



## Kuru ve sulu koşullarda yetiştirilen ekmeklik buğdayın azotlu gübre gereksinimlerinin tahmin edilmesinde Mitscherlich-Bray eşitliğinin uygulanması

Ayşegül KORKMAZ\*, Fatma GÖKMEN YILMAZ,  
 Mustafa HARMANKAYA, Sait GEZGİN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya

### Öz

Bu çalışmada, kuru ve sulu koşullarda artan dozlarda azot uygulamalarının üründe sağladığı artışa ve toprakta bulunan KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N'u miktarına bağlı olarak Mitscherlich-Bray Eşitliği kullanılarak ekmeklik buğdayın azot ihtiyacının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tesadüf blokları deneme desenine göre kuru koşullarda yürütülen denemelerde dekara 0, 3, 6, 9 ve 12 kg N uygulanırken sulu koşullarda 0, 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 kg N olacak şekilde üre (%46 N) gübresi kullanılarak uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, topraktaki KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N içeriği ile ürün artışı arasında elde edilen ilişkinin önemli olduğu ve Mitscherlich-Bray eşitliğinin kullanılabilmesi belirlenmiştir. Bitkinin azot ihtiyacının belirlenmesinde kuru koşullar için  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.091 - 0.107 * x$  ve sulu koşullar için  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.043 - 0.076 * x$  eşitlikleri belirlenmiştir. Ayrıca kuru koşullarda teorik maksimum verim 435 kg da<sup>-1</sup> iken sulu koşullarda 574.3 kg da<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur. Ekmeklik buğdayın teorik maksimum verimin %90'ını hedef alan bir üretim için kuru koşullarda toprakta 10 kg veya daha fazla, sulu koşullarda ise 22 kg veya daha fazla NO<sub>3</sub>-N'u olması gerektiği belirlenmiştir. Bu durumda üründe artışlar sağlanabildiği ancak ekonomik analiz yapılması gerekliliği ifade edilmiştir. Sonuçta, kuru ve sulu koşullarda ekmeklik buğday için Mitscherlich-Bray eşitliği kullanarak belirlenmiş ve ekonomik olarak uygulanması gerekli azotlu gübre miktarları, eksik veya gereğinden fazla azotlu gübre kullanımının önüne geçecektir. Dahası, ihtiyaç kadar gübre kullanımı ile hem üreticiler hem de ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Buğday, KCl metodu, kuru, Mitscherlich-Bray, sulu.

### Application of the Mitscherlich-Bray equation in the estimation of nitrogen fertilizer requirements of bread wheat grown in dry and irrigated conditions

#### Abstract

This study aimed to determine the nitrogen requirement of bread wheat by using the Mitscherlich-Bray Equation, depending on the increase in the yield and increasing doses of nitrogen applications with the amount of KCl and extractable NO<sub>3</sub>-N in the soil in dry and irrigated conditions. The experiments were carried out according to the randomized blocks trial design using urea (46% N) fertilizer 0, 3, 6, 9, and 12 kg N da<sup>-1</sup> at nitrogen doses were applied in dry conditions while in irrigated conditions were used at a rate of 0, 4, 8, 12, 16, 20 and 24 kg N da<sup>-1</sup>. As a result of the study, it was determined to have an essential relationship between NO<sub>3</sub>-N content extractable with KCl in the soil and increasing yield. This situation showed that the Mitscherlich-Bray equation could be used. The equations  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.091 - 0.107 * x$  for dry conditions and  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.043 - 0.076 * x$  for irrigated conditions were determined in defining the nitrogen requirement of the plant. In addition, the theoretical maximum yield in bread wheat was found at 435 kg da<sup>-1</sup> in dry conditions, and 574.3 kg da<sup>-1</sup> in irrigated conditions. For a production targeting 90% of the theoretical maximum yield of bread wheat, it was determined that the NO<sub>3</sub>-N content in the soil had 10 kg or above in dry conditions and 22 kg or above in irrigated conditions. Therefore, increasing crops could be provided in this case, but an economic analysis was required. Consequently, using insufficient or excessive nitrogen fertilizer could be economically prevented to the amount of nitrogen fertilizer required dose determined by using the Mitscherlich-Bray equation for bread wheat in dry and irrigated conditions. Furthermore, using fertilizer as needed will contribute significantly to the economy of producers and the country.

**Keywords:** Wheat, KCl metod, dry, Mitscherlich-Bray, irrigated.

© 2022 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 544 614 0743

E-posta : [aysegul.korkmaz22@gmail.com](mailto:aysegul.korkmaz22@gmail.com)

