

Kışlık Buğdayda Değişken Oranlı Makinalı Azot Uygulamaları İçin Mevsim İçi Azot Durumuna Dayalı Verim ve Protein Tahminine Yönelik Sensör Yansıma İndekslerinin Geliştirilmesi

Uğur YEGÜL, Babak TALEBPOUR, Ahmet ÇOLAK, Ufuk TÜRKER

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara
yegul@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 01.06.2015 Kabul Tarihi (Accepted): 17.06.2015

Özet: Hassas tarım sayesinde yapılabilen geliştirilmiş azot yönetimi, tarla içerisinde daha verimli bölgelerin optimum oranda gübrenmesine, ayrıca kullanılan azot maliyetinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Öte yandan, çiftçiler için sağladığı primlerden dolayı, verim ve protein içeriğine gösterilen ilgi giderek artmaktadır. Protein içeriği en önemli kalite bileşeni olup pazar yerinde önemli bir nitelik haline gelmektedir. Bu projenin amacı kışlık buğdayda verim ve protein içeriğine yönelik optimum azot oranını belirlemek için farklı indeksleri kullanarak bir model geliştirmektir. Geliştirilen bu model, mevsim içi değişken oranlı azot gübrelmesi için olanak sağlayacaktır. Bu araştırmada iki farklı buğday çeşidine beş değişik azot oranı (0, 80, 120, 160, 200 kg N / ha) uygulanarak tesadüf blokları deneme deseninde farklı azot oranlarının, buğday verimi ve protein oranları üzerine etkisi incelenmiştir. Deneme sonucu kuadratik polinom modelinde verim ve protein içeriği ile azot oranları arasındaki ilişki tanımlanarak, Bezostoya1 ve Ahmetağa çeşitleri için sırasıyla 167.60 kgN/ha ve 206 kgN/ha azot gübrelmesinin verim ve protein içeriği için en uygun miktarlar olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kışlık buğday, verim, protein içeriği, vejetasyon indeksi, azot kullanım etkinliği, hassas tarım, değişken oranlı gübreleme

Development of Sensor Reflection Indices To Predict Yield and Protein Content Based on In-Season N Status for Variable Rate Nitrogen with Machine Application in Winter

Abstract: Precision agriculture applications now create the possibility to apply mid-season N fertilizer more precisely, matching the variable plant needs across the field. Developed precision management of nitrogen through precision agriculture allows growers to use fertilizer input on more productive areas as well as saving nitrogen costs across the field. On the other hand, Grain protein in cereal crops as well as yield is receiving increased attention because of premiums being paid to producers. Protein is a very important quality component of cereal grains and an important attribute in the market place. The aim of this project was to develop a model in order to determine the optimum rate of nitrogen for yield and protein content through using different indices in winter wheat. This model will allow for mid season variable rate application of N fertilizer. An experiment was established to determine the effect of nitrogen on yield and protein content using a randomized block design by applying five different rates of nitrogen (0, 80, 120, 160, 200 kgN/ha) to two winter wheat varieties. The amount of 167.60 kgN/ha and 206 kgN/ha were determined for two varieties, respectively as economic optimum nitrogen rate when quadratic polynomial model was used to describe the relationship between nitrogen and yield and protein content. This study was supported by TUBITAK.

Keywords: Winter wheat, yield, protein content, vegetation index, nitrogen use efficiency, precision agriculture, variable rate fertilizing

GİRİŞ

Günümüzde verim ve kalite artışına yönelik gübre uygulamaları yakın zamanda başlamıştır. Bugün 1 ton DAP gübresinin fiyatının 1365 TL olduğu düşünülürse dekara atılacak olan fazladan 1 kg gübrenin tasarruf edilmesi durumunda çiftçinin ve ülkenin kazanacakları ortadadır. Net hedef, sensörler yardımı ile yapılacak araştırmanın sonucunda verilmesi gereken optimum azot miktarının belirlenmesi ile buğdaydaki protein oranının en az girdi ile mümkün olan en üst seviyeye getirilebilmesidir.

