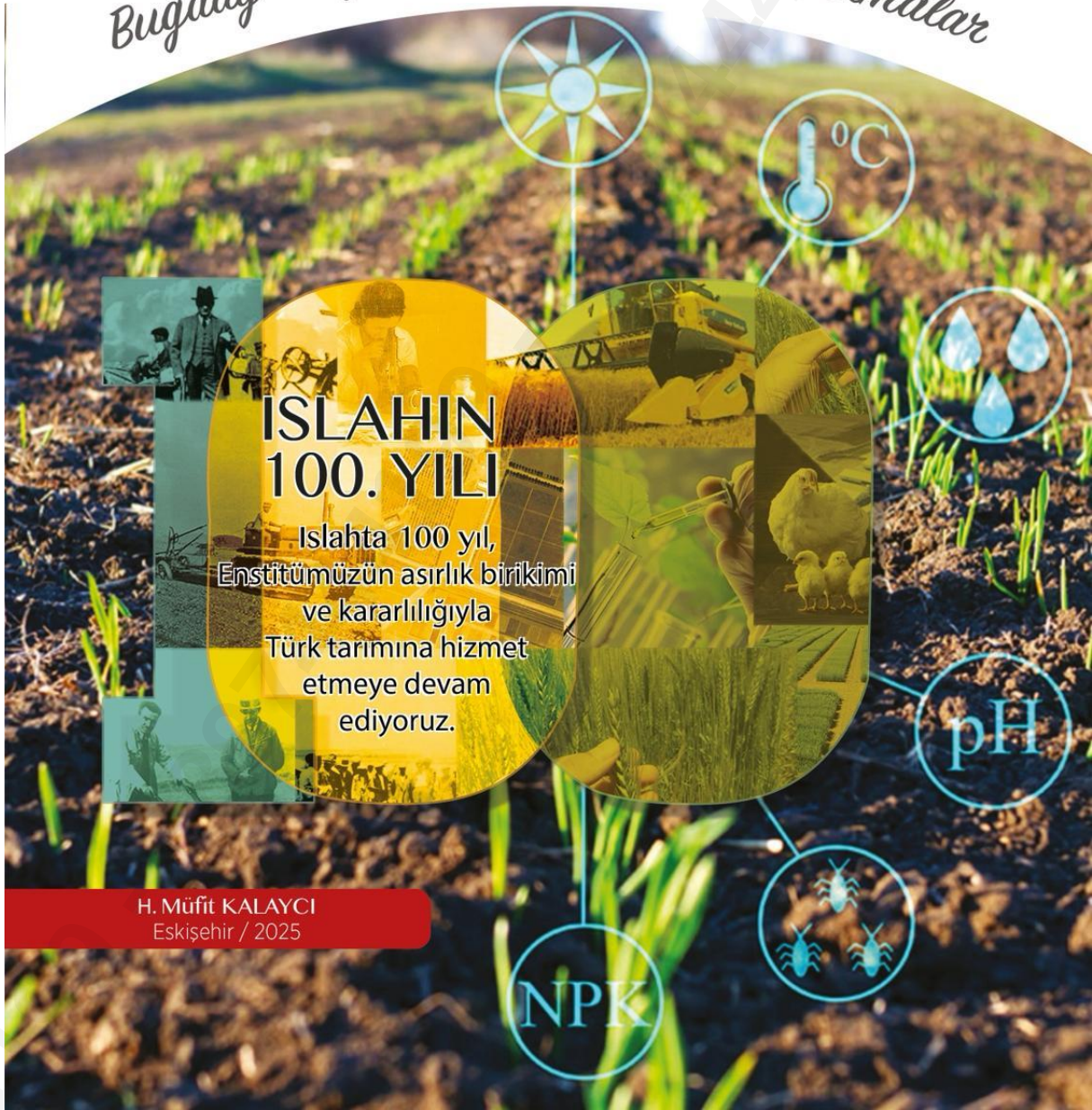




GEÇİT KUŞAĞI
TARIMSAL ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
Eskişehir 1925

TAGEM
AR-GE & İNOVASYON

Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesinde Buğday - Azot ilişkisi Üzerine Araştırmalar



ESKİŞEHİR VE BATI GEÇİT BÖLGEĞİNDE BUĞDAY - AZOT İLİŐKİĐİ ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

H. Müfit KALAYCI

Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
Eskişehir/1925



Grafik Tasarım
Serkan Mehmet ÇOBANOĞLU

Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü
Ziraat Cd. No: 396 Tepebaşı / Eskişehir Tel: 0222 324 03 00 Fax: 0222 324 03 01
ISBN
978-625-94443-2-1

Eskişehir 2025

ÖNSÖZ

Kapak sayfasında da görüldüğü gibi 2018 yılında yazılmış olan bu eser, ağırlıklı olarak Eskişehir’deki çalışmalar anlatılırken, konuyla ilgili yerli ve yabancı araştırma sonuçlarından da yararlanılmaya çalışılmıştır.

Her araştırma sonucu, doğallıkla, söz konusu araştırmanın yapıldığı çevrelerin temsil ettiği koşulların sınırları içinde geçerlidir. Özellikle, son yıllarda ülkede sık görülen bir sorun olmaya başlayan iklim değişikliği olayının ışığında, bu bilgileri o şekilde değerlendirmek gerekir. Örneğin, kitapta net olarak vurgulanan erken gelişmenin önemi, don zararı sorununun dışında yine de geçerli olmakla birlikte, taşıyabileceği riskler nedeniyle, bu eserin çiftçilere yönelik bir tavsiye el kitabı olmadığı, sadece ülkedeki konuyla ilgili araştırma geçmişi hakkında bilgi aktarma amacı taşıdığı unutulmamalıdır.

Günümüzde buğday araştırmacıları yeni araştırma konuları üzerine düşünürken, geçmişte yapılmış araştırmaların sonuçları hakkında da yeterli bilgi sahibi olmalarının çalışmalarına az ya da çok katkı sağlayabilmesi umut ve beklentilerimle.

H.MÜFİT KALAYCI

ESKİŞEHİR, 2025

H.MÜFİT KALAYCI

ESKİŞEHİR

TEŞEKKÜR

Bilimsel birikimini yalnızca döneminde değil, emeklilik sonrasında da üretmeye devam eden ve bu kuruma gönül vermiş isimlerden biri olan Sayın H. Müfit Kalaycı'nın hazırladığı bu değerli çalışma, buğday üretiminde azotlu gübre uygulamalarına ilişkin uzun yıllara dayanan deneyimin süzölmüş bir yansımasıdır.

TAGEM 'in yönlendirdiği tarımsal araştırmalar vizyonuna uygun biçimde şekillenen bu yayın, sadece sayısal veriler ve analizler içermekle kalmamakta; aynı zamanda araştırma etiği, bilimsel titizlik ve üreticiye dönük çözümler geliştirme sorumluluğunu da taşımaktadır.

Müfit Bey'in bilimsel çalışmalara verdiği önem, saha deneyimlerine dayalı gözlem gücü ve çözüm odaklı yaklaşımı, bu yayını genç araştırmacılar için bir referans niteliğine kavuşturmuştur. Enstitümüzün 100. yılında böyle bir eserin kurumsal kütüphaneye kazandırılmış olması, aynı zamanda geçmişle gelecek arasında güçlü bir köprü kurmaktadır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen Müfit Bey'e gönülden teşekkür ediyor; TAGEM bünyesinde sürdürülen tüm bilimsel çabaların, bu ve benzeri yayınlarla değerini daha da artıracasına inanıyorum.

Ulaş Çınar

Enstitü Müdürü

Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü

Eskişehir, 2025

İÇİNDEKİLER

Giriş.....	1
Optimum Azot Dozları Üzerine Toprak Azotu ve Verim Düzeylerinin Etkisi.....	1
Mevsim İçi Azotlu Gübre Yönetim Sistemleri.....	8
Klorofilmetre Okumalarına Dayalı Çalışmalar.....	8
Spektral Yansıma Değerlendirmelerine Dayalı Çalışmalar.....	10
Azot Kullanma Etkinliği.....	14
Genotipler Açısından Azot Kullanma Etkinliği.....	17
Azot Protein İlişkisi.....	19
Genotipik Açıdan Buğday-Protein Değerlendirmesi.....	23
Kaynakça.....	23

GİRİŞ

Buğday verimini etkileyen unsurlar arasında, dünya genelinde sudan sonra en çok araştırılmış ve araştırılmakta olan konu muhtemelen azottur. Bunun en önemli nedenlerinden biri, buğday verimi açısından kendisi kadar önemli olan fosfor oranla çok daha dinamik bir yapı arz etmesi, yine fosfordan farklı olarak, buğdayın azota vereceği karşılığın iklim koşulları ve verim düzeylerinden çok daha büyük ölçüde etkilenmesidir. Bu nedenle, fosforlu gübrelemeyle ilgili olarak yapılan kalibrasyon çalışmalarıyla toprak analiz değerlerine göre tavsiyeler oluşturulabilirken, azotta bu bilgi yeterli olmamakta, toprak azot değerleri yanında, beklenen veya hedeflenen verim düzeylerinin de gözönünde tutulması gerekmektedir. Buysa sadece yıldan yıla veya bölgeden bölgeye değil, aynı bölgede ve aynı yılda farklı verimliliğe sahip tarlalarda farklılık gösterdiğinden farklı düzeylerde karşılık alınmasına neden olabilmektedir. Azotun bu kadar yoğun araştırılmasının bir başka nedeniyse, buğdayda ekmeklik veya makarnalık kalitenin temel unsuru olan protein üzerine yaptığı çok büyük etkidir. Bu yayında, genelde Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesinde yapılan azotlu gübreleme çalışmalarının sonuçları değerlendirilirken, dünya genelinde yapılmış araştırma sonuçlarıyla da karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılacaktır.

OPTİMUM AZOT DOZLARI ÜZERİNE TOPRAK AZOTU ve VERİM DÜZEYLERİNİN ETKİSİ

1979-1987 arasında 8 yıl içinde Eskişehir'deki müessese arazisinde ve üretici tarlalarında azotlu gübre denemeleri kurulmuş ve sonuçları muhtelif vesilelerle yayınlanmıştır. Bu yayının amacı, sadece bu bilgileri tekrarlamak değil, günümüzün bilgileri ışığında daha ayrıntılı bir analize tabi tutarak yorumlamaktır. Buradan hareketle de, günümüzde yoğun araştırmalara konu olan mevsim içi azotlu gübre yönetim sistemleri hakkında, literatür kaynaklı bilgiler sunulup tartışılacaktır.

Buğdayın azota verdiği karşılık üzerine en etkili faktörün verim düzeyi olduğu (Eck and Tucker, 1968; Jackson and Sims, 1977), çevre faktörleri içinde en önemlilerinden yağış (Eck and Tucker, 1968; Bauer vd, 1965) ve toprak azotu olduğu (Bauer vd, 1965; Harris, 1963; Olson vd, 1976) çok eskilerden beri bilinmektedir. Günümüzde de yoğun araştırmalara konu olan bu hususla bağlantılı olarak, azotlu gübre tavsiyelerinde kullanılmak üzere farklı önermeler yapılmaktadır. Bu nedenle, buğdayda azotlu gübre ihtiyaç belirleme çalışmalarının tarihine bir göz atmakta yarar vardır.

Bitkinin azotla beslenme durumuyla ilgili olarak farklı yöntemler uygulanmış, toprak analizleri, yaprak analizleri ve yaprak semptomlarına dayalı değerlendirmeler arasında en başarılı sonuç toprak analizlerinden alınmıştır (Raun 1998). Yaprak analizlerinin yeterince güvenilir bulunmamasına değişik nedenler gösterilmektedir. Bunların başında, yaprak dokularındaki kritik azot seviyelerinin zaman içinde çok büyük varyasyon göstermesi gelmektedir (Raun and Westerman, 1991). Ayrıca, aynı bitkinin yaprakları arasında azot konsantrasyonu yönünden büyük farklılıklar olduğu, bunun büyük olasılıkla, farklı zamanlarda gelişen yaprakların gelişmesi sırasındaki toprak azotu farklılıklarından kaynaklandığı belirtilmektedir (Grindley, 1997). Ayrıca, üst yaprakların gölgelemesi nedeniyle alt yaprakların daha az ışıklandırıldığı bunda etkili olduğu (Grindley, 1997; Anten vd, 1995), bu nedenle dik yapraklı çeşitlerde yatık yapraklılara oranla bu varyasyonun daha küçük olduğu (Anten vd, 1995) ifade edilmektedir.

Toprak analizlerinde de farklı yaklaşımlar ele alınıp karşılaştırılmıştır. Azotlu gübre tavsiyelerine temel olarak toprak nitrat azotu tayinleri yeni bir olay olmayıp, daha 1901 yılında topraktaki suda çözünebilir nitratin bitki tarafından alınabilir azot miktarına ölçü olabileceği belirtilmiş (Dahnke and Johnson, 1990), bundan 60 yıl sonra, ABD'de buğday (Dahnke and Johnson, 1990) ve Kanada'da arpayla (Soper and Huang, 1963) yapılan çalışmalar nitrat azotunun bitki tarafından alınabilir azota iyi bir ölçü olduğunu göstermiştir. Soper ve Huang (1963) aynı zamanda organik madde kapsamını da bu amaçla kullanmayı denemişler, ancak yine de nitrat azotunun daha uygun bir ölçü olduğu sonucuna varmışlardır. Geneldeki başarısına ve yaygın kullanımına karşın, nitrat testi, özellikle toprak organik maddesinin fazla olduğu durumlarda, gelişme yılı içindeki mineralizasyon nedeniyle uygun sonuç vermeyebildiği için, Keeney (1982) nitrata ilaveten amonyum azotunu da ele alarak toplam inorganik azotuna ölçü olarak kullanmayı denemiştir. Bugün ABD'de genellikle nitrat testi yoğun olarak kullanılmakta, bazı Avrupa ülkeleri ise toplam inorganik azotu ele almaktadır.

Toprak azotunun en önemli kaynakları organik maddeden mineralizasyon ve önceki yıl uygulamalarından kalan bakiye azottur. Örneğin İsveç'te, her yıl ortalama olarak organik maddenin % 1-2' sinin mineralize olduğu ve bunun da toprağa yılda 2-12 kg/da azot kazandırdığı belirtilmektedir (Kirchmann et al., 2002). Oklahoma'da yapılan bir değerlendirmede ise, onların koşullarında, bu değerlerin 2-4 kg/da civarında olduğunu belirtilmektedir. Yağışların büyük bölümünün kışın alındığı çoğu yerlerde ya doğal olarak veya sürekli işlemler nedeniyle toprak organik madde kapsamı düşük bulunmaktadır (Anderson and Impiglia, 2002). Uzun süreli mekanik işlemlerin toprak organik madde kapsamını azaltıcı etkisi başka araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir

(McDonald and Fischer, 1991; Heenan et al., 1995). Türkiye’de de, 1500’den fazla toprak örneğinin analizi sonucunda örneklerin % 72’sinin % 2’den az, hatta % 21’inin % 1’den de az organik madde içerdiği bulunmuştur (Eyüpoğlu ve ark., 1994). Sadece Orta Anadolu Bölgesinde yapılan bir başka sörveyde ise 76 üst toprak örneğinin organik madde kapsamının % 1.0 ile 2.1 arasında değiştiği ve ortalama değerin % 1.5 olduğu bildirilmiştir (Çakmak vd, 1998). Ayrıca, toprak inorganik azotunun tek kaynağının organik maddeden mineralizasyon olmaması, geçmişte uygulanıp bitki tarafından kullanılmayan bakiye azot değerlerinin de önemli olması, organik madde üzerinden azotlu gübre tavsiyelerinin istenilen sonucu vermemesi sonucunu doğurmaktadır.

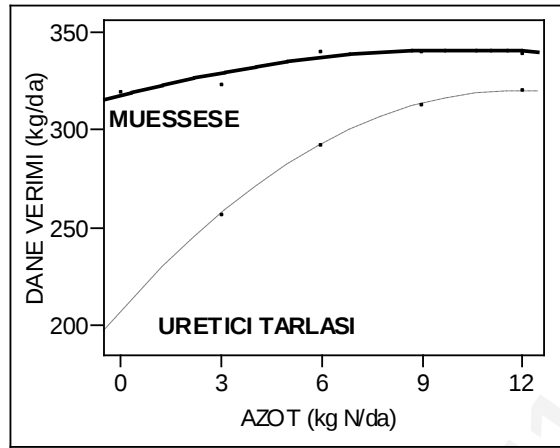
Sadece nitrat azotunun analiz edildiği durumlarda da, hangi derinlikten alınan örneklerdeki nitratin daha iyi ölçü olacağı konusunda farklı görüşler sergilenmekte, örneğin Oklahoma’da toprağın üst 15 cm’sinde tayin edilen nitrat kapsamı tavsiyelere ölçü olarak alınırken (Johnson vd, 2000), başka araştırmacılar 90 cm derinlikteki nitratin daha uygun olduğunu belirtmektedir (Burns, 1980; Cabelguenne and Debaeke, 1998). Avustralya’da yapılan bir çalışmada da, bitki reaksiyonu ile en yakın korelasyon 90 cm derinlikteki toplam nitrat miktarıyla elde olunmuştur (Bundy and Adraski, 2004).

Daha önce de ifade edildiği gibi, toprak azot değerlerinin bilinmesi de yeterli olmamakta, en uygun azotlu gübre tavsiyelerini oluşturmada verim hedefleri de önemli olmaktadır. Buysa sadece yıldan yıla değil, bölgeden bölgeye, hatta aynı bölgede tarladan tarlaya farklılık gösterdiği için farklı değerlendirmelere konu olmaktadır. Dahnke vd (1988) verim hedefini ‘*birim alandan alınması umulan verim*’ olarak tanımlamaktadır. Aynı araştırmacılar, maksimum verim kavramıyla, herhangi bir tarladan alınabilecek potansiyel verimin farklı şeyler olduğunu belirterek, üreticinin kendi deneyimlerinden yararlanmanın gerekliliğine işaret etmekte ve en uygun verim hedefinin o tarladan son 4-5 yılda alınan en yüksek verim olması gerektiğini ifade etmektedirler. Raun vd (2001) de aynı şeyi söylemektedir. Buna karşılık, bu yıllar içinde ekstrem değerlerin de çıkabileceği düşünülerek, farklı araştırmacılar farklı hedef belirleme yöntemleri önermektedir. Genellikle yine tarla düzeyinde ele alınan bu yaklaşımlarda, son 5-7 yılın ortalama verimine oranla % 5-10 daha fazla (Rice and Hawkins, 1994) veya, toprak suyu yeterli olduğu durumlarda, yakın geçmiş ortalamasına oranla % 10-20 daha fazla (Rehm and Schmitt, 1989) verim hedefleri önerilmektedir. Bunlara karşılık, Meksika’daki Yaqui vadisinde tavsiyelerin toprak azotuna ek olarak, başta yağış olmak üzere, iklim tahminlerine göre yapılmasının da iyi sonuç verdiği ifade edilmekte (Lobell vd, 2004), ancak başka araştırmacılar tarafından, verim tahmini böyle yapıldığı takdirde, ekim anında toprakta bulunan nemin de hesaba katılması halinde en yakın tahminlerin yapılabileceği belirtilmektedir (Black and Bauer, 1988; Oliver vd, 2006). Orta Anadolu’nun kuru tarım koşullarında birikmiş suyun verim üzerine etkisi iyi bilindiği için, sulı koşullarda çalışan Yaqui vadisi değerlendirmelerine oranla bu ikinci yaklaşımın bizim için daha uygun olduğu açıktır.

Buğday verimi açısından azotlu gübreye alınacak karşılıklar üzerine toprak azotu ve verim düzeylerinin etkisi böylece özetlendikten sonra, Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesinde yapılmış bir seri araştırmanın sonuçları bu açıdan değerlendirilecektir.

2 ekmeklik (Gerek 79 ve Bolal 2973) ve 2 makarnalık (Kunduru 1149 ve Çakmak 79) olmak üzere 4 buğday çeşidiyle kurulan bu denemeler 8 yıl sürdürülmüştür. Müessese arazisinde 0, 3, 6, 9 ve 12 kg N/da seviyeleri uygulanırken, üretici tarlalarında 0 dozu alınmamış ve seviyeler 3 kg/da’dan başlatılmıştır. Bunda daha çok üreticilerin 0 dozlarında oluşabilecek düşük verimlere karşı muhtemel reaksiyonlarını düşünmek etkili olmuştur. Sonuçlar değerlendirilirken, müessese arazisindeki denemelerin benzer verim düzeylerine üretici tarlalarından çok daha düşük azot seviyelerinde ulaşmaları topraktaki bakiye azot değerleriyle bağlantılı olarak görüldüğünden, üretici tarlalarını temsil etmeyeceği anlaşılmış ve o dönemde tavsiyeler sadece üretici tarlalarında yürütülen toplam 17 denemeden, azota karşılık alınabilen 15 denemenin sonuçları üzerinden yapılmıştır. Müessese arazisiyle üretici tarlaları arasında azotlu gübrelemeye alınan karşılıklar arasındaki bu büyük farklılık Şekil 1’de grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 1’de görüldüğü gibi, müessese koşullarında azotlu gübrelemeye karşılık çok daha düşük düzeyde olmuş ve benzer, hatta daha yüksek verim düzeylerine daha düşük azotlu gübre seviyeleriyle ulaşılmıştır. Bu durumun doğrudan doğruya topraktaki inorganik azot birikimiyle alakalı olduğu anlaşılmakla birlikte, başlangıçta henüz toprak inorganik azotunu tayin imkanımız olmadığından, üretici tarlalarında kurulan 17 denemenin son 9 tanesinde bu analizler yapılabilmektedir.



