



A Calibration Study for Sensor-Based In-Season Nitrogen Management of Irrigated Winter Wheat

Erdinç Savaşlı^{1,a,*}, Oğuz Önder^{1,b}, Ramis Dayıoğlu^{1,c}, Didem Özen^{1,d}, Suat Özdemir^{1,e}, Yaşar Karaduman^{2,f}, Özgür Ateş^{1,g}, Melih Özsayın^{1,h}

¹Transitional Zone Agricultural Research Institute, 26170 Tepebaşı/Eskişehir, Turkey

²Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University Eskişehir, 26040 Eskişehir, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 10/04/2020 Accepted : 04/06/2020</p> <p>Keywords: Wheat Nitrogen Optic sensor NDVI INSEY</p>	<p>This study was conducted at Transitional Zone Agricultural Research Institute in Eskişehir, in 2017-2019 growing seasons. In the study, responses of four winter wheat cultivars (Atay85, Hat 31, Yunus and Nacibey) to nitrogen fertilization under irrigation conditions were compared with vegetation indices based on spectral reflection and In-Season Estimates of Yield calculated from these indices. GreenSeeker™ (NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) hand-held sensor was used for this purpose. The experimental layout were used 0, 4, 8, 12, 16 and 20 kg N/da nitrogen rates 2 factor factorial in randomized complete block design in the experiment. 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. A comparison of the system with traditional farmer applications, based on the average of 3 experiment fields, the new system was shown to give similar yields with 2,8 kg/da less N in the spring (ZD3,0), showing its economically promising value. The sensor application is determined to be 2% more economically effective than farmer application. Economic nitrogen dose respectively Atay85, Hat 31, Yunus and Nacibey was determined as the nitrogen dose 12,6 kgN/da, 14,1 kgN/ da, 14,4 kg N/da and 17,9 kgN/da.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(9): 1882-1891, 2020

Sulu Şartlar İçin Geliştirilen Ekmeklik Buğday Çeşitlerine Optik Sensör ile Azotlu Gübre Tavsiyesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 10/04/2020 Kabul : 04/06/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Buğday Azot Optik sensör NDVI INSEY</p>	<p>Bu çalışma, 2017-2019 yılları arasında Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisinde yürütülmüştür. Çalışmada, dört kışlık (Atay85, Hat 31, Yunus ve Nacibey) buğday çeşidinin sulu koşulları altında azot gübrelemesine verdikleri tepkiler, spektral yansımaya dayalı bitki örtüsü indeksleri ve bu endekslere hesaplanan Mevsimsel Verim Tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla GreenSeeker™ (NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) el tipi sensör kullanılmıştır. Deneme, Tesadüf Bloklarında Faktöriyel deneme deseninde ve 6 farklı 0, 4, 8, 12, 16 ve 20 kg N/da azot oranları kullanılmıştır. Vegetasyon indeksleri (NDVI) Zadoks2,4, Zadoks3,0, Zadoks3,1 ve Zadoks3,2 büyüme dönemlerinde okunmuştur. Zadoks3,0 (sapa kalkma dönemi) en gerçekçi okuma dönemi olarak belirlenmiştir. Sistemin geleneksel çiftçi uygulamaları ile karşılaştırıldığında, 3 deneme ortalamasına göre, yeni sistemin, ilkbahar dönemi azot uygulamalarında 2,8 kg/da daha az N (ZD3,0) ile benzer verimler sağladığı ve ekonomik açıdan ümit verici olduğunu görülmüştür. Sensör uygulamasının çiftçi uygulamasından % 2 daha ekonomik olarak etkin olduğu belirlenmiştir. Ekonomik azot dozu sırasıyla Atay85, Hat 31, Yunus ve Nacibey 12,6 kg N/da, 14,1 kg N/da, 14,4 kg N/da ve 17,9 kg N/da azot dozu olarak belirlenmiştir.</p>

^a erdinc.savasli@tarimorman.gov.tr

^b <https://orcid.org/0000-0001-5326-4710>

^c oguz.under@tarimorman.gov.tr

^d <https://orcid.org/0000-0002-8184-1316>

^e ramis.dayioglu@tarimorman.gov.tr

^f <https://orcid.org/0000-0001-5326-4710>

^g didem.ozen@tarimorman.gov.tr

^h <https://orcid.org/0000-0002-2495-0516>

ⁱ suat.ozdemir@tarimorman.gov.tr

^j <https://orcid.org/0000-0002-5089-807X>

^k yasarkaraduman1973@gmail.com

^l <https://orcid.org/0000-0003-1306-3572>

^m ozgur.ates@tarimorman.gov.tr

ⁿ <https://orcid.org/0000-0002-9345-417X>

^o melih.ozsayin@tarimorman.gov.tr

^p <https://orcid.org/0000-0002-0332-0734>



Giriş

Azot buğdayın verim ve kalitesi için fizyolojik ve biyokimyasal faksiyonlarında hayati rol oynamaktadır (Leghari ve ark., 2016). Azotun bitkiye ne zaman verileceğinden daha ziyade bitkinin azotu ne zaman kullandığı önemli bir konudur. Bu nedenle bitkilerin azotu kullanacağı zaman toprakta mevcut azotun alınabilir formda bulunması gerekmektedir (Provin ve Hossner, 2001). En uygun tavsiye düzeyi belirlenirken de hedeflenen tane verim düzeyleri ve üreticinin geçmiş deneyimlerinin birlikte kullanılmalıdır (Westfall ve ark., 1996). Son yıllarda elde edilmesi beklenen verim düzeyleriyle azotlu gübrelemeye alınacak karşılığı yıl içinde ve tarla düzeyinde belirlemeye yönelik mevsim içi azotlu gübre yönetim sistemleri geliştirilmiş olup farklı bitki gruplarında geliştirilen kalibrasyonlar ile son yıllarda sensörlere dayalı gübre tavsiye sistemlerinin kullanımı artmaya başlamıştır (Franzen ve ark., 2016). Böylece azot kullanımında girdi ekonomisi sağlanırken aynı zamanda gereksiz kullanım ile çevreye verilen zararlarda önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu sistemlerin ekmeclik buğday azotlu gübre tavsiyesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çok yıl ve lokasyonda denemeler sonucu kalibrasyon çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bunun içinde bu kalibrasyon çalışmalarında her bölge için geliştirilen kalibrasyon denklemleri bu bölgelerde çiftçi tarlalarında oluşturulan zengin şerit (azotça zenginleştirilmiş) bantları ile test edilmelidir. Bu kalibrasyon çalışmalarında temel prensip buğdayda fazla veya yetersiz azotlu gübrelemede görülen yeşil renkteki değişimlerdir. Azot eksikliğinde, yaprak klorofil konsantrasyonlarında azalmaya neden olmakta (Peñuelas ve ark., 1993); ve bitkiler kırmızı yansıma alanlarında daha fazla yansıma vermektedir (Demetriades-Shah ve Steven, 1988).

