

## TOPRAĞA TATBİK EDİLEN AZOTLU GÜBRELERDEN MEYDANA GELEN AMONYAK ŞEKLİNDEKİ AZOT KAYIPLARI

M. Turgut SAĞLAM<sup>1</sup>

### Ö Z E T

Toprağa ilave edilen azotlu gübrelerdeki azotun bir kısmı  $NH_3$  şeklinde uçarak kaybolmakta ve bu miktar bazı şartlar altında % 50 ye kadar çıkabilmektedir. Bu konu ile ilgili olarak kabul edilen genel teoride; amonyum bileşiklerinin  $CaCO_3$  ile reaksiyona girdiği, reaksiyon sonunda bir Ca bileşiği ile  $(NH_4)_2CO_3$  teşekkül ettiği, amonyum karbonatın da  $NH_3$ ,  $CO_2$  ve  $H_2O$  ya parçalandığı ve bu suretle  $NH_3-N$  kayıpları ortaya çıktığı ileri sürülmektedir. Reaksiyon sonunda teşekkül eden Ca bileşiğinin erirliliği, kayıplar üzerine büyük ölçüde etkili olmakta ve bu bileşiğin eriyebilir olmaması halinde kayıplar artmaktadır.

Amonyak kayıpları üzerinde yapılan denemeler ve bu konuda ileri sürülen önerilere göre;

1. Kayıplar toprağın pH değeri ile artar ve  $CaCO_3$  miktarı ile yakinen ilgilidir.
2. Toprağa tatbik edilen azot miktarı ile kaybolan  $NH_3-N$  miktarı arasında pozitif bir ilişki mevcuttur.
3. Tatbik edilen gübrenin cinsi kayıpları etkilemektedir.
4. Kayıplar ıst ile artar.
5. Kayıplar, rüzgar hızı ve rüzgarın nisbi rutubeti ile alakalıdır.

(1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi.  
Ziraat Dergi Komisyonuna Geliş Tarihi 25.5.1975.

6. *İnce tekstürlü topraklardaki kayıp, kaba tekstürlü topraklardan daha azdır.*
7. *Kasyon değişim kapasitesi ile kayıplar arasında negatif bir ilişki mevcuttur ve değişebilir kasyonlar da kayıpları etkilemektedir.*
8. *Gübrenin tatbik şekli kaybedilen miktarlara tesir etmektedir.*

*Görüldüğü gibi kayıplar üzerine etkili olan çok sayıda faktör mevcuttur. Bunlardan bir veya birkaçını dikkate alarak, herhangi bir topraktan meydana gelecek kayıp hakkında hüküm vermek hatalı bir yoldur. Diğer taraftan, memleketimizde iklim ve toprak özellikleri bölgeden bölgeye büyük farklılık göstermektedirler. Bu nedenle, çeşitli bölgelerde kayıplar üzerine etkili olan faktörleri dikkate alan denemeler yapılmalı ve kayıpları azaltıcı yollar saptanmalıdır.*

## GİRİŞ

Toprakların üst tabakalarındaki azot miktarı genellikle % 0.02 ile 0.4 arasında değişmekte olup, bu miktarın % 92-96 sı toprakta organik tabiatlı bileşikler içerisinde bulunmaktadır. Organik madde içerisindeki azotun mineralizasyonu çeşitli toprak şartlarının etkisi altındadır. Şartlar uygun olsa dahi, organik azotun mineralize olarak bitkilere elverişli formlara dönüşmesi uzun zamana ihtiyaç gösterir. Diğer taraftan toprakta bulunan azot; yıkanma, erozyon, denitrifikasyon, immobilizasyon, fiksasyon ve  $NH_3$  uçuşu gibi çeşitli yollarla topraktan uzaklaşmakta veya bitkiler için elverişli olmayan formlara dönüşmektedir.

Gerek bitkiler tarafından fazla miktarda kaldırılması ve gerekse yukarıda sözü edilen ne-

denlerle, tarım altına alınan topraklar çoğunlukla azot yönünden fakirdirler. Bu sebeple, tarım yapılan toprakların her yıl muntazam olarak azotlu gübreler ile gübrenmesi zorunlu bir işlemdir. Başarılı bir tarım, diğer besin elementleri yanında uygun miktardaki azot tatbiki ile mümkündür.

Topraklara azotlu gübrenin ilavesinden sonra meydana gelen kayıplar arasında,  $NH_3$  uçuşu şeklinde ortaya çıkan kayıplar da önemli bir yer işgal eder. Özellikle kireçli topraklara ve bu tip toprakların yüzeyine tatbik edilen amonyum sülfattan,  $NH_3$  uçuşu şeklinde büyük ölçüde kayıplar olduğu ve bunun bazı şartlar altında % 54'e çıkabildiği tesbit edilen hususlar arasındadır (Fenn ve Kissel, 1973). Erzurum, Erzincan ve Hasankale Ovalarından alınan bazı toprak

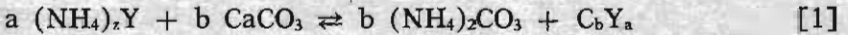
örneklerini kullanan Sağlam (1974),  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  olarak ilâve edilen azotun, toprağın kurutulması esnasında % 0.0 - 38.6 sını  $\text{NH}_3$  şeklinde uçtuğunu bulmuştur. Konuyu detaylı şekilde inceleyen Allison (1955), ilâve edilen veya teşekkül eden  $\text{NH}_4$  ün % 25 nin hızlı şekilde buharlaşma yoluyla kaybedildiğine dikkati çekmektedir.

Azotlu gübreler, gerek dünyada ve gerekse memleketimizde geniş ölçüde kullanılan gübreler arasındadır. Bilhassa sulama ile kesif tarımın uygulandığı bölgelerde, kullanılan azot miktarları oldukça yüksektir. Diğer taraftan, kayıp olarak ölçülen miktarlar da hiçte küçümsenecek ölçüde değildir. Kayıpların ne şe-

kilde ve hangi ölçülerde meydana geldiğinin bilinmesi, gerek ekonomik ve gerekse alınması gerekli tedbirler yönünden faydalı olacaktır. Gübre fiyatlarının günden güne arttığı dikkate alınırsa, konunun önemi daha iyi şekilde anlaşılmış olur.

## GENEL TEORİ

Kireçli bir toprağın yüzeyine  $\text{NH}_4$  bileşikleri tatbik edildiği zaman, muhtemelen bu bileşik  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyona girer. Bazı durumlarda Ca ile ilgili olan bir çökelti meydana gelir. Bunun bir sonucu olarak, aşağıda verilen reaksiyon uyarınca  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  teşekkül edebilir (Fenn ve Kissel, 1973).

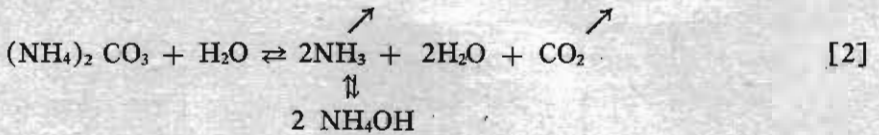


Bu denklemde;

Y : Amonyumun anyonu

a, b ve z : Anyon ve katyon valansları

Yukarda verilen denklem gereğince ortaya çıkan  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  stabil değildir ve aşağıdaki şekilde yeniden parçalanır.



Belirli bir zamanda teşekkül eden  $\text{NH}_4\text{OH}$  in miktarı,  $\text{Ca}_b\text{Y}_a$  bileşiğinin erirliliği ve teşekkül nisbeti ile ilgilidir. Şayet  $\text{Ca}_b\text{Y}_a$  bileşiği eriyebilir değilse, [1] numaralı denklem sağa doğru ilerleyecek ve daha fazla  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{OH}$  teşekkül edecektir. Eğer eriyebilir bir bileşik meydana geliyorsa, önemli miktarda  $(\text{NH}_4)_2$

$\text{CO}_3$  teşekkül etmeyecektir. İlgili denklem uyarınca  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  parçalandığı zaman, solusyondan  $\text{CO}_2$  kaybı  $\text{NH}_3$  tan daha hızlı olmakta ve daha fazla  $\text{OH}^-$  iyonu ortaya çıkmaktadır. Netice olarak,  $\text{NH}_4^+$  solusyonu  $\text{OH}^-$  ile dengeye gelmekte ve aşağıdaki reaksiyon gereğince  $\text{NH}_3$  kayıpları teşvik edilmektedir.

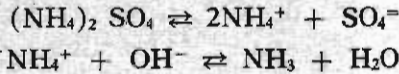


$\text{Ca}_b\text{Y}_a$  bileşiği eriyebilir ise, bu bu taktirde  $\text{NH}_3$  kaybı diğer faktörler yanında daha ziyade toprağın pH değeri ile ilgili olmaktadır. Zira,  $\text{NH}_3$ - $\text{NH}_4^+$  dengesi pH ile ilgilidir ve düşük pH değerleri  $\text{NH}_4^+$  formunun teşekkülüne sebep olur.

