



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997-1291

**AZOTLU GÜBRE YIKANMASI NEDENİYLE YERALTI  
SUYU KAYNAKLARINDAKİ KİRLENME MİKTARININ  
MATEMATİK MODELLERLE BELİRLENMESİ**

**PROJE NO: YDABÇAG-76**

Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve  
Çevre Araştırma Grubu

Earth Marine Atmospheric Sciences and  
Environmental Researches Grant Group

1997-1291

**AZOTLU GÜBRE YIKANMASI NEDENİYLE YERALTI  
SUYU KAYNAKLARINDAKİ KİRLENME MİKTARININ  
MATEMATİK MODELLERLE BELİRLENMESİ**

**PROJE NO: YDABÇAG-76**

**DOÇ. DR. KAHRAMAN ÜNLÜ  
YÜK. MÜH. GÜNAL ÖZENİRLER  
YÜK. MÜH. ADEM İLBEYİ  
DR. HALUK ÜSTÜN**

ODTÜ  
Genve M. B1.  
S-87  
R=29  
Trj. En

**Temmuz 1997  
ANKARA**

## ÖNSÖZ

Bu rapor Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırmaları Grubu'na (YDABÇAG) sunulmak üzere Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ve Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanmıştır. Raporda <sup>15</sup>N kullanarak yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilerden yararlanarak geniş tarımsal alanlarda ürün veriminde ekonomik olarak önemli bir düşüşe neden olmadan YAS kaynaklarının kirlenmesine yol açmayacak optimum azotlu gübre ve sulama suyu miktarlarını belirlemeye yardımcı olacak bir yönetim planı geliştirilmesine ve uygulanmasına yönelik bilgiler sunulmaktadır.

Ülkemizde tarımsal gübre ve ilaçların kontrolsüzce kullanımının tarımın yoğun olduğu alanlarda ciddi toprak, yüzey ve yeraltı suyu (YAS) kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle tarımsal amaçlı kimyasalların kontrollü kullanılması doğal kaynaklarımızın daha fazla kirlenmesini önlemek açısından önem arz etmektedir. Bu rapordaki bilgilerin, azotlu gübre kullanımının doğal kaynaklarımızın kirlenmesine yol açmadan en ekonomik biçimde düzenlenmesi ile ilgili çabuk ve sağlıklı politikalar üretilmesinde ve kararlar alınmasında katkıları olabileceği düşüncesiyle, konu ile yakından ilgili olan kişilerin, kamu ve özel kuruluşların kullanımına sunulması amaçlanmıştır.

Raporun hazırlanmasında katkıları olan proje ekibine ve projenin yürütülmesi için mali destek sağlayan TÜBİTAK'na teşekkür ederiz.

Doç. Dr. Kahraman Ünlü

Proje Yöneticisi

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<i>Şekillerin Listesi</i>	v
<i>Tabloların Listesi</i>	viii
<i>Öz</i>	x
<i>Abstract</i>	xiii
<b>1. Giriş</b>	1
1.1 Projenin Amacı	1
1.2 Projenin Kapsamı	3
1.3 Projenin Sağlayacağı Katkılar	4
<b>2. Materyal ve Metod</b>	5
2.1 Çalışma Alanının Tanımlanması	5
2.2 Çalışma Alanındaki Tarımsal Yapı ve Üretim	7
2.3 Saha Çalışmaları	8
2.3.1 Toprak işleme ve dikim	8
2.3.2 Gübreleme	8
2.3.3 Sulama	9
2.3.4 Hasat	9
2.3.5 Toprak ve YAS örnekleme	9
2.3.6 Toprak suyu ölçümleri	10
2.4 Laboratuvar Çalışmaları	10
2.4.1 Toprakda fiziksel ve hidrolik parametre ölçümleri	10
2.4.2 Toprak, bitki ve su örneklerinde azot ölçümleri	11

2.5	Simülasyon Çalışmaları	12
<b>3.</b>	<b>Matematiksel Modelin Tanımı</b>	<b>13</b>
3.1	Giriş	13
3.2	Modelin Altprogramları	15
3.2.1	Zaman ve derinlik ağ noktaları	15
3.2.2	Su akış rejimi	15
3.2.3	Bitki gelişimi	16
3.2.4	Evapotranspirasyon	16
3.2.5	Suda çözünmüş azot taşınımı	17
3.2.6	Adsorpsiyon	18
3.2.7	Difüzyon ve dispersiyon	18
3.2.8	Buharlaşma	18
3.2.9	Azot transformasyonu	19
3.2.10	Azotun bitki tarafından alınması	20
<b>4.</b>	<b>Modelin Kalibrasyonu</b>	<b>20</b>
4.1	Giriş	20
4.2	Saha ve Laboratuvar Çalışmalarından Elde Edilen Veriler	21
4.2.1	Toprağın fiziksel ve hidrolik özellikleri	23
4.2.2	Toprak-su-bitki sisteminde azot dağılımı	30
4.3	Su Rejiminin Kalibrasyonu	32
4.4	Azot Taşınımı ve Transformasyonunun Kalibrasyonu	40
<b>5.</b>	<b>Duyarlılık Analizleri</b>	<b>44</b>
5.1	Giriş	44
5.2	Reaksiyon Hızı Katsayılarına Duyarlılık	45
5.2.1	Nitrifikasyon katsayısı	45

5.2.2	Denitrifikasyon katsayısı	48
5.2.3	Adsorpsiyon katsayısı	48
5.2.4	Buharlaşma katsayısı	48
5.3	Toprak Hidrolik Özelliklerine Duyarlılık	49
5.4	Bitki Parametrelerine Duyarlılık	67
5.5	Gübre ve Sulama Suyu Uygulamalarına Duyarlılık	67
<b>6.</b>	<b>Modelin Uygulanması</b>	<b>71</b>
6.1	Simülasyon Senaryosu	71
6.2	Simülasyon Sonuçları ve Yönetim Planı Stratejileri	73
<b>7.</b>	<b>Sonuç ve Değerlendirmeler</b>	<b>78</b>
<b>8.</b>	<b>Kaynaklar</b>	<b>82</b>

## Şekillerin Listesi

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Nevşehir ilinde çalışma sahasının konumu	6
Şekil 3.1 LEACHN modelinin dikkate aldığı azot çemberi	14
Şekil 4.1 Çalışma sahasındaki toprak profilini temsil eden ortalama hidrolik iletkenlik ve su tutma eğrileri	28
Şekil 4.2 Çalışma sahasında sulam öncesi ve sonrası toprak profilindeki volümetrik su dağılımları	29
Şekil 4.3 Azotlu gübre ile patates yumru verimi arasındaki ilişki	34
Şekil 4.4 Kalibrasyonda kullanılan ve bitki su tüketimi verisinden hesaplanan evapotranspirasyon değerleri	34
Şekil 4.5 Çalışma sahası için sulama öncesi ve sonrası toprak profilindeki ölçüm ve model tahmini volümetrik su miktarı dağılımları	38
Şekil 4.6 Çalışma sahası için toprak hasat sonrası profilinde ölçüm ve model tahmini $\text{NO}_3$ dağılımı	43
Şekil 5.1 Reaksiyon hızı katsayıları duyarlılık analizleri için hasat sonunda toprak profilinde $\text{NO}_3$ dağılımı ve $\text{NH}_3$ buharlaşma miktarları	46
Şekil 5.2 Değişik nitrifikasyon katsayıları için toprakda (a) toplam $\text{NH}_4$ ve (b) toplam $\text{NO}_3$ konsantrasyonunun haftalık değişimleri	47
Şekil 5.3 Kumlu, tınlı ve killi topraklar için tipik su tutma eğrileri	50
Şekil 5.4 Kumlu, tınlı ve killi topraklar için tipik hidrolik iletkenlik eğrileri	50
Şekil 5.5 Kumlu, tınlı ve killi topraklarda derinliğe göre $\text{NO}_3$ dağılımları	52
Şekil 5.6 Kumlu toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ akım yoğunluğu dağılımı	53

Şekil 5.7 Kumlu toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ akım yoğunluğu dağılımı	54
Şekil 5.8 Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ akım yoğunluğu dağılımı	55
Şekil 5.9 Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ akım yoğunluğu dağılımı	56
Şekil 5.10 Killi toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ akım yoğunluğu dağılımı	57
Şekil 5.11 Kumlu toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ konsantrasyonu dağılım eğrileri	59
Şekil 5.12 Kumlu toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ konsantrasyonu dağılım eğrileri	60
Şekil 5.13 Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ konsantrasyonu dağılım eğrileri	61
Şekil 5.14 Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki $\text{NO}_3$ konsantrasyonu dağılım eğrisi	62
Şekil 5.15 Killi toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki $\text{NO}_3$ konsantrasyonu dağılım eğrisi	62
Şekil 5.16 Kumlu toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki toplam $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ yıkanma miktarları	65
Şekil 5.17 Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki toplam $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ yıkanma miktarları	66
Şekil 5.18 Bitki parametrelerine duyarlılık analizleri için toprak profilinde $\text{NO}_3$ ve $\text{NH}_4$ dağılımları	69



Şekil 6.1 Uzun vadeli simülasyon döneminde kök bölgesi tabanındaki NH <sub>4</sub> ve NO <sub>3</sub> akım yoğunluğu değerleri	76
Şekil 6.2 Uzun vadeli simülasyon döneminde toprak profili tabanındaki NH <sub>4</sub> ve NO <sub>3</sub> akım yoğunluğu değerleri	77
Şekil 6.3 Uzun vadeli simülasyon döneminde toprak profili tabanındaki (a) toplam NH <sub>4</sub> ve (b) toplam NO <sub>3</sub> yıkanma miktarları	78

## Tabloların Listesi

Tablo	Sayfa
Tablo 4.1 Çalışma sahasında yeraltı suyunda gözlemlenen toplam ve $^{15}\text{N}$ etiketli $\text{NO}_3$ konsantrasyonları	22
Tablo 4.2 Çalışma sahasında toprak profilinde ölçülen hacim ağırlığı ve tekstür değerlerinin derinliğe göre dağılımları	23
Tablo 4.3 Çalışma sahasında toprak profilinde farklı derinliklerden alınan bozulmamış toprak örneklerinde laboratuvarında ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri	25
Tablo 4.4 Çalışma sahasında toprak profilinde farklı derinliklere ait basınç yükü ve karşılık gelen volümetrik su miktarı değerleri	26
Tablo 4.5 Çalışma sahasında toprak profilinde sulamalardan önce sonra farklı derinliklerde nötron prob ile ölçülen volümetrik su miktarı değerleri	27
Tablo 4.6 Çalışma sahasında hasat sonunda toprak profilindeki etiketli gübreden gelen $\text{NO}_3$ miktarları	31
Tablo 4.7 Çalışma sahasında hasat sonunda toprak profilindeki etiketli azotlu gübrenin bütçesi	31
Tablo 4.8 Çalışma sahası için su rejimi kalibrasyonunda kullanılan yağmur ve sulama suyu uygulama tarih ve miktarları	35
Tablo 4.9 Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan bitki gelişim periyotları ve bitki örtüsü oranı değerleri	36
Tablo 4.10 Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan kök derinliği ve kök dağılımı oranı değerleri	36
Tablo 4.11 Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan su tüketimi ve su tüketim katsayısı değerleri	36

Tablo 4.12 Su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrilerinde yer alan $a$ ve $b$ parameterlerinin kalibrasyon çalışmaları sonucu elde edilen değerleri	39
Tablo 4.13 Kalibrasyon çalışmaları sonucunda sulama öncesi ve sonrası için ölçülen ve tahmin edilen volümetrik su miktarı değerleri ve karşılık gelen hata kareleri ortalama (HKO) değerleri	39
Tablo 4.14 Kalibrasyonda dikkate alınan papates için bitki gelişimi ve gübre uygulamasına yönelik tarihler ile uygulanan gübre miktarı ve bitkinin azot alımına yönelik veriler	41
Tablo 4.15 Kalibrasyon sonucunda elde edilen azot taşınım ve transformasyon parametrelerinin değerleri	42
Tablo 4.16 Çalışma sahası için hasat sonrası ölçülen ve model tarafından tahmin edilen etiketli azotlu gübrenin bütçesi	42
Tablo 5.1 Kumlu, tınlı ve killi toprakları temsil eden hidrolikparametre değerleri	49
Tablo 5.2 Duyarlılık analizlerinde ayçiçeği için kullanılan bitki gelişim periyotları ve bitki örtüsü oranı değerleri	68
Tablo 5.3 Duyarlılık analizlerinde kullanılan kök derinliği ve kök dağılımı oranı değerleri	68
Tablo 5.4 Duyarlılık analizlerinde kullanılan su tüketimi ve su tüketim katsayısı değerleri	68
Tablo 5.5 Farklı gübre dozu uygulamaları için yapılan duyarlılık analizlerinde hasat sonunda toprağa uygulanan etiketli azotun bütçesi	71
Tablo 5.6 Farklı sulama suyu dozu uygulamaları için yapılan duyarlılık analizlerinde hasat sonunda toprağa uygulanan etiketli azotun bütçesi	71

## ÖZ

Türkiye’de tarımın yoğun olduğu yörelerde yanlış ve aşırı azotlu gübre kullanımının yeraltı suyu (YAS) kaynaklarında önemli miktarlarda kirlenmeye yol açtığı bilinmektedir. Söz konusu kirlilik probleminin tipik güncel bir örneğine kumlu topraklarda fazla miktarlarda azotlu gübre kullanılarak patates yetiştirilen Nevşehir ilinde rastlanmıştır. Azotlu gübrenin ekonomik anlamda tarımsal üretimi artıracak ancak toprak ve YAS kaynaklarını kirlilemeyecek miktarlarda kullanılması, bu kaynakların daha fazla kirlenmesini önlemek ve ekonomik kullanım ömürlerini artırmak açısından önemli bir konudur. Bu raporda,  $^{15}\text{N}$  ile yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilere dayanarak ve matematik modeller kullanarak yürütülen simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar baz alınarak, Türkiye’de geniş tarımsal alanlarda YAS kaynaklarının kirlenmesine yol açmayacak optimum azotlu gübre ve sulama suyu kullanım miktarlarının belirlenmesine yardımcı olacak bir yönetim planı oluşturulması amaçlanmıştır.

Proje hedeflerine ulaşmak için iki aşamalı bir yol izlenmiştir. Birinci aşamada, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde  $^{15}\text{N}$  kullanarak değişik gübre dozları altında azotun toprak-su-bitki sistemi içerisinde dağılımını belirlemeyi, su ve azotun toprak içerisinde hareketini izlemeyi ve toprak hidrolik özelliklerini ölçmeyi amaçlayan saha ve labartuvar çalışmaları yürütülmüştür. İkinci aşamada ise, saha ve labartuvar çalışmalarından elde edilen veriler azot çemberi ve toprak-su-bitki sistemi dinamiğini detaylı bir şekilde dikkate alan LEACHN isimli sayısal bir bilgisayar modeli kullanılarak çok sayıda simülasyon çalışmaları yürütülmüştür.

Simülasyon çalışmaları LEACHN in kalibrasyonunu, duyarlılık analizlerini ve uzun vadeli uygulamalarını kapsamaktadır. Model kalibrasyonu yoluyla sahadaki su rejimini ve azot dağılımını kontrol eden parametrelerin değerleri belirlenmiş ve bu süreçler bakımından modelin saha şartlarını gerçeğe en yakın şekilde benzeştirebilmesi sağlanmıştır. Duyarlılık analizleriyle, yönetim planı oluşturulması bakımından önem arzeden, değişik toprak, bitki ve hidrolojik şartlar altında azotun bitki gelişme sezonu boyunca toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımı incelenmiştir. Kalibre edilen LEACHN modelinin kullanılmasıyla yapılan simülasyonlarla da Nevşehir yöresinde mevcut sulama suyu ve azotlu gübre uygulamalarının uzun dönemde yaratması muhtemel kirlilik yükleri tahmin edilerek uygun sulama suyu-gübre miktarlarını belirleyen bir yönetim planı oluşturulmuştur.

Yürütülen simülasyon çalışmalarının sonuçları yanlış tarımsal uygulamalardan kaynaklanan YAS kirlilik potansiyelini azaltmak amacıyla yönelik uygun azotlu gübre sulama suyu miktarlarını belirleyen yönetim planının oluşturulmasında bazı hususları ön plana çıkarmaktadır. Bu hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir. YAS kirliliği bakımından asıl önemli sorun  $\text{NO}_3$  yıkanmasından kaynaklanmaktadır. Hidrolik iletkenliğin yüksek olduğu kumlu topraklarda bile  $\text{NH}_4$  yıkanması nedeniyle YAS kirliliği bakımından ciddi bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır. Toprağa uygulanan azotlu gübrenin bakiye etkisi tınlı ve özellikle kumlu topraklarda YAS kirliliği açısından oldukça önemli rol oynayan bir faktördür. Azotlu gübrenin bakiye etkisi nedeniyle  $\text{NO}_3$  yıkanmasının azaltılması bakımından, gübre ve sulama suyu uygulama miktarı, zamanı ve sıklığının bitki gelişimi ile uyumlu olarak düzenlenmesi önem arz etmektedir. Sulama suyu-gübre dozu optimizasyonu için yapılacak fayda maliyet analizinde gübre dozunun artması sonucu YAS kirliliğindeki artmanın neden olacağı ekonomik değer kaybı önemli bir etken olarak dikkate alınmalıdır. Nevşehir yöresinde optimum gübre dozunun 40 kg/da-N olması, bitki gelişme sezonu boyunca uygulanacak

toplam sulama miktarının 650 civarında tutulması ve münavebe sisteminin daha yaygın olarak uygulanması topraktaki bakiye azotun YAS na yıkanmasını azaltmada etkili olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** toprak ve yeraltı suyu (YAS) kirliliği, azot yıkanması, toprak-su-bitki sisteminde azot dağılımı, sayısal simülasyon modeli, toprak-su yönetim planı.

## ABSTRACT

Excessive use of nitrogen fertilizers has caused serious pollution of soil and groundwater resources in Turkey. A typical current example of such a pollution problem has been observed in the province of Nevşehir where large quantities of nitrogen fertilizer are used for potato crop grown in sandy soils. Using nitrogen fertilizers at amounts that economically increase crop yield without polluting soil and groundwater resources is essential for preventing further pollution and maintaining economical use of these natural resources. The purpose of the work presented in this report is, based on experimental field data and mathematical model simulations, to produce a management plan for determining the optimum amounts of nitrogen fertilizer and irrigation water application which will minimize groundwater pollution in large agricultural areas in Turkey.

In order to achieve the project objectives a two stage approach was adopted. In the first stage, using  $^{15}\text{N}$  a field experiment and laboratory investigations were conducted, by the Ankara Research Center of Rural Services General Directorate in Derinkuyu region of the province of Nevşehir, to determine distribution of nitrogen within the soil-water-plant system under different irrigation water and fertilizer application rates, to monitor the migration of water and nitrogen within the soil profile and to measure the hydraulic properties of soil. In the second stage, with the data obtained from laboratory and field investigations, a large number of numerical simulations were conducted using a computer model named LEACHN considering the detailed dynamics of of nitrogen cycle within the soil-water-plant system.

Simulation studies included calibration of LEACHN, sensitivity analyses and long term model applications. By model calibration, values of model parameters that control water regime and

nitrogen distribution in the field soil were determined; and that the model adequately simulates the system processes in accordance with the field conditions was assured. By sensitivity analyses, nitrogen distributions within the soil-water-plant system under various soil, plant and hydrological conditions were investigated regarding their importance for developing management plans. By long term simulation runs performed using the calibrated LEACHN, a management plan was developed based on the predictions of pollution loads that are likely under long term applications of existing nitrogen fertilizer and irrigation water amounts in the province of Nevşehir.