Önemli olan, azotu çiftçinin ne zaman kullandığı değil, bitkinin ne zaman kullandığıdır. Bu konuda farklı görüşler ileri sürülmüştür. Buna göre, tüm gelişme döneminde alınan azotun en az % 80'inin vejetatif gelişme döneminde alınarak tozlanma döneminde bitkide mevcut olduğunu (Austin et al., 1977; Heitholt et al., 1990; Palta et al., 1994), bunun muhtemelen tane doldurma döneminde kök aktivitesinin azalması ve azot alımının sınırlanmasıyla ilgili olduğunu (Frederick ve Bauer, 1999) ileri süren araştırmacılar olduğu gibi, buğdayın tozlanmadan sonra da azot alımına devam ettiğini (Oscarson et al., 1995a; Van Sanford ve Mackown, 1987), koşullara göre, toplam azot alımının % 8 ila 35'ini tozlanmadan sonra gerçekleştirdiğini (Van Sanford ve Mackown, 1987), çünkü köklerin en son kuruyan organlar olup tane doldurma sırasında aktivitelerini devam ettirdiklerini (Peoples ve Dalling, 1988) bildiren araştırmacılar da olmuştur. Smith et al. (1983) bitki bünyesindeki toplam azot miktarında tozlanmadan olgunlaşmaya kadar geçen sürede net bir artış olduğunu ve bunun ancak tozlanma sonrası azot alımıyla açıklanabileceğini, Cox et al. (1985) toplam azot asimilasyonunun % 80'den fazlası tozlanma öncesinde gerçekleşmekle birlikte, 96 buğday genotipi arasındaki azot asimilasyonu açısından oluşan genotipik varyasyonun çok küçük bir bölümünün tozlanma öncesi alım farklarıyla açıklanabildiğini, asıl genotipik farklılığın tozlanma sonrasında oluştuğunu açıklamıştır.

Sulama yapılmayan koşullarda ise, o dönemde üst toprak, ekstrem yıllar dışında, genellikle tamamen kurumuş olduğundan, bitkiler alt topraktaki sudan yararlanmakta ve tane protein kapsamlarının arttırılabilmesi için azotun da benzer derinlikte yeterli miktarda mevcut olması gerekmektedir. Bu gerçek daha 1970'li yıllarda derin azot uygulamalarını gündeme getirmiş, derin uygulamaların geleneksel uygulama şekillerine oranla daha yüksek tane proteini verdiği belirlenmiştir Smika ve Grabouski (1976).

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışma Alanı ve Kullanılan Girdi

Deneme; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği deneme tarlalarında, iki farklı kırmızı sert ekmeklik buğday çeşidi ile sulanır koşullarda yürütülmüştür. Deneme deseni ve denemede yer alan faktörler; azot seviyesi ve buğday çeşitleri olmak üzere 2 faktörden oluşan deneme tesadüf bloklarında faktöriyel deneme deseninde ve 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. 0, 8, 12, 16 ve 20 kg/da olmak üzere 5 farklı azot seviyesi kullanılmıştır. Denemede kullanılan çeşitlerden birincisi Bezostoya1 diğeri ise Ahmetağa'dır. Orta Anadolu Bölgesinde kışlık buğday ekilişi için en uygun zaman olduğu bilinen Ekim ayının 21'inde ekim işleminin yapılabilmesi için gerekli olan ön çalışmalar ve toprak hazırlığı yapıldıktan sonra, 5N (azot seviyeleri) x 2Ç (buğday tohumluğu) x 4T (tekerrür sayısı) = 40 parsel olacak şekilde 2 ayrı deneme alanında ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu parseller tesadüfi deneme blokları olarak belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir.

Taban gübresi olarak İç Anadolu bölgesinde taban gübresi olarak kullanılan Diamonyum Fosfat (DAP; bileşiminde %18 azot ve %46 fosfor) kullanılmıştır. Bu nedenle çiftçi uygulamalarında DAP gübresi 200 kg/ha dozunda kullanılmıştır. Denemede üst gübrelemede azot kaynağı olarak Amonyum Nitrat (AN; %33 azot) 0 (G₁), 80 (G₂), 120 (G₃), 160 (G₄), 200 (G₅) kg/ha dozları kullanılmıştır. Hasattan sonra her parselden elde edilen ürünler tartılarak verim değerleri belirlenmiş, aynı zamanda protein analizleri için laboratuvara gönderilmiştir. Deneme parselleri Şekil 1' de gösterilmiştir.

GreenSeeker EI Tipi NDVI Sensörü

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) okumaları, GreenSeeker sensörü (NTech Industries, INC., USA) ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu optik sensör, bitki gelişim durumundaki olan farklılığı algılayarak, bitki biyokütle ve azot gereksinimi ile ilişkilendirmek amacıyla NDVI değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır.

FORCE-A Optik Sensörü

Flavonol okumaları ile birlikte klorofil-flavonol oranı okumaları (Nitrogen Balance Index, NBI),

FORCE-A DUALEX SCIENTIFIC SPAD METRE optic sensörü ile gerçekleştirilmiştir. Flavonoidler iskelet yapıları farklı olan ve farklı bitkilerde bulunan polifenolik bileşiklerdir. Buğdayda bulunan flavonoid çeşidi flavonoldür. Bu sensor bitkideki NBI' i ölçerek protein içeriğinin tahmininde kullanılacak ham veriler ortaya koymaktadır.

