

## Yonca Silaj ve Besleme Kalitesinin FT-NIRS Teknolojisi ile Saptanması

İbrahim ERTEKİN<sup>1</sup>

Nafiz ÇELİKTAŞ<sup>1</sup>

Ersin CAN<sup>1</sup>

Mustafa KIZILŞİMŞEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Antakya/HATAY

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü

Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ

✉:ibrahim.ertkn@hotmail.com

Geliş (Received): 02.11.2017

Kabul (Accepted): 15.12.2017

**ÖZET:** Farklı bakteri izolatu uygulamaları neticesinde *Lactobacillus bifementans*, yonca otundan en kaliteli silaj oluşumunu teşvik etmiştir. Oluşan silajın kurutulmuş örnekleri NIRFlex N-500 cihazında, 4000-10000 cm<sup>-1</sup> dalga aralığında taranarak spektral tanılması yapılmış ve daha önceden saptanan kimyasal referans değerler NIRCAl kemometrik yazılım programında, spektrumlara karşılık olarak kaydedilmiştir. Normalizasyon, dengeleme ve türev ön muamelesi uygulanan spektrumlarda ölçüm hataları azaltılarak silaj kalite parametreleri için kalibrasyonlar optimize edilmiştir. Geliştirilen kalibrasyonların R<sup>2</sup> CAL, R<sup>2</sup> VAL, SEC, SEV ve VsetBIASS istatistiklerine göre silaj organik asitlerinden laktik asit başta olmak üzere, asetik asit ve propiyonik asit'in yüksek ancak bütirik asit'in daha düşük doğrulukta okunabileceği belirlenmiştir. Farklı silaj parametrelerinin kimyasal değerleri ile NIRS okuması arasındaki ilişkide R<sup>2</sup> değerleri bütirik asit, ham yağ ve silaj gaz üretim parametreleri dışındaki tüm besleme ve kalite özellikleri için %70 değerinin üzerinde belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yonca silajı, besleme kalitesi, LAB, FT-NIRS.

### Silage Quality and Nutritional Features Determination for Alfalfa by FT-NIRS

**ABSTRACT:** As a result of different lactic acid bacterial applications, *Lactobacillus bifementans* has promoted the highest quality silage formation from alfalfa. The dried samples of the silage were spectrally scanned at a wavelength of 4000-10000 cm<sup>-1</sup> on NIRFlex N-500 instrument. The previously determined chemical reference values were recorded as corresponding to obtained spectrums by using the NIRCAl chemometric software. The errors originating from the measurements were reduced by applying normalization, balancing and derivative statistical pretreatments to the spectrums of the parameters, and thus the calibrations were optimized. It has been determined that acetic acid and propionic acid are higher but butyric acid can be predict with lower accuracy according to R<sup>2</sup>CAL, R<sup>2</sup>VAL, SEC, SEV and VsetBIASS statistics of the developed calibrations. Relevant regression coefficient between the chemical values of the different silage parameters and their NIRS predictions were determined above 70% for all feed and quality characteristics except butyric acid, crude oil and silage gas production parameters.

Key words: Alfalfa silage, nutritional quality, LSB, FT-NIRS.

### GİRİŞ

Yonca (*Medicago sativa* L.) besleme kalitesi nedeniyle dünyada silaj üretimi için yaygın bir şekilde değerlendirilen önemli bir baklagil yem bitkisidir (Kung ve ark., 2003; Coblenz ve ark., 2014). Bununla birlikte türün yüksek tamponlanma kapasitesi, düşük kuru madde ve suda eriyebilir karbonhidrat içeriği silolanmasını zorlaştırıcı karakterleridir (Dewhurst ve ark., 2003). Bitkideki kuru madde oranını arttırmak için soldurarak silolama yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yonca otundan elde edilen silajın fermentasyon ve yem kalitesinin bilinmesi hayvansal üretimde oldukça önemlidir.

Yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) bitki biyokimyasal kompozisyonun belirlenmesinde son yıllarda yoğun olarak kullanılan bir teknik haline gelmiştir (Youngentob ve ark., 2012). NIRS ile yapılan okumalar, farklı yem örneklerindeki kalite farklılıklarını hızlı bir şekilde belirleyebilmek amacıyla 30 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Hayvan besleme açısından hayvansal verimliliğin takibi ve olası değişimlerin nedenlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu açıdan yem kalitesindeki değişimlerin

anlık kontrolü ve rasyonun bu değişime göre yeniden şekillendirilmesi yüksek hayvansal verimlilik ve kalite için bir zorunluluktur. NIRS kimyasal analiz yöntemlerine göre sadelik, hız, kimyasal atık oluşturmama ve ürünün fonksiyonelliğini tahmin açısından düşük maliyet gerektirmesi yönleri ile büyük avantajlar sunmaktadır (Lee ve ark., 2011).

Yürütülen bu çalışma kapsamında; yonca silajı kuru örneklerinde fermentasyon ve bazı yem kalite parametrelerinin, yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi ile doğrudan ve hızlı bir şekilde tahmin edilebilme olanakları araştırılmıştır.

### MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam ve Mustafa Kemal Üniversitelerinin Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümlerinde 2017 yılında yürütülmüştür. Bazı laktik asit bakteri izolatlarının, yonca bitki materyaline inoküle edilmesiyle yonca silajının fermentasyon profili ve bazı yem kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sayısal referans veriler üzerinden NIRS kalibrasyonları geliştirilmiştir.

## MATERYAL

Bakteriyel inokulant kullanarak elde edilen silajlarda, bitki materyali olarak yaygın yonca (*Medicago sativa*

Lam.) türü kullanılmıştır. İnokulant olarak kullanılan bakteri izolatları ve bazı özellikleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan laktik asit bakterilerine ait bilgiler.

Sıra No	İzolat Adı	Tür Adı	Koloni Tipi	Laktik Ait Üretimi (mmol/L)	Laktik Asit/Toplam Fermente Ürün (%)	Fizyolojik Karakter
1	LS-55-2-2	<i>Lactobacillus brevis</i>	Bacillus	70.02	81.79	Heterofermentatif
2	L-70-6-1	<i>Leuconostoc citerum</i>	Coccus	53.47	91.51	Homofermentatif
3	LS-65-2-1	<i>Lactobacillus bifementans</i>	Bacillus	56,65	94,66	Homofermentatif
4	LS-3-3	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Bacillus	54,59	90,26	Homofermentatif
5	LS-72-2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Bacillus	54,00	93,94	Homofermentatif

## YÖNTEM

Yonca%50 çiçeklenme döneminde (yaklaşık 390 g kg<sup>-1</sup> KM) elle biçilmiş ve elde edilen biyokütle 3-5 cm boyutunda laboratuvar tipi parçalama makinesi ile parçalanarak silolanmıştır. Yonca otu üzerine 5 adet bakteri kültürü ile 5\*10<sup>5</sup> kob/g yeşil ot yoğunluğunda laktik asit bakteri inokulasyonu yapılmıştır. Silolama, silaj torbalarının delinmesi ve hava alması gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak için her bir uygulamadan 5 tekrerrür olacak şekilde (6\*5=30) gerçekleştirilmiştir ve daha sonra siloların açılması sırasında bu tekrerrürlerden hava almamış olan 3 tekrerrür kullanılmıştır. Silolama işlemi 3 L hacmindeki vakum torbalarına 400±40 g silaj materyalini içerecek şekilde endüstriyel vakumlu paketleme cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen silajlar 75 günlük silolama sürecinden sonra açılmıştır.

### 1. pH'nın belirlenmesi

20 g silaj örneği 180 ml Ringers solüsyonunda el blenderi ile yüksek devirde 90 sn karıştırıldıktan sonra Whattman 54 kağıdı ile süzülüş ve pH ölçümleri bu süzükte yapılmıştır.