Results of the conducted simulation studies revealed some concerns regarding the reduction of potential for groundwater pollution due to misapplication of agricultural practices. These concerns can be summarized as follows.  $\text{NO}_3$  leaching is the major problem for groundwater pollution.  $\text{NH}_4$  leaching is not a serious concern even for highly conductive sandy soils. The effect of residual nitrogen from fertilizer applied to soil is an important factor playing a significant role for groundwater pollution. In order to reduce the  $\text{NO}_3$  leaching due to residual nitrogen effect, the application amount, frequency and timing of fertilizer and irrigation water must be scheduled in accordance with the periods of plant growth. The loss of economic value due to groundwater pollution resulting from increased fertilizer dose must be considered as an important factor for cost benefit analysis optimizing irrigation water-fertilizer doses. Using 40 kg/da as optimum nitrogen dose, near 650 mm water as optimum irrigation water during the growing season and application of extensive crop rotation are considered to be effective measures for reducing nitrogen leaching to groundwater in the province of Nevşehir.



**Key words:** soil and groundwater pollution, nitrogen leaching, nitrogen distribution within soil-water-plant system, numerical simulation model, soil-water management plan.

## 1. Giriş

### 1.1. Projenin Amacı

OECD'nin Çevre Politikaları Komitesi 1992 yılında hazırladığı Türkiye ile ilgili raporunda tarımsal gübre ve ilaçların kontrolsüzce kullanımının tarımın yoğun olduğu alanlarda sızı top rak ve yeraltı suyu (YAS) kirlenmesine yolaçtığı belirtilmekte ve bu kaynakların kirlilikten korunması için ivedi önlemler alınması gerektiği vurgulanmaktadır (OECD, 1992). Ülkemizde YAS kaynakları içme suyu olarak önemli miktarlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, tarımsal amaçlı kimyasalların tarımsal üretimi artıracak, ancak toprak ve su kaynaklarını kirlenmeyecek miktarlarda kullanılması; bu kaynakların daha fazla kirlenmesini önlemek ve ekonomik kullanım ömürlerini artırmak açısından önemli bir konudur.

Yanlış ve aşırı azotlu gübre kullanılması sonucunda topraktan yüzey akış ve drenaj suları ile önemli miktarlarda azot yüzey sularına ve yeraltı suyuna taşınmaktadır. Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde patates üretilen alanlarda 90 kg/da a kadar çıkan dozlarda fazla miktarda gübre ve sulama suyu kullanılması sonucu yöredeki gözlem kuyularından alınan su örneklerinde  $NO_3$  konsantrasyonunun önemli miktarlarda artış göstermesi sorunun genel örneklerinden bir tanesidir (İlbeyi vd., 1996). Aşırı gübreleme sonucu topraktan yeraltı suyuna yikanacak fazlalık azotlu gübre miktarı toprak, bitki, iklim ve sulama suyu miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu konu pek çok saha ve modelleme çalışmalarıyla incelenmiş ve dengeli gübre kullanımı gerektiği sonucuna varılmıştır (Misra vd., 1974a, b, c; Starr vd., 1974; Kırdı vd., 1974; Davidson vd., 1978; Tanji ve Gupta, 1978; Tillotson ve Wagenet, 1982; Wagenet ve Rao, 1983). Değişik azot formları arasında  $NO_3$  azotu toprak içerisinde

oldukca hareketli olması nedeniyle, bitki tarafından alınmayan kısmı kolaylıkla YAS na yıkanmakta veya yüzey akışlarla yüzey sularına erişmektedir.

Azotlu kimyasalların topraktan yeraltı suyuna taşınımının modellenmesinde azotun bu taşınım sırasında uğradığı karmaşık etkileşim ve değişimleri içeren azot çemberi dikkate alınmalıdır. Azot çemberi genel olarak toprakta yaygın olarak bulunan  $NH_4$ ,  $NO_3$ , organik-N ve gaz-N formları arasındaki nitrifikasyon, denitrifikasyon, immobilizasyon, mineralizasyon ve adsorpsiyon süreçlerini içermektedir. Azotun toprak içerisindeki taşınımını ve azot çemberini dikkate alarak tanımlayan analitik ve nümerik modeller geliştirilmiştir. Analitik modeller (Stanford ve Dzienia, 1975; Wagenet vd., 1976) saha şartları altındaki toprak suyu akış rejimini gerçekçi olarak temsil edememektedir. Mevcut nümerik modeller ise (Gureghian vd., 1979; Selim ve Iskandar, 1981a, b) analitik modellerin bu problemini bir ölçüde gidermekle beraber bir boyutlu olmaları nedeniyle ve bitki dinamiğinin simüle edilmesinde yetersiz kalmaktadırlar. NITRO isimli iki boyutlu yeni bir nümerik model Kaluarachchi ve Parker (1988) tarafından geliştirilmiştir. NITRO su rejiminin ve azot transformasyonunun simüle edilmesinde oldukça yeterli olmasına rağmen, bitki su ve azot alımının uzun dönemde simüle edilmesinde yetersiz kalmaktadır. Hutson and Wagenet (1992) tarafından geliştirilen LEACHN modeli topraktaki nitrojen ve bitki dinamiğini mevcut modellerden daha kapsamlı bir şekilde dikkate alarak sözü edilen sorunları büyük ölçüde gidermiştir.

Optimum tarımsal ürün için gerekli olan azotlu gübrelerin yeterli miktar ve zamanda toprak ve yeraltı suyu kirliliğine yol açmadan kullanılmasını sağlayan "bilinçli gübreleme", yöntemleri geliştirilmelidir. Bu yöntemlerin geliştirilmesinde matematik modellerin etkili araçlar olduğu bilinmektedir. Bu çerçevede, sunulan çalışmanın amaçları şunlardır:(i)<sup>15</sup>N kullanarak Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde yürütülmekte olan bir saha çalışmasından

yararlanarak değişik sulama suyu ve gübre dozları altında toprağa ilave edilen azotun bitki ve toprak arasındaki dağılım miktarlarını belirlemek, azotun topraktaki hareketini izlemek ve toprak hidrolik özelliklerini ölçmek; (ii) bilgisayar modeli LEACHN' i saha çalışmasından elde edilen verilerle kalibre ederek bitki yetişme sezonu boyunca değişik zamanlarda uygulanan azotun yıkanma miktarını tahmin etmek; (iii) duyarlılık analizleri yaparak değişik toprak, bitki ve hidrolojik şartlar altında tarımsal üründe düşüşe neden olmadan su kaynaklarının kirlenmesine yol açmayacak uygun sulama suyu ve azotlu gübre miktarlarını belirlemek; ve (vi) kalibre edilmiş LEACHN' i kullanarak Nevşehir yöresinde mevcut sulama suyu ve azotlu gübre uygulayan kombinasyonların uzun dönemde yeraltı suyunda yaratacağı kirliliğin boyutlarını tahmin ederek optimum sulama suyu-gübre uygulamasını sağlayacak bir yönetim planı oluşturmaadır.

### *1.2 Projenin Kapsamı*

Projenin kapsamı iki ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımını ve toprak hidrolik özelliklerini belirleyecek saha çalışmalarını içermektedir. Azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımıyla ilgili alışmalar Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü'nce (KHGM-AAE) Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde yer alan bir proje çerçevesinde yrtlmştir. Bu alışmalar 1995 yılı sonunda tamamlanmıştır. Toprak hidrolik özelliklerini belirleyen saha çalışmaları ise bu proje çerçevesinde tamamlanmıştır.

İkinci aşamada, saha çalışmalarından elde edilen veriler bilgisayar modeli LEACHN'in kullanılmasıyla gerçekleştirilen simulasyon çalışmalarına temel oluşturmuştur. Simulasyon alışmaları projenin b, c ve d maddelerindeki amaçları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Optimum sulama suyu-gübre kombinasyonunun belirlenmesinde saha çalışmasında dikkate alınan deneme konuları öncelikle değerlendirilmiş ve ayrıca ilave simülasyonlarla deneme konularında kapsanmayan sulama suyu-gübre kombinasyonları da dikkate alınmıştır. Simülasyon sonuçlarının Nevşehir yöresi dışındaki tarım alanlarında da uygulanabilmesi için değişik bitki, toprak tekstür ve hidrolojik şartlar altında toprakda azot dağılımını irdeleyen duyarlılık simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda geniş bir toprak yapısı spektrumunu kapsamak amacıyla killi, tınlı ve kumlu tekstür sınıfları dikkate alınmıştır. Simülasyonlarda gerekli olan ve tekstür sınıflarını temsil eden hidrolik parametre değerleri Carsel ve Parrish (1988)' deki "toprak hidrolik özellikleri" veri tabanından sağlanmıştır.

### *1.3 Projenin Sağlayacağı Katkılar*

Projenin en önemli katkısı kaynak ısrafını ortadan kaldıran, ekonomik anlamda tarımsal üretimde düşüşe yol açmadan su kaynaklarının azotlu gübre kullanımından dolayı kirlenmesini önleyen optimum sulama suyu ve gübre uygulamasını sağlayacak bir yönetim planı oluşturulmasına rehberlik edecek nitelikte bilgi üretmiş olmasıdır. Saha çalışmalarına dayanılarak elde edildiğinden, bu bilgilerle oluşturulacak yönetim planları gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Projenin katkıda bulunacak diğer bir özelliğide elde edilen sonuçların uygulamaya aktarılması saha çalışmasının yapıldığı yöreyle sınırlı olmayıp diğer tarımsal alanlardaki uygulamalarda ışık tutacak nitelikte olmasıdır. Bunlara ilave olarak, saha çalışmalarından elde edilen deneysel veriler ileride toprak ve yeraltı suyu kirliliği konusunda gerçekleştirilecek model geliştirme ve uygulama çalışmaları için değerli bir veri kaynağı olacaktır. Ayrıca, bu proje çerçevesinde bir öğrenciye yüksek lisans derecesine yönelik bilimsel bir çalışma yapma olanağı da sağlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1 Çalışma Alanının Tanımlanması

Deneysel saha çalışmaları Orta Anadolu illerinden Nevşehir'in Derinkuyu ilçesinde yürütülmüştür. Nevşehir ili Kızılırmak ve kapalı Konya havzalarının arasında yer almaktadır. Nevşehir'in ve Derinkuyu mevkiinin rakımları sırasıyla 1260 ve 1300 metredir. Çalışma sahasının coğrafi konumunu gösteren bir harita Şekil 2.1 de verilmiştir.

Nevşehir ili kara ikliminin etkisi altındadır. Kışları soğuk ve yağışlı yazları ise sıcak ve kurak geçen bir iklime sahiptir. Yıllık ortalama yağış miktarları Nevşehir'de 410 mm Derinkuyu mevkiinde ise 322 mm civarındadır. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise Nevşehir ve Derinkuyu mevki için sırasıyla 10.4°C ve 9.1°C dir (İlbeyi vd, 1996).

Nevşehir ili toprak özellikleri bakımından değişkenlik arz etmektedir. Büyük toprak gruplarından Kahverengi, Regasol, Kırmızı Kahverengi, Kolüviyal ve Alüviyal topraklar en yaygın olanlarıdır. Bölgede patates tarımının büyük kısmı Kahverengi ve Regasol topraklarda yapılmaktadır. Daha ziyade kum yığını ve volkanik kül üzerinde görülürler. Ana madde genellikle yumuşak kum, marn, kalkerli kil ve tebeşirdir (Toprak-Su, 1982). Çalışmanın yürütüldüğü Derinkuyu yöresinde topraklar volkanik tüf orijinlidirler ve genellikle kumlu ve tınlı olup hafif bünyelidirler. Bu topraklar düşük su tutma kapasitesi ve yüksek hidrolik iletkenlik özellikleri nedeniyle yumru gelişimine ve dolayısıyla patates tarımına çok uygundur (İlbeyi vd, 1996).

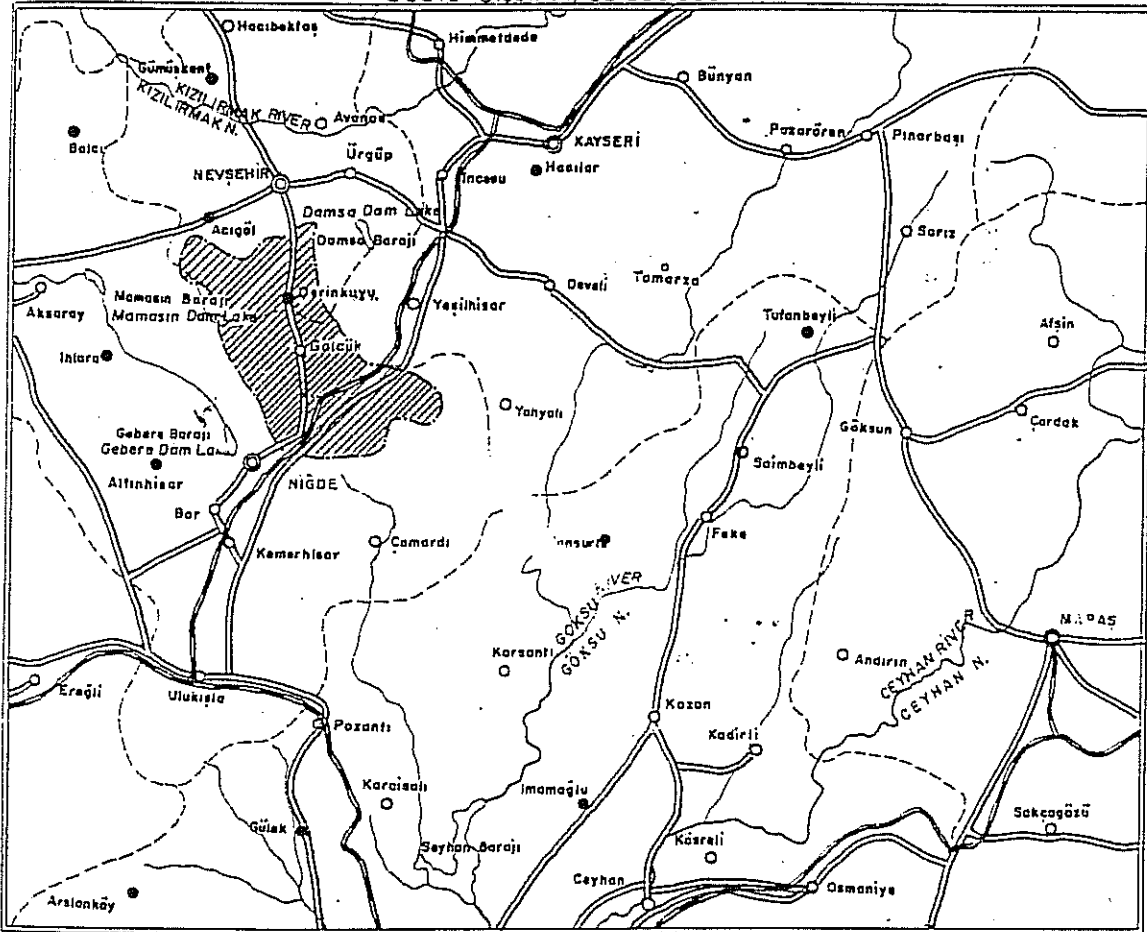
Bölgede jeolojik formasyonlar olarak Kuvarterner yaşlı alüvyonlar, tüf karışımı kum, kil, çakıl ve konglamera, Volkanik Neojen yaşlı bazalt, Eosen yaşlı andezit ve Paleozoik yaşlı

Harita : 1  
Map : 1

## ETÜT SAHASININ TÜRKİYEDEKİ YERİ LOCATION OF THE STUDY AREA IN TURKEY










Scale - Ölçek : 1/30 000 000



ÖLÇEK: 1/850 000  
Scale

### İŞARETLER - LEJAND

 DEMİRYOLU RAILROAD.	 İL MERKEZİ PROVINCE CENTER	 BUCAK MERKEZİ SUB-DISTRICT CENTER
 İYİ EVSAFLI YOL GOOD CONDITION ROAD	 İLÇE MERKEZİ DISTRICT CENTER	 NİĞDE-MİSLİ OVASI ETÜT SINIRI BOUNDARY OF THE NİĞDE - MİSLİ STUDY AREA
 İL SINIRI PROVINCE BOUNDARY	1969 Türkiye Karayolları haritasından alınmıştır. Derived from the 1969 Highway Map of Turkey	

Şekil 2.1. Nevşehir İli'nde çalışma sahasının konumu

gabro bulunmaktadır. Alüvyonlar genellikle az eğimli tuf sırtlarıyla çevrili olup dere yataklarında bulunmaktadırlar ve ortalama 5 metre kalıgındadır. Volkanik Neojen profilleri çoğunlukla kum ve çakıl, nadiren de kil içermektedir (Devlet Su İşleri-DSİ, 1970).

Çalışma sahası civarında yeraltı suyu (YAS) temin eden önemli formasyonlar kum, çakıl, tuf, konglomera ve bazaltlardır. Havzada beslenme alanları kum çakıl ve tufden oluşmaktadır. Yağışlar bu formasyonlardan süzülerek YAS nu beslemektedir. Boşalım ise kaynaklar, kuyu pompajı, evapotransprasyon ve havzanın kuzeyine doğru olan YAS akışı vasıtasıyla olmaktadır (DSİ, 1970). Çalışma sahasında YAS seviyesi 100-150 metre derinlere kadar inmektedir.

## *2.2 Çalışma Alanındaki Tarımsal Yapı ve Üretim*

Çalışmanın yürütüldüğü Derinkuyu ilçesinde toplam tarım arazisi miktarı 23200 hektardır. Bu arazinin yaklaşık %27 sinde sulu ve gerikalan %73 ünde ise kuru tarım yapılmaktadır. İlçede en çok tarımı yapılan bitkiler buğday ve patatesdir. Patates üretimi Nevşehir ili genelinde de önemli bir yer tutmakta olup Türkiye patates üretiminin (4.300.000 ton) yaklaşık %25 i Nevşehir'de yapılmaktadır. Patates alanlarında genellikle patates, buğday münavebesi uygulanmakta, fakat sürekli patates ekimi de yaygın olarak yapılmaktadır. Yörede tek sulama suyu kaynağı YAS olup sulama yöntemi yağmurlama sulamadır ve sadece patates sulanmaktadır. Derinkuyu ilçesinin patates ekim alanı 6800 hektar, üretim miktarı 238.000 ton ve verimi de 3500 kg/da dır (İlbeyi vd., 1996).

Karaca ve Demir (1995) Nevşehir Kapadokya bölgesinde yaptıkları bir çalışmada ekonomik gübre dozu olarak 60 kg-N/da önermişlerdir. Derinkuyu ilçesinde çiftçilerin patatese



uyguladığı azotlu gübre dozunun 90 kg-N/da a kadar çıktığı ve bu uygulamanın sulama suyuyla birlikte yapıldığı İlbeyi vd. (1996) tarafından belirtilmektedir. Yöre topraklarının kumlu ve hidrolik iletkenliğinin yüksek olduğu dikkate alındığında aşırı azotlu gübre kullanımı YAS kirliliğini ve "bilinçli gübreleme" uygulamasını gündeme getirmektedir.