Yöntem

Deneme Planlaması

Deneme; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği deneme tarlalarında, iki farklı kırmızı sert ekmeçlik buğday çeşidi ile sulanır koşullarda yürütülmüştür. Deneme deseni ve denemede yer alan faktörler; azot seviyesi ve buğday çeşitleri olmak üzere 2 faktörden oluşan deneme tesadüf bloklarında faktöriyel deneme deseninde ve 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. 0, 8, 12, 16 ve 20 kgN/da olmak üzere 5 farklı azot seviyesi kullanılmıştır. Denemede kullanılan çeşitlerden birincisi Bezostoya1 diğeri ise Ahmetağa'dır. Orta Anadolu Bölgesinde kışık buğday ekilişi için en uygun zaman olduğu bilinen Ekim ayının 21'inde ekim işleminin yapılabilmesi için gerekli olan ön çalışmalar ve toprak hazırlığı yapıldıktan sonra, 5N (azot seviyeleri) x 2Ç (buğday tohumluğu) x 4T (tekerrür sayısı) = 40 parsel olacak şekilde iki ayrı deneme alanına ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu parseller tesadüfi deneme blokları olarak belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir. Ekim işlemi 15 cm sıra aralıklarında olacak şekilde 8 sraya, tek sıralı manuel ekim makinası kullanılarak yapılmıştır. Ekilişlerde 6 m parsel boyu kullanılmış ve 50 cm bloklar arası yol bırakılmıştır.

Gübre Uygulamaları

İç Anadolu bölgesinde taban gübresi olarak kullanılan Diamonyum Fosfat (DAP; bileşiminde %18 azot ve %46 fosfor) 200 kg/ha dozunda kullanılmıştır. Denemede üst gübrelemede azot kaynağı olarak Amonyum Nitrat (AN; %33 azot) 0 (G₁), 80 (G₂), 120 (G₃), 160 (G₄), 200 (G₅) kg/ha dozlarında kullanılmıştır.

NDVI Okumaları ve NBI Okumaları

Zadoks sıkalasına göre Zadoks et al. (1974) Z24, Z30, Z31 ve Z32 dönemlerinde GreenSeeker cihazı ile NDVI okumaları yapılmış, bu değerler RI (Response Index = Karşılık Göstergesi) ve INSEY (In Season

Yield Estimation = Mevsim içi Verim Tahmini) değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. NDVI okumalarının değerlendirilmelerinde ise RI ve INSEY denklemlerinden yararlanılmıştır. Buna göre, maksimum NDVI değerini veren parsellerin NDVI değeri, gübrenememiş kontrol parsellerinin NDVI değerlerine bölünerek elde olunan RI(NDVI) değerleri, hasatta elde olunan maksimum verimin kontrol parsellerinden elde olunan verime bölünmesiyle bulunan RI(HASAT) değeriyle karşılaştırılmış ve yapılacak korelasyon analizi sonucunda, RI(HASAT) değeriyle en yüksek R² değerini veren RI(NDVI) değeri hangi dönem okumalarından elde olunmuşsa, daha sonra yapılacak tavsiyeye yönelik çalışmalarda, o dönemde okuma yapılmıştır. FORCE-A DUALEX SCIENTIFIC SPAD METRE sensörü ile buğdayda başaklanma döneminde her parselden 10 ar adet olacak şekilde okumalar yapılmıştır. Her iki okuma istatistiki açıdan değerlendirildiğinde çok yakın bir ilişki saptanmıştır. Bu nedenle bahsedilen NDVI değerleri, protein tahmini ve verim-protein ilişkisindeki optimum noktanın bulunabilmesi için GreenSeeker cihazıyla elde edilen NDVI ve FORCE-A SPAD METRE ile elde edilen okumaların ortalaması olarak kullanılmıştır.

Verilerin Değerlendirilmesi

Araştırmadan elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde varyans analizi, gruplar arası farklılığın belirlenmesinde ise Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Bu amaçla SAS paket programı kullanılmıştır. Analiz sonuçları kullanılan farklı azot oranları ve tohum çeşidi açısından değerlendirilmiştir.

Uygulanan azot oranına karşı verim ve protein tahmini için kuadratik polinom modelinden yararlanılmıştır:

$$f(N) = c + b.N + a.N^2$$

(1)

$$g(N) = \beta + \alpha.N$$

(2)

Burada;

$f(N)$: Verimi (ton/ha),

$g(y)$: Protein oranını (%),

N: Gübre oranı ve

a, b, c: azota karşı verim ve protein yanıt fonksiyonların regresyon katsayılarını göstermektedir.

Verim ve protein için elde edilen modeller, ekonomik optimum azot oranı için kullanılmıştır. Azotlu gübre tüketiminde optimum azot oranını

belirlenmesi, buğday üretiminde kalite ve verim üzerinde olan etkisi nedeniyle önemlidir. Bu oranın belirlenmesi için elde edilen verim ve protein sonuçlarının ortalaması kullanılmıştır. Buğday süne tahribatının %1'in altında olan buğdaylarda protein oranına göre belirlenmektedir.