### 2. Kimyasal analizler

Her silaj uygulamasından yaklaşık 50 g (±0.5 g) örnek alınmış, etüvde 78 °C'de 48 saat süre ile kurutularak öğütülmüştür (≤ 0,2 mm). Kuru maddede ADF ve NDF analizleri ANKOM lif analiz cihazından (Fiber Analyzer, ANKOM marka, A220 model) yararlanılarak yapılmıştır (Van Soest ve ark., 1991). Örneklerin azot içeriği kjeldahl metodu ile belirlenmiş ve 6.25 katsayısı ile çarpılarak örnek protein içerikleri hesaplanmıştır (AOAC, 1990). Öğütülmüş örneklerden 200 mg alınarak 30 ml çözeltiyle (10 ml rumen sıvısı+20 ml yapay tükürük) 100 ml hacimli özel cam şırıngalar (Model Fortuna, Häberle Laborotechnik, Lonsee-Ettlenschief, Germany) içerisinde 39 °C'de inkübe edilmiş ve fermentasyon sırasında açığa çıkan gazlar 24. saatte ölçülerek *in vitro* gaz üretimi saptanmıştır (Ørskov ve McDonald, 1979). Yemin metabolik enerjisi (ME) ve organik madde sindirimi

(OMS) ise 24 saatlik gaz üretim değerleri üzerinden aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır (Menke ve ark., 1979).

$$(1) \quad ME \text{ (MJ/Kg KM)} = 2.20 + 0.1357 * G\ddot{U} + 0.0057 * HP + 0.0002859 * HY$$

$$(2) \quad OMS \text{ (\%)} =$$

$$14.88 + 0.8893 * G\ddot{U} + 0.0448 * HP + 0.0651 * HK$$

GÜ= 24 saatlik fermentasyon sonucu açığa çıkan gaz miktarı (ml)

HP= Yemin ham protein içeriği (g/kg KM)

HY= Yemin ham yağ içeriği (g/kg KM)

HK= Yemin ham kül içeriği (g/kg KM)

Açılan silajlarda organik asit kompozisyonunun (laktik asit (LA), asetik asit (AA), bütirik asit (BA) ve propiyonik asit (PA)) belirlenmesi HPLC ile yapılmıştır (Quiros ve ark., 2009). Hazırlanan örnekler, örnek temizleme prosedüründen sonra HPLC'de 42 °C'de 0.6 ml/dk akış hızında ve RID dedektör kullanılarak tespit edilmiştir.

### 3. NIRS kalibrasyonları

NIRS kalibrasyonları, FT (Fourier-transform) NIR teknolojisi olan NIRFlex N-500 (BÜCHI Laborotechnik AG, İsviçre) cihazında yürütülmüştür.

Kurutulup, öğütülmüş 7-10 g silaj örnekleri, ince bir tabaka halinde cam petri kutusu (100x20 mm) içerisine yayılmıştır. Cihazın okuma haznesine konulan örnekler 4000-10000 cm<sup>-1</sup> dalga aralığında taranarak, her bir silajın yakın kızılötesi ışınım ile spektral tanılması yapılmıştır. Spektrumlar, her birisi 32 tarama neticesinde elde edilen 3 tekrarlama ile oluşturulmuştur. Kalibrasyon işlemi için NIRCAl kemometrik yazılım programı kullanılmıştır. Her bir örneğin spektrumlarına karşılık gelen, farklı özelliklere ait referans değerler kaydedilmiş ve spektrumların sayısal tanılması yapılmıştır. Kemometrik programda, miktar tayini amaçlı nicel NIRS kalibrasyonlarında yaygın olarak kullanılan PLS (Partial Least Squares) regresyon modeli kullanılmış ve böylece referans değerler ile spektrumlar arasında doğrusal bir ilişki oluşturulmaya çalışılmıştır.