### AMONYAK KAYIPLARI ÜZERİNE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLER

#### 1. Toprak Reaksiyonu (pH)

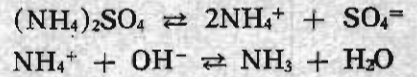
Topraklarda meydana gelen  $\text{NH}_3$  buharlaşması üzerine, pH değerinin doğrudan doğruya etkili kabul edilmektedir (Du Plessis ve Kroontje, 1964). Bu konuda ileri sürülen öneriye göre,  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$  ilave edilen topraklardan ortaya çıkan  $\text{NH}_3$  kayıpları, aşağıda gösterilen bir denge dolayısıyla meydana gelmektedir.



Bu gibi durumlarda etkili hidroksil iyonu konsantrasyonu, sistemin pH değerine bağlı olmaktadır. Görüldüğü üzere, kireçleme ile toprak pH sında sağlanacak herhangi bir artış,  $\text{OH}^-$  iyonlarının aktivitesini ve dolayısıyla  $\text{NH}_3$ -N kayıplarını da arttıracaktır. Ancak bu tip bir denge denkleminin,  $\text{NH}_3$  ın çeşitli yollarla toprakta tutulması gibi durumları dikkate almadığını belirtmek gerekir.

Du Plessis ve Kroontje (1964), toprakta  $\text{NH}_3$  dengesi ve pH ara-

sındaki ilişkileri inceleyerek, uçarak kaybolan  $\text{NH}_3$  miktarının hesaplanması ile elde edilen değerleri, deneme sonucunda bulunan değerler ile mukayese etmişlerdir. Topraklarda  $\text{NH}_3$ -N kaybı için ileri sürülen mekanizmanın geçerliliğini kontrol için,  $\text{NH}_4$  tuzlarının tatbikinden sonra meydana gelen  $\text{NH}_3$  kayıpları aşağıdaki ilişkiden hesap edilmektedir.



$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3][\text{H}_2\text{O}]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

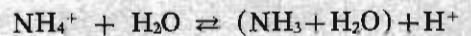
$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{1.8 \times 10^{-5}} \quad [3]$$

Denge denklemindeki  $\text{OH}^-$  iyonları konsantrasyonunun hesaplanmasında, toprağın başlangıçtaki pH değeri kullanılmaktadır. Denklemdaki  $[\text{NH}_4^+]$  ise, toprağın başlangıçtaki  $\text{NH}_4$  konsantrasyonunu göstermektedir.

Diğer taraftan, toprağa  $\text{NH}$  ilavesinden sonra ortaya çıkan  $\text{NH}_3$ -N kayıplarının hesaplanmasında ikinci bir yöntem daha uygulanabilmektedir. Buna göre, amonyum tuzları hidroliz oldukları zaman ortama  $\text{H}^+$  iyonu verirler ve sistemi asitleştirici etkiye sahiptirler. Amonyum sulfatın hidrolizini de dikkate alan denge durumu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.



veya





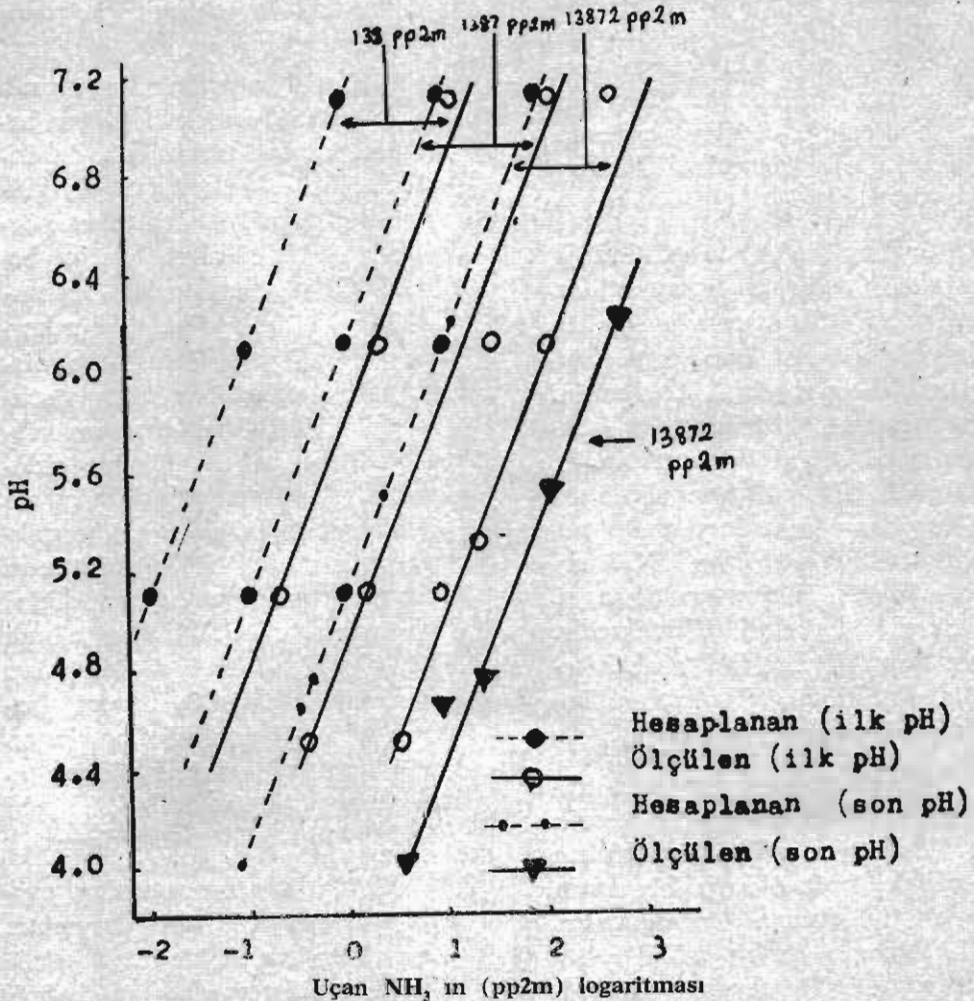
Bu dengeden,  $\text{NH}_3$  konsantrasyonu hesap edilirse;

$$K = \frac{[\text{NH}_3] [\text{H}_2\text{O}] [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+] [\text{H}_2\text{O}]}$$

$$[\text{NH}_3] = \frac{K [\text{NH}_4^+]}{[\text{H}^+]}$$

$$[\text{NH}_3] = \frac{5.5 \times 10^{-10} [\text{NH}_4^+]}{[\text{H}^+]} \quad [4]$$

Yine bu denklemde de;  $[\text{H}^+]$  toprağın başlangıçtaki pH değerinden hesap edilmekte,  $[\text{NH}_4^+]$  ise toprağın başlangıçtaki amonyum konsantrasyonunu göstermektedir. İster [3] numaralı, isterse [4] numaralı denklem kullanılsın, benzer pH ve  $[\text{NH}_4^+]$  konsantrasyonları dikkate alındığı takdirde her iki denklem aynı sonucu vermektedir.



Grafik 1. Üç ayrı tatbik nisbetinde uçan  $\text{NH}_3$  ile pH arasındaki ilişki. (Du Plessis ve Kroontje, 1964).

Du Plessis ve Kroontje (1964) tarafından yapılan çalışma sonuçlarına göre, ilgili denklem kullanılarak hesap edilen  $\text{NH}_3$  kaybı, deneme ile ölçülen gerçek değerlerden birkaç defa daha azdır. Ancak, her iki yöntemle bulunan değerler arasında doğrusal bir ilişki ( $Y = 14.98 + 6.17 X$ ) tesbit edilmiş ve korrelasyon katsayısı ( $r$ ) 0.97 olarak yüksek bulunmuştur. Toprağın gerek deneme başında ve gerekse deneme sonundaki pH değerleri ile  $\text{NH}_3$  kayıpları arasındaki ilişki Grafik 1 de gösterilmiştir. Yine aynı grafik üzerinde ölçülen ve hesaplanan değerler her iki pH için ayrı ayrı işaretlenmiştir.

Grafik 1 den de görüldüğü gibi, teorik olarak hesap edilen ve ölçülen değerler için çizilen doğruların eğimi her iki pH değerinde de aynı olup, X eksenini kesim noktaları birbirinden farklıdır. pH değerinin artması ile kaybolan  $\text{NH}_3$  miktarında bir artış meydana gelmektedir. Bu nedenle, pH ve pOH'nın  $\text{NH}_3$  uçması üzerine doğrudan doğruya etkili olduğu kabul edilmektedir. Asit topraklarda  $[\text{OH}^-]$  aktivitesinin düşüklüğü,  $\text{NH}_3$  kaybını önlemekte veya azaltmaktadır.

Burada, deneme ile tayin edilen  $\text{NH}_3$  kaybının neden teorik olarak hesap edilenden birkaç defa daha fazla olduğu, bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.  $\text{NH}_3$  kaybının tesbit edildiği bir çalışmada,  $\text{NH}_3$  devamlı olarak sistemden uzaklaşır. Bu nedenle denge, statik şartları temsil e-

dememekte ve kayıp esnasında ortaya çıkan sonsuz sayıdaki dengelemlerin istatistiksel bir ortalamasını göstermektedir. Diğer taraftan,  $\text{NH}_3$  kaybı net  $\text{NH}_4^+$  konsantrasyonunu azaltıcı yönde etkili iken, rutubet kaybı ise geriye kalan tuzun konsantrasyonunu arttırıcı nitelikte etkili olmaktadır. Bu sebeple,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ilavesinden hemen sonra erişilen denge durumu ile, denemenin bitişinden sonraki denge durumunun farklı olması beklenebilir.

