

Orta Anadolu Kuru Şartlarında Ekmeklik Buğdayda Optik Sensöre Dayalı Mevsim İçi Azotlu Gübre Kalibrasyon Optimizasyonu

Erdinc SAVASLI^{1*}, Oguz ONDER², Cemal CEKIC³, Hasan Müfit KALAYCI⁴, Ramis DAYIOGLU⁵
Yaşar KARADUMAN⁶, Fatma GOKMEN YILMAZ⁷, Nesim DURSUN⁸, Sait GEZGIN⁹

^{1,2,3,4,5,6}Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Eskişehir, ^{7,8,9}Selçuk University, Faculty of Agriculture, Konya, TÜRKİYE

¹<https://orcid.org/0000-0001-5326-4710>, ²<https://orcid.org/0000-0002-8184-1316>, ³<https://orcid.org/0000-0003-0700-5165>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-3751-238X>, ⁵<https://orcid.org/0000-0002-7134-4965>, ⁶<https://orcid.org/0000-0003-1306-3572>

⁷<https://orcid.org/0000-0001-8523-1825>, ⁸<https://orcid.org/0000-0002-3677-2868>, ⁹<https://orcid.org/0000-0002-3795-4575>

*✉: esavasli26@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, buğdayın ZD 3.0 (sapa kalkma başlangıcı) döneminde klorofil metre (SPAD) ve GreenSeeker (NDVI) optik sensörler ile buğdayın N alımı ile tane verimi arasındaki ilişkileri ölçmek, doğrulamak ve gübre tavsiyeleri için denklem oluşturmaktır. Bu çalışmada, kuru koşullarda 4 farklı çeşit (Altay2000, Gerek79, Sönmez2001 ve Bezostaja1), 6 farklı azot dozuna (0, 3, 6, 9, 12 ve 15 kg N da⁻¹) karşılık olarak verdikleri mevsim içi spektral yansıma okumalarının hesaplanan vejetasyon indeksleri ve mevsim içi verim tahmini yöntemiyle belirlenmiştir. Zadoks (ZD) 2.4 (kardeşlenme), ZD 3.0 (sapa kalkma başlangıcı), ZD 3.1 (sapa kalkma 1 boğum dönemi) ve ZD 3.2 (sapa kalkma 2 boğumlu dönem) olmak üzere 4 ayrı dönemde vejetasyon indeksi (NDVI) okumaları yapılmıştır. Bu dönemlerden en uygun Zadoks 3.0 (sapa kalkma başlangıcı) döneminde yapılan okumalar en gerçekçi yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Yaprak klorofil değerleri hakkında da bilgi veren spadmetre (SPAD) kullanımına göre mevsimiçi verim tahmini yapmaya olanak sağlayan NDVI yöntemi daha uygun bulunmuştur. 8 çiftçi tarlasından alınan değerlerin karşılaştırılmasında, optik sensör (NDVI) yönteminin önerdiği azot dozlarının çiftçi uygulamasıyla benzer verim düzeylerinde 0.9 kg N da⁻¹ daha az azot kullanım sağladığı görülmüş, yani sistemin ekonomik etkinlik yönü öne çıkmıştır. Spadmetre kullanılarak erken ilkbahar döneminde azotlu gübre tavsiyesinde, normalize edilmiş spad (NSPAD) değerlerindeki artışın verimde neden olduğu artışı gösteren 4 dönemde de aynı Klorofil Yeterlilik İndeksi (Chlorophyll Sufficiency Index) 0.95 kritik eşik değeri nin altında olduğu zaman azotlu gübre tavsiye önerilmiştir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi

Geliş Tarihi : 06.05.2020

Kabul Tarihi : 09.06.2020

Anahtar Kelimeler

Azot
NDVI
SPAD
Optik Sensör

Calibration Optimization For Sensor-Based In-Season Nitrogen Management of Rainfed Winter Wheat in Central Anatolian Conditions

ABSTRACT

This study aimed to determine the Wheat response to nitrogen topdressing doses and calibrate the optic sensor NDVI reading. The objective of this study was to quantify and validate the relationships between N uptake and grain yield of wheat using in-season measurements by chlorophyll meter and GreenSeeker optical sensor at Zadoks3.0 growth stage (stem elongation) of wheat. In the study, responses of four winter wheat cultivars (Altay2000, Gerek79, Sönmez 2001 and Bezostaja1) to six N rate (0,3,6,9,12 and 15 kgNda⁻¹) under rainfed conditions were compared with vegetation indices based on spectral reflection and In-Season Estimates of Yield calculated from these indices. GreenSeekersensor was used for this purpose. Vegetation indices (NDVI) were obtained at growth stages Zadoks2.4, Zadoks3.0, Zadoks3.1 and Zadoks3.2, Zadoks3.0 (stem elongation) was found to be the most realistic reading time. In the last year of the

Research Article

Article History

Received : 06.05.2020

Accepted : 09.06.2020

Keywords

Nitrogen
NDVI
SPAD
Optic Sensor

project NDVI based calibration equations were preferred for tests in actual farmers' fields due to the fact that NDVI method had an advantage, over Spadmeter (SPAD) use, of giving information on biomass, in addition to nitrogen nutrition status of the crop, making in-season yield estimation possible. A comparison of the system with traditional farmer applications, based on the average of 8 farmers' fields, the new system was shown to give similar yields with 0.9 kg da⁻¹ less Nitrogen in the spring (ZD3.0), showing its economically promising value. Chlorophyll Sufficiency Index was determined by using spadmeter in the early spring nitrogen fertilizer recommendation in the same period as 0.95 critical threshold value which showed increase in yield caused by increase in NSPAD values.

Atıf İçin: Savaşlı E, Önder O, Çekiç C, Kalaycı HM, Dayıoğlu R, Karaduman Y, Gökmen Yılmaz F, Dursın N, Gezgin S 2021. Orta Anadolu Kuru Şartlarında Ekmeklik Buğdayda Optik Sensöre Dayalı Mevsim İçi Azotlu Gübre Kalibrasyon Optimizasyonu. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 24 (1): 130-140. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.732913>.

To Cite: Savaşlı E, Önder O, Çekiç C, Kalaycı HM, Dayıoğlu R, Karaduman Y, Gökmen Yılmaz F, Dursın N, Gezgin S 2021. Calibration Optimization For Sensor-Based In-Season Nitrogen Management of Rainfed Winter Wheat in Central Anatolian Conditions. KSU J. Agric Nat 24 (1): 130-140. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.732913>.

GİRİŞ

Son yıllarda kullanılmaya başlanan sensörlere dayalı yeni teknolojiler tarımda dikkate değer şekilde önemli faydalar sağlamaya başlamıştır (Pivoto ve ark., 2018). Bu teknolojilerin katkı sağlayabilmesi için her bölge için modifiye edilmesi zorunlu olmaktadır (Walshve ark., 2018). Böylece optik sensörler ürünlerin verim ve biyokütle özelliklerini tahmin etmede yaygın şekilde kullanılabilir (Christoph ve ark., 2018). Optimum ürün elde etmek için en uygun azot dozlarının belirlendiği benzer sensöre dayalı çalışmalarda da genel matematik modelleri kullanılarak algoritmalar geliştirmeye odaklanılmaktadır (Franzen ve ark., 2016). Son yıllarda ise, elde edilmesi beklenen verim düzeylerinde, azotlu gübrelemeyle alınacak karşılığı yıl içinde ve tarla düzeyinde belirlemeye yönelik mevsim içi azotlu gübre yönetim sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Azot eksikliğinin yaprak klorofil konsantrasyonlarında azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Penuelas ve ark., 1993). Fazla azot eksikliğinde bitkiler kırmızı yansıma alanlarında daha fazla yansıma vermektedir (Steven ve ark., 1990). Stone ve ark., (1996) kışık buğdayda optik sensör yansımalarının toplam bitki kütlesi (biyomas) ile yüksek korelasyon verdiğini, Raun ve ark., (2001) buğdayda sapa kalkma başlangıcında sensör yansıma değerleri aracılığıyla verim potansiyelinin belirlenebileceğini göstermiştir. Bijay-Singh ve ark., 2013 yılında Güney Asya'da yürütülen çalışmada maksimum kardeşlenme dönemi öncesinde SPAD ve NDVI okumaları yapılarak INSEY (Mevsim İçi Verim Tahmini) değeri 0.005-0.011 değeri arasında iken uygulanan 3 kg N da⁻¹ azot ile verim artışı sağlandığı belirtilmiştir. Klorofil, bitkilerin yeşil renginden sorumlu pigmenttir ve fotosentezdeki ışığı yakalayan molekül-bitki üretimini belirleyen temel metabolik