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 29 Ağustos 2022

Kabul Tarihi : 15 Aralık 2022

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1155596

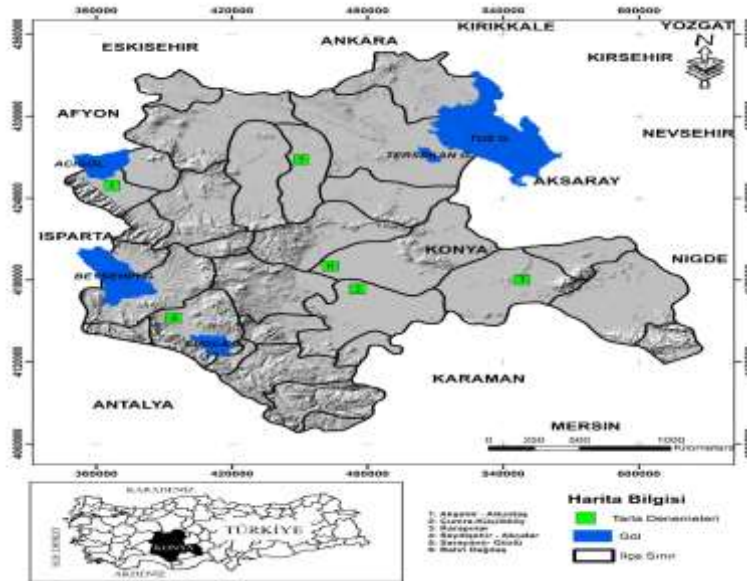
## Giriş

Ülkemizde hem üretiminin hem de tüketiminin fazla olduğu tahıllarda özellikle de buğdayda verim ve kalitenin artırılmasında NPK'lı gübre kullanımının payı %50-75 arasında değişmektedir (Vita ve ark., 2007; Şahin 2016; Polat 2020). Bu gübreler içerisinde en fazla azotlu gübreler kullanılmaktadır (Fageria ve ark., 2011; Sutton ve ark., 2013). Gerek kuru gerekse sulu koşullarda gereğinden eksik veya fazla azot kullanımı bitkilerin verim ve kaliteleri üzerinde çok büyük olumsuzluklara, bununla birlikte fazla kullanımı topraklarda NO<sub>3</sub><sup>-</sup> birikimine (Gao ve ark., 2019; Lu ve ark., 2019), toprak ve sularda NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve NO<sub>2</sub><sup>-</sup> kirliliğine (Shan ve ark., 2015; Vashisht ve ark., 2015) ve atmosferde sera gazları birikimine (Zhou ve ark., 2016) neden olmaktadır. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için bitkinin ihtiyaç duyduğu azotun miktarının belirlenmesi gerekmektedir ki bu ancak toprak azot miktarının yanında azotun etki değerinin bilinmesi ile mümkündür. Günümüzde bitkilerin azot ihtiyacının belirlenmesinde toprak organik madde miktarı yerine NO<sub>3</sub>-N miktarının da dikkate alınabileceği bildirilmektedir (Korkmaz ve ark., 2021; Yılmaz ve ark., 2021). Toprak NO<sub>3</sub>-N miktarının belirlenmesinden sonra bitkilerde teorik maksimum verimin %85-90'ını hedef alan üretim için gerekli azot miktarının belirlenmesinde Mitscherlich-Bray kalibrasyon eşitliklerinin oluşturulması gerekmektedir (Lu ve ark., 2019; Yılmaz ve ark., 2021). Toprakların azot içeriğinin belirlenmesinde çeşitli azot analiz yöntemleri (Bremner 1965; Keeney ve Bremner 1966; Stanford ve ark., 1973) kullanılmaktadır. Ancak Dahnke ve ark., (1971)'a göre toprak NO<sub>3</sub>-N'unun aşırı yağışla profilden yıkanarak ayrılmadığı kurak bölgelerde kullanılabilirliğini ifade edilmiş bunun yanısıra hem sulu hem de kuru koşullarda kullanılabilirliği bildirmişlerdir (Sonar ve Babhulkar, 2002; Korkmaz ve ark., 2021). Kalibrasyon eşitliği oluşturulmasında toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N içeriği ile verim arasındaki ilişkilere bağlı olarak Mitscherlich-Bray eşitliğinin  $[\log(A-y)=\log A - c1*b1-c*x]$  kullanılabilirliği bildirilmiştir (Bray, 1945; Bose ve ark., 2010; Afzal ve ark., 2014). Bu nedenle, bu çalışmada Mitscherlich-Bray eşitliği kullanılarak topraklarda KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı dikkate alınarak kuru ve sulu koşullarda yetiştirilen ekmeçlik buğdayda verimin belirli seviyeye çıkarmak için uygulanması gerekli azot miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Tarla denemeleri, kuru ve sulu koşullarda organik madde ve inorganik azot içeriği düşük aynı zamanda yağış miktarları ve toprak özellikleri farklı 6 farklı lokasyonda (1. Akşehir-Altıntaş, 2. Çumra-Küçükköy, 3. Karapınar, 4. Seydişehir-Akçalar, 5. Sarayönü-Gözlü TİGEM, 6. Bahri Dağdaş UTAE) olmak üzere toplamda 12 adet yürütülmüştür (Şekil 1). Deneme yeri topraklarının %33'ü nötr, %67'si hafif alkalin reaksiyonlu, %42'si kireçli, %58'i çok fazla kireçli, tınlı ve killi tın tekstüre sahip, organik maddece fakir olduğu belirlenmiş olup toprakların KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı Bremner (1965)'e göre belirlenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 1. Deneme alanlarının yer buldur haritası.

Çizelge 1. Deneme kurulan yerlerin toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Toprak Özellikleri                        | Lokasyon |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |      |
|-------------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                           | Kuru     |       |       |       |       |       | Sulu |       |       |       |       |      |
|                                           | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    |
| pH <sub>1:2.5</sub> toprak: su            | 7.54     | 8.01  | 7.01  | 7.70  | 7.06  | 7.31  | 8.01 | 8.07  | 7.73  | 7.88  | 6.86  | 7.44 |
| EC, 1:5 toprak: su, $\mu\text{S cm}^{-1}$ | 129.5    | 144.4 | 81.6  | 200   | 340   | 420   | 120  | 169.5 | 206   | 218   | 80.8  | 171  |
| CaCO <sub>3</sub> , %                     | 3.03     | 57.64 | 1.24  | 25.88 | 8.13  | 29.22 | 3.88 | 59.76 | 20.71 | 2.31  | 1.24  | 36.0 |
| Org. madde, %                             | 2.28     | 1.50  | 1.30  | 1.36  | 1.57  | 1.36  | 1.53 | 1.52  | 2.21  | 2.46  | 1.42  | 2.44 |
| Tekstür sınıfı                            | CL       | L     | CL    | L     | CL    | CL    | L    | L     | CL    | CL    | L     | L    |
| P, mg kg <sup>-1</sup>                    | 10.00    | 5.60  | 4.32  | 1.51  | 7.07  | 13    | 5.44 | 1.12  | 5.68  | 3.36  | 9.44  | 2.54 |
| K, mg kg <sup>-1</sup>                    | 139      | 297   | 1316  | 212.1 | 489   | 332   | 100  | 417   | 300   | 1324  | 179   | 841  |
| Ca, mg kg <sup>-1</sup>                   | 7878     | 4389  | 2062  | 7388  | 9600  | 9034  | 8561 | 7135  | 8220  | 12294 | 5219  | 4687 |
| Mg, mg kg <sup>-1</sup>                   | 365      | 872   | 213   | 835   | 637   | 1198  | 370  | 472   | 753   | 645   | 373   | 577  |
| B, mg kg <sup>-1</sup>                    | 0.79     | 2.17  | 1.27  | 0.75  | 0.68  | 1.72  | 0.88 | 2.21  | 5.17  | 4.54  | 0.90  | 1.17 |
| Fe, mg kg <sup>-1</sup>                   | 4.33     | 2.01  | 4.69  | 3.29  | 1.23  | 4.34  | 2.04 | 1.84  | 5.04  | 5.26  | 8.62  | 4.42 |
| Zn, mg kg <sup>-1</sup>                   | 0.74     | 0.58  | 0.67  | 0.56  | 0.30  | 0.38  | 0.42 | 0.34  | 3.65  | 0.40  | 0.80  | 0.27 |
| Mn, mg kg <sup>-1</sup>                   | 4.95     | 1.59  | 13.24 | 12.61 | 12.13 | 5.54  | 4.20 | 1.70  | 6.36  | 9.98  | 17.06 | 4.86 |
| Cu, mg kg <sup>-1</sup>                   | 1.17     | 0.57  | 1.49  | 1.38  | 1.29  | 1.00  | 1.12 | 0.58  | 2.99  | 1.63  | 1.44  | 0.51 |

Denemelerde verim ve kalite özellikleri yüksek olması nedeniyle yörede yaygın olarak yetiştirilen kuru koşullarda Bayraktar-2000 ve sulu koşullarda Esperia ekmeçlik buğday çeşitleri kullanılmıştır.

