99	0.74	1.91	39.22	1.94	39.22	1.89
ADLom	28	-	2,6,8,1	0.53	0.87	0.62	0.82	2.20	5.62	1.47	5.48	1.37
ADIP	30	SNV	1,4,4,1	0.12	0.76	0.19	0.42	1.16	1.67	0.25	1.67	0.23
NDIP	30	SNV+Detrend	2,6,8,1	0.10	0.88	0.19	0.57	1.44	2.10	0.28	2.10	0.27
Nişasta	28	-	2,6,8,1	0.34	0.92	0.62	0.73	1.82	16.12	1.43	15.87	1.13

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyon döneminde kullanılan TMR için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.12’de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.84, ham kül için 0.90, eter ekstrakt için 0.85, ham protein için 0.74, ADFom için 0.79, aNDFom için 0.85, ADLom için 0.91, ADIP için 0.71, NDIP için 0.88 ve nişasta için 0.88’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Soldado ve ark. (2009) tarafından süt sığırları çiftliklerinden toplanan TMR örnekleri için NIR spektroskopisi ile tahmin edilen R^2 değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla karşılaştırıldığında ADF (0.77) için benzer, ham kül (0.62), eter ekstrakt (0.74) ve NDF (0.81) için bildirilen değerin düşük olduğu, ham protein (0.82) için bildirilen değerin ise yüksek olduğu görülmüştür. Ki ve ark. (2009) tarafından, süt çiftliklerinden temin edilen TMR örneklerinin kimyasal bileşimini tahmin etmek için yapılan çalışmada NIR spektroskopisi ile elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla karşılaştırıldığında ham kül ($R^2=0.69$), eter ekstrakt ($R^2=0.72$) ve NDF ($R^2=0.82$) için bildirilen değerlerin daha düşük olduğu, ham protein ($R^2=0.89$) ile ADF ($R^2=0.88$) için bildirilen değerlerin ise yüksek olduğu görülmüştür. Perez-Marín ve ark. (2004) TMR örneklerinin besin madde bileşimlerini NIR spektroskopisi ile tahmin etmişlerdir. Eter ekstrakt ($R^2=0.98$) için belirlenen R^2 değerinin mevcut çalışmadaki bulgularla benzediği, ham kül ($R^2=0.98$) ile nişasta ($R^2=0.98$) için elde edilen tahmin değerlerinin çalışmadaki bulgulardan düşük olduğu ve kuru madde ($R^2=0.98$), ham protein ($R^2=0.98$), ADF ($R^2=0.98$), NDF ($R^2=0.98$) için elde edilen bulguların ise mevcut çalışmadaki bulgulardan yüksek olduğu görülmüştür.







Şekil 4.12. Laktasyon döneminde kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.14. Laktasyondaki İneklerden Toplanan Dışkıda Besin Madde Kompozisyonuna ait Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

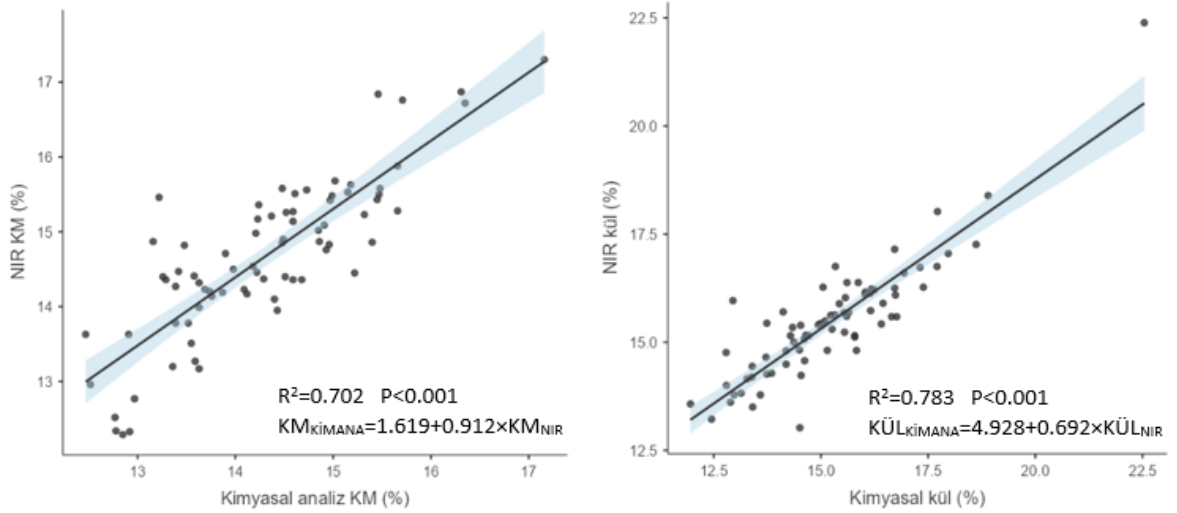
In vivo deneme sonucunda laktasyon dönemlerinde bulunan ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde bileşimlerine ait bilgiler yukarıda bahsedilen laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonundaki ineklerden toplanan dışkıları ait bulgular başlığı adı altında verilmiştir. Laktasyondaki ineklerden toplanan dışkı örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.12’de verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.85, 0.91, 0.83 0.89, 0.75, 0.71, 0.66, 0.57, 0.73 ve 0.81 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 1.58, 2.29, 1.71, 1.91, 1.38, 1.29, 1.07, 1.07, 1.19 ve 1.52 olarak belirlenmiştir. Ham kül ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=2.29) için geliştirilen kalibrasyon denkleminin mükemmel olduğu, kuru madde ($R_{cal}^2=0.85$, RPD=1.58), eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.83$, RPD=1.71), ham protein ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=1.91), nişasta ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.52) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olarak kabul edildiği, ADFom ($R_{cal}^2=0.75$, RPD=1.38), aNDFom ($R_{cal}^2=0.71$, RPD=1.29), NDIP ($R_{cal}^2=0.73$, RPD=1.19), ADLom ($R_{cal}^2=0.66$, RPD=1.07) ve ADIP ($R_{cal}^2=0.57$, RPD=1.07) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. ADIP selüloz ve lignin gibi polisakkaritlere güçlü olarak bağlanmış proteinler olması, kimyasal yapısının karmaşık olması ve yüksek molekül ağırlığından dolayı, sıkı bağlı protein komplekslerinden meydana gelmesi ADIP’ nin kalibrasyonunu zorlaştırdığı düşünülmektedir. ADLom da ADIP ve NDIP gibi karmaşık polimer yapısından dolayı zayıf spektral özellikler göstermiş olabilir ve bu özellikleri nedeniyle NIR ile doğru bir şekilde karakterize edilmesini zorlaştırabilir.

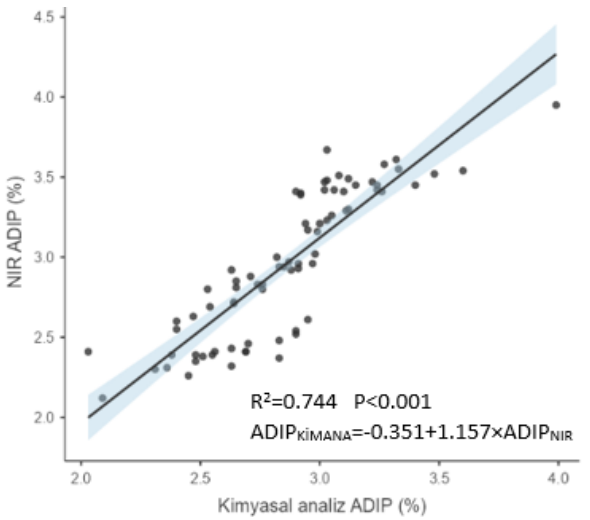
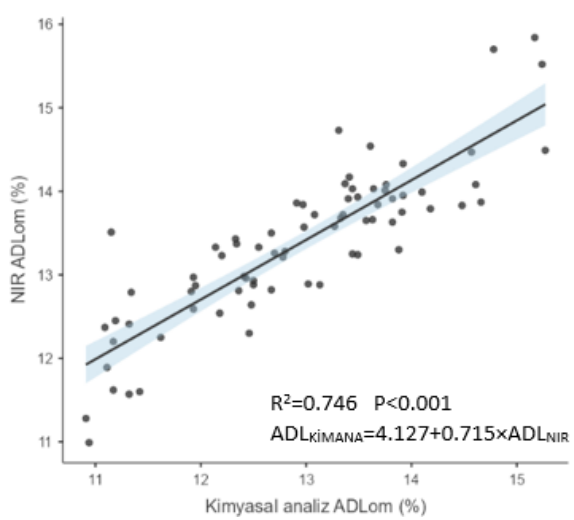
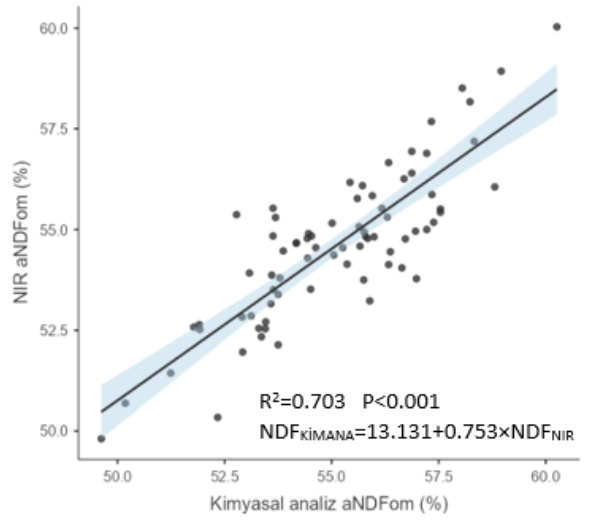
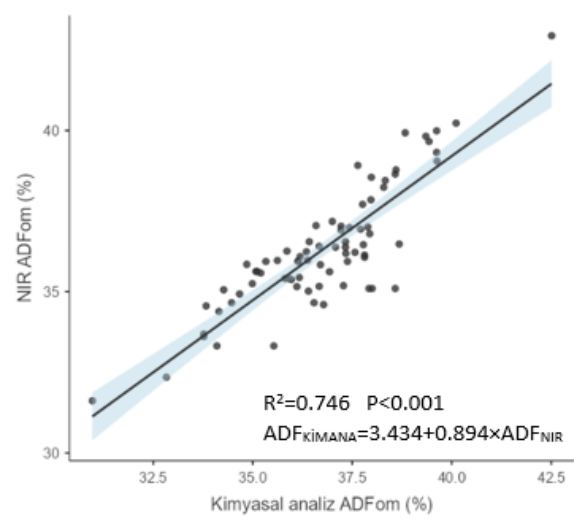
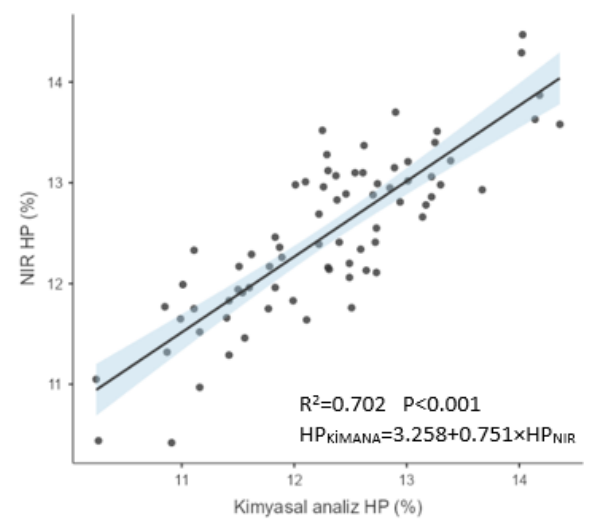
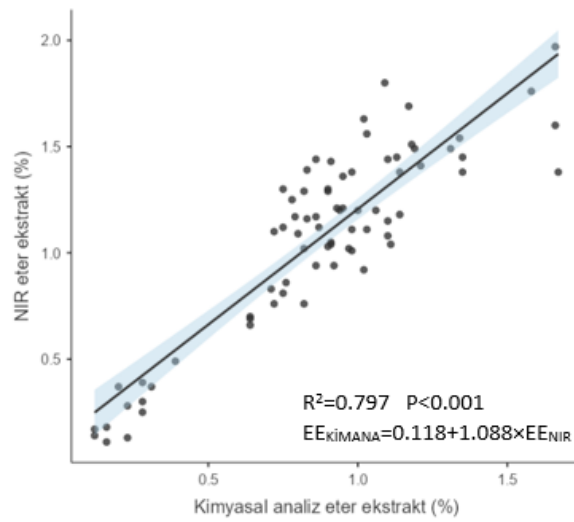
Çizelge 4.12. Laktasyon dönemindeki ineklerden toplanan dışkı örneklerinin besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması¹

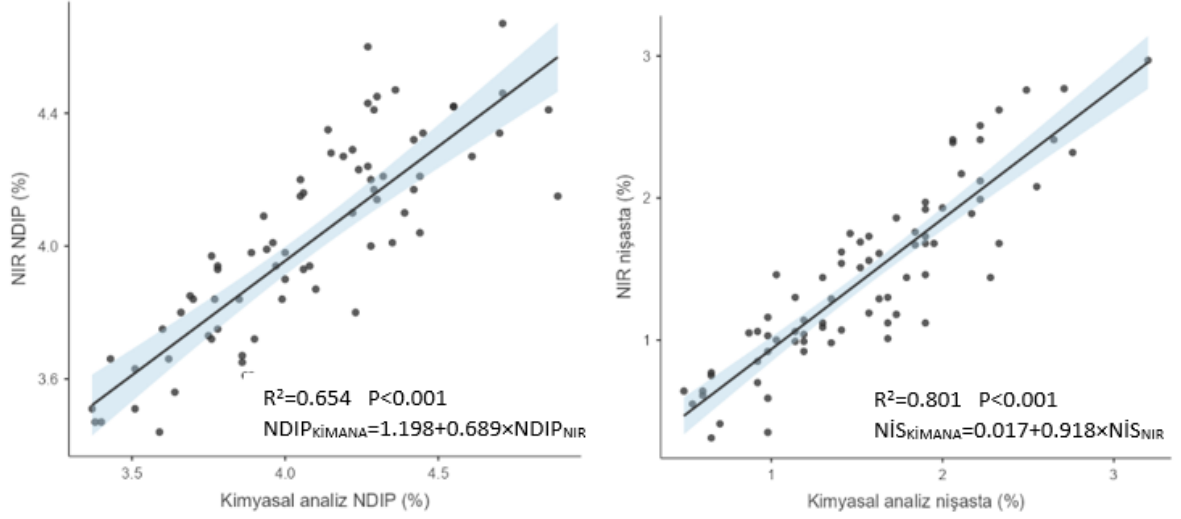
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	144	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.35	0.85	0.53	0.66	1.58	14.29	0.97	14.20	0.83
Ham kül	143	SNV	2,4,4,1	0.42	0.91	0.59	0.83	2.29	15.09	1.47	15.08	1.34
Eter ekstrakt	144	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.14	0.83	0.18	0.72	1.71	0.87	0.37	0.84	0.31
Ham protein	147	SNV	2,4,4,1	0.31	0.89	0.48	0.76	1.91	12.42	0.96	12.44	0.91
ADFom	131	SNV	2,4,4,1	0.86	0.75	1.09	0.60	1.38	36.74	1.74	36.73	1.50
aNDFom	128	SNV	2,4,4,1	1.01	0.71	1.23	0.57	1.29	55.10	1.88	55.10	1.59
ADLom	144	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.61	0.66	0.80	0.41	1.07	12.88	1.07	12.94	0.85
ADIP	142	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.19	0.57	0.21	0.48	1.07	2.87	0.29	2.88	0.23
NDIP	143	SNV	2,6,8,1	0.17	0.73	0.24	0.47	1.19	4.06	0.33	4.06	0.29
Nişasta	136	SNV	2,6,8,1	0.23	0.81	0.31	0.65	1.52	1.51	0.54	1.54	0.47

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyondaki ineklerden toplanan dışkı için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.13’de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.70, ham kül için 0.78, eter ekstrakt için 0.80, ham protein için 0.70, ADFom için 0.75, aNDFom için 0.70, ADLom için 0.75, ADIP için 0.74, NDIP için 0.65 ve nişasta için 0.80’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom ve nişasta için belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. ADLom ve ADIP için geliştirilen kalibrasyonun R^2 değerinin iyi bulunmamasına karşılık dış doğrulamada tahmin yeteneğinin iyi olduğu görülmüştür. NDIP için ise belirlenen R^2 değeri ise oluşturulan kalibrasyon denkleminin kullanılabilir olmasına karşın iyi bir tahmin yeteneği göstermemiştir. Righi ve ark (2017), laktasyondaki süt ineklerinde dışkıdan lif fraksiyonlarını değerlendirmek için NIR spektroskopisi ile geliştirilen kalibrasyon sonucunda kuru madde ($R^2 = 0.58$) ile ADL ($R^2 = 0.54$) için elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla uyum içindedir. Ancak, NDF ($R^2 = 0.62$) ile ADF ($R^2 = 0.63$) için elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgulardan daha düşüktür. Mevcut çalışma sonuçlarıyla Brogna ve ark. (2018)’nın sonuçları karşılaştırıldığında, ham kül için ($R^2=0.91$) elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla benzemektedir, kuru madde için ($R^2=0.77$), nişasta için ($R^2=0.66$) elde edilen tahmin değerleri daha düşük, ham protein için ($R^2=0.93$), ADF için ($R^2=0.91$), ADL için ($R^2=0.93$), NDF için ($R^2=0.92$) elde edilen tahmin değerleri ise daha yüksek olarak bulunmuştur.







Şekil 4.13. Laktasyondaki ineklerden toplanan dışkı için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R²:Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.15. Laktasyondaki İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

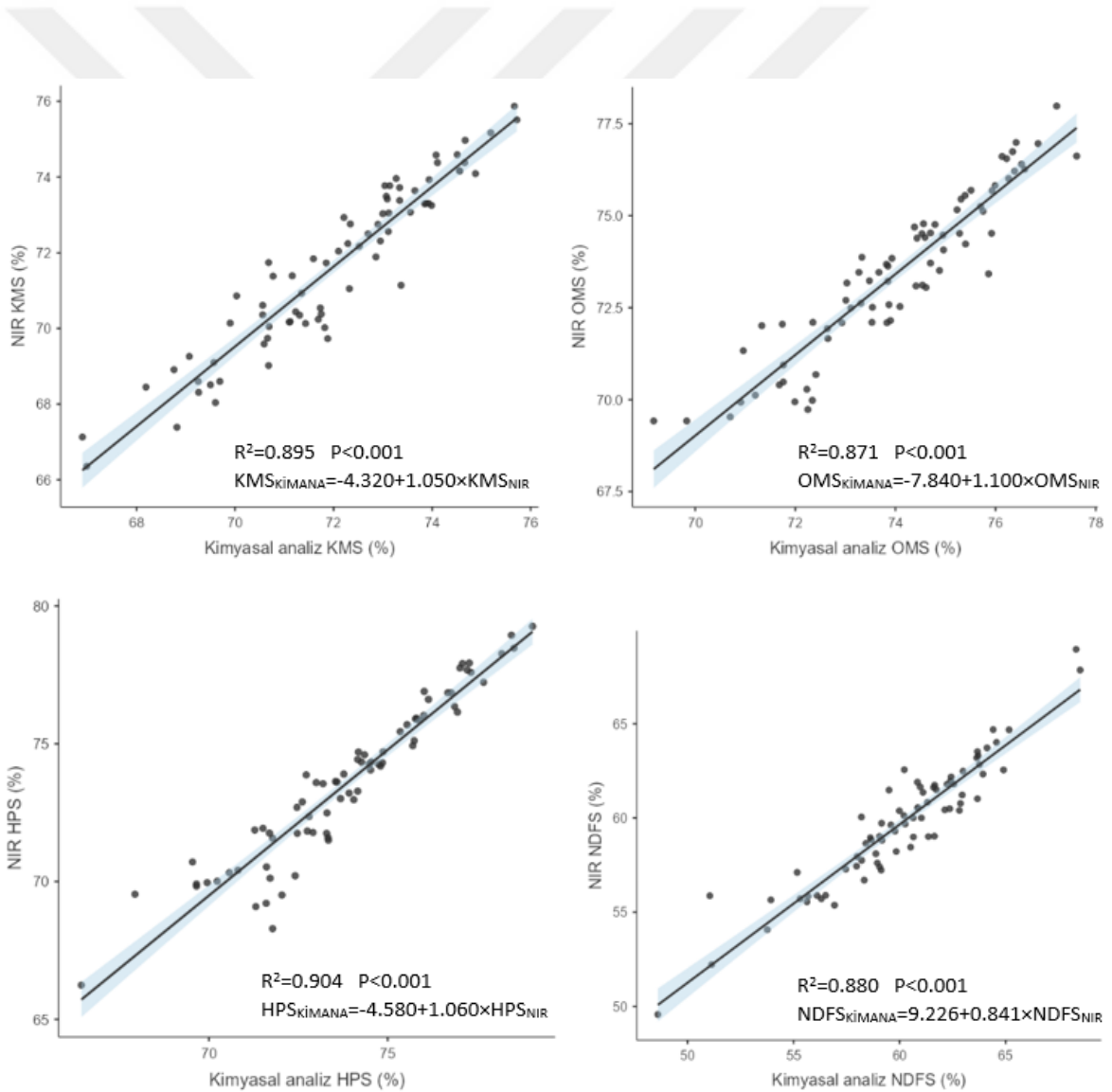
In vivo deneme sonucunda laktasyondaki ineklerde dışkıdan besin madde sindirilebilirliğine ait bilgiler (Çizelge 3.6, 3.9 ve 3.12) yukarıda bahsedilen laktasyon başlangıcı, laktasyon ortası ve laktasyon sonunda sindirilebilirliğe ait bulgular başlığı adı altında verilmiştir. Laktasyondaki ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.13’de verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS’ ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R² değerleri sırasıyla 0.81, 0.79, 0.84, 0.75 ve 0.79 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 1.42, 1.28, 1.30, 1.39 ve 1.42 olarak belirlenmiştir. KMS için (R_{cal}²=0.81, RPD=1.42), OMS için (R_{cal}²=0.79, RPD=1.28), HPS (R_{cal}²=0.84, RPD=1.30), NDFS için (R_{cal}²=0.75, RPD=1.39) ve NISS için (R_{cal}²=0.79, RPD=1.42), geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin R_{cal}² değerleri incelendiğinde başarılı olduğu görülse de RPD değerlerinin düşük olması nedeniyle bu kalibrasyon denklemlerinin taramada kullanılabileceği tespit edilmiştir.

