

Üre Uygulamasının Topraklarda Üreaz Aktivitesi ile Nitrat ve Amonyum Oluşumuna Etkisi

Mehmet ALPASLAN¹

Geliş Tarihi : 16.05.2000

Özet: Araştırmada Konya ve Niğde yörelerinden dokuz farklı büyük toprak grubuna ait ayrımlı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip 30 adet toprak örneği kullanılmıştır. İnkübasyon denemesinde toprağa 500 ppm N, üre formunda çözelti halinde uygulanmış ve 28 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 0, 7, 14 ve 28. günlerinde alınan toprak örneklerinde amonyum-N, nitrat-N ve üreaz aktivitesi belirlenmiştir. Deneme sonunda topraklarda toplam mineral azot miktarları saptanarak başlangıçta toprağa uygulanan üre azotunun dönüşümleri oransal olarak hesaplanmıştır.

Toprakların amonyum azotu miktarları inkübasyon süresine bağlı olarak 14. güne kadar artmış, 28. günde ise azalmıştır. Toprakların nitrat azotu miktarları genel olarak artış göstermiştir. Araştırma topraklarının üreaz aktiviteleri toprak özelliklerine bağlı olarak değişim göstermiştir.

Deneme topraklarında oluşan azot kayıpları ile toprakların silt, kireç, organik madde ve toplam azot kapsamı arasında negatif yönde önemli ilişkiler (sırasıyla $r=-0.736^{***}$, $r=-0.377^*$, $r=-0.565^{**}$ ve $r=-0.617^{***}$) saptanırken, kum miktarı ile $r=0.754^{***}$ düzeyinde pozitif bir ilişki belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üre, azot dönüşümleri, toprak özellikleri

The Effect of Urea Application on the Urease Activity, Nitrate and Ammonium Transformations in Soils

Abstract: In this research, 30 different soils in respect to their physical and chemical properties of 9 different great soil group from Konya and Niğde interior basin were used. 500 ppm N as urea was applied to the soil samples, and then soils were incubated 28 days. Soil samples were taken, through the experiment 0, 7, 14 and 28 days of incubation and ammonium-N, nitrate-N and urease activity were determined. Nitrogen transformations from urea were calculated by determining the subsequent amount of soil mineral nitrogen at the end of the experiment.

Ammonium-N of the soils increased during the experiment up to 14th days of the experiment and but decreased 28th days. Nitrate-N of the soils increased in general during the experiment. Urease activity was changed according to the properties of the research soil.

Nitrogen loss from the soil samples negatively correlated with silt, lime, organic matter and total-N ($r=-0.736^{***}$, $r=-0.377^*$, $r=-0.565^{**}$ and $r=-0.617^{***}$, respectively). However, positive correlation was found between N loss and amount of sand, $r=0.754^{***}$.

Key Words: Urea, nitrogen transformations, soil properties

Giriş

Toprağa uygulanan azotlu gübrelerden azot kayıpları yıkanma ile, gaz halinde ve erozyonla kaybolan toprakla birlikte olmaktadır. Söz konusu bu kayıpların boyutları iklim ve toprak şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Azotun kayıp yollarından birisi olan gaz halindeki azot kaybı gözardı edilemeyecek miktarlarda olmakta ve bu miktar bazı koşullarda %50'ye varmaktadır (Terman, 1979; Kucey, 1988). Topraklardan gaz halinde kaybolan azot çoğunlukla denitrifikasyon sonucu oluşan azot oksitleri ve elementel N₂ gazları ile olmakta ve bunu amonyak (NH₃) halindeki azot formu izlemektedir. Amonyak şeklinde azot kaybı azotlu gübre formlarına göre ayrımlılık göstermekte ve amonyak kayıplarına göre azotlu gübreler Üre>Amonyum sülfat>Amonyum nitrat şeklinde sıralanmaktadır (Aktaş, 1994; Fenn ve Kissel, 1973).

Üreden amonyak kaybı toprağın biyolojik aktivitesine büyük oranda bağlıdır. Çünkü ürenin parçalanması daha çok üreaz enzimi ile gerçekleşen bir reaksiyondur. Bu reaksiyon aşağıda gösterilen şekilde olmaktadır (Aktaş, 1994).



Üreden mikroorganizmalar tarafından parçalanma sonucu azot kaybolması yanında, kimyasal hidroliz yoluyla da parçalanmış üreden azot kaybı oluşmaktadır. Ancak ikinci şekilde oluşan bu reaksiyon yavaş cereyan etmektedir. Bu reaksiyon toprak sıcaklığının yükselmesiyle artmakta ve buna bağlı olarak da NH₃ kaybı artmaktadır.

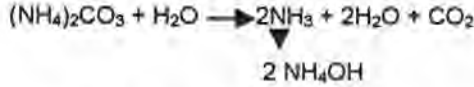
Amonyum tuzlarının kireçli topraklara uygulanması durumunda önemli düzeylerde amonyak kaybı ortaya çıkabilir. Aynı durum toprak yüzeyine uygulanan üre için

¹Ankara Üniv.Ziraat Fak. Topra Bölümü-Ankara

de geçerlidir. Kireçli bir toprağın yüzeyine uygulanan amonyumlu gübreler formülde gösterildiği gibi CaCO_3 ile reaksiyona girmekte ve bunun sonucu $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ oluşmaktadır (Fenn ve Kissel, 1973).



Yukarıda gösterilen reaksiyon sonucu ortaya çıkan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ stabil olmayıp aşağıda gösterildiği şekilde yeniden parçalanır.



Terman (1979), amonyumlu gübrelerden NH_3 halinde ortaya çıkacak N kaybının uygulanan gübre azotunun %30-70'i gibi büyük oranlarda olduğunu bildirirken, Torello ve ark., (1983) ise laboratuvar denemelerinden hesaplanan amonyak kaybının tarla koşullarına göre yüksek olduğunu, tarla koşullarında, azotunun ancak %5-10 kadarının kayba uğradığını bildirmişlerdir.