## Yöntem

Çalışmada, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülen kuru denemelerde azot, dekara kontrol (0), 3, 6, 9 ve 12 kg; sulu denemelerde ise kontrol (0), 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 kg üre (%46 N) gübresiyle uygulanmıştır. Kuruda azotun 1/2'si ekimde geriye kalan kısmı erken ilkbahar (Şubat ayında) döneminde, suluda azotun 1/4'ü ekimde, 1/2'si kardeşlenmede ve geriye kalan kısmı başaklanma döneminde yapılmıştır. Ekimde bütün deneme alanına ekim makinesi ile deneme yeri toprağının bitkiye elverişli fosfor miktarına göre triplesüper fosfat (TSP, %42-44 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) formunda fosfor uygulanmıştır. Denemelerde her bir parsel alanı 6 m x 2.56 m = 15.36 m<sup>2</sup>'dir. Hasat olgunluğuna gelen buğday bitkisi her parselden 9.6 m<sup>2</sup> olacak şekilde hasat edilerek, verimleri kaydedilmiştir. Tarla deneme yerleri yıllık ortalama 214-528 mm yağış almış olup, kuru denemelerde sulama yapılmazken sulu denemelerde bitki tüketimi dikkate alınarak ekim sonrası, kardeşlenme ve başaklanma dönemlerinde sulama yapılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler dikkate alınarak artan dozlarda uygulanan azotun buğday bitkisinin üründe sağladığı artış ve toprak NO<sub>3</sub>-N içerikleri üzerine etkileri MSTAT-C istatistik paket programlarında regresyon analizine tabi tutulmuş ve (Eşitlik 1) önem çıkması nedeniyle Mitscherlich-Bray eşitliği kullanılarak toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N'a bağlı olarak uygulanması gereken azot miktarı aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 2 ve 3) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\log y = a + b * \log x \quad (1)$$

Burada, y: her bir azot uygulamasına karşılık gelen ürün artışı, x: toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı (kg da<sup>-1</sup>), a ve b: y eksenini kesim noktası ile belirlenen katsayı.

$$\log(A - y) = \log A - b_1 * c_1 - c * x \quad (2)$$

Burada, A: en yüksek azot uygulaması ile elde edilen verim (kg da<sup>-1</sup>), y: her bir azot uygulamasına karşılık gelen verim (kg da<sup>-1</sup>), b<sub>1</sub>: toprağın NO<sub>3</sub>-N miktarı (kg da<sup>-1</sup>), c<sub>1</sub>: toprakta NO<sub>3</sub>-N'un etki değeri, x: uygulanan azot miktarı (kg da<sup>-1</sup>), c: gübre azotunun etki değeri.

$$T = (k * y - y_0) / (k - 1) \quad (3)$$

Burada, T: teorik maksimum verim (kg da<sup>-1</sup>), y<sub>0</sub>: kontrol parsellerinin verimi (kg da<sup>-1</sup>), y: her bir azot uygulamasına karşılık gelen verim (kg da<sup>-1</sup>), k: c\*x'in antilogaritması, c: gübre azotunun etki değeri, x: uygulanan azot miktarı (kg da<sup>-1</sup>).

## Bulgular ve Tartışma

Deneme yeri toprakların KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı, en düşük ve en yüksek dozda azot uygulamalarına göre üründe meydana gelen artışlar Çizelge 2'de verilmiştir. Kuru ve sulu koşullarda deneme yeri topraklarının NO<sub>3</sub>-N kapsamı ve azot uygulamalarına bağlı olarak verimde ve üründe meydana gelen artışların değiştiği belirlenmiştir. Genel olarak toprakların NO<sub>3</sub>-N kapsamı arttıkça azot uygulaması ile üründe sağlanan artışın azaldığı tespit edilmiştir. Azot uygulamalarının verim üzerine etkisinin toprakların NO<sub>3</sub>-N içeriklerine bağlı olarak değiştiği belirtmişlerdir (Selassie ve ark., 2003; Afzal ve ark., 2014).

**Çizelge 2.** Kuru ve sulu koşullarda deneme yeri topraklarının KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile verimlerinde sağlanan ürün artışları

| Lokasyon No | Kuru                                            |         |                          |                                                          | Sulu                                            |         |                          |                                                          |
|-------------|-------------------------------------------------|---------|--------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------|--------------------------|----------------------------------------------------------|
|             | NO <sub>3</sub> -N kapsamı, kg da <sup>-1</sup> | Kontrol | 12 kg N da <sup>-1</sup> | % ürün artışı 100-(N <sub>0</sub> x100/N <sub>12</sub> ) | NO <sub>3</sub> -N kapsamı, kg da <sup>-1</sup> | Kontrol | 24 kg N da <sup>-1</sup> | % ürün artışı 100-(N <sub>0</sub> x100/N <sub>24</sub> ) |
| 1           | 8.95                                            | 309.4   | 383.5                    | 19.3                                                     | 13.0                                            | 556.5   | 664.6                    | 16.3                                                     |
| 2           | 12.80                                           | 433.8   | 511.0                    | 15.1                                                     | 12.5                                            | 552.3   | 679.4                    | 18.7                                                     |
| 3           | 9.54                                            | 177.8   | 398.3                    | 55.3                                                     | 7.75                                            | 250.2   | 611.3                    | 61.7                                                     |
| 4           | 5.60                                            | 510.8   | 556.9                    | 8.3                                                      | 9.00                                            | 250.2   | 611.3                    | 59.1                                                     |
| 5           | 13.35                                           | 190.5   | 222.2                    | 11.5                                                     | 16.50                                           | 454.6   | 671.1                    | 32.3                                                     |
| 6           | 6.78                                            | 367.3   | 421.5                    | 23.2                                                     | 12.33                                           | 490.6   | 587.7                    | 16.6                                                     |

Kuru ve sulu koşullarda deneme yeri topraklarının KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile ürün artışı arasında yapılan regresyon analizi sonucunda sırasıyla  $\log y = 302.17 - 267.74 \cdot \log x$  ve  $\log y = 217.25 - 166.30 \cdot \log x$  (Eşitlik 1) eşitlikleri elde edilmiş olup bunlar %5 ve %0.5 seviyelerinde istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Bu önemli ilişkiler hem kuru hem sulu koşullarda buğday bitkisinin azot ihtiyacının belirlenmesinde toprakların NO<sub>3</sub>-N kapsamına göre Mitscherlich-Bray eşitliğinin kullanılabilmesinin göstergesidir. Nitekim buğday başta olmak üzere farklı bitkilerde yapılan çalışmalarda da (Sonar ve Babhulkar, 2002; Ali ve ark., 2022) bitkilerin N, P ve K ihtiyaçlarının karşılanmasında; toprakların besin elementi kapsamının önemli olduğunu, uygulamalara bağlı olarak verimde artışların sağlandığını ve Mitscherlich-Bray eşitliğinin kullanılabilmesini bildirmişlerdir.