Şekil 1: Buğdayın azotlu gübrelemeye verdiği karşılığın müessesese arazisi ve üretici tarlalarındaki durumu.

Üretici tarlalarında kurulan 15 denemeden elde olunan verim değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesinde azotlu gübrelemeyle alınan buğday dane verimleri.

AZOT DOZU Kg N/da	DANE VERİMİ (kg/da)			
	GEREK	BOLAL	ÇAKMAK	KUNDURU
3	277	262	261	232
6	320	299	292	264
9	344	321	316	276
12	349	324	329	284

Çizelge 1’de görülen değerlerle yapılan regresyon analizine dayalı ekonomik azot seviyeleri, o günün buğday ürün ve azotlu gübre fiyatları üzerinden, hesaplanıp yayım hizmetlerinde kullanılmıştır. Ancak, daha önce de ifade ettiğim gibi, bu yayının amacı bunları tekrar etmek değil, ayrıntıları tartışmaktır. O nedenle, genelde yapıldığı gibi tüm denemelerin ortalaması üzerinden yapılan tavsiyelerden çok, alınan karşılıkların toprak azotundan ve verim düzeylerinden etkilenme durumu değerlendirilecektir. Yukarıda sözü edilen 9 denemede elde olunan toprak inorganik azot değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Azotlu gübre denemesi kurulan 9 üretici tarlasının 0-120 cm derinliğindeki inorganik azot kapsamaları.

DENEME YERİ	HASAT YILI	¹ NH ₄ kgN/da	¹ NO ₃ kgN/da	² TİA kgN/da	³ NO ₃ %
Aslanapa Kır	1985	5.83	1.40	7.23	19.3
Aslanapa Taban	1985	8.03	2.35	10.38	22.6
Atabey	1985	4.51	1.24	5.75	21.6
Alpu	1986	5.77	3.48	9.25	37.6
Seyitgazi	1986	6.32	3.87	10.19	38.0
Çal	1986	4.17	4.82	8.99	53.6
Eskişehir	1987	4.82	9.82	14.64	67.1
Afyon	1987	6.07	8.50	14.57	58.3
Yalvaç	1987	4.81	4.92	9.73	50.6

¹ Azot değerlerinin kg/da olarak hesaplanmasında toprak hacim ağırlığı 1,25 olarak kabul edilmiştir.

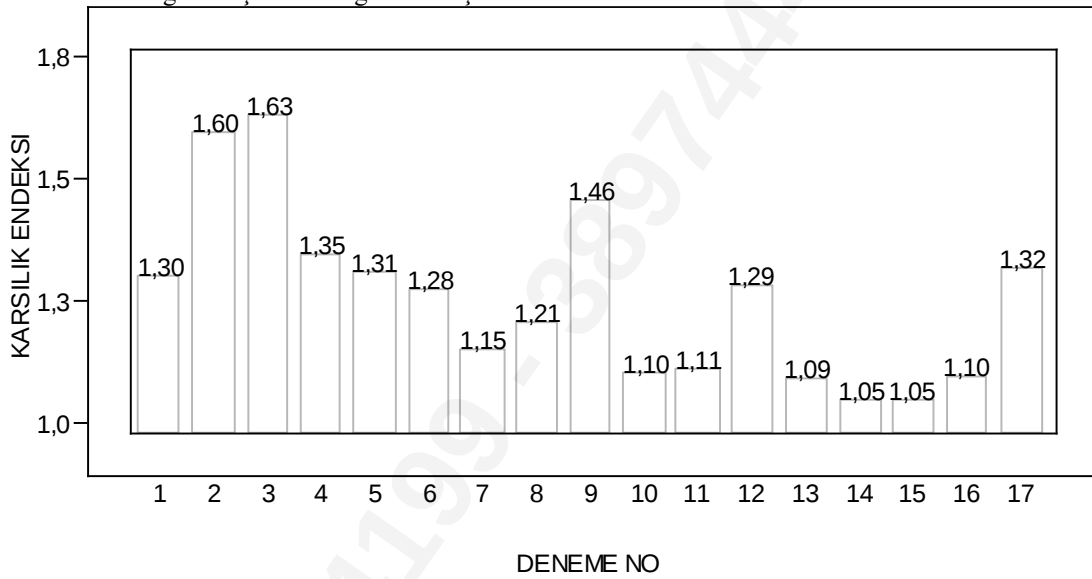
² TİA = Toplam inorganik azot (NO₃ + NH₄)

³ TİA içindeki NO₃ yüzdesi.

Çizelge 2’de tarlaların inorganik azot kapsamaları açısından varyasyonun ne kadar yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Çizelgede en başta yer alan, Kütahya’nın Aslanapa ilçesinde bulunan aynı çiftlikteki 2 ayrı tarla arasında bile büyük fark bulunmuştur.

Bu noktada, verim düzeyi üzerine çevrenin ve genotiplerin o çevrelerdeki potansiyel verimlerinin etkisini ayrı ayrı ele almak gerekmektedir. Her ne kadar, sonuçta hangisinden kaynaklanırsa kaynaklansın, artan verim düzeyleri azotlu gübreye alınan karşılığı arttırıyorsa da, söz konusu genotip olduğunda sadece verim düzeyi değil, çeşidin azotlu gübreden yararlanma etkinliği de etkili olmaktadır. Bu konu genotipler bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir. O nedenle bu bölümde sadece çevre koşullarının oluşturduğu verim varyasyonu üzerinde durulacaktır.

Yapılan değerlendirmede, denemelerin yürütüldüğü 17 çevrede azota alınan karşılıklar arasında önemli farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıkları değerlendirebilmek için, Johnson vd (2000) tarafından tanımlandığı şekilde karşılık endeksleri hesaplanmıştır. Buna göre, buğdayın optimum azotlu gübreye verdiği verimin kontrol verimine bölünmesiyle elde olunan değer karşılık endeksi olarak tanımlanmaktadır. Bu konuda kontrol olarak genellikle hiç azotlu gübre kullanılmayan parsellerin verimi ele alınmaktadır. Bizim yaptığımız değerlendirmede ise, en küçük doz 3 kg N/da olduğundan, elde olunan endeks değerleri 3 kg N uygulamasına oranla alınan karşılıkları göstermektedir. Eğer 0 N dozu kullanılmış olsa, doğallıkla endeks değerleri daha yüksek çıkardı. Ancak buradaki değerlendirme verim düzeyleriyle karşılık endeksleri arasındaki ilişkiyi belirlemek olduğundan bunun o kadar önemi yoktur. Bu denemelerde çeşitler için ayrı ayrı hesaplanan karşılık endekslerinin 4 çeşit ortalaması olarak değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: 4 çeşidin ortalaması olarak 17 denemede elde olunan karşılık endeksi değerleri.

Şekil 2’de görüldüğü gibi, karşılık endeksi açısından çevreler arasında büyük varyasyon meydana gelmiş ve optimum gübrelemeyle 3 kg N seviyesine oranla sağlanan verim artışları % 5 ile 63 arasında değişmiştir. 17 deneme ve 4 çeşidin ortalaması olan karşılık endeksi ise 1,258 olmuştur. Yani 3 kg N/da seviyesine oranla optimum gübreleme verimi ortalama % 25,8 arttırmıştır. Karşılık endekslerindeki büyük varyasyonun çevrelerde elde olunan verim düzeyleriyle ilgili olduğu anlaşıldığından bu matematik açıdan da incelenmiş ve karşılık endeksleriyle çevrelerin optimum verim düzeyleri arasındaki korelasyona bakılmıştır. 17 deneme üzerinden yapılan analizde, denemelerde 4 çeşit ortalaması olarak alınan optimum verimlerle karşılık endeksleri arasında $r=0,50^*$ ($n=17$) düzeyinde korelasyon elde olunmuştur. Verim düzeylerinin azota alınan karşılıkla ilişkisi bu şekilde belirlenmiş olmakla birlikte, 0,50 düzeyindeki korelasyon azota alınan karşılıktaki varyasyonun sadece % 25’inin verim düzeyleri tarafından açıklanabildiğini gösterdiği için, deneme tarlalarının toprak azot kapsamlarının da önemli olduğu anlaşılmıştır. Ancak bu 17 denemede değil, sadece son 9 tanesinde toprak azot kapsamı belirlendiği için, bu denemeler üzerinden optimum verim ve toprak azot kapsamlarının etkisi yeniden incelenmiştir. Bunu yapmak için, her denemenin kendi sonuçları üzerinden ekonomik azotlu gübre seviyeleri belirlenmiş ve bu değerlerin o denemelerde elde olunan optimum verimleri ve ekim anındaki toprak inorganik azot değerleriyle korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3: Denemelerde elde olunan optimum N seviyelerinin optimum verim ve toprak azotuyla korelasyon katsayıları.

	KORELASYON KATSAYISI		
	OPTİMUM VERİM	TOPRAK TİA	TOPRAK NO ₃
OPTİMUM N	0,66*	-0,76*	-0,68*
OPTİMUM VERİM		öd	öd
TOPRAK TİA			0,92**

Çizelgedeki azotla ilgili korelasyon katsayıları profilin 120 cm derinliğindeki azotla ilişkiyi göstermektedir. Amonyum azotu yeterli korelasyon vermediği için çizelgeye alınmamıştır. Görüldüğü gibi, en yüksek korelasyon toplam inorganik azot kapsamlarıyla elde olunmuş, nitrat azotu da ona yakın değer vermiştir. Aşağıda yapılan değerlendirmede NO₃ değerleri kullanılmıştır. Optimum verim düzeylerinin ve toprak nitrat değerlerinin birlikte kullanıldığı stepwise regresyon analizi sonucunda aşağıdaki denklem elde olunmuştur:

$$\text{OPTİMUM N} = 6,9 + 0,016 \times (\text{OPTİMUM VERİM} - 200) - 0,58 \times (\text{NİTRAT AZOTU} - 2,5)^*$$

$$R^2 = 0,77^* \text{ (n=9)}$$

Denklemin açılımı, hedeflenen verimde 200 kg/da'nın üstündeki her 100 kg/da artış optimum N seviyesini 1,6 kg/da arttırırken, toprak profilinin 120 cm derinliğindeki nitrat azotunda 2,5 kg N/da'nın üzerindeki her bir kg/da artışa optimum N seviyesini 0,58 kg/da düşürecek şeklindedir. Bu 9 denemede 4 çeşidin ortalaması olarak elde olunan en düşük ve en yüksek optimum verimler 132 ve 474 kg/da, en düşük ve en yüksek nitrat azotu değerleri ise 1,24 ve 9,82 kg N/da olmuştur. Gübre tavsiyesi yapılırken 200 kg/da'nın altında verim tahmini yapılmayacağından alt sınır olarak bu düzey alınmıştır. Ayrıca toprak nitrat azotu değerlerinde ekstremler de olmakla birlikte % 95 güvenilirlik için hesaplanan dağılım sınırları 2,5 ile 6,5 kg N/da olarak bulunmuştur. Bu nedenle denklemin intercept değeri alt sınır olarak 200 kg/da verim ve 2,5 kg N/da nitrat azotu üzerinden hesaplanmıştır. Yani toprağın 120 cm derinliğindeki toplam nitrat azotu 2,5 kg N/da (yaklaşık 1,6 ppm) gibi çok düşük bir değer olduğunda 200 kg/da gibi düşük sayılacak bir verim düzeyine bile 6,9 kg N/da gübre uygulamasıyla ulaşılabileceğini göstermektedir denklem. Analiz yapılan 9 deneme tarlasının ortalama değeri olan 4,48 kg N/da nitrat azotu (yaklaşık 2,9 ppm) halinde ise aynı verim düzeyinin gerektirdiği gübre ihtiyacı $6,9 - (1,98 \times 0,58) = 5,7$ kg N/da seviyesine düşmektedir. Bu durum topraklarımızın azot seviyelerinin genelde ne kadar düşük olduğunu göstermektedir. Nitrat azotu için uluslararası araştırmalarda 5 ppm olarak gösterilen kritik eşik değeri (Chapman, 1960) 120 cm profil derinliğine uyguladığımızda 7,8 kg N/da nitrat azotu anlamına gelmektedir. Bizim analiz yaptığımız 9 denemeden sadece 2'sinde bu değer aşılmış (9,82 ve 8,50 kg N/da) ve o denemelerde de 3 kg N/da başlangıç seviyesinin üzerindeki azotlu gübre uygulamalarına istatistiksel önemli düzeyde karşılık alınamamıştır.

Bu değerlendirmeye konu olan 9 denemenin toprak nitrat azotları (120 cm profilde) ortalaması 4,48 kg N/da olarak bulunmuştur. Aynı denemelerin optimum verim ortalaması da 327 kg/da olarak gerçekleşmiştir. Denklem bu değerlerle kullanıldığında, optimum gübre seviyesini 7,8 kg N/da olarak hesaplamaktadır. Nitekim 9 denemenin quadratik regresyon analizi sonucu hesaplanan optimum N seviyesi de 8,2 kg N/da olarak elde olunmuştur. Bunlar birbirine yeterince yakın rakamlardır. Bu durumda konuyu tartışmanın amacı şudur: Tavsiyeler deneme ortalamaları üzerinden yapılmakta, ancak denemelerin kendi sonuçları arasında büyük varyasyon oluşmaktadır. Örneğin, bu 9 deneme arasında optimum seviyeler 3 ile 12 kg N/da arasında değişmiştir. Bunda doğallıkla ekstrem sonuçların da etkisi vardır. Onun için, ortalama dışında sapma değerleri de incelenmiş ve ortalamaların standart hatası 0,99 (yaklaşık 1) olarak bulunmuştur. Bazı çevrelerde bu durum standart hata değeri kullanılarak $8,2 \pm 1$ şeklinde ifade edilse bile, istatistikçiler bunun ancak %66 güvenilirlik gösterdiğini, % 95 güvenilirlikle konuşabilmek için standart hatanın 2 mislini almak gerektiğini ifade etmektedir. Bunun anlamı şudur: Biz ortalama üzerinden 8 kg N/da tavsiyesi yapıyoruz ama % 95 güvenilirlikle konuşmamız gerekirse bu $8,2 \pm 2$ yani yaklaşık 6 ile 10 kg N/da arasında olabilir. Böyle bir ifadeninse pratikte bir işe yaramayacağı açıktır. Zaten onun için dünyada verim düzeyi ve toprak azotu değerleri üzerinde bu kadar ısrarla durulmaktadır.

Orta Anadolu ve Batı Geçit Bölgesinde yağmura dayalı tarım koşullarında karşılaşılabilecek makul sınırlar olarak 200-400 verim değerleri ve 2,5 ile 6,5 kg N/da arasındaki toprak azotu değerleri için hesaplanan optimum N seviyeleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4: Optimum azotlu gübre seviyelerinin optimum verim düzeyleri ve toprak nitrat azotuna göre değerleri.

OPTİMUM VERİM (kg/da)	TOPRAK NİTRAT AZOTU / 120 cm (kg N/da)		
	2,5	4,5	6,5
200	6,9	5,7	4,5
300	8,5	7,3	6,1
400	10,1	8,9	7,7

Görüldüğü gibi, Orta Anadolu’da genellikle deneme ortalamalarına göre yapılan tavsiyelere yaklaşan sonuçlar elde olunmuştur. Yalnız bir konuyu burda yinelemem gerekirse, bu değerler 4 çeşidin ortalaması üzerinden hesaplanmıştır. Genotiplerin farklı durumları, özellikle makarnalık çeşitlerin aynı verim düzeyinde daha fazla gübreye ihtiyaç göstermesi konusu genotipler bölümünde işlenecektir. Denemelerde optimum verim düzeyleri birkaç denemede 450 kg/da’ı geçtiği halde, Çizelge 4’te 500 kg/da seviyesi için tavsiye hesaplanmamış olmasının nedeni ise şudur: Bu denemeler yağmura dayalı koşullarda yürütüldüğü için, 12 kg N/da azot seviyesi üst sınır olarak alınmış, ancak verimin çok yüksek olduğu denemelerde verim artışı 12 kg N/da seviyesinde durmamıştır. Varsayımlarla bulaşık olacak şekilde ekstrapolasyona gitmektense, hesaplama sadece 200 ve 400 kg/da verim seviyeleri arası için yapılmıştır. Zaten bu nedenle, denklem 500 kg/da seviyesi için zorlandığında, deneme sonuçlarında elde olunan daha düşük tavsiyeler çıkartmaktadır. Bu durumda, bölgede benzer çalışma yapacak olanlara, bu gibi yüksek verimin zaman zaman oluşabileceğini düşünerek denemelerine 15 kg N seviyesini de ilave etmeleri tavsiye olunur. Yukarıda verilen verilerin hesaplanmasında kullanılan çoklu regresyon denklemininse 400 kg/da verim seviyesine kadar geçerli olduğu söylenebilir.

Toprak analizlerinin ve verim düzeylerinin katkısı bu şekilde açıklandıktan sonra, sıra verim tahminlerinin nasıl yapılacağına gelmektedir. Önceki bölümlerde açıklandığı şekilde, çoğunlukla yapılan tavsiyeler çiftçinin kendisiyle görüşme şeklindedir. Ancak bunun yapılamadığı durumlarda yine de mevsim normalleri üzerinden yaklaşık tahminler yapabilmek gerekmektedir.

Bizim Orta Anadolu ve Batı Geçit Bölgesinde 15 deneme üzerinden yaptığımız hesaplama, aktif gelişme dönemi olarak adlandırdığımız sonbahar ve ilkbahar aylarında düşen toplam yağışın (Ekim + Kasım + Nisan + Mayıs + Haziran), 100 milimetrenin üzerindeki her bir milimetresinin verimde yaklaşık 1,2 kg/da artış sağlayacağı şeklinde sonuç vermiştir. Bu denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{VERİM} = 192 + 1,2 \times (\text{AKTİF DÖNEM YAĞIŞI} - 100)$$

Ancak her denklem kendi elde edildiği koşulların sınırları arasında geçerlidir. Bu durumda denklemin intercept değeri açıklayıcı olmaktadır. Denklem aktif gelişme döneminde 0 yağış koşullarında bile $192 - (100 \times 1,2) = 72$ kg/da verim göstermektedir ki bunun her türlü durumda geçerli olmadığı açıktır. Yani bu 72 kg düzeyindeki intercept değeri büyük ölçüde ekim anında toprakta bulunan birikmiş sudan kaynaklanmaktadır. Bu denemelerde birikmiş su incelenmediği için kesin bilinemesi de, yaptığımız bir başka çalışma birikmiş suyun her bir milimetresinin verimde 1,7 kg/da artış sağlayacağını gösterdiği için yaklaşık bir değerlendirme yapılabilir. Birikmiş suyun bu etkisi Teksas’ta yapılan bir çalışmada 1,57 kg/da/mm (Musick vd., 1994), Avustralya’da ise 1,8 kg/da/mm (Kierkegaard vd., 2001) olarak bulunmuştur. Farklı potansiyele sahip çeşitlerle ve farklı ekolojik bölgelerde çalışılmasına rağmen benzer değerler elde olunmuştur. Bu durumda, 72 kg/da düzeyindeki verimin yaklaşık 40-45 mm birikmiş suya karşılık olduğu anlaşılmaktadır. Buğday veya aspir gibi çok su tüketen bitkilerin üzerine ekildiğinde, buğdayın bu yağışla bu verimi vermesi zordur. Çünkü bu bitkiler toprak profilinin 120 cm derinliğini çoğu zaman solma noktasına kadar kurutmaktadır. Aktif gelişme dönemine bakmadan toplam yağış üzerinden tahmin yapmak durumunda kalındığında ne olabilir konusu da düşünülmüş, bu durumda toplam yağışın ortalama ne kadarının bu 5 aylık aktif dönemde düştüğü incelenmiştir. Bu yüzdeler % 30 ile 64 arasında değişmekle birlikte genellikle % 40 civarında olmuştur. Bu durumda etkinliğin de % 40’ı alındığında, bu değer 0,48, yaklaşık 0,5 olmaktadır. Bunun anlamı, ekim anında profilde hiç bitkiye yararlı su bulunmadığı durumlarda, örneğin buğday üzerine buğday ekildiğinde, 300 mm toplam yağış halinde verim düzeyi 150 kg/da’ın üzerinde olmayacak, muhtemelen altında olacaktır. Bugüne kadar ekim nöbeti içinde yapılan çalışmalar da öyle göstermektedir. Kaldı ki, 326 mm yağış alınan bir yılda, buğday anızı üzerine ekilen buğdaydan 100 kg/da verim ancak alınabilmiştir. Ancak burada buğday üzerine buğday ekimi gibi bölgede zaten uygulaması olmayan durumlardan söz etmenin kuramsal bilgi dışında bir yararı da yoktur. Bölgede yapılan ekim nöbeti çalışmaları ve diğer denemelerdeki incelemeler, ekim anında 120 cm derinlikteki bitkiye yararlı nemin, toprak profil derinliğine ve ekim nöbetine bağlı olarak genellikle 25-30 mm ile 100 mm arasında değiştiğini göstermiştir. Bizim bu değerlendirmeyi yaptığımız denemelerin de önemli bölümü Batı Geçit Bölgesinde tek yıllık baklagil ekim nöbetlerinde yapıldığı için bu 40-45 mm değerini verdiği anlaşılmaktadır. Nadas tarlalarında, toprak profili yeterince derin olduğunda, bu değer belli ki çok daha yüksek olabilir. Bazı araştırma sonuçları yayınlanırken 200 mm’nin üzerinde değerler veriliyorsa da, bu durumun nedeni o denemelerin yapıldığı

tarlaların profilindeki toplam suyu göstermesidir. Zaten bu değerler de genellikle nadasa oranla su eksiltme durumlarını göstermek için verilmektedir. Oysa verim tahminlerinin bitkiye yarayışlı su değerleri üzerinden yapılması gerekmektedir. Benim verdiğim değerler, buğday anızına oranla artış şeklinde belirlenmiş değerlerdir. Bu konuda, bir yıl önceki buğdayın kullandığı su ölçü olarak alınmış ve bundan artı kalan su buğdayın kullanamayacağı su olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, Eskişehir müessesesinin 2,5 metreden derin aluviyal tarlaları gibi ekstrem durumlar dışında, nadas yılında 500 mm gibi yüksek yağış alındığında bile 120 cm derinlikteki bitkiye yarayışlı su en fazla 150 mm olacak, mevsim normalleri halinde ise yukarıda verdiğim sınırlar arasında değişecektir.