Sağlam (1976) amonyak halinde azot kaybının belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada, Erzurum, Erzincan ve Hasankale ovalarından aldığı toprak örneklerine uyguladığı amonyum sülfat formunda gübreden toprağın kurutulması sırasında %0,0-38,6 amonyak şeklinde kayıpların olduğunu belirlemiştir.

Kucey (1988) yaptığı çalışmada, toprak yüzeyine uygulanan üre gübresinden 10 gün içerisinde gaz halinde kaybolan azot miktarının ilave edilenin %10-45' i düzeyinde olduğunu saptamıştır.

Toprağa uygulanan azotlu gübrelerden gaz halinde azot kaybına: toprak reaksiyonu, uygulanan azot konsantrasyonu, uygulanan azotlu gübrenin cinsi, sıcaklık, toprak tekstürü, toprak nemi, toprağın katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyonların miktarı, azotlu gübrenin uygulama şeklinin etkili olduğu yapılan değişik araştırmalarla ortaya konmuştur (Kacar, 1986).

Konsantre azot kaynağı olması nedeniyle ülkemizde tüketilen üre gübresinin toplam azotlu gübre tüketimi içerisindeki payı son yıllarda giderek artmaktadır. Üre gübresi kullanımı 1980 yılında 369356 ton iken bu miktar 1996 yılında 728356 tona yükselmiştir. Ülkemizde toplam tüketilen saf azotun (1147658 ton) 1996 yılı itibarı ile yaklaşık % 63'ü üreden sağlanmıştır (Anonim, 1997). Toprağa uygulanan toplam azottan, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak % 50'ye kadar ulaşan oranlarda azotun kaybolduğu göz önüne alınırsa, tüketimde bu denli önemli yer tutan üreden ciddi boyutlarda azotun kaybolacağı düşünülmektedir. Ekonomik olumsuzlukların yanında üreden atmosfere olan amonyak kaybı olası bir atmosfer kirliliğine yol açabilmekte, bu da çevreyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada, Konya ve Niğde yörelerinden alınan farklı özelliklere sahip topraklara uygulanan üreden azotun mineralizasyonu sürecinde azot dönüşümlerinin

boyutlarının belirlenmesi ve başlangıçta uygulanan azottan çeşitli şekillerde (mikrobiyal immobilizasyon, denitrifikasyon, ve amonyak kayıpları gibi) ortaya çıkan toplam N kayıplarının yaklaşık olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Toprak örneklerinin alındığı yöreler Konya Kapalı Havzası içerisinde yer almaktadır. Konya Kapalı Havzası 5.426.980 ha lık bir alana sahip olup Türkiye yüz ölçümünün % 7 sini oluşturmaktadır ve bu alanın yaklaşık yarısında tarım yapılmaktadır. Başta buğday olmak üzere, arpa, nohut, şeker pancarı, patates, soğan, üzüm, elma, kavun ve karpuz bölgede yetiştirilen önemli ürünlerdir. Havzanın yıllık yağış durumu farklılık göstermekte olup, Beyşehir civarında 1200 mm' yi bulan yıllık yağış, Ereğli, Niğde, Aksaray ve Karaman'da 300 mm dolayındadır. Yıllık ortalama sıcaklık 9,8-12,3 °C arasında değişmekte olup en yüksek sıcaklık ortalama 31,1 °C ile ağustos ayında, en düşük sıcaklık ise ortalama 6,7 °C ile ocak ayında olmaktadır (Anonim, 1991).

Konya ve Niğde yörelerinden büyük toprak gruplarının dağılımları göz önüne alınarak 9 farklı büyük toprak grubundan toplam 30 adet toprak örneği Jackson (1962) tarafından bildirilen şekilde verimlilik ilkelerine uygun olarak alınmıştır. Toprak örneklerinin alındıkları yerler ve ait oldukları büyük toprak grupları Çizelge 1' de, toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de ve toprak örneklerinin bitkiye yarayışlı element içerikleri ise Çizelge 3' de sunulmuştur. Toprak örneklerinde tekstür Bouyoucos (1951), kireç ve KDK Kacar (1994), pH Grewelling ve Peech (1960), EC Richards (1954), organik madde Jackson (1962), toplam-N Bremner (1965), bitkiye yarayışlı potasyum Pratt (1965), fosfor Olsen ve ark., (1954), demir, bakır, çinko ve mangan Lindsay ve Norwell (1969) tarafından bildirilen esaslara göre belirlenmiştir.

Deneme, sıcaklığı ve nispi nemi kontrol edilebilen koşullarda (büyütme odası) 200 g hava kuru toprak alabilen plastik saksılarda 3 yinelenmeli olarak yürütülmüştür. Saksılara çözelti halinde 500 ppm N, üre gübresi olarak verilmiş ve toprakla iyice karıştırılmıştır. Topraklar 28 gün devam eden inkübasyon süresince tarla kapasitesinin yaklaşık %50' si düzeyinde nemli tutulmuştur.

Inkübasyon süresince;

- Azotlu gübre uygulandıktan hemen sonra (0. gün)
- Azotlu gübre uygulamasının 7. gününde
- Azotlu gübre uygulamasının 14. gününde
- Azotlu gübre uygulamasının 28. gününde

saksılardaki topraklar iyice karıştırıldıktan sonra örnekler alınmış ve aşağıdaki analizler yapılmıştır.

Üreaz aktivitesi (mg $\text{NH}_4\text{-N}/100\text{g}$ toprak): Inkübasyon süresince 0., 7., 14. ve 28. günde alınan toprak örneklerinde üreaz aktivitesi Hoffman ve Teicher'e (1961) e göre belirlenmiştir.