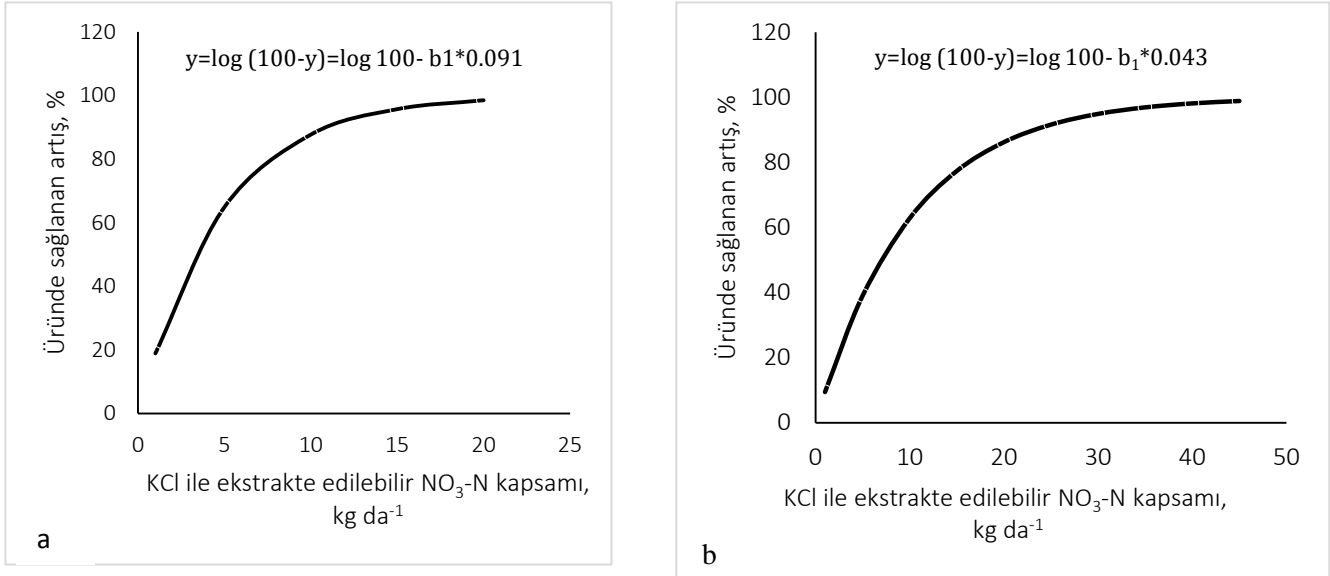
**Çizelge 3.** Kuru ve sulu koşullardaki denemelerde azot uygulamaları ile elde edilen ortalama tane verimleri, teorik maksimum verim, toprak etki değeri (c<sub>1</sub>), gübre etki değeri (c) ve c<sub>1</sub>/c oranı

|                          | N, kg da <sup>-1</sup> | Verim, kg da <sup>-1</sup> | Hesaplanmış $\log y$ | 1/x   | c <sub>1</sub> | c     | c <sub>1</sub> /c |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|-------|----------------|-------|-------------------|
| Kuru                     | 0                      | 331.6*                     | -                    | -     | 0.091          | -     | -                 |
|                          | 3                      | 391.5                      | 3.9527               | 0.333 | -              | 0.140 | -                 |
|                          | 6                      | 413.4                      | 3.6164               | 0.167 | -              | 0.083 | -                 |
|                          | 9                      | 414.3                      | 3.6173               | 0.111 | -              | 0.098 | -                 |
|                          | Ortalama               | -                          | -                    | -     | -              | 0.091 | 0.107             |
| <b>Teorik Mak. Verim</b> |                        | <b>435.0</b>               |                      |       |                |       |                   |
| Sulu                     | 0                      | 403.0                      | -                    | -     | 0.043          | -     | -                 |
|                          | 4                      | 496.3                      | 3.6957               | 0.250 | -              | 0.121 | -                 |
|                          | 8                      | 544.5                      | 3.7360               | 0.125 | -              | 0.066 | -                 |
|                          | 12                     | 580.2                      | 3.7636               | 0.833 | -              | 0.071 | -                 |
|                          | 16                     | 582.5                      | 3.7653               | 0.063 | -              | 0.061 | -                 |
|                          | 20                     | 587.1                      | 3.7687               | 0.050 | -              | 0.062 | -                 |
| Ortalama                 | -                      | -                          | -                    | -     | 0.043          | 0.076 | 0.5658            |
| <b>Teorik Mak. Verim</b> |                        | <b>574.3</b>               |                      |       |                |       |                   |

\*, Veriler 4 tekerrürün ortalamasıdır.

Toprağın KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamının etki değeri (c<sub>1</sub>) Bray tarafından modifiye edilen Mitscherlich eşitliğinden (Eşitlik 2) yararlanılarak her bir tarla denemesi için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu denklemde A yerine kuru ve sulu koşullarda en yüksek azot uygulaması (12 ve 24 kg da<sup>-1</sup>) ile elde edilen verimler sırasıyla 415.8 ve 601.0 kg da<sup>-1</sup>, y yerine azot uygulanmayan kontrolden elde edilen verimler 331.6

ve 403.0 kg da<sup>-1</sup>, b<sub>1</sub> yerine toprakların KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ve x yerine ise y değeri olarak azot uygulanmayan kontrol verimi alındığı için 0 alınmıştır. Kuru ve sulu koşullarda toprak NO<sub>3</sub>-N'unun ortalama etki değeri (c<sub>1</sub>) sırasıyla 0.091 ve 0.043 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Nitekim yapılan çalışmalarda topraklardaki besin elementlerinin (N, P ve K) etkinlik katsayılarının toprakta bulunan miktarlarına göre değiştiği belirlenmiştir (Sonar ve Babhulkar, 2002; Srivastana ve ark., 2006). Belirlenen c<sub>1</sub> değerine göre toprağın KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile ürün artışı arasındaki Mitscherlich-Bray eşitliği kuru koşullarda  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.091$  iken sulu koşullarda  $\log(100-y) = \log 100 - b_1 * 0.043$  şeklinde bulunmuştur (Şekil 2). Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi kuru ve sulu koşullarda toprakta NO<sub>3</sub>-N kapsamı arttıkça üründe sağlanan artış artmakta ancak Mitscherlich'in azalan verim kanununa göre ürün miktarındaki artış giderek azalmaktadır.