En uygun gübreleme zamanını belirlemek amacıyla RI (Response Index = Karşılık Göstergesi) kavramından yararlanılmıştır. Bu gösterge değeri NDVI ve verim değerleri için hesaplanmıştır. Buna göre, maksimum NDVI değerini veren parselin NDVI değeri, diğer parsellerin NDVI değerlerine bölünerek RI_{NDVI} değerleri elde edilmiştir. Elde edilen RI_{NDVI} değeri hasatta elde edilen maksimum verimin diğer parsellerden elde edilen verime bölünmesiyle bulunan RI_{hasat} değeriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda, RI_{hasat} değeriyle en yüksek R^2 değerini veren RI_{NDVI} değeri hangi dönem okumalarından elde olunmuşsa, daha sonra değişken oranlı azot uygulamasına yönelik çalışmalarda o dönemde okuma yapılmıştır. Denemede RI_{NDVI} ve RI_{hasat} aşağıdaki eşitliklerden yararlanarak hesaplanmıştır Mullen et al. (2003):

$$RI_{NDVI} = NDVI (\text{maksimum}) / NDVI (\text{kontrol}) \quad (3)$$

$$RI_{hasat} = \text{Buğday verimi (maksimum)} / \text{Buğday verimi (kontrol)} \quad (4)$$

En uygun gübreleme zamanı belirlendikten sonra o döneme ait olan NDVI değerleri ile gübre oranları arasında olan ilişki belirlenip, linear regresyon yöntemi ile elde edilen regresyon denklemini kullanarak bitkideki azot durumu belirlenmiştir. GreenSeeker sensörü ile potansiyel verim tamininde INSEY değerleri kullanılmıştır Franzen et al. (2013). INSEY (In Season Yield Estimation, Mevsim İçi Verim Tahmini), Herhangi bir dönemdeki NDVI okuma değerinin, ekimden okuma tarihine kadar kümülatif büyüme derece gün (Cumulative Growing Degree Day, CGDD) bölünmesiyle elde olunan değerdir (Lukina et al. 2001; Teal et al. 2006). Büyüme-derece-günler (GDD) maksimum ve minimum değerleri ile sınırlandırılmış sıcaklıklara sahip olan günlerdeki fazla sıcaklıkların entegrasyonu olarak tanımlanmaktadır. GDD aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır McMaster et al. (1997):

$$GDD = (T_{maks} + T_{min}) / 2 - T_{temel} \quad (5)$$

Burada;

GDD : Büyüme-derece-günler,

T_{maks} : Günlük maksimum hava sıcaklığı,
 T_{min} : Günlük minimum hava sıcaklığı ve
 T_{temel} : Ürünün gelişmesinin başladığı temel eşik sıcaklığıdır.

INSEY değerlerinin bağımsız değişken (x), aynı parsellerden elde edilen buğday verimlerinin ise bağımlı değişken (y) olarak alındığı regresyon analizi sonucunda elde edilen denklem, değişken oranlı gübre uygulamasında kalibrasyon denklemi olarak kullanılabilir.



Şekil 1. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği deneme parselleri

ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan varyans analizi sonuçları, parametreler arası farklılık, farklı gübre oranları açısından istatistiksel olarak önemli olmuştur.

Denemede gübreleme düzeyleri ile verim ve protein değerleri arasında $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli, p değerleri gübreleme düzeyleri açısından, verim ve protein için 1. ve 2. deneme sahaları için sırasıyla 0.001, 0.006 ve 0.003, 0.025 olarak belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre denemede kullanılan tohum çeşitleri istatistiksel olarak verim üzerindeki etkisi önemli, protein açısından önemsiz olmuştur. Deneme lokasyonunda elde edilen sonuçlara dayanarak, 1. Deneme lokasyonunda 4. Gübre dozu (16 kg/da) ve 2. Deneme lokasyonunda 5. Gübre dozu (20 kg/da) en yüksek verim açısından uygun gübre oranı olarak belirlenirken, en yüksek protein içeriği 5.gübre dozunda (20 kg/da) elde edilmiştir.

Optimum Gübre Oranının Belirlenmesi

Azot gübre tüketiminde optimum azot oranının belirlenmesi, buğday üretiminde kalite ve verim üzerinde olan etkisi nedeniyle önemlidir. Diğer bir

tarafından azot hareketli bir element olarak gereksiz yerde kullanımı yer altı sularının kirlenmesine yol açmaktadır. Dolayısıyla optimum ve ekonomik gübre oranının belirlenmesi gerekmektedir. Bu oranın belirlenmesi için iki farklı lokasyondan elde edilen verim ve protein sonuçlarının ortalaması kullanılmıştır.