süreçlerdir (Araus ve ark., 1997). MINOLTA SPAD 502, kırmızı (650 nm) ve yakın kızılötesi (940 nm) dalga boylarındaki ışık transmisyonlarını ölçerek yaprak klorofil oranlarını tahmin etmekte olup (Markwell, 1995), bu değerler buğdayın azotlu gübreleme ihtiyacını belirleme amacıyla da kullanılmaktadır (Lopez-Bellido, 2004). Santos ve ark., (2019) Spadmetre kullanılarak azot yeterlilik endeksi (NSI) kritik eşik değeri 0.95 olarak belirlenmiş ve bu kritik eşik değerinin altında olduğu ilkbahar dönemi azotlu gübrelemenin verim üzerine etkili olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bu çeşitler için optimum azot dozu belirlemek değil, tam tersine, genel ortalama üzerinden, tarla düzeyinde ve yılın gidişine göre tavsiye yapabilmek için yöntem geliştirmektir.

Eskişehir (GKTAEM)'de yaklaşık 15 yıldır Orta Anadolu ekmeklik Buğdayda kuru ve sulu koşulları için Optik Sensöre Dayalı Mevsim İçi Azotlu Gübre Kalibrasyon çalışmaları yürütülmektedir. Eskişehir'de yürütülen bu çalışmalarda bu geliştirilen denklemler her yıl güncellenerek daha çok yıl ve çevrenin etkileri denklem içerisinde yer almakta ve daha iyi bir verim tahmini yapmaya odaklanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yaprak klorofil metresi (SPAD) ve GreenSeeker (NDVI) optik sensörler ile ekmeklik buğdayda azotlu gübre tavsiyesi için kalibrasyon denklemleri geliştirme çalışmaları değerlendirilmiştir.

MATERYAL ve METOD

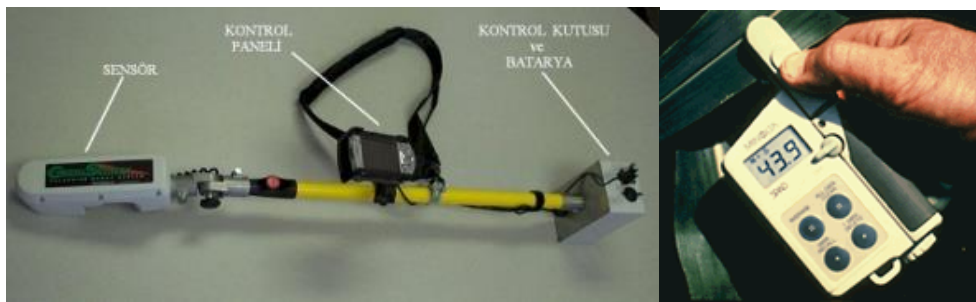
Bu çalışma kuru koşullarda 2008-2009 ve 2009-2010 üretim yıllarında dört farklı lokasyonda yürütülmüştür. Çalışma GKTAEM Merkez Yerleşke arazisinde Lokasyon 1: Enstitü (2009), Lokasyon 2: Yusufklar köyü (2009), Lokasyon 3: Yusufklar köyü (2010) Lokasyon 4 Güneli (2010) farklı toprak yapısı ve çiftçi tarlalarında denemeler yürütülmüştür.

Çalışmada, genotiplerin kalite özellikleri açısından bir varyasyon yaratmak için 2 kırmızı sert (Bezostaja1 ve Sönmez2001) ve 2 beyaz yumuşak çeşit (Gerek79 ve Altay2000) kullanılmıştır. Çalışmada bu kalibrasyon çalışmalarını uzun süredir yürüten Oklahoma Eyalet Üniversitesi ve Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (CIMMYT)'in uyguladığı azotlu gübre kullanma biçimine uygun olarak azotun tamamı ekimle birlikte verilmiştir. Bunun gerekçesi, azotlu gübrenin kullanılmasıyla bitki tarafından alınan klorofil oranlarına, dolayısıyla optik sensör okuma değerlerine yansımaları için gereken süre ortalama 4-5 hafta olarak ifade edildiğinden azotun yarısını ilkbaharda vermenin yansıma okumalarını geciktirmesi olasılığıdır. Bu uygulama (Ekim ile birlikte azotun tamamı) kalibrasyon denklemi oluşturma amacı ile kullanılmakta olup hiçbir koşul altında çiftçiye tavsiye edilecek bir usul olarak düşünülmemiştir. Deneme Tesadüf Bloklarında Faktöriyel deneme deseninde ve 4 tekerrürlü olarak yürütülmüş olup; 6 farklı azot uygulaması (0, 3, 6, 9, 12 ve 15 kg N da⁻¹) karşılaştırılmıştır. Azotlu gübrenin tamamı, amonyum nitrat (%33) formunda verilmiştir. Optik sensör (Green Seeker, NDVI) ve Spadmetre (SPAD) cihazıyla 4 farklı bitki gelişme döneminde Zadoks 2.4 (kardeşlenme), Zadoks 3.0 (sapa kalkma başlangıcı), Zadoks 3.1 (sapa kalkma 1.boğumlu dönem) ve Zadoks 3.2 (sapa kalkma 2.boğumlu dönem) ölçümleri yapılmıştır (Zadoks ve ark., 1974). Okumalarda algılayıcı sensör bitki örtüsünden 80 cm mesafeden yapılmıştır. Bu dönemlerde yapılan NDVI okumalarında elde olunan NDVI değerleri, ekimden itibaren geçen ve buğdayın gelişebileceği bir baz değerinin (+4.4°C) üzerindeki gün sayısına bölünerek INSEY (Mevsim İçi Verim Tahmini) değerleri bulunmuştur (Raun ve ark., 2002; Mullen ve ark., 2003). Sistem, spektral yansıma prensibine göre çalışmakta olup, bu değerleri değişik dalga boylarındaki yansımalar üzerinden hesaplamaktadır

(Peñuelas ve ark., 1993).

Spadmetre

SPAD okumaları, her bir parselden rasgele seçilen 10 bitkinin ana saplarındaki, gelişmesini en son tamamlamış yapraklarda ve üç (dip, Orta ve Uç kesimde) ayrı kesimde yapılan okumaların ortalaması alınarak yapılmıştır (Lopez-Bellido ve ark., 2004). Parsellerden bu şekilde elde olunan SPAD değerleri, aynı genotipin en yüksek dozda gübrelenen parsellerinden elde olunan SPAD değerlerine bölünerek nispi olarak ifade edilmiştir ki buna normalizasyon işlemi adı verilmektedir. Buna göre: NSPAD hesaplaması değişik dönemlerde okunan SPAD değerlerinin NSPAD değerlerine çevrilmesi, her parselde okunan değer, o çeşidin o denemede verdiği en yüksek SPAD değerinin yüzdesi olarak ifade edilmesi şeklinde gerçekleşmekte ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır: **NSPAD (Normalize edilmiş SPAD) = SPAD (parsel) / SPAD (maximum)** (Varvel ve ark., 1997) (1). Bu amaçla NSPAD değeri kullanılmıştır. Bugün yaygın olarak kullanılan Minolta SPAD-502 klorofilmetre (Markwell ve ark., 1995), yaprakların klorofil yoğunluğunu SPAD (Soil Plant Analysis Development) birimi olarak vermekte ve genellikle değerlendirmeler bu birim üzerinden yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan MINOLTA SPAD-502 klorofilmetre (MINOLTA 1989) yaprak birim alanı üzerinden klorofil oranlarını SPAD birimi üzerinden verdiği için SPADMETRE olarak ta adlandırılmaktadır (Şekil 1). Çizelge 1' de deneme yerlerine ait iklim verileri verilmiştir. Toprak analiz örnekleri Bremner (1965) tarafından önerilen 2 farklı yöntemle NO₃ ve NH₄+NO₃ azotu analizleri yapılmıştır. Bu örneklerde elde olunan analiz sonuçlarından, deneme kurulan alanlara ait veriler Çizelge 2 ' de verilmiştir.