Şekil 2. Kuru (a) ve sulu (b) koşullarda toprakların KCl ile ekstrakte edilen NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile ürün artışı arasındaki ilişki

Uygulanan gübre azotunun etki değeri (c) Bray tarafından modifiye edilen Mitscherlich eşitliğinden (Eşitlik 2) yararlanılarak her bir azot dozu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kuru ve sulu koşullarda uygulanan gübre azotunun ortalama etki değeri (c) sırasıyla 0.107 ve 0.076 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Nitekim yapılan çalışmalarda gübre azotunun etki değerinin uygulanan azot miktarına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Srivastana ve ark., 2006; Kassa ve ark., 2021).

Uygulanması gereken azot miktarlarının hesaplanmasında Mitscherlich-Bray eşitliği ile hesaplanan c<sub>1</sub> ve c değerleri, toprağın KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı (b<sub>1</sub>), teorik maksimum verim (T) ve teorik maksimum verim (T)'in %50, %75, %80, %85 ve %90'ini dikkate alınmış, kuru ve sulu koşullarda sırasıyla  $\log(T-y) = \log T - b_1 * 0.091 - 0.107 * x$  ve  $\log(T-y) = \log T - b_1 * 0.043 - 0.076 * x$  eşitlikleri kullanılmıştır (Çizelge 4).

Toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N'u kapsamı ve teorik maksimum verime bağlı olarak, hedeflenen verime ulaşmak için uygulanması gereken azot miktarı Mitscherlich-Bray eşitliği denklemi kullanılarak hesaplanmış olup kuru koşullarda  $\log(435-y) = \log 435 - 0.091 * b_1 - 0.107 * x$  ve sulu koşullarda  $\log(574-y) = \log 574 - 0.043 * b_1 - 0.076 * x$  olarak bulunmuştur. Kuru ve sulu koşullarda buğday bitkisine uygulanması gerekli azot miktarı, toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamına ve hedeflenen verime göre değişmektedir. Toprakların bitkiye yarayışlı azot miktarları arttıkça hedeflenen verime ulaşmak için uygulanması gereken azot miktarlarında azalmalar belirlenmiştir.

Kuru koşullarda toprakta 5 kg NO<sub>3</sub>-N da<sup>-1</sup> olması durumunda teorik maksimum ürünün %50, %75, %80 ve %85'ini hedef alan verim için uygulanması gerekli azot miktarları sırası ile 0, 1.37, 2.28 ve 3.45 kg da<sup>-1</sup> iken sulu koşullarda 1.15, 5.11, 6.38 ve 8.03 kg da<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Nitekim Chapman (1960), bitkiler için topraktaki NO<sub>3</sub>-N miktarının 5 mg kg<sup>-1</sup> (1.25 kg da<sup>-1</sup>)'dan düşük ise noksan, 20 mg kg<sup>-1</sup> (5 kg da<sup>-1</sup>)'dan fazla ise de yeterli düzeyde olduğunu ifade etmiştir ki bizim çalışmamızda da teorik maksimum verimin %90'ını hedef alan bir üretim için toprağın KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamının 5 kg da<sup>-1</sup> olması durumunda kuru ve sulu koşullarda sırasıyla dekara 5.09 ve 10.34 kg N uygulanmasının yeterli olduğu bulunmuştur. Bu durum toprakta KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N miktarının artışı ile uygulanması gerekli azot miktarının

azalmasının bir göstergesidir. Topraklarda kuru koşullarda dekarda 10 kg veya daha fazla, sulu koşullarda ise 22 kg veya daha fazla  $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u olması durumunda üründe artışlar sağlanabilir ancak bu durumun ekonomik olup olmadığı yıl bazında Mitscherlich-Bray eşitliğine göre uygulanacak azot, azotlu gübre miktarına, gübre çeşidine, fiyatına ve üretilen buğdayın çeşidi ve satış fiyatına göre marjinal gübre azotunun değeri ve marjinal gelir hesaplanarak belirlenmelidir.

**Çizelge 4.** Toprağın KCl ile ekstrakte edilebilir  $\text{NO}_3\text{-N}$  kapsamına bağlı olarak teorik maksimum ürünün %50, %75, %80, %85 ve %90'ının alınabilmesi için uygulanması gereken azot miktarları ( $\text{kg da}^{-1}$ )

|      | Toprak azot kapsamı,<br>$\text{kg da}^{-1}$ | Teorik maksimum verimin yüzdesi (y)                |      |      |       |       |
|------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|-------|-------|
|      |                                             | 50                                                 | 75   | 80   | 85    | 90    |
|      |                                             | Uygulanması gereken N miktarı, $\text{kg da}^{-1}$ |      |      |       |       |
| Kuru | 1                                           | 1.96                                               | 4.78 | 5.68 | 6.85  | 8.50  |
|      | 2                                           | 1.11                                               | 3.93 | 4.83 | 6.00  | 7.64  |
|      | 3                                           | 0.26                                               | 3.08 | 3.98 | 5.15  | 6.79  |
|      | 4                                           | 0                                                  | 2.22 | 3.13 | 4.30  | 5.94  |
|      | 5                                           |                                                    | 1.37 | 2.28 | 3.45  | 5.09  |
|      | 6                                           |                                                    | 0.52 | 1.43 | 2.60  | 4.24  |
|      | 7                                           |                                                    | 0    | 0.58 | 1.75  | 3.39  |
|      | 8                                           |                                                    |      | 0    | 0.90  | 2.54  |
|      | 9                                           |                                                    |      |      | 0.05  | 1.69  |
|      | 10                                          |                                                    |      |      | 0     | 0.84  |
| Sulu | 1                                           | 3.40                                               | 7.36 | 8.63 | 10.28 | 12.59 |
|      | 2                                           | 2.83                                               | 6.80 | 8.07 | 9.71  | 12.03 |
|      | 3                                           | 2.27                                               | 6.23 | 7.51 | 9.15  | 11.47 |
|      | 4                                           | 1.71                                               | 5.67 | 6.94 | 8.59  | 10.91 |
|      | 5                                           | 1.15                                               | 5.11 | 6.38 | 8.03  | 10.34 |
|      | 6                                           | 0.58                                               | 4.54 | 5.82 | 7.46  | 9.78  |
|      | 7                                           | 0.02                                               | 3.98 | 5.25 | 6.90  | 9.22  |
|      | 8                                           | 0                                                  | 3.42 | 4.69 | 6.34  | 8.65  |
|      | 9                                           |                                                    | 2.85 | 4.13 | 5.77  | 8.09  |
|      | 10                                          |                                                    | 2.29 | 3.57 | 5.21  | 7.53  |
|      | 11                                          |                                                    | 1.73 | 3.00 | 4.65  | 6.96  |
|      | 12                                          |                                                    | 1.16 | 2.44 | 4.08  | 6.40  |
|      | 13                                          |                                                    | 0.60 | 1.88 | 3.52  | 5.84  |
|      | 14                                          |                                                    | 0.04 | 1.31 | 2.96  | 5.27  |
|      | 15                                          |                                                    | 0    | 0.75 | 2.39  | 4.71  |
|      | 16                                          |                                                    |      | 0.19 | 1.83  | 4.15  |
|      | 17                                          |                                                    |      | 0    | 1.27  | 3.58  |
|      | 18                                          |                                                    |      |      | 0.70  | 3.02  |
|      | 19                                          |                                                    |      |      | 0.14  | 2.46  |
|      | 20                                          |                                                    |      |      | 0     | 1.89  |
|      | 21                                          |                                                    |      |      |       | 0.77  |
| 22   |                                             |                                                    |      |      | 0.21  |       |
| 23   |                                             |                                                    |      |      | 0     |       |