$\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları ile toprak pH'si arasındaki ilişki, diğer bazı araştırmacılar tarafından da incelenmiştir. Sağlam (1974), kullanılmış olduğu 36 adet toprak örneğinin pH değerleri ile kaybedilen  $\text{NH}_3\text{-N}$  miktarları arasında 0.46 gibi çok önemli bir korrelasyon katsayısı tesbit etmiştir. Asit topraklarda uçma şeklindeki  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının ihmal edilebilecek bir ölçüde olduğunu ileri süren Stojanovic ve Broadbent (1960), kireçli topraklara ilave edilen  $\text{NH}_4$  un çoğunun kuruma esnasında kaybedildiğini bulmuşlardır. Ghilday ve Singh (1961), pH değeri düşük olan topraktan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ilavesi halinde  $\text{NH}_3\text{-N}$  şeklinde bir kayıp olmadığını, pH değeri yüksek olan toprakta ise  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı görüldüğünü bildirmektedirler.

Elde edilen bu sonuçlar, toprak pH'sinin  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları üzerine doğrudan doğruya etkili olduğunu göstermekte ve kabul edilen mekanizma uyarınca asit topraklardan dahi bir miktar

NH<sub>3</sub>-N kaybı olabileceğini saptamış bulunmaktadır.

## 2. Tatbik Edilen Azot Konsantrasyonu

Topraklara tatbik edilen azot konsantrasyonuna bağlı olarak, NH<sub>3</sub> uçması şeklinde ortaya çıkan kayıplar da artmaktadır. İlerde daha detaylı olarak inceleneceği üzere, ilave edilen gübrenin cinsi ve toprak şartları burada önemli bir faktör olabilmektedir.

Kullandıkları 4 ayrı toprak örneğine farklı miktarlarda NH<sub>4</sub> OH tatbik eden Chao ve Kroontje (1964), toprakları sabit bir hava akımında kurutmuşlar ve bu esnada kaybolan NH<sub>3</sub> miktarını tesbit etmişlerdir. Deneme sonunda, elde edilen kayıplar ile tatbik edilen miktarlar arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bu ilişki,  $Y = aX + b$  denklemi ile ifade edilmektedir. Bu denk-

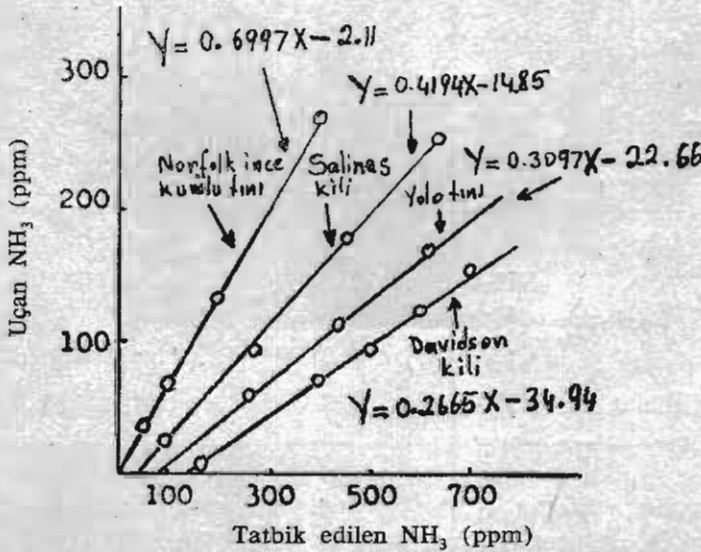
lemde;

Y : Uçarak kaybolan NH<sub>3</sub> (ppm)

X : Tatbik edilen NH<sub>3</sub> (ppm)

a ve b : Sabite

Sözü edilen bu araştırmada 4 toprak için elde edilen doğrular ve bu doğruların denklemleri Grafik 2 de gösterilmiştir. İlgili grafikten de anlaşılacağı gibi, bu topraklara aynı miktarda NH<sub>3</sub> ilave edilmesi halinde kaybedilen NH<sub>3</sub> miktarları şu sırayı takip etmektedir; Norfolk İnce Kumlu Tını > Salinas Kili > Yolo Tını > Davidson Kili. Diğer taraftan, bu doğruların X eksenini kestiği noktalar (Y = 0) hesap edilirse, aynı sıra dahilinde bu değerler 3.02, 35.41, 73.17 ve 131.11 ppm olarak bulunur. Elde edilen bu değerler, NH<sub>3</sub> uçmasının en az olmasının beklediği tatbik miktarlarını ifade etmektedir.



Grafik 2. Tatbik edilen NH<sub>3</sub> m miktarı ile ilgili olarak farklı topraklardan meydana gelen NH<sub>3</sub> uçması (Chao ve Kroontje; 1964).

Bu konu ile ilgili olarak kireçli bir toprakta yürütülen başka bir denemede (Fenn ve Kessel, 1974), farklı miktarlarda  $(NH_4)_2SO_4$  kullanılmış ve buna karşılık kaybedilen  $NH_3-N$  miktarları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, tatbik edilen  $(NH_4)_2SO_4$  miktarı arttıkça kaybedilen toplam  $NH_3-N$  miktarı da artmaktadır. Ancak  $NH_4NO_3$  tatbikinde,  $NH_3-N$  kaybı ilâve edilen miktara bağlı olarak artış göstermemiştir.

### 3. Tatbik Edilen Gübrenin Cinsi

Toprağa tatbik edilen azotlu gübrelere cinsi ile ilgili olarak ortaya çıkan  $NH_3-N$  kayıplarının

dan söz edildiği zaman, toprakta  $CaCO_3$  in mevcut olup olmadığına da dikkate alınması gerekmektedir. Zira  $NH_3$  kayıpları için ileri sürülen genel teoride, gübre materyalinin  $CaCO_3$  ile reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan bileşiklerin erirliliği,  $NH_3$  kayıpları üzerinde esas rolü oynamaktadır. Kireçli olmayan topraklarda ise,  $NH_3$  kayıpları diğer faktörler yanında daha ziyade toprak pH sı ile ilgili bulunmaktadır. Bu bölümde, azot kaynağı olarak kullanılan azotlu gübrelere  $CaCO_3$  ile olan reaksiyonları ve bununla ilgili olan  $NH_3$  kayıpları sırasıyla incelenecektir. Bazı azotlu gübrelere isimleri ve özellikleri Tablo 1 de gösterilmiştir.

TABLO 1

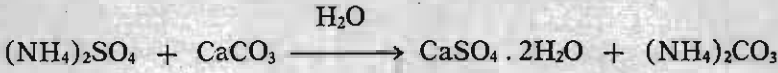
Tarımda kullanılan bazı azotlu gübrelere isimleri ve özellikleri

İsmi	Kimyasal formülü	Kısaltılmış ismi	% N	Toplam	
				% $P_2O_5$	% S
Amonyum Sülfat	$(NH_4)_2SO_4$	AS	21	—	18.6
Amonyum Nitrat	$NH_4NO_3$	AN	33	—	—
Sodyum Nitrat	$NaNO_3$	SN	16	—	—
Kalsiyum Nitrat	$Ca(NO_3)_2$	KN	15.5	—	—
Amonyum Klörür	$NH_4Cl$	AK	26	—	—
Üre	$CO(NH_2)_2$	Üre	42-45	—	—
Sıvı Amonyak	$NH_3$	SA	82	—	—
Monoamonyum Fosfat	$NH_4H_2PO_4$	MAF	11	48	—
Diamonyum Fosfat	$(NH_4)_2HPO_4$	DAF	21	53	—
Amonyum Polifosfat	$(NH_4)_4P_2O_7$	APF	12-15	58-60	—

a) Amonyum Sülfat : AS topraktaki  $CaCO_3$  ile reaksiyona girer ve aşağıdaki denklem gere-

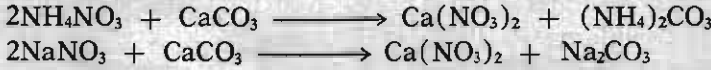
ğince  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  ve  $(NH_4)_2CO_3$  teşekkül eder.





Terman ve Hunt (1964), jipse ilâveten amonyum singenit'in de  $[Ca(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot H_2O]$  bir ara ürün olarak ortaya çıktığını rapor etmektedirler. Jipse oranla daha konsantre şartlar altında teşekkül eden bu fazın öncelikle meydana gelmesi halinde,  $(NH_4)_2CO_3$  teşekkülü azalmakta ve buna bağlı olarak  $NH_3-N$  kayıpları da düşmektedir.