Bu bilgilerin ışığında, nadas döneminde düşen yağışı, buğdayın ekileceği yılda beklenen (mevsim normali) yağışı ve profil derinliğine bağlı olarak ortalama nadas etkinliklerini kullanmak üzere bir verim tahmini çalışması yapılmış ve aşağıda özetlenmiştir. Bu değerlendirme nadas koşulları için yapılmıştır.

Bu hesaplama önce kurak sayılacak bir yıl olarak, nadas yılında 300 mm yağış alan bir yıl için yapılmıştır. Varsayım olarak, uzun yıllar ortalaması 350 mm olan bir bölge ele alınmıştır. Buğdayın ekileceği yıl için yağış tahmininde uzun yıllar ortalaması kullanılacağına göre, aynı bölgedeki verim tahminleri sadece birikmiş su tahminlerine dayalı varyasyon gösterecektir. Bizim yaptığımız bir değerlendirme, derin profilili müessese tarlasıyla, yüzlek profilili alt istasyon tarlası için nadas etkinliklerini, sırasıyla, % 29 ve 9 olarak göstermişti. Bu durumda derin profilili (2 m +) bir tarla için % 30, yüzlek profilili (90 cm'den az) bir tarla için % 10, ikisinin arasında yarı taban bir tarla içinse % 20 nadas etkinliği kullanmak çok yanlış olmayacaktır. Sonuçta gerçek nadas etkinliği, sadece profil derinliğinden değil, nadas dönemindeki yağış ve sıcaklık dağılımıyla, nadasın nasıl yapıldığından da etkilenecektir kuşkusuz. Ancak binlerce tarlada tek tek nem tespit etmek mümkün olmadığına göre zorunlu olarak bu ortalama değerler kullanılacaktır.

Buna göre, eğer söz konusu bölge kurak bir nadas dönemi yaşayarak bu dönemde sadece 300 mm yağış aldıysa ne olacağı şöyle hesaplanmıştır. Yüzlek tarlada % 10 nadas etkinliği 30 mm birikmiş su sağlarken, derin tarlada bu değer 90 mm, yarı taban tarlada ise 60 mm olacaktır. Bu durumda, bu değerlerin 1,7 kg/da/mm üzerinden sağlayacağı verim katkısı da, kır, yarı taban ve taban tarlalarda, sırasıyla, yaklaşık 50, 100 ve 150 kg/da olmaktadır. Buğdayın ekileceği yılın yağışı mevsim normalleri üzerinden hesaplanacağına göre, bu yağışın verime katkısı da $350 \times 0,5 = 175$ kg/da yapmaktadır. Bu durumda verim tahminleri de kır, yarı taban ve taban tarlalar için, sırasıyla, 225, 275 ve 325 kg/da olmaktadır.

Başlangıç bölümünde açıklandığı gibi, genellikle hesaplanan verimlere bazen % 5-10, bazense % 10-20 ekleyerek umut edilen verim üzerinden hesaplama yapılması tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni, azotun az gelmesi nedeniyle oluşacak kardan zarar anlamındaki ekonomik kaybın, 1 kg fazla gelmesinden kaynaklanan kayba oranla daha fazla olmasıdır. Kaldı ki bu fazla gelen 1 kg azot ta muhtemelen dane protein değerlerine yansiyacak, yani boşa gitmiş olmayacaktır. O yüzden, umulan değerler hesaplanana % 10 eklenerek bulunmuştur.

Yukarıda örneklendiği şekilde, 350 mm ortalama yağışlı bir bölgede, nadas etkinliklerine ve nadas döneminde düşen yağışa göre hesaplanan verimler % 10 eklenerek bulunan, umulan verimler (yuvarlanmış rakamlar olarak) ve bunların gerektirdiği azotlu gübre tavsiyeleri Çizelge 5 ve 6'da gösterilmiştir. Burada verilen değerler, bizim denemelerimizin ortalaması olan 120 cm profil derinliğinde yaklaşık 4,5 kg/da nitrat azotu için verilmiştir. Bunun üzerindeki her 1 kg nitrat azotu için tavsiyeden yaklaşık 0,6 kg N/da düşme, altındaki her 1 kg azot içinse 0,6 kg ilave yapılması gerekecektir.

Çizelge 5: Nadas döneminde düşen yağış ve ekim yılında beklenen yağış (350 mm) değerlerinden hesaplanan umulan verim düzeyleri.

NADAS DÖNEMİ YAĞIŞI (mm)	UMULAN VERİM (kg/da)		
	KIR	YARI TABAN	TABAN
200	230	270	310
300	250	310	360
400	270	350	410
500	290	390	460

Çizelge 6: Umulan verim düzeylerinin ortalama 4.5 kg N/da toprak nitrat azotu halinde karşılık vermesi beklenen azotlu gübre düzeyleri.

NADAS DÖNEMİ YAĞIŞI (mm)	AZOTLU GÜBRE TAVSİYESİ (kg N/da)		
	KIR	YARI TABAN	TABAN
200	6,3	6,9	7,6
300	6,6	7,6	8,4
400	6,9	8,3	9,2
500	7,2	9,0	12+

Çizelge 5 ve 6 incelendiğinde, nadas yılındaki yağışta meydana gelen varyasyonun kır tarladaki verim tahminlerini ve dolayısıyla azotlu gübre tavsiyelerini nispeten daha az etkilediği, taban tarlalarda bu varyasyonun verim ve tavsiye seviyelerine çok daha fazla yansıdığı görülmektedir. Bunun nedeni, yüzlek tarlalarda düşük nadas etkinliği nedeniyle birikmiş su değerlerinin de fazla etkilenmemesi ve buğdayın ekim yılındaki yağış sabit olduğunda bunun verime daha az yansmasıdır. Bunun tersi durumda, yani nadas dönemindeki yağış sabit kalıp, ekim yılındaki yağışta varyasyon oluştuğunda ise bu kez kır tarlalarındaki verim varyasyonu daha fazla olacaktır. Yani yağışlı bir ekim yılına oranla meydana gelen yağış azlığı kır tarlada daha fazla verim kaybına neden olacaktır. Ancak ne yazık ki ekim sırasında tavsiyeler yapılırken bunu tahmin etmenin bir yolu yoktur. Bu şekilde geleceğe yönelik tahminlerin güvenilir olmaması mevsim normallerine göre hesaplamaları zorunlu kılmaktadır. Bu durum özellikle mevsim normalinin üzerinde yağış alınıp, verilen gübre yeterli gelmediğinde sorun olmakta, hem dane veriminde o yağışla alınacak verim alınamamakta, hem de dane protein konsantrasyonlarında seyrilmeye dayalı azalmalara neden olmaktadır. Dünyada şu anda en çok çalışılan konulardan olan mevsim içi azotlu gübre yönetim sistemi araştırmalarına gerek duyulmuş olmasının nedeni de budur.

Dünya genelinde bu konular araştırılmakla birlikte, bu yöntemler üretici tarlalarında yaygınlaşmadığı için, çoğunlukla beklenen verim düzeylerine ve toprak azotu değerlerine göre pratik tavsiyeler yapılmaktadır. Oklahoma’da her 100 kg/da buğday verimi için 3,3 kg N/da hesaplanırken, toprağın üst 15 cm’sinde bulunan nitrat azotunun bundan düşülmesi şeklinde tavsiye yapılmaktadır (Johnson vd, 2000). Örneğin toprağın üst 15 cm’sinde 1,5 kg N/da düzeyinde nitrat azotu bulunmuşsa, 300 kg/da verim düzeyi için $(3 \times 3,3) - 1,5 = 8,4$ kg N/da gübre tavsiyesi yapılmaktadır. Üst 15 cm toprağın hacim ağırlığı olarak Orta Anadolu’da en çok rastlanan 1,3 değeri alınırsa, 1,5 kg N/da nitrat azotu yaklaşık 7,5 ppm azota karşılık olmaktadır.

Ancak bu analizin ne zaman yapıldığı da önemlidir. Örneğin, sonbahar kış yağışlarıyla derine inen bir miktar nitratın, ekim zamanına doğru kapillar yükselmeyle yüzeye yaklaşan suyla birlikte üst toprağa taşındığı bilinmektedir. O nedenle yukarıda verilen değerler ekim zamanına yakın alınan örnekler için geçerlidir. İlkbaharda yapılacak değerlendirmelerde farklı dağılımlar nedeniyle farklı etkiler görülebilir. Bizim çalışmamızda ise üst 30 cm’deki nitrat azotu değerleri optimum azot dozlarıyla daha düşük düzeyde korelasyon vermiş, 60 cm kısmen daha iyi olmakla birlikte, en yüksek korelasyonlar 0-90 ve 0-120 cm örnekleriyle elde olunmuştur.

MEVSİM İÇİ AZOTLU GÜBRE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Bölgemizde olduğu gibi, dünyanın benzer ekolojilerinde de sezon başındaki tahminlere dayalı tavsiyelerin her zaman tutmaması, bunların sezonun gidişine göre yıl içinde modifiye edilebilmeleri ihtiyacını doğurmuş ve Mevsim İçi (In-Season) azotlu gübre yönetim sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu konuda farklı yöntemler kullananlar olmakla birlikte, dünya genelinde en çok çalışılmakta olan ikisi klorofilmetre ölçümlerine dayanan azot yeterlilik durumu ve optik sensörlerle tespit edilen spektral yansımaya dayalı değerlendirmelerdir.

KLOROFİLMETRE OKUMALARINA DAYALI ÇALIŞMALAR:

Bu yaklaşım, kurak giden bir yılda gübre ekonomisi sağlamaya da yönelik olmakla birlikte, ilk kullanım alanı tane protein içeriğine yönelik olmuş, sulı koşullarda ve/veya koşulların erken gelişme için uygun olduğu yıllarda gelişmenin geç dönemlerinde bu fazla gelişmenin neden olduğu yaprak azot ve dolayısıyla klorofil seyrilmelerini tespit ederek, azot verilip verilmemesinin kararlaştırılması esasına dayanmaktadır. Kaliteye yönelik uygulamalar ilgili bölümde verileceği için, bu bölümde ilkbahar gübreleme düzeylerine yönelik çalışmalar kısaca özetlenecektir.

Yaprak klorofil değerlerinin yaprak azot kapsamlarıyla yakın ilişki verdiği belirtilmekte ve buna neden olarak, toplam yaprak azotunun yarısından fazlasının fotosentez mekanizmasında kullanıldığı gösterilmektedir (Evans, 1983, 1989). Yapraklardaki klorofil, yaklaşık 450 nanometre (mavi ışık) ve yaklaşık 670 nanometre (kırmızı

ışık) dalga boylarındaki ışığı güçlü bir şekilde tutmakta, 550 nanometre civarındaki yeşil ışığı ise geri yansıtmakta ve bu nedenle yapraklar yeşil olarak görünmektedir. Bu gerçeğe dayanarak, kırmızı ışık (650 nanometre) ve yakın- kızılötesi (near-infrared, 940 nanometre) dalgaboylarındaki ışığın yapraklardan geçme (transmission) düzeyini ölçen MINOLTA SPAD 502 CM bu amaçla yaprakların klorofil kapsamlarını tahminde kullanılmakta ve bu yöntemin toprak analizine dayalı azotlu gübre ihtiyacı tahminlerinden daha iyi sonuç verdiği belirtilmektedir (Blackmer and Schepers, 1994; Markwell vd, 1995). Bunun nedeni olarak, bitkinin yetiştirme döneminde de organik maddeden mineralizasyonun devam etmesi, dolayısıyla ekimden önceki toprak mineral azotu tاینلرینه oranla, bitkinin azotla beslenme durumunun ilkbahar okumalarıyla belirlenmesinin daha gerçekçi değerler vermesi gösterilmektedir. Bunun yapılmadığı durumlar içinse, ekim anında toprakta bulunan inorganik azota ilaveten, kolay ayrışabilir organik maddenin de belirlenerek değerlendirmeye alınmasının yararlı olacağı belirtilmektedir (Groot and Houba, 1995). Ancak yaprak klorofil durumları bu kapasiteyi de az çok gösterdiği için avantajlı görülmektedir. Başlangıçta daha çok mısır bitkisi için kullanılan bu yöntemin, buğdayla ilgili çalışmalarda da iyi sonuç verdiği bildirilmiştir (Lopez-Bellido, 2004).

Yaprak klorofil oranlarını etkileyen tek unsur doğallıkla azot değildir. Farklı genotiplerin klorofil oranları kalıtsal olarak ta farklı olduğu gibi, başta kuraklık olmak üzere, diğer besin maddesi noksanlıkları, hastalık ve zararlılar gibi konular da yapraklarda klorofil azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir durumda yaprak klorofil seyrelmelerinin nedeninin azot noksanlığı olup olmadığını anlayabilmek için, aynı çeşidin ekildiği aynı tarlaya, buğdayın karşılık verebileceği düşünülen en yüksek dozla gübrelenen, yani azotça zenginleştirilmiş, referans şeritleri ekilmekte ve tarlanın kalan bölümü bu şeritle karşılaştırılarak göreceli değerlendirme yapılmaktadır (Schepers vd, 1992). Bu karşılaştırma genellikle tarlanın SPAD değeri, referans şeridinin SPAD değerinin yüzdesi şeklinde hesaplanmak suretiyle yapılmaktadır. Buna NSPAD (Normalize Edilmiş SPAD) adı verilmekte ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$NSPAD = SPAD (TARLA) / SPAD (REFERANS ŞERİDİ)$$

Buna göre, örneğin bir tarlanın referans şeridinden 50, kalan tarla genelinden 45 SPAD değeri okunmuşsa NSPAD değeri de $45/50 = 0,90$ olmaktadır. Bu değer elde edildikten sonra bunun ne kadar azotlu gübre ihtiyacına karşılık olduğunu belirlenmesinde ise kalibrasyon denemeleri kurularak karar verilmektedir. Bu denemelerde, azotlu gübre takviyesine karşılık alınabilecek maksimum NSPAD değerleri belirlenip buna Klorofil Yeterlilik Endeksi (Chlorophyll Sufficiency Index) denmekte olup, yurt dışında yapılan değişik çalışmalarda bu kritik eşik genellikle 0,95 civarında bulunmuştur ((Blackmer vd, 1993; Blackmer and Schepers, 1994; Blackmer and Schepers, 1995). Eskişehir’de yapılan bir çalışmada da, sapa kalkma başlangıcındaki okumalar üzerinden yapılan değerlendirmede kritik NSPAD değerleri hem sulu, hem de kuru koşullarda 0,95 olarak bulunmuştur (Çekiç vd, 2011). Bu çalışmadaki verilerden azot ihtiyacı hesaplandığında ise (sapa kalkma başlangıcında okunduysa), NSPAD değerindeki her 0,01 azalmanın sulu koşullarda 1 kg N/da azotlu gübre ihtiyacı anlamına geldiği belirlenmiştir. Kuru koşullarda ise, suludaki gibi doğrusal değil quadratik ilişki gösterdiği gibi genellikle daha yüksek düzeyler vermiştir. Bu durum, muhtemelen, kuru koşullarda kullanılan gübrenin bitki tarafından alınabilme oranının sulu koşullara oranla daha düşük olmasından kaynaklanmıştır. Çünkü yöntem bitkinin ihtiyacı olan azot hakkında bilgi vermekte ancak verilen gübrenin ne kadarının bitki tarafından alınabileceği de etkili olmaktadır. Etkinlikten kaynaklanan bu farklılıklar, biraz aşağıda özetleyeceğim optik sensör okumalarına dayalı değerlendirmelerde de tartışma konusu olmaktadır. Bu nedenle her ekolojik bölgenin kendi kalibrasyon denemelerini kurması ve değişebilecek etkinlik düzeylerine göre kendi ekolojik bölgesi için tavsiye listeleri hazırlaması gerekecektir. Bu durumda, yukarıda sulu koşullar için verdiğim örnekteki gibi 0,90 NSPAD değeri hesaplanmışsa, bu değer $(0,95-0,90) \times 100 = 5$ kg N/da gübre ihtiyacını göstermektedir. NSPAD değeri, yağmura dayalı üretim koşullarında, pratikte genellikle 0,90 ile 1 arasında değişmekte, çok ender durumlarda 0,90’ın altına düşmektedir. Çekiç vd (2011) tarafından yapılan çalışmada 0,86 gibi çok düşük bir değer de elde olunmuş ve bu 9 kg N/da gübre ihtiyacı göstermiştir. Ancak bu bir kalibrasyon çalışması olduğundan ekim anında hiç azot verilmemiş parsellerde elde olunmuştur bu değer. Genelde gübreyi bölerek kullanan, ekim anında DAP veya kompoze gübre gibi az çok azot ihtiva eden gübre kullanan Orta Anadolu üretici tarlalarında bu kadar düşük değerlere rastlanması ihtimali zayıftır. Bunun istisnaları, buğday profilindeki azotu büyük ölçüde tükettiği için, buğday üzerine buğday ekilen ve ekim anında çok az gübre verilen koşullarda ortaya çıkabilecek durumdur. Varvel (1997) mısırla yaptığı bir çalışmada, 0,90’ın altındaki NSPAD değerleri oluştuğunda, daha sonra azotlu gübreleme verimi arttırsa da zararı tamamen telafi edemeyeceği, bir kısım verim azalmasının bu döneme kadar oluştuğu sonucuna varmıştır. Yukarıda söz ettiğim Eskişehir’deki kuru koşullarda çalışmada da, ekim anında 3 kg N/da uygulaması bile sapa kalkma başlangıcındaki NSPAD değerini 0,90’a çıkartmıştır ki, üreticiler de bu düzeyde veya ona yakın gübre azotunu ekimle birlikte zaten kullanmaktadır.

SPAD okumalarının yapılacağı yaprakları seçmek te önemli olmaktadır. Çünkü yaprağın gelişmesi süresince klorofil oranlarının yaprak boyunca arttığı belirtilmektedir. Bu nedenle, gelişmesini tamamlamış son 1 veya 2 yaprakta okuma yapılması (bu genellikle çıkış yapmış sondan ikinci ve üçüncü yapraklardır), her yaprağın dip, orta ve uç kısımları olmak üzere 3 yerinde okuma yapıp ortalamasının alınması gerekmektedir (Peng et al. 1996; Lopez-Bellido et al. 2004). Ayrıca, okumaların temsil edici olabilmesi için, küçük deneme parsellerinde 10 yaprak örnekleyerek çalışılabilir de, çiftçi tarlalarında, hem azotça zenginleştirilmiş şeritlerde, hem de tarlanın kalan kısmında mümkün olduğu kadar fazla sayıda yaprakta okuma yapılması gerekmektedir. Okuması kolay ve pratik bir yöntem olduğu için bu da bir sorun oluşturmayacaktır.

Klorofil okumasına dayalı azotlu gübre tavsiyeleri yukarıda özetlendiği şekilde sapa kalkma başlangıcında da yapılmakla birlikte, en yaygın kullanımı geç dönemde (genellikle başaklanma dolayında) yapılacak okumalarla, dane protein kapsamında yüksek yağışın ve iyi gelişmenin neden olabileceği seyremlere karşı önlem olarak ek azot verilmesinin yarar sağlayıp sağlamayacağını belirlemek şeklinde olmaktadır. Çünkü olumlu özelliklerine karşın, tek yapraklar üzerinden yapıldığından, dane verimi tahminlerini içermemekte, bu nedenle erken ilkbahar okumaları konusunda spektral yansımaya dayalı değerlendirmeler daha çok ilgi görmektedir.