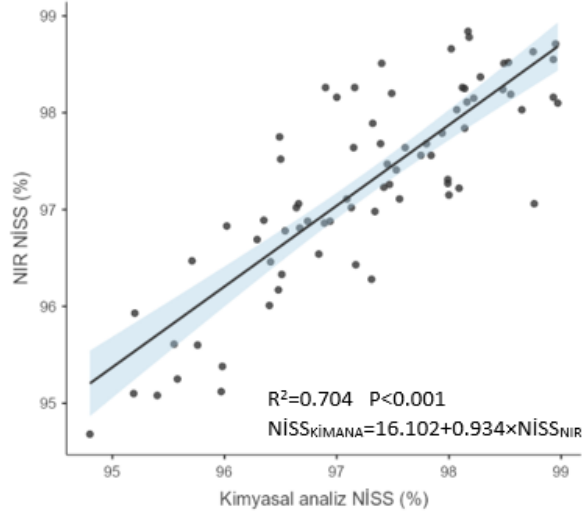
Çizelge 4.13. Laktasyon dönemleri sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Kalibrasyon			Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
			Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
KMS	147	SNV	2,6,8,1	0.86	0.81	1.25	0.59	1.42	72.02	1.99	71.99	1.77
OMS	147	SNV	2,4,4,1	0.81	0.79	1.21	0.52	1.28	73.98	1.83	74.06	1.55
HPS	110	SNV	2,4,4,1	0.84	0.84	1.52	0.50	1.30	73.42	2.13	73.42	1.97
NDFS	142	SNV	2,6,8,1	1.71	0.75	2.13	0.61	1.39	60.15	3.75	60.22	2.97
NISS	140	Detrend	2,6,8,1	0.44	0.79	0.62	0.59	1.42	97.30	1.00	97.31	0.88

¹ KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), SD: Standart sapma, RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyon dönemlerinde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.14'te verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri KMS için 0.90, OMS için 0.87, HPS için 0.90, NDFS için 0.88 ve NISS için 0.70' tir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Righi ve ark (2017), dışkıdan sindirilebilirliğin belirlenmesi için NIR spektroskopisi kullanarak NDFS ($R^2 = 0.80$) ile KMS ($R^2 = 0.90$) için elde ettikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla karşılaştırıldığında daha yüksek, OMS ($R^2 = 0.69$) için ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Stuth ve ark. (2003), ise ruminantlarda dışkıdan HPS için ($R^2=0.64$ ile 0.99 arasında) ve OMS için ($R^2=0.69$ ile 0.97 arasında) geniş aralıklı bir kalibrasyon R^2 değeri bildirmiştir. Diğer yandan Hristov ve ark. (2020), in vivo NDFS ($R^2=0.80$) için elde ettikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgulardan daha yüksektir.





Şekil 4.14. Laktasyon dönemlerinde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 :Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.16. Kuru Dönemde Kullanılan TMR'lerin Besin Madde Kompozisyonu ile İlgili Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

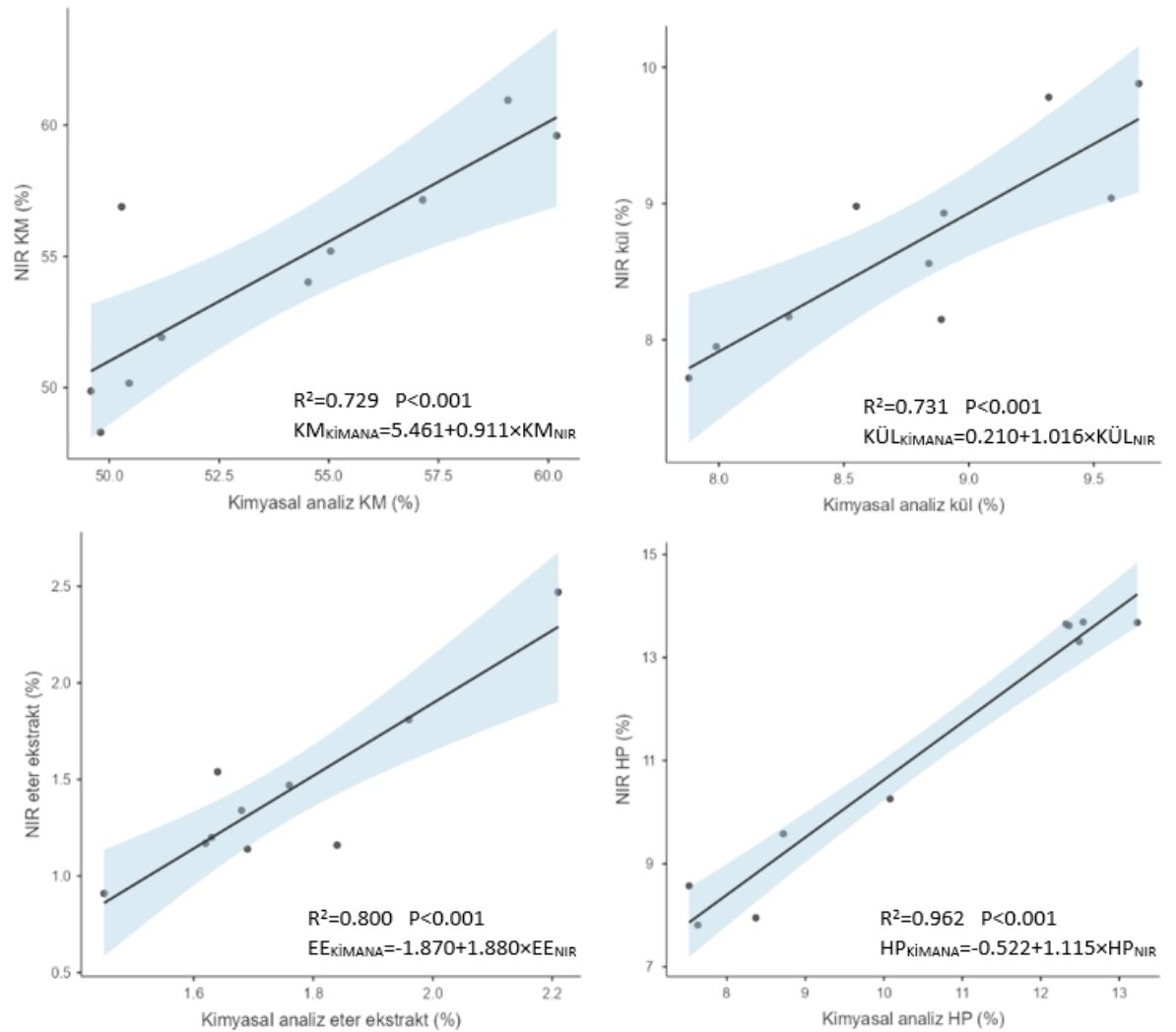
Kuru dönemdeki ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.14'te verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.99, 0.93, 0.75, 0.99, 0.99, 0.99, 0.89, 0.94, 0.93 ve 0.95 olarak, tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 5.68, 1.81, 1.26, 5.17, 5.42, 5.58, 2.47, 3.42, 3.44 ve 3.23 olarak belirlenmiştir. Eter ekstrakt için ($R_{cal}^2=0.75$, $RPD=1.26$) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin sadece taramada kullanılabileceği, diğer bütün parametreler (kuru madde, ham kül, ham protein, ADFom, aNDFom, ADIP, NDIP ve nişasta) için belirlenen kalibrasyon denklemleri ise mükemmel olarak değerlendirilmiştir.

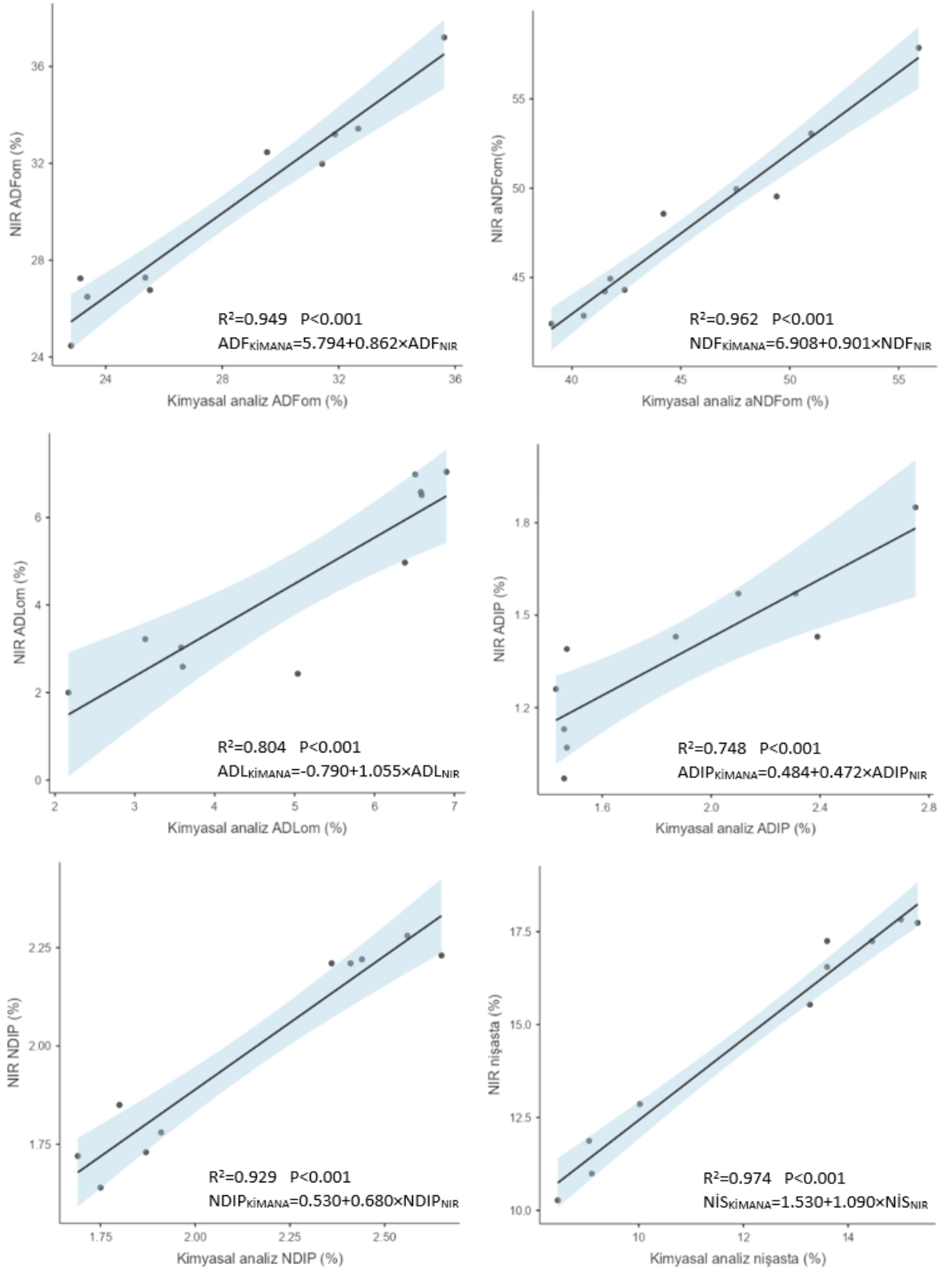
Çizelge 4.14. Kuru dönemde kullanılan TMR örneklerinde besin madde kompozisyonuna ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Kalibrasyon			Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
			Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	18	-	2,6,8,1	0.42	0.99	0.61	0.97	5.68	53.73	3.89	53.02	3.46
Ham kül	20	-	2,6,8,1	0.16	0.93	0.34	0.72	1.81	8.79	0.62	8.76	0.62
Eter ekstrakt	20	-	1,4,4,1	0.12	0.75	0.2	0.36	1.26	1.75	0.25	1.74	0.25
Ham protein	20	-	2,6,8,1	0.26	0.99	0.43	0.96	5.17	10.53	2.22	10.51	2.23
ADFom	19	-	2,6,8,1	0.48	0.99	0.83	0.97	5.42	28.13	4.52	28.43	4.48
aNDFom	19	SNV	2,6,8,1	0.58	0.99	0.96	0.97	5.58	45.33	5.25	45.20	5.38
ADLom	20	-	1,4,4,1	0.62	0.89	0.76	0.83	2.47	5.05	1.74	5.02	1.88
ADIP	20	-	2,6,8,1	0.11	0.94	0.14	0.92	3.42	1.87	0.47	1.87	0.48
NDIP	18	SNV	2,6,8,1	0.09	0.93	0.10	0.92	3.44	2.14	0.37	2.11	0.34
Nişasta	20	-	2,6,8,1	0.59	0.95	0.82	0.90	3.23	12.19	2.62	12.19	2.64

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, "-": Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Kuru dönemde kullanılan TMR için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.15'te verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.73, ham kül için 0.73, eter ekstrakt için 0.80, ham protein için 0.96, ADFom için 0.95, aNDFom için 0.96, ADLom için 0.80, ADIP için 0.75, NDIP için 0.93 ve nişasta için 0.97' dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Crespo ve ark. (2022), süt inekleri için kullanılan TMR' lerin kimyasal bileşiminin NIR spektroskopisi ile belirlenmesinde ADF ($R^2=0.95$), NDF ($R^2=0.98$), ham protein ($R^2=0.97$), ve nişasta ($R^2=0.99$) için elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgularla benzerdir. Ancak eter ekstrakt ($R^2=0.98$) için elde edilen tahminler ise mevcut çalışmadaki değerlerden daha yüksek olarak bildirilmiştir. Guo ve ark (2021), ruminant rasyonlarında kullanılan buğday samanı ve mısır sapının kimyasal bileşimini NIR spektroskopisi kullanılarak belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada; kuru madde ($R^2= 0.78$), ham protein ($R^2=0.98$), ADL ($R^2=0.80$) için elde ettikleri tahmin değerleri ile mevcut çalışmadaki bulgularla benzediği, NDF ($R^2=0.80$) ve ADF ($R^2=0.87$) için elde edilen değerlerin ise çalışmadaki bulgulardan düşük olduğu görülmüştür.





Şekil 4.15. Kuru dönemde kullanılan TMR için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.17. Kuru Dönemdeki İneklerden Toplanan Dışkıda Bulunan Besin Madde Kompozisyonu ile İlgili Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

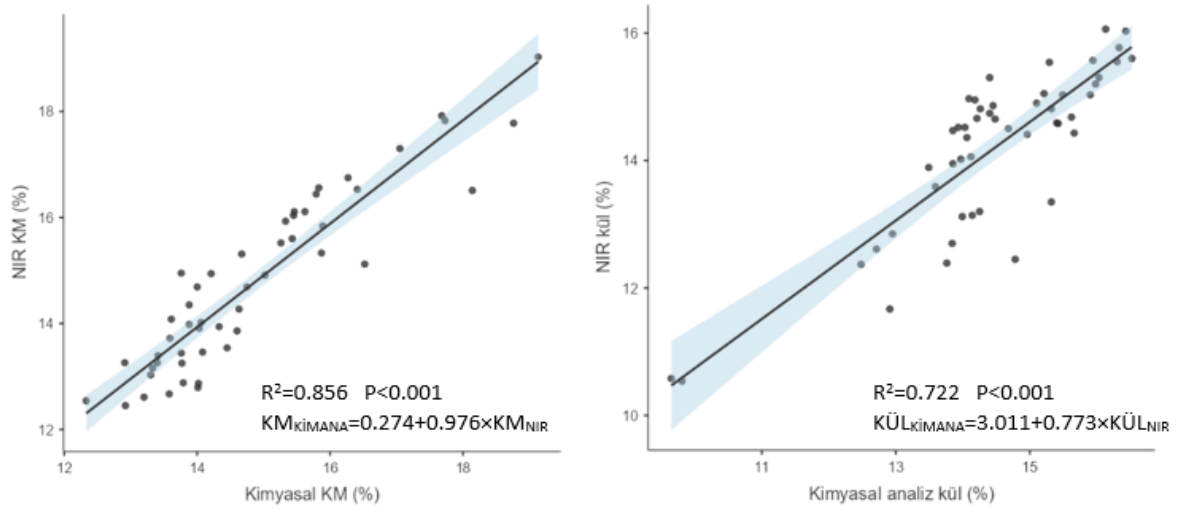
Kuru dönemdeki ineklerden alınan dışkı örneklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.15'te verilmiştir. Kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP, nişasta parametrelerinin hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.95, 0.87, 0.58, 0.99, 0.90, 0.90, 0.81, 0.81, 0.86, 0.94 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 3.13, 1.93, 1.05, 6.72, 2.81, 2.57, 1.90, 1.73, 1.83, 3.00 olarak belirlenmiştir. Kuru madde için ($R_{cal}^2=0.95$, RPD=3.13), ham protein ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=6.72), ADFom ($R_{cal}^2=0.90$, RPD=2.81), aNDFom ($R_{cal}^2=0.90$, RPD=2.57), nişasta ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=3.0) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu, ham kül ($R_{cal}^2=0.87$, RPD=1.93), ADLom ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.90), ADIP ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.73) NDIP ($R_{cal}^2=0.86$, RPD=1.83) için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğu fakat, eter ekstrakt ($R_{cal}^2=0.58$, RPD=1.05) belirlenen kalibrasyon denkleminin ise R^2 değeri düşük olarak tespit edilmiştir.