Şekil 1. GreenSeeker Model 505 spektrometre ve SPADMETER (Minolta SPAD-502)
Figure 1. GreenSeeker Model 505 spectrometer and SPADMETER (Minolta SPAD-502)

Deneme yeri topraklarının ince (kil, killi tın ve kumlu killi tın) bünyeye ve düşük (%1-2) düzeyde organik madde içeriğine sahip olduğu da görülmektedir. Ayrıca deneme yeri toprakları orta (%5-15) ve fazla (%15-25) kireçli, hafif alkalin reaksiyonlu, düşük tuzlu veya tuzsuzdur. Denemelerde çeşitler metrekarede 500

tohum sıklığında, parsel mibzeri (Wintersteiger) ile sıra arası 20 cm ve 6 sıra olarak ekilmiştir. Parsel alanı ekimde 1.2 x 7 = 8.4 metrekaresidir ve parsel alanının 1.2 x 5 = 6.0 metrekaresi parsel biçerdöveriyle (Hege-Wintersteiger) hasat edilmiştir.

Çizelge 1. Enstitüde ölçülen yağış miktarları (2008-2010).

Table 1. The amount of precipitation measured at the Institute (2008-2010).

YILLAR	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam (mm)
Uzun yıl	14.7	25.2	30.6	45.6	38.4	32.6	33.3	35	42.1	29.3	13.8	6.5	347
2008-09	30.7	6.4	49.6	34.5	66.3	82	40.9	28	15.4	10.2	19.4	2.0	385
2009-10	7.1	9.0	29.5	65.1	36.0	42.8	32.6	23.9	20.7	79.0	7.40	0.9	354

Çizelge 2. Deneme yerlerinden alınan toprakların kimyasal özellikleri (0-30 cm).

Table 2. Chemical properties of soils in the experiments places (0-30 cm).

Toprak özellikleri	Birimi	Lok1 Enstitü	Lok2 YUSUFLAR	Lok3 YUSUFLAR	Lok4 GÜNELİ
*Tekstür Sınıfı		C	C	CL	SCL
pH (1:2.5,Toprak:Su)		7.52	7.36	7.35	7.67
EC (Tuz) (1:5,Toprak:Su)	(μScm^{-1})	140	130	203	180
CaCO ₃ (Kireç)	(%)	9.6	13.5	19.1	23.3
Organik Madde	(%)	1.10	1.31	2.06	1.79
Fosfor (P)	mg kg ⁻¹	32.1	8.39	18.1	20.5
Potasyum (K)	mg kg ⁻¹	666	365	405	250
Fenoldisülfonik Asit Met.(NO ₃) 0-30cm	mg kg ⁻¹	3.30	2.29	3.83	3.40
Fenoldisülfonik Asit Met.(NH ₄ ⁺ +NO ₃) 0-30cm	mg kg ⁻¹	15.0	20.0	20.6	21.0

* C = Killi (Clay); CL = Killi tın (Clay Loam); SCL = Kumlu Killi Tın (Sandy Clay Loam), Lokasyon1(LOK.): Enstitü(2009), Lok. 2: Yusufklar (2009), Lok.3: Yusufklar (2010) Lok.4 :Güneli (2010)

Verilerin Analizi

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi JMP istatistik programı (JMP, SAS Institute, Cary, NC) aracılığıyla yapılmıştır (JMP, 2013). Varyans analizi aracılığıyla uygulama etkilerinin önemlilik derecesi test edilmiş ve ortalama değerlerin karşılaştırılmasında Student's t yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen veri setlerinde regresyon ve korelasyon analizleri yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Tane Verimi

Denemede elde edilen verim sonuçları Çizelge 3 ve Şekil 2a' da verilmiştir. Çizelge ve şekilden görüleceği üzere, uygulama x yıl (lokasyon veya yıl) interaksyonu önemli çıktığından, 4 denemenin dane verimlerinin ayrı ayrı değerlendirme sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, 2000' li yıllarda geliştirilen Sönmez2001 ve Altay2000'in, bölgenin yaygın ekilen eski çeşitleri olan Bezostaja1 ve Gerek79' dan daha fazla verim verdikleri ve azotlu gübrelemeye karşılık açısından da 4 denemenin 3 ünde 9 kg N seviyesine kadar verim artışı olduğu, diğer denemede de aynı durum olmakla birlikte, istatistik önemlilik açısından optimum seviyenin 6 kg N da⁻¹ seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Denemelerde elde olunan farklı verim düzeylerine karşın, azota alınan karşılıkların benzerliği Şekil.2'de grafik (b) olarak gösterilmiştir. Çeşitlerin ortalaması üzerinden denemelerin karşılaştırıldığı Şekil 2 (a) incelendiğinde, çiftçi tarlasında kurulan 3 denemenin (Lok 2, 3, 4) verimlerinin 200 ile 400 kg da⁻¹ arasında

değiştirdiği görülmektedir ki bu verim düzeyi aşırı kuraklık yaşanmayan bu yıllar için normal sayılabilir. Enstitü arazisindeki yüksek verimse, derin profilli allüviyal bir araziye sahip olan Enstitü için normalden biraz daha fazla yağışlı bir yılda ilk defa rastlanan bir durum değildir. Nitekim, Ekim başından Haziran sonuna kadar düşen yağış olarak uzun yıllar ortalaması 347 mm olan Eskişehir'de, 2008-2009 ve 2009-2010 yıllarında, aynı dönemde sırasıyla 385 ve 354mm yağış alınmıştır (Çizelge1). Azotlu gübre kalibrasyon çalışmalarında yıl, yerler ve çevrenin etkisi altında verim düzeyleri etkilenmektedir. Denemelerin ortalaması üzerinden çeşitlerin karşılaştırıldığı Şekil 2 b incelendiğinde ise, çeşitlerin azota verdikleri karşılık arasında farklılıklar olduğu ve bunun doğrudan doğruya çeşitlerin verim düzeyleriyle ilgili olduğu görülmektedir.

NDVI ve INSEY Değerleri ve Kalibrasyon Denklemleri

Şekil 3a'dan da görüldüğü gibi, artan azot dozu ile NDVI değerleride artmıştır. En düşük Zadoks 2.4 döneminde belirlenirken en yüksek NDVI değerleri Zadoks 3.2 döneminde belirlenmiştir. Zadoks 2.4 döneminde azot dozları arasında NDVI değerleri yönünden farklar az iken Zadoks 3.1 ve 3.2 döneminde daha belirgin olduğu görülmektedir. Zadoks ıskalasına göre (Zadoks ve ark., 1974) 2.4 (4 kardeşli dönem), 3.0 (sapa kalkma başlangıcı), 3.1 (sapa kalkma 1 boğum) ve 3.2 (sapa kalkma 2. boğum) dönemlerinde ölçülen NDVI değerlerinden, hesaplan INSEY değerleri 4 denemenin ortalaması olarak sonuç özetleri halinde de Şekil 3b'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kuru koşullarda azotlu gübre kalibrasyon denemesi, toplam 4 denemenin azotlu gübre dozlarının 4 buğday çeşidinin dane verimleri üzerine etkisi (2008-2010).

Table 3. Nitrogen fertilizer calibration experiment in rainfed conditions, the effect of 4 trials of nitrogen fertilizer rates on grain yields of 4 wheat varieties (2008-2010).