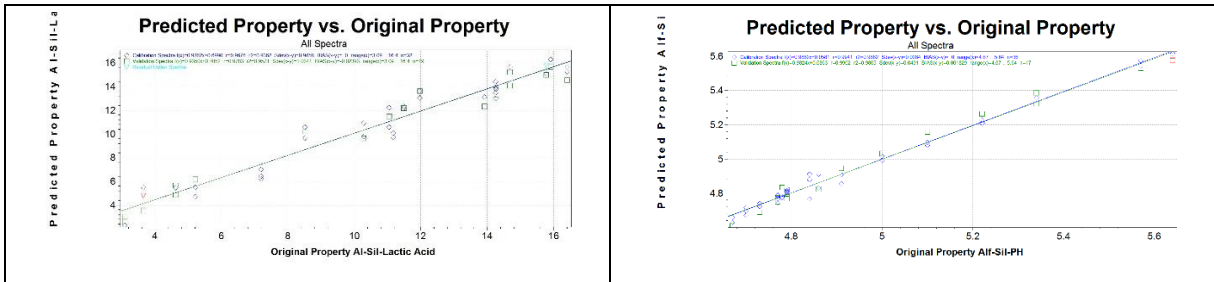
Optimizasyon işleminin başlangıcında toplam spektrumların %66'sı kalibrasyon (Calibration) ve %33'ü doğrulama (Validation) amaçlı kullanılmış ancak kalibrasyonu geliştirici ön muameleler sırasında bazı spektrumlar kalibrasyon-validasyon arasında yer değiştirilmiştir. Bununla birlikte uç değer (outlier) olduğu değerlendirilen bazı örnekler için spektrumlar silinmiş veya kalibrasyon dışı tutulmuştur. Dolayısıyla başlangıçtaki oranlar optimize edilen kalibrasyon modelinde değişmiştir. Spektrumların orijinalliğini bozmadan, kalitesini arttırmak, ölçüm hatalarını azaltmak ve istenmeyen yan etkileri elimine etmek amacıyla, incelenen her bir özellik için bazı istatistiksel ön muameleler veya kombinasyonları uygulanmıştır. Spektrum ana hat değişimlerini azaltmak için normalizasyon (n01, SNV), ana hat düzeltmeleri amacıyla dengeleme (mo, mf), spektrumların karmaşık bölgelerini azaltmak için düzleştirme (sa3, sg9) ve ana hat etkisini azaltmak amaçlı türev (db1, dg1) ön muameleleri kullanılmıştır. Oluşturulan nicel kalibrasyonların performansı; kalibrasyon (CAL) ve doğrulama (VAL) arasındaki korelasyon katsayısı  $R^2$  CAL /  $R^2$  VAL, kalibrasyon (C), doğrulama (V) ve tahminin (P) nin standart hataları (SEC, SECV-SEP) ve eğim çizgisinin açı değeri (BIASS) ile yorumlanmıştır. Ayrıca kalibrasyon doğruluğu, farklı yonca silaj örneklerinin kimyasal analizi ve geliştirilen NIRS uygulamasını okuma sonuçları arasındaki ilişki ile de test edilmiştir.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

Farklı bakteri izolatu uygulamaları neticesi olgunlaşan silajda, kalite parametreleri dikkate alındığında, *Lactobacillus bifementans* bakteri izolatu, diğer uygulamalardan daha etkin oranda laktik asit üretimine yol açtığı ve böylece pH'nın hızla düşmesini sağlayarak daha kaliteli yonca silajı ürettiği saptanmıştır.

Her bir yonca silaj kalite parametresi için farklı istatistiksel ön muamele veya kombinasyonlarının, spektrum kalitesini iyileştirme açısından etkili oldukları görülmüştür (Çizelge 2.). Örnek üzerindeki farklı fiziksel ve kimyasal uygulamalar, örneğin spektral tanılaması sırasındaki operatör ve prosedür uygulama farklılıkları absorbe edilen spektrum bantlarının üst üste çakışması, doğrusal dağılım göstermemesi, hafif dağılım ve neticesinde karmaşık bant görünümünün