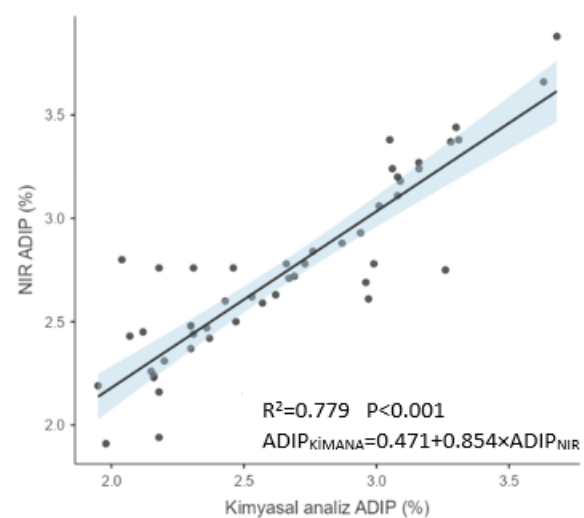
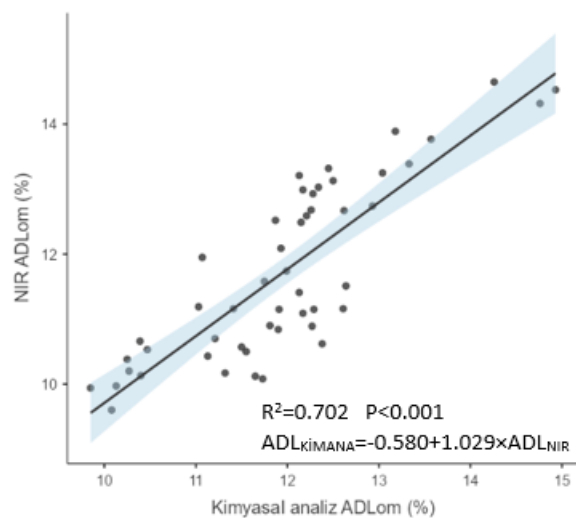
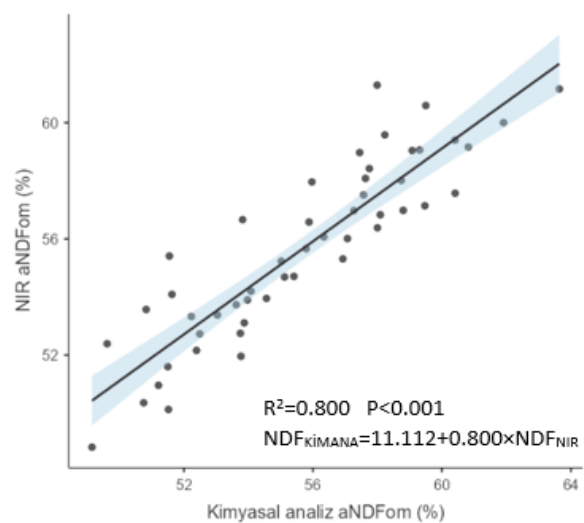
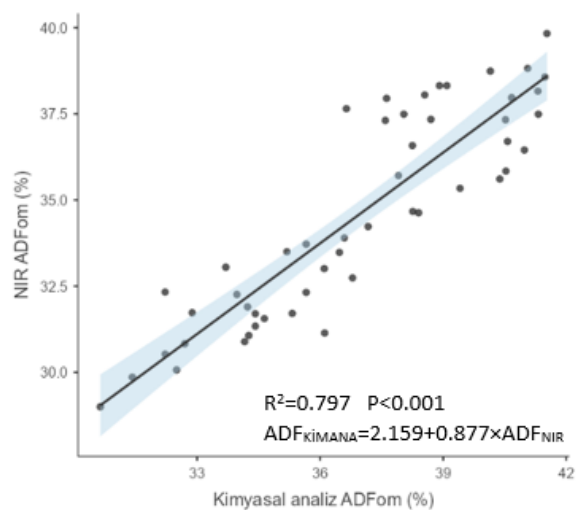
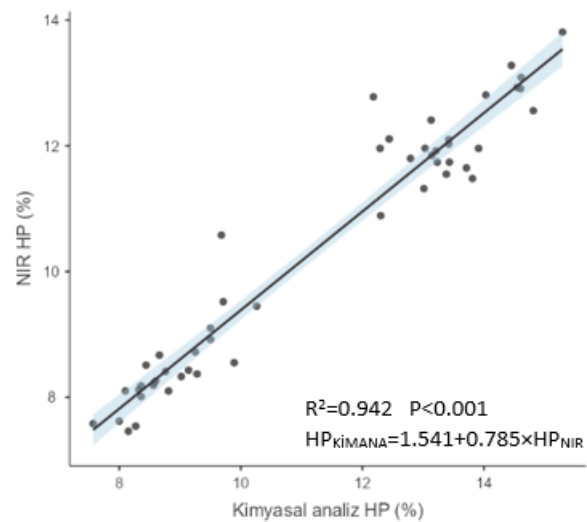
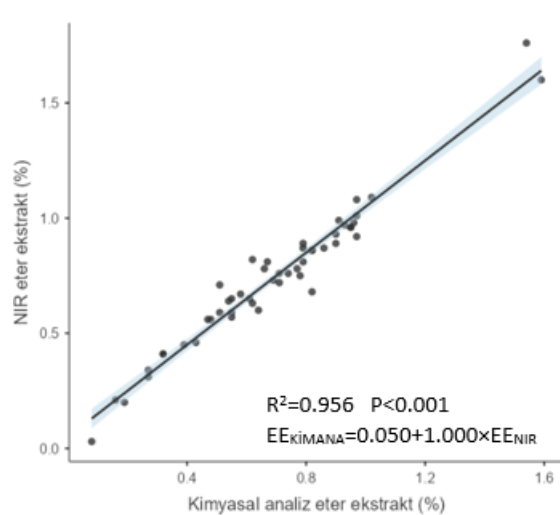
Çizelge 4.15. Kuru dönemde toplanan dışkı örneklerinde bulunan besin maddeleriyle ilgili kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

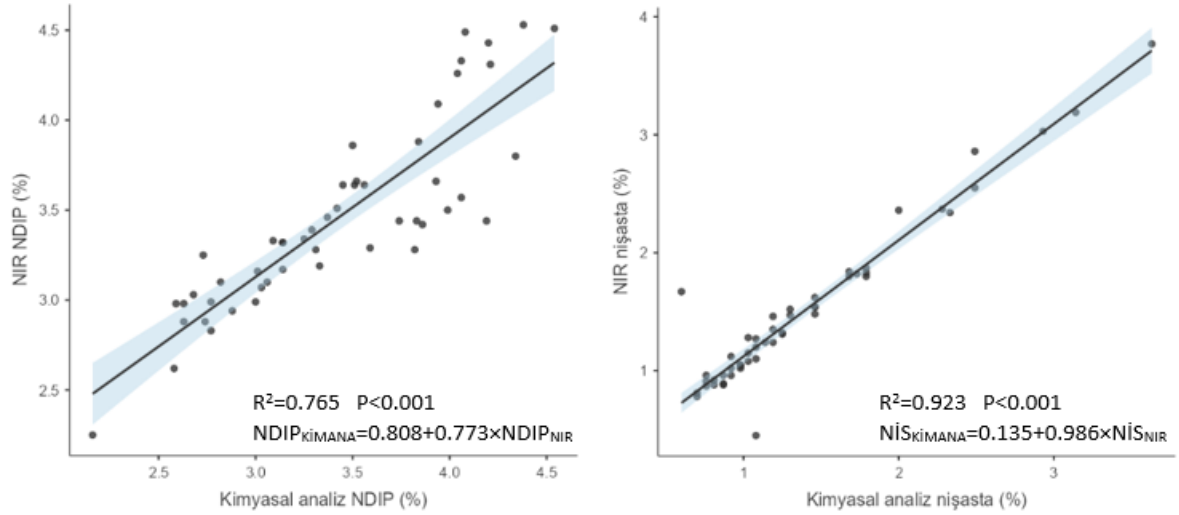
Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
Kuru madde	96	-	2,6,8,1	0.35	0.95	0.46	0.90	3.13	14.84	1.55	14.80	1.45
Ham kül	90	SNV	2,6,8,1	0.36	0.87	0.48	0.77	1.93	14.47	1.43	14.60	0.93
Eter ekstrakt	94	SNV	2,6,8,1	0.16	0.58	0.18	0.47	1.05	0.71	0.31	0.67	0.19
Ham protein	92	SNV+Detrend	1,4,4,1	0.29	0.99	0.37	0.98	6.72	11.17	2.50	11.26	2.50
ADFom	94	-	1,4,4,1	0.95	0.90	1.04	0.88	2.81	37.01	2.99	36.87	2.92
aNDFom	95	-	2,6,8,1	1.04	0.90	1.21	0.86	2.57	55.43	3.30	55.47	3.10
ADLom	98	SNV	2,6,8,1	0.44	0.81	0.48	0.78	1.90	11.94	1.01	11.91	0.92
ADIP	92	Detrend	1,4,4,1	0.18	0.81	0.22	0.72	1.73	2.67	0.43	2.69	0.38
NDIP	97	SNV+Detrend	1,4,4,1	0.19	0.86	0.25	0.74	1.83	3.53	0.49	3.52	0.46
Nişasta	97	-	2,6,8,1	0.17	0.94	0.22	0.89	3.00	1.37	0.67	1.38	0.66

¹ SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, "-": Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Kuruki ineklerden toplanan dışkılar için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.16'da verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri kuru madde için 0.86, ham kül için 0.72, eter ekstrakt için 0.96, ham protein için 0.94, ADFom için 0.80, aNDFom için 0.80, ADLom için 0.70, ADIP için 0.78, NDIP için 0.77 ve nişasta için 0.92' dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Eter ekstrakt için geliştirilen kalibrasyon denkleminin R^2 değeri düşük ($R^2=0.58$) olsa da dış doğrulama sonucu tahmin yeteneğinin ($R^2=0.96$) oldukça iyi olduğu belirlenmiştir. Peters ve ark. (2023) tarafından dışkıda kalibrasyon geliştirmek için yapılan çalışmada ham protein ($R^2=0.94$) ile aNDFom ($R^2=0.88$) için belirlenen tahmin değerlerinin mevcut çalışmadaki bulgularla benzeştiği, ADF ($R^2=0.94$) ile ADL ($R^2=0.95$) için belirlenen tahmin değerleri ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Jancewicz ve ark. (2016), ham protein için ($R^2=0.97$) mevcut çalışmadaki tahmin değeri ile aynı tahmin değeri bildirmiştir. Ayrıca, . Jancewicz ve ark. (2016)'nın çalışmasındaki ADL ($R^2= 0.70$) için belirlenen doğrulama sonucu mevcut çalışmadaki bulgu ile benzemektedir.







Şekil 4.16. Kuru dönemdeki ineklerden toplanan dışkılar için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, Şekil 4.16. KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), NİS: Nişasta, R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.1.18. Kurudaki İneklerde Dışkıdan Sindirilebilirlik için Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

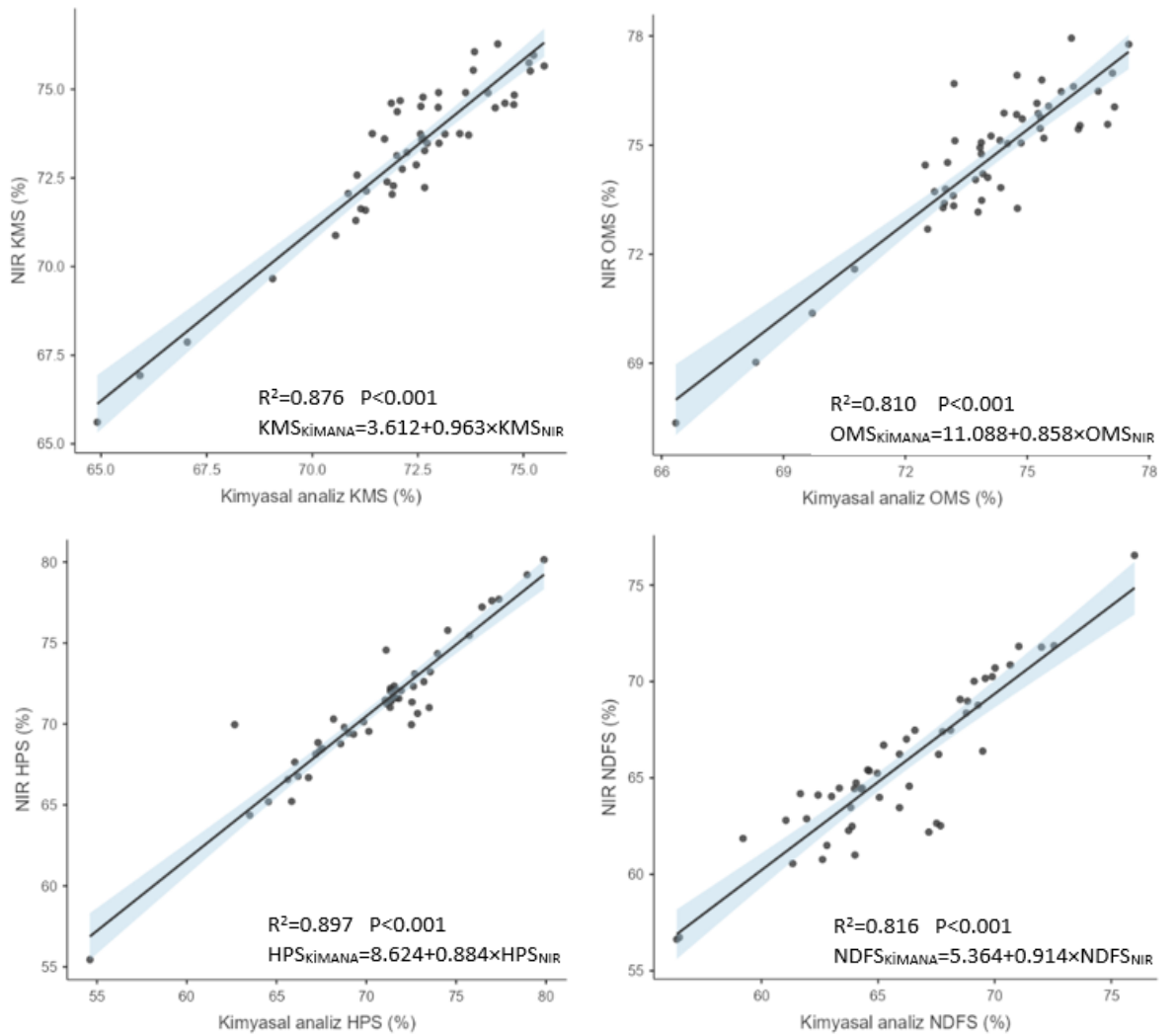
Kurudaki ineklerde dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.16'da verilmiştir. KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS' ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.89, 0.90, 0.91, 0.80 ve 0.98 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 1.90, 2.20, 1.87, 1.42 ve 3.40 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=2.68), OMS için ($R_{cal}^2=0.91$, RPD=1.97), HPS ($R_{cal}^2=0.81$, RPD=1.20), NDFS için ($R_{cal}^2=0.89$, RPD=2.15) ve NISS için ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=2.31) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı olduğu tespit edilmiştir.

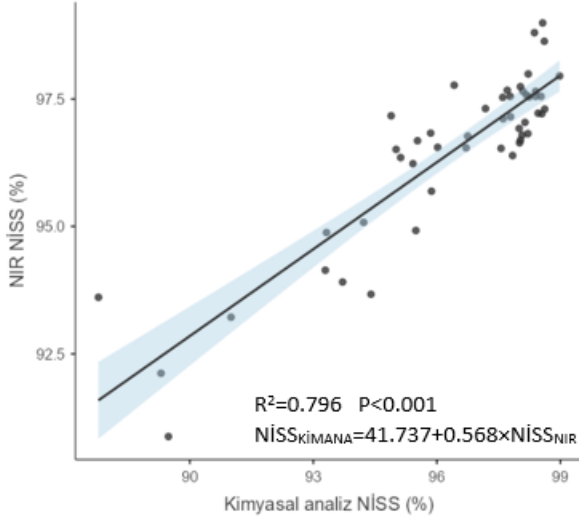
Çizelge 4.16. Kuru dönemde sindirilebilirlik parametrelerinde kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Kalibrasyon			Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
			Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
KMS	94	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.64	0.89	0.94	0.77	1.90	72.31	2.09	72.41	1.79
OMS	96	Detrend	2,6,8,1	0.60	0.90	0.85	0.81	2.20	74.11	2.03	74.16	1.87
HPS	98	SNV	2,4,4,1	1.31	0.91	2.10	0.77	1.87	70.80	4.33	70.49	3.93
NDFS	95	SNV+Detrend	2,4,4,1	1.63	0.80	2.25	0.61	1.42	65.99	3.83	66.21	3.20
NISS	93	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.33	0.98	0.70	0.89	3.40	96.47	6.62	96.52	2.40

¹ KMS: Kuru madde sindirilebilirliği, OMS: Organik madde sindirilebilirliği, HPS: Ham protein sindirilebilirliği, NDFS: NDF sindirilebilirliği, NISS: Nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), SD: Standart sapma, RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Kuru dönemde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.17’de verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri KMS için 0.88, OMS için 0.81, HPS için 0.90, NDFS için 0.82 ve NISS için 0.80’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Noel ve ark (2022) tarafından, dışkıdan KMS için ($R^2= 0.82$) ve OMS için ($R^2=0.81$) elde edilen tahmin değerlerin mevcut çalışmadaki bulgularla benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca, KMS için elde ettiğimiz tahmin değerleri ile diğer araştırmacılara (Landau ve ark., 2005; Decandia ve ark., 2009) ait tahmin değerleri birbirine benzer olarak bulunmuştur. Forero ve ark. (2023) ise dışkıdan KMS için ($R^2=0.90$) elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgulardan daha yüksektir. Guerra ve ark (2023), dışkıdan besin madde sindirilebilirliği için elde ettikleri tahmin değerleri KMS ($R^2= 0.10$), OMS ($R^2= 0.21$), NDFS ($R^2= 0.15$), HPS ($R^2= 0.31$), NISS ($R^2= 0.08$) için çok düşük olup mevcut çalışmadaki bulguların incelenen literatürden daha iyi olduğu görülmektedir.





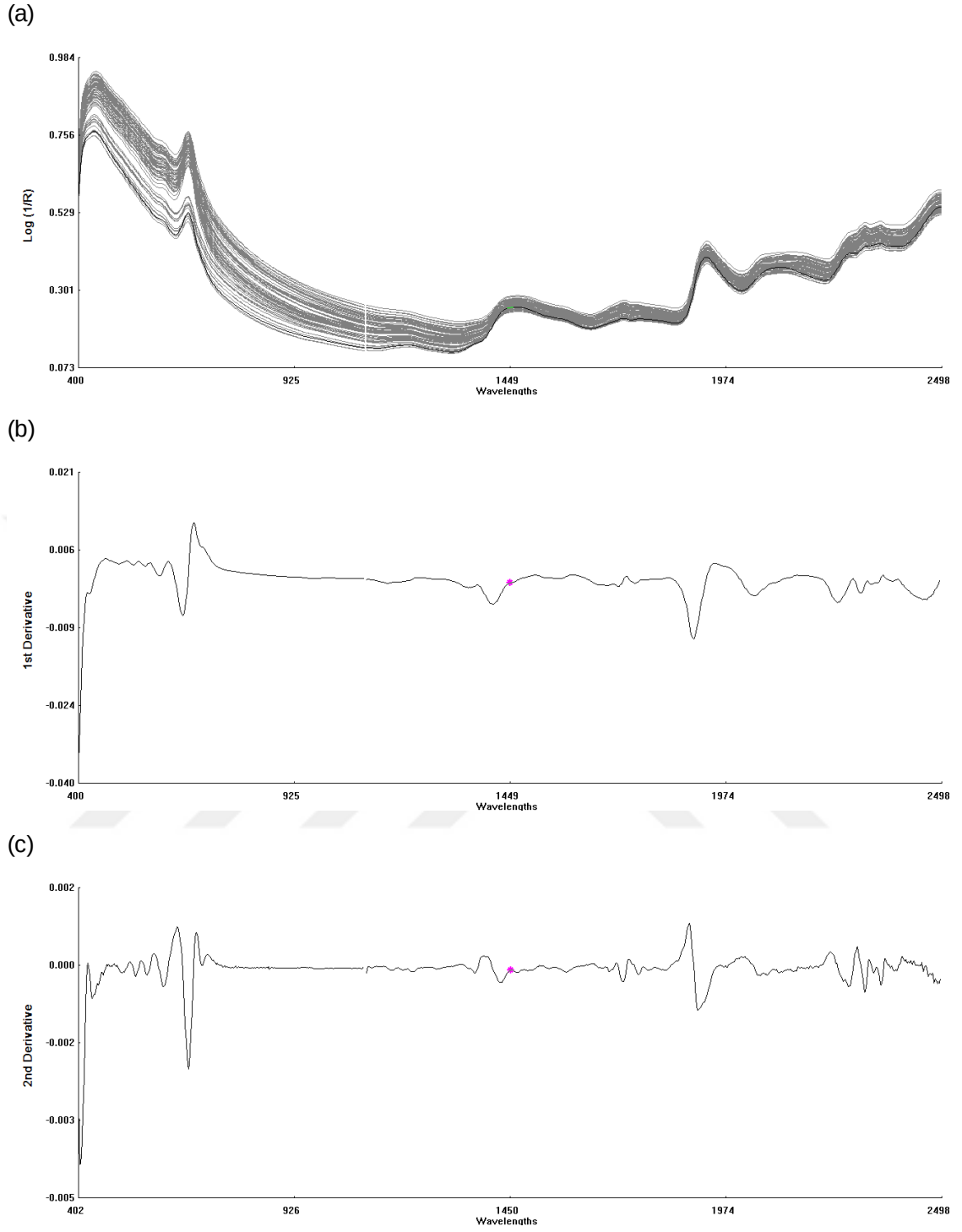
Şekil 4.17. Kuru dönemde dışkıdan sindirilebilirlik için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

Genel olarak *in vivo* deneme bulguları incelendiğinde laktasyon dönemlerinde (laktasyon başlangıcı, ortası ve sonu) ineklerin beslenmesi için kullanılan TMR' lerin ve bu TMR' lerle besleme sonunda toplanan dışkıların besin madde içerikleri için geliştirilen kalibrasyonlar içinde eter ekstrakt, ADIP ve NDIP için iyi kalibrasyonlar oluşturulamamıştır. Ancak kuru dönemdeki TMR ve dışkı için geliştirilen kalibrasyonlar için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu farklılıkların rasyon besin madde bileşiminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca laktasyon dönemlerini birleştirerek TMR ve dışkı için geliştirilen kalibrasyonların da dönemlere göre ayrı ayrı oluşturulan kalibrasyonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun sebebinin ise örnek sayısının birleştirilmiş laktasyon dönemleri için daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

4.2. *In vitro* Deneme

4.2.1. *In vitro* Deneme Sonunda TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar

In vitro deneme sonrası TMR örneklerine ait NIR cihazında belirlenen ham spektrum görünümleri (1/log) ve bu spektrumlara uygulanan ön işlemler sonucu normalleştirilmiş spektrumlar Şekil 4.18'de gösterilmiştir. 400 ile 2498 nm dalga boyları arasında TMR örneklerinin ham spektrumları elde edilmiştir. Spektrum grafiği incelendiğinde TMR örneklerinin spektrumlarının benzer olduğu görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde yaklaşık olarak 1450 nm, 1700 nm, 1950 nm, 2300 nm ve 2500 nm dalga boylarında pik yapmıştır. Bu dalga boylarındaki pikler, O-H, C-H, C-O ve N-H molekül bağlarının varlığını göstermekte olup örnekteki nem içeriğini, lif fraksiyonları, yağ içeriği, nişasta içeriği ve ham protein içeriği hakkında bilgi vermektedir (Yang ve ark., 2017; Williams, 2020).