Kuru koşullarda mevcut gübre ve ekmeklik buğday fiyatlarına göre, toprakta dekarda 10 kg azot olması durumunda 1 kg N hesabıyla azotlu gübre uygulaması sonunda 29.1 TL marjinal gidere karşılık 64.4 TL gelir sağlanmıştır. Ancak ilave edilen her bir birim marjinal gübre kendinden önce uygulanan aynı miktardaki azotlu gübreyle oranla daha az marjinal gelir sağladığı için, 2.0 kg N  $\text{da}^{-1}$  hesabıyla azotlu gübre uygulaması sonunda elde edilen gelir 50.3 TL'ye karşılık gelmekte, sonuçta azotlu gübre ile uygulanacak azot miktarı dekar başına 5 kg'a çıktığında ise 24.0 TL olan marjinal gelir marjinal gübre (29.1 TL) masrafını karşılayamamaktadır. Bu demektir ki 5 kg N  $\text{da}^{-1}$ 'in üzerinde azotlu gübre uygulaması ekonomik olmayacaktır. Uygulanacak olan ekonomik azotlu gübre miktarları, toprağın azot kapsamına bağlı olarak değişmekte olup dekarda 12 kg azot olması durumunda dekar başına 3 kg N ve üzerinde azot uygulanması ekonomik olmayacaktır (Çizelge 5).

**Çizelge 5.** Artan dozlarda azot uygulaması ile belirlenen marjinal ürün ve marjinal gelir değerleri

| Gübre miktarı, kg da <sup>-1</sup> | Marjinal gübre miktarı | Marjinal gübre azotunun değeri, ₺ | Artan azot uygulamaları ile belirlenen marjinal ürün ve marjinal gelir |        |                          |       |                          |       |                          |       |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                                    |                        |                                   | Kuru                                                                   |        |                          |       | Sulu                     |       |                          |       |
|                                    |                        |                                   | 10 kg N da <sup>-1</sup>                                               |        | 12 kg N da <sup>-1</sup> |       | 22 kg N da <sup>-1</sup> |       | 24 kg N da <sup>-1</sup> |       |
|                                    |                        |                                   | Verim                                                                  | Gelir* | Verim                    | Gelir | Verim                    | Gelir | Verim                    | Gelir |
| 1                                  | 1                      | 29.1                              | 343.3                                                                  | 64.4   | 359.8                    | 42.3  | 458.3                    | 57.5  | 468.9                    | 47.2  |
| 2                                  | 1                      | 29.1                              | 353.9                                                                  | 50.3   | 366.7                    | 33.1  | 467.7                    | 48.3  | 476.6                    | 39.6  |
| 3                                  | 1                      | 29.1                              | 362.1                                                                  | 39.3   | 372.1                    | 25.9  | 475.6                    | 40.5  | 483.0                    | 33.2  |
| 4                                  | 1                      | 29.1                              | 368.5                                                                  | 30.7   | 376.4                    | 20.2  | 482.2                    | 34.0  | 488.5                    | 27.9  |
| 5                                  | 1                      | 29.1                              | 373.5                                                                  | 24.0   | 379.7                    | 15.8  | 487.8                    | 28.6  | 493.0                    | 23.4  |
| 6                                  | 1                      | 29.1                              | 377.4                                                                  | 18.8   | 382.3                    | 12.4  | 492.5                    | 23.9  | 496.9                    | 19.7  |
| 7                                  | 1                      | 29.1                              | 380.5                                                                  | 14.7   | 384.3                    | 9.7   | 496.4                    | 20.1  | 500.1                    | 16.5  |
| 8                                  | 1                      | 29.1                              | 382.9                                                                  | 11.5   | 385.9                    | 7.6   | 499.7                    | 16.9  | 502.8                    | 13.9  |
| 9                                  | 1                      | 29.1                              | 384.8                                                                  | 8.9    | 387.1                    | 5.9   | 502.4                    | 14.2  | 505.0                    | 11.6  |
| 10                                 | 1                      | 29.1                              | 386.3                                                                  | 7.0    | 388.1                    | 4.6   | 504.8                    | 11.9  | 506.9                    | 9.8   |
| 11                                 | 1                      | 29.1                              | 387.4                                                                  | 5.5    | 388.8                    | 3.6   | 506.7                    | 9.9   | 508.5                    | 8.2   |
| 12                                 | 1                      | 29.1                              | 388.3                                                                  | 4.3    | 389.4                    | 2.8   | 508.3                    | 8.4   | 509.9                    | 6.9   |
| 13                                 | 1                      | 29.1                              | 389.0                                                                  | 3.4    | 389.9                    | 2.2   | 509.7                    | 7.0   | 511.0                    | 5.8   |
| 14                                 | 1                      | 29.1                              | 389.5                                                                  | 2.6    | 390.2                    | 1.7   | 510.9                    | 5.9   | 511.9                    | 4.9   |
| 15                                 | 1                      | 29.1                              | 390.0                                                                  | 2.0    | 390.5                    | 1.3   | 511.8                    | 4.9   | 512.7                    | 4.1   |
| 16                                 | 1                      | 29.1                              | 390.3                                                                  | 1.6    | 390.7                    | 1.1   | 512.6                    | 4.2   | 513.4                    | 3.4   |
| 17                                 | 1                      | 29.1                              | 390.6                                                                  | 1.3    | 390.9                    | 0.8   | 513.3                    | 3.5   | 514.0                    | 2.9   |
| 18                                 | 1                      | 29.1                              | 390.8                                                                  | 0.9    | 391.0                    | 0.6   | 513.9                    | 2.9   | 514.4                    | 2.4   |
| 19                                 | 1                      | 29.1                              | 390.9                                                                  | 0.8    | 391.1                    | 0.5   | 514.4                    | 2.5   | 514.8                    | 2.0   |
| 20                                 | 1                      | 29.1                              | 391.1                                                                  | 0.6    | 391.2                    | 0.4   | 514.8                    | 2.1   | 515.1                    | 1.7   |

\* , 2022 yılı Ağustos ayı için 1 ton Üre (%46 N) fiyatının 13400 TL, 1 ton buğday fiyatının 6120 TL olduğu göz önüne alınmıştır.