### *2.3 Saha Çalışmaları*

Azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımıyla ilgili saha çalışmaları Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde KHGM-AAE tarafından yürütülmüştür. Deneme konuları tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak uygulanmıştır. Verim parselleri 4.2 m x 5.1 m (21.4 m<sup>2</sup>), isotop parselleri 1.4 m x 0.90 (1.26 m<sup>2</sup>) ebatlarında düzenlenmiştir. Azot kaynağı olarak verim parsellerinde amonyum sülfat ve izotop parsellerinde <sup>15</sup>N ile etiketlenmiş amonyum sülfat gübresi kullanılmıştır. Azot deneme konuları N1=0, N2=20, N3=40, N4=60, N5=80, N6=100 kg-N/da şeklinde düzenlenmiş olup isotop uygulamaları sadece N2 (40 kg-N/da) ve N5 (100 kg-N/da) dozlarında uygulanmıştır. Denemelerin yürütülmesi sırasında aşağıdaki tarımsal işlemler gerçekleştirilmiştir:

#### *2.3.1 Toprak işleme ve dikim*

İlkbaharda deneme kurulan alanlar sürülerek tohum yatağı hazırlanmıştır. Dikim Mayıs ayı başlarında sıraya yapılmıştır. Denemede Granola patates çeşidi kullanılmıştır.

#### *2.3.2 Gübreleme*

Konulara göre hazırlanan azotlu gübrenin yarısı dikim sırasında parsel üzerine serpilerek toprağa karıştırılmıştır. Azotlu gübrenin diğer yarısı birinci sulamadan önce sıralar arasına

verilmiştir. İzotop parsellerinde 40 kg-N/da konusunda %5, 100 kg-N/da konusunda %2 <sup>15</sup>N atom excess'lik amonyum sülfat uygulanmıştır.

### 2.3.3 Sulama

Sulamalar Haziran sonu Temmuz başı döneminde başlayıp sezon boyunca Eylül ayı sonuna kadar devam etmiştir. Toplam 17 adet sulama yağmurlama metoduyla yapılmıştır. Bu sulamaların 4 adedinde sulama suyu miktarları ve sulama süreleri su rejimi kalibrasyonunda kullanılmak üzere ölçülmüştür. Diğer sulamalar ise bu ölçümler dikkate alınmaksızın "çiftçi şartlarında" gerçekleştirilmiştir.

### 2.3.4 Hasat

Bitkiler hasat olgunluğuna geldiğinde verim parselleri kenar tesirleri çıkarılarak hasat edilmiştir. Verim parsellerinde ikişer bitki analizler için alınmıştır.

### 2.3.5 Toprak ve YAS örnekleme

Dikimden önce ve hasatdan sonra, izotop parsellerinden 0-200 cm derinliğinde her 20 cm de bir olmak üzere toplam 10 farklı derinlikten NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, ve <sup>15</sup>N analizleri için toprak numuneleri alınmıştır. Ayrıca, deneme sahasındaki bir gözlem kuyusundan YAS örnekleri alınarak NO<sub>3</sub> konsantrasyonundaki değişimler 14 aylık süre boyunca periyodik olarak gözlemlenmiştir.

### *2.3.6 Toprak suyu ölçümleri*

Toprakda su dağılımını izlemek üzere, 0-200 cm derinliğinde 30 cm lik aralıklarla 4 ayrı sulamadan önce ve sonra nötron prob (Tüzüner, 1990) kullanılarak volümetrik toprak suyu miktarı ölçümleri yapılmıştır. Hasat sonunda olmak üzere, gene aynı derinliklerden hidrolik ve fiziksel toprak özelliklerinin ölçülmesi için bozulmamış toprak örnekleri de alınmıştır.

### *2.4 Labaratuvar Çalışmaları*

Sezon boyunca değişik dönemlerde alınan bitki, toprak ve YAS numunelerinde çeşitli kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerin belirlenmesi için labaratuvar analizleri yapılmıştır.

#### *2.4.1 Toprakda fiziksel ve hidrolik parametre ölçümleri*

Toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerini belirlemek üzere 200 cm derinliğe kadar 30 cm aralıklarla alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde labaratuvar analizleri yapılmıştır. Bozulmuş toprak numunelerinde bünye analizleri, bozulmamış toprak örneklerinde ise hacim ağırlığı, satüre hidrolik iletkenlik ve su tutma eğrisi ölçümleri yapılmıştır. Bünye analizleri Tüzüner (1990) tarafından verilen hidrometre metoduna göre, kurutularak 2 mm lik elekden geçirilen toprak örneklerinde kütle bazında kum, tın ve kil fraksiyonlarının yüzdelerinin belirlenmesi suretiyle yapılmıştır. Hacim ağırlığı ölçümleri 10 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki silindirik şekilli bozulmamış toprak numuneleri kullanılarak toprak örneğinin toplam kuru kütlesi ve toplam hacmine dayanılarak yapılmıştır (Tüzüner, 1990).

Satüre hidrolik iletkenlik değerleri Klute (1986) tarafından verilen sabit yük metodu kullanılarak ölçülmüştür. Su tutma eğrileri ıslak ucda (0-200 cm basınç aralığında) gene Klute (1986) da verildiği şekilde, tempe basınç hücreleri kullanılarak başlangıçda satüre haldeki bozulmamıs toprak numunesinin 50 şer cm lik kademeli hava basıncı artışlarına maruz bırakılarak drene edilmesi suretiyle ölçülmüştür. Kuru ucda (300 cm -  $15 \times 10^3$  cm basınç aralığında) ise Klute (1986) da verilen "pressure cooker" metodu kullanılmıştır. Bu metodda, başlangıçda satüre haldeki bozulmuş toprak numuneleri değişik hava basınçlarına maruz bırakılarak drene edilmekte ve toprakda kalan su miktarı gravimetrik olarak belirlenmektedir. Satüre hidrolik iletkenlik ve su tutma eğrisi ölçümleri kullanılarak volümetrik su miktarı veya basınç yüküne bağlı olarak toprak profili için hidrolik iletkenlik fonksiyonu elde edimiştir. Bu fonksiyon daha sonra, kalibrasyon kısmında detayları verildiği gibi, bir ampirik modele uyarlanarak su akış rejimi kalibrasyonu ve simülasyonlarda kullanılmıştır.

#### *2.4.2 Toprak, bitki ve su örneklerinde azot ölçümleri*

İsotop parsellerine uygulanan  $^{15}\text{N}$  etiketli azotlu gübrenin toprak profili içerisindeki dağılımı ve bitki tarafından topraktan alınan azot miktarları hasat sonunda alınan bitki ve toprak örnekleri üzerinde yapılan analizlerle belirlenmiştir. 0-200 cm derinlikden 20 şer cm aralıklarla alınan toprak örnekleri kurutulup 2 mm lik elekden geçirildikten sonra  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  formundaki  $^{15}\text{N}$  konsantrasyonlarının belirlenmesi için analize tabi tutulmuşlardır.  $^{15}\text{N}$  analizleri Nükleer Tarım Araştırma Enstitüsü laboratuvarlarında Axmann vd. (1990) da verildiği şekilde emisyon spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır.

Hasat zamanında isotop parsellerindeki iki bitkinin yumruları ve toprak üstü aksamaları (yaprak, gövde ve dal) ayrı ayrı alınarak fırında kurutulup, öğütülmüş ve 2 mm lik elekden

geçirilerek analize hazırlanmıştır. YAS ve bitki örneklerinde  $^{15}\text{N}$  analizleri de Nükleer Tarım Araştırma Enstitüsü laboratuvarlarında Axmann vd (1990) da verildiği şekilde emisyon spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Axmann vd (1990) kullanılan yöntemle bitki, toprak ve su numunelerindeki  $^{15}\text{N}$  ölçümlerinde hata payının % 0.01 olacağını ifade etmektedir.

### *2.5 Simulasyon Çalışmaları*

Optimum sulama suyu ve azotlu gübre kullanımı yoluyla YAS kirliliğinin azaltılmasına yönelik yönetim planı oluşturulmasını sağlamak üzere gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları için Hutson ve Waganet (1992) tarafından geliştirilen LEACHN modeli kullanılmıştır. Modelin matematiksel altyapısı topraktaki su akışı ve azot taşınımını tanımlayan iki ayrı kısmi differansiyel denklemden oluşmaktadır. Denklemlerin nümerik çözümü sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. LEACHN topraktaki değişik azot formlarının simultane değişim (transformasyon) ve taşınımını, azot formlarının sistem içerisindeki konsantrasyonlarını zaman ve mekana bağlı olarak tahmin edebilen bir boyutlu sayısal bir modeldir. Modelde dikkate alınan azot çemberi toprakda yaygın olarak bulunan  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ , organik-N ve gaz-N çeşitleri arasındaki nitrifikasyon, denitrifikasyon, immobilizasyon, mineralizasyon, ve adsorpsiyon süreçlerini içermektedir. LEACHN modeli ile ilgili detaylar raporun bundan sonraki bölümünde sunulmuştur.

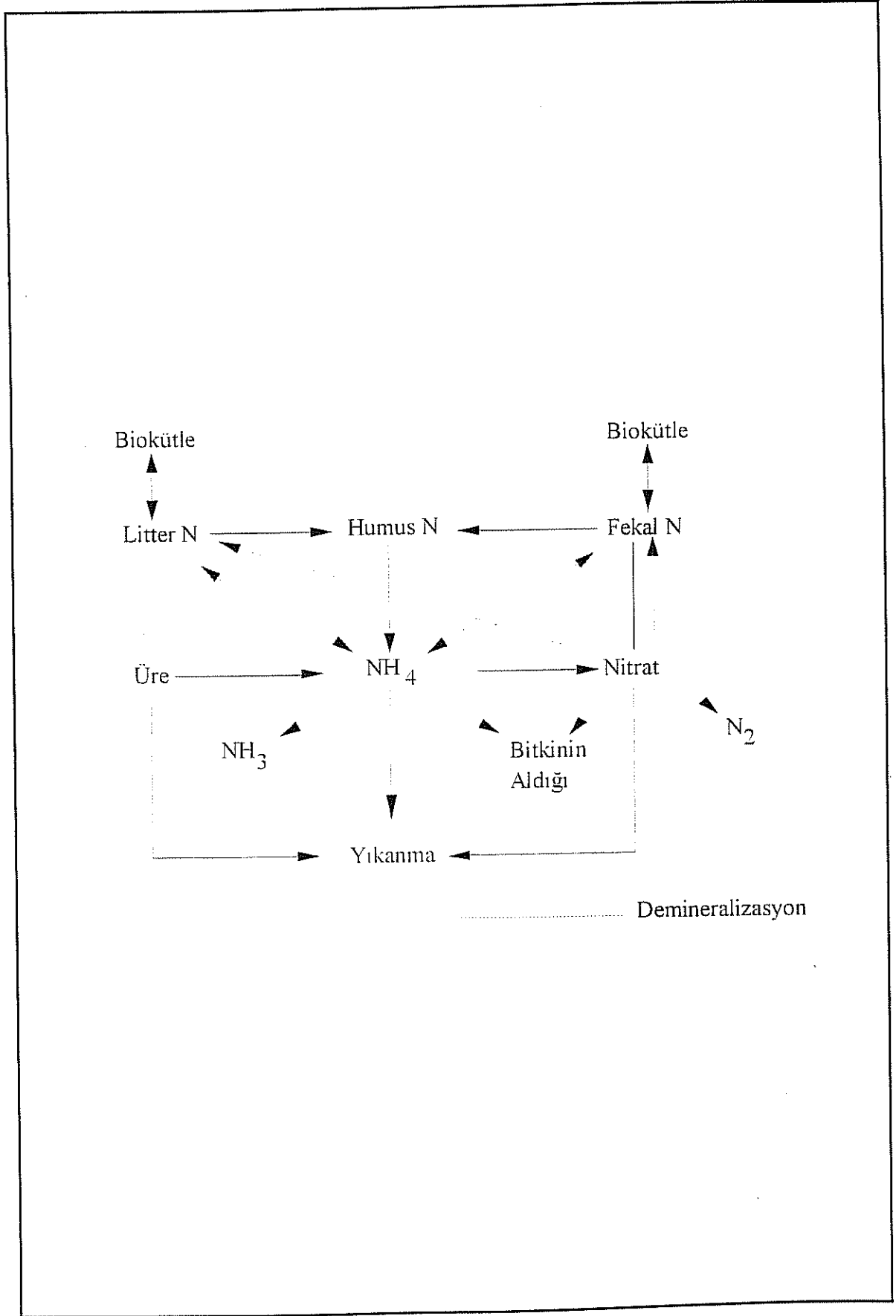
LEACHN modelinin belirtilen amaca uygun olarak kullanılabilmesi için öncelikle kalibre edilmesi gerekmektedir. Su rejimi ve azot dağılımına ilişkin saha ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler modelin toprak suyu akış rejimi ve azot taşınımı, transformasyonu ve bitki tarafından alımı ile ilgili bileşenlerinin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Modelin kalibrasyonuna ilişkin detaylar raporun modelin tanımını yapan bölümü takiben sunulmuştur.

### 3. Matematiksel Modelin Tanımı

#### 3.1 Giriş

LEACHN toprak-su-bitki sisteminde azot dağılımını tanımlayan bir simülasyon modelidir. Model toprak profilinde su akış rejimini, azotun toprak içerisindeki taşınımını ve değişik formlara transformasyonunu, bitki gelişimine bağlı olarak su ve azotun bitki kökleri tarafından absorpsiyonunu simüle edebilmektedir. LEACHN'de su akım oranı, volümetrik su miktarı ve basınç yükünü tahmin etmek üzere Richard denklemi sonlu farklar yöntemiyle çözülmüştür. Bu denklemin çözümü için toprak hidrolik özellikleri (su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrileri), sınır koşulları ile toprak profiline su girdi ve çıktısını gösteren diğer koşulların (yağmur, sulama, evaporasyon ve transpirasyon) tanımlanması gerekmektedir. LEACHN'de topraktaki azot akım oranı ve konsantrasyon dağılımı için edvektif-dispersif denklem sonlu farklar yöntemiyle çözülmüştür. Azotun değişik organik ve inorganik ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ) formlar arasındaki akışı ve transformasyonu Johnson vd. (1987) de verilen kavram ve denklemlerin uyarlanmasıyla tanımlanmıştır. LEACHN modelinin topraktaki azotun değişimini tanımlamak üzere dikkate aldığı azot çemberi Şekil 3.1 de sunulmaktadır.

LEACHN modüler temelde organize edilmiş bir modeldir. Ana program değişkenlere başlangıç değerlerini vermekte, altprogramları çağırmakta ve sistemdeki madde dengesini kontrol etmektedir. Alt programlar, veri giriş ve çıkış dosyaları, zaman aralığı hesapları, buharlaşma, su akışı, azot taşınımı ve transformasyonu, bitki yaprak ve kök gelişimi ile bitki tarafından azot ve su absorpsiyonuyla ilgilidir. Programın iyi tanımlanmış altprogramlara bölünmüş olması, herhangi bir altprogramın kolayca değiştirilmesini veya geliştirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.1. LEACHN modelinin dikkate aldığı azot çemberi

### 3.2 Modelin Altprogramları

Modelin altprogramlarca belirlenen ana unsurları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

#### 3.2.1 Zaman ve derinlik ağ noktaları

LEACHN, 2 m derinliğe kadar olan yüzey toprakları için uygulanan, tek boyutlu bir sonlu farklar modelidir. Derinlik birimleri, tüm profil boyunca eşit kalınlıkta ( $\Delta z$ , mm) çoğunlukla 25 ila 100 mm olmaktadır. Su akışı ve suda çözülmüş madde taşınım denklemleri sonlu farklar yöntemiyle sayısal olarak çözülmektedir. LEACHN'de zaman aralıkları, yüksek su akış yoğunluklarının olduğu zaman aralıklarında otomatik olarak azaltılmaktadır. Kullanıcı, en uzun zaman aralığını (en yüksek 0,1 gün) ve bir zaman aralığı süresince izin verilen en yüksek su akım yoğunluğunu (genellikle  $0,01(\Delta z)$  mm.gün<sup>-1</sup>) belirleyebilmektedir. Sulamanın başlaması, çıktı almak gibi işlemler 0,1 gün'lük artışlara yapılabilmektedir.

#### 3.2.2 Su akış rejimi

Su akış rejimi

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C_w \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial (h+z)}{\partial z} \right] - U(z, t) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilen Richards denkleminin çözülmesi ile simüle edilmektedir. Burada  $\theta$  volümetrik su miktarını [ $L^3/L^3$ ];  $h$  basınç yükünü [ $L$ ];  $C_w = d\theta/dh$  özgül su tutma kapasitesini [ $L^{-1}$ ];  $z$  toprak derinliğini [ $L$ ];  $t$  zamanı [ $T$ ]; ve  $U$  toprak suyunun bitki kökleri tarafından absorbe edilme oranını [ $T^{-1}$ ] ifade etmektedir. Richards denkleminin çözümünde su tutma eğrisi  $h(\theta)$  ve hidrolik iletkenlik  $K(\theta)$  için



$$h = a \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b} \quad (3.2.a)$$

$$K(\theta) = K_s \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2b+2} \quad (3.2.b)$$

şeklinde ifade edilen parametrik Campbell (1974) denklemleri kullanılmaktadır. Burada  $a$  ve  $b$  ampirik sabitleri;  $\theta_s$  toprağın satüre haldeki volümetrik su miktarını;  $K_s$  toprağın satüre haldeki hidrolik iletkenliğini [L/T] ifade etmektedir.

LEACHN de toprak profilinin alt sınır koşullarını belirlemek için beş (5) seçenek mevcuttur: (i) sabit basınç potansiyeli, (ii) birim hidrolik eğim (serbest drenaj), (iii) sıfır su akım yoğunluğu, (iv) lizimetre tankını temsil etmek için (i) ve (iii)'den oluşan kombinasyon, (v) değişken bir su tablası. Toprak yüzeyi sınır koşulları sıfır su akım yoğunluğu ve sabit veya zamana bağlı olarak değişebilen infiltrasyon veya buharlaşma olarak belirlenebilmektedir. Eğer toprağın infiltrasyon kapasitesi belirlenen infiltrasyon oranından az ise, model toprak yüzeyinde biriken suyu fazlalık olarak dikkate almaktadır.

### 3.2.3 Bitki gelişimi

Kök dağılımları ve bitki örtüsü gelişimi sabit olabilir veya ampirik zamana bağlı bir gelişim eğrisi takip edebilir. Bu eğriler kök uzunluğu ve bitki örtü gelişim periyotları, potansiyel kök derinliği ve bitki örtü oranı belirtilerek değiştirilebilir.

### 3.2.4 Evapotranspirasyon

Potansiyel evapotranspirasyon ( $ET_p$ , mm) haftalık toplam olarak programa girilmektedir. Günlük değerler interpolasyon yoluyla  $ET_p$  nun 0,3 ile 0,8 gün, yani sabah 7 akşam 19

saatleri, arasında sinüsoidal şekilde değiştiği varsayılarak elde edilmektedir. Mevcut bitki örtüsü oranına göre,  $ET_p$  potansiyel transpirasyon ve potansiyel yüzey buharlaşması bileşenlerine ayrılmaktadır. Toprak derinlik birimi  $i$ 'deki mevcut suyun bitki kökleri tarafından absorpsiyonu

$$U_i = \frac{[H_r + z_i (1 + R_c) - h_i - s_i] f_{ri} K_i}{\Delta x \Delta z} \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada  $U_i$  transpirasyon yoluyla su kaybı terimi ( $\text{gün}^{-1}$ );  $H_{root}$  bitkideki en yüksek su potansiyeli (mm);  $1 + R_c$  kök direnç terimi ( $R_c$  bitki kök sisteminde kullanıcı tarafından belirtilen akış katsayısı);  $h_i$  toprak suyu basınç potansiyeli (mm);  $s_i$  osmotik potansiyel (mm);  $f_{ri}$   $\Delta z$  derinlikdeki aktif kök oranı;  $K_i$  hidrolik iletkenlik (mm/gün);  $z_i$  grid noktası  $i$ 'ye kadar olan derinlik (mm);  $\Delta x$  toprakda  $h_i$  ve  $s_i$ 'nin ölçüldüğü noktanın bitki köküne olan uzaklığı (yaklaşık 10 mm) olarak ifade edilmektedir.