Şekil 4.18. *In vitro* deneme sonunda TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünümleri

4.2.2. *In vitro* Deneme Sonunda TMR' lerde Kalibrasyon, Çapraz Doğrulama ve Dış Doğrulama

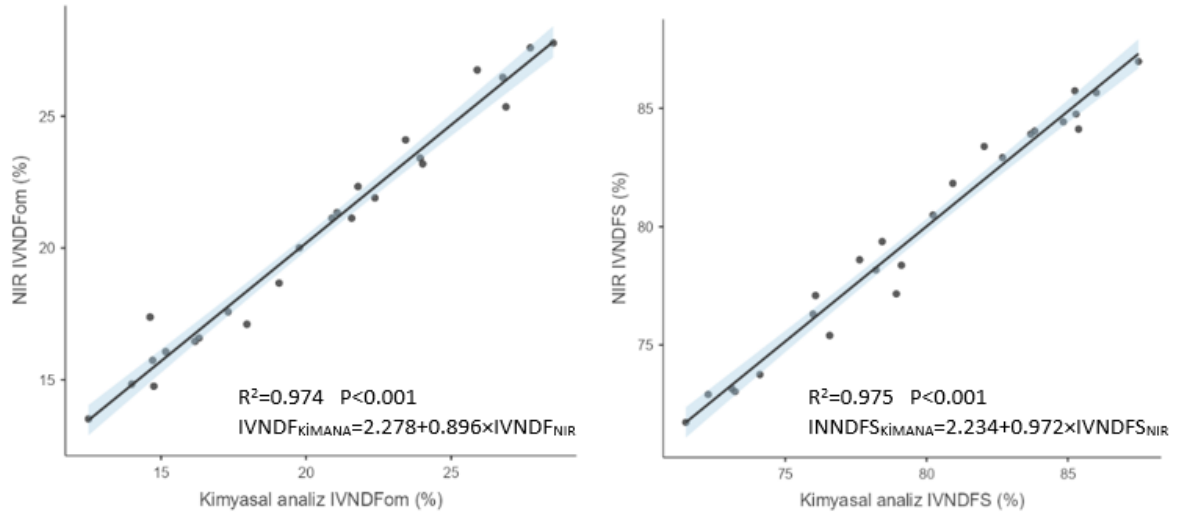
Erken laktasyon, orta laktasyon, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde tespit edilen *in vitro* NDF sindirilebilirliklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.17'de verilmiştir. *In vitro* inkübasyon sonunda tespit edilen IVaNDFom, IVNDFS, IVKMS ve IVOMS' ye ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.98, 0.98, 0.98 ve 0.98 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 4.19, 4.19, 3.65 ve 3.42 olarak belirlenmiştir. aNDFom için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=4.19), IVNDFS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=4.19), IVKMS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=3.65) ve IVOMS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=3.42) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu tespit edilmiştir.

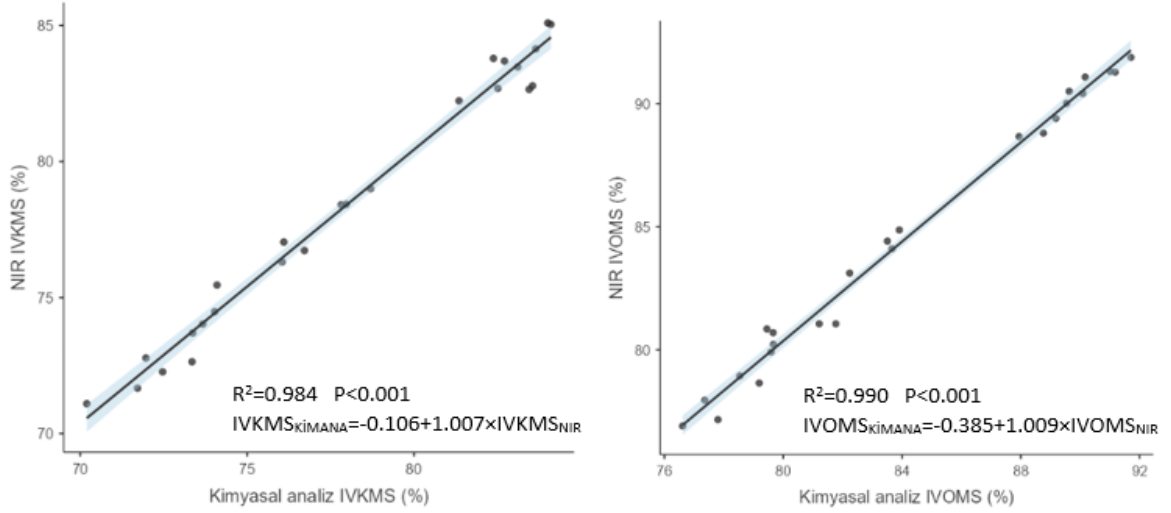
Çizelge 4.17. Erken laktasyon, orta laktasyon, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde *In vitro* NDF sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Kalibrasyon			Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
			Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
IVaNDFom	72	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.67	0.98	1.16	0.93	4.19	20.52	4.90	20.53	4.87
IVNDFS	72	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.67	0.98	1.16	0.93	4.19	79.49	4.90	79.47	4.87
IVKMS	74	Detrend	2,4,4,1	0.67	0.98	1.35	0.92	3.65	77.58	4.84	77.64	4.93
IVOMS	74	Detrend	2,4,4,1	0.80	0.98	1.63	0.90	3.42	83.67	5.46	83.79	5.59

¹IVaNDFom: in vitro inkübasyon sonucu amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, IVNDFS: İn vitro NDF sindirilebilirliği, IVKMS: İn vitro kuru madde sindirilebilirliği, IVOMS: İn vitro organik madde sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

In vitro inkübasyon sonunda aNDFom, NDFS, KMS ve OMS için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.19'da verilmiştir. Belirlenen R^2 değerleri IVaNDFom için 0.97, IVNDFS için 0.98, IVKMS için 0.98 ve IVOMS için 0.99 olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Mevcut çalışmadaki tahmin değerleri, Abreu ve ark. (2022)'nin kaba yem için tespit ettikleri IVKMS ($R^2=0.95$) ve IVNDFS ($R^2=0.85$) için tahmin değerlerinden daha yüksektir. Baklagil ve buğdaygil kaba yem karışımlarının IVKMS'i ($R^2> 80$) tahmin edilmiştir (Lundberg ve ark.,2004) ve mevcut çalışmadaki bulgulardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Campbell ve ark. (2022)'nin, kaba yemin IVKMS ($R^2=0.87$) için elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki bulgulardan düşük olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmadaki bulgular aynı zamanda Serafim ve ark. (2021) ($R^2=0.93$) ile Lobos ve ark. (2013) ($R^2=0.89$)'nin belirledikleri tahmin değerlerinden daha başarılıdır. Mentink ve ark. (2006), süt sığırlarında kullanılan TMR örneklerinde IVKMS ($R^2=0.85$), IVOMD ($R^2=0.85$) ve IVNDFS ($R^2=0.85$) için tespit edilen tahmin değerleri diğer çalışmalarda da olduğu gibi mevcut çalışmadaki bulgulardan daha düşüktür.





Şekil 4.19. *In vitro* NDFS, KMS ve OMS için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

In vitro sindirilebilirlik parametrelerine ait (IVKMS, IVOMS, IVNDFS) geliştirilen kalibrasyon denklemleri çok iyi sonuçlar göstermiştir. *In vitro* analizler laboratuvar ortamında daha kontrollü yapıldığından, hayvandan hayvana değişen faktörlerin etkisinin olmamasından ve referans analizlerinin titizlikle yapılmasının kalibrasyon üzerinde olumlu etkisinin olmasından kaynaklanmaktadır.

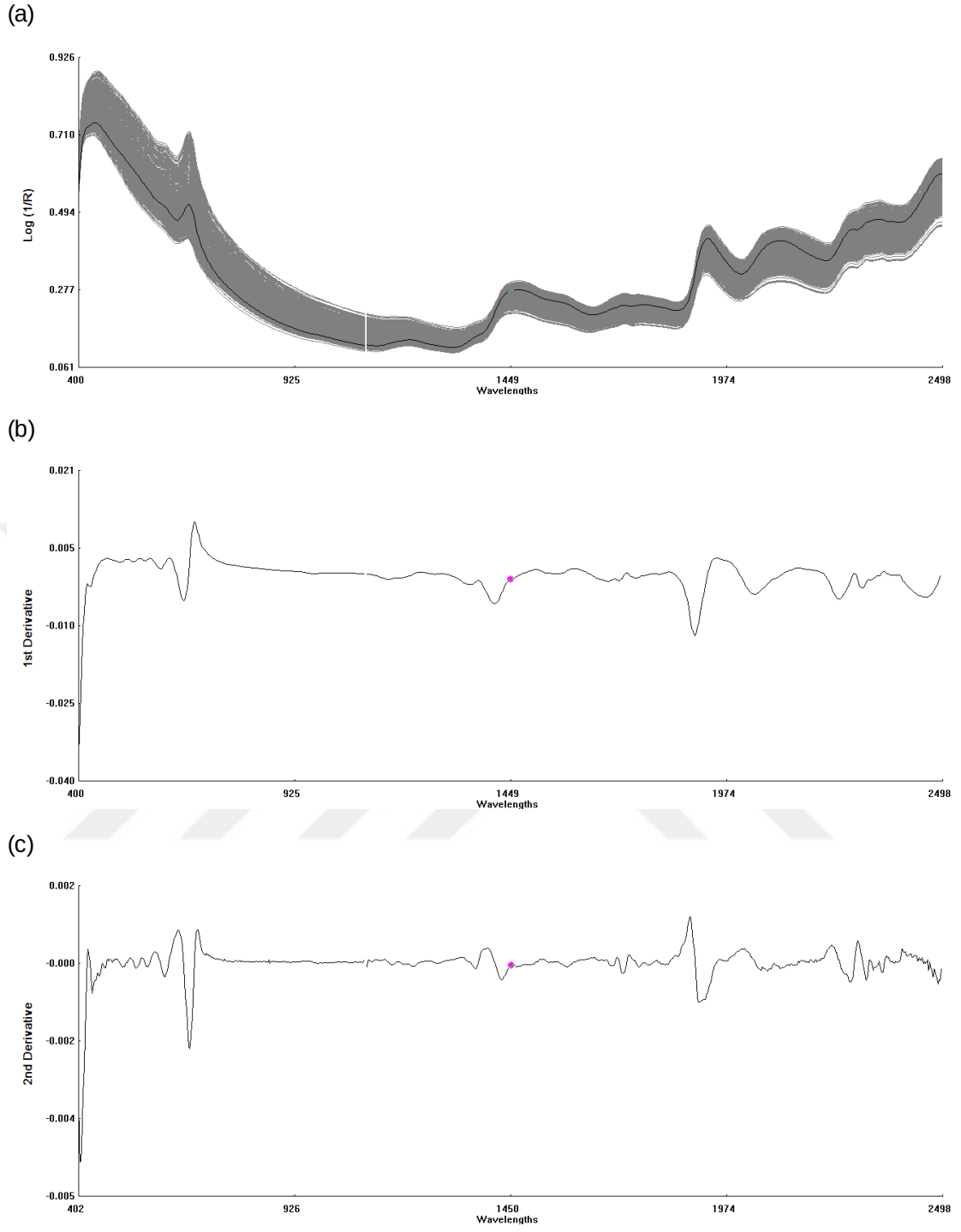
4.3. *In situ* Deneme Bulguları

4.3.1. *In Situ* Sindirilebilirliğe ait Bulgular

Tüm fizyolojik dönemlere göre *in situ* kuru madde, nişasta, protein, NDF sindirilebilirliklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve dış doğrulama yapılmıştır. Ayrıca çalışmamızda birde kuru dönem ve laktasyon dönemleri için ayrı ayrı kalibrasyon denklemleri geliştirilmiş ve doğrulukları tespit edilmiştir.

4.3.2. *In Situ* Deneme Sonunda TMR Örneklerine ait NIR ile Saptanan Spektrumlar

In situ deneme sonrası TMR örneklerine ait NIR cihazında belirlenen ham spektrum görünümleri (1/log) ve bu spektrumlara uygulanan ön işlemler sonucu normalleştirilmiş spektrumlar Şekil 4.20'de gösterilmiştir. 400 ile 2498 nm dalga boyları arasında TMR örneklerinin ham spektrumları elde edilmiştir. Spektrum grafiği incelendiğinde TMR örneklerinin spektrumlarının benzer olduğu görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde yaklaşık olarak 1450 nm, 1700 nm, 1950 nm, 2300 nm ve 2500 nm dalga boylarında pik yapmıştır. Bu dalga boylarındaki pikler, O-H, C-H, C-O ve N-H molekül bağlarının varlığını göstermekte olup örnekteki nem içeriğini, lif fraksiyonları, yağ içeriği, nişasta içeriği ve ham protein içeriği hakkında bilgi vermektedir (Yang ve ark., 2017; Williams, 2020).



Şekil 4.20. *In situ* deneme sonunda TMR örneklerine ait (a) ham spektrum, (b) birinci dereceden türevlenmiş spektrum, (c) ikinci dereceden türevlenmiş spektrum görünümleri

4.3.3. Bütün Fizyolojik Dönemlerde *In Situ* Sindirilebilirliğe ait Bulgular

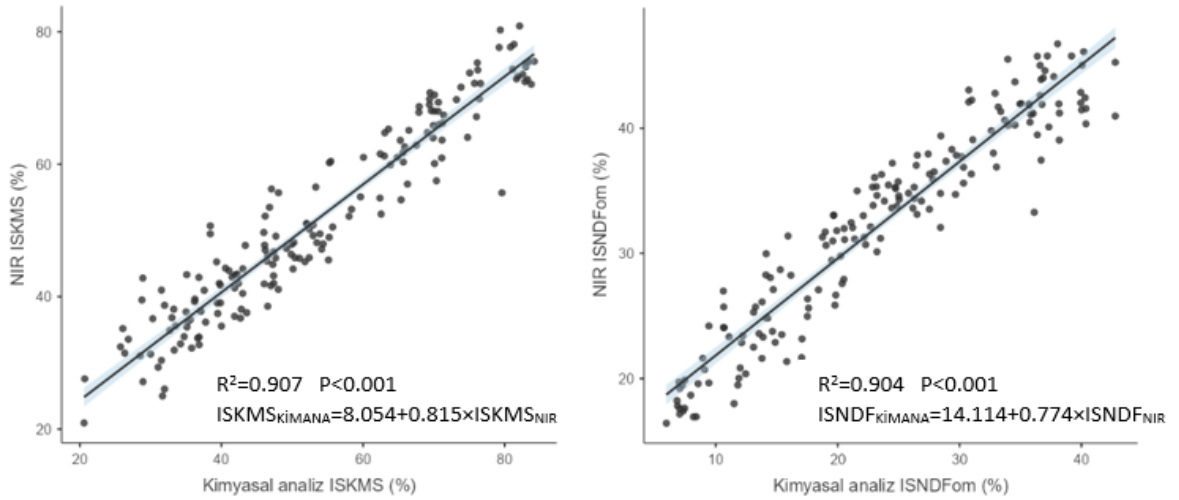
Erken laktasyon, laktasyon ortası, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde tespit edilen *in situ* kuru madde, NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması aşağıda Çizelge 4.18’de verilmiştir. *In situ* inkübasyon sonrası TMR örneklerinde KMS, aNDFom, NDFS, HP, HPS, nişasta ve NISS’ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.96, 0.94, 0.95, 0.99, 0.99, 0.97 ve 0.97 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 4.49, 3.89, 4.12, 7.36, 6.98, 4.99 ve 4.78 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=4.49), aNDFom için ($R_{cal}^2=0.94$, RPD=3.89), NDFS için ($R_{cal}^2=0.95$, RPD=4.12), HP için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=7.36), HPS için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=6.98), nişasta için ($R_{cal}^2=0.97$, RPD=4.99) ve NISS için ($R_{cal}^2=0.97$, RPD=4.78) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu tespit edilmiştir.

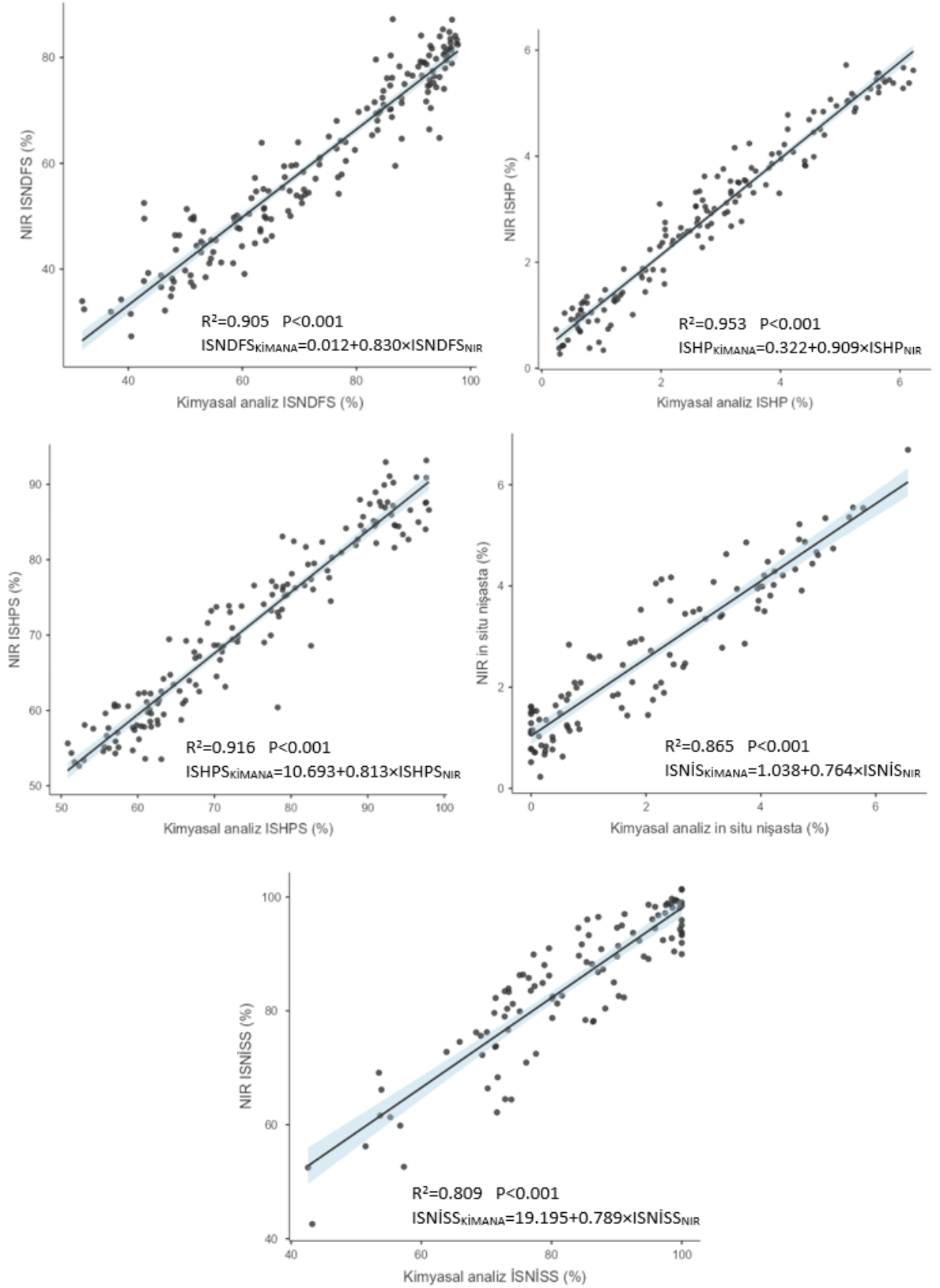
Çizelge 4.18. Erken laktasyon, orta laktasyon, laktasyon sonu ve kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde *In situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	Kalibrasyon		Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
				SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
ISKMS	611	SNV+Detrend	2,6,8,1	3.38	0.96	3.80	0.95	4.49	56.11	17.45	56.23	17.05
ISaNDFom	588	Detrend	1,4,4,1	2.32	0.94	2.52	0.93	3.89	22.07	9.90	22.64	9.78
ISNDFS	591	Detrend	1,4,4,1	3.84	0.95	4.23	0.94	4.12	76.00	17.78	74.96	17.44
ISHP	524	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.19	0.99	0.24	0.98	7.36	2.44	1.74	2.45	1.74
ISHPS	522	SNV+Detrend	2,4,4,1	1.79	0.99	2.09	0.98	6.98	77.45	14.74	77.37	14.59
ISNişasta	376	SNV	2,4,4,1	0.29	0.97	0.36	0.96	4.99	1.83	1.85	1.81	1.80
ISNISS	378	SNV	2,4,4,1	2.43	0.97	3.00	0.96	4.78	85.57	14.52	85.61	14.32

¹ISKMS: Kuru madde sindirilebilirliği, ISaNDFom: İn situ inkübasyon sonrası amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ISNDFS: İn situ NDF sindirilebilirliği, ISHP: İn situ inkübasyon sonrası ham protein, ISHPS: İn situ ham protein sindirilebilirliği, ISNişasta: İn situ inkübasyon sonrası nişasta, ISNISS: İn situ nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

In situ NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen tüm fizyolojik dönemlere ait kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.21’de verilmiştir. Tespit edilen R^2 değerleri ISKMS için, 0.91, ISaNDFom için 0.91, ISNDFS için 0.91, ISHP için 0.95, ISHPS için 0.92, ISNişasta için 0.87 ve ISNISS için 0.81’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Mentik ve ark. (2006), süt sığırlarında kullanılan TMR’ de ISHPS için ($R^2=0.70$) elde ettikleri tahmin değerleri, Despal ve ark. (2023)’ nın, kaba yemlerde ISHPS ($R^2=0.78$) için elde ettikleri tahmin değerleri, Andres ve ark. (2005)’ nın yine kaba yemlerde ISHPS ($R^2=0.72$) ve ISKMS için ($R^2=0.90$) elde ettikleri tahmin değerleri, Swift (2003)’ in kaba yemlerde ISHP ($R^2=0.95$) ve ISHPS için ($R^2=0.78$) elde ettikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki değerlerden düşüktür. Belanche ve ark. (2014) ISKMS için ($R^2=0.64$) elde ettikleri tahmin değerleri mevcut çalışmadaki değerlerden düşük ancak ISNDFS için ($R^2=0.83$) elde ettikleri tahmin değerleri daha yüksek olarak bulunmuştur. Ayrıca Zhang ve ark. (2021) ISNDF için ($R^2=0.94$) elde ettikleri tahmin değerleri de mevcut çalışmadaki bulgulardan daha yüksek olduğu görülmektedir.