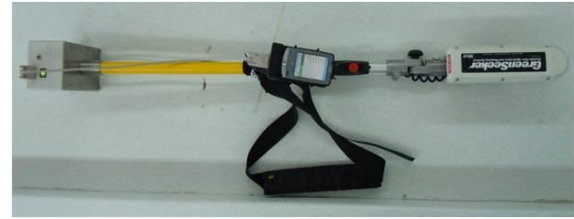
Bijay-Singh ve ark., 2013 Güney Asyada yürütülen buğdayda kardeşlenme dönemi yapılan çalışmalarda, INSEY değeri 0,005-0,011 değeri arasında iken uygulanan azot ile verim artışı sağladıklarını belirtmişlerdir. Franzen ve ark., (2016) son yıllarda sensörlere dayalı algoritma çalışmalarında optimum ürün için azot dozlarını belirlemek için genel matematik modellerini geliştirmeye odaklanmıştır. Tane veriminin ve azot kullanım etkinliğinin (NUE) iyileştirilmesi için tahıl tane üretim sistemlerinde kullanılan mevsim içi sensöre dayalı algoritmaları tanımlanmışlardır. Yapılan diğer çalışmalarda kışlık buğdayda optik sensör yansımalarının toplam bitki kütlesi (biyomas) ile yüksek korelasyon verdiği (Stone ve ark., 1996), sapa kalkma döneminde (Zadoks 3,0) uygulanan azotun verim üzerine etkili olduğu (Savaşlı ve ark., 2018) sapa kalkma başlangıcında sensör yansıma değerleri aracılığıyla verim potansiyelinin belirlenebileceğini göstermiştir (Raun ve ark., 2002). Bu amaçla kurulan kalibrasyon denemeleri aracılığıyla INSEY değerleri ile verim arasındaki ilişkiyi gösteren kalibrasyon denklemleri elde edilmekte ve daha sonra çiftçi tarlalarında yapılacak tavsiyelerin hesaplanmasında bu denklemlerden yararlanılmaktadır.

Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünde yürütülen bu çalışma kapsamında optik sensörler kullanılarak son yıllarda sulu koşullar için geliştirilen ekmeclik buğday çeşitlerinde en yüksek tane verimi için azotlu gübre tavsiye için yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Deneme Yeri ve Materyali

Çalışmada materyal olarak sulu koşullar için son yıllarda geliştirilen Yunus, Nacibey, Atay85 çeşitleri ile ileri kademe ümitvar Hat31 hattı kullanılmıştır. Tesadüf Bloklarında Faktöriyel deneme deseninde yürütülen denemede 0, 4, 8, 12, 16 ve 20 kg N/da azot seviyeleri karşılaştırılmıştır. Zadoks (ZD) 2,4 (kardeşlenme), ZD 3,0 (sapa kalkma başlangıcı), ZD 3,1 (sapa kalkma 1 boğumlu dönem) ve ZD 3,2 (sapa kalkma 2 boğumlu dönem) olmak üzere 4 ayrı dönemde vejetasyon indeksi (NDVI) okumaları yapılmıştır. Bu kalibrasyon çalışmalarını uzun süredir yürüten Oklahoma Eyalet Üniversitesi ve CIMMYT'in uyguladığı azotlu gübre kullanma biçimine uygun olarak azotun tamamı ekimle birlikte verilmiştir. Bunun gerekçesi, azotlu gübrenin kullanılmasıyla bitki tarafından alınıp 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 tamamının verilmesi) kalibrasyon denklemi oluşturma amacı ile kullanılmakta olduğundan hiçbir koşul altında çiftçiye tavsiye edilecek bir usul olarak düşünülmemiştir.



Şekil 1. NTech, GreenSeeker Model 505, spektrometre ve küçük el tipi optik sensör

Figure 1. NTech, GreenSeeker Model 505, spectrometer and small hand-held optical sensor

Optik sensör ile Bitki İndekslerinin Ölçülmesi

Optik sensör ölçüm cihazları ile Normalize edilmiş vejetasyon indekslerinin farkı (NDVI) ölçümü yapılmıştır. Optik sensör ölçüm cihazında NDVI ve SR ölçümü GreenSeeker (Ntech Handheld 505) cihazı ile yapılmıştır (Şekil 1). Sistem spektral yansıma prensibine göre çalışmakta olup, bu değerleri değişik dalga boylarındaki yansımalar üzerinden hesaplamaktadır (Peñuelas ve ark., 1993). Okumalar algılayıcı sensör bitki örtüsünden 80,0 cm mesafeden yapılmıştır. Oklahoma Eyalet Üniversitesi tarafından geliştirilen Optik sensör (Green Seeker) cihazıyla okunmuştur. 4 dönemde okunan NDVI indeks değerlerinden hesaplanan vejetasyon indeksine dayalı Karşılık İndeksi Değerlerinin, hasatta verim açısından elde olunan gerçek karşılık indeksleriyle arasında korelasyon çalışması yapılmış ve okuma tarihleri için hesaplanan INSEY değerleriyle hasatta elde olunan gerçek verim değerleri arasındaki ilişkiden regresyon analizi sonucu kalibrasyon denklemleri hesaplanmıştır. Mevsim içi yansımaları kullanılarak, okuma anında azotça zengin şeridin NDVI değeri kontrol parsellerinin NDVI değerine bölünerek elde olunan değer de NDVI karşılık indeksi (RI_{NDVI}) olarak tanımlanmıştır ve bu iki indeks değeri arasında yüksek düzeyde korelasyon bulunduğu belirlenmiştir (Mullen ve ark., 2003). Mevsim içinde elde

olunan okumalarla tahmin edilen biyolojik kütleyle ilişkin değeri doğrudan kullanmaya oranla, bu biyolojik kütlelenin ekimden itibaren birim zamandaki gelişmesini gösteren INSEY (In-Season Estimate of Yield = Mevsim İçi Verim Tahmini) kavramının verim potansiyelini tahmin etmekte daha etkili olduğu belirlenmiştir (Raun ve ark., 2001).

Çizelge 1’de 3 yıllık iklim verileri verilmiştir. 2018-2019 yılında sonbahar dönemi yağışların az olması çıkışların geçikmesine neden olmuştur. Çizelge 2’de deneme yerlerinden alınan toprakların kimyasal özellikleri verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi deneme alanlarının toprak nitrat azotu düzeyleri düşüktür. Deneme yerleri seçilmeden önce örnek alınan tarlalardan bu özellikleriyle seçilmişlerdir. 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 alkalın reaksiyonlu, düşük tuzlu veya tuzsuzdur. Toprak analizleri örnekleri kurutulmadan araziden alındığı nemde Bremner (1965) tarafından önerilen 2 farklı yöntemle NO_3 ve NH_4+NO_3 azotu analizleri yapılmıştır. Bu örneklerde elde olunan analiz sonuçlarından, deneme kurulan alanlara ait veriler Çizelge 2’de verilmiştir. Sulama öncesinde, alınan toprak örneklerinde tarla kapasitesi ve solma noktası tayinleri yapılarak, toprağın 0-90 cm profil derinliğini tarla kapasitesine getirmek için gerekli su miktarı belirlendikten sonra, sulama yapılmıştır. Fenolojik gelişme dönemlerine bağlı ve ilki sapa kalkma, diğeri başaklanma döneminde olmak üzere 2 sulama yapılmıştır. Sulu şartlarda metrekarede 450 tohum sıklığında ekilmiştir. Denemeler parsel mibzeri (Wintersteiger) ile sıra arası 20 cm ve 6 sıra olarak ekilmiştir. Parsel alanı ekimde $1,2 \times 7 = 8,4$ metrekaREDİR ve parsel alanının $1,2 \times 5 = 6,0$ metrekaresi parsel biçerdöveriyle (Hege-Wintersteiger) hasat edilmiştir. NDVI okumalarının değerlendirilmelerinde ise Karşılık İndeksi (Response Index: Bundan böyle RI olarak anılacaktır) kavramından yararlanılmaktadır (Mullen ve ark., 2003). Buna göre, en yüksek dozda gübrelenen parsellerin NDVI değeri, diğER parsellerin NDVI değerlerine bölünerek elde olunan RI değerleri kalibrasyon denklemlerinin çiftçi tarlalarındaki uygulamalarında kullanılmıştır:

$$\text{RI} = \text{NDVI (uygulama)} / \text{NDVI (kontrol)}$$

Okumaların yapıldığı Zadoks ıskalasına göre tarif edilen gelişme dönemlerinin seçiminde, bu konuda en yaygın araştırmaları yapmış ve yapmakta olan, Oklahoma Üniversitesi ile yine onlarla işbirliği halinde ve aynı yöntemlerle çalışan CIMMYT’in uygulamaları ve tavsiyeleri göz önünde bulundurulmuştur. 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 değerleri bulunmuştur (Raun ve ark., 2002).