Azot Dozu (kg N da ⁻¹)	Tane Verimi (kg da ⁻¹) 2008-2009 (Enstitü)									
	ALTAY2000		BEZOSTAJA1		GEREK79		SÖNMEZ2001		Ortalama	
0	563	± 35	505	± 22	528	± 3	582	± 21	541 c	± 16
3	604	± 3	522	± 10	563	± 27	608	± 27	578 bc	± 14
6	703	± 26	575	± 10	589	± 3	627	± 45	638 a	± 22
9	643	± 10	559	± 15	621	± 40	617	± 35	610 ab	± 15
12	653	± 27	614	± 27	535	± 14	677	± 13	616 ab	± 17
15	634	± 43	524	± 20	569	± 14	646	± 10	592 ab	± 17
Ortalama	635 a	± 14	550 b	± 12	569 b	± 12	630 a	± 12	596	± 12

DK (%) = 9.2, AÖF (0.05) (Çeşitler için) = 35* kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Azot dozları için) = 49** kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Çeşit x Azot interaksyonu için) = 98* kg da⁻¹, ±; Standart hata (çeşit n=24, azot dozu n=16)

Azot Dozu (kg N da ⁻¹)	Tane Verimi (kg da ⁻¹) 2008-2009 Yusufklar									
	ALTAY2000		BEZOSTAJA1		GEREK79		SÖNMEZ2001		Ortalama	
0	303	± 10	314	± 15	314	± 21	357	± 7	321 c	± 9
3	329	± 16	337	± 14	313	± 14	489	± 24	373 b	± 22
6	372	± 17	347	± 5	404	± 14	478	± 44	396 b	± 15
9	385	± 24	429	± 18	386	± 42	562	± 45	441 a	± 26
12	353	± 22	405	± 36	396	± 23	508	± 36	409 ab	± 19
15	357	± 17	408	± 30	386	± 23	463	± 43	413 ab	± 17
Ortalama	353 b	± 9	374 b	± 13	373 b	± 12	484 a	± 19	395	± 17

DK (%) = 12.2, AÖF (0.05) (Çeşitler için) = 35* kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Azot dozları için) = 43** kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Çeşit x Azot interaksyonu için) = 86* kg da⁻¹, ±; Standart hata (çeşit n=24, azot dozu n=16)

Azot Dozu (kg N da ⁻¹)	Tane Verimi (kg da ⁻¹) 2009-2010 (Yusuflar)									
	ALTAY2000		BEZOSTAJA1		GEREK79		SÖNMEZ2001		Ortalama	
0	433	± 20	311	± 36	235	± 18	414	± 43	348 c	± 25
3	445	± 24	390	± 16	257	± 32	488	± 48	395 b	± 27
6	479	± 39	415	± 26	284	± 11	569	± 25	437 a	± 29
9	503	± 24	399	± 41	292	± 22	588	± 21	446 a	± 31
12	510	± 30	398	± 36	298	± 18	548	± 24	439 a	± 28
15	502	± 31	411	± 43	310	± 9	569	± 36	448 a	± 29
Ortalama	479 b	± 12	387 c	± 14	279 d	± 9	529 a	± 18	419	± 16

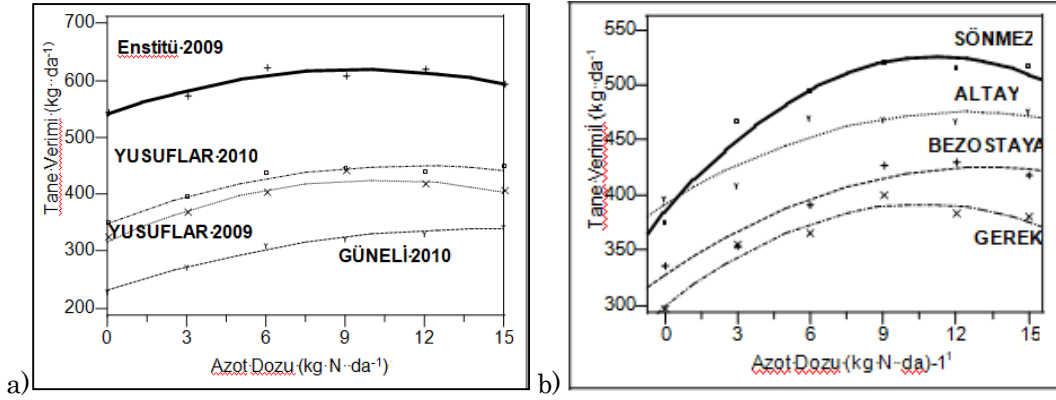
DK (%) = 13.0, AÖF (0.05) (Çeşitler için) = 31.4*kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Azot dozları için) = 38.5** kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Çeşit x Azot interaksyonu için) = 77.1* kg da⁻¹, ±; Standart hata (çeşit n=24, azot dozu n=16)

Azot Dozu (kg N da ⁻¹)	Tane Verimi (kg da ⁻¹) 2009-2010 (Güneli)									
	ALTAY2000		BEZOSTAJA1		GEREK79		SÖNMEZ2001		Ortalama	
0	242	± 40	208	± 29	230	± 8.0	241	± 47	230 d	± 16
3	289	± 48	216	± 49	272	± 22	316	± 11	277 c	± 18
6	330	± 21	296	± 30	294	± 5.0	328	± 48	312 b	± 14
9	323	± 22	322	± 16	294	± 41	349	± 45	322 ab	± 16
12	356	± 33	302	± 34	298	± 21	364	± 22	330 ab	± 15
15	361	± 12	331	± 21	303	± 27	378	± 31	343 a	± 13
Ortalama	317 a	± 14	282 b	± 15	282 b	± 10	329 a	± 16	303	± 17

DK (%) = 14.0, AÖF (0.05) (Çeşitler için) = 24.4* kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Azot dozları için) = 30.6** kg da⁻¹, AÖF (0.05) (Çeşit x Azot interaksyonu için) = 61.2* kg da⁻¹, ±; Standart hata (çeşit n=24, azot dozu n=16)

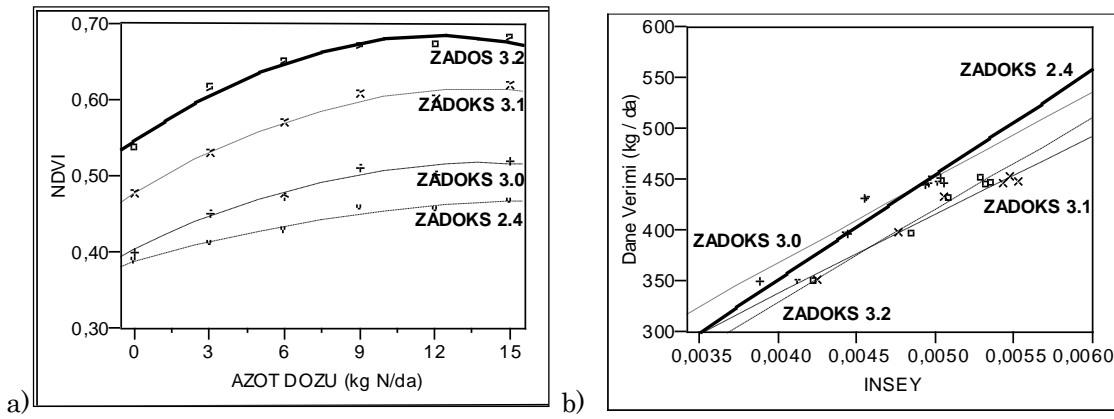
Lokasyon1(LOK.): Enstitü(2009), Lok. 2: Yusufklar (2009), Lok.3: Yusufklar (2010) Lok.4 :Güneli (2010)

** %1 düzeyinde önemli, * %5 düzeyinde önemli



Şekil 2. Kuru koşullarda azotlu gübre kalibrasyon denemesi, azotlu gübre dozlarının dane verimleri üzerine etkisi (4 deneme (a), 4 Çeşit (b)).

Figure 2. Nitrogen fertilizer calibration experiment in rainfed conditions, the effect of nitrogen fertilizer rates on grain yields (4 experiments (a), 4 genotype (b)).



Şekil 3. a) Azotlu gübre dozlarının NDVI (Normalize Edilmiş Vejetasyon İndeksi) üzerine etkisi , b)Tane verimi ile INSEY (Mevsim İçi Verim Tahmini) arasındaki ilişki.

Figure 3. a) The effect of nitrogen fertilizer rates on NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), b) Relationship between grain yield and INSEY (in-season estimated yield)

Mevsim içinde elde olunan okumalarla tahmin edilen biyolojik kütleyle ilişkin değeri doğrudan kullanmaya oranla, bu biyolojik kütle için ekimden itibaren birim zamandaki gelişmesini gösteren INSEY kavramının verim potansiyelini tahmin etmekte daha etkili olduğu belirtilmektedir (Raun ve ark., 2002; Mullen ve ark., 2003).