Daha önce de değinildiği gibi, teşekkül eden  $CaSO_4$  ın eririliği reaksiyon yönünü etkilemektedir.  $CaSO_4$  ın eririliliği 100 ml suda ve  $22^\circ C$  de takriben 0.21 gr. dır. Bu çökeltme reaksiyonunun tamamlanması, toprağın su muhtevası ile ilgilidir. Topraktaki su miktarı azaldığı zaman, çöken



teşekkül eden  $Ca(NO_3)_2$  ın eririliği çok fazladır ( $0^\circ C$  de 102.0 gr./100 ml su). Ortamdaki su büyük ölçüde buharlaşsa dahi, çok az bir çökelti meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, reaksiyon sağa doğru pek fazla ilerlememek-



ve reaksiyon sonunda  $CaCl_2$  ve  $(NH_4)_2CO_3$  meydana gelir. Teşekkül eden  $CaCl_2$  ün eririliliği fazla ( $0^\circ C$  de 59.5 gr./100 ml su) olduğundan, reaksiyon sağ yöne doğru pek fazla ilerlemez ve  $NH_3-N$

$CaSO_4$  ın miktarı artacaktır. Bu nedenle, reaksiyonun sağa doğru ilerlemesi teşvik edilecek, diğer bir ifade ile daha fazla  $(NH_4)_2CO_3$  teşekkül edecektir. Meydana gelen  $(NH_4)_2CO_3$  ise [2] numaralı reaksiyon uyarınca parçalanacak ve  $NH_3-N$  şeklindeki kayıplar ortaya çıkacaktır.

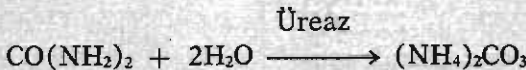
b) Amonyum nitrat, sodyum nitrat, kalsiyum nitrat ve amonyum klörür: Topraktaki  $CaCO_3$  ile reaksiyonları sonucu ortaya çıkan bileşiklerin eririliliği yönünden benzerlik gösteren bu gübreler, aynı gurup altında toplanmışlardır.  $NO_3$  ihtiva eden AN ve SN, topraktaki  $CaCO_3$  ile aşağıdaki şekilde reaksiyona girer. Reaksiyon sonunda

te ve çok az bir  $NH_3-N$  kaybı söz konusu olmaktadır.

KN topraktaki  $CaCO_3$  ile reaksiyona girmez ve  $Ca(NO_3)_2$  ın eririliliği çok fazladır. AK topraktaki  $CaCO_3$  ile reaksiyona girer

kayıpları çok azdır.

c) Üre: Ürenin topraktaki parçalanma reaksiyonu  $CaCO_3$  ile ilgili değildir. Toprağa ilâve edilen üre, üreaz enzimi vasıtasıyla

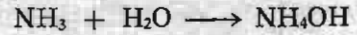


hidroliz olur ve  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  teşekkül eder. Ortaya çıkan bu amonyum karbonat ise, daha önce ileri sürülen mekanizma uyarınca parçalanır ve gübrenin azotu  $\text{NH}_3$  şeklinde uçarak kaybolur. Toprağın  $\text{NH}_3$  absorpsiyon kapasitesinin düşük ve pH değerinin yüksek olması hallerinde,  $\text{NH}_3$  kayıpları artmaktadır. Zira, yüksek pH değerleri ( $\text{pH} < 8.5$ ) ürenin hidroliz olmasını hızlandırmaktadır. Diğer taraftan, bizzat ürenin kendisi de başlangıçta toprak pH sını yükseltmekte, fakat üre tatbiki durumunda toprağın pH değeri 8.5 i geçmemektedir. Ürenin anzimatik parçalanması ise, pH 8.5 ta tamamiyle durmaktadır.

Konu üzerinde bir labaratuvar çalışması yapan Bremner ve Douglas (1971), 14 günlük inkübasyon sonunda üredeki azotun % 4.6 - 61.1 (ortalama % 21.2) nin  $\text{NH}_3$  şeklinde kaybolduğunu tesbit etmişlerdir. Araştırmacılar; üre yerine üre-fosfat ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ ) kullanılmasının çeşitli avantajları olduğunu, üre-fosfat-taki  $\text{H}_3\text{PO}_4$  in ürenin hidrolizini geciktirdiğini ve ortaya çıkması muhtemel  $\text{NH}_3$ -N kayıplarının büyük ölçüde azaldığını (ortalama % 0.7) bildirmektedirler. Yine aynı araştırmacılar diğer bir çalışmalarında (Bremner ve Doug-

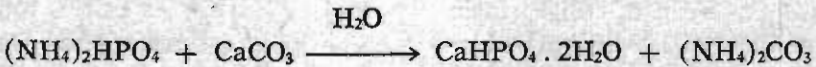
las, 1973), ürenin hidrolizini önleyici bazı kimyasal maddeler kullanmışlar ve 2,5-dimetil-p-benzokinin kullanılması halinde  $\text{NH}_3$  kayıplarının % 61.3 ten % 0,3 e düşürüldüğünü tesbit etmişlerdir. Mahandrappa ve Salonijs (1974) ise, normal üreden meydana gelen kayıpları azaltmak için ürenin plastikle kaplanmasını teklif etmektedir.

d) Sıvı amonyak: Toprağa ilave edilen  $\text{NH}_3$  hidroliz olur ve  $\text{NH}_4\text{OH}$  teşekkül eder. Bu durumda ortaya çıkan  $\text{NH}_3$  kaybı, toprakta  $\text{CaCO}_3$  mevcut olup olmasından ziyade, diğer faktörler yanında toprak pH sı



ve su kaybı ile ilgilidir. Ayrıca bu konu ile ilgili olarak,  $\text{NH}_3$  tatbiki halinde toprakta yüksek pH değerlerinin elde edilebileceğini hatırd tutmak gerekir.

e) Diamonyum fosfat : DAF,  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyona girer ve başlangıçta  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  teşekkül eder. Ancak, DAF ile  $\text{CaCO}_3$  in reaksiyonunda, son ürünün apatit olduğu ve birçok bileşiklerin de ara ürün olarak ortaya çıktığı ileri sürülmektedir (Terman ve Hunt, 1964). Buna göre toprakta fazla rutubet bulunması halinde, DAF ve  $\text{CaCO}_3$  reaksiyona girer ve  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  teşekkül eder.



Bu bileşik daha fazla  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyona girebilir ve oktakalsiyum fosfat [ $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ] meydana gelir. Netice olarak sta-

bil bir faz olan apatit teşekkül eder. Daha sulu solusyonlardaki  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a hidroliz olur.

Rutubetin düşük olması halinde, DAF ile  $\text{CaCO}_3$  doğrudan doğruya reaksiyona girer ve  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  teşekkül eder. Teşekkül eden bu bileşik, daha sonra yeniden  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyona girebilir ve oktakalsiyum fosfat ve apatit meydana gelebilir.

DAF ile  $\text{CaCO}_3$  in reaksiyonu sonucunda teşekkül eden  $\text{CaPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  in eririliliği (0.02 gr./100 ml su,  $25^\circ\text{C}$  de) çok azdır. Bu nedenle, sözü edilen denge reaksiyonu sağa doğru ilerlemekte ve  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  teşekkülü artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak ta  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları ortaya çıkmaktadır. Reaksiyon esnasında  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  in teşekkül etmesi halinde,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının geniş ölçüde azaldığı rapor edilen hususlar arasındadır.

f) Monoamonyum fosfat : Bu bileşiğin  $\text{CaCO}_3$  ile reaksiyonu sonunda, DAF ile ilgili reaksiyona benzer bir olay meydana gelmektedir. Bununla beraber apatit yerine, apatit teşekkülünde bir ara ürün olan oktakalsiyum fosfat [ $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ] teşekkül eder. Terman ve Hunt (1964) tarafından düzenlenen bir denemede, ara ürün olarak  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  in teşekkül ettiği ve bu suretle kayıpların büyük ölçüde önlendiği tesbit edilmiştir.

g) Amonyum polifosfat : APF içerisindeki amonyum pirofosfatlar  $\text{CaCO}_3$  ve topraktaki Ca ile öncelikle reaksiyona girerler ve  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  teşekkül eder. Bu reaksiyon tamamlandığı zaman, ortamdaki ilave Ca, DAF için verilen reaksiyona benzer bir olayın cereyan etmesine yol açar. Diğer taraftan  $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  nun teşekkülü,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarını engellemektedir. Bu nedenle, APF uygun bir N ve P kaynağı olarak bilinmektedir.

Tatbik edilen gübre materyalinin  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları üzerine etkisini kısaca özetledikten sonra, bu konuda yapılmış olan bazı çalışmalardan örnekler vermek faydalı olacaktır. Toprak yüzeyine tatbik edilen azotlu gübrelere gelen günden gelen günden şekliindeki  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları, bitki kullanılmak suretiyle Terman ve Hunt (1964) tarafından tesbit edilmiştir. Denemede, çeşitli azotlu gübreler kullanılmış ve mısır bitkisinin bu gübrelere kaldırdığı N miktarları ölçülmüştür. Kaldırılan miktarlar yönünden elde edilen farklılıklar,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarına atfedilmiştir. Üç ayrı pH seviyesinde yüzeye tatbik edilen gübrelere kaldırılan % N miktarları, aşağıdaki gibi azalan bir sıra izlemektedir.