### 3.2.5 Suda çözülmüş azot taşınımı

Suda çözünen kimyasalın taşınımı

$$\frac{\partial (\theta C_L + \rho_b C_S)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} [\theta D (\theta, q) \frac{\partial C_L}{\partial z} - q C_L] \pm \phi (C_L, C_S, t) \quad (3.4)$$

şeklinde verilen edveksiyon-dispersiyon denklemi ile simüle edilmektedir. Burada  $C_L$  suda çözülmüş konsantrasyonu [ $\text{M}/\text{L}^3$ ];  $C_S$  katı yüzeyinde adsorbe edilmiş konsantrasyonu [ $\text{M}/\text{M}$ ];  $\rho_b$  toprağın hacim ağırlığını [ $\text{M}/\text{L}^3$ ];  $D$  dispersiyon katsayısını [ $\text{L}^2/\text{T}$ ];  $q$  su akım yoğunluğunu [ $\text{L}/\text{T}$ ]; ve  $\phi$  ise azotun transformasyonu ve bitki tarafından absorpsiyonu [ $\text{M}/\text{L}^3\text{T}$ ] gibi süreçleri temsil etmektedir.

Sıvı fazdaki kirletici taşınımı için üst sınır koşulları, sıfır madde akım yoğunluğu veya infiltre olan sudaki çözülmüş madde konsantrasyonu şeklinde belirlenebilmektedir. Alt sınır koşulları

ise sabit konsantrasyon veya profilin altında yer alan bir karışım hücresinde zamana bağlı olarak değişen mevcut konsantrasyon değeri olarak belirlenebilmektedir. Su akış rejimi bakımından alt sınır sebest drenaj olarak belirlendiğinde, suda çözülmüş maddenin profilde yukarı taşınması mümkün olmamaktadır.

### 3.2.6 Adsorpsiyon

LEACHN modelinde  $\text{NH}_4$  un toprak tarafından adsorpsiyonunun

$$C_S = K_d C_L \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilen doğrusal **sorpsiyon** izotermiyle tanımlanabileceği varsayılmaktadır. Burada  $K_d$   $\text{NH}_4$  iyonunun katı ve sıvı fazlar arasındaki dağılım katsayısını ( $\text{L}^3/\text{M}$ ) göstermektedir.

### 3.2.7 Difüzyon ve dispersiyon

Toprağın dispersiyon katsayısı, sıvı fazdaki moleküler difüzyon katsayısı ve hidrodinamik dispersiyon katsayısı toplamı olarak

$$D = D_o + \lambda |v| \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada  $D_o$  sıvı fazdaki moleküler difüzyon katsayısını [ $\text{L}^2/\text{T}$ ];  $\lambda$  dispesiviteyi [ $\text{L}$ ]; ve  $v = q/\theta$  is su akış hızını [ $\text{L}/\text{T}$ ] ifade etmektedir.

### 3.2.8 Buharlaşma

LEACHN modelinde  $\text{NH}_4$  un toprak yüzeyinden buharlaşma yoluyla olan kaybı birinci dereceden kinetik reaksiyonlar

$$\frac{dC_{NH_4}}{dt} = \mu_v C_{NH_4} \quad (3.7)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $C_{NH_4}$  toprak yüzeyindeki  $NH_4$  konsantrasyonunu  $[M/L^3]$  ve  $\mu_v$  birinci dereceden reaksiyon katsayısını  $[T^{-1}]$  ifade etmektedir.

### 3.2.9 Azot transformasyonu

LEACHN'de organik,  $NH_4$  ve  $NO_3$  formları arasındaki azot akışı ve transformasyonunu temsil etmek için Johnsson vd. (1987) tarafından geliştirilen yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Önemli N transformasyonları aşağıdaki şekilde belirtilmektedir:

(i) *Mineralleşme*: birinci dereceden reaksiyon kinetiği kullanarak

$$\frac{dC_{org}}{dt} = -\mu_{mi} C_{org} \quad (3.8)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $C_{org}$  organik formdaki azot konsantrasyonunu  $[M/L^3]$  ve  $\mu_{mi}$  ise birinci dereceden reaksiyon katsayısını  $[T^{-1}]$  temsil etmektedir.

(ii) *Nitrifikasyon*:  $NH_4$  konsantrasyonuyla doğru orantılı olarak arttığı ve  $NO_3$  konsantrasyonuyla azaldığı varsayılarak

$$\frac{dC_{NH_4}}{dt} = -\mu_{nit} \left( C_{NH_4} - \frac{C_{NO_3}}{r_{max}} \right); \quad C_{NH_4} > \frac{C_{NO_3}}{r_{max}} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $\mu_{nit}$  reaksiyon katsayısını;  $C_{NO_3}$  nitrat konsantrasyonunu  $r_{max}$  ise en yüksek  $C_{NO_3}/C_{NH_4}$  oranını ifade etmektedir. Ayrıca,  $C_{NH_4} < C_{NO_3}/r_{max}$  iken nitrifikasyonun olmadığı, diğer bir deyişle  $dC_{NH_4}/dt = 0$  varsayılmaktadır.

(iii) *Denitrifikasyon*: Michaelis-Menten kinetiği varsayılarak

$$\frac{dC_{NO_3}}{dt} = \frac{-\mu_{denit} C_{NO_3}}{(C_{NO_3} + C_{sat})} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $\mu_{denit}$  potansiyel reaksiyon katsayısını ve  $C_{sat}$  ise yarı-satürasyon sabitini ifade etmektedir.

### 3.2.10 Azotun bitki tarafından alınması

LEACHN modelinde bitkinin topraktan azot alımında Watts ve Hanks (1978) tarafından geliştirilen bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre her bir bitki için potansiyel azot alımı  $U_{Npot}$  nın tanımlanması gerekmektedir. Bitki tarafından alınan toplam azot miktarı  $FTNU$ , bitkinin gelişme sezonu boyunca eriştiği olgunluk durumu  $FGS$  nun fonksiyonu olarak ampirik bir ilişkiyle hesaplanmaktadır. Günlük potansiyel azot alımı  $FTNU$  ve  $U_{Npot}$  çarpımındaki günlük artışların toplamından hesaplanmaktadır. Belirli bir toprak derinliği ve zaman aralığına karşılık gelen  $U_{Npot}$ , potansiyel transprasyon miktarıyla orantılı olarak değişmektedir.

## 4. Modelin Kalibrasyonu

### 4.1 Giriş

Aşırı azotlu gübre ve sulama suyu kullanımı nedeniyle YAS kirliliğinin azaltılmasına yönelik yönetim planı stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla yapılacak simülasyon çalışmaları için LEACHN modelinin kalibre edilmesi gerekmektedir. Model kalibrasyonunun temel amacı

sahadaki su rejimini ve azot dağılımını kontrol eden parametrelerin değerlerinin belirlenmesi ve bu süreçler bakımından modelin saha şartlarını gerçeğe en yakın şekilde benzeştirebilir hale getirilmesidir.

Kalibrasyon çalışmaları iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşamada model toprak profilindeki su rejimi için kalibre edilmiştir. Bu aşamada suyun toprak profilindeki zamana ve derinliğe göre dağılımını kontrol eden hidrolik parametrelerin ve bitkinin su tüketimi ile ilgili parametrelerin kalibrasyonu önem arz etmektedir. Kalibrasyonun ikinci aşaması ise, su rejimi kalibrasyonunu baz alarak, etiketli azotun toprak profilindeki taşınımı, transformasyonu ve bitki tarafından alınmasıyla ilgili olarak gerçekleştirilmiş ve ilgili parametre değerleri belirlenmiştir. Model kalibrasyonunun bütününe kabul edilebilirliğinde ölçüt olarak sahada toprak profilinde ölçülen su ve azot dağılımı ile model tarafından tahmin edilen dağılımlar arasındaki yakınlık dikkate alınmıştır. LEACHN'in kalibrasyonunda kullanılan su rejimi ve azot dağılımına ilişkin saha ve laboratuvar çalışmaları sonucu toplanan veriler bir sonraki bölümde sunulmuştur.

#### *4.2 Saha ve Laboratuvar Çalışmalarından Elde Edilen Veriler*

Saha çalışmalarının yapıldığı dönemlerde deneme sahasındaki bir gözlem kuyusundan periyodik olarak alınan su numunelerindeki  $\text{NO}_3$  konsantrasyonları Tablo 4.1 de sunulmuştur. Tablodan görüleceği gibi 14 aylık gözlem döneminde YAS  $\text{NO}_3$  konsantrasyonunda önemli sayılabilecek bir artış görülmektedir.

LEACHN modelinin topraktaki su akış rejimi ve azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımıyla ilgili bileşenlerinin kalibrasyonunda kullanılmak üzere saha ve laboratuvar

Tablo 4.1. Çalışma sahasında yeraltı suyunda gözlemlenen toplam ve <sup>15</sup>N etiketli NO<sub>3</sub> konsantrasyonları

YAS Örnekleme Tarihleri															
15.06.1994		15.07.1994		16.09.1994		30.10.1994		14.07.1995		28.07.1995		21.08.1995		14.09.1995	
<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)	<sup>15</sup> NO <sub>3</sub> (mg/L)	Top. NO <sub>3</sub> (mg/L)
1,7	75,0	2,9	75,0	3,0	80,0	21,0	78,0	-	58,0	-	63,0	1,9	38,0	4,7	60,0

çalışmaları sonucu gerekli veri toplanmıştır. Bu çalışmalarda toprağın fiziksel ve hidrolik özellikleri ile su ve azotun değişik toprak derinliklerindeki miktarları ölçülmüştür.

#### 4.2.1 Toprağın fiziksel ve hidrolik özellikleri

Toprağın fiziksel ve hidrolik özelliklerini belirlemek üzere 200 cm derinliğe kadar 30 cm aralıklarla alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde laboratuvar analizleri yapılmıştır. Bozulmuş toprak örneklerinde bünye analizleri, bozulmamış toprak örneklerinde ise hacim ağırlığı, satüre hidrolik iletkenlik ve su tutma eğrisi ölçümleri yapılmıştır. Bünye analizi ve hacim ağırlığı ölçüm sonuçları Tablo 4.2 de sunulmuştur. Sonuçlar çalışma

Tablo 4.2. Çalışma sahasında toprak profilinde ölçülen hacim ağırlığı ve tekstür değerlerinin derinliğe göre dağılımları

Toprak Derinliği (cm)	Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Bünye
0-15	1,66	71,12	14	14,88	Kumlu Tın
15-30	1,66	77,12	10	12,88	Kumlu Tın
30-60	1,65	83,12	6	10,88	Tınlı Kum
60-90	1,63	83,12	6	10,88	Tınlı Kum
90-120	1,61	83,12	6	10,88	Tınlı Kum
120-150	-	79,12	10	10,88	Kumlu Tın
150-180	-	83,12	8	8,88	Tınlı Kum
180-210	-	79,12	12	8,88	Tınlı Kum

sahasında toprakların hafif bünyeli (kum ve kumlu tın) olduğunu göstermektedir. Toprak profilinde farklı derinliklerde ölçülen satüre hidrolik iletkenlik değerleri Tablo 4.3 verilmektedir. Hidrolik iletkenlik değerleri 150 cm nin altında 5 cm/gün mertebesine



düşmekle birlikte profil için (0-200 cm) ortalama değer kumlu topraklar için tipik sayılabilecek bir değer olan 35 cm/gün düzeyindedir. Toprak profilinde 120 cm derinliğe kadar 30 ar cm lik aralıklardaki derinliklerde 0 cm (saturasyon) ile 15300 cm (solma noktası) arasında farklı basınç yüklerine karşılık gelen volümetrik su miktarları Tablo 4.4 verilmiştir. Ortalama su tutma eğrisi elde etmek üzere Tablo 4.4 de verilen herbir basınç yüküne karşılık gelen volümetrik su miktarı değerlerinin derinlik üzerinden ortalaması alınmış ve bu ortalama değerler denklem 3.2.a da verilen parametrik modele uyarlanarak tüm profil için empirik  $a$  ve  $b$  değerleri tahmin edilmiştir. Denklem 3.2.b de verilen hidrolik iletkenlik modeli ve tahmin edilen bu  $a$  ve  $b$  parametre değerleri kullanılarak tüm profil için hidrolik iletkenlik fonksiyonu elde edilmiştir. Çalışma sahasındaki toprak profilini temsil eden ortalama su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrileri Şekil 4.1 de sunulmuştur.

Çalışma sahasında topraktaki su dağılımını izlemek üzere her sulamadan önce ve sonra 200 cm derinliğe kadar 30 cm aralıklarla nötron prob kullanılarak volümetrik su miktarı ölçümleri yapılmıştır. Bu veriler ise Tablo 4.5 ve Şekil 4.2 de sunulmuştur. Sonuçlar toprak profilinin 0-65 cm derinlikteki sıg kısmının sulama öncesi oldukça kuru olduğunu göstermekte ve sulama sonrası tüm profildeki su miktarının genellikle tarla kapasitesi düzeyine eriştiği gözlemlenmektedir. Değişik zamanlarda yapılan bu ölçümlerden profildeki volümetrik su miktarı dağılımının benzer olduğu görülmektedir. Su miktarında en fazla değişikliğin profilin 0-65 cm lik sıg (kök bölgesi) kısmında olduğu buna karşılık 65 cm den sonraki derinliklerde su dağılımının kararlı bir rejime sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.3. Çalışma sahasında toprak profilinde farklı derinliklerden alınan bozulmamış toprak örneklerinde laboratuvarında ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri

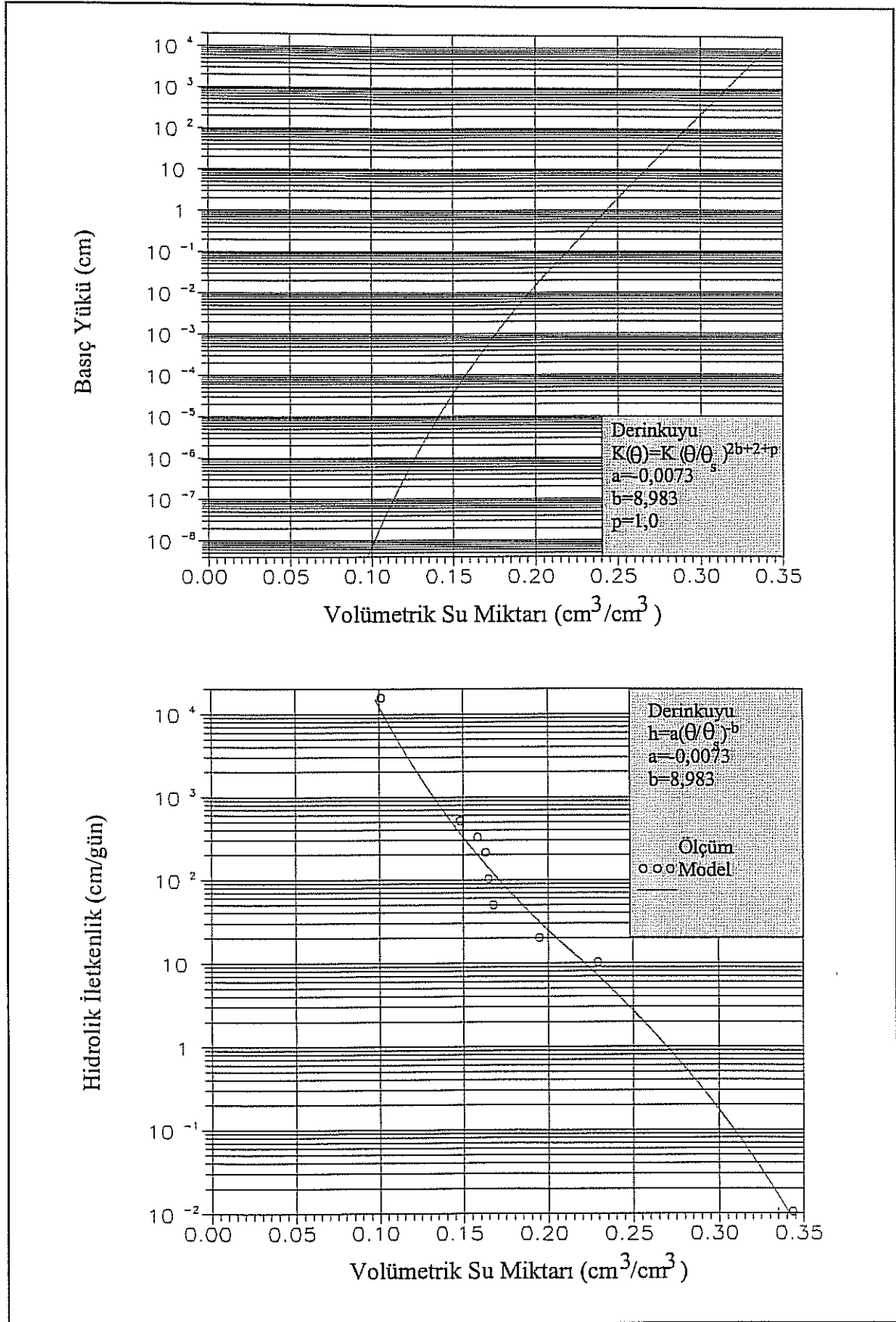
Toprak Derinliği (cm)	Saturasyon hidrolik iletkenlik (cm/saat)
0 - 30	30,80
30 - 60	22,17
60 - 90	51,66
90 - 120	72,91
120 - 150	58,33
150 - 180	4,99
180 - 210	4,31
0-200	35,02

Tablo 4.4. Çalışma sahasında toprak profilinde farklı derinliklere ait basınç yükü ve karşılık gelen volümetrik su miktarı değerleri