Elde edilen INSEY değerlerinin bağımsız, dane verimlerinin ise bağımlı değişken olarak kullanıldığı regresyon analizleri aracılığıyla kalibrasyon denklemleri hesaplanmıştır. Şekil 3(b) 'den görüldüğü gibi, NDVI değerleri mevsim ilerledikçe yükselirken, bu değerlerin azotlu gübrelemeye verdiği karşılıklarda da artış olmakla birlikte, bu farklılık Zadoks 2.4 dönemi dışında çok büyük fark görülmemektedir. Mevsim içi yansımaları kullanılarak, okuma anında azotça zengin şeridin NDVI değeri kontrol parsellerinin NDVI değerine bölünerek elde olunan değer de NDVI karşılık indeksi (R_{NDVI}) olarak tanımlanmıştır ve bu iki indeks değeri arasında yüksek düzeyde korelasyon bulunduğu belirlenmiştir (Mullen, 2001). Denemeler arasındaki farklılık bu

dönemde de sürerken (Şekil 3a,b), azotlu gübrenin NDVI değerlerine etkisi yönünden bir önceki dönem olan sapa kalkma başlangıcından farklı bir durum oluşmamış, NDVI değerleri yine 9 kg N seviyesine kadar artış göstermiştir (Şekil 3(a)). NDVI değerlerinin her deneme için sabit bir gün sayısına bölünmesiyle bulunduğu için ayrıca istatistik analiz yapılmasına gerek kalmamış, bu nedenle her dönem için ayrı ayrı olmak üzere, INSEY değerleri 4 deneme ortalaması Şekil 3 (b)' de verilmiştir. 4 denemenin verim ortalamaları kullanılarak hesaplanan kalibrasyon denklemleri farklı gelişme dönemlerinde Zadoks 2.4, Zadoks 3.0, Zadoks 3.1 ve Zadoks 3.2 elde olunan INSEY değerleri aşağıda verilmiştir. Bu denemenin amacı, optimum gübre düzeylerini tespit etmek değil, hasatta alınan verim karşılıklarının mevsim içi spektral yansıma okumaları ve bunlardan elde olunan vejetasyon indeksi değerleriyle hangi ölçüde uyumlu olduğunu belirlemektir.

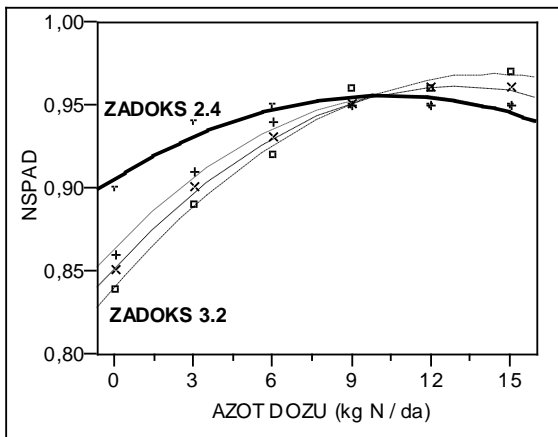
Tüm Çeşitlerin Ortalaması Üzerinden

$$\text{Zadoks2.4: VERİM}(\text{kg da}^{-1}) = -65.2 + 104136 (\text{INSEY}) \quad (R^2 = 0.92^{**}, n = 6) \quad (2)$$

$$\text{Zadoks3.0: VERİM}(\text{kg da}^{-1}) = 22.8 + 85849 (\text{INSEY})$$

$$(R^2 = 0.95^{**}, n = 6) \quad (3)$$
$$\text{Zadoks3.1:VERİM (kgda}^{-1}\text{)} = 17.5 + 79531 \text{ (INSEY)}$$
$$(R^2 = 0.98^{**}, n = 6) \quad (4)$$
$$\text{Zadoks3.2:VERİM (kgda}^{-1}\text{)} = -37.0 + 91381 \text{ (INSEY)}$$
$$(R^2 = 0.98^{**}, n = 6) \quad (5)$$

Bu denklemlerde ilk dikkati çeken durum, bütün çeşitler ve dönemler için INSEY değerleriyle verim arasında doğrusal ilişki bulunmuş olmasıdır. Bizim için geçerli olan bu denklemler bölgemizdeki çiftçi tavsiyelerinde kullanılacaktır. Yapılan bir araştırmada, Ayrıca her bölge kendi kalibrasyon denklemlerini kuru ve sulu şartlarda geliştirmesi gerektiği bazı çalışmalarda belirtilmektedir (Walsh ve ark., 2018). Denklemlerde görüldüğü gibi, denemelerin ve çeşitlerin ortalaması üzerinden değerlendirildiğinde, erken gelişmenin çok zayıf olduğu bazı tarlalarda Zadoks 2.4 döneminde yapılan okumalar yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Yurt dışında da, NDVI değerinin 0.25 ve altında olduğu durumlarda verim tahminlerinin yanıltıcı olabileceğine dair bilgiler vardır (Raun ve ark., 2005). Diğer 3 dönem okumaları arasındaki determinasyon katsayısı farkları da önemli düzeyde olmadığından, çiftçi tarlalarındaki uygulamalar için Zadoks 3.0 (Eşitlik 3) dönemi en uygun bulunmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Değişik okuma dönemlerinde azotlu gübre dozlarının NSPAD değerleri üzerine etkisi. (4 çeşit ve 4 deneme ortalaması).

Figure 4. The effect of nitrogen fertilizer rates on NSPAD values at different reading stage. (4 genotype and 4 experiments).

Zadoks 3.0 döneminde uygulanan azotun kışlık buğdayda gelişmeye en büyük etkiyi yaptığı belirtilmiştir (Melaj ve ark., 2003). Avustralya'daki bir çalışmada hem verim hem de protein açısından en yüksek karşılık sapa kalkma dönemindeki uygulamayla alınırken, yıllara göre bunun gübrelemeyi takiben 12 mm'nin üzerinde yağış alınmasıyla ilgili görüldüğünü bildiren araştırmacılar da olmuştur (Palta ve ark., 2003). Buğday sapa kalktıktan ve boğumlar çıktıktan sonra, tarlaya traktörle girmenin zorluğu ve taşıdığı risk te

düşünülerek Zadoks 3.0 döneminin bu sistem için en uygun okuma dönemi olduğuna karar verilmiştir.

Orta Anadolu ve Batı Geçit Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada (Kalaycı ve ark., 1996) makarnalık buğdayların ekmekliklerden daha düşük azot kullanma etkinliğine sahip olduğu, yani aynı verim düzeyine ancak daha fazla gübre kullanımıyla ulaşabildikleri görülmüştür. Bu durumda, bu çalışmada elde olunan denklemlerin sadece ekmeklik buğday çeşitleri için ve sadece çalışmanın yapıldığı ekolojik bölgede kuru koşullarda geçerli olacağını söylemek yanlış olmayacaktır. Farklı türler ve farklı ekolojik bölgeler ayrı kalibrasyon çalışması gerektirecektir.