Demostasyon Denemeleri

Azotlu gübre tavsiyesinde 2011-2015 yılları arasında TAGEM destekli yürütülen TAGEM/TBAD/12/A12/P01/07-002’NOLU projesinde elde edilen kalibrasyon denklemleri kullanılarak azotlu gübre tavsiyeleri yapılmıştır.

İki yılda (2018-2019) 3 farklı yerde 4 Genotip (Atay85, Hat31, Nacibey ve Yunus) ile demostasyonlar tekerrüzsüz olarak kurulmuştur. Demostasyon çalışmasında 3 adet $3 \times 7 = 21 \text{m}^2$ ’lik alana ekimle birlikte dekara 20 kg Diamaonyum fosfat gübre (3,6 kg N/da) uygulaması yapılmıştır. Zengin serit olarak belirlenen ortadaki parsellere ilave olarak dekara 36 kg/da üre (16,4 kg N/da) gübresi ilave edilerek, geleneksel çiftçi uygulamasında olduğu gibi tüm parsellerin ekimi deneme mibzeri ile yapılmıştır. Ekim öncesinde 20 kg N/da azotça zenginleştirilmiş 21m^2 ’lik azotça noksan olmayan bir zengin şerit oluşturulmuştur.

Verilerin Analizi

Verilerin istatistiksel analizi JMP istatistik programı (JMP, SAS Institute, Cary, NC) aracılığıyla yapılmıştır. Varyans analizi aracılığıyla uygulama etkilerinin önemlilik derecesi test edildikten sonra, ortalamaların karşılaştırılmasında Student’s t yöntemi kullanılmıştır. Bağımsız değişkeni rakamsal olan her çalışmada yapılması gerektiği gibi, varyans analizini takiben regresyon ve korelasyon analizlerine başvurulmuştur.

Çizelge 1. Deneme yerinin aylık yağış miktarları (mm).

Table 1. Amounts of Monthly Precipitation of the experiment (2016-19)(mm)

Aylar	2016-17	2017-18	2018-19	Uzun Yıl
Eylül	29,0	0,5	1,0	14,4
Ekim	7,3	48,4	10,3	27,0
Kasım	27,8	28,6	20,3	29,2
Aralık	27,8	41,8	45,9	45,1
Ocak	39,8	29	60,2	38,7
Şubat	4,5	41,6	50,1	32,5
Mart	24,8	41,1	13,4	33,4
Nisan	66,8	9,5	26,7	35,0
Mayıs	95,8	92,5	42,2	44,8
Haziran	37,9	73,8	45,7	30,6
Temmuz	6,2	60,1	33,5	14,0
Ağustos	43,9	14,6	2,4	7,8
Toplam (mm)	374	482	352	352,4

Çizelge 2. Deneme yerlerinden alınan toprakların kimyasal ve fiziksel özellikleri(0-30 cm),
Table 2. Physical and chemical properties of soil from experiments. (0-30 cm)

Toprak özellikleri	Birimi	2017 MÜES.	2018 YUSUFLAR	2019 YUSUFLAR
*TekstürSınıf		C	C	C
pH (1:2,5.Toprak:Su)		7,52	7,36	7,6
EC (Tuz) (1:5,Toprak:Su)	(µS/cm)	140	130	168
CaCO ₃ (Kireç)	(%)	9,6	13,5	9,2
Organik Madde	(%)	1,1	1,31	2,08
Fosfor (P)	mg /kg	32,1	8,39	20,6
Potasyum (K)	Mg/ kg	666,7	365,4	1043
Fenoldisülfonik Asit Metodu (NO ₃)	mg /kg	3,30	2,29	4,7

*C = Killi (Clay); CL = Killi tın (Clay Loam); SCL = Kumlu Killi Tın (Sandy Clay Loam), 2017 YILI YSN1, 2018 YILI YSN2 VE 2019 YILI YSN3.

Çizelge 3. Sulu koşullarda azotlu gübre kalibrasyon denemesi, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında yürütülen toplam 3 denemenin azotlu gübre dozlarının 4 buğday çeşidinin dane verimleri üzerine etkisi.

Table 3. Nitrogen fertilizer calibration experiment in irrigation conditions, the effect of 3 nitrogen fertilizer rates on the grain yields of 4 wheat varieties in 2017, 2018 and 2019.

Yıllar	Tane Verimi (kg /da) 2017-2019			
	ATAY 85	HAT 31	NACİBEY	YUNUS
2017	771	796	789	792
2018	591	691	642	664
2019	424	533	492	557
Ortalama	595	673	641	671
Azot Dozu (kgN /da)	ATAY 85	HAT 31	NACİBEY	YUNUS
0	480	527	499	551
4	560	602	557	621
8	599	688	637	666
12	628	732	691	711
16	652	732	720	730
20	656	758	743	746
Ortalama	596 C	673 A	641 B	671 A
Azot Dozu (kgN/da)	2017	2018	2019	Ortalama
0	691	561	290	514 e
4	758	637	360	585 d
8	801	671	470	648 c
12	812	682	578	691 b
16	822	669	634	708 ab
20	837	663	677	726 a
Ortalama	787 A	647 B	502 C	645

DK (%) = 9,4 AÖF (0,05) (Y) = 17,8** AÖF (0,05) (Ç) = 20,6** kg/ da, AÖF (0,05) (N) = 24,9** kg da⁻¹, AÖF (0,05) (Ç×N) = 0, d kg da⁻¹, AÖF (0,05) (Y×Ç) = 35,8** kg/da AÖF (0,05) (Y×N) = 42,6** kg/ da, AÖF (0,05) (Y×Ç×N) = 0, d, **: %1, *: %5 düzeyinde önemli, ö. d. : önemli değil; DK: Değişim katsayısı; AÖF: Asgari önemli, YSN1 (2017), YSN2 (2018), YSN3 (2019), Çeşit: Ç, Azot: N, YIL: Y