Şekil 4.21. *In situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen bütün fizyolojik dönemlere ait kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.3.4. Kuru Dönemde *In Situ* Sindirilebilirliğe ait Bulgular

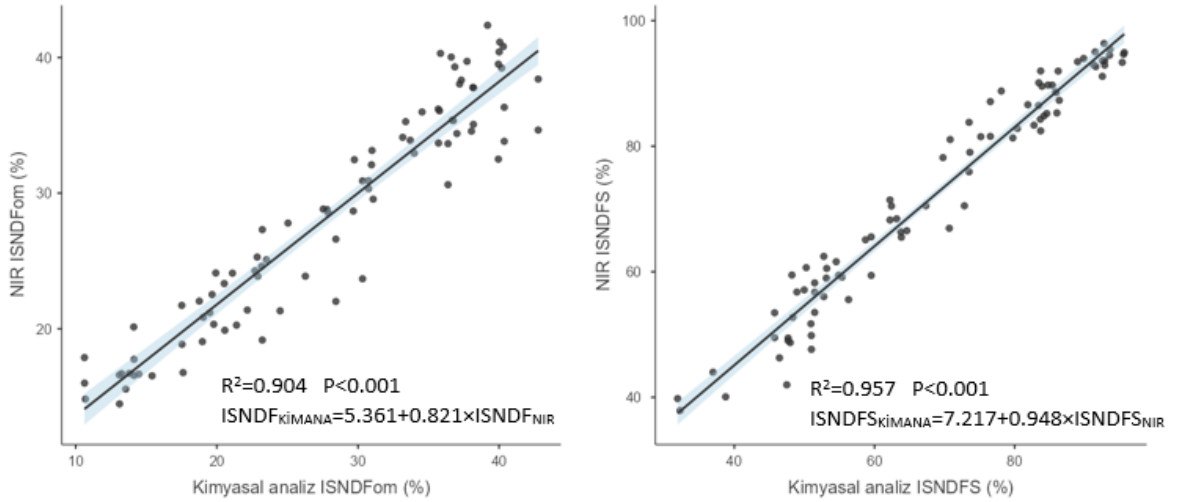
Kuru dönemdeki ineklere verilen TMR örneklerinde tespit edilen *in situ* kuru madde, NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması aşağıda Çizelge 4.19’da verilmiştir. *In situ* inkübasyon sonrası TMR örneklerinde KMS, aNDFom, NDFS, HP, HPS, nişasta ve NISS’ ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.98, 0.98, 0.98, 0.99, 0.99, 0.98 ve 0.98 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 5.28, 5.35, 5.81, 6.80, 7.48, 5.22 ve 5.77 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.28), aNDFom için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.35), NDFS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.81), HP için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=6.80), HPS için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=7.48), nişasta için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.22) ve NISS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.77) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu tespit edilmiştir.

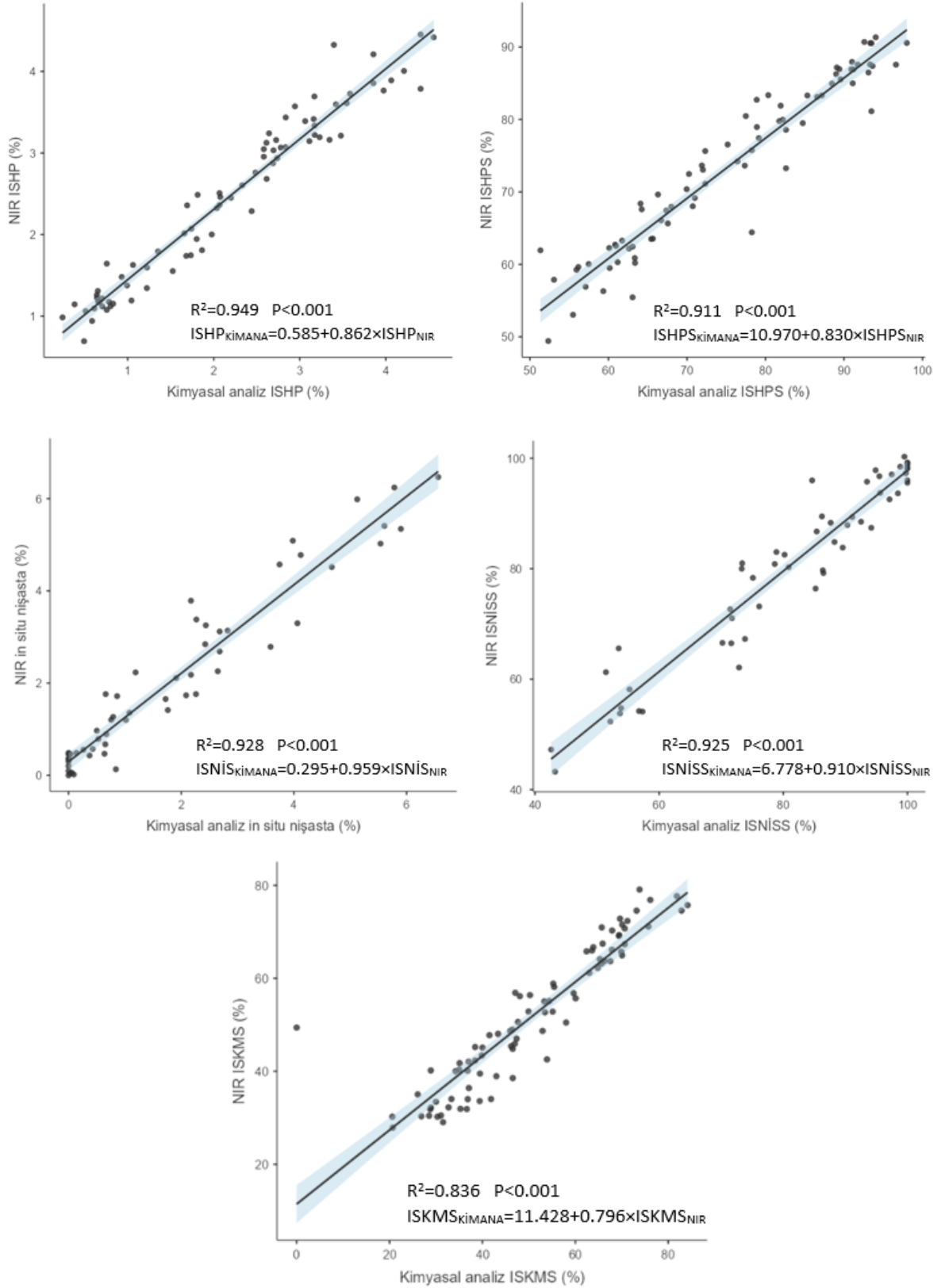
Çizelge 4.19. Kurudaki ineklere verilen TMR örneklerinde *In situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Spektrum ön işlem	Kalibrasyon			Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
			Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
ISKMS	281	-	2,6,8,1	2.47	0.98	3.10	0.97	5.28	52.46	16.59	52.45	16.40
ISaNDfom	281	SNV	2,6,8,1	1.47	0.98	1.78	0.97	5.35	26.18	9.66	26.22	9.52
ISNDFS	280	SNV	2,6,8,1	2.56	0.98	3.11	0.97	5.81	71.14	18.29	71.25	18.05
ISHP	245	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.12	0.99	0.17	0.98	6.80	2.05	1.17	2.04	1.16
ISHPS	244	SNV+Detrend	2,4,4,1	1.33	0.99	1.80	0.98	7.48	75.78	13.51	75.69	13.48
ISNişasta	171	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.27	0.98	0.35	0.96	5.22	1.69	1.87	1.70	1.84
ISNISS	171	SNV+Detrend	2,4,4,1	2.12	0.98	2.86	0.97	5.77	83.25	17.03	83.55	16.53

¹ISKMS: Kuru madde sindirilebilirliği, ISaNDfom: İn situ inkübasyon sonrası amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ISNDFS: İn situ NDF sindirilebilirliği, ISHP: İn situ inkübasyon sonrası ham protein, ISHPS: İn situ ham protein sindirilebilirliği, ISNişasta: İn situ inkübasyon sonrası nişasta, ISNISS: İn situ nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Kuru dönemde *in situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.22’de verilmiştir. Tespit edilen R^2 değerleri ISKMS için, 0.84, ISaNDFom için 0.90, ISNDFS için 0.96, ISHP için 0.95, ISHPS için 0.91, ISNişasta için 0.93 ve ISNISS için 0.93’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Mentik ve ark. (2006), TMR’ de ISHPS için ($R^2=0.70$) elde ettikleri tahmin değerleri, Despal ve ark. (2023)’ nın, kaba yemlerde ISHPS ($R^2=0.78$) için elde ettikleri tahmin değerleri, Belanche ve ark. (2014) ISKMS için ($R^2=0.64$) ve ISNDFS için ($R^2=0.83$) elde ettikleri tahmin değerleri, ayrıca Zhang ve ark. (2021) ISNDFS için ($R^2=0.94$) mevcut çalışmadaki değerlerden daha düşük olarak bulunmuştur. Andres ve ark. (2005)’ nın kaba yemlerde ISHPS için ($R^2=0.72$) elde edilen tahmin değerleri mevcut çalışmadaki değerlerden daha düşük, ISKMS için ($R^2=0.90$) elde ettikleri tahmin değerleri ise yüksektir, Swift (2003)’ in yine kaba yemlerde ISHP için ($R^2=0.95$) elde edilen tahmin değeri mevcut çalışmadaki bulgularla benzer, ISHPS için ($R^2=0.78$) ise elde ettikleri tahmin değerleri ise daha düşüktür.





Şekil 4.22. Kuru dönemde *in situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

4.3.5. Laktasyon Dönemlerinde *In Situ* Sindirilebilirliğe ait Bulgular

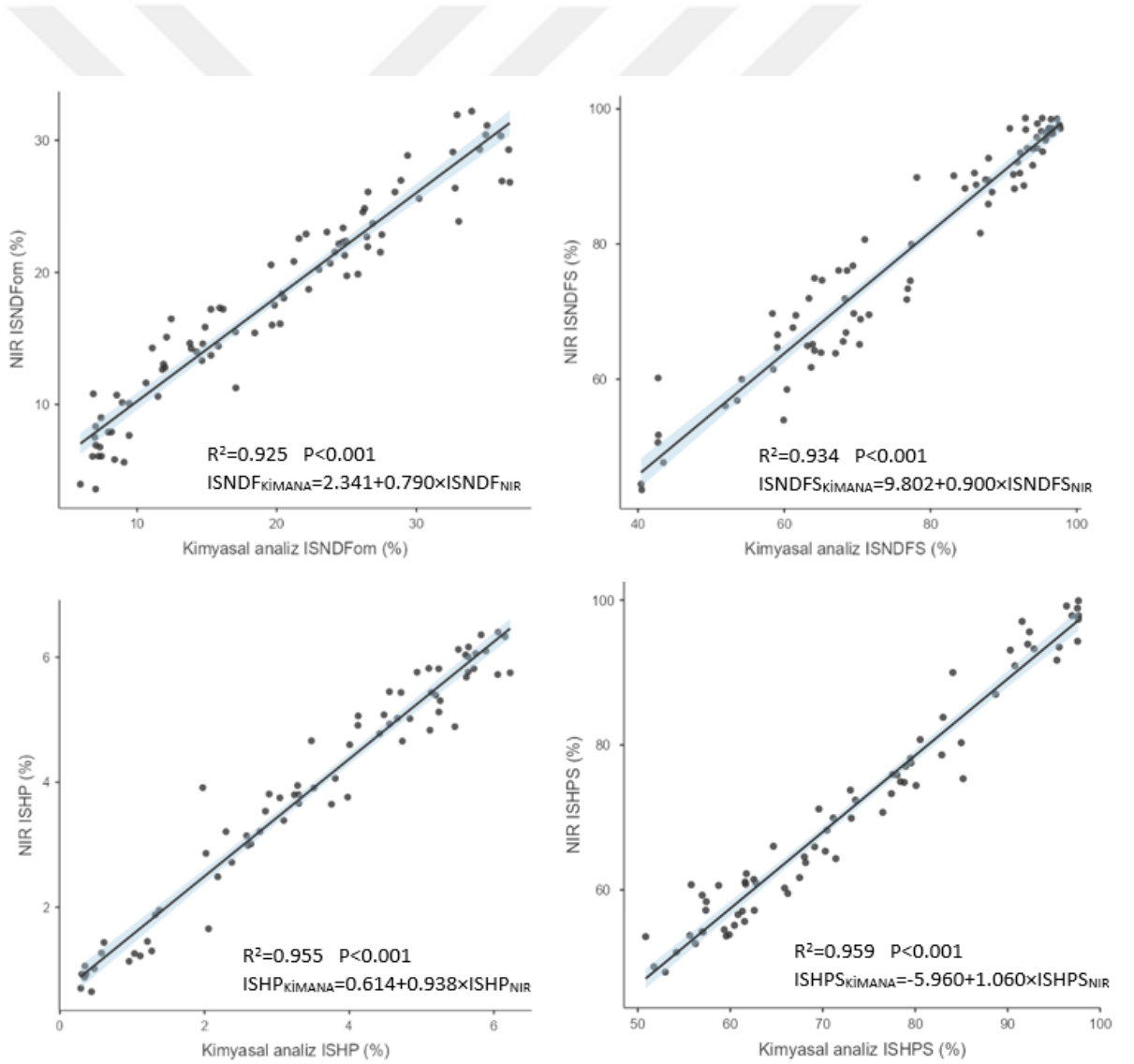
Laktasyon dönemlerindeki ineklere verilen TMR örneklerinde tespit edilen *in situ* kuru madde, NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliklerine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.20’de verilmiştir. *In situ* inkübasyon sonrası TMR örneklerinde KMS, aNDFom, NDFS, HP, HPS, nişasta ve NISS’ ne ait kalibrasyon modellerinin değerlendirilebilmesi için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0.98, 0.96, 0.98, 0.99, 0.99, 0.99 ve 0.99 olarak tahminin doğruluğunu belirlemek için hesaplanan RPD değerleri ise yine sırasıyla 5.82, 4.26, 4.89, 9.06, 8.54, 6.11 ve 5.52 olarak belirlenmiştir. KMS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=5.82), aNDFom için ($R_{cal}^2=0.96$, RPD=4.26), NDFS için ($R_{cal}^2=0.98$, RPD=4.89), HP için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=9.06), HPS için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=8.54), nişasta için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=6.11) ve NISS için ($R_{cal}^2=0.99$, RPD=5.52) geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin mükemmel olduğu tespit edilmiştir.

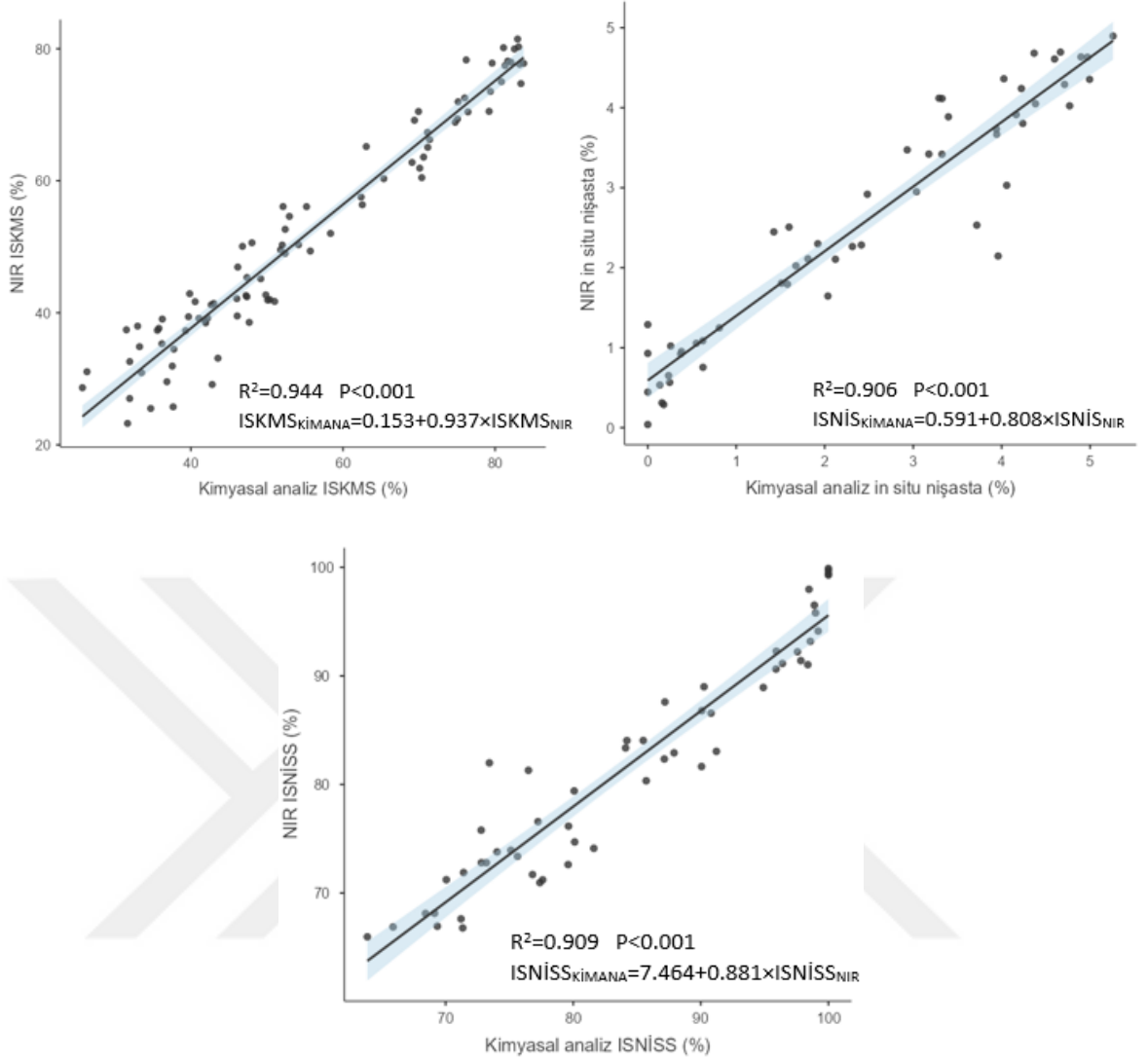
Çizelge 4.20. Laktasyonun erken, orta ve son dönemindeki ineklere verilen TMR örneklerinde *In situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliğine ait kalibrasyon, çapraz doğrulama ve laboratuvar değerleri ile tahminlenen NIR değerleri karşılaştırması¹

Parametre	Örnek Sayısı	Kalibrasyon				Çapraz Doğrulama			Kimyasal analiz	SD	NIR okuması	SD
		Spektrum ön işlem	Matematiksel ön işlem	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD				
ISKMS	322	-	2,6,8,1	2.50	0.98	2.97	0.97	5.82	59.25	17.58	59.38	17.30
ISaNDFom	323	SNV+Detrend	1,4,4,1	1.62	0.96	1.95	0.95	4.26	18.54	8.68	18.44	8.33
ISNDFS	319	SNV	2,6,8,1	2.44	0.98	3.21	0.96	4.89	80.15	16.24	80.33	15.69
ISHP	278	-	1,4,4,1	0.19	0.99	0.23	0.99	9.06	2.77	2.06	2.77	2.05
ISHPS	279	SNV	2,6,8,1	1.46	0.99	1.81	0.99	8.54	78.94	15.61	78.95	15.47
ISNişasta	204	SNV+Detrend	2,4,4,1	0.19	0.99	0.30	0.97	6.11	1.95	1.82	1.94	1.82
ISNISS	204	SNV+Detrend	2,4,4,1	1.42	0.99	2.11	0.97	5.52	87.63	11.63	87.69	11.63

¹ISKMS: Kuru madde sindirilebilirliği, ISaNDFom: İn situ inkübasyon sonrası amilaz ile muamele edilmiş külsüz NDF, ISNDFS: İn situ NDF sindirilebilirliği, ISHP: İn situ inkübasyon sonrası ham protein, ISHPS: İn situ ham protein sindirilebilirliği, ISNişasta: İn situ inkübasyon sonrası nişasta, ISNISS: İn situ nişasta sindirilebilirliği, SEC: Kalibrasyonun standart hatası, R²: Kalibrasyonun determinasyon katsayısı, SECV: Çapraz doğrulamanın standart hatası, 1-VR: Çapraz doğrulamanın determinasyon katsayısı (1-varyans oranı), RPD: Tahminin doğruluğunu belirlemek için nispi tahminleyici (çapraz doğrulama seti verilerinin SD / SECV), SD: Standart sapma, “-”: Spektrum ön işlem kullanılmamıştır, SNV: Standart normal değişken, Detrend: Ölçümler arası nakil etkisini giderir.