SPAD Değerlendirmeleri

Bitkilerin azotça daha iyi beslenmeleri durumunda yapraklarında daha fazla azot ve klorofil ihtiva ettikleri bilinmektedir (Wolfe ve ark., 1988). NSPAD değerlerinin buğdayın azotlu gübreleme ihtiyacını belirleme amacıyla da kullanılmaktadır (Lopez-Bellido, 2004). Diğer başka çalışmada, Santos ve ark., (2019) Spadmetre kullanılarak azot yeterlilik endeksi (NSI) belirlenebileceği, ilkbahar dönemi üst gübrelemede uygulanacak N miktarını tahmin etmeye yönelik çalışma yürütmüşlerdir. Aynı şekilde, optik sensörlerin verim ve biyokütle özelliklerini tahmin etmek için geniş alanda kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Christoph ve ark., 2018). Burada dönemler arası farklılıkları daha iyi gösterebilmek için, azotlu gübrelemenin NSPAD (eşitlik 1) değerleri üzerine etkisi Şekil 4' de grafik olarak verilmiştir. Şekilde en çok dikkati çeken durum, verim için optimum azot seviyesinde (9 kg N da⁻¹) tüm dönemlerde NSPAD benzer değerleri alırken, azot noksanlığı halinde dönemler arası farkın açılmış olmasıdır. Burada da Zadoks 2.4 diğerlerinden farklı biçimde ayrılarak en sınırlı reaksiyonu verirken, en büyük azot etkisi Zadoks 3.2 döneminde görülmekle birlikte, sapa kalkma başlangıcından itibaren yapılan 3 okuma dönemi arasındaki fark o kadar büyük olmamıştır. Bu amaçla öncelikle değişik dönemler için kritik NSPAD değerlerinin tespit edilmesi gerekmiştir. Azotlu gübrelemenin ekonomik olabilmesi (1 kg N da⁻¹ uygulamasının en az 2.9 kg da⁻¹ verim artışı sağlayabilmesi) için en düşük NSPAD değerinin ne olduğu incelenmiştir. 4 ayrı dönem için yapılan bu hesaplar, Şekil 4' de dönemler için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekildeki grafiklere bakıldığında, NSPAD değerlerindeki artışın verimde neden olduğu artışı gösteren quadratik eğrilerin eğimi yönünden dönemler arasında fark olsa bile, 4 dönemde de aynı 0.95 kritik eşik değeri elde edildiği görülmektedir. Yurt dışındaki farklı araştırmalarda da, hem buğday hem de mısırdaki, aynı 0.95 kritik eşik değeri bulunmuş ve Klorofil Yeterlilik İndeksi (Chlorophyll Sufficiency Index) olarak adlandırılmıştır (Blackmer ve ark., 1993;

Blackmer ve Schepers, 1994; Blackmer ve Scheper, 1995). En sık kullanılan azot yeterlilik indeksi (nitrogen sufficiency index-(NSI)) değeri 0.95'tir. Bu nedenle, referans alanındaki okumanın (NSI) değerinin % 95'inin altında olduğunda, azot gübrelemesi gerektiği belirtilmiştir. (Rambo ve ark., 2007, Santos ve ark., 2019). Çeltikte yapılan çalışmada yeterlilik indeksi değeri (Sufficiency index) % 90'nın altında olduğunda 3 kg Nda⁻¹ üre uygulaması önerildiği belirtilmiştir (Hussain ve ark., 2000). Bijay-Singh ve ark., 2013 yılında Güney Asya'da yürütülen çalışmada 3 kg N da⁻¹ maksimum kardeşlenme dönemi öncesinde SPAD ve NDVI okumaları yapılarak INSEY değeri 0.005-0.011 değeri arasında iken uygulanan

azot ile verim artışı sağlandığı belirtilmiştir. Klorofil, bitkilerin yeşil renginden sorumlu pigmenttir ve fotosentezdeki ışığı yakalayan molekül-bitki üretimini belirleyen temel metabolik süreçlerdir (Araus ve ark., 1997). Zadoks 2.4 dönemi dışındaki 3 dönem arasında önemli fark görülmediği için ve NDVI değerlendirmeleri bölümünde açıklandığı gibi, Zadoks 3.0 döneminde uygulanan azotun kışlık buğdayda gelişmeye en büyük etkiyi yaptığı belirtilmiş olduğundan (Melaj ve ark., 2003), bu döneme ilişkin hesaplamalar yoluyla, farklı NSPAD okumalarının karşılığı olan azotlu gübre ihtiyaçları Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Kuruda kalibrasyon denemesinde Zadoks 3.0 döneminde elde olunan verilerden hesaplanan NSPAD değerlerine dayalı azotlu gübre ihtiyaçları

Table 4. Nitrogen fertilizer recommended based on NSPAD values calculated from the data obtained in the Zadoks 3.0 stage in the rainfed calibration experiment.

ELDE OLUNAN DEĞERLER		FARKLAR	
NSPAD	AZOT DOZU (kg N da ⁻¹)	NSPAD (0,95' den fark)	EK AZOT İHTİYACI (kg N da ⁻¹)
0.95	9.2	-	-
0.94	7.0	0.01	2.2
0.93	5.7	0.02	3.5
0.92	4.6	0.03	4.6
0.91	3.6	0.04	5.6
0.90	2.8	0.05	6.4
0.89	2.0	0.06	7.2
0.88	1.3	0.07	7.9
0.87	0.6	0.08	8.6
0.86	0.0	0.09	9.2

Çizelgede 4'den de görülen değerlerin hesaplanmasında önce NSPAD ve verim arasındaki regresyon analizinden hangi NSPAD değerinin, çeşitlerin ortalaması üzerinden hangi verim düzeyine karşılık olduğu bulunmuş, daha sonra NSPAD ve azot dozu arasındaki regresyon analizinden değişik NSPAD düzeylerinin karşılığı olan azot seviyeleri belirlenmiştir. Daha önce 0.95 NSPAD değeri kritik eşik olarak belirlenmiş olduğu için okumalardan hesaplanan NSPAD değerlerinin 0.95'ten olan farklarına göre kaç kg azot ilavesine ihtiyaç gösterdiği aradaki farklardan bulunmuştur. Örneğin, Çizelge 4'den de görüldüğü gibi, Zadoks 3.0 döneminde azotça zenginleştirilmiş şeritten SPAD = 40 değeri, tarlanın tavsiye yapılacak kalan kısmındansa ortalama SPAD = 36 değeri okunmuş olsun. Bu durumda NSPAD = 36 / 40 = 0.90 olacaktır. Bu değer eşik değerin 0.95 – 0.90 = 0.05 altındadır. Öyleyse tavsiye edilecek miktar 6.4 kg N da⁻¹ olacaktır. Azotlu gübre uygulanmayan kontrol parsellerinin ortalama NSPAD değeri olan 0.86 okuma halinde 9.2 kg N da⁻¹ tavsiye gösteren Zadoks 3.0, doğrudan verimlerden hesaplanan optimum N ihtiyacına yakın değer vermektedir.

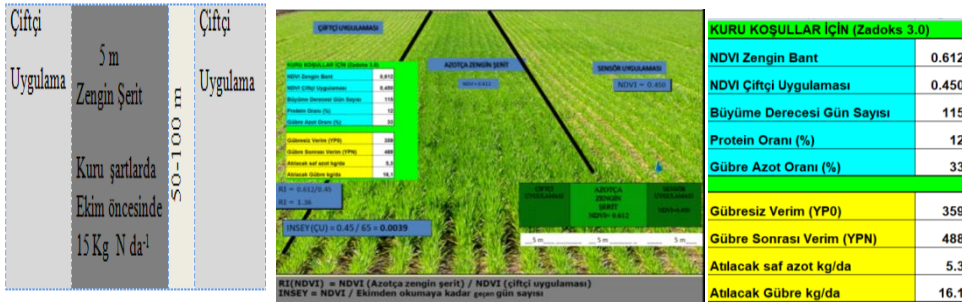
Çiftçinin ekimle birlikte az çok azotlu gübre uyguladığı kuru koşullarda üretme durumlarında ender rastlanacak kadar küçük bir değerdir. Esasen, Zadoks 3.0 döneminde 0.90' ın altında okunan NSPAD değerlerinin az çok kesinleşmiş bir verim düşmesini gösterdiği, böyle bir durumda yapılacak ilave gübrelemeyle potansiyel verimi yakalamanın zor olacağı ifade edilmektedir (Varvel ve ark., 1997). Görüldüğü gibi, çiftçi koşullarında Zadoks 3.0 döneminde genellikle 0.90 ile 0.95 gibi çok dar sınırlar arasında bile önemli verim farklılıkları yaratabilen NSPAD değerlendirmelerinde hataya düşmemek için çok dikkatli olmak gerekmektedir. Spadmetre okumaları Zadoks 2.4 ve ZD3.0 dönemlerinde bitkilerde okuma zorluğu ve kişiler arasındaki okumalardaki farklılıklar nedeniyle erken dönem spadmetre okumaları ile azotlu gübre tavsiyesi zorunlu olmadıkça önerilmemektedir. Sulu ve kuru şartlarda buğday bitkisinde başaklanma döneminde azotlu gübre tavsiyesinde spadmetre kullanılabilir olduğu bildirilmiştir (Savaşlı ve ark., 2017; Savaşlı ve ark., 2018). Erken ilkbahar döneminde NDVI okumaları kolay ve pratik kişiler arasında okumalarda

farkların az olması bu sistemin azotlu gübrelemede kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu amaçla çiftçi tarlalarında demonstrasyon çalışması NDVI ile yapılmıştır.