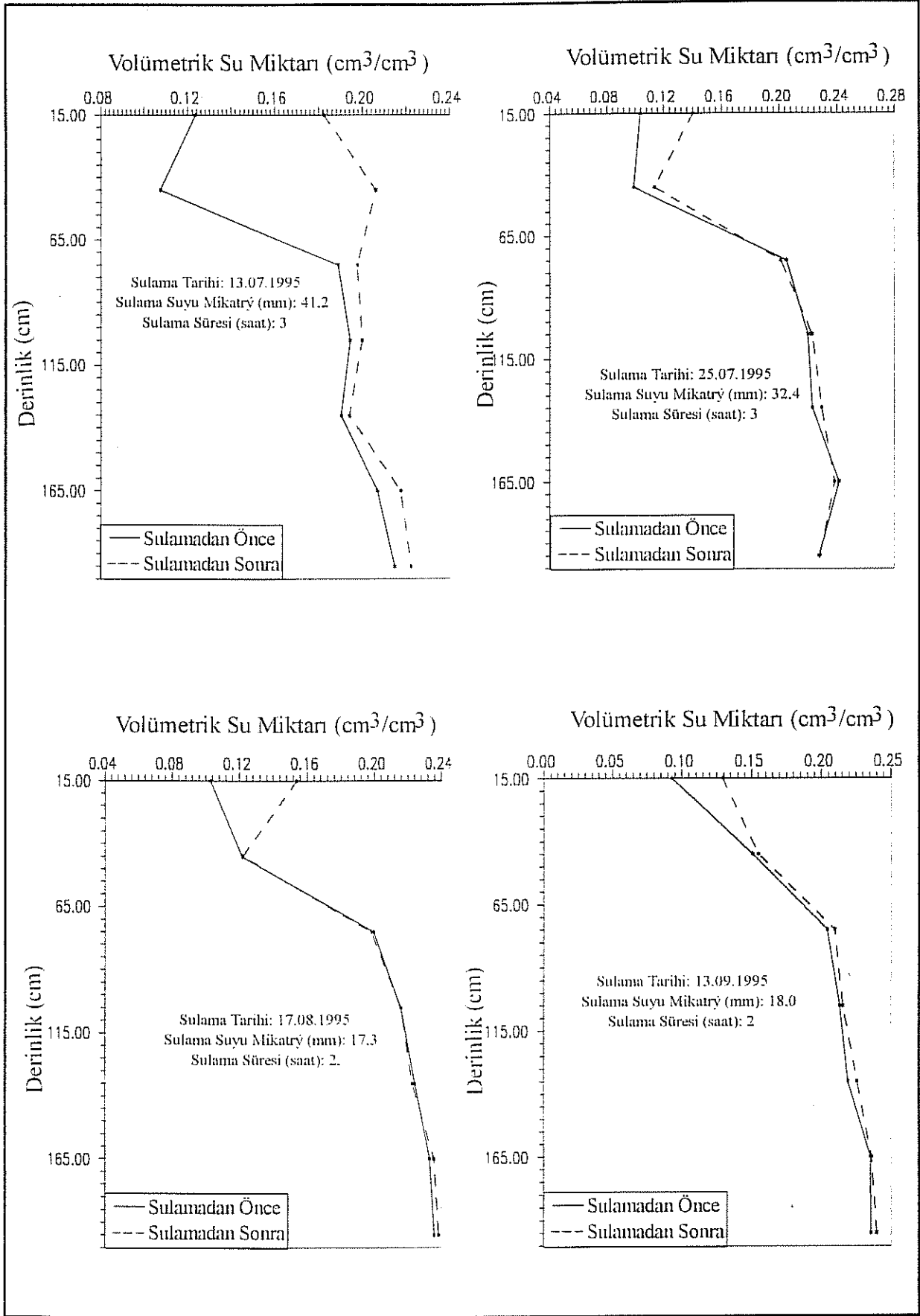
Toprak Derinliği (cm)	Basınç Yükü, h (cm)										15.300
	Saturasyon (θ)	10	20	50	101	203	306	509	15.300		
0-30	0,388	0,250	0,220	0,186	0,180	0,173	0,165	0,158	0,097		
30-60	0,294	0,205	0,185	0,170	0,169	0,168	0,165	0,159	0,105		
60-90	0,342	0,225	0,190	0,169	0,167	0,164	0,154	0,146	0,105		
90-120	0,352	0,235	0,185	0,149	0,148	0,146	0,140	0,133	0,096		

Tablo 4.5. Çalışma sahasında toprak profilinde sulamalardan önce ve sonra farklı derinliklerde nötron prob ile ölçülen volümetrik su miktarları

Toprak Derinliği (cm)	Volümetrik Su Miktarı											
	Sulama Tarihi: 13.7.1995 Su Miktarı : 41,2 mm Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 25.7.1995 Su Miktarı: 32,4 mm Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 17.8.1995 Su Miktarı: 17,3 Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 13.9.1995 Su Miktarı: 18 mm Süre: 4 saat					
	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra				
0-30	0,124	0,182	0,104	0,140	0,103	0,154	0,093	0,129				
30-60	0,108	0,206	0,099	0,114	0,122	0,122	0,151	0,155				
60-90	0,189	0,198	0,205	0,201	0,200	0,198	0,204	0,210				
90-120	0,194	0,200	0,220	0,223	0,216	0,216	0,213	0,215				
120-150	0,190	0,194	0,223	0,229	0,224	0,223	0,219	0,226				
150-180	0,207	0,218	0,241	0,238	0,233	0,236	0,235	0,236				
180-200	0,215	0,222	0,227	0,228	0,236	0,238	0,236	0,240				



Şekil 4.1. Çalışma sahasındaki toprak profilini temsil eden ortalama hidrolik iletkenlik ve su tutma eğrileri



Şekil 4.2. Çalışma sahasında sulama öncesi ve sonrası toprak profilindeki volümetrik su dağılımları

#### 4.2.2 Toprak-su-bitki sisteminde azot dağılımı

Azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımının araştırılması amacıyla deneme parsellerine uygulanan azotlu gübrenin toprak profili içerisindeki dağılımı ve bitki tarafından alınan azot miktarları hasat sonunda alınan bitki ve toprak örnekleri üzerinde yapılan analizlerle belirlenmiştir. Tablo 4.6 40 kg/da ve 100 kg/da gübre uygulanan parsellerde  $^{15}\text{N}$  etiketli gübreden kaynaklanan  $\text{NO}_3$ -azotu ve  $\text{NH}_4$ -azotu miktarlarının toprak derinliğine göre dağılımlarını ve profildeki toplam miktarlarını göstermektedir. Dağılımlar uygulanan 40 kg/da  $\text{NH}_4$  azotunun yaklaşık % 40'ının, 100 kg/da  $\text{NH}_4$  azotunun ise yaklaşık % 49'unun nitrifikasyon yoluyla  $\text{NO}_3$  azotuna dönüştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  konsantrasyonları 150 cm derinliğe kadar derinlikle birlikte artma, daha sonra ise azalma eğilimi göstermektedir. Bu durum  $\text{NO}_3$  için toprak tarafından adsorbe edilmiyor olması nedeniyle yıkanmaya daha müsait olmasından ve bitki tarafından yeteri kadar alınmıyor olmasından kaynaklanmaktadır.  $\text{NH}_4$  için ise durum, yaklaşık 70-80 cm olan kök bölgesinde bitki kök dağılımının daha yoğun olması ve dolayısıyla bitki tarafından  $\text{NH}_4$  alımının derinlikle azalmasıyla açıklanabilir. Ayrıca, toprağın kumlu olması nedeniyle toprakda  $\text{NH}_4$  adsorplanmasının fazla olmaması  $\text{NH}_4$  un derinlere taşınabilmesini sağlamaktadır.

Uygulanan  $^{15}\text{N}$  etiketli gübrenin bütçesi Tablo 4.7 de sunulmuştur. 40 kg/da lık uygulamada, etiketli azotun % 26'si bitki tarafından alınmakta, % 54'ü 0-200 cm lik profilde kalmakta ve % 20'si ise yıkanma yoluyla profilden uzaklaşmaktadır; aynı yüzdeler 100 kg/da lık uygulamada ise sırasıyla % 12, % 60 ve % 28 olarak gerçekleşmiştir. Uygulanan gübreden bitkinin yararlandığı kısım, diğer bir deyişle, bitki tarafından alınan etiketli azot yüzdesi "gübre randımanı" olarak tanımlandığında, gübre

Tablo 4.6. Çalışma sahasında hasat sonunda toprak profilindeki etiketli gübrede gelen NO<sub>3</sub> miktarları

Toprak Derinliği (cm)	400 kg N/ha'lık Gübre Uygulaması		1.000 kg N/ha'lık Gübre Uygulaması	
	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)	NO <sub>3</sub> (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)
0-20	3,2	1,7	20,4	5,4
20-40	3,1	1,4	29,3	8,5
40-60	6,8	3,3	30,0	13,4
60-80	15,2	5,7	53,5	7,7
80-100	29,0	9,2	55,9	3,1
100-120	32,0	5,4	77,5	32,0
120-140	27,0	9,8	88,2	8,8
140-160	25,5	12,6	92,5	16,2
160-180	8,5	1,2	28,0	8,4
180-200	8,3	4,8	15,0	10,8
TOPLAM	158,6	55,1	490,3	114,3

Tablo 4.7. Çalışma sahasında hasat sonunda toprak profilindeki etiketli azotlu gübrenin bütçesi

	Azot Uygulama Dozu (kgN/ha)	Bitkinin Kaldırdığı Azot (kgN/ha)	Toprakta Bulunan Toplam Azot (kgN/ha)	Toprakta Kalan Azot (kgN/ha)		200 cm'in Altına Yıkanan Azot (kgN/ha)
				0-60	0-200	
Derinkuyu	400	106	294	20	214	80
	1,000	119	881	107	604	277



dozunun 40 da/kg den 100 kg/da artırılmasıyla, gübre randımanı % 26 dan % 12 ye düşmektedir. Sonuçlar gübre uygulamasının 2.5 kat artmasına karşılık bitki tarafından alınan azot yüzdesinin yarıyarıya azaldığını, toprakda kalan azotun az bir miktarda ve yıkanan miktarın ise önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Dolayısıyla hem kirlilik, hemde ekonomik bakımdan uygulanan gübre dozunun çok önemli olduğunu anlaşılmaktadır.

Verim-gübre dozu ilişkisinin belirlenmesi amacıyla hasat sonunda verim parsellerinden hasat edilen patates miktarları da belirlenmiştir. Bu sonuçlar azot-verim eğrisi olarak Şekil 4.3 de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi optimum gübre dozu 60 kg/da seviyesinde gerçekleşmektedir. Bu dozda gübre randımanı yaklaşık % 20 olarak tahmin edilebilir. Bunun anlamı toprağa verilen gübre miktarının bitki tarafından alınmayan yaklaşık % 80 lik kısmı toprakda depolanmakta ve potansiyel olarak YAS yıkanmak üzere profil boyunca taşınmaktadır.

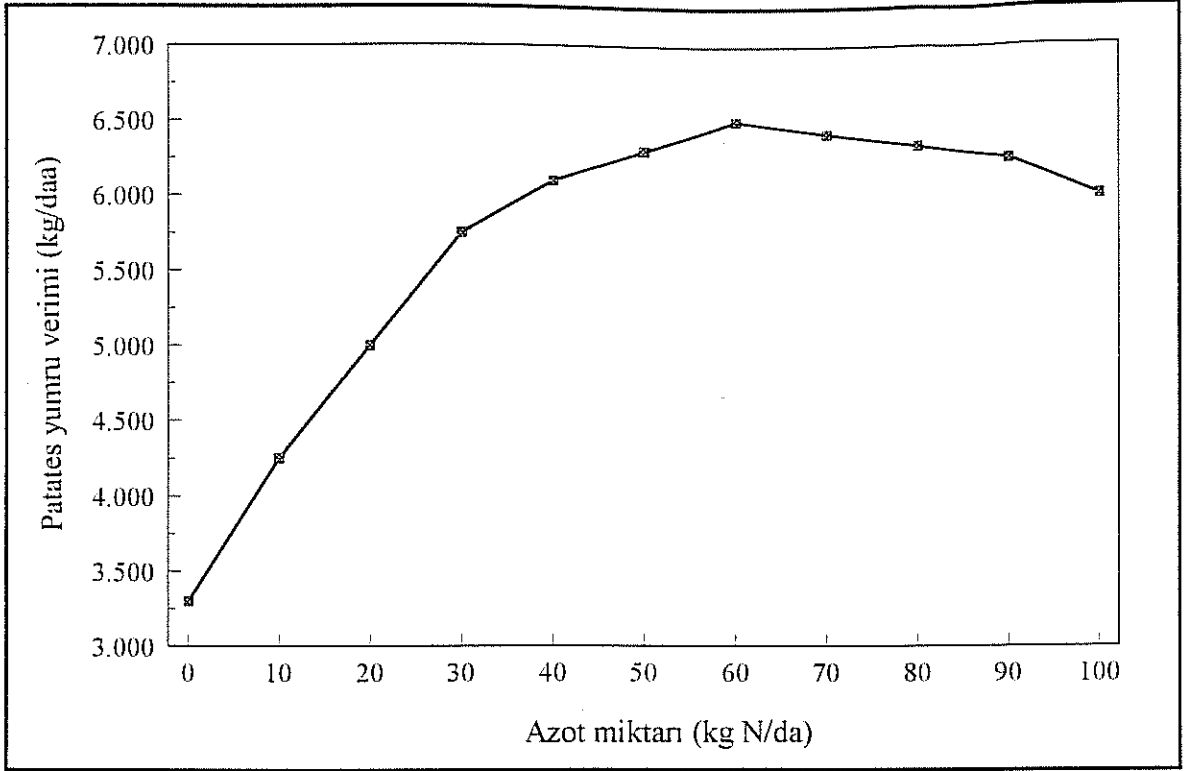
Şekil 4.3 de verilen verim(Y)-gübre(X) dozu eğrisi regresyon analizi sonucu  $Y = 2837.44 + 91.26X - 0.69X^2$  şeklindeki bir polinomla tanımlanabilmektedir. Bu ilişkinin regresyon katsayısı ( $R=0.50$ ) istatistiksel olarak % 99 olasılıkla önemli bulunmuştur. Bu denklemin çözümüne göre optimum azot seviyesi 66 kg/da, karşılık gelen verim ise 5854.52 kg/da dır. Ürün fiyatları ve YAS kirlilik potansiyeli dikkate alındığında daha düşük seviyelerde bir optimum gübre dozunun kaçınılmaz olacağı tahmin edilebilir.

#### *4.3 Su Rejimi Kalibrasyonu*

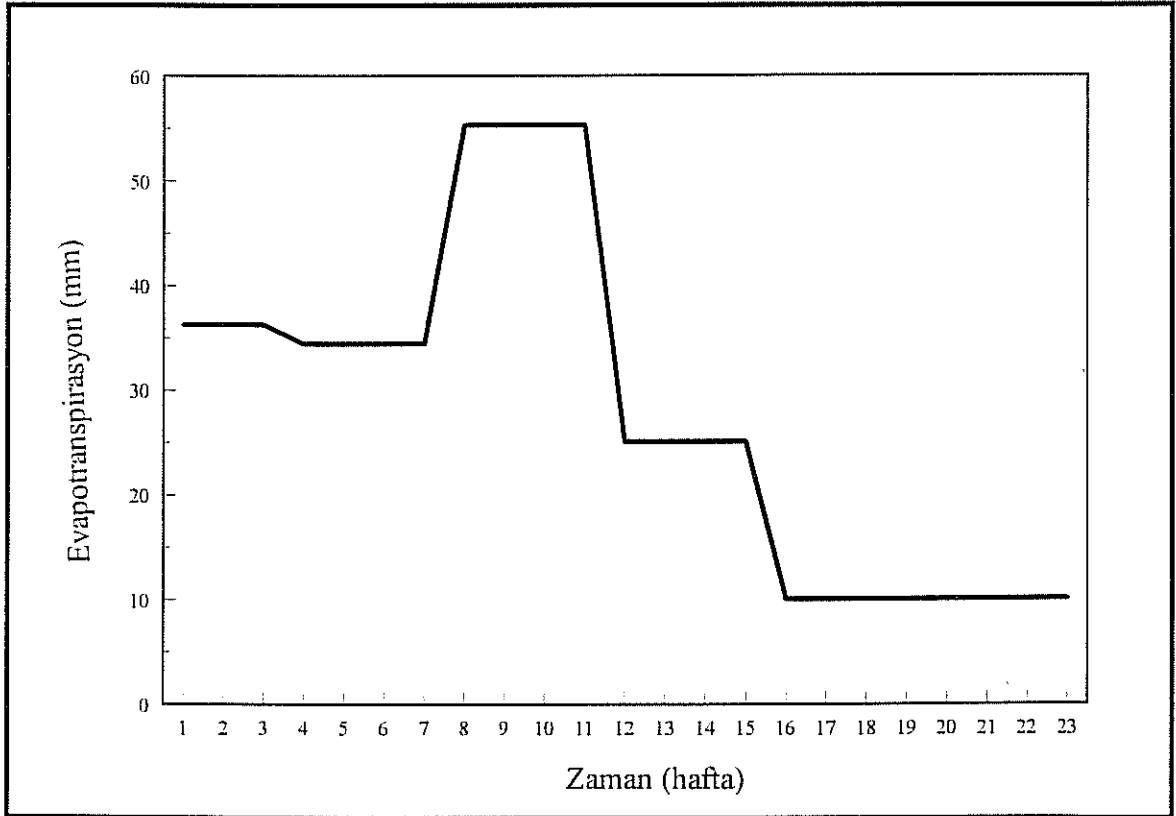
Su rejiminin kalibrasyonunda, ölçülmüş su tutma eğrileri ve satüre hidrolik iletkenlik değerleri ile mevsim boyunca değişik tarihlerde sulama öncesi ve sonrasında toprak

profilinde farklı derinliklerde ölçülen volümetrik su miktarı dağılımları kullanılmıştır. Ayrıca, kalibrasyonda değişik zamanlarda volümetrik su miktarı ölçümlerinin yapıldığı sulamalar dışında ilave olarak uygulanan sulama suyu miktarları ile bitki gelişimi süresince meydana gelen ve çalışma sahasına yakın meteorolojik istasyonda kaydedilen yağış miktarları da dikkate alınmıştır. Bu ilave yağmur ve sulama suyu uygulama tarih ve miktarları Tablo 4.8 de verilmiştir. Kalibrasyonda kullanılan bitki gelişim periyotları, kök derinliği ve dağılımı, ve bitki su tüketimine ait veriler sırasıyla, Tablo 4.9, 4.10 ve 4.11'de verilmiştir. Bu tablolardaki veriler Doorenbos ve Kassam (1979) dan alınmıştır. Tablo 4.11 deki veriler kullanılarak simülasyon süresince modele girdi olarak kullanılan haftalık evapotranspirasyon değerleri Şekil 4.4 de sunulmuştur.