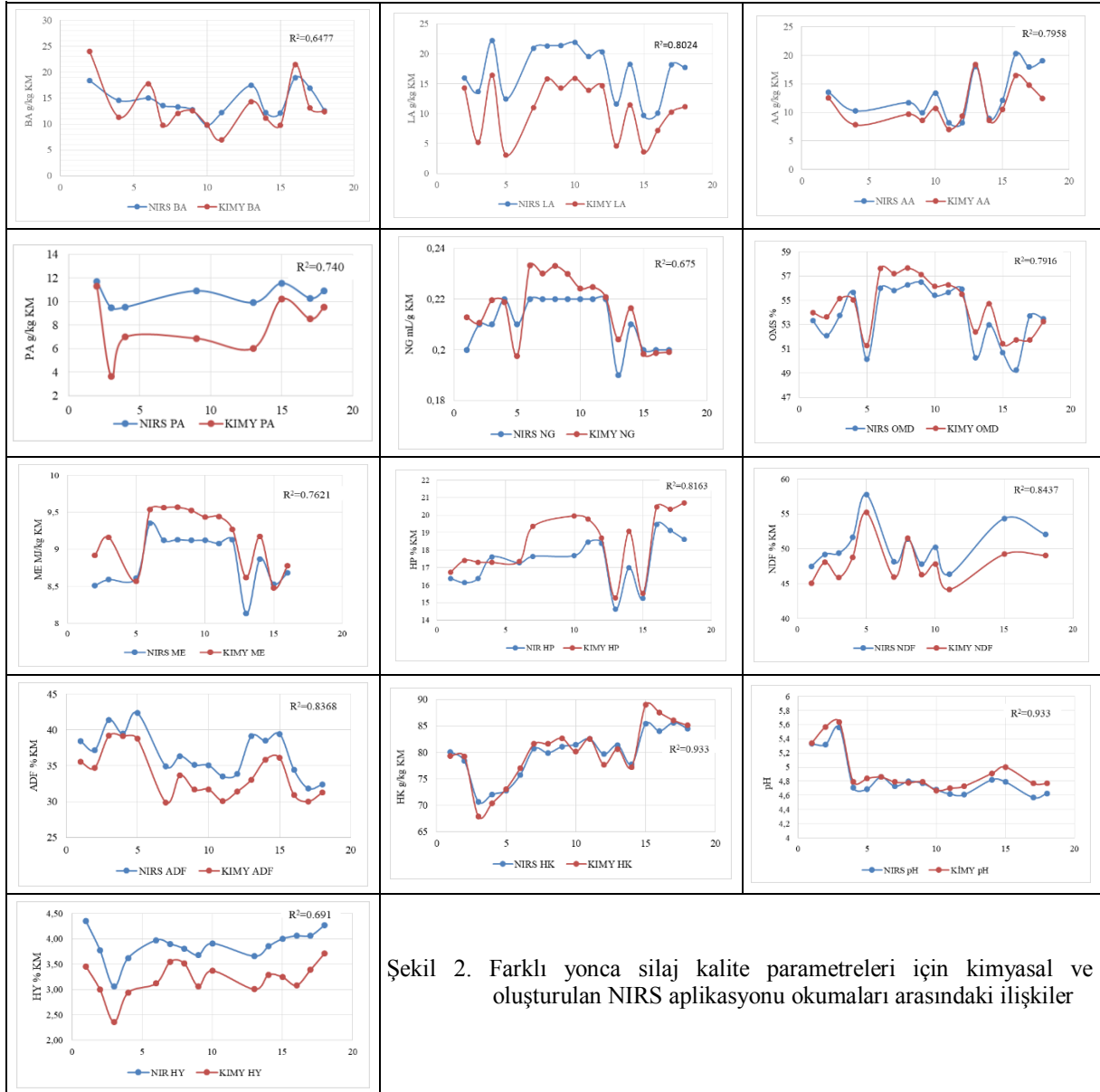
ortaya çıkabilmesine neden olmaktadır (Buchi, 2013). Dolayısıyla spektrumların farklı istatistiksel ön muameleler ile matematiksel transformasyonları neticesinde iyileştirilmesi beklenen bir durumdur. Yonca silaj kalibrasyon ve doğrulama örnek setlerine ait performans göstergesi olan istatistiki sonuçlar Çizelge 2. ve silaj kalitesinin önemli göstergeleri LA ve pH parametreleri için Şekil 1'de verilmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama okumaları arasındaki korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerlerinin 1'e yakınlıkları açısından değerlendirildiğinde silajın BA, HP, NG, ve NDF özellikleri dışında kalan diğer tüm parametreler için oluşturulan kalibrasyonların yüksek doğrulukta olduklarını söylemek mümkündür. Ancak bu değerlendirme açısından korelasyon katsayısı tek başına yeterli bir parametre değildir. Kalibrasyon ve doğrulama spektrumlarına ait standart hataların küçüklüğü ve birbirlerine yakınlıkları değerlendirildiğinde ise PA, pH, HP, HY, NG, ME ve OMS parametrelerine ait kalibrasyonların yüksek gerçeklikte sonuç verebileceği görülmektedir. Nitekim Williams (1987), tahminin standart hatasının, parametreye ait referans değerinin %3'ünden fazla olmaması gerektiğini öngörmektedir. Bu açıdan pH ve NG başta olmak üzere diğer bazı özellikler için geliştirdiğimiz değerlerin bu sınırlar içerisinde oldukları görülmektedir. NIRS kalibrasyonlarında, tahmin okumasının, referans değerden ortalama sapmasının göstergesi olan VsetBIASS değeri AA, BA ve HK oranı parametreleri dışındaki tüm özellikler için oldukça yüksek kabul edilirlilik sınırlarında gerçekleşmiştir. Ancak elde edilen istatistiksel veriler yardımı ile okuma doğruluğunu ortaya koymak her zaman tek başına yeterli olamamaktadır. Bu amaçla benzer örneklerin, optimize edilen NIRS kalibrasyonunda okunarak NIRS ve kimyasal değerler arasındaki ilişkinin ortaya konulması gerçekliği arttıracaktır. Nitekim Şekil 2'de, NIRS istatistiklerine göre oldukça iyi bir kalibrasyon olarak değerlendirilen HY ve NG parametrelerine ait kimyasal ve NIRS okuma sonuçları arasındaki regresyon katsayısı değerlerinin düşük olduğu, buna karşın SEC ve SEV değerleri nedeni ile düşük performanslı olarak değerlendirilen LA, AA, HK, ADF ve NDF parametreleri için geliştirilen NIRS kalibrasyonu okumasının ise kimyasal sonuçlarla yüksek doğrulukta benzeştiği görülmektedir.