Demonstrasyon çalışmaları (NDVI)

Şekil 5' den de görüldüğü gibi, ekim öncesinde 15 kg Nda⁻¹ azotça zenginleştirilmiş 250-500 m² lik azotça noksan olmayan bir zengin şerit oluşması gerekir. Bu şerit tarlanın büyüklüğüne göre 2 veya 3 adet olabilir. Bu zengin şerit oluşturulduktan sonra tırmık çekilerek çiftçi geleneksel olarak gübreleme ve ekim işlemi uygulanır. İlkbahar Zadoks 3.0 döneminde zengin şerit ve çiftçi uygulama kısmından NDVI okuması yapılır. Çizelge 4'deki mavi renkli alan doldurulur. Örnek olarak Şekil 5'den de görüldüğü gibi tarlanın zengin şerit kısmından NDVI: 0.612 okuması yapılır ve Şekil 5 excel azot tavsiye tablosuna kayıt edilir. Çiftçi uygulama kısmı ise çiftçinin normal geleneksel uygulama alanından bir NDVI=0.450 okuması yapılarak tabloya kayıt edilir. Ekimden okuma tarihine kadar geçen gün (4.4 °C üstündeki gün sayısı) (GDD) kayıt edilir. ilkbahar dönemi kullanılacak

gübre çeşidi amonyum nitrat % 33, excel tablosu doldurulur. Hesaplamalar mavi alana göre yapılır ve sarı renkli alanda tahmini verim hesaplaması (sapa kalkma dönemi Zadoks 3.0 döneminde) ve kalibrasyon çalışmasında elde edilen denkleme göre gübre tavsiyesi yapmaktadır. Atılacak gübre 16.1 kg amonyum nitrat (%33) gübre uygulanması ile tahmini olarak 488 kg verim alınacağı hesaplanmıştır. Çizelge 5'den de görüldüğü gibi, 8 çiftçi tarlasından alınan değerlerin karşılaştırılması sonunda, yöntemin önerdiği azot dozlarının çiftçi uygulamasıyla benzer verim düzeylerinde 0.9 kg N da⁻¹ daha az azot kullanım sağladığı görülmüş, aynı zamanda çiftçi uygulamasına göre sensor tavsiyesi 14 kg verim farkı olduğu belirlenmiştir. Yani sistemin ekonomik etkinlik yönü öne çıkmıştır. Çiftçi tarlalarında oluşturulan zengin şeritlerde optik sensör kullanılarak azotlu gübre tavsiyesi yapılabileceği bildirilmiştir (Singh ve Mohamed, 2020). Çiftçi uygulamalarına kıyasla optik sensör uygulamalarıyla aynı verim düzeylerinde ortalama hektara 69 kg azot tasarruf sağlayabildiklerini bildirilmiştir (Ortiz-Monasterio ve Raun 2007).



Şekil 5. Çiftçi tarlalarındaki demonstrasyon uygulaması ve kuru koşullar için gübre tavsiye excel dosyası
Figure 5. Fertilizer recommendation excel file for demonstration application in rainfed conditions

Çizelge 5. Sensör uygulamasında elde edilen tane verimleri

Table 5. grain yield obtained in sensor application.

Çeşit	Uygulanan Toplam Azot (kg N da ⁻¹)		Gerçekleşen Dane Verimi(kg da ⁻¹)	
	Çiftçi Uyg.	SİSTEM	Çiftçi Uyg.	SİSTEM
1 Altay2000	7.9	7.9	341	322
2 Sönmez2001	7.9	7.9	307	287
3 Bezostaja1	7.9	7.3	311	261
4 Gerek79	7.9	6.0	231	254
5 Altay2000	7.3	5.3	314	381
6 Es26	7.3	6.3	387	375
7 Altay2000	7.3	6.7	471	591
8 Bezostaja1	7.3	6.4	414	414
Ortalama	7.6	6.7	347	361
	Fark	0.9	Fark	14

* Demonstrasyonlar tekerrürsüz olarak kurulmuştur. Uyg: uygulama

SONUÇ ve ÖNERİLER

2007-2011 yılları arası yürütülen TÜBİTAK 106G111 nolu proje kapsamında, azotlu gübre tavsiyelerinde verim tahmini için kuru koşullarda kullanılan

kalibrasyon denklemleri elde edilmiştir (Eşitlik 3). Kuruda ZADOKS 3.0: VERİM (kgda⁻¹) = 22.8 + 85849 (INSEY) (3). Bu çalışmanın amacı, bu çeşitler için optimum azot dozu belirlemek değil, tam tersine, genel

ortalama üzerinden, tarla düzeyinde ve yılın gidişine göre tavsiye yapabilmek için yöntem geliştirmektir. Erken gelişmenin çok zayıf olduğu bazı tarlalarda Zadoks 2.4 (4 kardeşli) döneminde yapılan okumalar yanıltıcı sonuçlar verebilir. Sonuç olarak, sapa kalkmadan sonra, tarlaya traktörle girmenin zorluğu ve taşıdığı risk te düşünülerek Zadoks 3.0 (sapa kalkma başlangıcı) döneminin bu sistem için kuruda da en uygun okuma/gübre tavsiye dönemi olduğuna karar verilmiştir. Kuru şartlarda 8 çiftçi tarlasından alınan değerlerin karşılaştırılması sonunda, yöntemin önerdiği azot dozlarının çiftçi uygulamasıyla benzer verim düzeylerinde 0.9 kg N da⁻¹ daha az azot kullanım sağladığı görülmüş, yani sistemin ekonomik etkinlik yönü öne çıkmıştır. Burada iki optik sensor değerlendirildiğinde spadmetre kullanımı zor, greenseeker kullanımı kolay ve pratiktir. Bu amaçla NSPAD değerlerindeki artışın verimde neden olduğu artışı gösteren 4 dönemde de aynı 0.95 kritik eşik değeri Klorofil Yeterlilik İndeksi (Chlorophyll Sufficiency Index) olarak belirlenmiştir. Erken ilkbahar dönemi azotlu gübre tavsiyesinde NDVI kolay, pratik ve uygulanabilir olması yönünden tavsiye edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri, TÜBİTAK-KAMAG tarafından desteklenen 106G111 nolu proje kapsamında yapılan araştırma sonuçlarından hazırlanmıştır. Söz konusu projenin Ülkemiz için gerekliliğine inanarak müşteri olan Tarım ve Orman Bakanlığı ile Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğüne ve destekleyen TÜBİTAK'a bütün proje ekibi olarak teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

Araus JI, Bort J, Ceccarelli S, Grando S, 1997. Relationship Between Leaf Structure And Carbon Isotope Discrimination In Field Grown Barley. *Plant Physiology and Biochemistry*(35):533–541.

Bijay-Singh, Varinderpal-Singh, Yadvinder-Singh, Thind HS, Ajay-Kumar, Satinderpal-Singh, Choudhary OP, Gupta RK, Vashistha M 2013. Supplementing Fertilizer Nitrogen Application to Irrigated Wheat at Maximum Tillering Stage Using Chlorophyll Meter and Optical Sensor. *Agricultural Research*(2):81–89.

Blackmer TM, Schepers JS, Vigil MF 1993. Chlorophyll Meter Readings In Corn As Affected By

Plant Spacing. *Communications Soil Science and Plant Analysis*(24): 2507–2516.

Blackmer TM, Schepers JS 1994. Techniques For Monitoring Crop Nitrogen Status In Corn. *Communications Soil Science and Plant Analysis* (25):1791–1800.

Blackmer TM, Schepers JS 1995. Use Of A Chlorophyll Meter To Monitor Nitrogen Status And Schedule Fertigation For Corn. *Journal of Production agriculture*(8): 56–60.