Çizelge 1. Toprak örneklerinin alındıkları yerler ve ait oldukları büyük toprak grupları

Toprak	Alındığı yer	Büyük toprak grubu
1	Karaman Beydilli köyü	Alüvyial
2	Mesudiye köyü	Kırmızı kahverengi
3	Koralgazi köyü	Kırmızı kahverengi
4	Eminler köyü	Regosol
5	Başharmanı köyü	Kahverengi orman
6	Başharmanı köyü	Kahverengi orman
	Beyşehir	
7	Merkez köyü	Alüvyial
8	Sadıkhacı köyü	Kırmızı kahverengi
9	Sevindik köyü	Kahverengi orman
10	Sarıköy	Alüvyial
11	Yazyurdu köyü	Kalkersiz kah. orman
12	Bademli köyü	Kırmızı kestane
	Ereğli	
13	Bögecik köyü	Kahverengi
14	Bögecik köyü	Kahverengi
15	Seydifikılı köyü	Kahverengi orman
16	Bulgurluk köyü	Alüvyial
17	Çayhan köyü	Kahverengi
	Aksaray	
18	Boğazkaya köyü	Kolüvyial
19	Boğazkaya köyü	Kolüvyial
20	Karaören köyü	Kolüvyial
21	Helvadere köyü	Kolüvyial
22	Kutluköy	Kalkersiz kahverengi
	Niğde	
23	Güllüce köyü	Kahverengi
24	Güllüce köyü	Kahverengi
25	Aktaş köyü	Kolüvyial
26	Aktaş köyü	Alüvyial
27	Aktaş köyü	Alüvyial
28	Ovacık köyü	Kahverengi
29	İnli köyü	Regosol
30	İnli köyü	Regosol

Amonyum azotu (NH₄-N): İnkübasyon süresince 0., 7., 14. ve 28. günde alınan toprak örneklerinde Bremner (1965)'e göre belirlenmiştir.

Nitrat azotu (NO₃-N): İnkübasyon süresince 0., 7., 14. ve 28. günde alınan toprak örneklerinde Bremner (1965)'e göre belirlenmiştir.

Uygulanan üre azotundan toprakta dönüşüm oranları: İnkübasyonun 28. gününde toprakta belirlenen toplam mineral azot (NH₄+NO₃) miktarından yararlanarak aşağıdaki formüle göre oransal olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ürenin dönüşümü, \%} = \frac{a - b}{a} \times 100$$

burada;

a: toprağa verilen üre halindeki azot miktarı, mg

b: 28. gün sonunda toprakta belirlenen toplam mineral azot (NH₄-N+NO₃-N), mg

Araştırma sonuçlarının istatistik analizleri Minitab paket programına göre yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Araştırmada 9 farklı büyük toprak grubundan alınan ve beş farklı tekstüre sahip olan toprakların kireç kapsamı %0.0-74.4 arasında değişmektedir. Hafif alkali ve alkali reaksiyona sahip olan araştırma topraklarının pH değerleri 7.50-8.50 arasındadır. Tuzsuz ve organik maddece yoksul (8 nolu örnek hariç) olan deneme topraklarının katyon değişim kapasiteleri genelde düşüktür. Genelde çinko yönünden yoksul olan topraklar değişebilir potasyum, bitkiye yararlı fosfor, demir, bakır ve mangan yönünden yeterlidir (Çizelge 2 ve 3).

Üreaz aktivitesi

Araştırma topraklarından inkübasyonun belirli dönemlerinde (0., 7., 14. ve 28. gün) alınan örneklerde belirlenen üreaz aktiviteleri Çizelge' 4 de verilmiştir. İnkübasyonun 0. gününde belirlenen üreaz aktiviteleri 3-23 arasında değişmiştir. Araştırma topraklarında belirlenen üreaz aktiviteleri inkübasyon süresine bağlı olarak genelde artmış, 7. günde 19.70 mg NH₄-N/100 g toprak, 14. günde 23.83 ve 28. günde 31.60 olarak saptanmıştır. İnkübasyonun dört ayrı döneminde belirlenen üreaz aktiviteleri ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, amonyum azotu ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler Çizelge' 5 de sunulmuştur. İnkübasyonun 4 ayrı döneminde üreaz aktiviteleri ile toprakların kum miktarları arasında negatif, kireç, organik madde ve toplam azot miktarları arasında ise pozitif yönde önemli ilişkiler saptanmıştır. Toprakların üreaz aktiviteleri ile 0. ve 7. günlerde belirlenen amonyum azotu miktarları arasında önemli pozitif ilişkiler belirlenirken, 14. ve 28. günlerde belirlenen amonyum azotu miktarları arasındaki ilişkiler istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Üreaz aktiviteleri ile toprakların nitrat azotu miktarları arasında benzer yönde ilişkiler inkübasyonun başlangıç ve bitiminde gözlenmektedir.

Amonyum azotu (NH₄-N)

Araştırma topraklarından inkübasyon süresince alınan örneklerde belirlenen amonyum azotu miktarları Çizelge 6'da sunulmuştur. İnkübasyonun 0. gününde belirlenen amonyum azotu değerleri inkübasyonun ileriki dönemlerinde belirlenen değerlere göre daha düşüktür. Araştırma topraklarında ortalama amonyum azotu miktarı 0. günde 174.11 ppm olarak belirlenirken, 7. günde 332.92 ppm'e, 14. günde 350.27 ppm'e yükselmiş inkübasyonun sonunda (28. gün) ise 291.57 ppm'e gerilemiştir. İnkübasyonun 4 ayrı döneminde belirlenen amonyum azotu miktarları ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler Çizelge 7'de sunulmuştur. İnkübasyonun 14. ve 28. günlerinde belirlenen amonyum azotu ile toprakların kum miktarları arasında negatif, silt miktarları arasında ise pozitif yönde önemli ilişkiler saptanmıştır. Topraklarda inkübasyonun 0., 7. ve 14. günlerinde belirlenen amonyum azotu ile organik madde ve toplam azot miktarları arasında pozitif yönde önemli ilişkiler saptanmıştır.