Hartsells toprağı :  $\text{MAF} = \text{AN} = \text{AS} > \text{APF} > \text{DAF} > \text{Üre}$   
(pH = 6.2)

Hartsells toprağı :  $\text{MAF} > \text{AN} = \text{APF} > \text{AS} > \text{DAF} > \text{Üre}$   
(pH = 7.5)

Webster toprağı :  $\text{MAF} > \text{AN} = \text{APF} > \text{AS} = \text{DAF} = \text{Üre}$   
(pH = 8.2)

Görüldüğü gibi, MAF mısıra N temin etme yönünden bütün pH değerlerinde diğer kaynaklara göre eşit veya daha fazla etkililiğe sahiptir. AN ve APF, 7.5 ve 8.2 pH değerlerinde daha az etkilidir. AS ın tesirliliği pH 6.2 de AN a eşittir, fakat pH 8.2 de üre-

den daha etkili değildir. Yüzeğe tatbik edilen üre, bütün pH seviyelerinde mısır bitkisine en az N temin etmiştir. Araştırmada kullanılan bazı gübrelerden kaldırılan % N miktarları, Tablo 2 de verilmiştir.

**TABLO 2 .**  
**Üç pH seviyesinde yüzeğe tatbik edilen azotlu gübrelerden mısır bitkisi tarafından kaldırılan % N miktarları**  
**(Terman ve Hunt, 1964)**

N kaynağı	Kaldırılan % N		
	Hartsells (pH = 6.2)	Hartsells (pH = 7.5)	Webster (pH = 8.2)
AN	82	76	77
AS	76	68	53
Üre	33	32	54
APF	72	76	79
DAF	63	59	57
MAF	77	86	85

Tablo 2 den de görüldüğü gibi, pH değeri yükseldikçe AS tan kaldırılan % N miktarı azalmaktadır. Buna karşılık üre için elde edilen değerlerde, önce bir azalış ve daha sonra hızlı bir artış göze çarpmaktadır. Ortaya çıkan bu hızlı artış için, araştırmacılar herhangi bir öneride bulunmamışlardır. Ancak, pH 8.2 de üreaz enziminin pek çalışmadığı ve hızlı  $(NH_4)_2CO_3$  teşekkülünün engellendiği dikkate alınır sa, kaldırılan % N miktarındaki artışın nedeni anlaşılmuş olur.

Terman ve Hunt (1964) tarafından yürütülen bu deneme sonuçlarına göre, hem kireçli ve hemde asit toprakların yüzeyine tatbik edilen üre ve DAF tan değişik ölçülerde  $NH_3-N$  kaybı meydana gelmiştir. Benzer şekilde, normal kireçli topraklar ile kireçlenen asit toprakların yüzeyine tatbik edilen AS tan da kayıplar ortaya çıkmıştır. MAF ve APF ın  $CaCO_3$  ile reaksiyonları ve metastabil (her iki yönde kimyasal değişim gösterebilen) bileşiklerin meydana gelişi, bu



gübrelerin normal kireçli topraklarda azot kaynağı olarak, DAF, üre ve AS a göre avantajlı tarafları olduğuna işaret etmektedir. Bu tip topraklar için  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ta etkili bir N kaynağıdır. Bu çalışmadan çıkarılabilecek diğer bir sonuç ise, gübrelerin toprak pH sı üzerindeki etkilerinin de  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarına tesir ettiğidir.

Hektara 224 kg. N olacak şekilde üre'nin tatbik edildiği ve sabit bir hava akımının uygulandığı (3 lt/dak.) bir laboratuvar araştırmasında (Watkins ve çalışma arkadaşları, 1972), üre'nin tatbikinden 20 gün sonra  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybının % 6-30 arasında değiştiği tesbit edilmiştir. Aynı denemede, üre ile  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ün karıştırılması halinde, sadece üre tatbikine oranla kayıpların azaldığı bulunmuş ve bu durum,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ün pH değerini düşürücü etkisine atfedilmiştir.

Farklı amonyum bileşiklerinin  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları üzerine olan etkisi, Fenn ve Kissel (1973) tarafından da araştırılmıştır. Laboratuvarında yürütülen bu denemede, hektara 550 kg. N kullanılmış ve azot, kireçli bir toprağın yüzeyine tatbik edilmiştir. İlk bir saatlik zaman esnasında ortaya çıkan  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı;  $\text{NH}_4\text{F}$  için en fazla, AS ve DAF için orta derecede ve AN, AK ve  $\text{NH}_4\text{I}$  için ise en az olmuştur. İlave edilen  $\text{NH}_4\text{-N}$  nin yüzdesi olarak, 100 saatlik bir zaman döneminde ortaya çıkan toplam  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı;  $\text{NH}_4\text{F}$  için % 68,

AS için % 55, DAF için % 51,  $\text{NH}_4\text{I}$  için % 16, AN için % 16 ve AK için ise % 18 dir.  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları yönünden elde edilen farklılıkların,  $\text{NH}_4$  tuzlarının Ca ile reaksiyonu sonucunda teşekkül eden bileşiklerin erirliliği ile ilgili olduğu ve bu bileşiklerin erirliliği ile  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları arasında bir ilişki bulunduğu ileri sürülmektedir.

Sağlam (1974), farklı özelliklere sahip toprak örnekleri ve so-lusyon şeklinde AS kullanmıştır. Amonyum Sülfat ilavesinden sonra toprak havada kurutulmuş ve bu esnada ilave edilen  $\text{NH}_4\text{-N}$  nin % 0.0-38.6 sının  $\text{NH}_3\text{-N}$  şeklinde kaybedildiği sonucuna varılmıştır.

#### 4. Isı

$\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının ortam ısısına bağlı olarak arttığı genellikle kabul edilmektedir. Isının  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları üzerine etkisi başlıca iki gurup altında incelenebilir. Bunlardan birincisi; kireçli topraklarda  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı üzerine ısının etkisi, diğeri ise kireçsiz topraklarda ısının  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarına etkisidir. Kireçli topraklardaki durum da, bazı azotlu gübreler yönünden çökelti meydana getiren ve getirmeyen bileşikler olarak iki kısma ayrılabilir.

#### A. Kireçli topraklarda $\text{NH}_3\text{-N}$ kaybı üzerine ısının etkisi

a) Çökelti veren amonyum bileşikleri: Bilindiği üzere  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ve  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , topraktaki

CaCO<sub>3</sub> ile reaksiyona girer ve (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile bir Ca bileşiği meydana gelir. Ortaya çıkan bu Ca bileşiğinin erirliliği oldukça düşüktür. Fenn ve Kissel (1974) tarafından farklı miktarlarda azot tatbik edilerek yürütülen bir denemede, AS ve DAF kullanılmıştır. Deneme 12, 22 ve 32°C olmak üzere üç ayrı ısıda yürütülmüştür. Çalışma sonunda, 33 ve 66 kg./hek. N tatbikinde, NH<sub>3</sub>-N kayıplarının ısı değişikliğinden pek fazla etkilenmediği, daha fazla azot tabiklerinde ise ısıya bağlı olarak NH<sub>3</sub>-N kayıplarının da arttığı tesbit edilmiştir. 275 kg./hek. N tatbikinde ilave edilen azottan meydana gelen toplam kayıp 12, 22 ve 32°C de sırasıyla % 38, 46 ve 43 tür.

b) Çökelti vermeyen amonyum bileşikleri: Isı, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> tan buharlaşarak kaybolan toplam NH<sub>3</sub>-N kayıpları için önemli bir etkidir. Yapılan bir denemede (Fenn ve Kissel, 1974), ısının 12°C den 32°C ye çıkarılması, toplam NH<sub>3</sub>-N kayıplarında %86 lik bir artışa veya ilave edilen azottaki kaybın % 14 ten % 26 ya yükselmesine sebep olmuştur. Çökelti meydana getiren bileşiklere zıt olarak, tatbik edilen bütün azot nisbetlerinde kaybedilen NH<sub>3</sub>-N miktarları, belirli bir ısı derecesi için benzer olmaktadır. Diğer bir ifade ile AN tan ortaya çıkan NH<sub>3</sub>-N kaybı ısı derecesi yükseldikçe artmakta, fakat tatbik edilen miktarlardan etkilenmemektedir.

Üre kullanılarak yürütülen diğer bir çalışmada (Watkins ve

çalışma arkadaşları, 1972), hektara 224 kg. N tatbik edilmiş ve gerek NH<sub>3</sub>-N kayıp nisbetinin ve gerekse toplam kayıpların yüksek ısıda daha fazla olduğu tesbit edilmiştir. Yine aynı araştırmacılar inkübasyon ısısı ile kayıpların doğrudan doğruya ilgili bulunduğunu ileri sürmektedirler.