Bremner JM 1965. Nitrogen Ed.: C.A.Black. Ed: Method of Soil Analysis. Part:II. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Series. No:9. Agronomy. Inc. Madison. Wisconsin. USA.

Çekiç C, Kalaycı HM, Savaşlı E, Önder Ö, Dayıoğlu R, Karaduman Y, Yorgancı Ö, Gökmen F, Dursun N, Gezgin S 2011. "Eskişehir Koşullarında Mevsim İçi Azotlu Gübre Yönetim Sistemlerinin Ekmeklik Buğdayın Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması" TÜBİTAK 106G111' nolu projesi.

Chapman HD 1960. Leaf And Soil Analysis In Citrus Orchards – Criteria For The Diagnosis Of Nutrient Status And Guidance Of Fertilization And Soil Management. Riverside: Univ. of California(98): 53.

Christoph W, Gerassimos Z, Peteinatos G, Link J, Claupein W 2018. Utilisation of Ground and Airborne Optical Sensors for Nitrogen Level Identification and Yield Prediction in Wheat. *Agriculture* (8): 79.

Franzen D, Kitchen N, Holland K, Schepers J, Raun W 2016. Algorithms for In-Season Nutrient Management in Cereals. *Agronomy Journal*(108):1–7.

Hussain F, Bronson KF, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, Peng S 2000. Use Of Chlorophyll Meter Sufficiency Indices For Nitrogen Management Of Irrigated Rice In Asia. *Agronomy Journal*, 92(5): 875–879.

JMP. 2014 Scintilla - Copyright (C) 1998-2014 by Neil Hodgson;neilh@scintilla.org,SAS Institute. JMP 13.0 Users Guide. Carry, NC: Release SAS Institute Inc

Kalaycı M, Kaya F, Aydın M, Özbek V, Atlı A 1996. Batı Geçit Bölgesi Koşullarında Buğdayın Verim Ve Tane Protein Kapsamı Üzerine Azotun Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry (Özel Sayı)* (20):49-59.

Lopez-Bellido RJ, Shepherd CE, BarracloughPB 2004. Predicting Post-Anthesis N Requirements On Bread Wheat With A Minolta SPAD Meter. *European Journal of Agronomy* (20): 313–320.

Markwell J, Osterman JC, Mitchell JL 1995. Calibration Of The Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. *Photosynthesis Research* (46): 467–472.

Melaj MA, Echeverria HE, Lopez SC, Studdert G, Andrade F, Barbaro NO 2003. Timing Of Nitrogen Fertilization In Wheat Under Conventional And

- No-Tillage Systems. *Agronomy Journal*(95):1525-1531.
- Minolta 1989. Chlorophyll Meter SPAD 502. Minolta, Instruction Manual. Minolta Co. Ltd. Radiometric Instruments Operations. Osaka, Japan.
- Mullen RW, Thomason WE, Johnson GV, Freeman KW, Stone ML, Solie JB, Raun WR 2001. Use Of An In-Season Response Index To Predict Potential Yield Increases From Applied Nitrogen. In Annual Meeting Abstracts (CD-ROM). The American Society of America Crop Science Society of America and Soil Science Society of America Madison, WI.
- Mullen RW, Freeman KW, Raun WR, Johnson GV, Stone ML, Solie JB 2003. Use Of An In-Season Response Index To Identify The Potential To Increase Wheat Yield With Additional Nitrogen. *Agronomy Journal*(95):347-351.
- Ortiz-Monasterio JI, Raun WR 2007. Reduced Nitrogen For Improved Farm Income For Irrigated Spring Wheat In The Yaqui Valley, Mexico, Using Sensor Based Nitrogen Management. *Journal of Agricultural Sciences*(145):215-222.
- Palta JA, Bowden W, Asseng S 2003. Timing Of Late Applications Of N Fertiliser And Season On Grain Yield And Protein In Wheat. Proceedings Of The 11th Australian Agronomy Conference, Geelong.
- Penuelas J, Gamon JA, Griffinand KL, Field CB 1993. Assessing Community Type, Biomass, Pigment Composition And Photosynthetic Efficiency Of Aquatic Vegetation From Spectral Reflectance. *Remote Sensing Environment Journal*(46):110-118.
- Pivoto D, Waquil PD, Talamini E, Finocchio CPS, Dalla Corte VF, de Vargas Mores G 2018. Scientific Development Of Smart Farming Technologies And Their Application In Brazil. *Information Processing In Agriculture*5(1): 21-32.
- Rambo L, Da Silva PRF, Strieder ML, Sangoi L, Bayer C, Argenta G 2007. Monitoramento Do Nitrogênio Na Planta E No Solo Para Predição Da Adubação Nitrogenada Em Milho *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(3): 407-417.
- Raun WR, Johnson GV, Stone ML, Solie JB, Lukina EV, Thomason WE, Schepers JS 2001. In-Season Prediction Of Potential Grain Yield In Winter Wheat Using Canopy Reflectance *Agronomy Journal*(93): 131-138.
- Raun, WR, Solie JB, Johnson GV, Stone ML, Mullen RW, Freeman KW, Thomasson WE. Lukina EV 2002. Improving Nitrogen Use Efficiency In Cereal Grain Production With Optical Sensing And Variable Rate Application. *Agronomy Journal* (94):815-820.
- Raun WR, Solie JB, Stone ML, Martin KL, Freeman KW, Mullen RW, Zhang H, Schepers JS, Johnson GV 2005. Optical Sensor-Based Algorithm For Crop Nitrogen Fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(19-20), 2759-2781.
- Santos AB dos, Soler-Silva MA, Silveira PM da, Carvalho GD, Stone LF 2019. Nitrogen Sufficiency Index For Estimating Nitrogen Fertilizer Requirement Of Irrigated Rice. *Revista Ceres journal* 66(6):422-430.
- Savaslı E, Önder O, Cekic C, Kalaycı HM, Dayıoğlu R, Karaduman Y, Gökmen F, Dursun N, Gezgin S 2017. The Effects Of Foliar Nitrogen Treatments At Heading Stage On Grain Protein Contents Of Bread Wheat Cultivars Selcuk *Journal of Agriculture and Food Sciences* 31(1):42-47.
- Savaşlı E, Önder Ö, Çekiç C, Kalaycı HM, Dayıoğlu R, Karaduman K, Gökmen F, Dursun N, Gezgin S 2018. Sulu Şartlarda Ekmeklik Buğdayda Başaklanma Döneminde Yaprak Solüsyon Uygulamasının Tane Protein Kapsamı Üzerine Etkisi. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi* 6(1): 84-90.
- Singh Bijay, Mohamed A 2020. Using Hand-Held Chlorophyll Meters and Canopy Reflectance Sensors for Fertilizer Nitrogen Management in Cereals in Small Farms in Developing Countries. *Sensors* 20(4): 1127.
- Steven MD, Malthus TJ, Demetriades-Shah TH, Danson FM, Clark JA 1990. High spectral resolution indices for crop stress. In: Steven MD, Clark JA. Applications of remote sensing in agriculture. Butterworths, p209-228.
- Stone ML, Solie JB, Raun WR, Whitney RW, Taylor SL, Ringer JD 1996. Use Of Spectral Radiance For Correcting In-Season Fertilizer Nitrogen Deficiencies In Winter Wheat. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 39 (5): 1623-1631.
- Varvel GE, Schepers JS, Francis DD 1997. Ability For In-Season Correction Of Nitrogen Deficiency In Corn Using Chlorophyll Meters. *Soil Science Society of America Journal* (61): 1233-1239.
- Walsh O, Shafian S, Christiaens RJ 2018. Evaluation Of Sensor-Based Nitrogen Rates And Sources In Wheat. *International Journal of Agronomy Volume* 2018 Hindawi 5670479.
- Wolfe DW, Henderson DW, Hsiao TC, Alvino A 1988. Interactive Water And Nitrogen Effects On Senescence Of Maize. II. Photosynthetic Decline And Longevity Of Individual Leaves. *Agronomy Journal*(80): 865-870.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF 1974. A Decimal Code For The Growth Stages Of Cereals. *Weed Research* (14): 415-421