Laktasyon dönemlerinde *in situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemleri ile yapılan dış doğrulamaya ait grafikler Şekil 4.23’de verilmiştir. Tespit edilen R^2 değerleri ISKMS için, 0.94, ISaNDFom için 0.93, ISNDFS için 0.93, ISHP için 0.96, ISHPS için 0.96, ISNişasta için 0.91 ve ISNISS için 0.91’ dir. Geliştirilen kalibrasyon denklemlerini kullanarak NIR spektrumu ile ölçümlenen değerler ve kimyasal analiz ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması sonucunda belirlenen R^2 değerleri başarılı olarak değerlendirilmiştir. Mevcut çalışmada belirlenen ISHP (Swift, 2023) ve ISHPS için tahmin değerleri literatürdeki (Mentik ve ark., 2006; Despal ve ark., 2023; Andreas ve ark., 2005; Swift, 2023) değerlerden yüksektir. ISKMS için elde edilen tahmin değerleri (Andreas ve ark., 2005; Belanche ve ark., 2014) yine mevcut çalışmadaki değerlerden düşük olarak görülmüştür. Mevcut çalışmadaki ISNDFS için elde edilen tahmin değeri Belanche ve ark. (2014)’ nın bulduğu değerden yüksek, Zhang ve ark. (2021)’ nın bulduğu tahmin değerinden düşüktür.





Şekil 4.23. Laktasyon dönemlerinde *in situ* NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin dış doğrulamaya ait grafikleri, KİMANA: Kimyasal analiz (%), NIR: NIR ile ölçüm değeri (%), R^2 : Dış doğrulamanın determinasyon katsayısı, Mavi ile gösterilen alan: Standart hata.

In situ NDF, ham protein ve nişasta sindirilebilirlikleri için oluşturulan kalibrasyon denklemleri oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir. *In situ* sindirilebilirlik analizlerinde farklı inkübasyon sürelerinin olmasından dolayı kalibrasyonda ve doğrulamada kullanılan örnek sayısı fazladır. Ayrıca her inkübasyon süresinde besin madde içeriğinin farklı konsantrasyonlarda bulunmasından dolayı örnekler arasında varyasyon artmıştır. Bu faktörler kalibrasyon denklemlerini iyi yönde etkilediğinden çok daha başarılı kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Mevcut çalışmada farklı fizyolojik dönemlerde (laktasyon başlangıcı, ortası, sonu ve kuru dönem) bulunan süt ineklerinin beslenmesinde kullanılan TMR'lerin NDF, protein ve nişasta sindirilebilirliklerinin belirlenmesinde NIR spektroskopisinden yararlanma hedeflenmiştir. Bu kapsamda *in vivo*, *in situ* ve *in vitro* denemeler yürütülmüştür. *In vivo* denemede TMR ve dışkı örneklerinde kimyasal metotlarla besin madde analizleri (kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta) ile nişasta, protein ve NDF sindirilebilirlikleri tespit edilmiştir. *In vitro* denemede *in vitro* kuru madde ve NDF sindirilebilirlikleri, *in situ* denemede ise nişasta, protein ve NDF sindirilebilirlikleri tespit edilmiştir. Bu kimyasal metotlarla yapılan analizler ve aynı örneklerin NIR cihazında ölçülen spektrumları eşleştirilerek kalibrasyon denklemleri geliştirilmiştir.

5.1. *In vivo* Deneme

Mevcut çalışmanın *in vivo* denemesinde, farklı fizyolojik dönemlerde kullanılan TMR ve bu ineklerden toplanan dışkıların besin madde bileşimi ile sindirilebilirlikleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin yeteneği ve doğrulamaya ait sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Laktasyonun başlangıç döneminde kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde için kullanılabilir olduğu ($R^2 > 0.70$), ham kül, ADFom ve ADIP için mükemmel olduğu ($R^2 > 0.95$), ham protein, aNDFom, ADLom ve nişasta için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin başarılı ($R^2 > 0.80$) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu TMR örneklerinde yapılan kalibrasyonun doğruluğunu test etmek veya modellerin tahmin yeteneğini değerlendirmek için yapılan dış doğrulama sonucunda tahmin değerleri kuru madde, eter ekstrakt, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta için kullanılabilir ($R^2 > 0.70$) olarak, ham kül, ham protein, ADFom ve aNDFom için ise başarılı ($R^2 > 0.80$) olarak tespit edilmiştir.

Laktasyonun başlangıç döneminde bulunan hayvanlardan toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde, eter ekstrakt, ADFom, aNDFom, nişasta için belirlenen tahmin değerlerinin mükemmel olduğu ($R^2 > 0.90$), ham kül, ADLom, ADIP için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kullanılabilir ($R^2 > 0.70$) olduğu tespit edilmiştir. Dışkı örneklerinde kalibrasyonun doğruluğunu belirlemek için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, ADLom ile ADIP için kullanılabilir olduğu ($R^2 > 0.70$), NDIP için başarılı ($R^2 > 0.80$) ve aNDFom ile nişasta için mükemmel ($R^2 > 0.90$) olduğu belirlenmiştir.

Laktasyonun başlangıç döneminde bulunan hayvanlarda dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon denklemlerinin KMS, OMS ve NISS için mükemmel ($R^2 > 0.90$), HPS ve NDFS için ise başarılı ($R^2 > 0.80$) olduğu bulunmuştur. Dışkıdan sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda

tahmin değerleri KMS, OMS ve NISS için kullanılabilir ($R^2>0.70$), HPS ve NDFS için ise başarılı ($R^2>0.80$) olarak belirlenmiştir.

Laktasyonun ortasında kullanılan TMR rnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin nişasta için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu, kuru madde, ham protein, ADFom, aNDFom, ADIP ve NDIP için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ham kül, eter ekstrakt ve ADLom için ise mkemmek ($R^2>0.94$) olduğu bulunmuştur. TMR örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri kuru madde, ADFom, aNDFom ve NDIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu, ham kül, eter ekstrakt, ham protein ve nişasta için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ADFom ve ADIP için ise mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu bulunmuştur.

Laktasyonun ortasında bulunan hayvanlardan toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde, ham protein ile aNDFom için mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu, ham kül, ADFom, ADLom ve nişasta için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, eter ekstrakt ile ADIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu bulunmuştur. Dışkı örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri ham kül, ham protein ile nişasta için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, kuru madde, eter ekstrakt, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIN ve NDIN için ise kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu belirlenmiştir.

Laktasyonun ortasında bulunan hayvanlarda dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon denklemlerinin KMS, OMS, HPS, NDFS ve NISS için mkemmek ($R^2>0.94$) olduğu belirlenmiştir. Dışkıdan sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri KMS ve NDFS için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, OMS, HPS ile NISS için ise kullanılabilir ($R^2>0.75$) olduğu belirlenmiştir.

Laktasyonun son döneminde kullanılan TMR rnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde, ham kül, ham protein, ADFom ve aNDFom için mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu, ADLom ve nişasta için başarılı ($R^2>0.85$) olduğu bulunmuştur. TMR örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri kuru madde, ham kül, ADFom, aNDFom ve nişasta için mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu, ham protein için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ADLom için ise kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir. Eter ekstrakt, ADIP ve NDIP için ise geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin R^2 değerlerinin (<0.50) düşük olmasına karşın yapılan dış doğrulama sonucunda kalibrasyon denklemlerinin tahmin yeteneğinin iyi olduğu ($R^2>0.70$) tespit edilmiştir. Bu nedenle bu denklemlerinde tarama için kullanılabileceği grlmştir.

Laktasyonun sonunda bulunan hayvanlardan toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin değerlerinin kuru madde, ham kül, ham protein, ADFom ile nişasta için mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu, ADLom, ADIP ile NDIP için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, aNDFom için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir. Dışkı örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri ham kül için mkemmek ($R^2>0.90$) olduğu, ADFom için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, kuru madde, eter ekstrakt, ham protein, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir.

Laktasyonun sonunda bulunan hayvanlarda dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon denklemlerinin tahmin değerlerinin KMS, HPS için başarılı ($R^2>0.80$), OMS, NDFS ve NISS için kullanılabilir ($R^2>0.75$) olduğu belirlenmiştir. Dışkıdan sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri NDFS için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, HPS için başarılı ($R^2>0.80$) ve KMS, OMS ve NISS için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu belirlenmiştir.

Laktasyonda TMR örneklerinin birleştirilmesiyle geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin değerlerinin kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom ve nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, ADLom ve NDIP için başarılı ($R^2>0.85$) olduğu, ADIP için ise kullanılabilir ($R^2>0.75$) olduğu bulunmuştur. TMR örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri ham kül ile ADLom için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, kuru madde, eter ekstrakt, aNDFom, NDIP ve nişasta için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ham protein, ADFom ile ADIP için ise kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir.

Laktasyondaki süt ineklerinden toplanan dışkı örneklerinin birleştirilmesiyle geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin değerlerinin kuru madde, eter ekstrakt, ham protein ile nişasta için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ham kül için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, ADFom, aNDFom ile NDIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir. Dışkı örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu belirlenmiştir. ADLom ile ADIP için ise geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin R^2 değerlerinin (<0.65) düşük olduğu ancak yapılan dış doğrulama sonucunda ($R^2>0.70$) bu denklemlerin tarama için kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca NDIP için geliştirilen kalibrasyon denkleminin ($R^2>0.70$) kullanılabilir olmasına karşın yapılan dış doğrulama sonucunda kalibrasyon denkleminin tahmin yeteneğinin iyi olmadığı ($R^2<0.65$) tespit edilmiştir ve bu denklemin kullanılmasının sakıncalı olduğu görülmüştür.

Laktasyondaki süt ineklerinden toplanan dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon denklemlerinin KMS, HPS için başarılı ($R^2>0.80$), OMS, NDFS ve NISS için kullanılabilir ($R^2>0.75$) olduğu belirlenmiştir. Dışkıdan sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri KMS, OMS, HPS ile NDFS için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, NISS için ise kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu belirlenmiştir.

Kuru dönemde kullanılan TMR örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde, ham kül, ham protein, ADFom, aNDFom, ADIP, NDIP ile nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, ADLom için başarılı ($R^2>0.85$), eter ekstrakt için ise kullanılabilir ($R^2=0.75$) olduğu bulunmuştur. TMR örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri ham protein, ADFom, aNDFom, NDIP ve nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, eter ekstrakt ve ADLom için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, kuru madde, ham kül ile ADIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir.

Kuru dönemde bulunan hayvanlardan toplanan dışkı örnekleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin kuru madde, ham protein, ADFom, aNDFom ile nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, ham kül, ADLom, ADIP ile NDIP için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu tespit edilmiştir. Dışkı örneklerinde yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri eter ekstrakt, ham protein ile nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, kuru madde ile aNDFom için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu, ham kül, ADFom, ADLom, ADIP ile NDIP için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu tespit edilmiştir.

Kuru dönemde bulunan hayvanlarda dışkıdan sindirilebilirliğe ait kalibrasyon denklemlerinin OMS, HPS ile nişasta için mükemmel ($R^2>0.90$) olduğu, KMS ile NDFS için başarılı ($R^2>0.80$) olduğu belirlenmiştir. Dışkıdan sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerleri KMS, OMS, HPS ile NDFS için başarılı ($R^2>0.80$) ve NISS için kullanılabilir ($R^2>0.70$) olduğu belirlenmiştir.

Mevcut çalışma sonucunda laktasyonun başlangıç dönemi, orta dönemi, son dönemi ve kuru döneminde bulunan ineklerin beslenmesinde kullanılan TMR'lerde ve bu dönemlerdeki ineklerin dışkılarında besin madde bileşenleri (kuru madde, ham kül, eter ekstrakt, ham protein, ADFom, aNDFom, ADLom, ADIP, NDIP ve nişasta) ile dışkıdan sindirilebilirlikleri için kalibrasyon denklemleri geliştirilmiş olup bu denklemlerin tahmin yetenekleri değerlendirilmiştir. İncelenen parametreler için geliştirilen kalibrasyonların R^2 değerleri 0.70 ile 0.99 arasında bulunmuştur. R^2 değerleri 0.70 ile 0.80 arasında olanlar kullanılabilir kalibrasyonlar olarak, 0.80 ile 0.90 arasında olanlar başarılı kalibrasyonlar olarak, 0.90 ile 1.00 arasında olanlar ise mükemmel kalibrasyonlar olarak değerlendirilmiştir. Bu başarılı kalibrasyonlar süt sığırcı işletmeleri için ihtiyaca yönelik dengeli rasyonların daha hızlı ve düşük maliyetle belirlenmesi ile daha süratli karar almalarına imkan sağlamak amacıyla kullanılabilir. Ülkemizde kaba yem ve TMR'lerin besin madde kompozisyonu ve sindirilebilirlikleri ile ilgili NIR kalibrasyonları için veri kütüphaneleri henüz bulunmadığından, kullanılan kalibrasyonlar için genellikle yabancı kaynaklı veri kütüphanelerinden faydalanılmaktadır. Doktora tez çalışması sonucunda geliştirilen kalibrasyonlarla birlikte sonraki araştırmalar içinde bilimsel bir kaynak olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Laktasyondaki süt ineklerinden alınan dışkı örneklerinde sadece NDIP için geliştirilen kalibrasyonun kullanılması sakıncalı olarak değerlendirilmiştir. Çünkü kalibrasyon denkleminin R^2 değerinin 0.70' ten büyük olmasına rağmen dış doğrulamada kalibrasyon denkleminin tahmin yeteneği iyi bulunmamıştır ($R^2<0.70$). Bu parametrenin kimyasal yapılarının karmaşık ve TMR içerisindeki oranlarının diğer bileşenlere göre düşük olmasından dolayı değişik referans analiz yöntemleri de uygulanarak, örnek sayısının artırılması önerilmektedir. Ayrıca kalibrasyonu oluşturacak örneklerin incelenecek parametre bakımından geniş bir varyasyonu temsil edecek şekilde seçilmesi gerektiği önerilmektedir.

5.2. *In vitro* Deneme

Mevcut çalışmanın *in vitro* denemesinde, farklı fizyolojik dönemlerde kullanılan TMR örneklerinin sindirilebilirlikleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin yeteneği ve doğrulamaya ait sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Bütün fizyolojik dönemlerde (laktasyon başlangıcı, ortası, sonu ve kuru dönemde) kullanılan TMR'lerin *in vitro* sindirilebilirliğine ait kalibrasyon denklemlerinin aNDFom, IVaNDFom, IVNDFS, IVKMS ve IVOMS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir. *In vitro* sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerlerinin de aNDFom, IVaNDFom, IVNDFS, IVKMS ve IVOMS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut çalışma sonunda *in vitro* NDF, kuru madde ve organik madde sindirilebilirliği için geliştirilen başarılı kalibrasyon denklemleri süt sığırcı işletmeleri için rasyonun sindirilebilirliğinin hızlı bir şekilde belirlenmesi ve olumsuz sonuçlar elde edildiğinde anında rasyona müdahaleyi sağlamak için kullanılabilir. Çalışma kapsamında *in vitro* sindirilebilirlik parametreleri için geliştirilen kalibrasyonlar bütün fizyolojik dönemleri kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Sonraki yapılacak araştırmalarda süt sığırlarında laktasyonun farklı dönemleri (erken, orta ve son) için örnek sayısı artırılarak ayrı ayrı kalibrasyon denklemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

5.3. *In situ* Deneme

Mevcut çalışmanın *in situ* denemesinde, farklı fizyolojik dönemlerde kullanılan TMR örneklerinin *in situ* sindirilebilirlikleri için geliştirilen kalibrasyon denklemlerinin tahmin yeteneği ve doğrulamaya ait sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Laktasyon dönemlerinde (laktasyonun başlangıcı, ortası ve sonu) kullanılan TMR'lerin *in situ* sindirilebilirliğine ait kalibrasyon denklemlerinin ISKMS, ISaNDFom, ISNDFS, ISHP, ISHPS, ISNişasta, ISNISS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir. *In situ* sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerlerinin de ISKMS, ISaNDFom, ISNDFS, ISHP, ISHPS, ISNişasta, ISNISS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir.

Kuru dönemde kullanılan TMR'lerin *in situ* sindirilebilirliğine ait kalibrasyon denklemlerinin ISKMS, ISaNDFom, ISNDFS, ISHP, ISHPS, ISNişasta, ISNISS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir. *In situ* sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerlerinin ISaNDFom, ISNDFS, ISHP, ISHPS, ISNişasta, ISNISS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu, ISKMS için ise başarılı ($R^2 > 0.80$) olduğu tespit edilmiştir.

Bütün fizyolojik dönemlerde (laktasyon başlangıcı, ortası, sonu ve kuru dönemde) kullanılan TMR'lerin *in situ* sindirilebilirliğine ait kalibrasyon denklemlerinin ISKMS, ISaNDFom, ISNDFS, ISHP, ISHPS, ISNişasta, ISNISS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu tespit edilmiştir. *In situ* sindirilebilirlik için yapılan dış doğrulama sonunda tahmin değerlerinin ISKMS, ISaNDFom, ISNDFS, ISHP ile ISHPS için mükemmel ($R^2 > 0.95$) olduğu, ISNişasta ile ISNISS için ise başarılı ($R^2 > 0.80$) olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut çalışma sonunda *in situ* NDF, kuru madde, protein ve nişasta sindirilebilirliği için geliştirilen başarılı kalibrasyon denklemleri süt sığırı işletmeleri için rasyonun sindirilebilirliğinin hızlı bir şekilde belirlenmesi için kullanılabileceği önerilmektedir.

Daha sonraki araştırmalarda farklı bölgelerden, farklı hammaddelerle oluşturulmuş TMR'ler kullanan süt sığırı işletmelerinden örnek miktarını artırarak besin madde sindirilebilirliği çalışmaları yapılması önerilmektedir. Hatta sadece süt sığırlarında değil, düvelerde ve buzağılarda farklı sindirilebilirlik parametreleri çalışılmalıdır. Böylece kısıtlı yem kaynaklarının sindirilebilirlikleri belirlenerek hayvanların daha etkin kullanımına olanak sağlayarak işletmeler için daha verimli ve karlı üretim yapılacaktır.