SPEKTRAL YANSIMA DEĞERLENDİRMELERİNE DAYALI ÇALIŞMALAR:

Ekim öncesinde alınan örneklerdeki toprak azotu tayinlerinin, bitkinin gelişme süreci içindeki gerçek ihtiyacı belirlemekte yetersiz olduğu, bir yandan ekim yılında toprağın buna ne kadar daha katkıda bulunacağını, diğer taraftansa bitkinin gelişme durumuna bağlı olarak talebinin ne olacağını tahmin edebilmenin tavsiyeleri daha gerçekçi kılacağı belirtilmektedir (Blair and Lefroy, 1993). Bir önceki bölümde açıklandığı gibi, klorofil okumaları bitkinin azotla beslenmesinin yeterlilik durumu hakkında bilgi vermekte, ancak tek yapraklar üzerinden okunduğu için verim tahmini konusunda bir işlev içermemektedir. Bu nedenle yaptığı tavsiyeler, kalibrasyon denemelerinin kurulduğu denemelerde alınan ortalama verimler için geçerli olmaktadır. Bu düşünce, yaprakların klorofil yeterlilik durumu yanında, gelişme süratine dayalı olarak verim tahmini yapılmasına da izin veren spektral yansımaya dayalı yöntemlerin geliştirilmesine neden olmuştur (Lukina vd, 2001; Raun vd, 2002).

Bitkilerin, spektrumun kırmızı ve yakın-kızılötesi bölgelerinde (farklı nanometre okumalarında) verdikleri yansıma değerleri karşılaştırılarak gelişme durumunu gösteren vejetasyon endeksleri elde etmeye dayanan bu yöntemde, en yaygın kullanılan vejetasyon endeksi kavramları NDVI (Normalized Difference Vegetation Index = Normalized Edilmiş Farka Dayalı Vejetasyon Endeksi) ve SR (Simple Ratio = Basit Oran) olmaktadır. Esas itibariyle toplam kuru madde ve yaprak alan endeksiyle alakalı olduğundan, dolaylı olarak fotosentetik kapasite ve verim tahminlerinde kullanılan bu endeksler buğday verim tahminleri için de kullanılmaktadır (Pinter vd, 1981; Aparicio vd, 2000). Bu endekslerin hesaplanmasında genellikle $SR = (R900/R680)$ ve $NDVI = (R900 - R680)/(R900 + R680)$ formülleri kullanılmakta, bu formüllerdeki R harfi yansıma (reflectance) değerlerini, rakamlarsa yakın-kızılötesi (900 nm) ve kırmızı ışık (680 nm) bölgelerini tanımlayan nanometre değerlerini göstermektedir. Genel tanım bu olmakla birlikte, SR değerinin hesaplanması bazen farklı ele alınabilmektedir. Örneğin, Türkiye'deki bir çalışmada formül tersinden kullanılıp $R680/R900$ şeklinde hesaplanmış, bu nedenle azot noksanlığı halinde daha yüksek değer verirken, azotlu gübrelemeyle bu değer azalmıştır (Çekiç, 2011). Aslında oran aynı değerler üzerinden hesap edildiği için karşılaştırma açısından önemli olmamakla birlikte, bu farklı durumu bilmekte yarar vardır. Bunu anlamanın yolu şudur: Eğer üzerine sabit program yüklenmiş, yani SR değerini kendi hesaplayıp hazır olarak veren, bir optik sensör kullanıldığında azotlu gübre seviyesi arttıkça SR değeri de artıyorsa, bu o sensörün SR değerini $R900/R680$ formülüyle hesapladığını, azalıyorsa $R680/R900$ formülüyle hesapladığını gösterir. Çünkü R900'daki büyük değerler biyokütledeki iyi gelişmeye, R680'deki büyük değerlerse azot noksanlığına işaret etmektedir.

Klorofilmetre bölümünde de açıklandığı gibi, sağlıklı bitkiler kırmızı ışığı büyük bir güçle tutup fotosentezde kullanırken, azot noksanlığı halinde kırmızı ışık bölgesinde daha fazla yansıma vermektedir (Steven vd, 1990). Kırmızı yansımadaki artışlar azot noksanlığının neden olduğu klorofil noksanlığını gösterirken (Filella et al., 1995), yakın-kızılötesi yansımadaki azalmalarsa yaprak alan indeksi ve yeşil biyolojik kütledeki azalmaları belirlemektedir ve bu tahıllarda da çok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Asrar et al., 1984; Jensen et al., 1990). Çünkü yakın-kızılötesi ışığın büyük ölçüde geri yansıtılabilmesi için sağlıklı bir bitki örtüsü gerekmekte, örneğin erken kardeşlenme dönemi gibi toprak yüzeyinin henüz tam kapatılmadığı dönemlerde bu değer çok küçük olmaktadır. Bunun nedeni ise, toprağın, kendi üzerine gelen ışığı, çok küçük değerlerin ötesinde, geri yansıtmasıdır. Türkiye'de kullanılan sensör, açık toprak üzerinden yapılan okumalarla, daha sonra bitkiler üzerinden yapılan okumaların buna göre düzeltilmesini sağlayan bir program da içermektedir.

Gelişmenin herhangi bir döneminde elde olunan vejetasyon endeksi değerleri verim tahmini yapmakta yeterli olmadığından, bitkilerin belli dönemler arasındaki gelişme süratleri üzerinden verim tahmini yapma ihtiyacı

belirmiş ve bu amaçla Oklahoma Eyalet Üniversitesi tarafından INSEY (In-Season Estimated Yield = Mevsim İçi Verim Tahmini) kavramı ortaya atılmıştır (Raun vd, 2001). Bu değer başlangıçta, Ocak ve Mart aylarında yapılan 2 okuma toplamı bu iki okuma tarihi arasındaki BDG (Büyüme Derecesi Gün) değerine bölünerek bulunurken, daha sonra okuma değerleri ekimle okuma tarihi arasında geçen ve bitki gelişmesine uygun toplam gün sayısına bölünerek bulunmaya başlamıştır (Raun vd, 2002, Mullen vd, 2003). Burada bazen 0 °C'nin üzerindeki değerler alınırken, bazen de, Eskişehir'deki denemede olduğu gibi, +4 °C'nin üzerindeki günler sayılmaktadır.

Klorofilmetre konusunda söz ettiğim durum burda da geçerli olup, yine referans şeritlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu çiftçi tarlalarında azotça zenginleştirilmiş şeritler oluşturularak yapılırken, kalibrasyon amaçlı azotlu gübre denemelerinde ise, değişik dozlarda azotlu gübre kullanılan parselleri karşılaştırmak için, gübrenenmemiş kontrol parselleri referans olarak alınmaktadır. Üretici tarlalarında referans şeritlerinin NDVI değerlerini tarlanın kalan kısmıyla karşılaştırmaksa Karşılık Endeksi hesaplamaları yoluyla olmaktadır (Mullen vd, 2001). Buna göre, örneğin referans şeritinden okunan 0,450 NDVI değerine karşılık, tarla genelinden okunan değer 0,300 ise, karşılık endeksi (Response Index) $RI = 0,450/0,300 = 1,50$ olarak hesaplanmaktadır. Bu karşılık endeksi kavramı kalibrasyon çalışmaları sırasında da okumaların verim tahmini konusunda yeterliliğini görmek amacıyla kullanılmakta, bu nedenle ilkbaharda hesaplanan yansıma dayalı karşılık endeksi RI_{NDVI} olarak adlandırılırken, aynı gübrenenmiş parselden elde olunan verimin kontrol verimine bölünmesiyle elde olunan endekse ise RI_{HASAT} denmekte ve bu ikisi arasındaki korelasyona bakılarak tahminlerin geçerliliği test edilmektedir. Bu aynı zamanda, hangi dönemdeki okumaların verim tahmininde daha güvenilir olduğunu da göstermektedir. Nitekim Eskişehir'deki çalışmada (Çekiç vd, 2011), sapa kalkma başlangıcında elde olunan karşılık endeksleri hasattaki karşılık endeksiyle $r=0,89^{**}$ ($n=24$) korelasyon verirken, 4 kardeşli dönemde, yine 0,01 düzeyinde önemli olmakla birlikte bu değer $r=0,76^{**}$ düzeyinde kalmıştır. Yurt dışındaki çalışmalarda da bu 2 değer arasında yüksek düzeyde korelasyonlar elde edildiği belirtilmektedir (Mullen vd, 2001). Bunun tek istisnası, okumanın ve buna bağlı uygulamanın yapılmasından sonraki dönemde, başta yağış olmak üzere iklim koşullarında mevsim normallerine göre meydana gelen büyük sapmalar olması halinde tahminlerin tutmayabilmesidir. Örneğin, Oklahoma'da yapılan bir çalışmada, okuma tarihinden sonra oluşan mevsim normallerinin üzerindeki yağışlar gerçek verimin okumayla tahmin edilenden yüksek çıkmasına neden olmuştur (Mullen, 2003). Bir başka çalışmada ise, 9 lokasyonda bu şekilde NDVI değerlerine dayalı verim tahminleri yapıldığı, bunlardan 3 okumada tahmin sonrası sapma oluştuğundan istenen düzeyde korelasyon vermediği, diğer 6 lokasyondaki INSEY değerlerininse gerçek verimlerdeki varyasyonun %83'ünü açıkladığı ifade edilmektedir (Raun vd, 2001).

Okumalarda dikkat edilmesi gerekli bir konu ise, NDVI değerlerinin 0,25'in altında değerler vermesi halinde tahminlerin çok güvenilir olmamasıdır (Raun vd, 2005). Bu durum sapa kalkma başlangıcında genellikle ortaya çıkmamakta, bu dönemde toprağın azot temin gücüne ve ön gübrelemeye bağlı olmak üzere genellikle daha yüksek değerler elde olunmaktadır. Eskişehir'deki çalışmada da, sadece bir çiftçi tarlasında, o da kardeşlenme dönemi okumalarında ve ekim anında hiç azotlu gübre kullanılmayan parsellerde 0,246 değeri vererek olmuş, aynı denemede ekimdeki 3 kg N/da uygulaması bile kardeşlenme dönemindeki NDVI değerini 0,278 değerine yükseltmiştir (Çekiç vd, 2011). Üreticilerin ekimle birlikte az da olsa azotlu gübre kullandıkları bilindiğine göre bu sorun normal şartlarda beklenen bir durum değildir. Ancak yine de bazen geç ekim veya kurak sonbahar durumunda ortaya çıkabilecek bu durum, sapa kalkma başlangıcında okunan değerlerin neden daha iyi korelasyon verdiğini de göstermektedir. Burda görülen tek çelişki, Orta Anadolu'nun yarı kurak koşullarında ilkbahar azotlu gübrelemesinin erken yapılmasının muhtemel yararıyla olan çelişik görüntüdür. Bu durum, azot kullanma etkinliği bölümünde tartışılacaktır.

Yukarıda açıklandığı şekilde NDVI ve burdan hesaplanan INSEY değerleri elde olunduktan sonra, INSEY olarak açıklanan verim tahminleriyle, elde olunan gerçek verimler arasındaki ilişki regresyon analizi yoluyla belirlenen kalibrasyon denklemleriyle açıklanmaktadır. Bu denklemler, kalibrasyon denemelerinin kurulduğu yer ve yıllara göreli olduğundan, bölgeyi temsil edebilmesi için mümkün olduğu kadar çok sayıda yapılması ve mevsim normalleri dışında sapma veren denemelerin genel değerlendirme dışında tutulması tavsiye edilmektedir.

Kalibrasyon denklemleri elde edildikten sonra, üretici tarlalarındaki uygulaması ise şu şekilde olmaktadır. Tarlanın bir veya tercihan iki yerinde zenginleştirilmiş azot şeritleri oluşturulmakta, bunun için o bölgede karşılık alınması muhtemel en yüksek azot dozları uygulanmaktadır. İlkbahardaki okuma döneminde, referans şeritlerinin ve kalan tarla genelinin NDVI değerleri okunduktan sonra, daha önce açıklandığı şekilde INSEY değerleri, NDVI değerlerinin ekimden okuma tarihine kadar geçen buğdayın gelişmesine müsait gün sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır. Kalibrasyon denemelerinde elde olunan denklem kullanılarak verim tahmini tarla genelinde yapılmakta, referans şeritinin verim tahmini ise karşılık endeksiyle çarpılarak bulunmaktadır. Bunları

sözle anlatmaktan çok, bir örnekle açıklamak daha yararlı olabilir. Ancak kullanılması tavsiye edilecek azot seviyesini belirlemeden önce, araştırmacının veya tavsiyeyi yapacak kişinin 2 konuda karar vermesi gerekmektedir. Bunlardan biri gübre azotunu kullanma etkinliğidir. Çünkü yöntem bitkinin ek azot ihtiyacını hesaplamakta yardımcı olmakta ancak kullanılan gübre azotunun ne kadarının bitki tarafından kullanılabileceği konusunda araştırmacının kendi tahmin yapması gerekmektedir. Bu konuda yurt dışında 0,50 ile 0,70 arasında farklı değerler kullanılmakta, örneğin Oklahoma’da genellikle 0,70 değeri kullanılmaktadır (Raun, 2002). Ancak Eskişehir’deki araştırmada en gerçekçi sonuçlar 0,50 etkinliğe göre hesaplanan tahminlerle alınmıştır (Çekiç vd, 2011). Karar verilmesi gereken diğer konu ise hangi dane protein yüzdeleri için tahmin yapılmak istendiğidir. Kaliteye büyük prim verilen bölgelerde daha yüksek değerler için tavsiye yapılsa da, burada verilecek olan örnek % 12 unda proteinin karşılığı olan yaklaşık % 13 danede protein için hesaplanmıştır ki bu da protein/azot için 5,80 faktörü kullanıldığında (Yamaguchi, 1992) yaklaşık % 2,25 azota karşılık olmaktadır. Bu bilgilerden sonra hesaplama örneğine geçebiliriz:

Çalıştığımız üretici tarlasının genelinde 0,30 NDVI değeri okurken, referans şeritten okuduğumuz NDVI değerininse 0,39 olduğunu farzedelim. Bu durumda, karşılık endeksi değerimiz de $0,39 / 0,30 = 1,30$ olacaktır. Yani karşılık endeksi, normal koşullarda bu tarlada ek gübrelemenin % 30 verim artışı sağlayacağını tahmin etmektedir.

Bundan sonra yapılacak iş, üretici tarlasından elde olunan NDVI değerinden INSEY değerini hesap etmek olacaktır. Farzedelim ki ekinin okumanın yapıldığı tarihe kadar geçen 4°C’nin üzerindeki gün sayısı 80 olsun. Bu durumda $INSEY = 0,30/80 = 0,0037$ olacaktır. Bu değeri, Eskişehir’de müessese koşullarındaki denemeyi dışlayıp sadece üretici tarlalarında alınan verimlerden hesaplanan bir kalibrasyon denklemine uygularsak:

$$TAHMİN\ EDİLEN\ VERİM = -22,8 + 85010 \times 0,0037 = 292\text{ kg/da}$$

Bu durumda, henüz ilkbahar azotlu gübre uygulaması yapılmamış üretici tarlasının geneli için elde olunan 292 kg/da verim tahmininden, referans şeritinin verimini tahmin etmek için karşılık endeksiyle çarpılması gerekecektir:

$$TAHMİN\ EDİLEN\ REFERANS\ ŞERİTİ\ VERİMİ = 292 \times 1,30 = 380\text{ kg/da}$$

$$ARADAKİ\ VERİM\ FARKI = 380 - 292 = 88\text{ kg/da}$$

Şimdi de buradan, bu verim farkının, bir dekardan elde edilen danelerde toplam ne kadar azota karşılık olduğunun hesaplanması gerekecektir:

$$ARADAKİ\ AZOT\ VERİMİ\ FARKI = (88 \times 2,25) / 100 = 1,98\text{ kg N/da}$$

Tarlanın kalan bölümünün referans şeritine yetişebilmek için, danelerinde 1,98 kg N/da daha fazla azota ihtiyacı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda eğer 0,50 etkinlik düzeyiyle çalışıyorsak, uygulanması gereken ek azotlu gübre miktarı da $1,98/0,50 = 3,96\text{ kg N/da}$ olmaktadır.

Özetlersek, yukarıda verilen örnek, söz konusu tarlada ilkbahar azotlu gübrelemesi yapılmadığı takdirde ve okumadan sonraki gelişmelerin mevsim normallerinden sapmaması halinde buğdayın bu gelişmeyle 292 kg/da verim vereceğini, oysa yaklaşık 4 kg N/da düzeyinde ilkbahar azotlu gübrelemesiyle bu verimin 380 kg/da’a çıkabileceğini tahmin etmektedir.

Yukarıda verilen örnek bitkinin normal koşullarda optimum verime ulaşmak için ne kadar daha azot alması gerektiğini göstermektedir. Bu durumda, protein hedefini belirlemek te zor olmadığına göre, en kritik konu azot kullanma etkinliği konusunda doğru karar verebilmektir. Bunun da her ekolojik bölgede denenerek anlaşılması gerekir. Burada etkinlik denirken, ayrıntıları ilgili bölümde verilecek olan, değişik etkinlik tanımlarından hangisinden söz edildiğini de bilmek gerekmektedir. Değerlendirme dane azotu üzerinden yapıldığı için, sadece alım etkinliğini değil, verim artışını da hesaba kattığı için değerlendirme etkinliğini de kapsamaktadır. Bir çalışmada, gübreyle verilen azotun bitki tarafından alım etkinliği % 40-58 arasında değişirken, danede son bulan oranınsa % 27-33 arasında bulunmuştur (Olson and Swallow, 1984). Başka bir review nitelikli değerlendirmede ise, çok sayıda denemenin ortalaması olarak alım etkinliği % 24 ile 85 arasında değişirken ortalaması %57 olarak bulunmuştur ki (Yamaguchi, 1991), % 80 azot hasat endeksi halinde bunun danede son bulan karşılığı yaklaşık % 45 düzeyinde olmaktadır. Çoğunlukla gelişmiş ülke çalışmalarını ele almasına rağmen alım etkinliğinde görülen bu büyük varyasyon, her ekolojik bölge ve tarım sisteminin kendi değerlerini kendi belirlemesi gerektiğini göstermektedir. Eskişehir’de spektral yansımayla dayalı kalibrasyon denklemlerinin üretici

koşullarında test edilmesinde, Oklahoma'nın kullandığı % 70 oranı % 50 ile karşılaştırılmış ve % 50 etkinlik üzerinden yapılan tavsiyeler daha gerçekçi sonuçlar vermiştir (Çekiç, 2011). Ancak aynı çalışmanın müessese koşullarında yapılan değerlendirmelerinde, kullanılan azotun % 40'ından azının danede son bulduğu görülmüştür. Bu da konunun biraz daha ayrıntılı incelenmesini gerektirmektedir. Çünkü okuma değerleri doğru tahminleri yaptığında bile sadece etkinlik seçiminden gelen farklılık tavsiyelerde büyük varyasyona neden olmaktadır. Bunu yurt dışında yapılan bir değerlendirmeyle açıklamak yararlı olabilir:

Meksika'da yapılan bir değerlendirmede (Ortiz-Monasterio, 2002), 550 kg/da dane veriminin 12 kg N/da dane azot verimine karşılık olduğu (% 13 danede protein), bunun 5 kg N/da'lık bölümünün toprak azotu tarafından karşılanacağı belirtilirken, kalan 7 kg N/da'lık bölümünün gübreye verilmesi gerektiği hesaplanmıştır. Bu rakam buğday danelerinde ihtiyaç duyulan değer olduğundan, bunun değişik etkinlik düzeyleri halinde ne kadar azotlu gübreye karşılık olduğu şu şekilde belirtilmiştir: % 65 etkinlik halinde 10,8 kg N/da, % 45 etkinlik halinde 15,6 kg N/da, % 35 etkinlik halinde ise 20 kg N/da. Görüldüğü gibi etkinlik düzeyine doğru karar vermek çok büyük önem taşımaktadır. Bu durumda yine bölgede yapılmış çok sayıda denemenin sonuçlarına bakmak en güvenilir yol olarak görülmektedir. Şimdi bunu bir örnek çalışmayla açıklamaya çalışacağım. Bu örnek çalışma Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesi için yapılmış olup, her ekolojik bölgenin kendi koşulları için yapabileceği bir hesaplama değildir.

Daha önce değerlendirmesini verdiğim Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesi'ndeki denemelerden, dane protein analizi de yapılan 11 tanesi üzerinden yapılan hesaplama önemli bir hususu ortaya çıkarmıştır. Ekim anındaki toprak nitrat kapsamı yüksek (9,82 ve 8,50 kg N/da) bulunduğu için azotlu gübreye verim açısından karşılık vermediğini daha önce açıkladığım 1987 Eskişehir ve Afyon denemelerinde, azotlu gübreye bir miktar protein artışı olmuşsa bile bu denemeler 4 çeşidin ortalaması olarak % 4 ve % 6 gibi çok düşük gübreden yararlanma etkinliği değerleri vermişlerdir. Yani verilen gübrenin büyük bölümü ya samanda ya da daha büyük olasılıkla toprakta kalmıştır. Zaten 11 deneme ve 4 çeşidin ortalaması olarak optimum üzeri azotlu gübre seviyesiyle (12 kg N/da) bile % 11'in üzerinde dane protein oranları elde edilemezken, bu iki denemeden birinde % 14'ün, diğerinde % 15'in üzerinde protein değerlerine ulaşılmıştır. Toprak azotunun protein üzerine bu büyük etkisinden kalite bölümünde söz edilecektir. Burada verilen değerlendirmenin amacı, spektral yansıma dayalı tavsiyeler oluşturulurken hangi etkinlik düzeyinin kullanılacağını anlamak içindir. Ekolojik bölgeler kendi etkinlik belirleme çalışmalarını yaparken deneme tarlalarını doğru seçmek durumundadırlar. Çünkü toprağın azotça zengin olduğu koşullarda bitki verilen gübre azotundan ya hiç ya da çok az yararlanmaktadır. Daha doğrusu, bitki bu azotun bir kısmından yararlansa bile bunu belirlemek ancak N¹⁵ kullanımı gibi izleme tekniği yöntemleriyle anlaşılabilir. Bu ayrım, gübre kullanma zaman ve yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda önemli olmakla birlikte, tavsiyeye yönelik etkinlik değerlendirme çalışmalarında, kontrol parseline oranla fark önemli olduğu için, bunun değerlendirmede etkisi yoktur. Çünkü gübre azotunu kullansa bu sefer de toprak azotunu daha az kullandığı için aradaki fark yine az çıkacaktır. Bu durumda bölge ortalamasına yakın toprak azot değerlerine sahip tarlalarda çalışmak gerekmektedir. Nitekim, 120 cm profilde bölge ortalamasına (4,48 kg N/da) en yakın nitrat azotu na sahip 1986 Denizli, Çal ve 1987 Isparta, Yalvaç denemelerinde (4,82 ve 4,92 kg N/da) % 48 ve % 47 etkinlik değerleri elde olunmuştur. Bu hesaplamanın nasıl yapıldığı Çizelge 7'de gösterilmiştir. Hesaplama, denemede 4 çeşidin ortalaması olarak optimum N dozu şeklinde belirlenen 9 kg N/da gübre uygulaması, en düşük doz olan 3 kg N/da uygulamasıyla karşılaştırılarak yapılmıştır.