Sulu koşullarda mevcut gübre ve ekmeçlik buğday fiyatlarına göre, toprakta dekarda 22 kg azot olması durumunda 1 kg N hesabıyla azotlu gübre uygulaması sonunda 29.1 TL marjinal gidere karşılık 57.5 TL gelir sağlanmıştır. Ancak ilave edilen her bir birim marjinal gübre kendinden önce uygulanan aynı miktardaki azotlu gübreye oranla daha az marjinal gelir sağladığı için, 2.0 kg N da<sup>-1</sup> hesabıyla azotlu gübre uygulaması sonunda elde edilen gelir 48.3 TL'ye karşılık gelmekte, sonuçta azotlu gübre ile uygulanacak azot miktarı dekar başına 5 kg'a çıktığında ise 28.6 TL olan marjinal gelir marjinal gübre (29.1 TL) masrafını karşılayamamaktadır. Bu demektir ki 5 kg N da<sup>-1</sup>'in üzerinde azotlu gübre uygulaması ekonomik olmayacaktır. Uygulanacak olan ekonomik azotlu gübre miktarları, toprağın azot kapsamına bağlı olarak değişmekte olup dekarda 24 kg azot olması durumunda dekar başına 4 kg N ve üzerinde azot uygulanması ekonomik olmayacaktır (Çizelge 5).

Bitkinin azot ihtiyacı ve azottan yararlanma durumu kuru ve sulu koşullarda yetiştiriciliğe bağlı olarak değişmektedir. Azottan bitkinin yararlanma durumu, yağışın düşük ve orta düzeyde olduğu kuru koşullarda organik maddenin parçalanmasının az olması (Shakoor ve ark., 2022); sulu koşullarda ise sulamanın fazlalığına bağlı organik maddenin daha hızlı parçalanması (Blair ve Crocker, 2000; European Communities, 2009) sonucu açığa çıkan azottun miktarı yanında toprağın diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle hem sulu hem de kuru alanlarda toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri özellikle de organik madde miktarı ve azot mineralizasyonuna bağlı olarak toprakların NO<sub>3</sub>-N kapsamı bitkilerin azotlu gübre ihtiyaçlarının belirlenmesinde önemlidir. Bu nedenle bitkilerin azot ihtiyaçlarının belirlenmesi için toprakta mevcut bitkiye yarayışlı NO<sub>3</sub>-N kapsamı, bu azotun etki değeri, gübre azotunun etki değerini içeren Mitscherlich eşitliğinin kullanılması gerekmektedir. Çünkü bu denklemde bitkiye gübre olarak uygulanan azotun yanında toprakta mevcut bitkiye yarayışlı NO<sub>3</sub>-N kapsamının da ekonomik analizlere dahil etme imkânı sağlanmıştır.

## Sonuç

Bitkilerin besin elementi ihtiyaçlarının belirlenmesinde, toprakta bitkiye yarayışlı besin elementinin kapsamı, bunun etki değeri yanında uygulanacak azot miktarı ve bunun etki değerinin dikkate alınması nedeniyle Mitscherlich-Bray eşitliği kullanılmaktadır. Bu çalışmada ekmeçlik buğday bitkisinin azot ihtiyacının belirlenmesinde toprakta bitkiye yarayışlı NO<sub>3</sub>-N kapsamı, toprak azotunun etki değeri, gübre azotunun etki değeri dikkate alınarak kuru ve sulu koşullarda uygulanması gereken azot miktarı ve ekonomik olup olmadığı belirlenmiştir. Kuru koşullarda ekmeçlik buğday bitkisi için toprakların KCl ile

ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile ürün artışları arasında  $y= 302.17-267.74*\log (x)$  eşitliği ( $y=$  verim,  $a$  ve  $b=$  hesapla bulunan sabite değerleri,  $x=KCl$  ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı) ile ifade edilen ve %5 seviyesinde önemli bir ilişki belirlenmiş olup uygulanması gereken optimum azotlu gübre miktarları  $\log (435-y) = \log 435 - 0.091*b_1 - 0.107*x$  eşitliğinden faydalanılarak belirlenmiştir. Sulu koşullarda ise ekmeklik buğday için toprakların KCl ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı ile ürün artışları arasında  $y= 217.25-166.30 \log (x)$  eşitliği ( $y=$ verim,  $a$  ve  $b=$ hesapla bulunan sabite değerleri,  $x=KCl$  ile ekstrakte edilebilir NO<sub>3</sub>-N kapsamı) ile ifade edilen ve % 0.5 seviyesinde önemli bir ilişki belirlenmiş olup uygulanması gereken optimum azotlu gübre miktarları  $\log (574-y) = \log 574 - 0.043*b_1 - 0.076*x$  eşitliğinden faydalanılarak belirlenmiştir. Buğday bitkisi için uygulanacak olan ekonomik azotlu gübre miktarları, toprağın azot kapsamına bağlı olarak değişmekte olup toprakta azottun bir birim artışına bağlı olarak uygulanacak azotlu gübre miktarlarının da azalmalar belirlenmiştir. Sonuçta, kuru ve sulu koşullarda toprakların farklı NO<sub>3</sub>-N içerikleri kullanılarak yürütülen tarla denemelerinde bitkiye NO<sub>3</sub>-N miktarının farklılıklar ve buna göre uygulanması gerekli gübre miktarında da değişiklikler belirlenmiştir. Ülkemizde bitkilerin azot ihtiyacının belirlenmesinde toprak organik madde miktarı dikkate alınmaktadır ancak bu çalışmada da ifade edildiği gibi toprak NO<sub>3</sub>-N kapsamının kullanılabilmesi belirlenmiştir. Kuru ve sulu koşullarda yetiştiricilikte azotun eksik veya fazla uygulanmasının neden olduğu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için bu çalışmada bulunan eşitliklerden yararlanarak uygulanacak gübre miktarları ve ekonomikliği hesaplanmalıdır. Bu nedenle ekonomik olarak uygulanması gerekli gübre miktarları hesaplanarak, yetersiz veya gereksiz gübre uygulamaları önlenerek, çiftçinin daha karlı bir üretim yapması sağlanabilir.