Bulgular ve Tartışma

Tane Verimi

Denemede elde edilen verim sonuçları Çizelge 3 ve Şekil 2'de verilmiştir. Çizelge 3. incelendiğinde, yıllar açısından en yüksek verim 787 kg/da ile 2017 yılında, alınırken 2018 yılında 647 kg/da olmuş ve en düşük verim 2019 yılında 502 kg/da ile elde edilmiştir. Azotlu gübrelemeye karşılık, tane verimleri değerlendirildiğinde 3 deneme ortalamasına göre en düşük 514 kg/da verim ile kontrolde olurken artan azot dozları ile tane verimi istatistik olarak önemli artış olmuş, en yüksek 726 kg/da ile 20 kg N seviyesinde gerçekleşmiştir. Üç yıllık ortalamaya göre genotiplerden Hat 31 (en yüksek verimi vermiş 673 kg/da), onu sırasıyla Yunus (671kg/da), Nacibey (641 kg/da) ve Atay85 çeşitleri izlemiştir (596 kg/da) (Çizelge 3). Denemelerin ortalaması üzerinden çeşitlerin karşılaştırıldığı Çizelge 4 incelendiğinde ise, çeşitlerin azota verdikleri karşılık arasında farklılıklar olduğu ve bunun doğrudan doğruya çeşitlerin verim

düzeyleriyle alakalı olduğu görülmektedir. Nitekim, bu denemede 4'er kg arayla uygulanan azot seviyelerini karşılaştıran varyans analiz yöntemi sadece bu seviyeleri karşılaştırmakta ve uygulama farklarının önemliliğini test etmektedir. Ara seviyelerin etkilerini görmek ve optimum doz belirlemekse ancak regresyon analiziyle mümkün olmaktadır. Maksimum kazançı belirlemek amacıyla, kuadratik model ile ekonomik azot dozu hesaplanmıştır (Savaşlı ve ark., 2011; Motaka ve ark., 2016). Her ne kadar bu çalışmanın amacı, bu çeşitler için optimum azot dozu belirlemek değil, tam tersine, genel ortalama tavsiyeye alternatif olarak, tarla düzeyinde ve yılın gidişine göre tavsiye yapabilmek için yöntem geliştirmek olsa da, çeşitlerin azota karşılıklarından elde olunan kuadratik regresyon denklemlerinden hesaplanan ekonomik optimum azot seviyeleri Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'den de görülen ekonomik optimum dozların hesaplanmasında, bu

değerlendirmenin yapılmasında TMO'den elde olunan 2019 yılı resmi buğday alım fiyatları ile yine aynı dönemde piyasadaki %46'lık üre fiyatlarının ortalamaları kullanılmıştır (Anonim, 2019). Borsa prim uygulamaları bundan daha yüksek olmakla birlikte borsadan borsaya ve alım mevsimine göre değişiklik gösterdiğinden TMO rakamları esas alınmıştır. Buna göre, söz konusu dönemde 1 kg ürenin ortalama fiyatı 2,5 TL, buğday alım fiyatı 1,33 TL olarak alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ekonomik azot dozu Atay 85, Hat 31 genotiplerinde 12,6 kg/da, 14,1 kg/da Yunus 14,4 kg/da ve Nacibey için 17,9 kg N/da olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

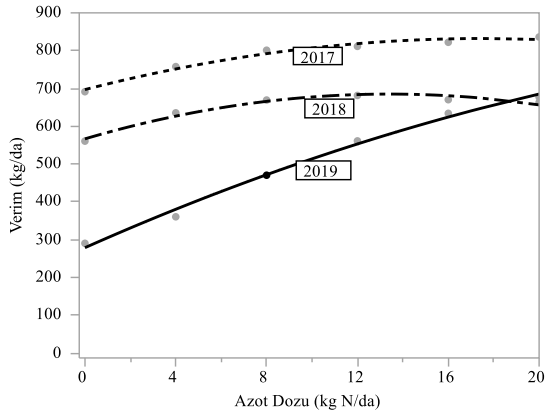
Bu durumda, günümüzde sayıları iyice çoğalan çeşitlerin her biri için kalibrasyon çalışması yapmaya gerek olmadığını, Oklahoma ve Meksika'da olduğu gibi tüm

çeşitlerin ortalaması üzerinden elde olunacak denklemlerin yeterli olduğunu göstermektedir. Her ne kadar bizim çalışmamızda çeşitlerin kendi kalibrasyon denklemleri kullanılmışsa da bölgede ekilen çeşit sayısının kalibrasyon çalışmasında kullanılan 4 çeşitten çok daha fazla olması ve her bir çeşit için ayrı kalibrasyon denemesi kurmanın zorluğu nedeni ile bu çalışmanın dışında yer alan çeşitlerin ekildiği tarlalarda yurtdışında olduğu gibi çeşitlerin ortalaması üzerinden elde olunan kalibrasyon denklemlerinin kullanılabilirliği anlaşılmaktadır (Raun ve ark., 2005). Çünkü verim potansiyelinden kaynaklanan, azot etkilerinin verime yansıma düzeyi arasındaki farklılıklar zaten bu yöntem tarafından görülmekte ve hesaba katılmaktadır.

Çizelge 4. Sulu koşullarda azotlu gübre kalibrasyon denemesi, ekonomik azot dozlarının etkisi.

Table 4. Nitrogen fertilizer calibration experiment in irrigation conditions, the effect of economical nitrogen rates.

Çeşitler	Fiziki Optimum	Ekonomik N dozu	Denklem
Atay 85	19,1	12,6 kg N/da	$R^2=0,99^{**}$ $Y = 485,74 + 17,7232x - 0,4648x^2$
Hat 31	18,6	14,1 kg N/da	$R^2=0,99^{**}$ $Y = 524,352 + 24,5822x - 0,6616x^2$
Nacibey	24,9	17,9 kg N/da	$R^2=0,99^{**}$ $Y = 492,717 + 21,030x - 0,4217x^2$
Yunus	21,5	14,4 kg N/da	$R^2=0,99^{**}$ $Y = 552,444 + 17,987x - 0,4182x^2$
Ort.	20,7	14,6 kg N/da	$R^2=0,99^{**}$ $Y = 513,814 + 203307x, - 0,4916x^2$

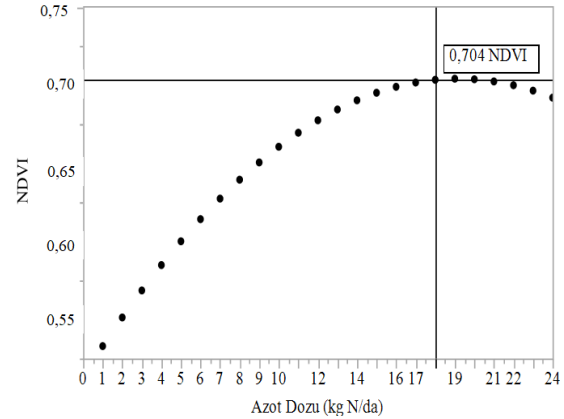


Şekil 2. Sulu koşullarda azotlu gübre kalibrasyon denemesi, azotlu gübre dozlarının dane verimleri üzerine etkisi (3 deneme).

Figure 2. Nitrogen fertilizer calibration experiment in irrigation conditions, the effect of nitrogen fertilizer rates on grain yields (3 trials)

NDVI Değerlendirmeleri

Bu noktaya kadar, denemelerden alınan verim sonuçlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir. Denemelerin asıl amacı olan kalibrasyon denklemi elde etmeye yönelik optik sensör okumalarıdır. Hat 31, Yunus ve Nacibey çeşitleri Atay 85'e oranla hem daha yüksek dane verimi, hem de azotlu gübrelemeye daha yüksek düzeyde karşılık vermiştir. 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. Bu nedenle, kardeşlenme (Zadoks 2,4), sapa kalkma başlangıcı (Zadoks 3,0), sapa kalkma 1 boğumlu dönemde (Zadoks 3,1) ve sapa kalkma 2 boğumlu dönemde (Zadoks 3,2) elde olunan NDVI değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. Denemelerde kullanılan Greenseeker (N-tech Industries) optik sensörü, NDVI



Şekil 3. Sulu koşullarda artan azot dozunun NDVI değerleri üzerine etkisi (2017-2019)

Figure 3. The effect of increased nitrogen rates on NDVI values in irrigation conditions (2017-2019).

değerlerini kendi hesaplayıp vermekle birlikte, hesaplamada kullandığı denklem aşağıda verilmiştir:

$$NDVI = (R_{900} - R_{680}) / (R_{900} + R_{680}) \quad (1)$$

R (Reflectance): Bitkilerden elde edilen spektral yansımayı, altsimgе rakamlar ise ışınların dalga boyunu (nm) göstermektedir (Raun ve ark., 2002).