Çizelge 7: 2 ayrı denemede azot kullanma etkinliği hesaplaması.

AZOTLU GÜBRE DOZU (kg N/da)	DANE VERİMİ (kg/da)	DANE PROTEİNİ (%)	PROTEİN VERİMİ (kg/da)	¹AZOT VERİMİ (kg/da)
1986 ÇAL				
3	368	8,8	32,4	5,6
6	426	9,8	41,7	7,2
9	462	10,7	49,4	8,5
²FARK	94	1,9	17,0	2,9
ETKİNLİK = 2,9 / 6 = 0,48				
1987 YALVAÇ				
3	323	9,6	31,0	5,3
6	388	9,9	38,4	6,6
9	417	11,2	46,7	8,1
²FARK	94	1,6	15,7	2,8
ETKİNLİK = 2,8 / 6 = 0,47				

¹Protein verimi 5,80 faktörüne bölünerek hesaplanmıştır.

² 3 ve 9 kg N/da seviyeleri arasındaki farkı göstermektedir.

Bu hesaplamalar olumlu bir duruma işaret etmekle birlikte, hesaplamada kullanılan 2 denemede de optimum verimlerin 400 kg/da'nın üzerinde olduğuna dikkat edilmelidir. Nitekim kuraklık nedeniyle verimlerin daha düşük olduğu denemelerde bu etkinlikler bazen % 25'in bile altına düşmüştür. Ancak bu gibi durumlarda, spektral yansıma yöntemi zaten düşük verim tahmini yapacağı için tavsiyeleri de sınırlı tutacaktır. Buna karşın yine de % 40 etkinlik düzeyinin Orta Anadolu koşullarında halen kullanılmakta olan % 50'den daha ihtiyatlı bir yaklaşım olduğu anlaşılmaktadır. Önceki bölümde örnek olarak gösterdiğim çalışmada % 50 etkinlik üzerinden hesaplanan 3,96 kg N/da azotlu gübre tavsiyesi, % 40 etkinlikle çalışıldığında $1,98/0,40=4,95$ kg N/da'a yükselmektedir. Yani yaklaşık 1 kg/da artış göstermektedir. Orta Anadolu bölgesinde ilkbahar uygulamalarında çoğunlukla kullanılan üre gübresi üzerinden hesaplanırsa bu 1 kg'lık fark yaklaşık 2,2 kg üre/da etmektedir. Zaten deneme ortalamaları üzerinden yapılan tavsiyelerde de tek rakam verilmediği, örneğin 10-12 kg/da üre gibi tavsiyeler yapıldığı için bu durum pratikte çok fark etmeyecek, ancak duruma göre verim ve/veya protein değerlerine yansiyabilmektedir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan sonra, tavsiyeye yönelik etkinlik belirleme çalışmalarında dikkat edilmesi gerekli hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Aynı ekolojik bölgede mümkün olduğu kadar çok tarlada toprak inorganik azot (veya sadece NO₃ analizi yapılarak, etkinlik belirleme çalışması için bölge ortalamasını en çok temsil eden tarlalar seçilmelidir.
- 2- Çok sayıda deneme kurulup, bu denemelerde iklim koşulları ve dolayısıyla verim olarak büyük sapma gösteren denemeler dışlanıp, bölge ortalamalarını temsil eden denemeler değerlendirilmelidir. Çünkü yüksek yağış ve yüksek verim etkinlik değerlerini yükseltirken, kuraklık bu değeri düşürmektedir.

Bu açıklamalardan sonra, sistemin tek sorunu okuma sonrası iklim koşullarındaki sapmaların yaratabileceği durumdur. Okuma sonrasında mevsim normallerinin altında yağış alınırsa, verim açısından biraz fazla gelecek uygulama muhtemelen dane protein kapsamında sağlayacağı artışla kısmen telafi edilecektir. Asıl sorun, okuma sonrasında mevsim normallerinden yüksek yağış alınması halinde yetersiz kalan azotlu gübre uygulamasının dane protein kapsamlarında neden olacağı azalmadır. Buna karşı ne yapılabileceği, geç dönem uygulamaları konusunda tartışılacaktır.

Spektral yansımaya dayalı tavsiye belirleme yöntemi, yağmura dayalı koşullara oranla, hem verim hem de topraktaki bakiye azot açısından çok daha büyük varyasyon gösteren sulanır koşullarda çok daha önemli olmaktadır. Ön bitkiye uygulanan gübrenin ne kadarının kullanılmayıp toprakta kaldığı bilinmediği gibi, zaman içinde büyük birikimlere de ulaşılabilen ve bu durum bazen gereğinden fazla gübre kullanılmasına neden olduğu için ekonomik açıdan değerlendirilmektedir. Örneğin, Meksika'da sulu koşullarda yapılan bir değerlendirmede, bu yöntemle ortalama 6,9 kg N/da daha az gübre kullanılarak aynı verime ulaşılabildiği belirtilmektedir (Ortiz-Monasterio and Raun, 2007). Eskişehir'de de 1980'li yıllarda patates münavebesine ekilen buğdayda sulanır koşullarda yaklaşık 600 kg/da düzeyindeki verime sadece 9 kg N/da uygulamasıyla ulaşılırken, 12 kg N/da ve üzeri uygulamalarda Bezostaya gibi bir çeşitte bile yatmalar başlamıştır. Bu denemede kullanılan Atay85 için daha sonra yapılan başka bir çalışmada ise bu verim düzeyine ancak 15-16 kg N/da seviyesiyle ulaşılabilmiştir. Bölgedeki üreticiler bu durumu kendi tecrübeleri nedeniyle bilmekte ve aynı şekilde çok gübre kullanılıp fazla bakiye bıraktığı bilinen şeker pancarı üzerine ekilen buğdaya genellikle 9-10 kg N/da'nın üzerinde uygulama yapmamaktadırlar. Özellikle polikültür tarımı yapılan sahil bölgelerinde önemli olan bu duruma, Orta Anadolu'da da sulu koşullarda dikkat edilmesi gerekmektedir. Ancak sulu koşullarda zaten yüksek verim düzeyi nedeniyle genelde düşük çıkan dane protein kapsamlarını da gözönünde bulundurmak ve buna göre bir uygulama yapmak önemlidir. Spektral yansımaya dayalı yöntem tavsiyeyi dane azot verimleri üzerinden yaptığı için bu konuda avantajlı olduğu söylenebilir.

AZOT KULLANMA ETKİNLİĞİ

Bitkilerin azot kullanma etkinliği değişik araştırmacılar tarafından değişik şekillerde ele alınmakla birlikte, en yaygın kullanılan şekli Moll vd (1982) tarafından tanımlanmıştır. Söz konusu araştırmacılar azot kullanma etkinliğini, toprak ve gübre azotunun toplamı olarak ortamdaki azotun ne kadarının bitki tarafından alınabildiğini gösteren Alım Etkinliği (Uptake Efficiency) ve bitkinin bünyesine aldığı birim azot başına ne kadar verim oluşturabildiğini gösteren Değerlendirme Etkinliği (Utilization Efficiency) olarak ayırmışlar ve genel anlamdaki etkinliğin bunların bileşimi olduğunu açıklamışlardır. Buradaki verim kavramı, doğallıkla, toplam kuru madde oluşumuyla hasat endeksini birlikte değerlendirmektedir. Bu ayırım daha sonra bu etkinliklerin hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilip karşılaştırıldığı araştırmalara yol açmıştır. Bu etkinliklerin ayrı ayrı ele alınarak toplam

etkinliğe katkılarının araştırılması büyük yarar sağlamakta, çünkü ikisini yöneten dinamiklerin farklılıkları hakkında çok bilgi elde edilmiş bulunmaktadır. Azot kullanma etkinliğinin nasıl artırılabilirliği konusunu işlemeyen önce, buna etkili unsurların incelenmesi gerekmektedir. Etkinlik düzeyi üzerine hem çevrenin, hem de genotiplerin etkili olduğu bilindiği gibi, hangi tür genotiplerin hangi tür çevrelerde daha yüksek etkinlik vereceği anlamında bir çevre x genotip etkileşimi olduğuna dair de bulgular vardır.

Yukarıda belirtilen ayrıma göre yapılan değerlendirmelere girmeden önce, bu ayrımın ortaya atıldığından önceki tarihlerde yapılmış ilk etkinlik değerlendirmelerini özetlersek, çeşitlerin azot kullanma etkinlikleri daha çok verim potansiyelleriyle (Woodward, 1966; Clark vd, 1990) ilişkili bulunurken, bazı araştırmacılar da, kardeşlenmesi fazla olan çeşitlerin daha az azotla optimum verime ulaştıklarını (Cochran vd, 1978) ve erken dönemde fazla azot tüketen çeşitlerin daha az azota karşılık verdiklerini (Chandler, 1969) bildirmiştir. İşte bu noktada alım ve değerlendirme etkinliklerinin ayrı ayrı ele alınması gereği ortaya çıkmaktadır. Çeşitlerin belli bir ekolojide bünyesine aldığı birim miktarda azot başına verdiği verimin, o ekolojik koşuldaki potansiyel verimiyle alakalı olduğu açıktır. Burada verim potansiyeli ve potansiyel verim kavramları arasında Fisher and Evans (1999) tarafından tanımlanan farkı hatırlamak gerekmektedir. Buna göre, verim potansiyeli herhangi bir genotipin tüm istekleri karşılandığında verebileceği genetik anlamdaki en yüksek verim düzeyini tanımlarken, potansiyel verim ise belli bir çevrenin çizdiği sınırlarda alınabilecek en yüksek verimi tanımlamaktadır. Dolayısıyla azot değerlendirme etkinliği de verim potansiyeli değil, o ekolojideki potansiyel verim tarafından belirlenecektir. Bu da verimin kendisinin tabi olduğu şekilde bir çevre x genotip etkileşimini kaçınılmaz kılmaktadır. Değerlendirme etkinliği bu şekilde açıklandıktan sonra, asıl konu alım etkinliğindeki genotipik varyasyonun nedenlerini tartışmakla anlaşılabilecektir. Bu konuda, kendi çalışmalarımızı değerlendirmeye başlamadan önce, yabancı literatürden özet bilgiler vermekte yarar görüyorum.

Alım etkinliği yönünden dünyanın değişik yerlerinde yapılan çalışmalar, geniş sınırlar içinde değişmekle birlikte, genellikle düşük değerler göstermektedir. Moll vd (1982) tarafından yapılan tanım toprak ve gübre azotunun toplamını içermekle birlikte, genelde gübre azotunun alım etkinliği üzerine daha çok çalışılmış, toplam azotun alım etkinliği konusu ise daha çok genotip karşılaştırmalarında kullanılmıştır. Raun vd (2002) gübreyle verilen azotun alım etkinliğinin dünya genelinde yaklaşık % 30-50 arasında olduğunu belirtmektedir. Avustralya'da yapılan çalışmalardan birinde (Fillery and McInnes, 1992) bu değer % 20-56 arasında değişirken, bir diğerinde (Anderson and Hoyle 1999) % 38-68 arasında değişmiştir. Yamaguchi (1991) dünya verilerini inceleyerek yaptığı bir değerlendirme sonunda, gelişmiş ülkelerde gübre azotunu alım etkinliğinin % 24-85 gibi çok geniş sınırlar arasında değiştiğini ve ortalama % 57 olduğunu bildirirken, gelişmekte olan ülkelere bu ortalamanın çok daha düşük olduğunu belirtmektedir. Ortiz-Monasterio vd (1994) Meksika'da bu sınırın % 35-50 arasında olduğunu belirtmekte, Byerlee and Siddiq (1994) Pakistan'da ortalama % 30 olduğunu bildirmektedir. Burada görülen geniş sınırlar, genotipin etkisi ne olursa olsun çevrenin ve kültürel uygulamaların çok daha etkili olduğunu göstermektedir. Örneğin, Hindistan'da düşük verim alınan bir yılda gübre azotunu alım etkinliği % 18'e kadar düşerken, uygun iklim koşulları nedeniyle daha yüksek verim alınan bir başka yılda bu değer % 48'e yükseldiği belirtilmektedir (Cassman, 2002). Kontrol edilemez çevre koşulu olarak iklim faktörünün bu etkisi yanında, kültürel uygulamaların da gübre azotunu alım etkinliği üzerine büyük etki yaptığına dair çok sayıda araştırma sonucu vardır. Aşağıda bunlar özetlenecektir.

N¹⁵ kullanılarak yapılan denemeler sonucunda, tahıl üretimindeki azot kayıplarının % 20 ile % 50 arasında değiştiği ve bu kayıpların denitrifikasyon, buharlaşma ve/veya derin yıkanma yoluyla meydana geldiği görülmüştür (Olson and Swallow, 1984; Karlen et al., 1996). Gübre azotunun alım etkinliğindeki düşüklüğün temel nedenlerinden biri olarak, ABD'de genellikle yapıldığı gibi azotlu gübrenin tamamının ekimle birlikte kullanılmasının neden olduğu denitrifikasyon kayıpları gösterilmektedir (Raun and Johnson, 1999; Fageria and Baligar, 2005). Buna karşılık, ilkbaharda toprak yüzeyine verilen gübreden buharlaşma kayıplarının da önemli boyutlarda olduğu, özellikle bu durumlarda üre kullanıldığında, yüksek sıcaklık, yüksek pH ve saman örtülü tarım koşullarında % 40 gibi yüksek bir düzeye çıkabildiği bildirilmektedir (Fowler and Brydon, 1989; Hargrove vd, 1977). Orta Anadolu'nun sınırlı yağış koşulları ve genellikle yüksek oranda kil ihtiva eden bünyesi nedeniyle yıkanma kayıplarının önemli bir tehlike olmadığı söylenebilir. Bunun tek istisnası, Nevşehir yöresi gibi fazla süzek toprakların bulunduğu alanlardır ki buralarda yıkanma kayıpları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bölgenin genelinde ise, ilkbaharda toprak yüzeyine verilen gübreden oluşan buharlaşma kayıplarının daha önemli olacağı açıktır.

Gübreyle verilen azottan meydana gelen kayıplarda en önemli unsurun, gübrenin verilme zamanıyla bitkinin talebi arasındaki senkronizasyon noksanlığı olduğu belirtilmekte ve buna örnek olarak ABD'de genellikle tamamı ekimle birlikte verilen gübrenin neden olduğu azot kayıpları gösterilmektedir (Raun and Johnson, 1999; Fageria and Baligar, 2005). Olson vd (1979) kayıpların buharlaşmadan çok denitrifikasyon nedeniyle oluştuğunu belirtirken, Carter vd (1967) gaz halindeki azot kayıplarının bütün bir yıl boyunca oluştuğunu, ancak sıcak

mevsimlerde daha fazla olduğunu bildirmiştir. Çok eskiye dayalı bu veriler daha sonraki araştırma sonuçlarıyla da doğrulanmıştır. Ancak, başta Batı Avrupa ülkeleri olmak üzere, yüksek yağışlı bölgelerde hem yüksek yağış, hem de yüksek verim nedeniyle yapılan yüksek düzeyde azotlu gübreleme nedeniyle yıkanma kayıplarının da önemli boyutlara ulaştığı ve ekonomik nedenler dışında çevre kirlenmesi nedeniyle de bu konuda yoğun araştırmalar yapıldığı bilinmektedir. Yine de bu yayının konusu Orta Anadolu bölgesi olduğuna göre, buharlaşma kayıpları üzerine daha fazla yoğunlaşmamız gerekmektedir. Ne bizim, ne de bölgede araştırma yapan diğer kuruluşların çalışmalarında, azotu bir defada vermekle bölerek vermek arasında önemli bir fark bulunmamış olmakla birlikte, uluslararası bilgiler de gözönünde bulundurularak yine de bugün olduğu gibi bölerek vermenin daha ihtiyatlı bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Çünkü bölerek kullanım bir avantaj göstermediyse de, dezavantaj da göstermemiştir. Bu noktada, sonbahar ve ilkbahar kullanımlarını karşılaştırmaktan çok, ilkbahardaki gübrelemenin zamanlaması konusu üzerine tartışmak gerekmektedir.

İlkbahar uygulamasına bitki talebiyle senkronizasyon açısından yaklaşıldığında da farklı durumlarda farklı yaklaşımlar önerilmektedir. Örneğin, Scharf and Alley (1993), erken ilkbaharda (Zadoks 25 döneminde, yani 5 kardeşli dönemde) metrekaresindeki kardeş sayısının 1000'in altında olmaması halinde, ilkbahar gübrelemesi için sapa kalkma dönemi başlangıcının (Zadoks 30) beklenmesinin daha iyi sonuç verdiğini belirtmektedir. Weisz vd (2001) aynı gelişme dönemi için kritik eşik olarak 540 kardeş/m² değerini verirken, bundan daha düşük kardeşlenme halinde gübrenin bu dönemde verilerek kardeşlenmenin teşvik edilmesinin daha iyi sonuç verdiğini belirtmektedir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken bir durum vardır. Birim alandaki toplam kardeş sayısı yönünden Orta Anadolu'da da bu değerler elde edilmekle birlikte, yukarıda belirtilen çalışmaların yapıldığı Avustralya'ya oranla çok daha yüksek ekim sıklıkları nedeniyle, bitkiler genellikle bitki başına 5 kardeş oluşturmadan sapa kalkma dönemine geçmektedirler (Önder, 2007). Bu arada, verilen kritik eşik değerleri arasındaki büyük fark ta gözönüne alındığında, en mantıklı yaklaşım, rakamlar üzerinde fazla durmadan değerlendirme yapmaktır. Buna göre, geç ekim ve/veya sonbahar kuraklığı gibi durumlarda kardeşlenmenin zayıf olması halinde ilkbahar azotlu gübre uygulamasını kardeşlenme döneminde yapmanın, zamanında ekim ve uygun sonbahar koşulları nedeniyle kardeşlenmenin yeterli görüldüğü durumlarda ise sapa kalkma başlangıcında uygulamanın daha iyi sonuç vereceği şeklinde özetlenebilir yukarıdaki sonuçlar.

Yukarıda gübre uygulama zamanı ve bitki talebi arasındaki zamanlama uyumu açısından açıklanan durumdan sonra, bu kez de verilen gübrenin ne kadarının buharlaşma kayıplarından korunarak bitki tarafından kullanılabilmesi konusu gündeme gelmektedir. Bununla doğrudan doğruya yağışlarla ilgili olduğu açıktır. Nitekim hem yarı kurak iklimte, hem de genellikle yüksek toprak pH değerlerine sahip Orta Anadolu'da, genellikle tarlaya girilebilen erken dönemde gübrenin kullanılması tavsiye edilmektedir. Harris vd (1994) aynı şekilde kurak yıllarda gübreden azot kayıplarının daha fazla olduğunu belirtmiştir. ABD'de yapılan bir değerlendirme de azot kullanma etkinliği üzerine yağışın etkisini göstermekte, Illinois gibi yüksek yağışlı bir bölgede ilkbahar uygulaması çok olumlu katkı yaparken (Welch vd, 1966), daha kurak bölgelerde sonbahar ve ilkbahar uygulamaları arasında önemli fark çıkmadığı (Christensen and Meints, 1982; Kolberg vd, 1993) belirtilmiştir. Bu durumda, Orta Anadolu'da en ihtiyatlı yaklaşım yine de bölerek uygulama yaparken, üzerine yağış alma ihtimali en yüksek olan erken dönemde yapılmasının uygun olduğu şeklindedir. Ancak burada da ihtiyatlı olunmasını gerektiren bir konu vardır. Bazen hava sıcaklığının bitki gelişmesi için henüz yeterli olmadığı çok erken dönemlerde de uygulama tavsiyesi yapılmaktadır. Her ne kadar birim zamandaki buharlaşma kayıpları sıcaklıkla artıyorsa da, toplam kaybı belirlemede sürenin de önemli olduğu unutulmamalıdır. Özellikle toprak yüzeyinin de henüz nemli ve hidroliz yoluyla amonyak oluşumuna müsait olduğu düşünülürse, hava sıcaklıkları uzun süre bitki gelişmesi için gerekenin altında sürdüğü takdirde yine büyük kayıplar oluşacaktır. Bu durumda en uygun yaklaşım, bitkilerin erken ilkbaharda dormansiden çıkıp gelişmeye başladıkları erken dönemde uygulamayı tavsiye etmektir.