Uygulanan azot oranına karşı verim ve protein tahmini için sırasıyla kuadratik polinom ve linear modellerinden yararlanılmıştır (Cerrato ve Blackmer 1990; Sayılı ve Akça 2004):

$$f(N) = c + b \cdot N + a \cdot N^2 \quad (6)$$

$$g(N) = \beta + \alpha \cdot N \quad (7)$$

Burada;

$f(N)$: Verim (ton/ha),

$g(y)$: Protein oranı (%),

N: Gübre oranı

a, b, c: azota karşı verim ve protein yanıt fonksiyonların regresyon katsayılarını göstermektedir.

Verim ve protein için elde edilen modeller ekonomik optimum azot oranı için kullanılmıştır. Azot gübre tüketiminde optimum azot oranının belirlenmesi, buğday üretiminde kalite ve verim üzerinde olan etkisi nedeniyle önemlidir. Bu oranın belirlenmesi için elde edilen verim ve protein sonuçlarının ortalaması kullanılmıştır. Buğday süne tahribatının %1'in altında olan buğdaylarda protein oranına göre verilen ilave fiyat aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

Proteini %12-12.5 arasında ise %1

Proteini %12.5-13 arasında ise %2.5

Proteini %13-13.5 arasında ise %3

Proteini %13.5-14 arasında ise %4.5

Proteini %14-14.5 arasında ise %6

Proteini %14.5 üzerinde ise %7'dir.

Taban fiyat buğday için 855 TL/ton olarak belirlendiği için, %12-15 protein içeriği aralığında aşağıdaki ilişki fiyat ve protein içeriği arasında yazılabilir:

$$F_b(\text{Fiyat}) = 20.154 \text{ Protein}\% + 617.28 \quad (8)$$

1,2 ve 3 eşitliklerden yararlanarak buğday üretiminden elde edilen net gelir, kullanılan azot gübre miktarını girdi olarak göz önüne tuttuğumuzda, aşağıdaki eşitlikle hesaplayabiliriz ($p_N=1.74$ TL/kg):

$$NR = F_b \cdot f(N) - p_N \cdot N \quad (9)$$

Bezostaya için:

$$NR = -1.73N^3 - 100.58N^2 + 934.89N + 1036.1 \quad (10)$$

Ahmetağa için:

$$NR = -1.64N^3 - 9.66N^2 + 272.6.89N + 511.7 \quad (11)$$

Sumelius et al. (2002) ve Mostensen ve Beattie (2003) tarafından önerilen yöntemle göre optimum azot oranı NR eşitliğinin birinci dereceden türevini sıfır ile eşit tutarak hesaplanmaktadır.

$$\frac{\partial(NR)}{\partial(N)} = 0 \quad (12)$$

Bu eşitlik sonucu optimum gübre oranı Bezostaya ve Ahmetağa çeşitleri için sırasıyla 16.76 ve 20.6 kg/da olarak belirlenmiştir.

NDVI Sonuçları ve Değerlendirmeleri

Farklı ölçme dönemlerinde elde edilen NDVI sonuçları ile ilgili tanımlayıcı ortalama değerler incelendiğinde NDVI değerleri 0.404 – 0.785 arası değişmiştir.

En uygun gübreleme zamanı belirlemek amacıyla NDVI ve hasattaki kök verimi değerleri kullanılmıştır. Farklı dönemlerden elde edilen NDVI değerleri ve son kök verim değeri kullanarak karşılık indeksleri (Response Index) hesaplanmıştır.

Regresyon analizi sonucunda R^2 değeri gübreleme sonrası 4.okuma döneminde elde edilmiştir (CGDD=928.9). Bu nedenle gübreleme sonrası yapılan 4.okuma dönemi NDVI değişkenliği açısından, değişken oranlı uygulaması için en uygun dönem olarak belirlenmiştir.

Elde edilen NDVI değerleri incelendiğinde her iki deneme lokasyonlarında NDVI değerleri bazı okuma dönemlerinde parseller arasında farklılık göstermiştir. Yapılan varyans analiz sonucu 1. deneme lokasyonunda 3, 4 ve 5. Okumalarda ve 2. Deneme lokasyonunda 3 ve 4. Okumalarda parseller arasında farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Green Seeker sensörü ile potansiyel verim tamininde INSEY değerleri kullanılmıştır. Bu denklemi oluşturmak için gübreleme sonrası 4. okumalarda (928.9 CGDD) parsellerden elde edilen NDVI okumalarından (RI_{hasat} ile maksimum korelasyon değeri bulunan) hesaplanan INSEY değerleri kullanılmıştır. Elde edilen kalibrasyon denklemi yapılması planlanan dönemde aşağıdaki gibi olmuştur:

$$\text{Verim} = -2.302 + 6952 \text{ INSEY } R\text{-sq} = 76.74\% \quad (13)$$

Döneme ait CGDD, 928.9 °C olduğu için, ayrıca $\text{INSEY} = \text{NDVI} / \text{CGDD}$ olması dolayısıyla, verim ve NDVI arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$\text{Verim} = 7.484 \text{ NDVI} - 2.302 \quad (14)$$