### Teşekkürler

Bu çalışma TÜBİTAK (2170180) ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü (19201083) tarafından desteklenmiş olup destekleri için teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmanın bir kısmı Ayşegül KORKMAZ'ın tez çalışmasından üretilmiştir. Yazar Ayşegül KORKMAZ, Sürdürülebilir Tarım alanında 100/2000 Yükseköğretim Kurulu Doktora Burslusudur.

### Kaynaklar

- Ali A, Anum W, Ali L, Manzoor N, Shah SWH, Ch AUR, Nabi G, 2022. Application of Mitscherlich-Bray equation for fertilizer use on raya. Pak Euro J. of Medical and Life Sci. 5 (2): 301- 308. Doi: 10.31580/pjmls.v5i2.2533.
- Afzal S, Islam M, Obaid-Ur R, 2014. Application of Mitscherlich-Bray equation for fertilizer use on groundnut. Commun Soil Sci Plant Anal. 45: 1636-1645. Doi: 10.1080/00103624.2014.907911.
- Blair N, Crocker GJ, 2000. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. Soil Res. 38(1): 71-84.
- Bose PC, Kar R, Bajpai AK, 2010. Soil test based sulphur fertilization for targeted yields of mulberry. J. of Crop and Weed. 6(1): 22-24.
- Bray RH. 1945. Nitrates tests for soils and plant tissues. Soil Sci. 60: 219-222.
- Bremner, J. T. 1965. Inorganic forms of nitrogen. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 9, 1179-1237. Doi: 10.2134/agronmonogr9.2.c33.
- Dahnke WC, 1971. Use of the nitrate specific ion electrode in soil testing. Comm. in Soil Sci. and Plant Analy. 2(2): 73-84. Doi: 10.1080/00103627109366292.
- European Communities, 2009. Reproduction is authorised provided the source is acknowledged. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/ENFactSheet-03.pdf>
- Fageria NK, Moreira A, Coelho AM, 2011. Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. J. of Plant Nut. 34(3): 361-370. Doi: 10.1080/01904167.2011.536878.
- Gao J, Lu Y, Chen Z, Wang L, Zhou J, 2019. Land-use change from cropland to orchard leads to high nitrate accumulation in the soils of a small catchment. Land Deg. & Develop. 30(17): 2150-2161. Doi: 10.1002/ldr.3412.
- Kassa M, Kebede F, Haile W, 2021. Forms and dynamics of soil potassium in acid soil in the wolaita zone of southern Ethiopia. Applied and Environ Soil Sci. 2021(10). Doi: 10.1155/2021/9917316.
- Korkmaz A, Yılmaz FG, Kulluk DA, Gezgin S, 2021. Kop Bölgesinde buğdayın azotlu gübre ihtiyacının belirlenmesi. 8. Uluslararası KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 594-595, 26-28 Ekim, Nevşehir.



- Keeney DR, Bremner JM, 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability 1. *Agronomy J.* 58(5): 498-503. Doi: 10.2134/agronj1966.00021962005800050013x.
- Lu J, Bai Z, Velthof GL, Wu Z, Chadwick D, Ma L, 2019. Accumulation and leaching of nitrate in soils in wheat-maize production in China. *Agric. Water Manage.* 212: 407-415. Doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.039.
- Polat H, 2020. Türkiye’de kimyasal azotlu gübre tüketim durumunun ve toprak analizi zorunluluğunun azotlu gübre kullanımına etkilerinin değerlendirilmesi. *Top. Su D.* 9(2): 60-71.
- Selassie YG, Suwanarit A, Suwannarat C, Sarobol E, 2003. Equations for estimating nitrogen fertilizer requirements from soil analysis for maize (*Zea mays* L.) grown on Alfisols of northwestern Ethiopia. *Agric. and Nat. Resour.* 37(2): 157-167.
- Shan L, He Y, Chen J, Huang Q, Lian X, Wang H, Liu Y, 2015. Nitrogen surface run off losses from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China. *Agric. Water Manage.* 159: 255-263. Doi: 10.1016/j.agwat.2016.12.018.
- Shakoor A, Bosch-Serra AD, Lidon A, Gineta D, Boixadera J, 2022. Soil nitrogen dynamics in fallow periods in a rainfed semiarid Mediterranean system. *Pedosphere.* Doi: 10.1016/j.pedsph.2022.06.051.
- Stanford G, Carter JN, Simpson Jr EC, Schwaninger DE, 1973. Nitrate determination by a modified Conway microdiffusion method. *J. of the Ass. of Off. Anal. Chem.* 56(6): 1365-1368. Doi: 10.1093/jaoac/56.6.1365.
- Sonar KR, Babhulkar VP, 2002. Application of Mitscherlich-Bray equation for fertilizer use in wheat. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal.* 33(15-18): 3241-3249. Doi: 10.1081/CSS-120014519.
- Srivastava S, Subba Rao A, Aivelu K, Singh KN, Raju NS, Rathore A, 2006. Evaluation of crop responses to applied fertilizer phosphorus and derivation of optimum recommendations using the Mitscherlich-Bray equation. *Communications in Soil Sci. and Plant Anal.* 37(05-06): 847-858. Doi: 10.1080/00103620600564182.
- Sutton MA, Reis S, Riddick SN, Dragosits U, Nemitz E, Theobald MR, De Vries W, 2013. Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sci.* 368(1621): 20130166. Doi: 10.1098/rstb.2013.0166.
- Şahin G, 2016. Türkiye’de gübre kullanım durumu ve gübreleme konusunda yaşanan problemler. *Tarım Eko. D.* 22(1): 19-32.
- Yılmaz FG, Korkmaz A, Isik Y, Sağlık NC, Kulluk DA, Kaya Y, Kaya Y, Arısoy RZ, Partigöç F, Gezgin, S. 2021. Determination of the nitrate sufficiency limit value for nitrogenous fertilization use in wheat grown on a calcareous soils through application of Mitscherlich-Bray equation. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal.* 52(19): 2207-2216. Doi: 10.1080/00103624.2021.1908320.
- Vashisht BB, Nigon T, Mulla DJ, Rosen C, Xu H, Twine T, Jalota SK, 2015. Adaptation of water and nitrogen management to future climates for sustaining potato yield in Minnesota: Field and simulation study. *Agric. Water Manage.* 152: 198-206. Doi: 10.1016/j.agwat.2015.01.
- Zhou J, Gu B, Schlesinger WH, Ju X, 2016. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands. *Scientific Reports.* 6:25088. Doi: 10.1038/srep25088.