KAYNAKLAR

- Abreu, J.G., Fernández-Cabanás, V.M., Rodrigues, J.A., Abreu, M., Ferreira, E.A., Peixoto, W.M., 2022. Estimation of in vitro digestibility and fermentation of elephant grass by near infrared spectroscopy. *Japanese Society of Grassland Science Grassl Sci.*, 69:33–41.
- Aenugu, H.P.R., Kumar, D.S., Srisudharson, N. Parthiban, Ghosh, S. S., Banji, D., 2011. Near Infrared Spectroscopy- An Overview. *International Journal of ChemTech Research.*, 3 (2), 825-836.
- Ahmadi, F., Yan-Fen Li, Eun-Chan Jeong , Li-Li Wang, Rajaraman Bharanidharan and Jong-Geun Kim, 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, 1914. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111914>.
- Aldana, B.R., Garcia-Criado, B., Garcia-Ciudad, A., Perez Corona, M.E., 1995. Estimation of Mineral Content in Natural Grasslands by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 1386– 1396.
- Alomar, D., Fuchslocher, R., Stockebrand, S., 1999. Effects of Oven- or Freeze-Drying on Chemical Composition and NIR Spectra of Pasture Silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80, 309–319.
- Alstrup, L., Weisbjerg, M.R., Hymøller, L., Larsen, M.K., Lund, P., Nielsen, M.O., 2014. Milk production response to varying protein supply is independent of forage digestibility in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 4412–4422.
- Andres, S., Calleja, A., Lopez, S., Mantecon, A. R. And Giraldez, F. J., 2005b. Nutritive Evaluation of Herbage from Permanent Meadows by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy: 2. Prediction of crude protein and dry matter degradability. *J Sci Food Agric* 85: 1572–1579.
- Andres, S., Giraldez, F. J., Gonzalez, J. S., Pelaez, R., Prieto, N., Calleja, A., 2005a. Prediction of aspects of neutral detergent fibre digestion of forages by chemical composition and near infrared reflectance spectroscopy. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 187–193.
- Andres, S., Giraldez, F. J., Lopez, S., Mantecon A. R. And Calleja, A., 2005c. Nutritive Evaluation of Herbage from Permanent Meadows by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy: 1. Prediction of Chemical Composition and In Vitro Digestibility. *J Sci Food Agric* 85: 1564–1571.
- Antoniewicz, A. M., Kowalczyk, J., Kanski, J., Gorskamatusiak, Z., Nalepka, M., 1995. Rumen Degradability of Crude Protein of Dried Grass and Lucerne Forage Measured by In Sacco Incubation and Predicted by Near Infrared Spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology* 54, 203–216.
- AOAC, 1998. Official Methods of Analysis. 16th Edition, 4th Revision, Washington, D. C.

- Asekova, S., Han, S., Choi, H., Park, S., Shin, D., Kwon, C., Shannon, J., Lee, J.D., 2016. Determination of Forage Quality by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy in Soybean. *Turk J Agric For* 40: 45-52.
- Babar, M. E., T. Hussain, and A. Wajid. 2013. Latest biotechnological approaches for efficient buffalo production. *Buffalo Bull.* 32:142150.
- Bach, A., Calsamiglia, S. and Stern, M. D., 2005. Nitrogen Metabolism in the Rumen. *J. Dairy Sci.* 88:(E. Suppl.):E9–E21.
- Banakar PS, Anand Kumar N, Shashank CG and Lakhani, N., 2018. Physically effective fibre in ruminant nutrition: A review *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4): 303-308.
- Bar Diamond, 2011. Bovine Surgery for Fistulation of the Rumen and Cannula Placement BAR DIAMOND™ May 26, 2011. <https://bardiamond.com/animal-care-surgery-guides>.
- Başlar, M., 2008. Ekmeklik Buğday Unlarının Bazı Kalite Özelliklerinin Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (NİRS) Kullanılarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Belanche, A., Weisbjerg, M.R., Allison, G.G., Newbold, C.J., Moorby, J.M., 2014. Measurement of rumen dry matter and neutral detergent fiber degradability of feeds by Fourier-transform infrared spectroscopy. *J. Dairy Sci.* 97, 2361–2375. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7491>.
- Berzaghi, P., Serva, L., Piombino, M., Mirisola, M., And Benozzo, F., 2010. Prediction Performances of Portable Near Infrared Instruments for at Farm Forage Analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 4: 145-147.
- Bohmanova, J., J.J.Jamrozik and F. Miglior, 2009. Effect of pregnancy on production traits of Canadian Holstein cows. *Journal Dairy Science*, 92: 2947-2959.
- Bolukçu, A., 2024. Laktasyonun farklı dönemlerinde süt kompozisyonunun incelenmesi. Fırat üniversitesi sağlık bölümleri enstitüsü zootekni anabilim dalı, YL tezi.
- Boval, M., Coates, D.B., Lecomte, P., Decruyenaere, V., Archimede, H., 2004. Faecal Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to Assess Chemical Composition, In Vivo Digestibility and Intake of Tropical Grass by Creole Cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114: 19–29.
- Brognia, N., Palmonari, A., Canestrari, G., Mammi, L., Dal Pra, A. And FORMIGONİ, A. 2018. Technical note: Near infrared reflectance spectroscopy to predict fecal indigestible neutral detergent fiber for dairy cows. *Journal of dairy Sciences*, 101:1234–1239.
- Buonaiuto, G., Cavallini, D., Mammi, L.M.E., Ghiaccio, F., Palmonari, A., Formigoni, A., Visentin, G., 2021. The accuracy of NIRS in predicting chemical composition and fibre digestibility of hay-based total mixed rations. *Italian Journal Of Animal Science*, 20:1730–1739 <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1990804>.
- Campbell, M., Ortuno, J., Koidis, A., Theodoridou, K., 2022. The use of near-infrared and mid-infrared spectroscopy to rapidly measure the nutrient composition and the in vitro rumen dry matter digestibility of brown seaweeds. *Animal Feed Science and Technology* 285:115239.

- Campo, L., Monteagudo, A. B., Salleres, B., Castro, P., Moreno-Gonzalez, J., 2013. NIRS determination of non-structural carbohydrates, water soluble carbohydrates and other nutritive quality traits in whole plant maize with wide range variability. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 463-471.
- Cen, H., He, Y., 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. *Trends Food Sci. Technol.* 18, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.09.003>.
- Chen, L., Thorup, V. M., Kudahl, A. B. and Østergaard, S., 2024. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis *Journal of Dairy Science* Vol. 107 No. 5.
- Cingöz, M., 2015. Mısır Tanesinde Ham Protein Analizi İçin Nır Kalibrasyonu Oluşturulması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hayvan Besleme Ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı. Yüksek lisans Tezi.
- Coblentz Ww., 1905. *Investigations of Infra-Red Spectra*. Washington D.C. Carnegie Institution of Washington.330p.
- Combs, D. K. 2013. TTNDFD: A new approach to evaluate forages. *Cornell Nutrition Conf. Dept. Anim. Sci., Cornell Univ., Ithaca, NY.,* Pages 113–125.
- Combs, D., 2015. Forage Quality And Utilization: Total Tract Ndf Digestibility. *Western States Alfalfa and Forage Symposium*, Reno, NV, 2-4 December, 2015.
- Conzen, J., 2006. *Multivariate Calibration. A Parctical Guide for Developing Methods in the Quantitative Analytical Chemistry*.
- Cornell Universty, 2007. CARE207.01 Preparation and Care of Fistulated Bovine. <https://bardiamond.com/animal-care-surgery-guides>.
- Cozzolino, D., Fassio, A., Fernandez, E., Restaino, E., La Manna, A., 2006. Measurement of Chemical Composition in Wet Whole Maize Silage by Visible and Near İnfrared Reflectance Spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology* 129: 329–336.
- Cozzolino, D., Fassio, A., Gimenez, A., 2000. The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the composition of whole maize plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81:142-146.
- Cozzolino, D., Moron, A., 2004. Exploring the Use of Near İnfrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to Predict Trace Minerals in Legumes. *Animal Feed Science and Technology* 111: 161–173.
- Crespo , S.P., García-Souto, A.B.V., Veiga, M., Martínez-Diz, M.P., González, L., Lorenzana, C.R.R. and Flores-Calvete, G., 2022. Prediction of quality of total mixed ration for dairy cows by near infrared reflectance spectroscopy and empirical equations *Journal Of Applied Animal Research*, VOL. 50, NO. 1: 69–79.

- Cueva, S. F., M. Harper, G. W. Roth, H. Wells, C. Canale, A. Gallo, F. Masoero and A. N. Hristov, 2023. Effects of ensiling time on corn silage starch ruminal degradability evaluated in situ or in vitro. *J. Dairy Sci.* 106:3961–3974 <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22817>.
- Deville, E.R., Flinn, P.C., 2000. Near-infrared (NIR) Spectroscopy: An Alternative Approach for the Estimation of Forage Quality and Voluntary Intake. In: Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.E.F., Omed, H.M. (Eds.), *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 301–320.
- Decandia, M., Giovanetti, V., Boe, F., Scanu, G., Cabiddu, A., Molle, G., Cannas, A., Landau, S., 2009. Faecal NIRS to assess the chemical composition and the nutritive value of dairy sheep diets. Zaragoza: CIHEAM / FAO / NAGREF, *Options Mediterraneennes: Serie A. Seminaires Mediterraneens*, pp. 135–139.
- Decruyenaere, V., Froidmont, E., Bartiaux-Thilla, N., Buldgen, A., Stilmant, D., 2012. Faecal Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) Compared with Other Techniques for Estimating the In Vivo Digestibility and Dry Matter Intake of Lactating Grazing Dairy Cows. *Animal Feed Science and Technology* 173: 220–234.
- Decruyenaere, V., Lecomte, Ph., Demarquilly, C., Aufrere, J., Dardenne, P., Stilmant, D., Buldgen, A., 2009. Evaluation of Green Forage Intake and Digestibility in Ruminants Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS): Developing a Global Calibration. *Animal Feed Science and Technology* 148: 138–156.
- Despal, Y. I., Yulianti, R., Zahera, I., Agustiyani, A., Rosmalia, I. M., Afnan, M., Zain, U. Tanuwiria, H., 2023. Comparison of chemical composition, in vitro digestibility, and near infrared reflectance spectroscopy in estimating in situ rumen degradable protein of tropical foliage.
- Dinç, E., 2007. *Kemometri Çok Değişkenli Kalibrasyon Yöntemleri*. Hacettepe Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi Dergisi Cilt 27 / Sayı 1 / Ocak 2007 / ss. 61-92.
- Evangelista, C., L. Basiricò, and U. Bernabucci. 2021. An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows. *Agriculture* 11:296. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040296>.
- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., Thomson, N., 1994. Principal Descriptors of Body Condition Score in Holstein Cows. *J. Dairy Sci.*, 77, 2695-2703.
- Flinn, P. C., Black, R. G., Iyer, L., Brouwer, J. B., Meares, C., 1998. Estimating the Food Processing Characteristics of Pulses by Near Infrared Spectroscopy, Using Ground or Whole Samples. *J. NIRS*, 6: 213-220.
- Font, R., Mercedes, D. R., Fernandez, J. Ä. M. And De Haro, A., 2003. Acid Detergent Fiber Analysis in Oilseed Brassicas by Near-Infrared Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2917–2922.
- Forero, D.P., Valencia-Echavarria, D.M., Mestra-Vargas, L.I., Gualdron-Duarte, L., Sierra-Alarcon, A.M., Mayorga-Mogollon, O., Ariza-Nieto, C., 2023. Use of near-infrared reflectance

- spectroscopy on feces to estimate digestibility and dry matter intake of dietary nutritional characteristics under grazing conditions in Colombian creole steers *Tropical Animal Health and Production*, 55:178 <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03571-x>
- Foskolos, A., Calsamiglia, S., Chrenkov' a, M., Weisbjerg, M.R., Albanell, E., 2015. Prediction of rumen degradability parameters of a wide range of forages and non- forages by NIRS. *Animal* 9, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000191>.
- Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Tylutki, T. P., Russell, J. B., Van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N. and Overton, T. R., 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112:29–78.
- Fox, D.G., Tedeschi, L.O., Tylutki, T.P., et al., 2004. The Cornell net carbohydrate and protein system model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *J. Anim. Feed Sci. Technol.* 112 (1/2/3/4), 29–78.
- Fox, J., and Weisberg, S. 2023. car: Companion to Applied Regression. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>.
- Fredin, S. M., Ferraretto, L. F., Akins, M. S., Hoffman, P.C., and Shaver, R. D., 2014. Fecal starch as an indicator of total tract starch digestion by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97:1862-1871.
- Gallo, L., Giannuzzi, D., Trevisi, E., Pegolo, S., Cecchinato, A., Vanzin, A., Bisutti V., and Schiavon, S., 2022. Associations between the detailed milk mineral profile, milk composition, and metabolic status in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 106:6577–6591.
- Galvez-Sola L, Moral R, Perez-Murcia MD, 2010. The potential of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the estimation of agroindustrial compost quality. *Sci Total Environ*, 408: 1414–1421.
- García-S'anchez, F., Galver-Solo, L., Martinez-Nicolas, J.J., Muelas-Domingo, R., Nieves, M., 2017. Using near-infrared spectroscopy in agricultural systems. In: Kyprianidis, K.G., Skvaril, J. (Eds.), *Developments in Near-Infrared Spectroscopy*. InTech, London, England, pp. 97–127.
- B. Hamner, M. Frasco, E. LeDell, Package 'metrics', Version (1) (2018) 4.
- Glasser, T., Landau, S., Ungar, E.D., Perevolotsky, A., Dvash, L., Muklada, H., Kababya, D., Walker, J.W., 2008. A fecal near-infrared reflectance spectroscopy- aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. 2008. *J. Anim. Sci.* 86, 1345–1356. <http://jas.fass.org/content/86/6/1345>.
- Guerra, A., M. Simoni, V. Longobardi, A. Goi, G. Mantovani, T. Danese, G. Neglia, M. De Marchi, and F. Righi, 2023. Effectiveness of near-infrared spectroscopy to predict the chemical composition of feces and total-tract apparent nutrients digestibility estimated with uNDF or AIA in lactating buffaloes' feces. *J. Dairy Sci.* TBC <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24511>.
- Guo, T., Luming Dai, Baipeng Yan, Guisheng Lan, Fadi Li, Fei Li, Faming Pan and Fangbin Wang, 2021. Measurements of Chemical Compositions in Corn Stover and Wheat Straw by Near-

- Infrared Reflectance Spectroscopy. *Animals* 2021, 11, 3328. <https://doi.org/10.3390/ani11113328>.
- Hall, M. B., J. P. Jennings, B. A. Lewis, and J. B. Robertson. 2001. Evaluation of starch analysis for feed samples. *J. Sci. Food Agric.* 81:17–21.
- Hernández, P.R. Cipriano Díaz-Gaona, Carolina Reyes-Palomo, Santos Sanz-Fernández, Manuel Sánchez-Rodríguez, Vicente Rodríguez-Estévez and Nieves Núñez-Sánchez, 2023. Preliminary Feasibility of Near-Infrared Spectroscopy to Authenticate Grazing in Dairy Goats through Milk and Faeces Analysis. *Animals* 2023, 13, 2440. <https://doi.org/10.3390/ani13152440>
- Hoffman, R.M., Wilson, J.A., Kronfeld, D.S., Cooper, W.L., Lawrence, L.A., Sklan, D., Harris, P.A., 2001. Hydrolyzable carbohydrates in pasture, hay, and horse feeds: direct assay and seasonal variation, *J. Anim. Sci.* 79 (2): 500–506, <https://doi.org/10.2527/2001.792500x>.
- Hong, N. T. T., Wanapat, M., Wachirapakorn, C., Pakdee, P., Rowlinson, P. 2003. Effects of timing of initial cutting and subsequent cutting on yields and chemical compositions of cassava hay and its supplementation on lactating dairy cows. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(12), 1763-1769.
- Hristov, A. N., M. T. Harper, G. Roth, C. Canale, P. Huhtanen, T. L. Richard, and K. DiMarco. 2020. Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and in vivo digestibility. *J. Dairy Sci.* 103:2333–2346. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16917>.
- Huang, H., Yu, H., Xu, H., Ying, Y., 2008. Near Infrared Spectroscopy for on/in-Line Monitoring of Quality in Foods and Beverages: A review. *J Food Eng* 87: 303–13.
- Huhtanen, P., J. Nousiainen, And M. Rinne., 2006. Recent Developments in Forage Evaluation With Special Reference to Practical Applications. *Agric. Food Sci.* 15: 293–323.
- Ikoyi, A.Y., Younge, B.A., 2022. Faecal near-infrared reflectance spectroscopy profiling for the prediction of dietary nutritional characteristics for equines. *Animal Feed Science and Technology* 290: 115363. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115363>.
- Illius, A.W., Jessop, N.S., 1996. Metabolic Constraints on Voluntary Intake in Ruminants. *J. Anim. Sci.* 74: 3052–3062.
- Jami, E.; White, B. A. and Mizrahi, I. 2014. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. *PLoS One* 9:85423.
- Jancewicz, L.J., Penner, G.B., Swift, M.L., McKinnon, J.J., Waldner, C.L., McAllister, T.A., 2016. Characterization of the variation in the daily excretion of faecal constituents and digestibility predictions in beef cattle fed feedlot diets using near infrared spectroscopy. *Can J Anim Sci.* 96(4):532–549.
- Jasp (Version 0.18.3), 2024. <https://jasp-stats.org/>.
- Johansson, M., Lindberg M. and Lundh, A., 2024. Does Keeping Cows for More Lactations Affect the Composition and Technological Properties of the Milk? *Animals*, 14: 157.

- Jung, H.G., Allen, M.S., 1995. Characteristics of Plant Cell Walls Affecting Intake and Digestibility of Forages by Ruminants. *J. Anim. Sci.* 73: 2774–2790.
- Kaufman, J. D., 2016. Effect of Varying Rumen Degradable and Undegradable Protein on Milk Production and Nitrogen Efficiency in Lactating Dairy Cows Milk Production and Nitrogen Efficiency in Lactating Dairy Cows under Summer Conditions. A Thesis Presented for the Master of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville, 89syf.
- Kays, S. E., Windham, W. R., Barton, F. E., 1998. Prediction of Total Dietary Fiber by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy in High-Fat and High-Sugar-Containing Cereal Products. *J. Agric. Food Chem.* 46: 854-861.
- Ki, K.S., Lim, K.S., Jin, Y.S., Jin, Z.L., Lee Kim, H.J., Lee, S.B., Yang, W.S., Cho, S.H., Kim, W.M., Kim, H.S., Jeo, J.M., Lee, I.D., 2009. Effect of crude protein and total digestible nutrient levels on intake, digestibility, nitrogen and energy utilization in growing dairy goats. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*, Vol. 29, No. 3, 269-276 ref. 26
- Kim, T. and Kim, Y., 2020. A comparative study on milk composition of Jersey and Holstein dairy cows during the early lactation. *J Anim Sci Technol*, 62(4):565-576.
- Kohn, R. 2007. Use of milk or blood urea nitrogen to identify feed management inefficiencies and estimate nitrogen excretion by dairy cattle and other animals. In 18th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. Paper (Vol. 8).
- Kramer, R., Workman, J. J., Reeves, J. B. III., 2004. Qualitative Analysis. In: Roberts CA, Workman JJr, Reeves JB III, editors. *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. Madison, Wis. American Society of Agronomy Inc. Crop Science Society of America Inc. and Soil Science Society of America Inc. Publishers. P 175–206.
- Krämer-Schmid, M., Lund, P., Weisbjerg, M.R.. Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows *Animal Feed Science and Technology* Volume 219, September 2016, Pages 68-76
- Krizsan, S.J., Nyholm, L., Nousiainen, J., Südekum, K.-H., Huhtanen, P., 2012. Comparison of In Vitro and In Situ Methods in Evaluation of Forage In Vivo Organic Matter Digestibility in Ruminants. *J. Anim. Sci.* 90: 3162–3173.
- Krizsana, S.J., Rinneb, M., Nyholmc, L., Huhtanena, P., 2015. New Recommendations for the Ruminal In Situ Determination of Indigestible Neutral Detergent Fibre. *Animal Feed Science and Technology* 205: 31–41.
- Kutlu, H. R., 2008. Yem Değerlendirme ve Analiz Yöntemleri. Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Zootekni Bölümü. Adana. Ders Notu. 74: 6- 14.
- Laflin, S.L., DVMA, David P. Gnad, DVM, MSch., 2008. Rumen Cannulation: Procedure and Use of a Cannulated Bovine. *Vet Clin Food Anim* 24: 335–340.
- Landau, S., Glasser, T., Dvash, L., 2006. Monitoring nutrition in small ruminants with the aid of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology: a review. *Small Rumin. Res.* 61, 1–11.