Şekil 1. Yonca silajı LA ve pH değerleri için NIRS kalibrasyonu orijinal ve tahmin değerleri arasındaki ilişki grafikleri.

Çizelge 1. Farklı yonca silaj kalite parametreleri için oluşturulan NIRS kalibrasyonlarında kullanılan ön muameleler ve kalibrasyon istatistikleri.

Silaj Kalite Özellikleri	İstatistiksel Ön Muamele	R <sup>2</sup> CAL	R <sup>2</sup> VAL	SEC	SEV	Vset BIASS
LA	db1, n01, sg9	0.9362	0.9571	0.9858	1.0341	0.0239
AA	n01, sg9, mf	0.9485	0.9394	0.8415	1.0226	0.1257
BA	dg1, SNV	0.8965	0.8990	1.4556	1.5396	0.1404
PA	dg1, sg9	0.9223	0.9281	0.5593	0.5606	0.0659
pH	n01, mf, sa3	0.9999	0.9491	0.0028	0.0668	0.0035
HP	ds2	0.8609	0.8944	0.5704	0.5879	0.0496
HY	ncl, mf, log9	0.9464	0.9742	0.6842	0.5947	0.0508
HK	db1, n01, mf	0.9407	0.9422	1.2493	1.2217	0.1062
NG	log, dg1, sg9	0.8808	0.8662	0.0042	0.0044	0.0001
ME	mo, sg9, n01	0.9012	0.8974	0.1128	0.1180	0.0037
OMS	mf, sg9, n01	0.9181	0.8910	0.5752	0.7971	0.0413
ADF	db1, sg9	0.9103	0.9048	0.9897	0.9617	0.0420
NDF	log, mf	0.7919	0.7966	1.4582	1.4626	0.0072



Şekil 2. Farklı yonca silaj kalite parametreleri için kimyasal ve oluşturulan NIRS uygulamaları arasındaki ilişkiler

Farklı silaj parametreleri için geliştirilen kalibrasyon performanslarının Park ve ark. (2005)'nin mısır silajı için oluşturdukları kalibrasyondan çok daha iyi olduğu görülmektedir. Spektrumların toplanması sırasındaki örnek boyutu, örneğin sıklığı, kullanılan cihaz ve kemometrik program, ortam ve örnek sıcaklığı gibi pek çok parametre bu tarz farklılıkların ortaya çıkmasında etkili faktörlerdir (Shenk and Westerhaus, 1995).