Kışlık Buğdayda Değişken Oranlı Makinalı Azot Uygulamaları İçin Mevsim İçi Azot Durumuna Dayalı Verim ve Protein Tahminine Yönelik Sensör Yansıma İndekslerinin Geliştirilmesi

Bu eşitlik yardımıyla elde edilen verim miktarı azot gübresi kullanmadan potansiyel buğday verimini belirlemektedir.

Değişken oranlı azot uygulamalarında kullanılan NDVI tabanlı bir kalibrasyon denklemi oluşturmak amacıyla istatistiksel olarak farklılığın önemli olduğu ve gübreleme zamanı olarak belirlenen 4. okumalarından elde edilen NDVI değerleri kullanılmıştır.

Elde edilen bu ilişkiler aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir:

$$NDVI = 0.0341 \text{ Gübre Oranı} + 0.6073 \quad (R^2=0.92) \quad (15)$$

Bu eşitliklerden elde edilen gübre oranı bitkideki azot miktarını belirlemektedir. Dolayısıyla sensörler yardımı ile elde edilen NDVI miktarını bu denklemlerde kullanarak bitkinin azot durumu tahmin edilebilir. Bir sonraki aşamada hesaplanan bu değeri önceden elde edilen optimum azot miktarından çıkararak kullanılması gereken azot miktarı belirlenebilmektedir.

Çizelge 1. Deneme lokasyonlarında farklı gübre uygulamaların, verim ve protein'e etkisi.

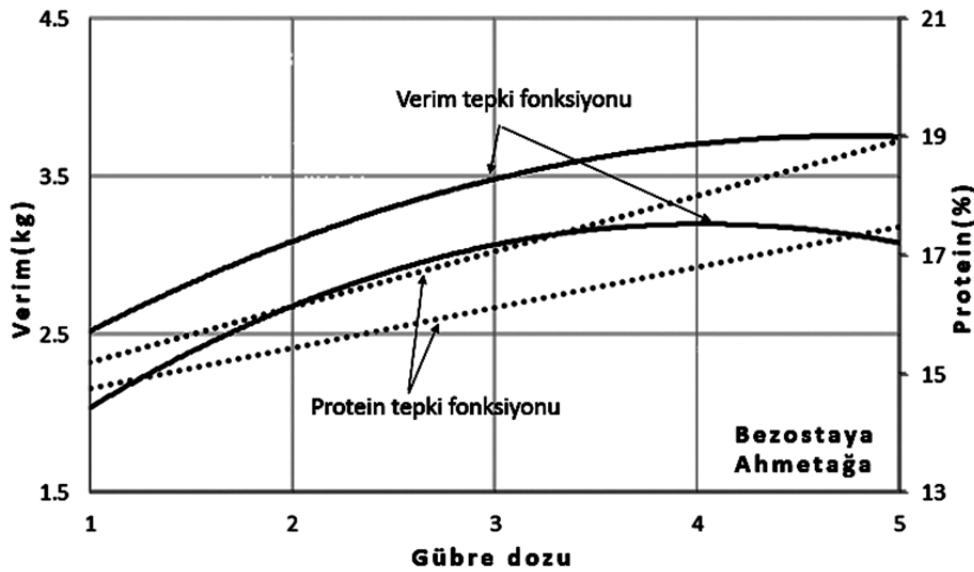
1.deneme			2.deneme		
Gübre dozu	Verim(P=0.001)	Protein(P=0.006)	Gübre dozu	Verim(P=0.003)	Protein(P=0.025)
1	2.153±0.380 B	15.280±1.273 B	1	2.493±0.642 B	15.530±0.524 B
2	2.623±0.485 AB	15.747±1.381 AB	2	3.098±0.617 AB	15.01±2.82 AB
3	3.082±0.383 A	16.717±1.086 B	3	3.437±0.346 A	17.015±0.925 A
4	3.285±0.559 A	17.712±1.132 B	4	3.688±0.268 A	17.713±1.921 A
5	3.225±0.528 A	18.018±1.805 B	5	3.430±0.435 A	17.517±0.658 A

*Aynı harfler ile işaretlenen ortalamalar birbirinden farksızdır (P<0.05).