- Landau, S.Y., Dvash, L., Roudman, M., Muklada, H., Barkai, D., Yehuda, Y., Ungar, E.D., 2016. Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. *Animal* 10, 192–202. <https://doi.org/10.1017/S175173111500169X>.
- Li, H., Tolleson, D., Stuth, J., Baic, K., Moa, F., Kronberg, S., 2007. Faecal Near Infrared Reflectance Spectroscopy to Predict Diet Quality for Sheep. *Small Ruminant Research* 68: 263–268.
- Licitra G., T.M. Hernandez, P.J. Van Soest. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 57: 347-358.
- Liu, X., Han, L., Yang Z. And Xu, Ch., 2008. Prediction of silage digestibility by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 17: 631–639.
- Lobos, I., Gou, P., Hube, R., Saldaña, R., & Alfaro, M. (2013). Evaluation of potential NIRS to predict pastures nutritive value. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(2), 463–468. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000036>.
- Lovett, D.K., Deaville, E.R., Mould, F., Givens, D.I., Owen, E., 2004. Using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the biological parameters of maize silage. *Elsevier Animal Feed Science and Technology* 115: 179–187.
- Lundberg, K.M., Hoffman, P.C., Bauman, L.M., Berzaghi, P., 2004. Prediction of forage energy content by near infrared reflectance spectroscopy and summative equations. *Prof. Anim. Sci.* 20, P262–269. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31309-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31309-7).
- Lyons, R.K., Stuth, J.W., 1992. Faecal NIRS Equations for Predicting Diet Quality of Free-Ranging Cattle. *J. Range Manage.* 45: 238–244.
- Magoon, B., Sollenberg, L.E., Moore, J.E., Staples, C.R., Fike, J.H., Portier, K.M., 2003. Comparison of Three Techniques for Estimating the Forage Intake of Lactating Dairy Cows on Pasture. *J. Anim. Sci.* 81: 2357–2366.
- Manley, M., 2014. Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: non-destructive analysis of biological materials. *Chem. Soc. Rev.* 43, 8200–8214. <https://doi.org/10.1039/c4cs00062e>.
- Maskařová, I., Vladimír, V., 2015. Digestibility of NDF and its effect on the level of rumen fermentation of carbohydrates. *Acta fytotechn. zootechn.*, (4): 110–113.
- Mathison, G. W. 2000. Alberta Feedlot Management Guide. 2nd ed. Alberta Agriculture Food and Rural Development, Edmonton, Alberta. pp 1B1–1B11.
- McDonald, P., Edwards, R. a, Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C. a, Sinclair, L. a, Wilkinson, R.G., 2011. *Animal nutrition* 7th Edition, Prentice Hall.
- Mehrez, A. Z., and E. R. Ørskov. 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. agric. Sci. (Camb.)* 88:645–650.
- Mentink, R. L., Hoffman, P. C., Bauman, L. M., 2006. Utility of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy to Predict Nutrient Composition and In Vitro Digestibility of Total Mixed Rations. *J. Dairy Sci.* 89:2320–2326.

- Mertens, D. R., 1993. Kinetics of Cell Wall Digestion and Passage in Ruminants. Pages 535–570 in Forage Cell Wall Structure and Digestibility. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph, ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Mikus, J., And Diamond, V., 2012. Diet consistency: using TMR audits™ to deliver more from your feed, equipment, and people to the bottom line. Paper presented at the High Plains Dairy Conference proceedings.
- Molle, G., Decandia, M., Scanu, G., Serra, M.G., Contini, S., Giovanetti, V., Acciaro, M., Cabiddu, A., Caredda, M., Lunesu, M.F., Atzori, A.S., Cannas, A., Landau, S.Y., 2023. Fecal NIRS to estimate intake and diet composition in Sarda dairy ewes fed mixed diets or part-time grazing forage crops. *Small Ruminant Research* 227: 107084.
- Murray, I., 1993. Forage Analysis by Near Infrared Spectroscopy. In: Davies, A., Baker, R.D., Grant, S.A., Laidlaw, A.S. (Eds.), *Sward Management Handbook*. British Grassland Society, UK, pp. 285–312.
- Naes, T., Isakson, T., Fearn, T., Davies, T., 2002. Validation. In: *A User-Friendly Guide to Multivariate Calibration and Classification*. Ed: Naes, T., Isakson, T., Fearen, T., Davies, T., Nir Publications, Chichester. sy 155-177.
- Nagaraja, T. G., and E. C. Titgemeyer. 2007. Ruminal acidosis in beef cattle: The current microbiological and nutritional out look. *J. Dairy Sci.* 90:E17–E38. doi:10.3168/jds.2006-478
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/19014.
- Navea, S., De Juan, A. And Tauler, R., 2001. Three-way Data Analysis Applied to Multispectroscopic Monitoring of Folding Protein. *Anal Chim Acta* 446: 187–197.
- Nirea, K.G., de Nanclares, M.P., Skugor, A., Afseth, N.K., Meuwissen, T.H.E., Hansen, J., Mydland, L.T., Øverland, M., 2018. Assessment of fecal near-infrared spectroscopy to predict feces chemical composition and apparent total-tract digestibility of nutrients in pigs. *J. Anim. Sci.* 96, 2826–2837. <https://doi.org/10.1093/jas/sky182>.
- Nocek, J. E., 1988, In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review, *Journal of Dairy Science*, 71 (8), 2051-2069.
- Noel, S.J., Henry Johs. Høgh Jørgensen, Knud Erik Bach Knudse, 2022. The use of near-infrared spectroscopy (NIRS) to determine the energy value of individual feedstuffs and mixed diets for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 283: 115156.
- Nousiainen, J., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Hellämäki, M., Huhtanen, P., 2004. Prediction of Indigestible Cell Wall Fraction of Grass Silage by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 295–311.

- Nousiainen, J., M. Rinne, and P. Huhtanen. 2009. A meta-analysis of feed digestion in dairy cows. 1. The effects of forage and concentrate factors on total diet digestibility. *J. Dairy Sci.* 92:5019–5030. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1833>.
- Nousiainen, J., M. Rinne, M. Hellämäki, And P. Huhtanen. 2003. Prediction of the digestibility of primary growth and regrowth grass silages from chemical composition, pepsin-cellulase solubility and indigestible cell wall content. *Anim. Feed Sci. Technol.* 110:61–74.
- Nousiainen, J., S. Ahvenjärvi, M. Rinne, M. Hellämäki, and P. Huhtanen. 2004. Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115:295–311. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.03.004>.
- NRC., 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Nursoy, H. Ve Şahin, E., 2017. Son Metodlara Göre Yemlerin Kuru Madde Analizleri. *Tr. Doğa ve Fen Derg. Tr. J. Nature Sci.* Vol. 6 No. 1.
- Oba, M., Allen, M.S., 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milkyield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 589–596.
- Ohlsson, C., Houmøller, L. P., Weisbjerg, M. R., Lund, P. And Hvelplund, T., 2007. Effective Rumen Degradation of Dry Matter, Crude Protein and Neutral Detergent fibre in Forage Determined by Near İnfrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 91: 498–507.
- Orskov, E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rates of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:449–503.
- Ørskov, E.R., Mcdonald, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Cam.* 92, 499–503.
- Owens, C.E., Richard A., Zinn, P.A.S., Hassen, A. and Owens, F.N., 2016. Mathematical linkage of totaltract digestion of starch and neutral detergent fiber to their fecal concentrations and the effect of site of starch digestion on extent of digestion and energetic efficiency of cattle. *The Professional Animal Scientist* 32:531–549
- Owens, F. N., Qi, S. and Sapienza, D. A., 2014. Invited review: Applied protein nutrition of ruminants—current status and future directions. *The Professional Animal Scientist* 30(2):150–179.
- Paternostre, L., Vincent Baeten, Bart Ampe, Sam Millet, Johan De Boever, 2021. The usefulness of NIRS calibrations based on feed and feces spectra to predict nutrient content, digestibility and net energy of pig feeds. *Animal Feed Science and Technology* 281: 115091.

- Patil AG, Oak MD, Taware SP, 2010. Nondestructive estimation of fatty acid composition in soybean [Glycine max (L.) Merrill] seeds using near-infrared transmittance spectroscopy. *Food Chem*, 120(4): 1210–1217.
- Pehlevan, F., 2014. Bazı Alternatif Yemlerin Kimyasal Kompozisyonunun Tahmini İçin Near Infrared Reflektans Spektroskopinin (Nİrs) Kullanımı. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Perez-Marín, D. C., A. Garrido-Varo, J. E. Guerrero-Ginel, and A. Gomez-Cabrera. 2004. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the mandatory labelling of compound feedingstuffs: Chemical composition and open-declaration. *Animal Feed Science and Technology* 116 (3–4):333–49.
- Peters, J. F., Swift, M. L., Penner, G. B., Lardner, H. A., McAllister T. A., ve Ribeiro, G. O., 2023. Predicting fecal composition, intake, and nutrient digestibility in beef cattle consuming high forage diets using near infrared spectroscopy. *Translational Animal Science* 7, txad043 <https://doi.org/10.1093/tas/txad043>.
- Pratap, A., Verma, Kumar, D. K. P. and Singh, A., 2014. Effect of Pregnancy, Lactation Stage, Parity and Age on Yield and Components of Raw Milk in Holstein Friesian Cows in organized Dairy form in Allahabad. Volume 7: 112-115.
- Provenza, F.D., Villalba, J.J., Dziba, L.E., Atwood, S.B., Banner, R.E., 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Res.* 49, 257–274.
- Putri EM, Zain M, Warly L and Hermon, 2021. Effects of rumen-degradable-to-undegradable protein ratio in ruminant diet on in vitro digestibility, rumen fermentation, and microbial protein synthesis. *Veterinary World* 14: 640-648. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.640-648>.
- R Core Team 2023. R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.3) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2024-01-09).
- Raffrenato, E., D. A. Ross, and M. E. Van Amburgh. 2018. Development of an in vitro method to determine rumen undigested aNDFom for use in feed evaluation. *J. Dairy Sci.* 101:9888–9900. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15101>.
- Rajala-Schultz, P.J., Saville, J.A., Frazer, G.S., Wittum, T.E., 2000. Association between milk urea nitrogen and fertility in ohio dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84: 482- 489.
- Refat, B., and P. Yu. 2022. Evaluation of prediction of indigestible fiber fraction (iNDF) of whole-crop barley silage by using non destructive spectroscopic techniques as a fast-screening method: comparison between FTIR vs. NIR. *Can. J. Plant Sci.* 102:1130 1138. <https://doi.org/10.1139/cjps-2022-0054>.
- Righi, F., M. Simoni, G. Visentin, C. L. Manuelian, S. Currò, A. Quarantelli, and M. De Marchi. 2017. The use of near infrared spectroscopy to predict fecal indigestible and digestible fiber fractions in lactating dairy cattle. *Livest. Sci.* 206:105–108.

- Ruano-Ramos, A., Garcia-Ciudad, A., Garcia-Criado, B., 1999. Near Infrared Spectroscopy Prediction of Mineral Content in Botanical Fractions from Semi-Arid Grasslands. *Anim. Feed Sci. Tech.* 77: 331–343.
- Salfer, J. 2007. Milk Urea nitrogen. University of Minnesota extension.USA.
- Sanjayaranj, I., Lopez-Villalobos, N., Blair, H. T., Janssen, P. W. M., Holroyd, S. E. and MacGibbon, A. K. H., 2023. A Study of Milk Composition and Coagulation Properties of Holstein-Friesian, Jersey, and Their Cross Milked Once or Twice a Day. *Dairy*, 4: 167–179.
- Schiborra, A., Bulang, M., Berk, A., Susenbeth, A., Schlecht, E., 2015. Using faecal near-infrared spectroscopy (FNIRS) to estimate nutrient digestibility and chemical composition of diets and faeces of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 210, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.011>.
- Serafim, C. C., Guerra, G. L., Mizubuti, I. Y., Castro, F. A. B., Prado-Calixto, O. P., Galbeiro, S., Parra, A. R. P., Bumbieris Junior, V. H., Pértile, S. F. N., & Rego, F. C. A., 2021. Use of near-infrared spectroscopy for prediction of chemical composition of Tifton 85 grass. *Semina: Ciências Agrárias*, 42(3), 1287–1302. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3p1287>.
- Sharif, M., Qamar, H. and Wahid, A.A., 2019. Effect of rumen degradable protein concentrations on nutrient digestibility, growth performance and blood metabolites in Beetal kids. *Concepts Dairy Vet. Sci.*, 2(5): 249-253.
- Shenk, J. S., & Westerhaus, M. O. 1994. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In G. C. Fahey, Jr. (Ed.), *Forage quality, evaluation and utilization*. ASA, CSSA, and SSSA Books. (pp. 406–449). John Wiley & Sons, Inc.. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c10>
- Shenk, J.S. and Westerhaus, M.O. 1996. Calibration the ISI Way. In: Davis, A.M.C. and Williams, P., Eds., *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves*, NIR Publications, Chichester, 198-202
- Shenk, J.S., Westerhaus, M.O., 1991. Population Definition, Sample Selection, and Calibration Procedures for Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Crop Science*, 31(2): 469.
- Simoni, M., A. Goi, M. De Marchi, and F. Righi. 2021. The use of visible/near-infrared spectroscopy to predict fiber fractions, fiber bound nitrogen and total-tract apparent nutrients digestibility in beef cattle diets and faeces. *Ital. J. Anim. Sci.* 20:814–825. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1924884>.
- Smit, H.J., Taweel, H.Z., Tas, B.M., Elgersma, A., 2005. Comparison of Techniques for Estimating Herbage Intake of Grazing Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 88: 1827–1836.
- Smith, K.F., Flinn, F.C., 1991. Monitoring the Performance of A Broad-Based Calibration for Measuring the Nutritive Value of Two Independent Populations of Pasture Using Near Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy. *Australian Journal of Experimental Agric.*, 31: 205-210.

- Soldado A, De La Roza-Delgado B, Martínez-Fernández A, Vicente F, López L, Díaz-Bueno E, 2009. Predicción de la composición bromatológica en dietas completas: Clonación de instrumentos y transferencia de ecuaciones NIRS en producto intacto [Prediction of bromatologic content of raw total mixed rations: standardization and transference of equations between NIR instruments]. In: F Joy, editor. Actas XIII Jornadas sobre Producción Animal AIDA. Spain: Zaragoza; p. 340–342.
- Sova, A. D., Leblanc, S. J., McBride, B. W., And Devries, T. J., 2014. Accuracy and Precision of Total Mixed Rations Fed on Commercial Dairy Farms. *J. of Dairy Sci.*, 97(1): 562-571.
- Stoop, W.M., Bovenhuis, H., Heck, J.M.L., Van Arendonk, J.A.M., 2009. Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci.*, 92:1469-78.
- Stuth, J., Jama, A., Tolleson, D., 2003. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Res* 84, 45–56. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00140-0).
- Swart, E., Brand, T.S., Engelbrecht, J. 2012. The use of near infrared spectroscopy (NIRS) to predict the chemical composition of feed samples used in ostrich total mixed rations. *S Afr J Anim Sci.* 42(1):550–554.
- Swift, M.L., 2003. Prediction of Dry Matter, Crude Protein Degradability, and Amino Acid Composition of Corn Silage and Grass Silage by Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). Department of Animal Science, University of British Columbia, Vancouver, p. 140.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., Fonseca, M. A., Cavalcanti, L.F.L. 2015. Invited Review: Models of protein and amino acid requirements for cattle. *R. Bras. Zootec.* 44, 109-132.
- The jamovi project, 2024. jamovi. (Version 2.5) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Tilley, J.H.A., Terry, R.A., 1963. A Two Stage Technique for ‘In Vitro’ Digestion of Forage Crops. *Grass Forage Sci.* 18: 104–111.
- Tiryaki Yıldız, G., 2006. NIR Spektroskopisinin Hububatlar ve Hububat Ürünlerinin Kalite Kontrolünde Kullanımı. *Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongresi*, 7–8 Eylül, Gaziantep.
- Valiente, O.L., Andueza, D., De Vega, A., Olmos, G., Munoz, F. 2004. The use of NIRS for prediction of intake, digestibility and diet composition in sheep fed mixed grain:roughage diets. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13, Suppl. 1: 227–230.
- Van Soest, P. J., R. H. Wine, and L. A. Moore., 1966. Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. Pages 438–441 in *Proc. X Int. Grassland Congr.*, Helsinki, Finland.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991. Method for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.

- Van Soest, P. J., Van Amburgh, M. E., Robertson, J. B. And Knaus, W. F., 2005. Validation of The 2.4 Times Lignin Factor for Ultimate Extent of NDF Digestion, and Curve Peeling Rate of Fermentation Curves Into Pools. Pages 139–149 in Proc. Cornell Nutrition Conf. for Feed Manufacturers, East Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Edition, Cornell University Press, Ithaca, 476.
- Wang, L.F., Zijlstra, R.T., 2018. Prediction of bioavailable nutrients and energy. In: Moughan, P.J., Hendriks, W.H. (Eds.), Feed Evaluation Science. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 337-386.
- Waters, C. J., Givens, D. I., 1992. Nitrogen Degradability of Fresh Herbage: Effect of Maturity and Growth Type, and Prediction from Chemical Composition and by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology* 38: 335–349.
- Weiss, W. P., 2004. Randomness Rules: Living with variation in the nutrient composition of concentrate feeds. Paper presented at the Proceedings of the Mid-South Ruminant Nutrition Conference, Arlington, TX.
- Weiss, W. P., H. R. Conrad, And N. R. St. Pierre. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39:95–110.
- Williams, P., 2004. Near-infrared technology, getting the best out of light. A short course in the practical implementation of Near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, British Colombia and Winnipeg, Manitoba, Canada, pp. 12–13.
- Williams, P., Norris K., 2001. Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. St. Paul, Minn.: American Assn. Of Cereal Chemists. 296p.
- Xu, Y., Tianyu Chen, Hongxing Zhang, Yiliyaer Nuermaiti, Siyuan Zhang, Fei Wang, Jianxin Xiao, Wei Shao, Zhijun Cao, Jingjun Wang, YongChen, 2023. Application of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Predicting Chemical Composition of Feces in Holstein Dairy Cows and Calves. *Animals* 2024, 14, 52. <https://doi.org/10.3390/ani14010052>.
- Yakubu, H.G., Worku, A., Tothi, R., Toth, T., Orosz, S., Fébel, H., Kacsala, L., Húth, B., Hoffmann, R., Bazar, G. 2023. Near-infrared spectroscopy for rapid evaluation of winter cereals and Italian ryegrass forage mixtures. *AnimSci J.* 2023;94:e13823. <https://doi.org/10.1111/asj.13823>.
- Yang, X., Cerezo, A.A., Berzaghi, P., Magrin, L., 2024. Comparative near Infrared (NIR) spectroscopy calibrations performance of dried and undried forage on dry and wet matter bases. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 316:124287
- Yang, Z., Nie, G., Pan, L., Zhang, Y., Huang, L., Ma, X., & Zhang, X., 2017. Development and validation of near-infrared spectroscopy for the prediction of forage quality parameters in *Lolium multiflorum*. *PeerJ*, 5, e3867. <https://doi.org/10.7717/peerj.3867>.

- Yetim, H., 2002. Enstrümantal Gıda Analizleri, Absorbsiyon Spektroskopisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum, s:49.
- Zhang, G.J., Wang, Y., Yan, Y.H., Hall, M.H., Undersander, D.J., Combs, D.K., 2021. Comparison of two in situ reference methods to estimate indigestible NDF by near infrared reflectance spectroscopy in alfalfa. Heliyon 7:07313.





ÖZGEÇMİŞ

Şerife ERGÜL. İlk, orta, lise eğitimini Adana’ da tamamladı. Lisans eğitimini 2002-2006 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni bölümünde tamamladı. 2006 yılında Çukurova Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim dalında başladığı Yüksek Lisans eğitimini, 2009 yılında tamamladı. 2018 yılında Çukurova Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Zootečni Anabilim Dalında doktora eğitime başladı. 2010 yılında Tarım ve Köy İşleri Bakanlığında Ziraat Yüksek Mühendisi olarak göreve başladı. 2016 yılından itibaren ise Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’ nde Gen Kaynakları ve Islahı şubesinde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.







EKLER



Ek A: Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu Kararı

T.C. ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ HAYVAN DENEYLERİ YEREL ETİK KURULU

Toplantı Sayısı	Toplantı Tarihi	Toplantı Yeri	Oturum Başkanı
3	22.04.2022	Ç.Ü- SABİDAM	Dr. Öğretim Üyesi Sinan KANDIR

KARAR NO: 10 - Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Ana Bilim Dalı'nda görevli Doç. Dr. Uğur SERBESTER'in yöneticisi olduğu "Süt Sığırlarında Gübreden Besin Madde Sindirilebilirliğinin Tespitinde Yakın Kızıl Ötesi Spektrofotometreler İçin Kalibrasyon Setleri Geliştirilmesi." konusu, araştırma etiği yönünden değerlendirildi; toplantıya katılan üyelerin oy birliğiyle uygun olduğuna karar verildi.

Dr. Öğretim Üyesi Sinan KANDIR
(Başkan)
Ç.Ü. Ceyhan Veteriner Fak. Öğretim Üyesi

Dr.Öğr.Üyesi Melih BAĞIR
(Merkez Müdürü)
Ç.Ü.T.F. Ortopedi ve Travmatoloji A.B.D. Öğretim Üyesi

Arş. Gör. Çağrı AVCI
(Sorumlu Veteriner Hekim)
Ç.Ü. Ceyhan Veteriner Fak. Araştırma Görevlisi

Prof. Dr. Nuri Selim KADIOĞLU
(Tıp Etiği Uzmanı Üye)
Ç.Ü.T.F. Deontoloji ve Tıp Tarihi A.B.D. Öğretim Üyesi

Doç. Dr.Kübra AKILLIOĞLU
(Araştırmacı Uzman Üye)
Ç.Ü.T.F. Fizyoloji A.B.D. Öğretim Üyesi

Prof. Dr. Gökhan GÖKÇE
(Araştırmacı Uzman Üye)
Ç.Ü. Su Ürünleri Fakültesi Öğretim Üyesi

Doç. Dr. Uğur SERBESTER
(Araştırmacı Uzman Üye)
Ç.Ü. Ziraat Fak. Zootečni Bölümü Öğretim Üyesi

Dr. Gökçen ORAN
(Meslek Dışı ve Kurum Dışı Üye)
Sivil Üye

Veteriner Dr. Şadiye ÇERÇİ
(Meslek Dışı ve Kurum Dışı Üye)
Sivil Toplum Kuruluşu Üyesi