Çizelge 2. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak No	Kum %	Silt %	Kil %	Tekstür sınıfı	pH (1:2.5)	Kireç %	EC Mmhos/cm	Organik madde, %	Toplam N, %	KDK, me/100 g
1	24.0	65.7	10.3	siltli tın	7.65	53.7	0.325	1.23	0.098	11.85
2	38.4	45.2	16.4	tın	7.80	13.6	0.220	1.09	0.125	15.70
3	28.1	59.6	12.3	siltli tın	7.90	8.7	0.300	1.41	0.083	13.46
4	26.0	61.7	12.3	siltli tın	8.00	12.5	0.225	0.68	0.068	14.89
5	52.8	28.7	18.5	kumlu tın	8.00	24.5	0.140	0.89	0.076	18.86
6	35.8	41.9	22.3	tın	8.10	40.4	0.170	1.03	0.087	19.61
7	44.0	31.7	24.3	tın	7.90	9.6	0.150	0.97	0.076	22.08
8	25.4	37.9	36.7	killi tın	8.00	16.3	0.215	2.35	0.166	35.48
9	27.5	62.6	9.9	siltli tın	8.20	44.6	0.150	1.64	0.144	15.99
10	31.6	43.5	24.9	tın	8.30	14.8	0.220	1.09	0.092	21.05
11	34.2	37.7	28.1	killi tın	8.35	5.90	0.170	0.82	0.074	26.85
12	27.0	39.2	33.8	killi tın	8.50	74.4	0.220	1.64	0.110	28.58
13	34.5	43.6	21.9	tın	8.30	34.9	0.180	1.68	0.121	20.18
14	48.7	29.6	21.7	tın	8.10	40.4	0.160	1.61	0.113	19.26
15	57.6	28.8	13.6	kumlu tın	8.20	25.7	0.125	1.47	0.090	13.46
16	34.5	51.0	14.5	siltli tın	8.15	19.4	0.310	0.87	0.068	15.07
17	49.7	31.2	19.1	tın	8.00	15.5	0.245	1.21	0.091	19.78
18	56.3	31.2	12.5	kumlu tın	8.00	4.8	0.100	0.68	0.053	12.31
19	43.4	33.4	23.2	tın	8.10	0	0.120	0.68	0.076	21.22
20	66.8	20.6	12.6	kumlu tın	8.00	0	0.035	0.48	0.042	11.96
21	50.3	32.4	17.3	tın	7.90	0	0.080	1.64	0.064	17.31
22	43.7	37.6	18.7	tın	8.30	34.1	0.130	0.96	0.090	18.34
23	86.8	2.7	10.5	tinli kum	8.20	0	0.050	0.41	0.030	16.56
24	85.4	5.8	8.8	tinli kum	7.90	0.5	0.060	0.34	0.026	10.35
25	62.3	25.1	12.6	kumlu tın	8.30	4.0	0.080	0.62	0.064	11.79
26	81.7	7.8	10.5	tinli kum	7.70	0	0.100	0.55	0.042	11.27
27	79.6	9.9	10.5	tinli kum	8.10	0	0.090	0.34	0.068	10.93
28	48.3	40.8	10.9	tın	7.90	1.7	0.150	0.89	0.072	13.05
29	62.7	22.1	15.2	kumlu tın	7.65	0	0.090	0.68	0.045	13.80
30	64.2	19.1	16.7	kumlu tın	7.50	0	0.115	0.62	0.045	14.55

Çizelge 3. Deneme topraklarının bitkiye yararlı element kapsamı

Toprak No	Bitkiye yararlı elementler (ppm)					
	K	P	Fe	Zn	Mn	
1	140	21.23	6.24	0.29	2.13	2.47
2	196	8.31	3.92	0.47	1.78	9.70
3	370	8.59	3.92	0.34	1.90	9.02
4	400	8.59	5.34	0.39	1.90	9.32
5	111	10.25	4.81	0.29	1.01	7.80
6	157	13.57	4.81	0.23	1.36	7.42
7	242	11.40	5.52	0.47	1.54	13.46
8	545	38.96	6.95	1.01	2.01	18.65
9	166	14.84	9.62	0.37	1.66	8.75
10	231	8.75	4.81	0.34	1.48	11.32
11	380	19.08	6.06	0.56	1.95	10.85
12	92	26.50	7.30	1.40	1.54	12.37
13	160	11.63	3.21	0.48	1.54	10.03
14	111	18.84	4.45	0.42	1.42	9.15
15	139	13.82	5.17	0.29	1.24	11.19
16	175	4.61	3.74	0.21	1.07	7.56
17	222	10.50	3.03	0.27	0.95	8.64
18	165	3.05	3.21	0.21	0.59	6.37
19	197	9.42	4.10	0.27	1.01	10.03
20	135	9.97	7.66	0.26	0.89	5.09
21	326	18.56	5.88	0.60	1.60	17.87
22	272	6.37	3.56	0.40	1.18	7.12
23	133	6.63	6.24	0.11	0.89	3.49
24	109	6.10	6.95	0.14	0.95	5.97
25	149	12.46	4.63	0.34	1.13	7.63
26	221	24.38	9.98	0.27	1.42	20.00
27	150	16.43	7.66	0.24	1.18	8.64
28	176	7.42	5.34	0.29	2.07	8.51
29	234	7.16	8.37	0.26	2.43	24.58
30	240	8.22	6.59	0.23	2.49	22.98