Çizelge 2. Buğdayda azota karşılık gelen verim ve protein tepki fonksiyonları ile regresyon eğrileri ve R² değeri

Tohum çeşidi	Verim tepki fonksiyonu				Protein tepki fonksiyonu		
	a	b	c	R ²	a	β	R ²
Bezostaya	-0.127	1.0216	1.1493	0.7272	0.6765	14.105	0.6746
Ahmetağa	-0.0869	0.8288	1.769	0.7303	0.935	14.427	0.5684
average	-0.107	0.925	1.4592	0.5917	0.8057	14.176	0.535

* tepki fonksiyonu eğrisi, gübreleme ile verim ve protein değerlerinin ilişkisini göstermektedir.



Şekil 2. Buğdayda azota karşılık gelen verim ve protein tepki fonksiyonları

Çizelge 3. Farklı gübreleme oranlarının gübreleme sonrası NDVI okumaları üzerindeki etkisi (1.deneme)

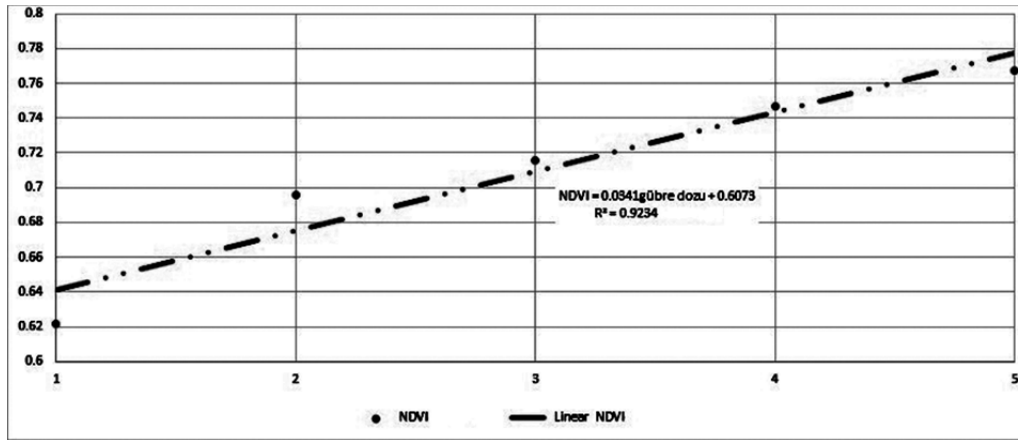
Gübre dozu	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	NDVI5	NDVI6
1	0.404±0.075A	0.608±0.090A	0.679±0.066B	0.622±0.039B	0.646±0.102AB	0.567±0.106A
2	0.460±0.149A	0.637±0.093A	0.679±0.035B	0.696±0.066B	0.614±0.043B	0.549±0.089A
3	0.495±0.102A	0.646±0.059A	0.734±0.067AB	0.716±0.067A	0.701±0.063AB	0.485±0.109A
4	0.467±0.117A	0.714±0.060A	0.784±0.032A	0.747±0.019A	0.709±0.093AB	0.468±0.063A
5	0.425±0.118A	0.685±0.044A	0.747±0.053AB	0.767±0.022A	0.740±0.045A	0.581±0.102A

* Aynı harfler ile işaretlenen ortalamalar birbirinden farksızdır (P<0.05).

Çizelge 4. Farklı gübreleme oranlarının gübreleme sonrası NDVI okumaları üzerindeki etkisi (2.deneme)

Gübre dozu	NDVI1	NDVI2	NDVI3	NDVI4	NDVI5	NDVI6
1	0.517±0.045A	0.734±0.052A	0.794±0.017A	0.777±0.024A	0.764±0.027A	0.657±0.044A
2	0.498±0.044A	0.723±0.041A	0.785±0.043AB	0.754±0.048AB	0.739±0.070A	0.649±0.077A
3	0.535±0.090A	0.714±0.063A	0.759±0.060AB	0.738±0.071AB	0.737±0.072A	0.620±0.093A
4	0.526±0.097A	0.674±0.079A	0.705±0.092B	0.680±0.093B	0.666±0.099A	0.572±0.086A
5	0.515±0.107A	0.732±0.061A	0.780±0.066AB	0.756±0.073AB	0.749±0.077A	0.645±0.079A

* Aynı harfler ile işaretlenen ortalamalar birbirinden farksızdır (P<0.05).