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED}) \quad (2)$$

Bu denklemde, R_{NIR} ve R_{RED} , sırasıyla yakın kızılötesi ve kırmızı ışık bölgelerindeki yansımaları göstermekte, ikisi arasındaki farkın toplamına bölümü ise sensör tarafından hesaplanıp NDVI olarak verilmektedir.

Çizelge 5. Atay 85, Hat 31, Nacibey ve Yunus buğday çeşitlerinin farklı azotlu gübre uygulamalarında, Zadoks 24, 30, 31 ve 32 dönemlerinde verdikleri NDVI değerleri (3 yıl)

Table 5. NDVI values given by Atay 85, Hat 31, Nacibey and Yunus wheat varieties in different nitrogen fertilizer applications, Zadoks 24, 30, 31 and 32 (3 years).

Azot Dozu (kg N/da)	(Zadoks 2,4)	(Zadoks 3,0)	(Zadoks 3,1)	(Zadoks 3,2)	
NDVI DEĞERLERİ 2017					
0	0,208	0,434	0,699	0,734	
4	0,212	0,475	0,747	0,767	
8	0,208	0,491	0,764	0,779	
12	0,227	0,504	0,782	0,794	
16	0,227	0,512	0,793	0,798	
20	0,228	0,506	0,796	0,801	
Ortalama	0,218	0,487	0,763	0,779	
NDVI DEĞERLERİ 2018					
0	0,519	0,572	0,510	0,589	
4	0,565	0,660	0,601	0,669	
8	0,576	0,726	0,665	0,734	
12	0,582	0,764	0,734	0,776	
16	0,581	0,778	0,752	0,786	
20	0,594	0,766	0,753	0,782	
Ortalama	0,570	0,711	0,669	0,723	
NDVI DEĞERLERİ 2019					
0	0,479	0,453	0,413	0,533	
4	0,593	0,577	0,532	0,645	
8	0,689	0,686	0,652	0,732	
12	0,727	0,719	0,700	0,796	
16	0,771	0,772	0,756	0,837	
20	0,796	0,793	0,790	0,861	
Ortalama	0,676	0,667	0,641	0,734	
	NDVI ZD24	NDVI ZD30	NDVI ZD31	NDVI ZD32	Ort. (3 YIL)
0	0,402	0,486	0,540	0,619	0,512
4	0,457	0,571	0,627	0,694	0,587
8	0,491	0,635	0,694	0,748	0,642
12	0,512	0,662	0,739	0,789	0,675
16	0,526	0,688	0,767	0,807	0,697
20	0,540	0,688	0,779	0,815	0,706
Ortalama	0,488	0,622	0,691	0,745	0,636

Çizelge 6 Atay 85, Hat 31, Nacibey ve Yunus buğday çeşitlerinin farklı azotlu gübre uygulamalarında, Zadoks 24, 30, 31 ve 32 dönemlerinde verdikleri INSEY değerleri (3 yıl)

Table 6. INSEY values given by Atay 85, Hat 31, Nacibey and Yunus wheat varieties in different nitrogen fertilizer applications, Zadoks 24, 30, 31 and 32 (3 years).

Genotipler	Denklemler	R ²
ATAY 85	ZADOKS 2.4: VERİM(kg/da)=-21,955+101908,20(INSEY)	(R ² = 0,96**, n = 6)
	ZADOKS 3.0: VERİM(kg/da) = 93,575 +76697,76 (INSEY)	(R ² = 0,96**, n = 6)
	ZADOKS 3.1: VERİM(kg/da) = 51,19 +80857,39 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6)
	ZADOKS 3.2: VERİM(kg/da) = -203,89 +120818,83 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6)
HAT 31	ZADOKS 2.4: VERİM(kg/da) = -221,53 +148116,73 (INSEY)	(R ² = 0,90*, n = 6)
	ZADOKS 3.0: VERİM(kg/da) = -104,80+118035,74 (INSEY)	(R ² = 0,98**, n = 6)
	ZADOKS 3.1: VERİM(kg/da) = -30,209+107216,14 (INSEY)	(R ² = 0,98**, n = 6)
	ZADOKS 3.2: VERİM(kg/da) = -208,03 +133903,76 (INSEY)	(R ² = 0,98**, n = 6)
NACİBEY	ZADOKS 2.4: VERİM(kg/da) = -201,36 +142761,91 (INSEY)	(R ² = 0,96*, n = 6)
	ZADOKS 3.0: VERİM (kg/da) = -85,06 +116690,49 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6)
	ZADOKS 3.1: VERİM(kg/da) = -20,51+104445,13 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6)
	ZADOKS 3.2: VERİM(kg/da) = -144,87 +124137,94 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6)
YUNUS	ZADOKS 2.4: VERİM(kg/da) = -327,89 +16907,93 (INSEY)	(R ² = 0,90**, n = 6)
	ZADOKS 3.0: VERİM (kg/da) = 75,13+90304,74 (INSEY)	(R ² = 0,97**, n = 6)
	ZADOKS 3.1: VERİM (kg/da)=102,15+85828,14 (INSEY)	(R ² = 0,98**, n = 6)
	ZADOKS 3.2: VERİM(kg/da)=-97,86 +116752,2(INSEY)	(R ² = 0,97**, n = 6)
TÜM ÇEŞİTLERİN ORTALAMASI ÜZERİNDE	ZADOKS2.4: VERİM(kg/da)=-221,98+145060,72(INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6) (3)
	ZADOKS3.0: VERİM(kg/da)=-7,703 +100592,1(INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6) (4)
	ZADOKS3.1: VERİM (kg/da)= 17,14 +95662,51 (INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6) (5)
	ZADOKS3.2: VERİM (kg/da)= -173,34 +125348,81(INSEY)	(R ² = 0,99**, n = 6) (6)

Çizelge 7 Suluda kalibrasyon denemesinde azotlu gübrelemenin değişik dönemlerde INSEY değerleri üzerine etkisi (3 yıl).
Table 7. The effect of nitrogen fertilization on INSEY values in different stages in irrigation calibration experiment (3 years).

Azot Dozu (kg N/da)	ATAY 85	HAT 31	NACİBEY	YUNUS	Ortalama
INSEY DEĞERLERİ ZADOKS 2,4					
0	0,00488	0,00507	0,00500	0,00516	0,00503
4	0,00580	0,00584	0,00518	0,00571	0,00563
8	0,00622	0,00592	0,00591	0,00611	0,00604
12	0,00629	0,00623	0,00640	0,00600	0,00623
16	0,00642	0,00647	0,00647	0,00616	0,00638
20	0,00670	0,00671	0,00643	0,00631	0,00654
Ortalama	0,00605	0,00604	0,00590	0,00591	0,00598
INSEY DEĞERLERİ ZADOKS 3,0					
0	0,00496	0,00528	0,00500	0,00518	0,00511
4	0,00615	0,00614	0,00551	0,00613	0,00598
8	0,00686	0,00671	0,00620	0,00672	0,00662
12	0,00691	0,00698	0,00665	0,00709	0,00690
16	0,00716	0,00720	0,00699	0,00727	0,00715
20	0,00716	0,00724	0,00701	0,00720	0,00715
Ortalama	0,00653	0,00659	0,00622	0,00660	0,00649
INSEY DEĞERLERİ ZADOKS 3,1					
0	0,00530	0,00520	0,00504	0,00513	0,00517
4	0,00623	0,00597	0,00549	0,00621	0,00597
8	0,00692	0,00659	0,00622	0,00661	0,00659
12	0,00706	0,00702	0,00684	0,00710	0,00700
16	0,00741	0,00727	0,00703	0,00734	0,00726
20	0,00742	0,00732	0,00739	0,00738	0,00738
Ortalama	0,00672	0,00656	0,00634	0,00663	0,00656
INSEY DEĞERLERİ ZADOKS 3,2					
0	0,00566	0,00543	0,00524	0,00547	0,00545
4	0,00629	0,00619	0,00558	0,00631	0,00609
8	0,00671	0,00663	0,00629	0,00659	0,00656
12	0,00684	0,00695	0,00685	0,00695	0,00690
16	0,00707	0,00709	0,00695	0,00709	0,00705
20	0,00709	0,00719	0,00708	0,00710	0,00712
Ortalama	0,00661	0,00658	0,00633	0,00659	0,00653