İlkbaharda yapılan azotlu gübre uygulamalarında meydana gelen kayıpları önleme yolları üzerinde de çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda alınan genel sonuç, gübreyi toprak yüzeyine vermeyip, bir şekilde, toprak altına getirmenin kayıpları azaltacağı şeklindedir (Sharpe, 1988; Rao and Dao, 1996; Schlegel, 2003). Ancak buğdayın genelde dar sıra aralıklarıyla ekildiği koşullarda, bitki köklerini zedeleme ihtimali yüksek olduğundan, üretici tarlalarında da sıra aralıkları müessese denemeleri gibi çok düzgün olmadığından, bunun, en azından bugünkü koşullarda, uygulama şansı yok denecek kadar azdır. Bu amaçla sıra aralarını genişletmekse Orta Anadolu'nun yarı kurak koşullarında verim açısından tavsiye edilemez. Bu konu Çekiç vd (2011) tarafından, sulu koşullarda geniş sıra aralıklarıyla ekim yapılan sırta ekim yönteminde denenmiş, ancak yüzeye bırakılan azotlu gübrenin de üzerine yeterli yağış gelince uygulamalar arasında fark bulunamamıştır. Kurak ilkbahar halinde etkili olabileceği kuramsal olarak düşünülebilse de, buğdayda sırta ekim yönteminin de uygulama alanı bulmasının zor olduğu düşünülürse, bu konunun daha çok geniş sıra arasıyla ekilen ve gübrenin yine bölünerek verildiği başka bitki türleri için denenmesi daha uygundur. Bu konuda yapılabilecek tek tavsiye,

sulanır koşullarda yüzeye verilen azotlu gübrenin sulamadan hemen önce kullanılmasının yararlı olacağı şeklindedir.

GENOTİPLER AÇISINDAN AZOT KULLANMA ETKİNLİĞİ:

Bu konuya girmeden önce, farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tanımlanan azot kullanma etkinliği (AKE) biçimlerini özetlemekte yarar vardır. Raun ve Johnson (1999), toprak azotu + gübre azotu + yağışlarla atmosferden kazanılan azot olarak hesapladıkları toplam azot miktarının, buğdayın pazarlanabilir ürünü olarak ifade edilen taneye yansıyan yüzdesini AKE olarak tanımlamaktadır. Cassman et al. (2002) gübrelenen ve gübrelenmeyen bitkilerin toplam biyolojik kütle içindeki azot konsantrasyonları arasındaki farkı kullanılan gübre miktarına bölerek salt gübre azotunu topraktan almaya yönelik bir AKE kavramını kullanmaktadır. (Gauer et al.1992)'nin AKE hesaplaması da aynı şekilde bitkinin toplam azot alımını uygulanan gübre azotuna bölme şeklindedir. Novoa and Loomis (1981) bitki azot konsantrasyonları yerine dane verimini kullandıkları bir değerlendirmeyi agronomik AKE olarak adlandırmaktadır. Sowers vd (1994) de bu şekilde tane verimi üzerinden AKE değerlendirmesi yapmakta, ancak, gübreyle verilen azota ek olarak toprak azotunu da değerlendirmeye katmaktadır.

Başlangıçta 4 çeşit ortalaması üzerinden bazı veriler sunduğum bölgedeki denemeler, bu bölümde genotipler arası farklılıklar yönünden incelenecek ve bu farklılıkların nedenleri üzerine düşünülürken, dünya genelinde yapılmış araştırmaların sonuçlarıyla karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılacaktır.

İlk olarak, Novoa ve Loomis (1981)'in tanımıyla agronomik etkinlik üzerinde durulup, genotiplerin dane verimi yönünden azotlu gübreyle verdikleri karşılıklar açısından değerlendirme yapılacaktır. Bu yayının başında verilmiş olmakla birlikte, konu bu veriler üzerinden tartışılacağı için, denemede kullanılan ikisi ekmeklik (Gerek ve Bolal), ikisi makarnalık (Çakmak ve Kunduru) buğday çeşidinin, karşılık alınan 15 deneme ortalaması olarak azota verdikleri karşılık Çizelge 8'de bir kez daha verilmiştir.

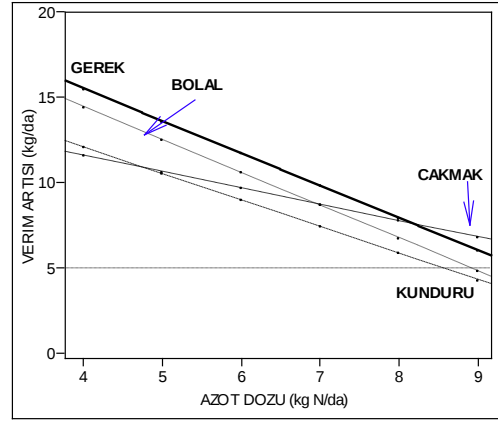
Çizelge 8: Eskişehir ve Batı Geçit Bölgesinde azotlu gübrelemeyle alınan buğday dane verimleri.

AZOT DOZU Kg N/da	DANE VERİMİ (kg/da)			
	GEREK	BOLAL	ÇAKMAK	KUNDURU
3	277	262	261	232
6	320	299	292	264
9	344	321	316	276
12	349	324	329	284

Çizelge 8'de verilen değerler kullanılarak çeşitler için yapılan regresyon analizi sonucunda elde olunan denklemler aşağıda verilmiştir:

ÇEŞİT	REGRESYON DENKLEMİ
GEREK	$Y = 227.0 + 22.192 x - 0.954 x^2$
BOLAL	$Y = 219.8 + 21.243 x - 0.957 x^2$
ÇAKMAK	$Y = 236.2 + 15.037 x - 0.480 x^2$
KUNDURU	$Y = 198.5 + 17.579 x - 0.783 x^2$

Denklemler incelendiğinde ilk dikkati çeken farklılık, ekmeklik ve makarnalık çeşitlerin b1 değerleri arasındaki fark olmuştur. Gerek ve Bolal'ın 20'nin üzerindeki b1 değerlerine karşılık, Çakmak ve Kunduru'nun çok daha düşük değerleri açıkça görülmektedir. Buna karşılık b2 değerleri ise makarnalık çeşitlerde daha yüksektir. Bunu açıklayabilmek için, önce bir quadratik regresyon denkleminde b1 ve b2 değerlerinin neyin göstergesi olduğunu açıklamakta yarar olabilir. b1 değerleri eğrinin ilk çıkış hızını gösterdiği için düşük azot seviyelerindeki etkinliği göstermektedir. b2 değerleri ise, b1 değerlerine de bağlı olarak, eğrinin dönüş hızının göstergesidir. b1 değerleri, denemede kullanılan ekmeklik buğday çeşitlerinin düşük dozlarda gübreyi daha iyi kullandığını, buna karşılık b2 değerleri makarnalık çeşitlerin, benzer verim düzeyleri halinde, daha yüksek dozda azota karşılık verdiklerini göstermektedir. Bunu daha iyi açıklayabilmek için, çeşitlerin değişik dozlarda gübreyle verdikleri verim karşılıkları Şekil 3'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3: Buğday çeşitlerinin değişik azotlu gübreleme seviyelerindeki etkinlik durumları.

Daha önce b1 ve b2 değerleri üzerinden yaptığım değerlendirme, Şekil 3'te açıkça görülmektedir. Ekmeklik Gerek ve Bolal çeşitleri arasındaki küçük farklılık ilkinin bu denemelerde biraz daha yüksek verim vermesinden kaynaklanmış, etkinlik açınsından asıl büyük farklılık ekmeklik ve makarnalık çeşitler arasında ve özellikle düşük azot seviyelerinde görülmüştür. Diğer 3 çeşide oranla daha düşük verim veren Kunderu buna rağmen düşük AKE değeri nedeniyle azota Bolal'la benzer düzeyde karşılık verirken, ekmeklik çeşitlerle benzer verim düzeyine ulaşan Çakmaksa, yine AKE değerinin düşüklüğü nedeniyle bunu biraz daha yüksek dozda gübrelemeyle başarabilmiştir. Bu durumda, düşük dozlardaki etkinliğin, daha önce tanımlandığı şekliyle alım etkinliği tarafından belirlendiğini, yüksek dozlarda ise verim düzeylerinin de devreye girmesi nedeniyle değerlendirme etkinliğinin de önemli olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Yani azotça yoksul koşullarda çeşitlerin bu azotu alabilmeleri hayati değer taşımakta, azotun bol bulunduğu durumlarda ise, birim azot başına verim verme düzeyini belirleyen verim potansiyeli de önem kazanmaya başlamaktadır. Yurt dışında yapılan bu tür karşılaştırmalarda farklı sonuçlar elde olunmuştur. Meksika'da 10 yazlık buğday çeşidiyle (Ortiz-Monasterio vd, 1997) ve Fransa'da 20 kışık buğday çeşidiyle (LeGouis vd, 2000) yapılan çalışmalar alım etkinliğinin düşük azot koşullarında, yüksek azot koşullarına oranla daha önemli olduğunu göstermiştir ki bu da bizim sonuçlarımızla örtüşmektedir. Buna karşılık, Kaliforniya'da 12 yazlık buğdayla yapılan çalışmada alım etkinliğinin bütün azot seviyelerinde önemli olduğu bulunmuştur (Dhugga and Waines, 1989). Bunun tersi görüşü öne süren, yani düşük azot koşullarında değerlendirme etkinliğinin daha önemli, azotça zengin koşullarda alım etkinliğinin daha önemli olduğunu bildiren araştırma sonuçları da olmuşsa da (Van Ginkel vd, 2001) su-azot ilişkileri açısından bakıldığında, özellikle Orta Anadolu gibi yarı kurak bölgelerde bu tezin geçerli olması kuşkuludur. Bununla ilgili olarak, genotiplerin gelişme tabiatları ve su kullanma özellikleriyle azot alım etkinlikleri arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalar da yapılmıştır ve aşağıda bunlar özetlenmiştir.

Toprak solüsyonunda çözülmüş olan nitratın bitkiler tarafından sadece selektif difüzyon yoluyla değil, aynı zamanda transpirasyon akıntısı içinde de (mass flow) alındığını ve bunun oranının bazı durumlarda % 50'ye kadar çıkabileceği belirtilmiştir (Gregory vd, 1978). Bir çalışmada da, buğdayın alt topraktan su ve azot kullanımları arasında büyük benzerlikler olduğu görülmüştür (Haberle and Svoboda, 2000). Bu nedenle, çeşitlerin azot alım etkinlikleri üzerine kök geliştirme ve erken gelişme tabiatlarının etkisi üzerine çok araştırma bulgusu yayınlanmıştır. Örneğin, erken gelişme tabiatının erken kök gelişmesini de teşvik ettiği ve daha derin kök gelişmesi yoluyla nitrat alımını arttırdığı bildirilmiştir (Liao vd, 2004). Yüksek düzeyde biyokütle geliştiren çeşitlerin azot alımlarının da daha fazla olduğu açıklanırken (Austin et al., 1977; Desai and Bhatia, 1978) bunun nedeni olarak bitkilerin toprak üstü biyokütleleriyle toprak altı biyokütleleri arasında pozitif korelasyon olabileceği gösterilmiştir (MacKey, 1988). Bu konu açılmışken araştırmalar tarihiyle ilgili bir durumu kısaca özetlemek istiyorum. Bizim araştırmacılığa başladığımız yıllarda, yukarıda sözü edilen toprak altı ve toprak üstü gelişme benzerliği çok konuşulan bir konuydu. O günlerde ayna imajı (mirror image) olarak adlandırılan bu durum, daha sonra yarı cüce buğdayların savunucuları tarafından reddedilince uzun süre üzerinde durulmadı. Ancak 2000'li yıllardan itibaren bu konu yeniden işlenmeye başladı. Nitekim, yarı cüce buğdaylarda kök derinliğinin de nispeten daha az olduğuna dair araştırma sonuçları yayınlandı. Bizim çalışmamızda yarı cüce Çakmak çeşidinin düşük etkinliğinde bunun da etkisi olabilir. Ancak denemede en uzun boylu çeşit olan Kunderu'nun da düşük etkinlik vermesi konunun boydan çok erken gelişme tabiatıyla ilgili olduğuna işaret etmektedir. Modele dayalı bir çalışmada, çeşitlerin kök derinliklerini artırıp, özgül kök uzunluklarını (birim uzunluktaki kökün kuru madde olarak ağırlığı) azaltmanın özellikle düşük azot içeren tarlalarda azot alımını arttıracığı belirlenmiştir (King vd, 2003). Buysa daha derin ve ince kök anlamına gelmektedir. Bu bilgilerin

ışığında kendi deneme sonuçlarımızı yorumlarsak, makarnalık çeşitlerin erken gelişme süratlerinin azlığı nedeniyle düşük azot dozlarında daha düşük etkinlik verdiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Nitekim 1990'lı yıllarda Eskişehir'de yapılan bir çalışma o denemede kullanılan makarnalık çeşitlerin ekmekliklere oranla daha yavaş geliştiklerini ve daha fazla ısı birikimi gerektirdiğini gösterirken, aynı dönemde 120 cm derinliğindeki pis su borularında yapılan bir çalışma da makarnalık çeşitlerin daha az sayıda ve daha kalın kök geliştirdiklerini göstermişti (Aydın vd, 1992). Bunun ötesinde, kardeş köklerinin sayısının kardeş sayısı ile doğrudan alakalı olması çeşitler arasındaki kardeşlenme farklarının da bu konudaki önemini göstermektedir. Söz konusu denemede, kardeş sayımı yapılmamış olmakla birlikte ona ölçü olarak alınan fertil kardeş sayıları aktif dönem yağışıyla önemli ilişki göstermiş ve elde edilen regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir:

ÇEŞİT	REGRESYON DENKLEMİ
GEREK	BS = 486 + 1.851 (AGDY - 108)
BOLAL	BS = 497 + 1.151 (AGDY - 108)
ÇAKMAK	BS = 391 + 0.537 (AGDY - 108)
KUNDURU	BS = 290 + 0.703 (AGDY - 108)

Yukarıda görülen denklemlerde, BS metrekaresindeki başak sayısını, AGDY ise aktif gelişme dönemi (sonbahar + ilkbahar) yağışını göstermektedir. Denklemlerdeki intercept değerleri ekmeklik çeşitlerin genotipik potansiyel olarak kardeşlenme yönünden üstünlüklerini gösterirken, eğim değerleri de kardeşlenme dönemindeki yağışlardan daha iyi yararlandıklarını göstermektedir. Yukarıda verilen araştırma bulgularına dayanarak, bu durumda erken dönem azot alımlarının da, istisnaları olsa bile, genellikle ekmeklik çeşitlerde daha yüksek olduğu söylenebilir. Yurt dışında yapılan bazı çalışmalarda da, kardeşlenmesi fazla olan çeşitlerin daha az azotla optimum verime ulaştıkları (Cochran vd, 1978) ve erken dönemde fazla azot tüketen çeşitlerin daha az azota karşılık verdikleri (Chandler, 1969) görülmüştür.

Özet olarak, dane veriminin toplam bitki azot kapsamına oranı olarak tanımlanan değerlendirme etkinliği açısından da genotipik varyasyon bulunduğu dair araştırma sonuçları rapor edilmiş olmakla birlikte, toplam etkinliğin daha çok alım etkinliğiyle ilgili bulunduğu açıklanmaktadır (Van Sanford and MacKown, 1987; Dhugga and Waines, 1989; May et al., 1991). Bizim deneme sonuçlarımız da bunu doğrulamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu, genotipleri benzer verim düzeylerinde karşılaştırmak, aynı verim artışını kaç kg N/da uygulamasıyla sağlayabildiğini görmek gerektiğidir. Bu denemede bu değerler de hesaplanmış ve en düşük doz olan 3 kg N/da seviyesiyle 9 kg N/da seviyesi arasındaki verim artışından, çeşitlerin 10 kg/da verim artışı için kaç kg N/da gübre uygulamasına ihtiyaç gösterdikleri hesaplanmıştır. Bu değerler ekmeklik Gerek ve Bolal için, sırasıyla, 0,77 ve 0,86 kg N/da olarak bulunurken, makarnalık Çakmak ve Kunduru için, sırasıyla, 0,90 ve 1,01 kg N/da olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden, ekmeklik çeşitlerin üstünlüğü kısmen yine görülmekle birlikte, ekmekliklerden Gerek çeşidinin Bolal'a, makarnalıklardan Çakmak çeşidinin Kunduru'ya üstünlüğü daha yüksek verim düzeyleriyle alakalı görülmüştür. Bu da değerlendirmenin yapıldığı optimum N seviyesinde, azot alım etkinliği yanında, değerlendirme etkinliğini belirleyen verim düzeylerinin de etkili olduğunu göstermektedir. Daha önce açıklandığı gibi, alım etkinliği arasındaki farklılıklar düşük azot seviyelerinde çok daha net olarak görülmektedir. Bu nedenle, azot alım etkinliğini arttırabilmek için düşük azot seviyelerinde seleksiyon yapmak ta önerilmiş olmakla birlikte, bu kez de verim potansiyelleri arasındaki fark gölgelenebileceği için ayrı bir sorun çıkmaktadır. Bunun tek çözümü, seleksiyonlar verim için yapılırken, materyalin yeterli olduğu durumlarda ayrıca bu açıdan da teste tabi tutmaktır.

Bu bölümü özetlersek, çeşitlerin daha önce dane verimi için çevre indeksine karşı verim stabilitesi çalışmalarında verdikleri sonuca yakın sonuçlar elde olunmuştur. Bu durum da, su kullanım etkinlikleriyle azot kullanım etkinlikleri arasındaki büyük benzerliğe işaret etmektedir. Son olarak, yukarıda verilen değerlendirmelerin dane verimi için yapıldığı, dane azot konsantrasyonları üzerine yapılacak bir değerlendirmede duruma göre farklı sonuçların çıkabileceği, örneğin erken dönem azot kullanımı fazla olan çeşitlerin, bazı durumlarda, daha düşük dane proteini verebileceği de unutulmamalıdır. Bu konu kalite bölümünde işlenecektir.

AZOT PROTEİN İLİŞKİSİ

Azotun dane protein kapsamını artırıcı etkisi çok eskilerden beri bilinen bir gerçektir. Yapılan bazı araştırmalarda azotlu gübrelemenin proteini doğrusal olarak arttırdığı bulunurken (Stickler and Pauli, 1964; Hunter and Stanford, 1973; Johnson vd, 1973) bazı çalışmalarda bu etkinin *invers polinom* denklemleriyle daha iyi açıklandığı (Fowler vd, 1989; Fowler vd, 1990) belirtilmiştir. Toprak azotunun dane protein kapsamı üzerine gübre azotundan daha etkili olduğu (Olson vd, 1976; Smika and Greb, 1973; Smika and Grabouski, 1976;

Karathanasis vd, 1980; Campbell vd, 1993), özellikle de profilin belli bir derinliği altında bulunan azotun yüzlek olandan daha büyük etki yaptığı bildirilmiştir (Olson vd, 1976; Cochran vd, 1978; Smika and Grabouski, 1976; Karathanasis vd, 1980). Genellikle, azotlu gübrenin protein üzerine etki derecesinin toprak azotuyla ilişkili olduğu, azotça fakir koşullarda gübre daha çok verimi artırırken, zengin koşullarda ise protein artırıcı etkisinin daha fazla olduğu bildirilmektedir (Harris, 1963; Cochran vd, 1978; Terman vd, 1969). Çok eski dönemlerde elde olunmuş bu sonuçlar yakın geçmişte yapılmış çalışmalarla da büyük ölçüde doğrulanmıştır. Avustralya’da yapılan bir değerlendirmede, profilin derinliklerinde yüksek düzeyde azot içeren toprakların neden oldukları yüksek protein düzeyleri nedeniyle maltlık arpa için uygun olmadığı, bu bölgelerin sert buğdaylara bırakılması gerektiği belirtilmiştir (Foale vd, 1996). Yeterli azot ihtiva eden derin tarlalarda, değişik tahılların ortalaması olarak, bitkilerin aldığı toplam azotun % 25’ini 30-90 cm derinliklerden alırken, % 8’ini de 90 cm’nin altından aldıkları belirlenmiştir (Kuhlmann vd, 1989).

Dane protein kapsamı yönünden bir genotipik varyasyon da mevcut olmakla birlikte, bunun o kadar büyük olmadığı, asıl büyük etkiyi ortamda mevcut azotun yaptığı, yani bitkilerin azot asimilasyonunun, karbon asimilasyonundan farklı olarak, hedef (sink) tarafından değil kaynak (source) tarafından belirlendiği değişik araştırmacılar tarafından belirtilmektedir (Snape vd, 1993; Ma vd, 1996; Martre vd, 2003). Nitekim, Türkiye’de de, müessese koşullarında popülasyon ortalaması olarak % 14-15 dane protein konsantrasyonuna sahip çeşitlerin, azotça fakir üretici tarlalarında bu konsantrasyonlarının zaman zaman % 9-10 seviyelerine kadar düşebilmesi bu verileri doğrulamaktadır. O nedenle, genotipler açısından kalite konusunu işlemeyen, azotlu gübreleme ve toprak azotunun dane protein konsantrasyonlarına etkisi üzerine kendi araştırmalarımızın sonuçlarını tartışmak daha uygun olabilir. Bölgede kurulan denemelerden, dane protein analizi de yapılan 11 denemenin ortalaması olarak Bolal ve Çakmak çeşitlerinin azotlu gübrelemeye verdiği karşılıklar Çizelge 9’da gösterilmiştir.