**Şekil 3. NDVI ve gübre oranları arasındaki ilişki**

SONUÇ

Bu çalışmada kullanılan yöntem, buğdayda verimin ve protein oranının artmasını sağlamaktadır. Bu yöntemin kullanılması tarla içerisinde daha verimli bölgelerin optimum oranda gübrenmesine, ayrıca kullanılan azot maliyetinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada uygulanan farklı azot oranlarının verim ve kalite parametrelerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Ekonomik optimum gübre oranlarının belirlenmesi, buğday için verim ve protein değerlerini kullanarak yapılmıştır (Baker et al. 2003; Gandorfer ve Rajsic, 2008). Bu yöntem buğdayda mevsim içi azot

tahmininde kullanılmıştır. (Raun et al. 1999; Solie et al. 2000)

Çalışmada kurulan parsellerden elde edilen okuma değerleriyle gübre oranları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Bu nedenle gübreleme sonrası yapılan 4.okuma dönemi (CGDD=928.9) NDVI değişkenliği açısından, değişken oranlı gübre uygulaması için en uygun dönem olarak belirlenmiştir. Deneme lokasyonunda elde edilen sonuçlara dayanarak, 1. Deneme lokasyonunda 4. gübre dozu (16 kgN/da) ve 2. Deneme lokasyonunda 5. gübre dozu (20 kgN/da) en yüksek verim açısından uygun gübre oranı olarak belirlenirken, en yüksek protein içeriği 5. gübre

dozunda (20 kgN/da) elde edilmiştir. Bu eşitlik sonucu optimum gübre oranı Bezostaya ve Ahmetağa çeşitleri için sırasıyla 16.76 ve 20.6 kg/da olarak belirlenmiştir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Austin, R. B., Ford, M. A., Edrich, J. A. & Blackwell, R. D., 1977. The nitrogen economy of winter wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 88, 159-167.
- Baker, D. A., Young, D. L., Huggins, D. R., and Pan, W. L., 2003. Economically optimal nitrogen fertilization for yield and protein in hard red spring wheat. *Agronomy Journal*, 96(1), 116-123.
- Cerrato, M. E., and Blackmer, A. M. 1990. Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 82 (1), 138-143.
- Cox, C. M., Qualset, C. O., and Rains, D. W., 1985. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Science* 25, 435-440.
- Franzen, D., Honggang, B., and Sharma, L., 2013. Relationship of active-optical sensor readings with sugar beet yield and quality, sunflower yield and spring wheat protein. Department of Soil Science, North Dakota State University.
- Frederick, J. R., and Bauer P. J., 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. P 56. In E.H. Satorre and G.A. Slafer (ed) *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, New York.
- Gandorfer, M., and Rajsic, P. 2008. Modelling Economic Optimum Nitrogen Rates for Winter Wheat When Inputs Affect Yield and Output-Price. *Agricultural Economics Review*, 9(2), 54-64.
- Lukina, E. V., Freeman, K. W., Wynn, K. J., Thomason, W. E., Mullen, R. W., Stone, M. L., Raun, W. R. 2001. Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 24(6), 885-898.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4), 291-300.
- Mosier, A. R., Duxbury J. M., Freney, J. R., Heinemeyer, O., and Minami, K., 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, Measurement and Mitigation. *Journal of Plant and Soil Science*. Vol. 181. pp. 95-108.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 2130271 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Değerli katkılarından dolayı TÜBİTAK-TOVAG grubuna teşekkür ederiz.

- Mullen, R. W., Freeman, K. W., Raun, W. R., Johnson, G. V., Stone, M. L., and Solie, J. B., 2003. Identifying an in-season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen. *Agronomy Journal*, 95(2), 347-351.
- Oscarson, P., Lundborg, T., Larsson, M., Larsson, C. M., 1995. Genotypic differences in nitrate uptake and nitrogen utilization for spring wheat grown hydroponically. *Crop Science* 35, 1056-1062.
- Palta, J. A., Kobata, T., Turner, N. C. and Fillery, I. R., 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. *Crop Science* 34, 118-124.
- Peoples, M. B. and Dalling, M. J., 1988. The interplay between proteolysis and amino acid metabolism during senescence and nitrogen reallocation. p. 181-217. In L. D. Noodén and A. C. Leopold (ed). *Senescence and Aging in Plants*. Academic Press, San Diego
- Raun, W. R., Johnson, G. V., Stone, M. L., Solie, J. B., Thomason, W. E., and Lukina, E. V. 1999. In-season prediction of yield potential in winter wheat. *Better Crops*, 83(2), 24-25.
- Sayili, M. ve Akça, H., 2004. Comparison of different models for describing sugarbeet yield response to nitrogen fertilizer (case study of Turkey). *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(4), 529-531.
- Smika, D. E. and Grabouski, P. H., 1976. Anhydrous ammonia applications during fallow for winter wheat production. *Agron. J.* 68:919-922.
- Smith, T. L., Peterson, G. A., Sander, D. H., 1983. Nitrogen distribution in roots and tops of winter wheat *Agronomy Journal* 75, 1031-1036.
- Solie, J. B., Stone, M. L., Needham, D. E., Washmon, C. N., Raun, W. R., Johnson, G. V., Larson, W. E. 2000. In-season N fertilization using an in-season estimate of potential yield. In *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July, 2000. (pp. 1-8). American Society of Agronomy.