Zadoks ıskalasına göre (Zadoks J C, 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, 3 denemenin ortalaması olarak sonuç özetleri halinde de Çizelge 5'de görülmektedir. Burada ilk dikkati çeken, denemeler arasındaki gelişme farklılığının NDVI değerlerine yansımaları olmaktadır. En düşük NDVI değerleri sırasıyla 2017 ve 2018 yıllarında 0,218 ve 0,570 arasındadır.

Sonuçta, 3 denemede ve 4 farklı gelişme döneminde de artan azot dozu ile birlikte NDVI değerleride artış olduğu Çizelge 5'den de görülmektedir. ABD'de yapılan bir araştırma sonucunda da, 0,25'in altındaki NDVI değerlerinin toprak yüzeyinin tam olarak kapanmamış olduğu anlamına geldiği, 0,25 ile 0,57 arasında azot ilavesinin yarar sağlayacağı, 0,73 değerinin ise ilave azottan yarar sağlanabilecek son düzey olduğu rapor edilmiştir (Raun ve ark., 2005). Şekil 3'den de görüldüğü gibi, tüm sonuçlar değerlendirildiğinde artan azot dozu ile birlikte arttığı 18 kg N/da azot dozunda optimum 0,704 NDVI değeri ulaşılabildiği görülmektedir.

Insej Değerleri ve Kalibrasyon Denklemleri

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 (In-Season

Estimate of Yield = Mevsim İçi Verim Tahmini) kavramının verim potansiyelini tahmin etmekte daha etkili olduğu belirtilmektedir (Mullen ve ark., 2003; Raun ve ark., 2002). Buna göre, okumada elde olunan NDVI değerleri, ekimden itibaren geçen ve buğdayın gelişebileceği bir baz değerinin (bizim kullandığımız +4,4°C) üzerindeki gün sayısına bölünerek INSEY değerleri bulunmuştur. Daha sonra bu INSEY değerlerinin bağımsız, dane verimlerinin ise bağımlı değişken olarak kullanıldığı regresyon analizleri aracılığıyla kalibrasyon denklemleri hesaplanmıştır. 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 3 deneme ortalaması olarak çeşitler ile INSEY değeri Çizelge 6'da, farklı büyüme dönemleri ise Çizelge 7'de verilmiştir. 3 denemenin verim ortalamaları kullanılarak hesaplanan kalibrasyon denklemleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6).

Bu denklemlerde ilk dikkati çeken durum, bütün çeşitler ve dönemler için INSEY değerleriyle verim arasında doğrusal ilişki bulunmuş olmasıdır. Yurt dışındaki çalışmalarda ise genellikle üslü transformasyon denklemleri kullanılmaktadır (Ji ve ark., 2017; Raun ve ark., 2001). Cekic ve ark., 2008 yürüttükleri çalışmada, üslü transformasyonlar denenmiş ancak doğrusal regresyona üstünlük sağlamamıştır. Yurt dışı çalışmalarda

elde olunan sonuçlarla aramızdaki bu farkın nedeni açık olmamakla birlikte, ABD'nin güneyinde yer alan Oklahoma ve Meksika'nın kuzeyinde bulunan Obregon'dan çok daha farklı bir iklim kuşağında bulunmamız buna neden olmuş olabilir. Sonuçta her bölge kendi kalibrasyon denklemleriyle çalışmak durumunda olduğuna göre, bizim için geçerli olan bu denklemler bölgemizdeki çiftçi tavsiyelerinde kullanılacaktır. Denklemlerde görüldüğü gibi, denemelerin ve çeşitlerin ortalaması üzerinden değerlendirildiğinde, tüm okuma dönemleri 0,01 düzeyinde önemli determinasyon katsayıları vermektedir. Ancak, tüm denemelerin ortalaması üzerinden yapılan bu değerlendirmeye bakılırken, erken gelişmenin çok zayıf olduğu bazı tarlalarda Zadoks 2,4 döneminde yapılan okumalar yanıltıcı sonuçlar verebilir. 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 olduğundan, çiftçi tarlalarındaki uygulamalar için Zadoks 3,0 ve Zadoks 3,1 dönemi en uygun bulunmuştur. Zadoks 3,0 döneminde uygulanan azotun kışık buğdayda gelişmeye en büyük etkiyi yaptığı belirtilmiş (Baethgen ve Alley, 1989), aynı sonuca ulaşan (Melaj ve ark., 2003) bunu bu dönemin gelişme hızının maksimum olduğu dönem olmasına bağlamıştır. Ancak, erken gelişmenin ve kardeşlenmenin zayıf olduğu durumlarda, kardeşlenmeyi teşvik etmek için bir kısım azotun bu dönemden önce kullanılmasının yararlı olduğu da belirtilmektedir (Weisz ve ark., 2001).

Buğday sapa kalktıktan ve boğumlar çıktıktan sonra, tarlaya traktörle girmenin zorluğu ve taşıdığı risk te düşünülerek, Zadoks 3,0 ve Zadoks 3,1 döneminin bu sistem için en uygun okuma dönemi olduğuna karar verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken aşırı gelişme sağlandığı yıllarda gerekirse sulama suyuna gübre tankı ile gübre uygulaması yapılabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, okuma döneminde bitkinin hangi gelişme safhasında olduğunun iyi belirlenmesi olmaktadır. Bunu daha iyi

açıklayabilmek için, değişik dönemlerdeki INSEY verim ilişkisi Şekil 4'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi, aynı INSEY değerleri daha erken dönemde hesaplandığı takdirde daha yüksek verim tahmin etmektedir. Bitkilerin aynı gelişme durumunu daha erken elde etmesinin daha yüksek verim tahmini anlamına gelmesi doğal olduğundan, okumanın yapıldığı dönemin çok iyi belirlenmesi ve hangi dönemde okuma yapılmışsa o döneme ait kalibrasyon denkleminin kullanılması ön koşul olmaktadır.

Bu çalışmada çeşitler arası farklılık bu sistem açısından önemli bulunmamıştır. Gerçi azotlu gübrelemeye verim olarak Hat 31 ve Yunus en yüksek, Atay 85 ise en düşük karşılığı vermiş, ancak bunun genotipin azot kullanmayla ilgili özelliğinden çok, o koşullardaki verim potansiyelinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Verim düzeyleri ise zaten genotipten bağımsız olarak sensör tarafından tahmin edildiği için, çeşitler arasındaki genotipik farklılıklar, verim düzeyindeki farklılıklara oranla önemsiz düzeyde kalmaktadır.