İlk olarak, ölçülmüş su tutma ve satüre hidrolik iletkenlik değerleri kullanılarak su akış modelinde kullanılan su tutma ve hidrolik iletkenlik fonksiyonlarındaki  $a$  ve  $b$  parametrelerinin değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla LEACHN modelinde yer alan RETFIT alt-programı kullanılmıştır. Daha sonra, tespit edilen parametre değerleri su akış modeline girdi olarak verilerek bitki gelişme dönemi süresince zamana bağlı olarak profildeki volümetrik su miktarı dağılımları tahmin edilmiştir. Model tarafından tahmin edilen değerler, bitki gelişme dönemi süresince dört ayrı tarihte sulama öncesi ve sonrası yapılan volümetrik su miktarı ölçümleriyle kıyaslanmıştır. Kalibrasyon çalışmaları sırasında çok sayıdaki simülasyon seçeneklerinin incelenmesi sonucunda, ölçülmüş değerlere en yakın sonuçlar toprak profilinin hidrolik özellikler bakımından 0-60 ve 60-200 cm derinliklerde iki ayrı tabakaya ayrılması suretiyle yapılan simülasyonda elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Azotlu gübre ile patates yumru verimi arasındaki ilişki



Şekil 4.4. Kalibrasyonda kullanılan ve bitki su tüketimi verisinden hesaplanan evapotranspirasyon değerleri

Tablo 4.8. Çalışma sahası için su rejimi kalibrasyonunda kullanılan yağmur ve sulama suyu uygulama tarih ve miktarları

Tarih	Miktar (mm)	Yağış Şiddeti (mm/gün)
12.05.1995	74,7	597,6
13.05.1995	74,7	597,6
15.05.1995	74,7	597,6
17.05.1995	74,7	597,6
22.05.1995	74,7	597,6
07.07.1995	74,7	597,6
13.07.1995	41,2	329,6
18.07.1995	18,0	216,2
25.07.1995	32,4	259,2
04.08.1995	60,0	480,0
17.08.1995	17,3	166,1
25.08.1995	41,2	329,6
13.08.1995	18,0	216,0
20.09.1995	41,2	329,6
22.09.1995	41,2	329,6
24.09.1995	41,2	329,6
25.09.1995	41,2	329,6
26.09.1995	32,4	259,2

Tablo 4.9. Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan bitki gelişim periyotları ve bitki örtüsü oranı değerleri

Gelişim Periyotları	Zaman Aralığı	Bitki Örtüsü Oranı (%)
Bitki Çıkışı	Dikimden 10-25 gün sonra	0
Bitki Gelişimi	Dikimden 30-40 gün sonra	80
Yumurta Gelişimi	Dikimden 45-55 gün sonra	100
Olgunluk	Hasattan 10-15 gün önce	90

Tablo 4.10. Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan kök derinliği ve kök dağılımı oranı değerleri

Toprak Derinliği (cm)	Kök Dağılımı (%)
0-15	40
15-30	30
30-45	20
45-60	10

Tablo 4.11. Kalibrasyon çalışmalarında patates için kullanılan su tüketimi ve su tüketim katsayısı verileri

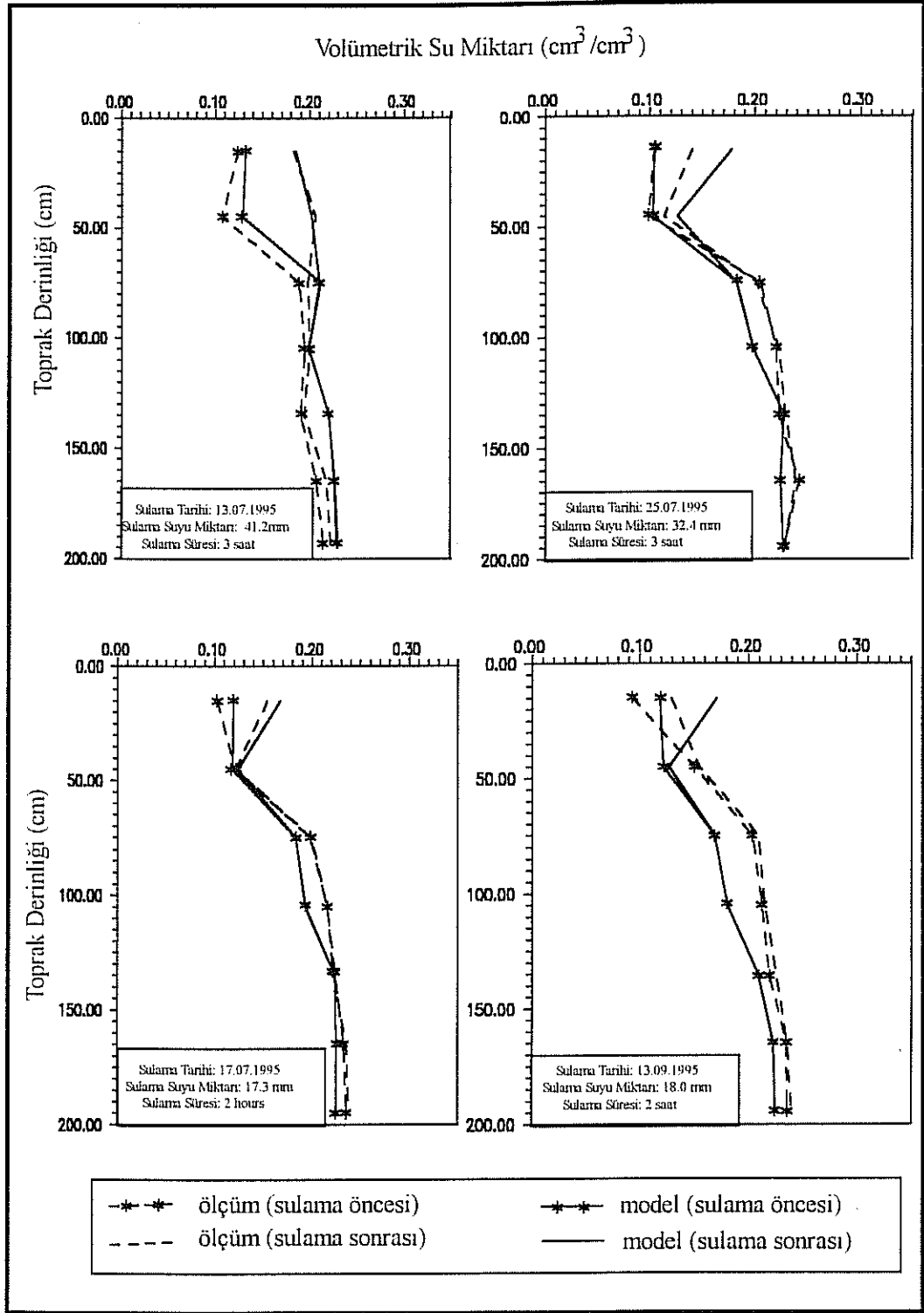
Ay	Su Tüketimi ( $T_d$ ) <sup>*</sup> (mm)	Su Tüketim Katsayısı ( $K_c$ ) <sup>#</sup>
Mayıs	72,3	0,4-0,5
Haziran	110,8	0,7-0,8
Temmuz	183,7	1,05-1,20
Ağustos	83,1	0,85-0,95
Eylül	26,4	0,7-0,75

Su rejimi kalibrasyon çalışmaları sonucunda elde edilen hidrolik parametre değerleri Tablo 4.12 de sunulmuştur. Çalışma sahasında sulama öncesi ve sonrası model tarafından tahmin edilen ve ölçülen volümetrik su miktarı dağılımları şekil 4.5 de verilmektedir. Kalibrasyonun kabul edilebilirliğinde ölçüt olarak değişik zamanlarda toprak profilinde ölçülen ve model tarafından tahmin edilen volümetrik su miktarı dağılımlarının yakınlık derecesi dikkate alınmıştır. Bu yakınlığın ölçütü olarakda, ölçülen ve model tarafından tahmin edilen volümetrik su miktarı değerleri arasındaki farkların ortlamasını veren Hata Karelerinin Ortalaması (HKO) değeri kullanılmıştır. HKO değeri

$$HKO = \left[ \frac{1}{n} \sum (X - Y)^2 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

eşitliğinden hesaplanabilmektedir. Burada  $X$  ölçülmüş değeri,  $Y$  tahmin edilen değeri ve  $n$  ise ölçümlerin sayısını ifade etmektedir. Teorik olarak, HKO değerinin sıfıra yakın olması ölçülen ve tahmin edilen değerlerin birbirlerine çok yakın olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla küçük bir HKO değeri tahmin edilen değerlerin kabuledilebilirliğini ifade etmektedir.

Su rejimi kalibrasyonu için tahmin edilen değerlere ait HKO değerleri ölçülen ve tahmin edilen volümetrik su miktarı değerleriyle birlikte Tablo 4.13 de verilmektedir. HKO değerlerinin oldukca küçük olması su rejimi kalibrasyonunun tatminkar olduğunu göstermektedir. Benzer olarak, şekillerden de ęörüleceęi gibi, bitki gelişme sezonu boyunca toprak profilindeki su dağılımı ve su akış rejimi gerçeğe yakın ölçülerde modellenebilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışma sahası için sulama öncesi ve sonrası toprak profilindeki ölçüm ve model tahmini volümetrik su miktarı dağılımları

Tablo 4.12. Su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrilerinde yer alan *a* ve *b* parametrelerinin kalibrasyon çalışmaları sonucu elde edilen değerleri

Toprak Derinliği (cm)	$K_s$ (cm/saat)	a	b
0 - 60	7,708.3	-0.0072	8.345
60 - 200	14.8	-0.0076	9.615

Tablo 4.13. Kalibrasyon çalışmaları sonucunda sulama öncesi ve sonrası için ölçülen ve tahmin edilen volümetrik su miktarı değerleri ve karşılık gelen hata kareleri ortalama (HKO) değerleri

Toprak Derinliği (cm)	Volümetrik Su Miktarı											
	Sulama Tarihi: 13.7.1995 Su Miktarı : 41,2 mm Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 25.7.1995 Su Miktarı: 32,4 mm Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 17.8.1995 Su Miktarı: 17,3 Süre: 4 saat		Sulama Tarihi: 13.9.1995 Su Miktarı: 18 mm Süre: 4 saat					
	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra	Sulamadan Önce	Sulamadan Sonra				
	T.*	Ö.*	T.	Ö.	T.	Ö.	T.	Ö.	T.	Ö.	T.	Ö.
0-30	0,13	0,12	0,19	0,18	0,10	0,10	0,12	0,10	0,17	0,15	0,12	0,09
30-60	0,12	0,11	0,20	0,21	0,10	0,10	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,15
60-90	0,21	0,19	0,21	0,20	0,18	0,20	0,17	0,20	0,18	0,20	0,17	0,20
90-120	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,22	0,19	0,22	0,19	0,22	0,18	0,21
120-150	0,22	0,19	0,22	0,19	0,23	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,21	0,22
150-180	0,23	0,21	0,23	0,22	0,22	0,24	0,23	0,24	0,23	0,24	0,22	0,24
180-200	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,23	0,24
MSE*	0,019	0,012	0,014	0,020	0,015	0,013	0,024	0,029	0,024	0,024	0,023	0,024

\* T.: Tahmin, Ö.: Ölçüm, HKO: "Hata Kareleri Ortalaması".



#### 4.4 Azot Taşınım ve Transformasyonunun Kalibrasyonu

Azot kalibrasyonu kalibre edilen su akış rejimi baz alınarak gerçekleştirilmiş ve azotun toprak profilindeki taşınımı, transformasyonu ve bitki tarafından alınmasıyla ilgili parametre değerleri belirlenmiştir. Model kalibrasyonunda çalışma sahasında hasat sonunda 40 kg/da gübre dozunun uygulandığı toprak profilinde ölçülen etiketli  $\text{NO}_3$  dağılımı (Tablo 4.6) ile uygulanan etiketli gübrenin hasat sonrası bütçesi (Tablo 4.7) kullanılmıştır. Kalibrasyonda dikkate alınan bitki gelişimi ve azot uygulamasına yönelik veriler Tablo 4.14 de verilmektedir.

Kalibrasyonda etiketli azot dikkate alındığından ve toprak profilinde etiketli azot bulunmayacağından, simülasyon başlangıcında profile  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  konsantrasyonları sıfır olarak alınmıştır. Kalibrasyon sonucu elde edilen azot taşınım ve transformasyonunu tanımlayan parametre değerleri Tablo 4.15 de sunulmuştur. Çalışma sahasında hasat sonunda toprak profilinde ölçülen ve model tarafından tahmin edilen  $\text{NO}_3$  dağılımları Şekil 4.6 da azot bütçesinde Tablo 4.16 da sunulmuştur. Şekil 4.6 da görüldüğü gibi hasat sonunda toprak profilinde ölçülen ve model tarafından tahmin edilen  $\text{NO}_3$  dağılımları profilin tabanındaki kısmi sapma dışında oldukça tatminkar bir uyum göstermektedir. Aynı şekilde, benzer değerlendirme Tablo 4.16 daki hasat sonunda toprak profilinde ölçülen ve model tarafından tahmin edilen azot bütçesi içinde yapılabilir.

Kalibrasyonun kabul edilebilirliğinde ölçüt olarak hasat sonu toprak profilinde ölçülen nitrat dağılımı ve etiketli azot bütçesi ile model tarafından tahmin edilen nitrat dağılımı ve azot bütçesinin yakınlık dereceleri dikkate alınmıştır. Bu yakınlığın sayısal ölçüsü HKO değeri ile ifade edilmiştir. Şekil 4.6 ve Tablo 4.16 dan bitki gelişme sezonu sonunda azotun toprak-

Tablo 4.14. Kalibrasyonda dikkate alınan patates için bitki gelişimi ve gübre uygulamasına yönelik tarihler ile uygulanan gübre miktarı ve bitkinin azot almına yönelik veriler

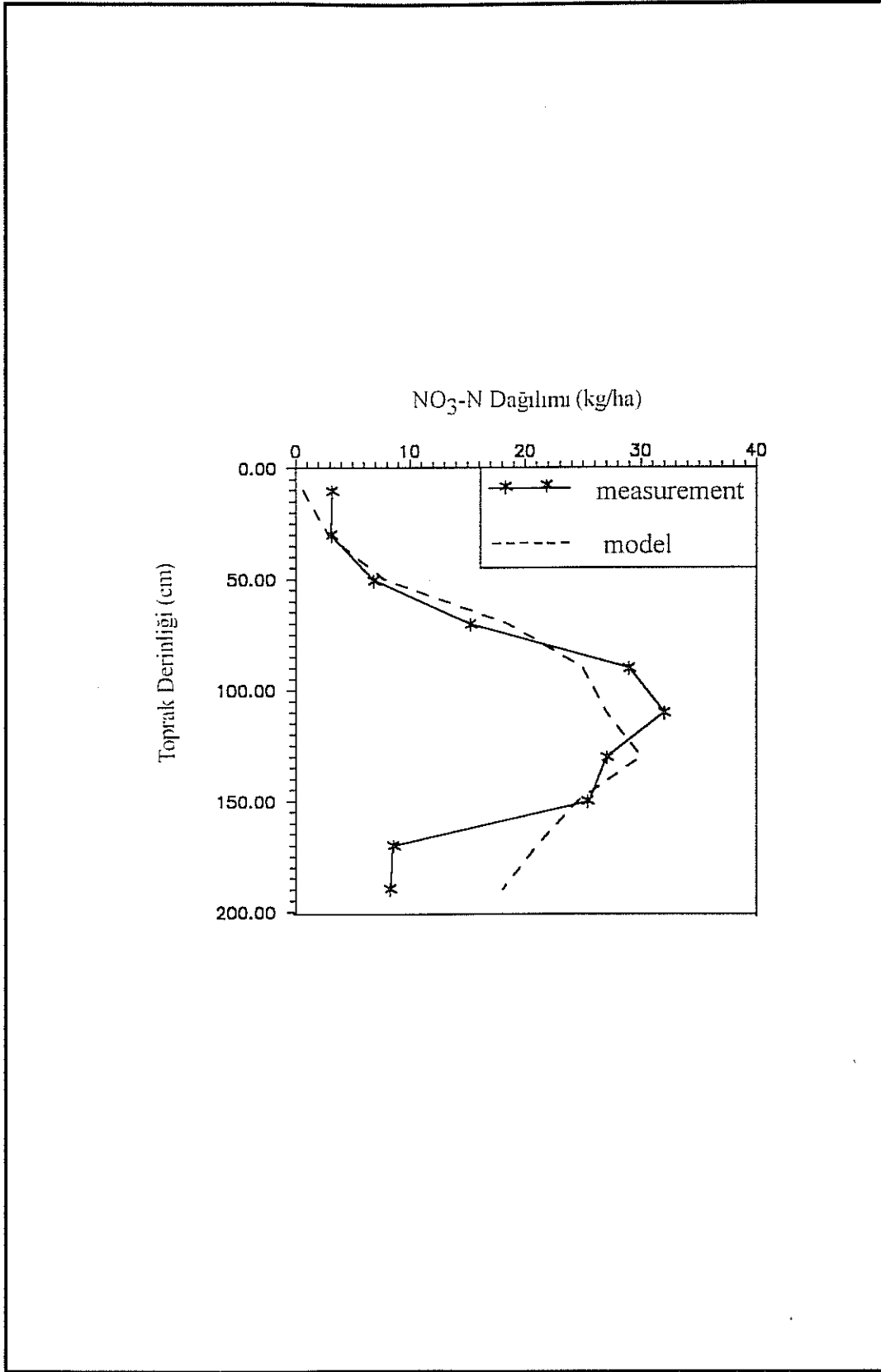
Ekim Tarihi	Bitki Çıkışı	Olgunluk Tarihi		Hasat Tarihi	Birinci Etiketli Azot Gübresi Uygulama Tarihi	İkinci Etiketli Azot Gübresi Uygulama Tarihi	Gübre Uygulama Miktarları (NH <sub>4</sub> , kg/da)		Yıllık Azot Alımı (kgN/da)
		Kök	Bitki				1.	2.	
11.05.95	31.05.95	30.08.95	30.06.95	28.09.95	11.05.1995	14.06.1995	20	20	10,6

Tablo 4.15. Kalibrasyon sonucunda elde edilen azot taşınım ve transformasyon parametrelerinin değerleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
NH <sub>4</sub> adsorpsiyon katsayısı	K <sub>d</sub>	L/kg	1,3
NO <sub>3</sub> adsorpsiyon katsayısı	K <sub>d</sub>	L/kg	0,0
Suda difüzyon katsayısı	D <sub>o</sub>	mm <sup>2</sup> /gün	120,0
Disperzivite	λ	mm	10,0
NH <sub>4</sub> buharlaşma hız sabiti	μ <sub>v</sub>	1/gün	0,005
Nitrifikasyon hız sabiti	μ <sub>nit</sub>	1/gün	0,6
Denitrifikasyon hız sabiti	μ <sub>denit</sub>	1/gün	0,1

Tablo 4.16. Çalışma sahası için hasat sonrası ölçülen ve model tarafından tahmin edilen etiketli azotlu gübrenin bütçesi

Azot Uygulama Dozu (kgN/ha)	Bitkinin Kaldırdığı Azot (kgN/ha)	Topraktaki Toplam Azot (kgN/ha)	Toprak Profiline (0-200 cm) Kalan Azot (kgN/ha)	200 cm'nin Altına Yıkılan Azot (kgN/ha)
400	106	294	219	77
400	106	294	233	61



Şekil 4.6 Çalışma sahası için hasat sonrası toprak profilinde ölçüm ve model tahmini NO<sub>3</sub> dağılımı

su-bitki sistemi içerisindeki dağılımı gerçeğe yakın ölçülerde modellenemediği anlaşılmaktadır. Ayrıca,  $\text{NO}_3$  dağılımı kalibrasyonu için yaklaşık 3.0 olarak elde edilen HKO değerinin, toprak profilinde ölçülen ve modelce tahmin edilen konsantrasyon değerleri arasındaki ortalama sapmalarla kıyaslandığında küçük olması kalibrasyonun tatminkar olduğunu göstermektedir. Modelin su rejimi ve azot taşınımı bakımından kalibrasyonunun tamamlanmasıyla, model duyarlılık analizleri ve simülasyon analizlerinin yapılmasına hazır hale gelmiş olmaktadır.

## 5. Duyarlılık Analizleri

### 5.1 Giriş

Model parametrelerinin model sonuçları üzerindeki etkilerinin araştırılması ve model sonuçlarının değişik toprak, bitki ve hidrolojik şartlar altında yorumlanabilmesi amacıyla duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çok sayıda parametrenin mevcudiyeti nedeniyle, duyarlılık analizleri için YAS nda  $\text{NO}_3$  kirliliğini azaltan optimum gübre ve sulama suyu kullanımına yönelik yönetim planı oluşturulması bakımından önem arzeden ve toprakda azot taşınımı ve transformasyonu etkileyen temel parametreler dikkate alınmıştır.