Çizelge 4. İnkübasyonun farklı aşamalarında topraklarda belirlenen üreaz aktivitesi (mg NH₄-N/100 g toprak)

Toprak No	İnkübasyon süresi (gün)			
	0	7	14	28
1	7	57	23	19
2	12	43	19	33
3	6	10	19	25
4	6	3	11	25
5	15	20	33	44
6	14	14	26	44
7	3	13	13	40
8	21	27	37	53
9	16	28	34	47
10	16	37	22	42
11	7	12	18	15
12	15	22	40	63
13	22	36	47	79
14	16	23	41	58
15	13	31	30	46
16	7	7	16	20
17	23	13	55	80
18	13	13	29	30
19	7	8	33	22
20	3	13	21	13
21	9	19	18	13
22	10	29	23	40
23	5	8	9	7
24	5	2	6	6
25	16	19	17	25
26	4	10	14	7
27	3	15	6	13
28	13	23	31	28
29	6	30	12	7
30	6	6	12	4
Ortalama	10.63	19.70	23.83	31.60

Çizelge 5. İnkübasyonun 4 ayrı döneminde belirlenen üreaz aktiviteleri ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, amonyum azotu ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler

Özellikler	Üreaz aktivitesi			
	0. Gün	7. Gün	14. Gün	28. Gün
Kum, %	- 0.414 *	- 0.407*	- 0.445*	- 0.573***
Silt, %	0.283 öd	0.414*	0.312öd	0.414*
Kil, %	0.438*	0.121 öd	0.453*	0.555**
Kireç, %	0.458*	0.501**	0.536**	0.705***
pH	0.396*	0.006 öd	0.337 öd	0.537**
Organik madde, %	0.661***	0.485**	0.653***	0.722***
KDK, me/100g	0.461**	0.094 öd	0.471**	0.543**
Toplam N, %	0.685***	0.584***	0.640***	0.779***
Amonyum azotu	0	0.404*	0.427*	0.381*
	7	0.489**	0.471**	0.424*
	14	0.283 öd	0.333 öd	0.270 öd
	28	-0.012 öd	-0.016 öd	0.007 öd
Nitrat azotu	0	0.670***	0.486**	0.645***
	7	-0.099 öd	0.134 öd	-0.081 öd
	14	0.020 öd	0.149 öd	-0.169 öd
	28	0.520**	0.433*	0.419*

Çizelge 6. İnkübasyonun farklı aşamalarında topraklarda belirlenen amonyum azotu (NH₄-N), ppm

Toprak No:	İnkübasyon süresi (gün)			
	0	7	14	28
1	155.4	338.8	406.0	324.8
2	148.4	308.0	422.8	396.6
3	103.6	203.0	390.6	407.4
4	147.0	266.0	417.2	399.0
5	75.6	190.4	315.0	289.8
6	156.8	319.2	385.0	347.2
7	180.6	396.2	344.4	229.6
8	197.4	396.2	417.2	329.0
9	186.2	418.6	396.2	282.8
10	211.4	408.8	316.2	236.6
11	113.4	261.8	396.2	286.4
12	238.0	410.2	343.0	246.4
13	322.0	428.4	369.6	210.0
14	217.0	406.0	336.0	271.6
15	205.8	390.6	337.4	247.8
16	114.8	203.0	340.2	358.4
17	191.8	403.2	407.4	379.4
18	117.6	284.2	340.2	291.2
19	131.6	301.0	336.0	289.8
20	166.6	266.0	232.4	184.8
21	245.0	373.8	338.8	247.8
22	295.4	354.2	389.2	348.6
23	117.6	281.4	298.2	225.4
24	98.0	274.4	274.4	239.4
25	180.6	343.0	257.6	176.4
26	182.0	310.8	267.4	219.8
27	222.6	340.2	315.0	264.6
28	198.8	364.0	345.8	303.8
29	155.4	385.0	390.6	352.8
30	147.0	361.2	382.2	359.8
Ortalama	174.11	332.92	350.27	291.57

Nitrat azotu (NO₃-N)

İnkübasyonun 0., 7., 14. ve 28. günlerinde topraklarda belirlenen nitrat azotu miktarları Çizelge 8' de sunulmuştur. Araştırmada kullanılan tüm topraklar dikkate alındığında, belirlenen nitrat azotu miktarları inkübasyon süresince değişiklikler göstermiştir.

İnkübasyonun 0. gününde belirlenen nitrat azotu değerleri göz önüne alınmadığında, genel olarak ortalama nitrat azotu miktarları inkübasyon süresine bağlı olarak artmıştır.

İnkübasyonun farklı dönemlerinde belirlenen nitrat azotu miktarları ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiler Çizelge 9' da sunulmuştur. Buna göre inkübasyonun 0. ve 7. günlerinde belirlenen nitrat azotu ile toprakların kum, kil ve KDK miktarları arasında önemli ilişkiler saptanmıştır. Topraklarda inkübasyonun 0. ve 28. günlerinde belirlenen nitrat azotu ile kireç, organik madde ve toplam azot miktarları arasında pozitif yönde önemli ilişkiler bulunmuştur.

Uygulanan gübreden meydana gelen toplam azot dönüşümleri

Araştırmada toprağa uygulanan üre halindeki azottan meydana gelen toplam mineral N dönüşümlerine ilişkin değerler Çizelge 10' da verilmiştir. İnkübasyonun sonunda (28. gün) başat olarak üre azotunda meydana gelen dönüşüm değerleri toprak özelliklerine bağlı olarak %2.84-51.28 arasında geniş bir değişim gösterdiği izlenmektedir. Toprağa uygulanan üre halindeki azottan meydana gelen dönüşümler ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, üreaz aktiviteleri, amonyum azotu ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler Çizelge 11' de sunulmuştur. Topraklardaki azot dönüşüm değerleri ile toprakların silt, kireç, organik madde ve toplam azot miktarları arasında negatif yönde, kum miktarı arasında ise pozitif yönde önemli ilişkiler saptanmıştır. Azot dönüşümü ile inkübasyonun 0., 7., 14. ve 28. günlerinde belirlenen üreaz aktiviteleri 14. ve 28. günlerde belirlenen amonyum azotu ve 0. günde belirlenen nitrat azotu arasında önemli negatif ilişkiler belirlenmiştir.