## B. Kireçsiz topraklarda NH<sub>3</sub>-N kaybı üzerine ısının etkisi

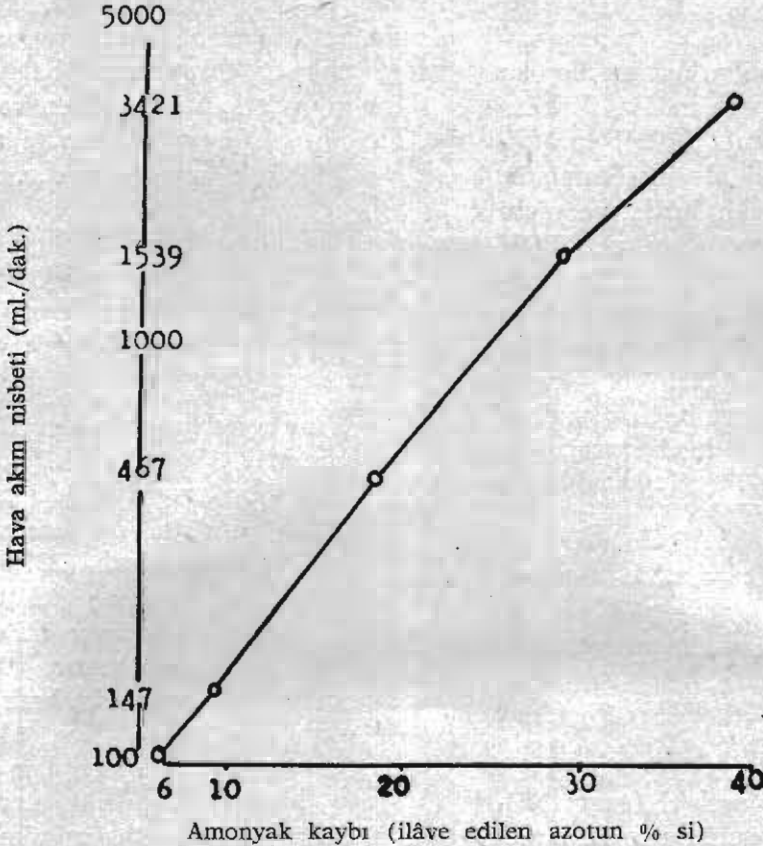
Genel bir ifade olarak, kireçsiz topraklardan meydana gelen NH<sub>3</sub>-N kaybı ısı ile artmaktadır. İster AS isterse AN tatbik edilsin, ısı derecesinin yükselmesi kayıpları teşvik etmektedir. Fenn ve Kissel (1974) tarafından yürütülen bir denemede, kireçsiz bir topraktan meydana gelen NH<sub>3</sub>-N kayıp nisbeti ve 100 saatteki toplam kayıplar, 12°C de AN ve AS için aynı olmuştur. Buna karşılık ısının 32°C ye yükseltilmesi halinde, her iki gübre tatbikinde de toplam kayıplar artmış, fakat AN tan ortaya çıkan kayıplar AS ı çok geçmiştir. 100 saatte elde edilen toplam NH<sub>3</sub>-N kayıpları 12 ve 32°C de, AS için % 20 ve 33, AN için ise % 20 ve 48 kadardır. CaCO<sub>3</sub> ın mevcut olmadığı hallerde, AS ın AN a benzer şekilde reaksiyona girdiği belirtilmekle beraber, 32°C de AN için elde edilen kaybın AS ton çok fazla olmasının nedenleri hakkında bir sebep gösterilmemiştir.

## 5. Kuruma Oranı ve Zaman

Daha önce de değinildiği gi-

bi, toprakta teşekkül eden  $\text{NH}_4\text{OH}$ , su ve  $\text{NH}_3$  a parçalanır. Su topraktan uçtuğu zaman amonyağı da beraberinde götürecektir. Bu nedenle  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı, kuruma oranı ve kuruma müddeti ile sıkıca ilgili bulunmaktadır. Toprağın kuruması üzerine etkili olan en önemli faktörler ısı, rüzgâr ve hava akımının nisbi rutubetidir. Isı faktörü daha önce incelendiğinden, bu kısımda sadece hava akımının hızı, hava akımının nisbi rutubeti ve zaman gibi hususlar üzerinde durulacaktır.

Herhangi bir toprak üzerinden geçirilen hava akımının hızı arttırıldığı zaman, buna bağlı olarak kuruma hızı veya kuruma oranında artacağı bilinen bir husustur. Diğer bir ifade ile, hızlı hava akımına maruz bırakılan toprak, daha kısa zamanda kuruyacaktır. Buna bağlı olarak kaybedilen  $\text{NH}_3\text{-N}$  miktarlarının da artması beklenilebilir. Denemelerinde hektara 224 kg. N olacak şekilde üre kullanan Watkins ve çalışma arkadaşları (1972), farklı hızdaki hava akımları (104, 154,



Grafik 3. Üreden uçan  $\text{NH}_3$  miktarı ile hava akımı arasındaki ilişki (Watkins ve çalışma arkadaşları, 1972).

468, 1542 ve 3434 ml/dak.) ile toprağı kurutmuşlardır. Bu deneme sonuçlarına göre,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları, 100-3000 ml/dak. lık hava akımlarında akım nisbetinin logaritması ile orantılı olmaktadır (Grafik 3). Başka bir ifade ile,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları ile akım nisbetlerinin logaritmaları arasında (100-3000 ml/dak. için) doğruya yaklaşan bir ilişki mevcuttur. Çalışmada, hava akımının hızı 7000 ml/dak. ya kadar artırılmış, fakat  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının bundan pek etkilenmediğı tesbit edilmiştir. En fazla kayıp 3 lt/dak. lık hava akımında meydana gelmiştir.

$\text{NH}_3\text{-N}$  buharlaşması ile su buharlaşması arasındaki ilişkiler Chao ve Kroontje (1964) tarafından detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, farklı hızda ve nisbi rutubetteki hava akımı ve  $\text{NH}_4\text{OH}$  kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su ile doyurulan ve doyurulmayan hava akımlarında meydana gelen  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıp nisbetleri zamana bağılı olarak azalmakta ve bu durum aşağıdaki genel denklem ile ifade edilmektedir.

$$N/t = at^b$$

Bu denklemde :

N :  $\text{NH}_3$  kaybı (ppm)

t : Zaman (saat)

a ve b : Sabite

Birim zamandaki (saat)  $\text{NH}_3$  uçmasının logaritması ile zamanın logaritması arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bir

toprak için doyurulmamış atmosferde elde edilen denklem  $N/t = 48.43 t^{-0.6819}$  olup, doyurulmuş atmosfer için bu denklem  $N/t = 10.43 t^{-0.3714}$  tür. Elde edilen bu bulgular, su ile doyurulan ve doyurulmayan atmosferdeki  $\text{NH}_3$  uçmasının benzer bir fonksiyon tarafından ifade edilebileceğini göstermektedir.

Su buharlaşmasının oranı, zaman artışı ile sabit kalmakta ve  $M/t = k$  denklemi ile ifade edilmektedir (Chao ve Kroontje, 1964). Bu denklemde,  $M/t$  saatte kaybolan % su miktarı ve k ise sabitedir. k sabitesi; hava akımının hızı ve nisbi rutubetine, ısıya ve toprak tekstürüne bağlıdır. Bir toprak için elde edilen ve su kaybını gösteren denklem  $M/t = 1.480$  olarak hesaplanmıştır. Gö-

rüldüğü gibi, su buharlaşma nisbeti hava kurusu şartlara kadar hemen hemen sabit kalmakta, buna karşılık  $\text{NH}_3$  uçma nisbeti zamanla azalmaktadır.

Yine aynı araştırmacılar (Chao ve Kroontje, 1964), farklı hızdaki hava akımlarının  $\text{NH}_3$  kaybı üzerindeki etkisini de incelemişlerdir. Denemede, hızlı (201.6 lt/saat/78.5  $\text{cm}^2$ ) ve yavaş (15 lt/saat/78.5  $\text{cm}^2$ ) olmak üzere iki ayrı hava akımı kullanılmıştır. Aynı zaman aralığı içerisinde, hızlı hava akımı ile yavaş hava akımı için elde edilen  $\text{NH}_3$  kayıpları arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Hızlı ve yavaş hava akımlarında meydana gelen  $\text{NH}_3$  kayıpları aynı fonksiyonu izlemiş, an-



çok hızlı hava akımında elde edilen miktarlar diğerinden takriben 2 defa daha fazla bulunmuştur. Söz konusu ilişki şu denklemle ifade edilmektedir.

$$H_a = 1.97 Y_a - 1.0609$$

Bu denklemde;

$H_a$ : Hızlı hava akımındaki  $NH_3$  kaybı (ppm)

$Y_a$ : Yavaş hava akımındaki  $NH_3$  kaybı (ppm)

Benzer şekilde, aynı zaman aralıklarında yavaş hava akımı ile elde edilen % su kaybı ( $M_1$ ) ile, hızlı hava akımı ile bulunan % su kaybı ( $M_2$ ) arasında  $M_2 = 6.73 M_1$  denklemi ile ifade edilen doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Aynı konuya değinen Jewitt (1942) de,  $NH_3-N$  kaybının rutubet kaybı ile ilgili olduğunu ve rutubet kaybı durdurulursa,  $NH_3-N$  kaybının da durduğunu ileri sürmektedir.