Duyarlılık analizleri şu şekilde yapılmıştır: duyarlılık analizi için seçilen her bir parametrenin değeri sırayla birer birer değiştirilmiş, geri kalan diğer bütün parametreler için ise "base case" tabir edilen ve kalibrasyon için kullanılan değerler kullanılmıştır. Model başlangıçta bir kez base case parametreleri kullanılarak çalıştırılmıştır; daha sonra ise değiştirilen her bir parametre için bir kez daha çalıştırılmıştır. Sonuçta, her bir parametreye karşılık gelen duyarlılık ise modelin base case sonucu elde edilen  $\text{NO}_3$  dağılımı ile değeri değiştirilen parametreyle elde edilen  $\text{NO}_3$  dağılımının kıyaslanması suretiyle elde edilmiştir. Aradaki farkın azlığı veya çokluğu modelin o parametreye olan duyarsızlığının veya duyarlılığının ölçüsü olarak değerlendirilmiştir.

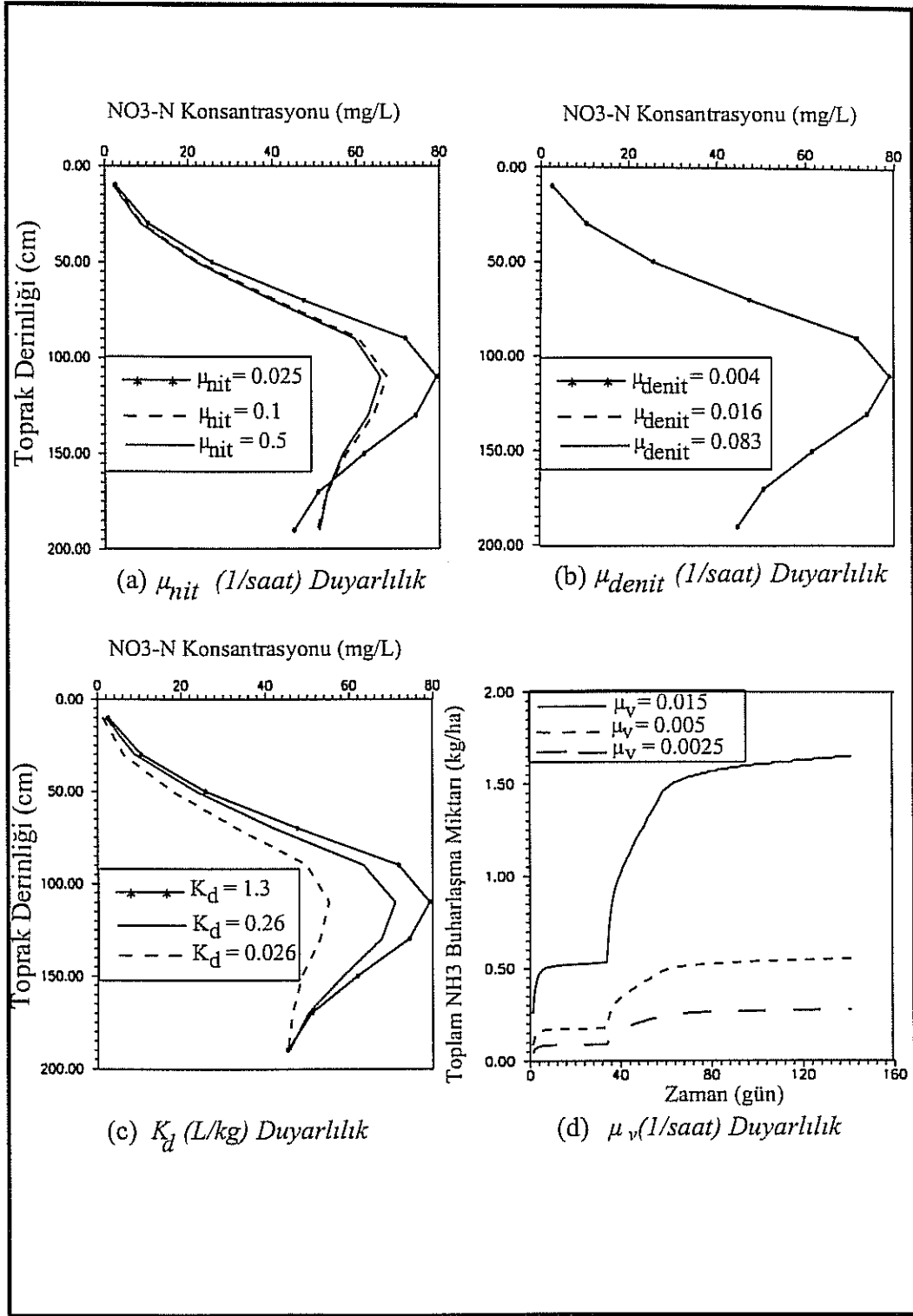
## 5.2 Reaksiyon Hızı Katsayılarına Duyarlılık

Nitrifikasyon ( $\mu_{nit}$ ), denitrifikasyon ( $\mu_{denit}$ ), adsorpsiyon ( $K_d$ ) ve buharlaşma ( $\mu_v$ ) katsayılarının toprakda azot taşınımı ve transformasyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bir tanesi Tablo 4.15 de verilen kalibrasyon değeri olmak üzere herbir parametre için "tipik" olarak nitelendirilebilecek üç ayrı değer seçilerek model çalıştırılmıştır. Parametre değerlerinin seçiminde Selim ve İskandar (1981) referans olarak alınmıştır.

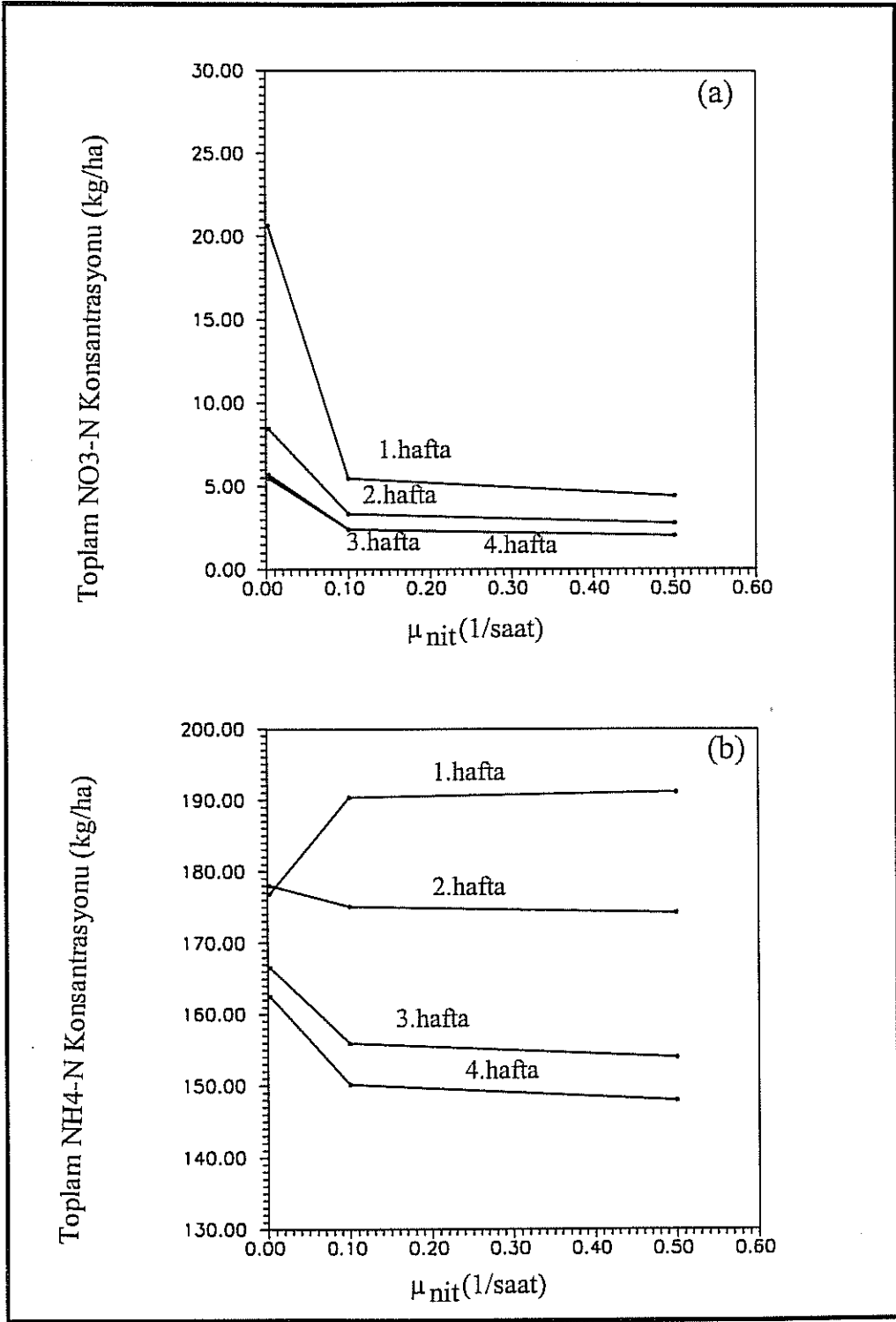
### 5.2.1 Nitrifikasyon katsayısı

Modelin nitrifikasyon katsayısına olan duyarlılığının değerlendirilmesinde 0-60 cm toprak derinliği için 0.025, 0.1 ve 0.5 saat<sup>-1</sup> değerleri, 60-200 cm toprak derinliği için ise 0.0375, 0.15 ve 0.75 saat<sup>-1</sup> değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 5.1(a) sunulmuştur. Nitrifikasyon katsayısının artmasıyla topraktaki maksimum NO<sub>3</sub>-azotu konsantrasyonunun azaldığı buna karşılık maksimum konsantrasyon derinliğinin arttığı gözlemlenmektedir. Beklenenin tersine gibi görülen bu durum, nitrifikasyon katsayısının artmasıyla birlikte bitki alımına ve yıkanmaya müsait nitrat miktarının da artma eğiliminde olması ile açıklanabilir.

Şekil 5.2 birinci gübre uygulamasını takip eden dört haftalık sürede nitrifikasyon katsayısının toprak profilindeki toplam NH<sub>4</sub>-azotu ve NO<sub>3</sub>-azotu miktarına etkisini göstermektedir. Nitrifikasyon katsayısının artmasıyla profildeki toplam NH<sub>4</sub>-azotu miktarı yoğun nitrifikasyon nedeniyle herbir bir hafta için hızla azalmaktadır. Buna karşılık, profildeki toplam NO<sub>3</sub>-azotu miktarı yoğun nitrifikasyon nedeniyle birinci haftada artmakta, daha sonraki haftalarda ise oluşan nitratın yıkanması, bitki tarafından alınması ve toprağa yeni NH<sub>4</sub> ilave edilmiyor olması nedenleriyle hızla azalmaktadır. Özet olarak, duyarlılık analizi sonuçları toprakda nitrifikasyonun artmasını sağlayan şartların mevcudiyeti, kumlu topraklarda olduğu gibi, daha fazla NO<sub>3</sub> yıkanmasına ve dolayısıyla YAS kirlilik potansiyelinin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.1. Reaksiyon hızı katsayıları duyarlılık analizleri için hasat sonunda toprak profilinde NO<sub>3</sub> dağılımı ve NH<sub>3</sub> buharlaşma miktarları



Şekil 4.1. Değişik nitrifikasyon katsayıları için toprakta (a) toplam NH<sub>4</sub> ve (b) toplam NO<sub>3</sub> konsantrasyonunun haftalık değişimleri



### 5.2.2 Denitrifikasyon katsayısı

Modelin denitrifikasyon katsayısına olan duyarlılığının değerlendirilmesinde 0.004, 0.016 ve 0.083 saat<sup>-1</sup> değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar şekil 5.1(b) sunulmuştur. Bu şartlardaki simülasyonlarda, base case nitrifikasyon katsayısının kullanılan denitrifikasyon katsayılarına oranla daha yüksek olması nedeniyle denitrifikasyon kayıpları nitrifikasyon kazanımları tarafından maskelenmektedir. Diğer bir deyişle denitrifikasyon kayıpları önemsiz olmaktadır. Bu parametrenin azot taşınımını üzerinde etkili olabilmesi için toprakda denitrifikasyonu artıran şartların nitrifikasyonu artıran şartlara kıyasla daha etkin veya en azından aynı düzeyde olması gerekmektedir.

### 5.2.3 Adsorpsiyon katsayısı

Modelin NH<sub>4</sub> adsorpsiyon katsayısına olan duyarlılığının değerlendirilmesinde 0.026, 0.26 ve 1.30 L/kg değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar şekil 5.1(c) sunulmuştur. Herhangi bir toprak derinliğinde NO<sub>3</sub> azotu konsantrasyonu adsorpsiyon katsayısıyla artmaktadır. Diğer bir deyişle, adsorpsiyon katsayısının artmasıyla toprak profilinde NO<sub>3</sub> birikmesi de artmaktadır. Bu durum, profilde NH<sub>4</sub> yıkanmasının azalmasıyla ve sonuç olarak NH<sub>4</sub> birikmesiyle direk olarak ilgilidir. Biriken NH<sub>4</sub> nitrifikasyon yoluyla NO<sub>3</sub> haline dönüşmektedir.

### 5.2.4 Buharlaşma katsayısı

Modelin NH<sub>4</sub> buharlaşma katsayısına olan duyarlılığının değerlendirilmesinde 0.015, 0.005 ve 0.0025 saat<sup>-1</sup> değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar şekil 5.1(c) sunulmuştur. Beklendiği gibi buharlaşan azot miktarı buharlaşma katsayısının artmasıyla artmaktadır. Buharlaşma kayıpları her iki gübre uygulamasından sonra basamak şeklinde kayda değer miktarlarda artmaktadır. Yüksek buharlaşma katsayısının kullanılması halinde ikinci gübre uygulamasından sonraki buharlaşma

kayıplarındaki artış birinci uygulamadan sonraki artışa oranla daha dikkat çekicidir. Bu durum toprak profilinde, özelliklede toprak yüzeyinde, ikinci gübre uygulamasından sonra  $\text{NH}_4$  miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.

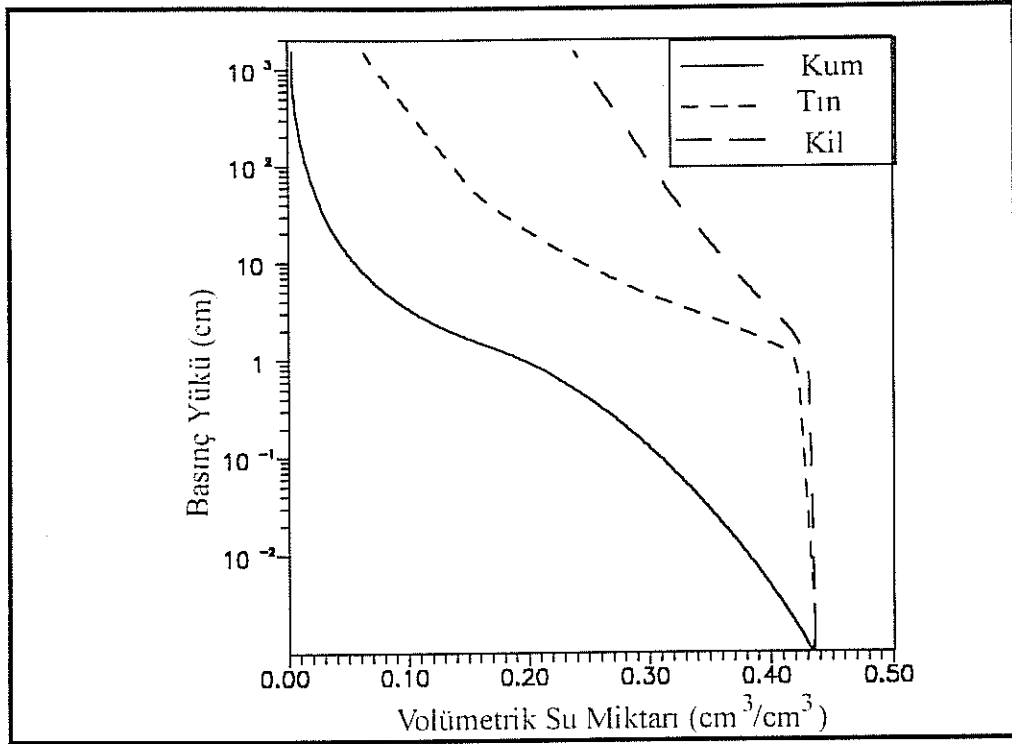
### 5.3 Toprak Hidrolik Özelliklerine Duyarlılık

Toprak hidrolik özelliklerinin toprak içerisinde azot taşınımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kumlu, tınlı ve killi toprak bünyelerini temsil eden su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrileri kullanılarak bir dizi simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda kullanılan hidrolik parametre değerleri Carsel ve Parrish (1988) den alınmış olup Tablo 5.1 sunulmuştur. Tablodaki hidrolik parametre değerlerinin kullanılmasıyla kumlu, tınlı ve killi topraklar için oluşturulan su tutma ve hidrolik iletkenlik eğrileri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de sunulmuştur. Bu eğriler daha önce Bölüm 4.2 de Şekil 4.1(a) ve (b) de verilen çalışma sahası için elde edilen eğrilerle kıyaslandığında, çalışma sahası için elde edilen eğrilerin daha çok kumlu toprağa yakın olmak üzere kumlu ve tınlı topraklar arası bir özellik sergilediği gözlemlenmektedir. Simülasyon çalışmalarında kumlu topraklardan killi topraklara kadar geniş bir toprak bünyesi yelpazesi dikkate alındığından elde edilen sonuçların oldukça farklı hidrolik özelliklere sahip topraklardaki azot taşınımını değerlendirmede yararlı olacaktır.