Demonstrasyon Çalışmaları

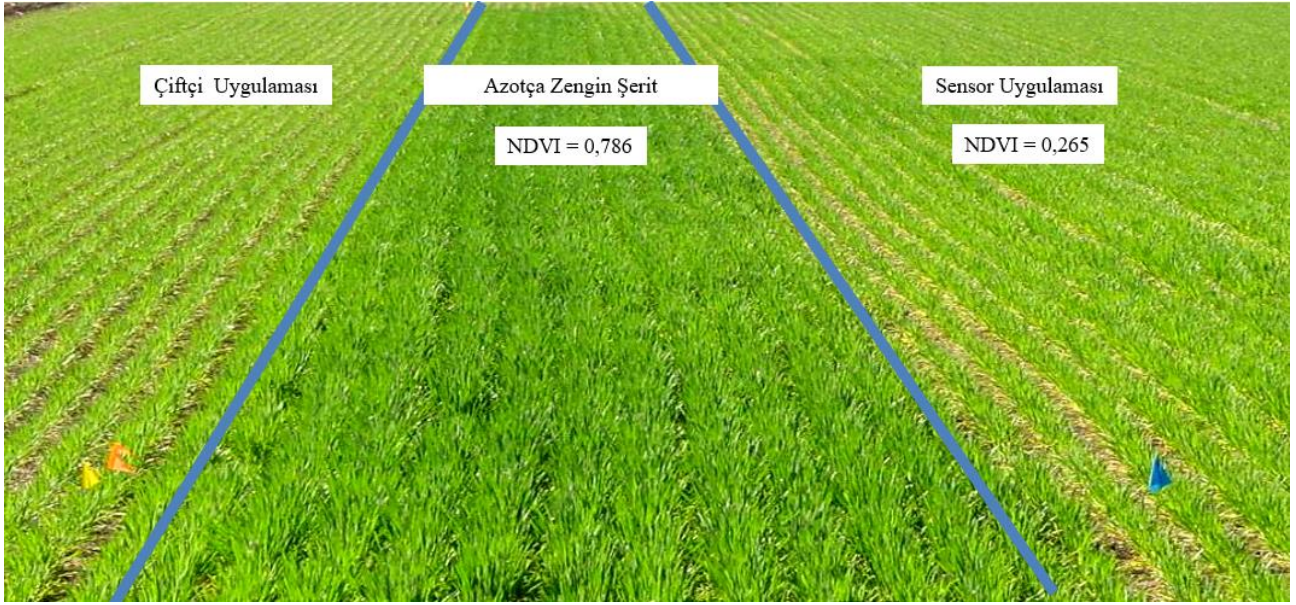
Sensör uygulamasına dayalı ve çiftçi uygulamasıyla karşılaştırmalı olarak azotça zengin şerit oluşturularak demonstrasyon çalışmaları yürütülmüştür. İlkbahar zadoks 3,0 (sapa kalkma) döneminde zengin şerit ve çiftçi uygulama kısmından NDVI okuması yapılmıştır. Şekil 5'deki mavi renkli alan doldurulmuştur. Örnek olarak Şekil 5'den de görüldüğü gibi tarlanın zengin şerit kısmından NDVI:0,784 okuması yapıp, Şekil 5'deki azot tavsiye tablasına kayıt edilmiştir. Çiftçi uygulaması kısmı ise çiftçinin normal geleneksel uyguladığı alandan bir NDVI=0,550 okuması yapılarak tabloya kayıt edilmiştir. Ekimden okuma tarihine kadar geçen gün (4,4°C üstündeki gün sayısı) 99 gün (GDD) kayıt edilmiştir. ilkbahar dönemi kullanılacak gübre çeşidiüre (%46 N) ile excel tablosu doldurulmuştur. Hesaplamalar Şekil 5'deki denklemlerden ayrıntılı olarak incelenebilir. Excel dosyasında denkleme göre azotlu gübre tavsiyesi yapılmıştır. Atılacak gübre 17,2 kgüre (%46) gübre uygulanması ile 645 kg verim alınacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 8 Çiftçi uygulaması ve sensör uygulamasının ekonomik değerlendirilmesi (2 yıl, 4 genotip)

Table 8. Economic evaluation of farmer practice and sensor application (2 years, 4 genotypes).

	Çeşit	Saf Azot (kg N /da)		Verim (kg/da)		Birim fiyat (1 kg/TL)		GİDER(Güb.) (TL/da)		GELİR (ürün) (TL/da)		Protein %	
		CU	NDVI	CU	NDVI	saf N	buğ.	CU	NDVI	CU	NDVI	CU	NDVI
SD6	Atay85	12	5,7	667	538	5,44	1,33	65	31	887	716	11,7	13,2
SD6	Hat 31	12	9,6	640	577	5,44	1,33	65	52	852	767	13,0	12,5
SD6	Nacibey	12	9,6	643	628	5,44	1,33	65	52	855	835	11,6	12,3
SD6	Yunus	12	7,4	504	639	5,44	1,33	65	40	670	850	12,2	11,2
SD7	Atay85	12	8	510	492	5,44	1,33	65	43	678	654	13,2	12,5
SD7	Hat 31	12	6,9	639	694	5,44	1,33	65	38	849	922	13,5	13,3
SD7	Nacibey	12	8,3	710	742	5,44	1,33	65	45	944	987	12,1	12,1
SD7	Yunus	12	6,9	751	725	5,44	1,33	65	38	999	964	12,0	12,3
SD8	Atay85	12	12,7	453	465	5,44	1,33	65	69	602	618	13,3	14,4
SD8	Hat 31	12	10,3	550	483	5,44	1,33	65	56	732	643	14,3	14,5
SD8	Nacibey	12	13	510	528	5,44	1,33	65	71	678	702	13,4	15,7
SD8	Yunus	12	11,8	573	604	5,44	1,33	65	64	762	803	12,9	12,7
	Ort.	12	9,2	596	593	5,44	1,33	65	50	793	788	12,8	13,1
	Fark		2,8	3									
						Kar (Gelir - Gider) TL/da			727	738			
						Sistem Kar Farkı (TL/da)				11,2			
						Etkinlik (Sistem/Çiftçi)				1,02			

N:Azot, Buğ: Buğday, Güb: Gübre, CU: çiftçi Uygulaması, NDVI: sensör uygulaması



Çiftçi Uygulaması (CU)
20 kg/da DAP

3m x 7 m Zengin Şerit
ZB (20 kg N/da)
20 kg/da DAP

Optik Sensor Uygulaması
NDVI
20 kg/da DAP

RI(NDVI) = NDVI (Azotça zengin şerit) / NDVI (Çiftçi uygulaması)
INSEY = NDVI / Ekimden okumaya kadar geçen gün sayısı

Sulu Koşullar İçin (Zadoks 3.0)			
NDVI Zengin Bant	0,786	Gübresiz Verim (YPO)	165
NDVI Çiftçi Uygulaması	0,265	Gübre Sonrası Verim (YPN)	488
Gelişme Günü	119	Atılacak saf azot kg/da	13,3
Protein Oranı (%)	12	Atılacak Gübre kg/da	29,0
Gübre Azot Oranı (%)	46		

Tüm bu demonstrasyon çalışmasında okunan NDVI değerleriyle tavsiye yapılan azotlu gübre dozlarında alınan çiftçi uygulaması ve sensör uygulamasından alınan verimlere ve uygulanan azot değerlerine göre ekonomik analizler Çizelge 8'de verilmiştir.