Yapılan çalışma ve ileri sürülen görüşlerden de anlaşıldığı gibi, hava akımının hızında bir artış olduğu takdirde, suyun buharlaşma nisbeti  $NH_3$  buharlaşma nisbetine göre çok daha hızlı ilerlemektedir.  $NH_3$  uçma nisbeti ile su buharlaşma nisbeti arasında doğrusal bir ilişki mevcut değildir. Gaz faz ile toprak arasındaki dengeye erişildiği zaman, tatbik edilen  $NH_4OH$  in çoğunun toprak tarafından  $NH_4^+$  şeklinde tutulması, gaz fazına erişmede  $NH_3$  in hareketliliğinin ikinci sırada yer alması için bir sebep olarak gösterilmektedir (Chao ve Kroontje, 1964).

Zaman ile  $NH_3-N$  kayıpları arasındaki ilişki Fenn ve Kissel (1974) tarafından da incelenmiş ve  $NH_3-N$  kayıp nisbetinin başlangıçta fazla olduğu ve zamanın ilerlemesi ile azaldığı tesbit edilmiştir. Buna karşılık zaman ilerledikçe toplam  $NH_3-N$  kayıpları artmaktadır. Araştırmacılar, toplam  $NH_3-N$  kayıplarının hesaplanması için ısı, zaman ve tatbik edilen azot miktarını içerisine alan polinomial bir regresyon denklemi geliştirmişlerdir. İleri sürülen bu genel denklem şu şekilde ifade edilmektedir.

$$X = a + b_1t + c_1T + d_1U + b_2t^2 + c_2T^2 + d_2U^2 + b_3t^3 + c_3T^3 + d_3U^3 + \dots$$

Bu denklemde;

$X$ : Tatbik edilen  $NH_4-N$  nin,  $NH_3-N$  olarak kaybedilen % si

$b, c, d$ : Tesbit edilen katsayılar

$t$ : Zaman (saat)

$T$ : ısı ( $^{\circ}C$ )

$U$ :  $NH_4-N$  nin tatbik nisbeti (kg./hek.)

## 6. Toprak Tekstürü ve Rutubet

Toprakta suyun tutulması, toprak tekstürü ve organik madde ile ilgilidir. Killi ve fazla organik madde ihtiva eden topraklar, kumlu ve az organik madde ihtiva eden topraklara oranla daha fazla su tutarlar. Diğer taraftan, benzer şartlar altında fazla miktarda su tutan toprakların kuruması veya bu tip

topraklardaki rutubetin uçarak kaybolması, kaba tekstürlü topraklardan daha çok zaman isteyen bir işlemdir. Toprakta meydana gelen  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybı su kaybı ile ilgili olduğundan, fazla su kaybedilmesi halinde uçan  $\text{NH}_3$  miktarı da artacaktır. Toprakta rutubet kaybının azaltılması ile,  $\text{NH}_3$  kayıplarının da azalacağı kolaylıkla anlaşılabilir.

Azotlu gübreler ile yapılan çoğu denemelerde, tatbik edilen su miktarının belirli bir seviyeye kadar arttırılması ile, elde edilen mahsulün de arttığı tesbit edilmektedir. Denemelerin değerlendirilmesinde ise, çoğunlukla su, azotun alınması ve bitkiler arasındaki ilişkilere yer verilmektedir. Aslında bu tip denemelerden elde edilen sonuçları değerlendirirken fazla rutubet dolayısıyla  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının azaldığını ve bitkinin istifadesine sunulan azotun daha fazla olduğunu da dikkate almak gerekir.

Toprak tekstürü ile  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları arasındaki ilişkiler çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Sağlam (1974), 36 adet toprak örneği ile yürüttüğü çalışmada, % kum ile kayıplar arasında 0.50 ve % kil ile kayıplar arasında ise -0.52 gibi çok önemli korelasyon kat sayıları tesbit etmiştir. Bu durum, toprakta kum miktarı arttıkça kayıpların da arttığını, kil miktarının artması halinde ise kayıpların azaldığını göstermektedir. Chao ve Kroontje (1964), kullandıkları dört adet toprağın birisinden meydana ge-

len yüksek  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybını, toprağın kaba olan tekstürüne atfetmişlerdir (Grafik 2). Mortland (1958) ise, kumlu topraklardaki  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybının killi topraklardan daha fazla olduğunu ileri sürmektedir.

## 7. Katyon Değişim Kapasitesi ve Değişebilir Katyonlar

Bilindiği gibi, toprakların kation değişim kapasitesi başlıca iki temel kaynaktan gelmektedir. Bunlardan birincisi kil mineralleri, diğeri ise organik maddedir. Kation değişim kapasitesi yüksek olan bir toprağa, amonyumlu veya topraktaki reaksiyonu sonucu  $\text{NH}_4$  bileşiği meydana getiren bir gübre ilave edildiği takdirde, ortaya çıkan  $\text{NH}_4^+$  iyonlarının topraktaki negatif yükler tarafından tutulması doğal bir olaydır. Diğer taraftan,  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları için ileri sürülen mekanizma uyarınca meydana gelen  $\text{NH}_3$  in da, toprak organik maddesi tarafından tutulması söz konusudur. Adı geçen bu tutulma olaylarının, topraktan  $\text{NH}_3\text{-N}$  kaybını azaltmaları veya kısmen engellemeleri beklenebilir. Nitekim Sağlam (1974), kation değişim kapasiteleri ile  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları arasında -0.64 gibi çok önemli bir korelasyon katsayısı tesbit etmiştir. Buna göre, kation değişim kapasitesi arttıkça  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıplarının azalabileceği ileri sürülebilir.

Topraktaki değişebilir kationlar da  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları üze-

rine etkilidir. Değişebilir katyonlar toprak pH sı üzerine olan etkileri ve amonyumlu gübrelerle reaksiyon sonunda teşekkül eden bileşiklerin erirliliği yönünden önem arz etmektedirler. Bu nedenle, farklı katyonlarla doyurulan topraklara  $\text{NH}_4$  bileşikleri ilave edildiği zaman, ortaya çıkan  $\text{NH}_3$ -N kayıplarında farklılıklar beklenebilir. Ba ve Mg ile sature edilen bir toprağı denemeye alan Fenn ve Kissel (1973), azot kaynağı olarak  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  kullanmışlardır. Amonyum sülfatın Ba ile reaksiyonu sonucunda meydana gelen  $\text{BaSO}_4$  eriyebilir değildir. Seçilen diğer katyonun (Mg) reaksiyon ürünü ( $\text{MgSO}_4$ ) ise, oldukça eriyebilir durumdur. Bu iki ayrı sistemden meydana gelen  $\text{NH}_3$ -N kayıpları birbirinden farklı olmuştur. İlk bir saatlik devrede Ba ve Mg sistemlerinden ortaya çıkan kayıplar sırasıyla % 18 ve 16 dır. Ba sisteminden kaybolan  $\text{NH}_3$  nisbeti, ilk 7 saatte Mg sisteminden daha fazladır. Fakat 7 saatten sonraki devrede ise, Mg sisteminden meydana gelen kayıp nisbeti Ba sisteminden daha yüksektir. Bu durum, Mg ile doyurulan toprağın daha yüksek pH değerine erişebilmesine atfedilmektedir. 7 saat sonra Ba ve Mg sistemleri için elde edilen toplam kayıplar, ilave edilen azotun % si olarak 33 ve 21 dir.

Aynı araştırmacılar (Fenn ve Kissel, 1973), diğer bir toprağı Ca ve Mg ile doyurarak benzer bir deneme düzenlemişlerdir. Çalış-

mada, Ca sisteminden meydana gelen kayıp nisbetinin deneme başında Mg sisteminden çok fazla olduğu ve 30 saat sonra toplam kaybın Mg ve Ca sistemleri için sırasıyla % 29 ve 47 olarak ölçüldüğü belirtilmiştir.

## 8. Gübrenin Tatbik Edilme Şekli

$\text{NH}_3$ -N kayıpları yönünden, gübrelerin tatbik edilme şekli de bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak yüzeyine serpilerek uygulanan bir gübreden meydana gelen kayıpların, toprağı karıştırılan veya sıralara tatbik edilenlerle aynı ölçüde olması beklenmemelidir. Yüzeğe tatbik edilen gübre, daha az bir toprak tabakası ile temas edeceğinden, belirli bir toprak parçasındaki gübre konsantrasyonu yüksek olacaktır. Diğer taraftan, toprağın iklim olaylarına en fazla maruz kalan kısmı yine toprağın üst tabaklarıdır. Bu ve buna benzer nedenlerle, yüzeğe tatbik edilen azotlu bir gübreden ortaya çıkan  $\text{NH}_3$ -N kaybının, toprak ile karıştırıldandan daha yüksek olması beklenebilir. Ancak bu önerinin her zaman geçerli olmadığını, gübre ve toprak tipinin de önemli rol oynadığını dikkate almak gerekir.

Toprağın yüzeyine tatbik edilen ve toprak ile karıştırılan azotlu gübrelerden kaldırılan N miktarlarını mukayese eden Terman ve Hunt (1964), yüzeğe tatbik ve karıştırma durumlarında amonyum sülfattan kaldırılan

miktarların sırasıyla % 82 ve 80 olduğunu bulmuşlardır. Aynı değerler üre için % 19 ve 76 dır. Görüldüğü gibi, benzer şartlar altında denemeye alınan iki gübreden farklı sonuç alınmıştır. Amonyum sülfattan kaybolan miktarlar her iki tatbik şeklinde de birbirine çok yakın iken, üre'den kaybolan miktarlar yüzeye tatbik durumunda diğerinden 3.5 defa daha fazladır. Gasser (1964), toprağa karıştırılan  $(NH_4)_2SO_4$  tan ortaya çıkan kayıpların yüzeye tatbik edilenden daha az olduğunu belirtmektedir.