Topraklarda belirlenen üreaz aktiviteleri inkübasyon süresi içerisinde farklı olmuş ve süreye bağlı olarak genellikle artış göstermiştir (Çizelge 4). İnkübasyonun

Çizelge 7. İnkübasyonun 4 ayrı döneminde belirlenen amonyum azotu ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler

Özellikler	Amonyum azotu			
	0	7	14	28
Kum, %	-0.160 öd	-0.143 öd	-0.682***	-0.462**
Silt, %	0.064 öd	0.015 öd	0.652***	0.493**
Kil, %	0.274 öd	0.343 öd	0.296 öd	0.082 öd
Kireç, %	0.357 öd	0.336 öd	0.331 öd	0.039 öd
pH	0.342 öd	0.129 öd	-0.146 öd	-0.282 öd
Organik mad, %	0.458*	0.502**	0.486**	0.099 öd
KDK, me/100g	0.220 öd	0.306 öd	0.373*	0.130 öd
Toplam N, %	0.421*	0.470**	0.573***	0.198 öd
Nitrat azotu	0	7	14	28
	0.279 öd	0.371*	0.548**	0.220 öd
	0.261 öd	0.120 öd	-0.285 öd	-0.345 öd
	0.231 öd	0.253 öd	-0.436*	-0.481**
	0.366*	0.381*	-0.110 öd	-0.484**

* 0,05 önemli, ** 0,01, ***0,001
öd: önemli değil

herhangi bir dönemde üreaz aktiviteleri arasında belirlenen farklılıkların toprakların fiziksel özelliklerinin farklı olması yanında, organik madde (değişim %0.34-%2.35) ve toplam azot (değişim %0.026-%0.166) miktarlarının da farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Martens ve Bremner (1984) ve Bremner ve Chai (1986) ayrımlı özelliklere sahip topraklarda belirledikleri üreaz aktiviteleri toprak özelliklerine bağlı olarak değişik miktarlarda saptamışlardır. İnkübasyon sürelerine bağlı olarak üreaz aktivitesi, toprağa ilave edilen ürenin ve toprakta mevcut olan organik madde ile azotun mineralize olması sonucu artmış ve ortalama en yüksek üreaz aktivitesi inkübasyonun 28. gününde ortalama 31.6 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

İnkübasyon dönemlerinde belirlenen üreaz aktivitesi ile toprakların kum miktarları arasında negatif, silt ve kil miktarları arasında ise pozitif yönde önemli ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 5). Kum miktarlarının artmasıyla topraklarda belirlenen üreaz aktivitesi azalmış, silt ve kil miktarlarının artmasıyla ise genelde artmıştır. Hafif bünyeli topraklarda üreaz aktivitesi üzerine etkin olan mikroorganizmaların yeterince bulunmaması üreaz aktivitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Araştırma topraklarında kireç, organik madde, KDK ve toplam azot miktarları ile üreaz aktiviteleri arasında önemli ilişkiler bulunmuştur (Çizelge 5). Zantua ve ark. (1977) üreaz aktivitesi ile organik karbon, kil miktarı ve KDK arasında, Dalal (1975) organik karbon ve KDK arasında önemli ilişkiler belirlemiştir.

Araştırma topraklarında belirlenen amonyum azotu inkübasyon süresine bağlı olarak 14. güne kadar artmış ve 28. günde ise bir azalma göstermiş, ancak bu miktar 0. günde belirlenen amonyum azotu miktarının üzerinde olmuştur (Çizelge 6). İnkübasyon süresince amonyum azotunun artması, toprağa uygulanan ürenin zamana bağlı olarak aşağıda gösterilen tepkimeye göre mineralize olması ile açıklanabilir (Aktaş 1994).



İnkübasyonun farklı dönemlerinde belirlenen amonyum azotu ile toprakların organik madde ve toplam

azot miktarları arasında önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Çizelge 6). İnkübasyonun 0. ve 7. günlerinde belirlenen amonyum azotu ile üreaz aktivite sayısı arasında önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Araştırma topraklarında belirlenen nitrat azotu miktarı inkübasyon süresine bağlı olarak bir artış göstermiştir (Çizelge 8). Nitrat azotu miktarının inkübasyon süresince artması, oluşan amonyum azotunun nitrifikasyon sonucu nitrat azotuna dönüşmesiyle açıklamak olasıdır. İnkübasyonun 28. gününde amonyum azotu azalırken nitrat azotunun artması nitrifikasyon olayının son dönemde hızlandığını göstermektedir (Çizelge 6 ve 8). Güneş ve Aktaş (1992) kireçli bir toprağa amonyum sülfat formunda uyguladıkları amonyum azotunun 6 hafta süren inkübasyona bağlı olarak nitrifikasyonu sonucu nitrat azotu miktarının arttığını ve bu artışın inkübasyonun son döneminde hızlandığını belirlemiştir.