Çizelge 9: Bolal ve Çakmak buğday çeşitlerinin dane protein kapsamlarının azotlu gübrelemeyle ilişkisi.

AZOT DOZU (kg N/da)	DANE PROTEİN KONSANTRASYONU (%)	
	BOLAL	ÇAKMAK
3	10,5	10,5
6	10,9	11,1
9	11,4	11,8
12	12,0	12,2

Çizelge 9’da hem protein değerlerinin ne kadar küçük olduğu, hem de verim için belirlenen optimumun üzerindeki düzeyde gübrelemelerde bile % 12 dolayında kaldığı görülmektedir. Bunda temel neden deneme tarlalarının genelde toprak inorganik azotu yönünden fakirliğidir. Her ne kadar azotlu gübre dane protein konsantrasyonlarını istatistiksel önemli düzeyde arttırmışsa da, başlangıç değerlerinin düşüklüğü nedeniyle istenilen düzeye yükseltememiştir. Ancak bu veriler deneme ortalamalarını göstermektedir. Toprakta yeterli inorganik azot bulunan denemelerde çeşitlerin dane protein kapsamlarını görebilmek için, bu kez de hem protein hem de toprak analizi yapılan 5 denemede verim açısından optimuma en yakın olan 9 kg N/da uygulaması halinde protein değerleri Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10: Deneme tarlalarında ekim anındaki toprak azotunun dane protein konsantrasyonlarıyla ilişkisi.

DENEME	¹ TİA	DANE PROTEİN KONSANTRASYONU (%)	
		BOLAL	ÇAKMAK
1986 ÇAL	8,99	10,4	10,7
1987 YALVAÇ	9,73	11,2	11,1
1986 SEYİTGAZİ	10,19	13,6	13,3
1987 AFYON	14,57	14,3	16,2
1987 ESKİŞEHİR	14,64	13,6	14,5

¹TİA= Nitrat ve amonyum toplamı olarak 120 cm profildeki toprak azotu (kg N/da). Denemeler toprak azot kapsamlarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanmışlardır.

Çizelge 10’da, gübre azotundan farklı olarak, toprak azotunun dane protein konsantrasyonlarına büyük etkisi, toprak azot değerleri yükseldikçe dane protein değerlerinin de yükseldiği açıkça görülmektedir. Bu arada dikkati çeken bir durum, ekmeclik Bolal’a oranla verim açısından gübre azotunu kullanma etkinliği düşük bulunan Çakmak makarnalık çeşidinin, en yüksek düzeyde toprak azotu içeren son 2 denemede sağladığı büyük üstünlük, protein açısından toprak azotunu kullanma etkinliğinin ondan üstün olduğunu göstermektedir. Bunu daha iyi görebilmek için, gübre ve toprak azotlarının dane protein kapsamlarıyla ilişkisi korelasyon analiziyle

karşılaştırılmıştır. Bu analizde, toprak ve gübre azotunun arasındaki ilişkiyi dışlayan kısmi korelasyon katsayıları da tekli korelasyonlarla birlikte hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 11’de verilmiştir.

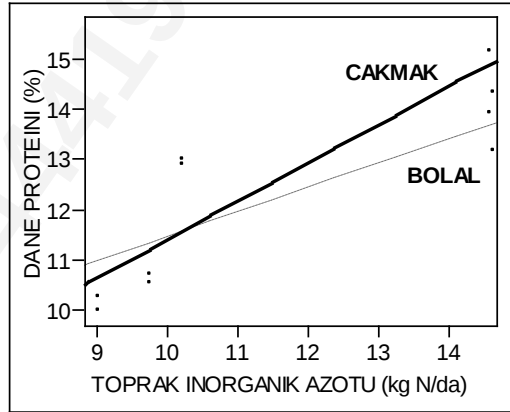
Çizelge 11: Ekmeklik Bolal ve makarnalık Çakmak çeşitlerinin dane protein konsantrasyonlarıyla, toprak ve gübre azot seviyeleri arasındaki korelasyon katsayıları.

KORELASYON	KORELASYON KATSAYISI			
	TEKLİ KORELASYON		KİSMİ KORELASYON	
	BOLAL	ÇAKMAK	BOLAL	ÇAKMAK
GÜBRE AZOTU x PROTEİN	0,44*	0,31 öd	0,64	0,62
TOPRAK AZOTU x PROTEİN	0,73**	0,86**	0,81	0,91

Çizelge 11’de, Bolal’ın dane konsantrasyonu gübre azotuyla verdiği korelasyon 0,05 düzeyinde önemli bulunurken, Çakmak’ta önemsiz çıkması yanıltıcı bir görüntüdür. Bunun nedeni, gübre azotu etkisinin toprak azot kapsamına bağlı olarak farklılık göstermesidir. Kısmi korelasyonlar, toprak azotu yönünden denemeler arasında varyasyon olmasaydı, gübre azotunun etkisi ne olurdu sorusunun cevabını verdiği için, gerçeği daha iyi yansıtmaktadır. Buna göre, 2 çeşit için de dane proteinini açısından toprak azotu daha yüksek korelasyon verirken, Çakmak’ta bu ilişkinin daha güçlü olduğu görülmektedir. Bu analizlerden sonra toprak ve gübre azotunun dane proteinine katkı düzeylerini birlikte değerlendirebilmek için çoklu regresyon analizine başvurulmuş ve aşağıdaki denklemler elde olunmuştur:

BOLAL İÇİN: Dane proteinini (%) = $9,5 + 0,49 \times (\text{TİA}-9) + 0,22 \times (\text{Gübre azotu (kg N/da)}-3)$
 ÇAKMAK İÇİN: Dane proteinini (%) = $9,6 + 0,77 \times (\text{TİA}-9) + 0,21 \times (\text{Gübre azotu (kg N/da)}-3)$

Her çalışmanın sonucu, o çalışmada elde olunan sınırlar arasında geçerli olduğu için, intercept değerleri ona göre verilmiştir. Yani denklemler, toprağın 120 cm derinliğinde 9 kg N/da toplam inorganik azot bulunduğunda, 3 kg N/da azotlu gübre uygulamasıyla elde olunabilecek dane protein konsantrasyonlarını Bolal için % 9,5, Çakmak için % 9,6 olarak hesaplamaktadır. Gübre azotuna protein açısından verdikleri karşılıklar benzer düzeyde olurken, yani denklemler 3 kg’ın üzerindeki her 1 kg N/da artışın dane proteininde % 0,21-0,22 artış yapacağını söylerken, toprak inorganik azotundaki her 1 kg N/da artışın Bolal ve Çakmak için proteinde, sırasıyla, % 0,49 ve % 0,77 artış sağlayacağını belirtmektedir. Çeşitler arasındaki bu fark Şekil 4’te grafik olarak ta gösterilmiştir.



Şekil 4: Ekm anında toprağın 120 cm derinliğinde bulunan toplam inorganik azotun, dane protein kapsamına etkisi.

Şekil 4’te görülen durum, müessese koşullarında yüksek protein değerleri veren çeşitlerin bu üstünlüğü azotça daha fakir üretici tarlalarında neden çoğu zaman gösteremediklerini açıklamaktadır.

Çeşitler arası karşılaştırmalarda genellikle verim ve protein arasında negatif ilişkiden söz edilmekle birlikte, tek bir genotip ele alındığında, varyasyon kaynağının durumuna bağlı olarak verim-protein ilişkisinin negatif olabileceği gibi, pozitif te olabileceği ya da ilgisiz çıkabileceği ifade edilmiştir (Kramer, 1977). Daha sonraları, Whitfield and Smith (1992), su azot ilişkisi üzerinden bu ifadeye açıklık getirmişlerdir:

- 1- Azotça yeterli koşullarda eğer bir kuraklık yaşanırsa, düşük verim-yüksek protein şeklinde negatif ilişki çıkabilir.
- 2- Suyun da azotun da yeterli olduğu durumlarda, yüksek verim ve vasat protein şeklinde nispeten düşük bir ilişki çıkabilir.
- 3- Suyun yeterli ancak azotun yetersiz olduğu durumlarda, hem verim hem de protein değerleri düşeceğinden pozitif ilişki çıkabilir.

Bu değerlendirmenin bizim koşullarımızdaki geçerlilik derecesini görmek için, protein analizi yapılan denemelerde azotlu gübrelemeyle elde olunan maksimum protein değerleriyle (çeşitlerin ortalaması olarak) denemelerin üzerine düşen aktif gelişme dönemi (sonbahar + ilkbahar) yağışları arasında korelasyon analizi yapılmış ve $r = -0,81^{**}$ gibi yüksek düzeyde negatif ilişki bulunmuştur. Ancak aynı dönem yağışının, birim alanda protein verimiyle ilişkisinin önemsiz çıkması, protein konsantrasyonlarıyla olan ilişkinin doğrudan değil dolaylı bir ilişki olduğunu, yani yağışın neden olduğu verim artışı nedeniyle meydana geldiğini göstermiştir. Daha açık bir anlatımla, yüksek yağış dane verimini artırırken protein konsantrasyonlarını azaltmış, bu nedenle de protein verimlerine fazla yansımamıştır. Nitekim aynı dönem yağışı dane verimleriyle $r = 0,71^{**}$ düzeyinde olumlu korelasyon vermiştir. Kuraklık ve yüksek sıcaklığın, karbonhidrat birikimini azaltırken, azot birikimini görece olarak arttırmasının buna neden olduğu ifade edilmektedir (Panozzo and Eagles, 1999). Bu durum üzerine, dane protein kapsamı üzerine etkili olduğu belirlenen toprak azotu, gübre azotu ve aktif dönem yağışının toplam etkisini görmek amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki denklem elde olunmuştur:

$$\text{DANE PROTEİNİ (\%)} = 10,6 + 0,22 \times (\text{Gübre azotu (kg N/da)} - 3) + 0,54 \times (\text{TİA} - 9) - 0,0134 \times (\text{AGDY(mm)} - 130)$$

$$R^2 = 0,80^{**} \quad (n = 20)$$

Görüldüğü gibi sadece bu 3 etken dane protein konsantrasyonlarındaki çevre kaynaklı varyasyonun % 80'ini açıklayabilmektedir. Denklemin intercept değeri, en düşük azotlu gübre düzeyi (3 kg N/da), en düşük toprak inorganik azotu değeri (9 kg N/da/120 cm) ve en düşük aktif gelişme dönemi yağışı (130 mm) halinde ortalama % 10,6 dane proteini elde olunacağını göstermektedir. Toprak azotu analizde kullanılan denemelerin ortalaması olan 11,6 kg N/da olduğunda ve optimum doz olarak belirlenen 8 kg N/da düzeyinde gübre kullanıldığında, bu kurak koşullarda elde olunacak protein konsantrasyonunun % 13,1'e yükseleceği hesaplanmıştır. Ancak bölgede kurulan tüm denemelerin ortalaması olan 180 mm aktif gelişme dönemi yağışı halinde bu değerin % 12,4'e düşeceği, en yüksek aktif dönem yağışı olan 270 mm'ye çıkması halinde ise % 11,2'ye kadar düşeceği hesaplanmıştır. Bu durumda, yıl içinde düşecek yağış bilinemediğinden optimumun üzerinde gübre tavsiyesi yapılamayacağına göre, toprak azot değerlerindeki bir artışın proteine nasıl etki yapacağı hesaplanmış ve en yüksek değer olarak bulunan 14,5 kg N/da toprak inorganik azotu halinde bu yüksek yağış koşullarında bile % 12,8 protein elde olunabileceği görülmüştür. Bunlar doğallıkla ortalama değerlerdir. Yılın yağış ve sıcaklık dağılımı, özellikle de dane doldurma dönemindeki iklim gelişmeleri sapmalara neden olacaktır. Ancak yine de toprak azotu değerlerinin protein açısından büyük bir istikrar unsuru olabileceği açıkça görülmektedir. Nitekim, bırakın üretici ürünlerini, yeterli azotlu gübreleme yapılan bölge verim denemelerinde bile yüksek kalite için geliştirilmiş çeşitlerin gösterdiği büyük varyasyonun kaynağının sadece iklim koşulları değil, aynı zamanda toprak azot birikimleri arasındaki farklılık olduğu açıkça görülmektedir. Azotlu gübrenin etkisi daha az olduğu gibi, ekonomik nedenlerle optimum üzeri uygulamaların da benimsenmesinin zor olacağı düşünüldüğünde, toprak azot kapsamlarını geliştirmenin yolları üzerine düşünmek gerekmektedir. Bunların en başında da kuşkusuz toprak organik madde kapsamlarını geliştirmeye çalışmak gelmektedir.

Toprak azotu, azotlu gübreleme ve mevsimlik yağış dışında, ekmeklik kalitenin özellikle tane doldurma sırasındaki iklim koşullarından çok etkilendiği, bu dönemde serin ve nemli havaların hüküm sürmesi halinde ekmeklik kalitenin düştüğü belirtilmektedir (Johansson and Svensson, 1998, 1999; Johansson et al., 2002). Tane doldurma sırasında 20 °C derecenin üzerindeki ısıların yüksek protein konsantrasyonu sağladığı da (Altenbach et al., 2003; Gooding et al., 2003) bildirilmiştir. Panozzo and Eagles (1999) yüksek sıcaklık ve kuraklık streslerinden karbonhidrat birikiminin protein birikimine oranla daha fazla etkilenmesini buna neden olarak göstermektedir. Sıcak ve kurak dane doldurma dönemi içeren koşullarda daneye azot translokasyonunun teşvik edilmesinin buna neden olabileceği (Campbell vd, 1983; McNeal vd, 1968), sıcaklık ve kuraklığın neden olduğu hızlı kurumaların karbon asimilasyonunda neden olduğu azalmanın protein konsantrasyonlarındaki artışa neden olabileceği (Nicholas vd, 1984) gibi yorumlar içeren literatür bildirileri de olmuştur.

GENOTİPİK AÇIDAN BUĞDAY-PROTEİN DEĞERLENDİRMESİ:

Dünya genelinde, çeşit ıslah çalışmaları verimde büyük artış sağlarken, verim artışının neden olduğu seyrelme etkisi nedeniyle tanedeki azot konsantrasyonlarında önemli düşüşler meydana gelmiştir (Slafer vd, 1990; Ortiz-Monastario vd, 1997). Örneğin Fransa’da, yılda 10 kg/da olarak hesap edilen ortalama verim artışı, tane protein konsantrasyonlarında genelde düşmeye neden olmuştur (Feil, 1997). Değişik ıslah dönemlerinde geliştirilmiş çeşitlerle yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, modern çeşitlerin, geçmiş yüzyılın başında geliştirilmiş çeşitlere en az % 50 oranında verim üstünlüğü sağladığı, ancak verimle tane protein yüzdelerinin çeşit ıslah yöntemleriyle birlikte geliştirilmelerinin bu ikisi arasındaki negatif ilişki tarafından zorlaştırıldığı ifade edilmektedir (Slafer vd, 1994). Bir başka raporda ise, buğdayda azot birikimi ve bitki bünyesindeki remobilizasyonu açısından genotipik varyasyonun bulunduğu, dolayısıyla verim ve protein yüzdelerini birlikte geliştirmenin imkansız olmadığı belirtilmektedir (Banziger vd, 1992). Bununla ilgili olarak, bundan sonraki ıslah çalışmalarında belirli bir kalite düzeyine sahip yüksek verimli çeşit geliştirebilmenin ancak toprak azotunu en etkin şekilde kullanabilen çeşitler seçmekle mümkün olduğu düşünülmektedir (Le Couis vd, 2000).

Genotipler arasındaki protein farklılıklarının muhtemel nedenleri üzerine çok araştırma sonucu yayınlanmıştır. Olaya danedeki toplam protein miktarından çok, ekmeklik kalite üzerine çalışanların ilgilendiği gibi protein konsantrasyonları itibarıyla yaklaşıldığında, bunun danedeki N/C oranı tarafından belirlendiği açıktır. Toplam dane ağırlığının sadece küçük bir bölümü (%10-15) proteinler tarafından oluşturulurken, büyük bölümü karbonhidrat birikimi tarafından oluşturulan nişasta tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle, iklim koşulları veya kültürel uygulamalar aracılığıyla nişasta veriminde sağlanan herhangi bir artış benzer düzeyde azotla dengelenmedikçe protein konsantrasyonlarında seyrelmeye dayalı azalmaya neden olmaktadır ve o yüzden dane proteini açısından meydana gelen varyasyonun çoğunlukla çevre kaynaklı olduğu, genotipik varyasyonun buna oranla daha dar olduğu belirtilmektedir (Triboi and Triboi-Blondel, 2002). Bu nedenle, genotiplerin dane protein konsantrasyonlarını arttırabilmek için ya çiçeklenme öncesindeki azot alımlarını arttırmak, ya da çiçeklenme sonrası azot alım kapasitelerini geliştirmek gerekmektedir (Triboi vd, 2006). Ayrıca, buğday tanesindeki protein kapsamı, sadece genotip tarafından değil, aynı zamanda çevresel varyasyon kaynakları tarafından belirlendiği için, bu durum yüksek protein kapsamı için seçilen çeşitlerin bu özelliklerini değişik çevre koşullarında sürdürebilme özelliklerinin de test edilmesini zorunlu kılmakta, bu konuda önemli düzeydeki çevre x genotip interaksiyonu da büyük ıslah programlarında moleküler markör tekniklerinin güvenilir bir şekilde kullanılabilmesini zorlaştırmaktadır (Pena, 2002).

Buğday azotun büyük bölümünü çiçeklenme öncesinde almakta, dane doldurma sırasında rezerv alanlarındaki proteinler remobilize olarak taşınabilir amino asitler oluşmakta ve daneye taşınan bu azotlu bileşikler danede yeniden proteine sentezlenmektedir (Barneix, 2007; Gregersen vd, 2008; Masclaux-Daubresse vd, 2008). Bunun yanı sıra, buğday çiçeklenmeden sonra da toprakta mevcut azotu kullanmaktadır (Dupont and Altenbach, 2003; Oscarson vd, 1995; Van Sanford and MacKown, 1987). Buğdayın bütün gelişme döneminde aldığı azotun ne kadarının danede son bulduğunu gösteren kavram Azot Hasat Endeksi (AHE) olarak adlandırılmaktadır ve bu konuda yapılan araştırmalar genellikle % 70-80 arasında rakamlar vermekle birlikte (Corbellini and Borghi, 1985; Bertholdsson and Stoy, 1995; Calderini, Torres-León and Slafer, 1995; Brancourt-Hulmel vd, 2003), % 51-91 gibi daha geniş sınırlar gösterenler de olmuştur (Van Sanford and MacKown, 1987). Genelde yüksek verimli çeşitlerde bu değerin daha düşük olduğu belirtilmiştir (Heitholt et al., 1990). Orta Anadolu’da da N¹⁵ kullanılarak yapılan ve Ankara, Eskişehir ve Konya’da yürütülen bir çalışmada buğdayın AHE değerleri tüm uygulamaların ortalaması olarak iller arasında % 66 ile 73 arasında değişmiştir (Halitligil vd, 1995).

KAYNAKÇA

- Altenbach, S.B., DuPont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L. and Lieu, D. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *Journal of Cereal Science* 37, 9-20.
- Anderson, W. K.; Hoyle, F. C. Nitrogen efficiency of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1999, 39.8: 957-965.
- Anderson, W.K. and Impiglia A. 2002. Management of dryland wheat. In B.C. Curtis, S.Rajaram, H. Gómez Macpherson, Eds. *Bread Wheat Improvement and Production*. FAO Plant Production and Protection Series. No 30.
- Anten, Niels PR, et al. Optimal leaf area indices in C3 and C4 mono- and dicotyledonous species at low and high nitrogen availability. *Physiologia plantarum*, 1995, 95.4: 541-550.
- Aparicio, N., D. Villegas, J. Casadesu’ s, J.L. Araus, and C. Royo. 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agron. J.* 92:83–91.