Tüm doğrulama parametreleri açısından irdelendiğinde, silajın ürettiği organik asitler için geliştirilen kalibrasyonların daha da geliştirilmesi gerektiği ortadadır. Park ve ark. (2005) yaş, fırında kurutulmuş ve sıvı azot muamelesi sonrasında öğütülmüş silaj örneklerinin NIRS kalibrasyonlarında farklılıklar oluştuğunu, kurutma sıcaklığından kaynaklı olarak, silajın uçucu yağ bileşenlerinde kayıplar olabileceğini ve bunun da kalibrasyonun standart hatasını arttıracaklarını bildirmişlerdir. Araştırmamızda silaj örnekleri fırında kurutulmuş olarak spektrumları alınmıştır. Dolayısıyla organik asitler açısından NIRS doğruluğunun azalması olağan bir sonuçtur.

#### SONUÇ

Yonca silajının fermantasyon ve besleme kalitesinin anlık ve hızlı bir şekilde belirlenmesinde, NIRS yüksek doğrulukta sonuçlar ortaya koyma potansiyeline sahiptir. Nitekim geliştirilen “Yonca Silajı NIRS Kalibrasyon Paketi” ile her birisi uzun uğraşı ile saptanabilen 13 farklı kalite parametresinin tamamı 30 sn. içerisinde okunabilir hale getirilmiştir. Ancak en doğru sonuçların alınabilmesi açısından spektrumları depolanan örneklerin, çok farklı koşulları temsil etmesi ve daha çok sayıda örnek ile çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1990. Official Method of Analysis. 15<sup>th</sup> ed., Washington, DC. USA. Pages 66-88.
- Buchi 2013. NirCal Operation Manual. BÜCHI Labortechnik AG, İsviçre.
- Coblentz WK, Muck RE, Borchardt MA, Spencer SK, Jokela WE, Bertram MG, Coffey KP 2014. Effects of dairy slurry on silage fermentation characteristics and nutritive value of alfalfa. J. Dairy Sci. 97(-):7197-7211.
- Dewhurst RJ, Fisher WJ, Tweed JKS, Wilkins RJ 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. Production responses with different levels of concentrate. J. Dairy Sci. 86(-):2598-2611.

- Kung LJr, Taylor CC, Lynch MP, Neylon JM 2003. The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86(-):336-343.
- Lee EJ, Shannon JG, Choung MG 2011. Application of nondestructive measurement to improve soybean quality by near infrared reflectance spectroscopy. In: Ng T-B, editör. Soybean Applications and Technology. InTech, pp. 287-304.
- Menke KH, Raab L, Salewski A, Steingass H, Fritz D, Schneider W 1979. The Estimation of the Digestibility and Metabolizable Energy Content of Ruminant Feedstuffs from the Gas Production When They are Incubated with Rumen Liguor. J Agri Sci, 93(-):217-222.
- Ørskov ER, McDonald P 1979. The Estimation of Protein Degradability in the Rumen from Incubation Measurements Weighted According to Rate of Passage. J Agric Sci, 28(-):499-503.
- Park HS, Lee JK, Fike JH, Kim DA, Ko MS, Ha JK 2005. Effect of Sample Preparation on Prediction of Fermentation Quality of Maize Silages by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 18(5):643-648.
- Quiros ARB, Yusty MAL, Hernandez JL 2009. HPLC Analysis of organic Acids Using a Novel Stationary Phase. Talanta, 78(-):643-646.
- Shenk JS, Westerhaus MO 1995. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In (Ed. G. C. Fahey, Jr.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA, Madison. WI. pp. 406-449.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis B A 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science, 74(-):3583-3597.
- Williams PC 1987. Variables affecting near-infrared reflectance spectroscopic analysis. In (Ed. P. Williams and K. Norris) Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists Inc. pp. 143-167.
- Youngtob KN, Renzullo LJ, Held AA, Jia XP, Lindenmayer DB, Foley WJ 2012. Using imaging spectroscopy to estimate integrated measures of foliage nutritional quality. Methods Ecol. Evol. 3(-):416-426.