Borsa prim uygulamaları bundan daha yüksek olmakla birlikte borsadan borsaya ve alım mevsimine göre değişiklik gösterdiğinden TMO rakamları esas alınmıştır. Buna göre, söz konusu dönemde 1 kg ürenin ortalama fiyatı 2,5 TL, buğday alım fiyatı 1,33 TL olarak alınmıştır. Daha öncede açıklandığı üzere çalışmanın yapıldığı yılın iklim koşullarının mevsim normallerinden çok farklı olmasına rağmen çizelge 8'de görüldüğü gibi sistem uygulaması (NDVI), çiftçi uygulamasına (CU) oranla ekonomik etkinlik yönünden % 2'lik bir avantaj sağlamıştır. Bu avantajın iklim koşullarının mevsim normallerine yakın olduğu yıllarda daha yüksek olması beklenmektedir. Burada sensör uygulaması çiftçi uygulamasına göre dekara 2,8 kg saf azot daha az kullanılarak aynı verim ve protein oranı elde edilmiştir. Burada sistemin ekonomik yönü daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç

Azotlu gübre tavsiyelerinde verim tahmini için sulu koşullarda kullanılan kalibrasyon denklemleri elde edilmiştir. Suluda ZADOKS 3,0: VERİM (kg/da)= -7,703 +100592,1(INSEY uygun dönem olarak belirlenmiştir. Yapılan demonstrasyon çalışmalarında optik sensör (NDVI) uygulaması çiftçi uygulaması (CU) göre ilkbahar dönemi dekara 2,8 kg saf azot daha az kullanılarak aynı verim ve

protein oranı elde edildiği belirlenmiştir. Bu amaçla sensör uygulaması çiftçi uygulamasında göre ekonomik etkinliği %2 daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada ikinci önemli bulgular ise yılın bitki gelişme durumuna göre Zadoks 3,1 döneminde optik sensör okumalarına göre azotlu gübre tavsiyesi yapılabileceği belirlenmiştir. Bu durum tarlaya girilebilecek son dönem olduğu için bitki gelişimi çok iyi takip edilerek hızlı ve iyi gelişim olduğu yıllarda ve yüksek NDVI alınan yıllarda Zadoks 3,0 dönemi tercih edilirken bitki gelişiminin zayıf olduğu yıllarda ise Zadoks 3,1 dönemi tavsiye edilmektedir. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Sonuç olarak; erken gelişmenin çok zayıf olduğu bazı tarlalarda Zadoks 2,4 (4 kardeşli) döneminde yapılan okumalar yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu nedenle Zadoks 3,0 (sapa kalkma) dönemi bu sistem için suluda da en uygun okuma/gübre tavsiye dönemi olduğuna karar verilmiştir.

Teşekkür

TÜBİTAK-KAMAG tarafından desteklenen 106G111 nolu proje kapsamında başlatılan çalışma TAGEM/TBAD/16/A12/P01/004'nolu proje kapsamında yapılan araştırma sonuçlarından hazırlanmıştır. Söz konusu projenin Ülkemiz için gerekliliğine inanarak müşteri olan Tarım ve Orman Bakanlığı ve Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğüne ve destekleyen TÜBİTAK'a bütün proje ekibi olarak teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Anonim, 2019 Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü. <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/alim/201/2019alimfiyati.pdf>. (Erişim Tarihi: 07.04.2020)
- Baethgen WE, Alley MM 1989. Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensively managed winter wheat. II. critical levels and optimum rates of nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 81(1): NP-NP.
- 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(1): 81–89, <https://doi.org/10.1007/s40003-013-0053->
- Bremner JM. 1965. Nitrogen ed.: c.a.black. in: method of soil analysis. part:ii. chemical and microbiological properties. Agronomy Series. No: 9. Agron. Inc. Madison. Wisconsin. USA
- Cekic C, Savasli E, Onder O, Dayıoglu R, Gokmen F, Dursun N, Gezgin S. 2008. Bitkilerin azot kullanma etkinliğini artırmada mevsim içi azotlu gübre yönetiminin önemi. 4. Ulusal bitki besleme ve gübre kongresi. 8-10 Ekim 2008 Konya. (s. 83).
- Demetriades-Shah TH, Steven MD. 1988. High spectral resolution indices for monitoring crop growth and chlorosis. *Proceedings of the 4th International Colloquium of Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, 287: 299–302.
- Franzen D, Kitchen N, Holland K, Schepers J, Raun W. 2016. Algorithms for in-season nutrient management in cereals. *Agronomy Journal*, 108(5): 1775–1781. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0041>
- Ji R, Ju M, Wang Y, Hu C, Zhang H, Shi W. 2017. In-season yield prediction of cabbage with a hand-held active canopy sensor. *Sensors (Switzerland)*, 17(10): 1–14. <https://doi.org/10.3390/s17102287>
- 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
- Laghari SJ, Wahocho NA, Laghari GM, HafeezLaghari A, Mustafa Bhabhan G, Hussain Talpu K, Lashari AA. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development : a review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9): 209–219.
- Melaj MA, Echeverría HE, López SC, Studdert G, Andrade F, Bárbaro NO. 2003. Timing of nitrogen fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agronomy Journal*, 95(6), 1525–1531. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1525>
- Motaka GN, Parmar SK, Patel RA, Parmar DJ. 2016. The determination of economically optimum nitrogen dose in safflower production under dry conditions. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(4), 2361–2367. <http://www.ijset.net/journal/1167.pdf>
- Mullen RW, Freeman KW, Raun WR, Johnson GV, Stone ML, Solie JB. 2003. Identifying an in-season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen. *Agronomy Journal*, 95(2): 347–351. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0347>
- Peñuelas J, Gamon JA, Griffin KL, Field CB. 1993. Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 46(2): 110–118. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90088-F](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90088-F)
- Provin TL, Hossner LR. 2001. What happens to nitrogen in soils? *Texas A&M AgriLife Extension*, 3, 4 pgs.
- Raun WR, Solie JB, Johnson GV, Stone ML, Lukina EV, Thomason WE, Schepers JS. 2001. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*, 93(1): 131–138. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.931131x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/00103620500303988>
- Raun WR, Soli, JB, Johnson GV, Stone M, Mullen RW, Freeman K.W, Thomason WE, Lukina EV. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*, Vol. 94 (July–August 20): 815–820
- Savaşlı E, Cekic C, Onder O, Dayıoglu R, Camcı H, Celikoglu kosar F, Kose A, Kalaycı HM. 2011. Azotlu gübrelemenin haşhaş tohum, kapsül ve morfin oranları üzerine etkisi. *Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kıraç Tarım Kongresi ve Fuarı*, 27-30 Nisan.
- Savaşlı E, Önder Ö, Çekiç C, Kalaycı HM, Dayıoğlu R, Karaduman K, Gökmen F, Dursun N, Gezgin S, 2018. Sulu şartlarda ekmeçlik buğdayda başaklanma döneminde yaprak solüsyon uygulamasının tane protein kapsamı üzerine etkisi. *Türk Tarım–Gıda Bilimleri ve Teknoloji Dergisi* 6(1): 84-90.
- 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 the American Society of Agricultural Engineers*, 39(5): 1623–1631. <https://doi.org/10.13031/2013.27678>
- Weisz R, Crozier CR, Heiniger RW. 2001. Optimizing nitrogen application timing in no-till soft red winter wheat. *Agronomy Journal*, 93(2): 435–442. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.932435x>
- Westfall DG, Havlin JL, Hergert GW, Raun WR. 1996. Nitrogen management in dryland cropping systems. *Journal of Production Agriculture*, 9(2): 192–199. <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0192>
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415–421