- Asrar, G., M. Fuchs, E.T. Kanemasu, and J.L. Hatfield. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.* 76:300–306.
- 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.
- Aydın, M., Kalaycı, M., Kaya, F., Özbek, V., Siirt, S. 1992. Bazı buğday çeşitlerinde sıcaklık ve su tüketiminin bitki gelişmesine etkisi. Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 1991-1992 Gelişme Raporu.
- Banziger, M., Feil, B., Schmid, J.E., Stamp, P., 1992. Genotypic variation in grain N content of wheat as affected by mineral N supply in the soil. *European Journal of Agronomy* 1, 155-162.
- Barneix, A.J. 2007. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Jour. Plant Physiology.* 164(5): 581-590.
- Basso B, Cammarano D, Troccoli A, Chen D, Ritchie JT (2010) Longterm wheat response to nitrogen in a rainfed Mediterranean environment: field data and simulation analysis. *Eur J Agron* 33:132–138.
- Bauer, Armand; Young, R. A.; Ozbun, J. L. Effects of Moisture and Fertilizer on Yields of Spring Wheat and Barley 1. *Agronomy Journal*, 1965, 57.4: 354-356.
- Bertholdsson, N.O. and Stoy, V. 1995. Yields of dry matter and nitrogen in highly diverging genotypes of winter wheat in relation to N-uptake and N-utilization. *Journal of Agronomy and Crop Science* 175, 285-295.
- Black, A.L., and A. Bauer. 1988. Setting winter wheat yield goals. p. 24–34. In J.L. Havlin (ed.) *Proc. Workshop Central Great Plains. Profitable Wheat Management*, Wichita, KS. 17–20 Aug. 1988. Potash and Phosphate Inst., Atlanta, GA.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S., Vigil, M.F., 1993. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 24, 2507–2516.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S., 1994. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 1791–1800.
- Blackmer, T.M., Schepers, J.S., 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.* 8, 56–60.
- Blair G, Lefroy R. Interpretation of soil tests: a review. *Aust J Exp Agric.* (1993)
- Bundy, Larry G.; Andraski, Todd W. Diagnostic tests for site-specific nitrogen recommendations for winter wheat. *Agronomy journal*, 2004, 96.3: 608-614.
- Byerlee, Derek; Siddiq, Akmal. Has the green revolution been sustained? The quantitative impact of the seed-fertilizer revolution in Pakistan revisited. *World Development*, 1994, 22.9: 1345-1361.
- Cabelguenne, M.; Debaeke, Philippe. Experimental determination and modelling of the soil water extraction capacities of crops of maize, sunflower, soya bean, sorghum and wheat. *Plant and soil*, 1998, 202: 175-192.
- Campbell, C. A., Davidson, H. R. and McCaig, T. N. 1983. Disposition of nitrogen and soluble sugars in Manitou spring wheat as influenced by N fertilizer, temperature and duration and stage of moisture stress. *Can. J. Plant Sci.* 63: 73-90.
- Campbell, C.A., Selles, F., Zentner, R.P., McConkey, B.G., 1993. Available water and nitrogen effects on yield components and grain nitrogen of zero-till spring wheat. *Agron. J.* 85, 114–120
- Carter, J. N.; Bennett, O. L.; Pearson, R. W. Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. *Soil Science Society of America Journal*, 1967, 31.1: 50-56.
- Cassman, K.G., A. Doberman and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31, 132-140.
- Chapman, H.D. 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.* 53p. (Manual 25) 98
- Chandler Jr, Robert F. Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. *Physiological aspects of crop yield*, 1969, 265-285.
- Christensen, N. W.; Meints, V. W. Evaluating N Fertilizer Sources and Timing for Winter Wheat 1. *Agronomy Journal*, 1982, 74.5: 840-844.
- Clarke, J. M., et al. Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Canadian Journal of Plant Science*, 1990, 70.4: 965-977.
- Cochran, V. L.; Warner, R. L.; Papendick, R. I. Effect of N Depth and Application Rate on Yield, Protein Content, and Quality of Winter Wheat 1. *Agronomy Journal*, 1978, 70.6: 964-968.
- Corbellini, M., and Borghi, B., 1985. Accumulation and remobilization of dry matter and protein in four bread wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science* 155, 1-11.
- Çakmak, I. 1998. Zinc nutritional status of soils and plants in Central Anatolia. In I.Çakmak Ed. *Selection and characterization of cereal genotypes with high Zn efficiency and evaluation of bioavailability of Zn in wheat for the Central Anatolia Region*. pp. 11-29. Kemal Printing Co., Adana, Turkey.

- Çekiç, C., Savaşlı, E., Önder, O., Dayıoğlu, R., Gökmen, F., Dursun, N., Gezgin, S., ve Kalaycı, H.M.. (2011). Eskişehir koşullarında mevsim içi azotlu gübre yönetim sistemlerinin ekmeklik buğdayın verim ve kalitesi üzerine etkisinin araştırılması. *TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu - KAMAG* (1007), 106G111.
- Dahnke, W.C., L.J. Swenson, R.J. Goos, and A.G. Leholm. 1988. Choosing a crop yield goal. SF-822. N. Dakota State Ext. Serv., Fargo
- Dahnke, W.C. and Johnson, G.V. 1990. Testing soils for available nitrogen. p. 127-139. In Westerman, R.L. (ed.) Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, WI.
- Dhugga, K.S., and Waines, J.G., 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science* 29, 1232-1239.
- Evans, J.R., 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* 72, 297-302.
- Evans, J.R., 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78, 9-19.
- Evans, L. T.; Fischer, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop science*, 1999, 39.6: 1544-1551.
- Eyüpoglu, F., Kurucu, N., Talaz, S ve Canısağ, Ü. 1996. Türkiye topraklarında bitki tarafından alınabilir mikro besin maddelerinin durumu. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, 1992-1993 Yıllık Raporu. Rapor No: 118. Ankara.
- Fageria, Nand K.; Baligar, Virupax C. Enhancing Nitrogen Use Efficiency In Crop Plants. *Advances In Agronomy*, 2005, 88: 97-185.
- Feil, B. 1997. The inverse yield-protein relationship in cereals: possibilities and limitations for genetically improving the grain protein yield. *Trends in Agronomy* 1: 103-119.
- Filella, I., L. Serrano, J. Serra, and J. Penuelas. 1995. Evaluating wheat N status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Sci.* 35:1400-1405.
- Foale MA, Cahill MC, Cox HW, Douglas N and Dowling C (1996) Prime hard wheat and malting barley – how does profile nitrogen influence the farmer's choice? Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference.
- Fowler, D.B., and J. Brydon. 1989. No-till winter wheat production on the Canadian prairies: placement of urea and ammonium nitrate fertilizers. *Agron. J.* 81:518-524
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J.W., Heumez, E., LeGouise, J., Moreau, D., Bogar, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbard, S., Foulkes, M.J. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research*, 2011, 123.2: 139-152.
- Gauer, L.E., C.A. Grant, D.T. Gehl, and L.D. Bailey. 1992. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Can. J. Plant Sci.* 72:235-241
- Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R. and Schofield, J.D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science* 37, 295-309.
- Gregersen, P.L., P.B. Holm, and K. Krupinska. 2008. Leaf senescence and nutrient remobilisation in barley and wheat. *Plant Biology* 10: 37-49.
- Gregory, P. J.; Crawford, D. V.; McGowan, M. Nutrient relations of winter wheat: 2. Movement of nutrients to the root and their uptake. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 93.2: 495-504.
- Groot JJR and Houba VJG 1995: A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *BioI. Fertil. Soils*, 19, 1-9
- Halitligil, M.B., Akın, A., Aydın, M., Yılmaz, A. and Dönmez, Ö. 1995. Effects of legumes, fallow and wheat on subsequent wheat production in Central Anatolia. International Atomic Energy Agency. Technical Document 875.
- Haberle J. And P. Svoboda. 2000. Rooting depth and the depletion of water from deep soil layers by winter wheat. *Scientia Agr. Bohem.*, 31: 171-179.
- Hargrove, W.L., D.E. Kissel, and L.B. Fenn. 1977. Field measurements of ammonia volatilization from surface applications of ammonium salts to a calcareous soil. *Agron. J.* 69:473-476
- Harris, Wallace W. Effects of Residue Management, Rotations, and Nitrogen Fertilizer on Small Grain Production in Northwestern Kansas 1. *Agronomy Journal*, 1963, 55.3: 281-284.
- Harris, G.H., O.B. Hesterman, E.A. Paul, S.E. Peters, and R.R. Janke. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long-term cropping systems experiment. *Agron. J.* 86:910-915.
- Heenan, D.P., McGhie, W.J., Thomson, F.M. and Chan, K.Y. 1995. Decline in soil organic carbon and total nitrogen in relation to tillage, stubble management, and rotation. *Austr. J. Exp. Agric.*, 35: 877-884.
- Heitholt, J.J., Croy, L.I., Maness, N.O. and Ngyuen, H.T. 1990. Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in grain N concentration. *Field Crops Research* 23, 133-144.

- Jackson, Grant D.; Sims, James R. Comprehensive Nitrogen Fertilizer Management Model for Winter Wheat 1. *Agronomy Journal*, 1977, 69.3: 373-377.
- Jensen, A., B. Lorenzen, H. Spelling-Ostergaard, and E. Kloster-Hvelplund. 1990. Radiometric estimation of biomass and N content of barley grown at different N levels. *Int. J. Remote Sens.* 11:1809-1820.
- Johansson, E. and Svensson, G. 1998. Variation in bread-making quality: effects of weather parameters on protein concentration and quality in some Swedish wheat cultivars grown during the period 1975-1996. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78, 109-118.
- Johansson, E. and Svensson, G. 1999. Influences of yearly weather variation and fertilizer rate on bread-making quality in Swedish grown wheats containing HMW glutenin subunits 2+12 or 5+10 cultivated during the period 1990-96. *Journal of Agricultural Science* 132, 13-22.
- Johansson, E., Nilsson, H., Mazhar, H., Skeritt, J., MacRitchie, F. and Svensson, G. 2002. Seasonal effects on storage proteins and gluten strength in four Swedish wheat cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 1305-1311.
- Johnson, G.V., W.R. Raun, and R.W. Mullen. 2000. **Nitrogen** use efficiency as influenced by crop response index. p. 291. In *Agronomy abstracts*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI
- Karlen, D.L., P.G. Hunt, and T.A. Matheny. 1996. Fertilizer ¹⁵N recovery by corn, wheat, and cotton grown with and without pre-plant tillage on Norfolk loamy sand. *Crop Sci.* 36:975-981.
- Keeney, Dennis R. 1982. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In Frank J. Stevenson (ed.) *Nitrogen in agricultural soils*. Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI.
- King, John, et al. Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum. *Annals of botany*, 2003, 91.3: 383-390.
- Kirkegaard, J. A.; Howe, G. N.; Pitson, G. Agronomic interactions between drought and crop sequence. 2001.
- Kirchmann, H., Johnston A.E.J. and Bergström, L.F. 2002. Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land. *Ambio* 31, 404-408
- Kramer, T. H. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 1979, 28: 209-218.
- Le Couis, J., Bèghin, D., Heumez, E., Pluchard, P., 2000. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy* 12, 163-173.
- Liao, Mingtan; Fillery, Ian R.; Palta, Jairo A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. *Functional Plant Biology*, 2004, 31.2: 121-129.
- J. Ivan; Asner, Gregory Lobell, David B.; Ortiz-Monasterio, P. Relative importance of soil and climate variability for nitrogen management in irrigated wheat. *Field Crops Research*, 2004, 87.2-3: 155-165.
- Lopez-Bellido, R.J., Shepherd, C.E., Barraclough, P.B., 2004. Predicting post-anthesis N requirements on bread wheat with a Minolta SPAD meter. *Eur. J. Agron.* 20, 313-320.
- Lukina, E. V., et al. Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake. *Journal of plant nutrition*, 2001, 24.6: 885-898.
- Markwell, J., Osterman, J.C., Mitchell, J.L., 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosyn. Res.* 46, 467-472.
- Martre, Pierre, et al. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant physiology*, 2003, 133.4: 1959-1967.
- Masclaux-Daubresse, C., M. Reisdorf-Cren, and M. Orsel. 2008. Leaf nitrogen remobilisation for plant development and grain filling. *Plant Biology*, 10: 23-36.
- May, L., Van Sanford, D.A., MacKown, C.T., and Cornelius, P.L., 1991. Genetic variation for nitrogen use in soft red and hard red winter wheat populations. *Crop Science* 31, 626-630.
- McDonald, G.K. and Fischer, R.A. 1991. Soil management to maintain crop production in semi-arid environments. In E. Acevedo, E. Fereres, C. Gimenez and J.P. Srivastava, eds. *Improvement and management of winter cereals under temperature, drought and salinity stresses*, p. 421-440. Madrid.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, and W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74:562-564.
- Morris, K.B. 2004. Mid-season recovery to nitrogen stress in winter wheat. M.S. Thesis. Oklahoma State University. Stillwater, OKLAHOMA.
- Mullen, R.W., W.E. Thomason, G.V. Johnson, K.W. Freeman, M.L. Stone, J.B. Solie, and W.R. Raun. 2001. Use of an in-season response index to predict potential yield increases from applied nitrogen. In annual meeting abstracts (CD-ROM). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- 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, 347-351.

- Musick, Jack T., et al. Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the US southern plains. *Agronomy Journal*, 1994, 86.6: 980-986.
- Novoa, R., and Loomis, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58,177-204.
- Oliver, Yvette, et al. PAWC determines spatial variability in grain yield and nitrogen requirement by interacting with rainfall on northern WA sandplain. In: *Proceedings of the 13th Australian agronomy conference*. 2006. p. 10-14.
- Olson, R. A., et al. Impact of Residual Mineral N in Soil on Grain Protein Yields of Winter Wheat and Corn 1. *Agronomy journal*, 1976, 68.5: 769-772.
- Olson, R. V., et al. Fate of tagged fertilizer nitrogen applied to winter wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 1979, 43.5: 973-975.
- Olson, R.V. and C.W. Swallow. 1984. Fate of labeled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:583-586.
- Ortiz-Monasterio, R., J.I., Sayre, K.D., Pena, J. & Fischer, R.A. 1994. Improving the nitrogen use efficiency of irrigated spring wheat in the Yaqui Valley of Mexico. *15th World Cong. Soil Science*, vol. 5b: 348-349.
- Ortiz-Monasterio, J.I., K.D. Sayre, S. Rajaram, and M. McMahon. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Sci.* 37:898-904.
- Ortiz-Monasterio R., J.I., (2002). Nitrogen management in irrigated spring wheat. in; Rajaram, S & Gomez Macpherson, Helena & Curtis, B. C & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Bread wheat : improvement and production / edited by B.C. Curtis, S. Rajaram, H. Gomez Macpherson*. Rome : FAO Plant Production and Protection Series No. 30. Pages: 433-452
- Ortiz-Monasterio, J. I.; Raun, W. Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico, using sensor based nitrogen management. *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE-CAMBRIDGE*-, 2007, 145.3: 215.
- Önder, O. 2007. Orta Anadolu kuru şartlarında yetiştirilen bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin kardeşlenme dinamiğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Panozzo, J.F and Eagles, H.A. 1999. Rate and duration of grain filling and grain nitrogen accumulation of wheat cultivars grown in different environments. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1007-1015.
- Papakosta, Despo K.; Gagianas, A. A. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 1991, 83.5: 864-870.
- Pena, R.J., A. Amaya, S. Rajaram&A. Mujeeb-Kazi, 1990. Variation in quality characteristics with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of cereal science*, 12:105-112. AGRIS 92-063033.
- Pena, R.J. 2002. Wheat for bread and other foods. In B.C. Curtis, S.Rajaram, H. Gómez Macpherson, Eds. *Bread Wheat Improvement and Production*. FAO Plant Production and Protection Series. No 30.
- Peng, S., **F. V. Garcia, R. C. Laza, A. L. Sanico, R. M. Visperas and K. G. Cassman**. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice . *Field Crop. Res.* 47: 243-252.
- Pinter, P.J., R.D. Jackson, S.B. Idso, and R.J. Reginato. 1981. Multi-date spectral reflectance as predictors of yield in water stressed improve wheat and barley. *Int. J. Remote Sens.* 2:43-48.
- Rao, Srinivas C.; Dao, Thanh H. Nitrogen placement and tillage effects on dry matter and nitrogen accumulation and redistribution in winter wheat. *Agronomy Journal*, 1996, 88.3: 365-371.
- Raun, W. R.; Westerman, R. L. Nitrate-N and phosphate-P concentration in winter wheat at varying growth stages. *Journal of plant nutrition*, 1991, 14.3: 267-281.
- Raun, W.R., G.V. Johnson, M.L. Stone, J.B. Sollie, E.V. Lukina, W.E. Thomason, and J.S. Schepers. 2001. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agron. J.* 93:131-138.
- Raun, W. R., Johnson, G. V., Sembiring, H., Lukina, E. V., LaRuffa, J. M., Thomason, W. E., ... Whitney, R. W. (1998). Indirect measures of plant nutrients. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(11-14), 1571-1581. <https://doi.org/10.1080/00103629809370050>
- Raun W.R and G.V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron J.*, 91:357-363.
- Raun, W.R., Solie, J.B., Johnson, G.V., Stone, M. L., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Thomason, W.E. and Lukina E.V. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal* 94, 815-820.
- Raun, W.R., J. B. Solie, M. L. Stone, K. L. Martin, K. W. Freeman, R. W. Mullen, H. Zhang, J. S. Schepers, and G. V. Johnson. 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 2759-2781.
- Rehm, G., and M. Schmitt. 1989. Setting realistic crop yield goals. Minnesota Ext. Serv. AG-FS-3873. Univ. of Minnesota
- Sah, R. N. (1994). Nitrate-nitrogen determination—a critical review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(17-18), 2841-2869. <https://doi.org/10.1080/00103629409369230>

- Scharf, Peter C.; Alley, Marcus M. Spring nitrogen on winter wheat: II. A flexible multicomponent rate recommendation system. *Agronomy journal*, 1993, 85.6: 1186-1192.
- Shewry, Peter R. Wheat. *Journal of experimental botany*, 2009, 60.6: 1537-1553.
- Schlegel, A. J.; Dhuyvetter, K. C.; Havlin, J. L. Placement of UAN for dryland winter wheat in the Central High Plains. *Agronomy Journal*, 2003, 95.6: 1532-1541.
- Schepers, J.S., Francis, D.D., Vigil, M., Below, F.E., 1992. Comparison of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23, 2173–2187.
- Slafer, G.A., F.H. Andrade, and F.E. Feingold. 1990. Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: Relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica* 50:63–71
- Slafer, G.A., Satorre, E.H., Andrade, F.H., 1994. Increases in grain yield in bread wheat and associated physiological changes. In: *Improvement of Field Crops* (G.A.Slafer, ed.). Marcel Dekker: pp. 1-68.
- Smika, D. E.; Greb, B. W. Protein content of winter wheat grain as related to soil and climatic factors in the semiarid Central Great Plains 1. *Agronomy journal*, 1973, 65.3: 433-436.
- Snape J, Hyne V, Aitken K.. 1993. Targeting genes in wheat using marker mediated approaches. In: *Proceedings of the 8th international wheat genetics symposium*, Beijing, 749–759.
- Soper, R.J. and Huang, P.M. 1963. The effect of nitrate nitrogen in the soil profile on the response of barley to fertilizer nitrogen. *Can. J. Soil Sci.* 43:350-358.
- Sowers, KE., Pan, W.L., Miller, B.C., Smith, J.L., 1994. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agronomy Journal* 86, 942-948.
- Steven, M.D., T.J. Malthus, T.H. Demetriades-Shah, F.M. Danson and J.A. Clarck. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. p. 209–228. In M.D. Steven and J.A. Clarck (ed.) *Applications of remote sensing in agriculture*. Butterworths, London.
- Topal, A., B. Sade, S. Soylu, Ö. Öztürk, Y. Kan, ve B. Kenbaev. 1997. Farklı gelişme dönemlerinde değişik azotlu gübre formlarının yaprak ve topraktan uygulamasının ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin dane verimi, bazı verim ve kalite unsurlarına etkileri. Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi. 22-25 Eylül 1997, Kong. kitabı s:51-55, Samsun.
- Terman, G. L., et al. Yield-Protein Relationships in Wheat Grain, as Affected by Nitrogen and Water 1. *Agronomy Journal*, 1969, 61.5: 755-759.
- Triboi, E. and A.M. Triboi-Blondel. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. *Eur. J. Agron*;16:163–186.
- Triboi, E., Martre, P., Girousse, C., Ravel, C., Triboi-Blondel, A.M., 2006. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *Eur. J. Agron.* 25, 108–118.
- Van Ginkel, M., Ortiz-Monasterio, I., Trethowan, R., Hernandez, E., 2001. Methodology for selecting segregating populations for improved N-use efficiency in bread wheat. *Euphytica*, 119, 223-230.
- Van Sanford, D.A., and Mac Kown, C.T., 1987. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Crop Science* 27, 295-300.
- Varvel, G.E., Schepers, J.S., Francis, D.D., 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1233–1239.
- Vogel KP, Johnson VA, Mattern PJ. 1978. Protein and lysine contents of endosperm and bran of the parents and progenies of crosses of common wheat. *Crop Science* 18, 751–754.
- Weisz, R., C.R. Crozier, and R.W. Heiniger. 2001. Optimizing nitrogen application timing in no-till soft red winter wheat. *Agron. J.* 93:435–442.
- Welch, L. F., et al. Efficiency of Fall-Versus Spring-Applied Nitrogen for Winter Wheat 1. *Agronomy Journal*, 1966, 58.3: 271-274.
- Whitfield, D. M.; Smith, C. J. Nitrogen uptake, water use, grain yield and protein content in wheat. *Field Crops Research*, 1992, 29.1: 1-14.
- Woodward, R. W. Responses of Some Semi-Dwarf Spring Wheats to Nitrogen and Phosphorus Fertilizer 1. *Agronomy Journal*, 1966, 58.1: 65-66.
- Yamaguchi, Junichi, et al. Fertilizer-nitrogen absorption determined by the ¹⁵N isotopic and difference methods. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 1991, 25.2: 93-100.
- Yamaguchi, M. Determination of the nitrogen-to-protein conversion factor in cereals. In: *Seed analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1992. p. 95-107.