Farklı özelliklere sahip araştırma topraklarına uygulanan üre formundaki gübrede, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak dönüşüm oranlarının değişik olduğu belirlenmiştir (Çizelge 10). Üre azotundan meydana gelen mineralizasyon toprakta cereyan eden bazı fiziksel ve kimyasal olayların etkisi altındadır. Toprakta kum, silt ve kil fraksiyonlarının oransal dağılımları ile kireç ve organik madde miktarlarının yanı sıra toprak reaksiyonu ve kation değişim kapasitesi (KDK) azot dönüşümleri üzerine etkili olmaktadır. Araştırmada azot dönüşümleri ile kum miktarları arasında pozitif ($r=0.754^{***}$), silt miktarları arasında ise negatif ($r=-0.736^{***}$) yönde bir ilişki belirlenmiştir (Çizelge 11). Bu durum, kaba bünyeli topraklarda ürenin mineralizasyonu sonucu oluşan amonyum azotunun toprakta tutulmaması sonucu dönüşüm aşamalarının oluşmasında göreceli bir artış olması ile açıklanabilir.

Topraklardaki silt ve organik maddenin koloidal özellik göstermeleri nedeniyle oluşan amonyum azotunun tutulması, azot dönüşümlerini belli bir oranda engelleyebilmektedir.

Çizelge 8. İnkübasyonun farklı aşamalarında topraklarda belirlenen nitrat azotu (NO₃-N), ppm

Toprak No:	İnkübasyon süresi (gün)			
	0	7	14	28
1	86.8	40.6	49.0	134.4
2	68.6	21.0	33.6	45.8
3	60.2	16.8	44.8	75.6
4	57.4	8.4	44.8	67.2
5	30.8	11.2	43.4	196.0
6	74.2	9.8	50.4	91.0
7	51.8	14.0	65.8	147.0
8	78.4	16.8	11.2	131.6
9	81.2	28.0	53.2	175.0
10	93.8	15.4	101.0	179.2
11	47.6	2.8	12.6	77.0
12	88.2	8.4	50.4	116.2
13	96.6	32.2	26.6	232.4
14	75.6	32.2	53.2	141.4
15	53.2	35.0	75.6	186.2
16	47.6	28.0	35.0	79.8
17	92.4	16.8	35.0	64.4
18	57.4	49.0	40.6	84.0
19	21.0	50.4	36.4	86.8
20	5.6	21.0	33.6	58.8
21	30.8	46.2	57.4	148.4
22	28.0	53.2	39.2	35.0
23	3.8	43.4	28.0	46.2
24	4.2	21.0	26.6	33.6
25	19.6	50.4	117.6	180.6
26	2.5	37.8	81.2	98.0
27	2.8	36.4	72.8	89.6
28	9.6	29.4	44.8	67.2
29	5.4	28.0	40.6	57.4
30	5.6	26.6	33.6	40.6
Ortalama	46.02	27.67	47.93	105.55

Literatür bilgilerine göre toprağın kireç miktarları ile oluşan azot kayıpları (amonyak şeklinde, denitrifikasyon ve immobilizasyon) arasında önemli pozitif ilişkilerin olduğu belirtilmektedir (Kacar, 1986; Fenn ve Kissel, 1975). Elde edilen araştırma bulgularına göre ise azot kayıpları ile toprakların kireç kapsamaları arasında önemli negatif ilişki belirlenmiştir. Gerçekten de çalışmada kullanılan topraklar kireç miktarlarına göre gruplandırıldığında bu durum daha belirgin olarak görülmektedir. Çalışmada kireç içermeyen (19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 29 ve 30 nolu örnekler) ve %25 in üzerinde kireç içeren (1, 5, 6, 9, 12, 13, 14, 15 ve 22 nolu örnekler) topraklar ortalama azot dönüşümleri yönünden karşılaştırıldığında, kirecsiz topraklarda meydana gelen dönüşümün kireçli topraklardaki dönüşümden yaklaşık 2.5 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Kireçli topraklarda nitrifikasyon olayı, kirecsiz topraklara göre daha hızlı olmaktadır. Dolayısıyla uygulanan ürenin hidrolizi ile oluşan amonyumun nitrifikasyona hızlı bir şekilde uğrayması, amonyak formunda kayba uğrama sürecinin kısa olmasını sağlamakta, böylece amonyak şeklinde kayıp oluşmadan uygulanan azotun büyük bir kısmı hızla toprakta nitrate dönüşebilmektedir.

Araştırmada kullanılan, kireçi yüksek gruba giren toprakların ortalama NH₄-N miktarı (inkübasyonun 28. günü) 285.44 ppm ve NO₃-N miktarı 145.28 ppm olarak belirlenirken, kireçi düşük gruba giren topraklarda bu değerler sırasıyla 264.91 ppm ve 73.27 ppm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 9. İnkübasyonun 4 ayrı döneminde belirlenen nitrat azotu ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiler

Özellik	Nitrat azotu			
	0	7	14	28
Kum, %	-0.787***	0.377*	0.149 öd	-0.299 öd
Silt, %	0.693***	-0.250 öd	-0.078 öd	0.239 öd
Kil, %	0.479**	-0.417*	-0.212 öd	0.237 öd
Kireç, %	0.696***	-0.187 öd	0.001 öd	0.385*
pH	0.332 öd	-0.045 öd	0.138 öd	0.349 öd
Org. mad, %	0.732***	-0.169 öd	-0.116 öd	0.528**
KDK, me/100g	0.494**	-0.422**	-0.327 öd	0.224 öd
Toplam N, %	0.773***	-0.207 öd	-0.097 öd	0.466**

* 0,05 önemli, ** 0,01, ***0.001
öd: önemli değil

Çizelge 10. Topraklarda üreden meydana gelen toplam mineral azot dönüşümü, %

Toprak No:	N dönüşümü
1	8.16
2	11.52
3	3.40
4	6.76
5	2.84
6	12.36
7	24.68
8	7.88
9	8.44
10	16.84
11	7.32
12	27.48
13	11.52
14	17.40
15	13.20
16	12.36
17	11.24
18	24.96
19	24.68
20	51.28
21	20.76
22	23.28
23	45.68
24	45.40
25	28.60
26	36.44
27	29.16
28	25.80
29	17.96
30	19.92
Ortalama	19.91