Azotlu gübrelerin yüzeye mi, yoksa band şeklinde mi verilmesi gerektiği tartışılırken, soruna etki eden bütün faktörlerin dikkate alınması gerekir. Ancak genel bir ifade olarak, gübrelerin band şeklinde tatbiki kayıpları azaltabilir.

## SONUÇ VE TAVSİYELER

Herhangi bir azotlu gübre toprağa ilave edildiği zaman; gübrenin cinsi, toprak şartları ve bölgedeki iklim olaylarına bağlı olarak azotun bir kısmı  $NH_3$  şeklinde buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Kaybolan miktarlar bazı şartlar altında oldukça önemli değerlere erişmekte ve ekonomik yönden büyük zararlara yol açmaktadır. Kayıpların tamamıyla durdurulması, gerek teorik ve gerekse pratik yönden mümkün değildir. Ancak kayıpların belirli oranlarda azaltılması imkân dahilinde olup, bu taktirde topra-

ğa tatbik edilecek gübre miktarı azalacak ve birim sahadan elde edilen gelir artacaktır.

Daha önce izah edilen ve  $NH_3-N$  kayıpları üzerine etkili olan bazı önemli hususları bir araya getirmek faydalı olacaktır. Genel bir ifade olarak  $NH_3-N$  kayıpları;

1. Toprağın pH değerine bağlı olarak artar. Asit topraklar için büyük bir sorun olmamakla beraber, ilgili mekanizma uyarınca asit topraklardan dahi bir miktar  $NH_3-N$  kaybı olması imkân dahilindedir.

2. Toprakta  $CaCO_3$  ın mevcudiyeti kayıpları arttırmaktadır. Ancak bu durum, kullanılan gübre tipi ile de yakinen ilgilidir.

3. Toprağa verilen azot miktarı ile uçarak kaybolan  $NH_3-N$  miktarları arasında çoğunlukla pozitif bir ilişki mevcuttur.

4. Tatbik edilen gübrenin cinsi, toprak şartlarına bağlı olarak kayıpları etkilemektedir.

5. Kayıplar ısı ile artar.

6. Kayıplar rüzgâr hızı ile doğru orantılı olup, havanın nisbi rutubeti azaldıkça kayıplar artmaktadır. Toprakta buharlaşan su miktarı ile kayıplar arasında müsbet bir ilişki mevcuttur.

7. İnce tekstürlü topraklardaki kayıp, kaba tekstürlü topraklardan daha azdır.

8. Katyon değişim kapasitesi yüksek olan topraklardan meydana gelen kayıp, düşük kat-



yon değişim kapasitesine sahip topraklara oranla daha azdır. Ayrıca değişebilir katyonlar da kayıpları etkilemektedir.

9. Kullanılan gübrenin cinsine bağlı olarak, band usulü ve ya karıştırma şeklindeki gübre tatbikinde ortaya çıkan kayıplar yüzeye uygulamaya oranla daha az olabilir.

Görüldüğü gibi,  $NH_3-N$  kayıpları üzerine çok sayıda faktör etkili olmaktadır. Aslında, bunlardan bir veya birkaçını kendi başına düşünmek mümkün değildir. Bütün etkenlerin bir arada düşünülmesi ve karar verilmesi daha doğru bir yoldur. Ancak, bu etkenlerden bazıları diğerlerine oranla daha önemli olabilir. Bu öneri, sözü edilen faktörlerin bir kısmının diğerlerinden daha önemli olduğu şeklinde anlaşılmamalıdır. Burada belirtilmek istenen husus, bu faktörlerden bir kısmının insan eli ile kontrol edilemeyeceği ve bu nedenle diğerlerine önem verilmesi gerektiğidir. Örneğin, iklim faktörlerini kontrol altına almak mümkün değildir. Toprak tekstürü ve toprağın  $CaCO_3$  muhtevasını da değiştirmek imkânsızdır. Toprağın pH değeri üzerinde ayarlama yapmak mümkün olmakla beraber (kireçleme ve kükürt ilavesi gibi), pahalı bir yoldur. Bu sebeple, tatbik edilen gübrenin cinsi, gübrenin miktarı ve tatbik şekli gibi konular denemeye alınmalı ve kayıpları azaltıcı yollar saptanmalıdır.

Çeşitli toprak tipleri yönünden, hangi gübrelere ne şekilde kullanılması gerektiği hususunda genel bir tavsiyede bulunulabilir. Asit topraklarda  $NH_3-N$  kayıpları yönünden büyük bir problem söz konusu değildir. pH değeri yüksek olan topraklar ise,  $CaCO_3$  ihtiva edenler ve etmeyenler olarak iki kısma ayrılabilir.  $CaCO_3$  ihtiva etmeyen topraklarda gübre çeşidi yönünden yine önemli ölçüde bir sorun yoktur.  $CaCO_3$  ihtiva eden topraklarda ise, Ca ile reaksiyona giren ve reaksiyon ürünü eriyebilir olmayan  $(NH_4)_2SO_4$  gibi gübrelere kullanılması sakıncalıdır. Aslında ileri sürülen bu hususlar, belirli bir anlam taşımaktan uzaktır. Bu tavsiyeler yapılırken sadece toprak pH sı ve  $CaCO_3$  durumları dikkate alınmış ve soruna  $NH_3-N$  kayıpları açısından bakılmıştır. Kayıplar üzerine etkili olan diğer faktörler, bazı iklim olayları, tarım tekniği ve yetiştirilen bitkiler ihmal edilmiştir. Bu sebeple, öne sürülen bu görüşler sadece genel bir tavsiyeden ibarettir.

Amonyum sülfat, amonyum nitrat, sodyum nitrat ve üre memleketimizde kullanılan gübreler arasındadır. Bunlar içerisinde  $(NH_4)_2SO_4$ , en çok kullanılan bir azot kaynağıdır. Bu gübrelere her birinin kendine özgü özellikleri olmakla beraber, bilhassa amonyum sülfat kireçli topraklarda önemli bir sorun doğurmaktadır. Diğer taraftan memleketimizdeki iklim ve toprak şartları

bölgeden bölgeye büyük değişiklik gösterir. Belirli bir gübrenin farklı bölgelerdeki reaksiyonunun aynı olması beklenemez. Farklı iklim ve toprak şartlarında, bitki kullanarak ve  $\text{NH}_3\text{-N}$  kayıpları

üzerine etkili olan faktörleri de dikkate alarak sera ve tarla deneyleri düzenlenmeli ve kayıpları azaltıcı yollar tesbit edilmelidir.

#### FAYDALANILAN YAYINLAR

1. Allison, F.E., 1955. The enigma of soil nitrogen balance sheets. *Advances in Agronomy* VII: 213-250.
2. Bremner, J.M., L.A. Douglas, 1971. Decomposition of urea phosphate in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 575-578.
3. ———, 1973. Effect of some urease inhibitors on urea hydrolysis in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37: 225-226.
4. Chao Tyng-Tsair, W. Kroontje, 1964. Relationship between ammonia volatilization ammonia concentration and water evaporation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 393-395.
5. Du Plessis, M.C.F., W. Kroontje, 1964. The relationship between pH and ammonia equilibria in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 751-754.
6. 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.
7. ———, 1974. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 606-610.
8. Gasser, J.K.R., 1964. Some factors affecting losses of ammonia from urea and ammonium sulphate applied to soils. *J. Soil Sci.* Vol. 15, No. 2, 258-272.
9. Ghilday, B.P., P.N. Singh, 1961. Ammonium fixation in cultivated and afforested alluvial soil. *Soil and Plant Food.* 6: 164-169.
10. Jewitt, T.N., 1942. Loss of ammonia from ammonium sulphate applied to alkaline soils. *Soil Sci.* 54: 401-409.
11. Mahandrappa, M.K., P.O. Solonius, 1974. Ammonia volatilization from black spruce raw humus treated with normal and controlled - released urea. *Soil Sci.* 117: 117-119.
12. Mortland, M.M., 1958. Reactions of ammonia in soils.

Advances in Agronomy. 10: 325-348.

13. Sağlam, M.T., 1974. Erzurum, Hasankale ve Erzincan Ovası topraklarında amonyum fiksasyonu, amonyum fiksasyonu ile potasyum arasındaki bazı ilişkiler, mineralize olan nitrojen ve nitrojen kayıpları üzerinde bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi (Basılmamış).
14. Stojanovic, B.J., F.E. Broadbent, 1960. Recovery of am-

monium nitrogen from soils. Soil Sci. 90: 93-97.

15. Terman, G.L., C.M. Hunt, 1964. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers as measured by crop response. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 667-672.
16. Watkins, S.H., R.F., Strand, D.S. DeBell, J. Esch Jr., 1972. Factors influencing ammonia losses from urea applied to Northwestern forest soils. Sci. Soc. Soc. Amer. Proc. 36: 354-357.