Çizelge 11. İnkübasyon süresi sonunda toprağa verilen üre gübresinden meydana gelen ineral-N dönüşümü ile toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, üreaz aktivitesi amonyum azotu ve nitrat azotu arasındaki ilişkiler

Özellikler		N dönüşümü, %
Kum, %		0.754***
Silt, %		-0.736***
Kil, %		-0.295 öd
Kireç, %		-0.377*
PH		-0.002 öd
Organik madde, %		-0.565**
KDK, me/100g		-0.334 öd
Toplam N, %		-0.617***
Üreaz aktivitesi	0. gün	-0.440*
	7. gün	-0.360*
	14 gün	-0.373*
	28 gün	-0.425*
Amonyum azotu	0 gün	0.020 öd
	7 gün	-0.033 öd
	14 gün	-0.776***
	28 gün	-0.647***
Nitrat azotu	0 gün	-0.636***
	7 gün	0.346 öd
	14 gün	0.114 öd
	28 gün	-0.353 öd

Sonuç

Toprağa uygulanan azotlu gübrelerden toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak azotun önemli bir bölümü denitrifikasyon, amonyok şeklinde kayıp ve biyolojik immobilizasyon gibi olayların etkisiyle kaybolabilmektedir. Bu tür olumsuzlukların bütünüyle durdurulması pratik yönden mümkün görülmemektedir. Ancak, oluşan kayıpların belirli oranlarda azaltılması olanaklıdır. Toprakta oluşan mineral azot dönüşümleri üzerine toprağın tekstürü, kireç ve organik madde miktarı, katyon değişim kapasitesi ve pH etkili olmaktadır. Görüldüğü gibi dönüşümler üzerine çok sayıda faktörün etkili olması, azot kayıplarını minimuma indirmede toprağın birden çok özelliği gözönüne alınarak azotlu gübre uygulaması yoluna gidilmelidir.

Ülkemizin iklim ve toprak özellikleri bölgeden bölgeye büyük ayrımlılıklar gösterdiği düşünülürse, bölgeler bazında azot kayıpları üzerine etkili olan etmenleri dikkate alan araştırmaların yapılması ileriye yönelik gübreleme programlarına ışık tutacaktır.

Not: Bu çalışma TÜBİTAK Alt Yapı Destekleme Programı tarafından desteklenen TOGTAG-1318 No' lu projenin bir bölümünden hazırlanmıştır.

Kaynaklar

Aktaş, M. 1994. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. 2. Baskı. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No: 1361.
Anonim, 1991. Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları.

Anonim, 1997. Gübre Tüketim İstatistikleri Kataloğu (1960-1996). Gübre Üreticileri Derneği Yayınları.
Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer for marking mechanical analysis of soil. *Agro. J.* 43: 434-437.
Bremner, J. M. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Ed. C. A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No: 9 Madison, Wisconsin, USA.
Bremner, J. M., H. S. Chai, 1986. Evaluation of n-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. *Commun. in soil Sci. Plant Anal.*, 17,337-351,22.
Datal, R. C. 1975. Urease activity in some trinidad soils. *Soil Biol. and Biol. Chem.*, 7,5-8.
Fenn, L. B., D. E. Kissel, 1973. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils; I, general theory. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37,855-859.
Fenn, L. B., D. E. Kissel, 1975. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: IV. Effect of calcium carbonate content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39, 631-633.
Grewelling, T., M. Peech, 1960. *Chemical Soil Tests.* Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.
Güneş, A., M. Aktaş, 1992. Kireçli bir toprakta n-servin nitrifikasyon oranı ve azot kaybı üzerine etkisi. *Doğa-Tr.J. of Agricultural and Forestry* 16,501-506.
Hoffmann, G., K. Teicher, 1961. Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Urease aktivitat in Boden. 2. *Pflanzenernahrung Düngung Bodenkunde* 91,55-63.
Jackson, M. L. 1962. *Soil Chemical Analysis.* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, USA.
Kacar, B. 1986. Gübreler ve Gübreleme Tekniği. 3. Baskı. T.C. Ziraat Bankası Kültür Yayınları No: 20.
Kacar, B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. III. Toprak Analizleri. A.Ü.Z.F. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3.
Kucey, R. M. N. 1988. Ammonia loss following surface application of urea fertilizers to a calcareous soil. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 19,431-445.
Lindsay, W. L., W. A. Norvell, 1969. Development of DTPA Micronutrient Soil Test. *Agron. Abstr.* 84.
Martens, D. A., J. M. Bremner, 1984. Effectiveness of phosphoroamides for retardation of urea hydrolysis in soils. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 48, 302-305.
Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S.Watanabe, H. C.Dean, 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Dept. of Agr. Cir. 939, Washington, D.C.
Pratt, P. F. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Ed. C. A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series No: 9 Madison, Wisconsin, USA.
Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils.* U.S.D.A. Handbook No:60.
Sağlam, M. T. 1976. Erzurum, Hasankale ve Erzincan Ovası topraklarında amonyum fiksasyonu ile potasyum arasındaki bazı ilişkiler, mineralize olan nitrojen ve nitrojen kayıpları üzerinde bir araştırma. Atatürk Üniv. Yayın No:467.
Terman, G. L. 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Advances in Agronomy* 31, 189-222.
Torello, W. A., D. J. Wehner, A. J. Turgeon, 1983. Ammonia volatilization from fertilized turfgrass stands. *Agron. J.*, 75,454-456.
Zantua, M. I., L. C. Dumenil, J. M. Bremner, 1977. In: Terman, G.L., Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Advances in Agron.*, 31,189-222.