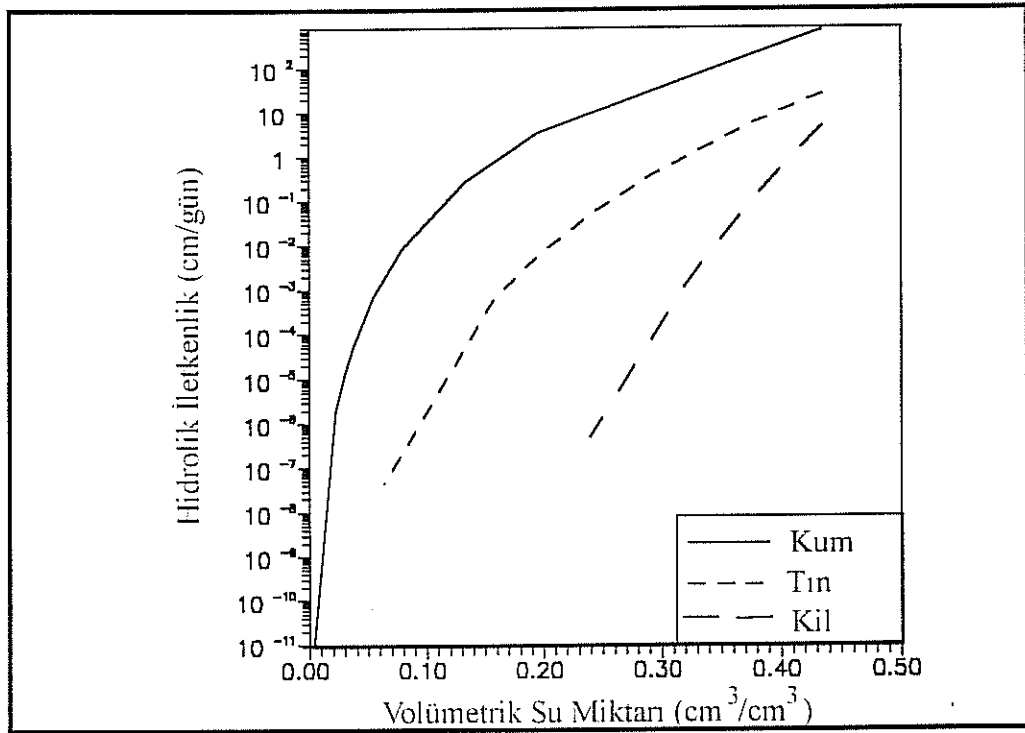
Tablo 5.1. Kumlu, tınlı ve killi toprakları temsil eden hidrolik parametre değerleri

Toprak Tipi	a	b	$\theta_s$ ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )	$K_s$ (cm/gün)
Kil	-1,14	12,00	0,38	4,80
Tın	-1,10	3,74	0,43	24,96
Kum	-0,22	1,83	0,43	712,80

Kumlu, tınlı ve killi topraklar için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 5.5 den başlayarak Şekil 5.17 ye kadar sunulmuştur. Farklı hidrolik özellikleri temsil eden herbir toprak tipi için elde edilen sonuçlar şu dört nokta dikkate alınarak kıyaslanmıştır: (i) hasat sonunda  $\text{NO}_3$  azotunun



Şekil 5.3. Kumlu, tınlı ve killi topraklar için su tutma eğrileri

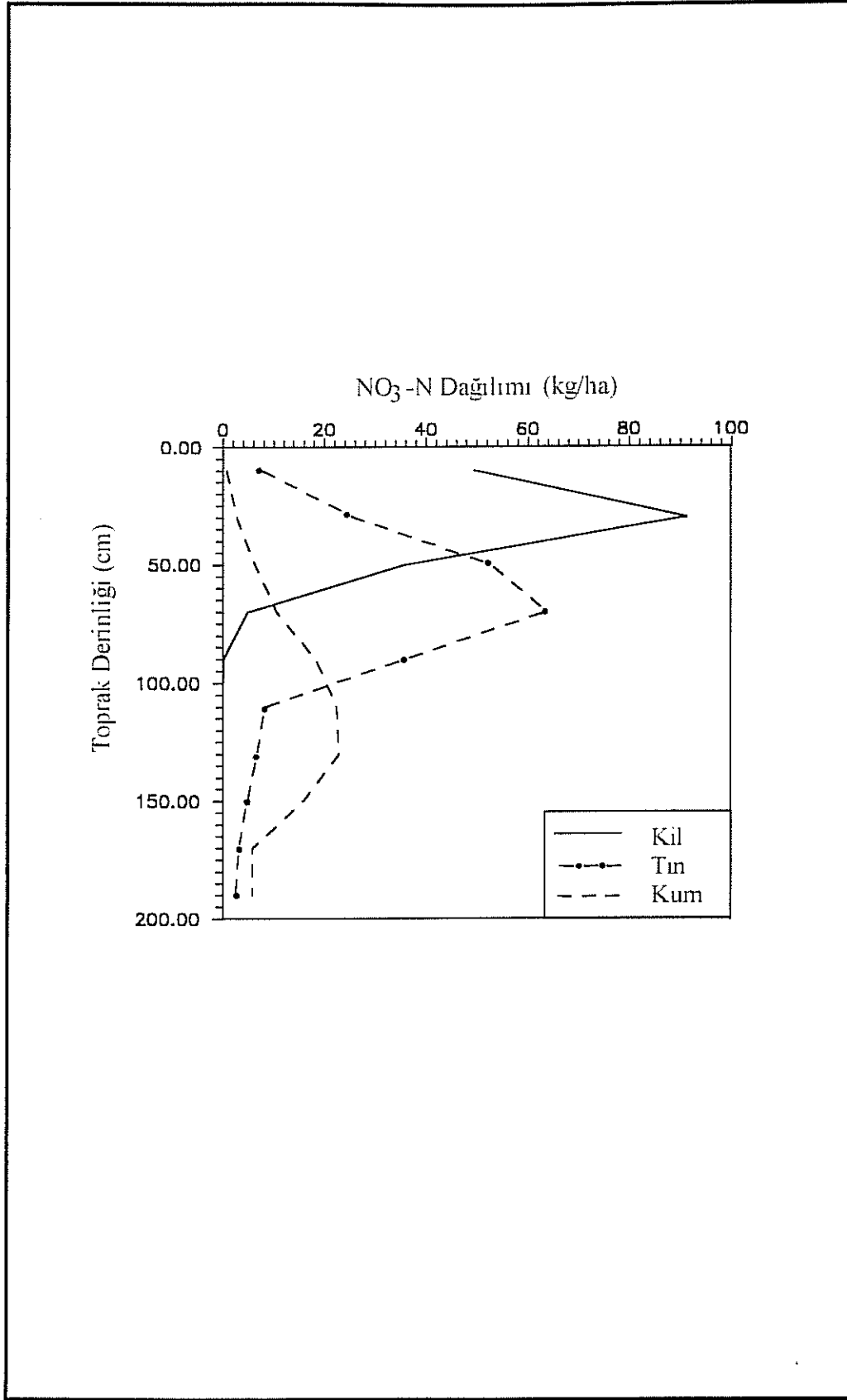


Şekil 5.4. Kumlu, tınlı ve killi topraklar için tipik hidrolik iletkenlik eğrileri

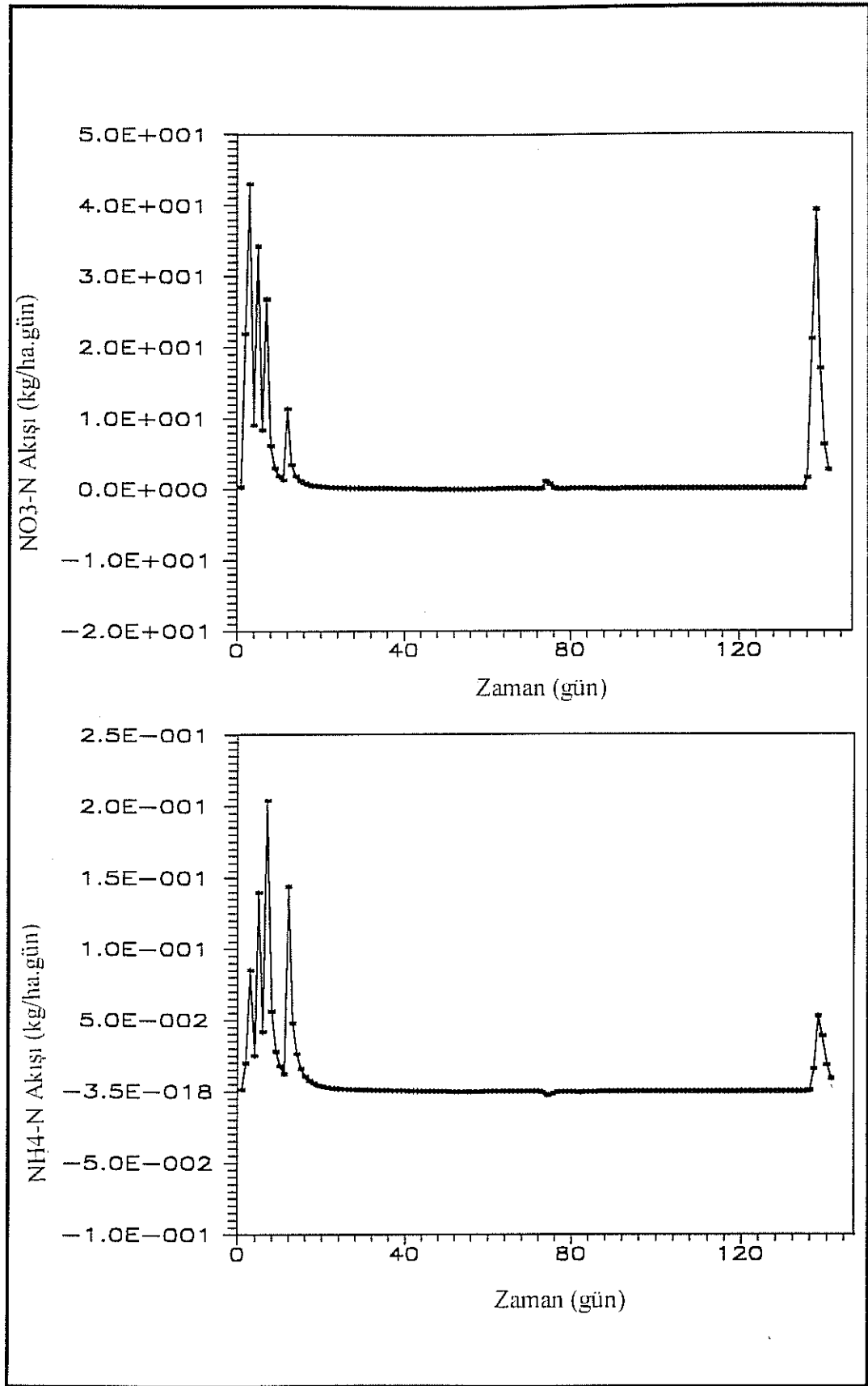
toprak derinliğine göre dağılımı, (ii) bitki gelişme dönemi boyunca kök bölgesi (0-75 cm) ve toprak profili (0-200 cm) tabanında  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları, (iii) bitki gelişme dönemi boyunca kök bölgesi ve toprak profili tabanında  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  konsantrasyon dağılım eğrileri, ve son olarak da (iv) bitki gelişme dönemi boyunca toprak profilinden yıkanan toplam  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  miktarları. Bu noktalar dikkate alınarak her bir toprak profili için yapılan kıyaslamalar sırayla aşağıda sunulmuştur.

Şekil 5.5 kumlu, tınlı ve killi topraklarda hasat sonundaki  $\text{NO}_3$  azotunun toprak derinliğine göre dağılımını göstermektedir. Şekildeki tipik dağılımdan da görüleceği üzere geçirgenliğin artmasıyla birlikte  $\text{NO}_3$  toprak içerisinde daha derinlere nüfuz edebilmektedir. Maximum konsantrasyon (90 kg/da) killi toprakda yüzeyle daha yakınken (35 cm) kumlu toprakda azalarak (22 kg/da) daha derinlere (125 cm) taşınmıştır. Killi toprakda  $\text{NO}_3$  yaklaşık 75 cm derinliğe kadar olan kök bölgesinde birikirken kumlu toprakda bütün profile yayılmıştır. Tınlı toprak ise hidrolik özellikler bakımından kumlu ve killi topraklar arasında kalan bir özellik gösterdiğinden,  $\text{NO}_3$  dağılımı bakımından da tipik olarak kumlu ve killi topraklar arasında kalan bir özellik arz etmektedir.

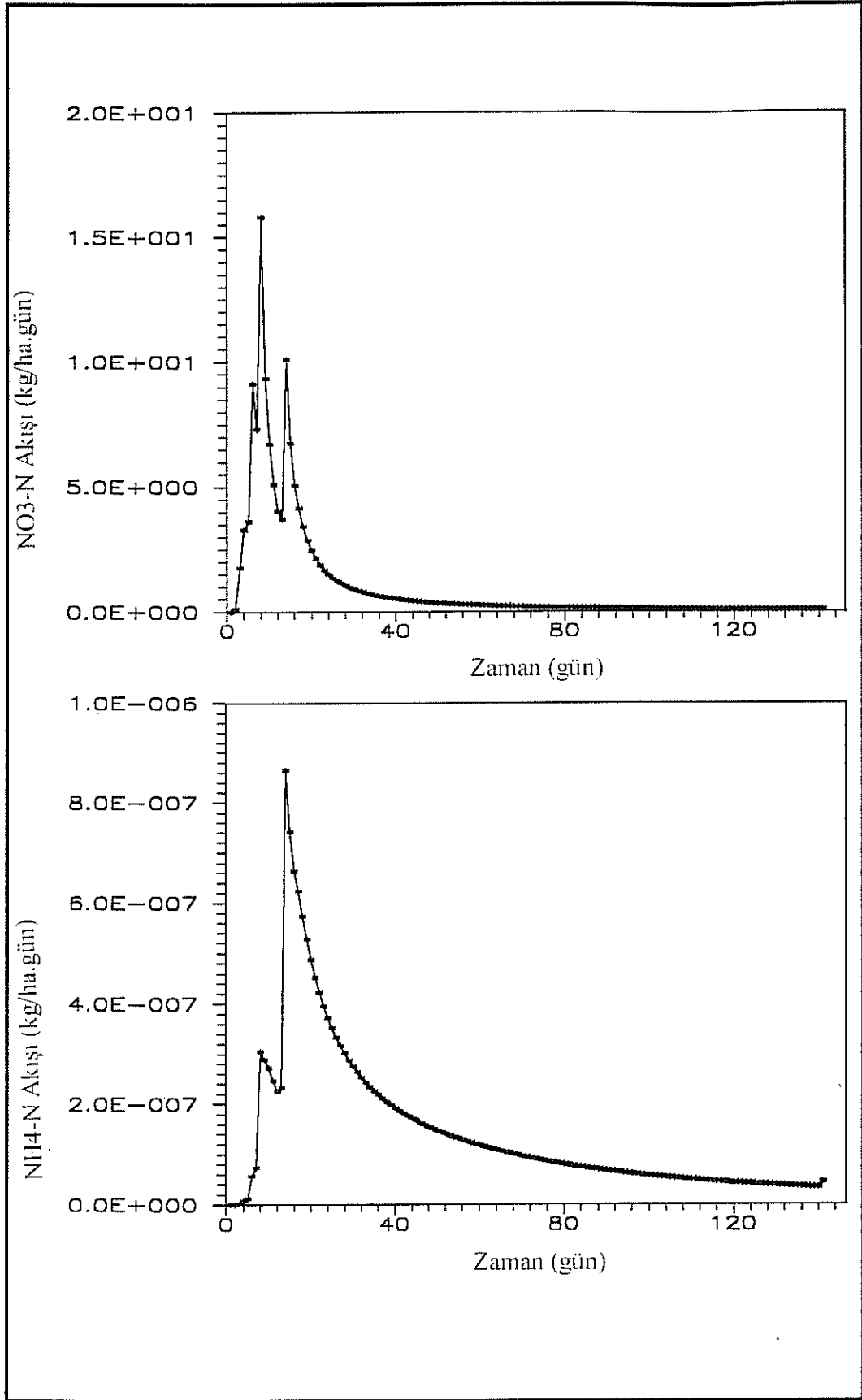
Şekil 5.6 dan 5.10 a kadar kumlu, tınlı ve killi topraklar için bitki gelişme dönemi boyunca kök bölgesi ve toprak profili tabanındaki  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları sunulmuştur. Her toprak tipi için, kök bölgesi ve toprak profilinde  $\text{NH}_4$  akım yoğunluğu değerleri  $\text{NO}_3$  akım yoğunluğu değerlerine kıyasla çok daha düşüktür. Kumlu toprakda bile profildeki  $\text{NH}_4$  akım yoğunluğu yok denecek kadar azdır. Kumlu toprakdan killi toprağa geçirgenliğin azalmasıyla birlikte hem kök bölgesi hemde profil tabanındaki  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları ciddi ölçüde azalmaktadır. Örneğin, profildeki maximum  $\text{NO}_3$  akım yoğunluğu kumlu toprakda 1.50 kg/da.gün iken bu değer tınlı toprakda 0.015 kg/da.gün e, killi toprakda ise 0 (sıfır) kg/da.gün'e inmektedir. Gene benzer şekilde, geçirgenliğin azalmasıyla  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunluğu değerlerinde bitki gelişme sezonunun başlarında kumlu toprakda rastalanan iniş çıkışlar tınlı ve killi topraklarda azalmakta veya tamamen kaybolmaktadır. Diğer, bir deyişle geçirgenliği yüksek olan kumlu topraklar yeni



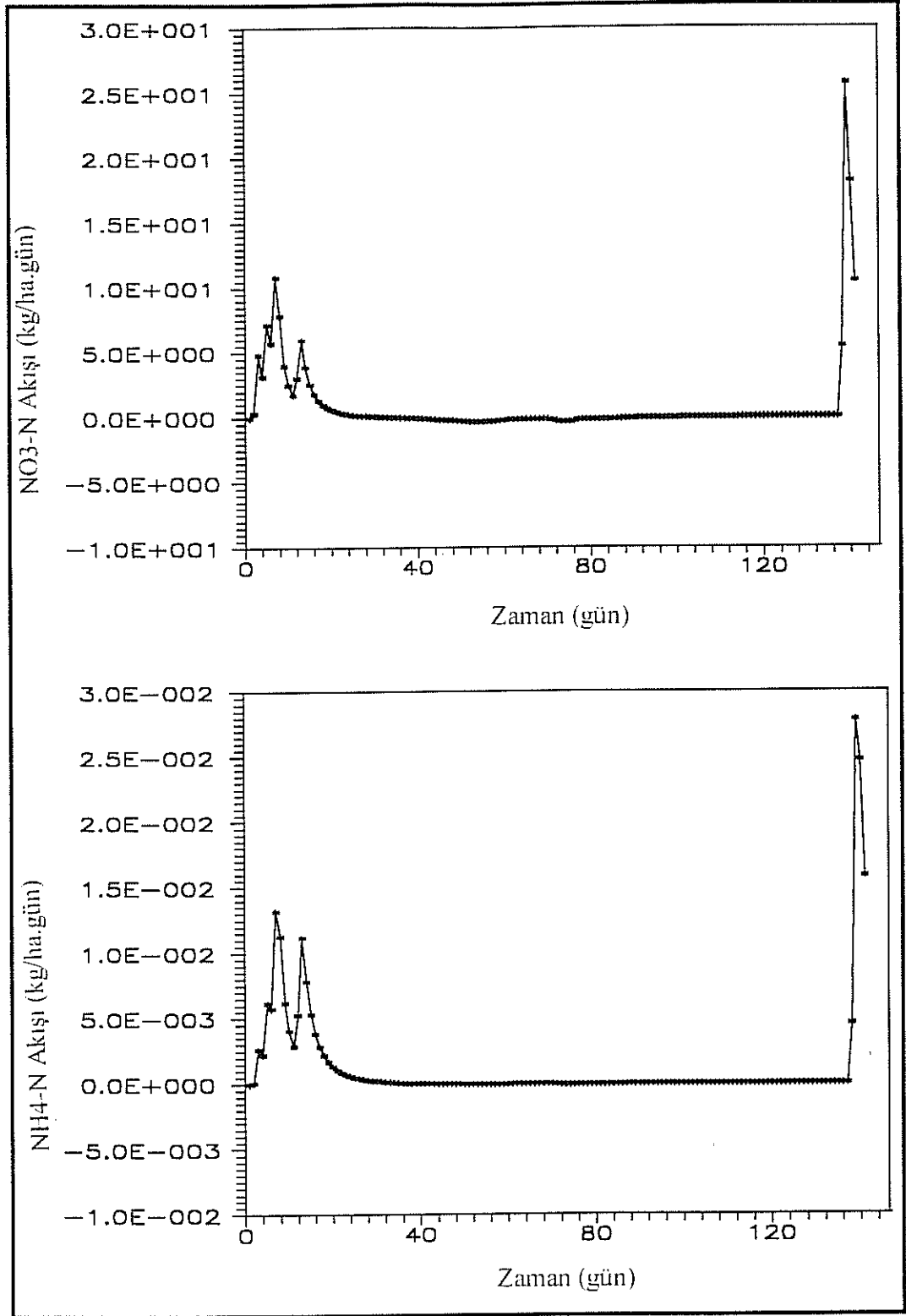
Şekil 5.5. Kumlu, tınlı ve killi topraklarda derinliğe göre NO<sub>3</sub> dağılımları



Şekil 5.6. Kumlu toprağın bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> akım yoğunluğu dağılımı

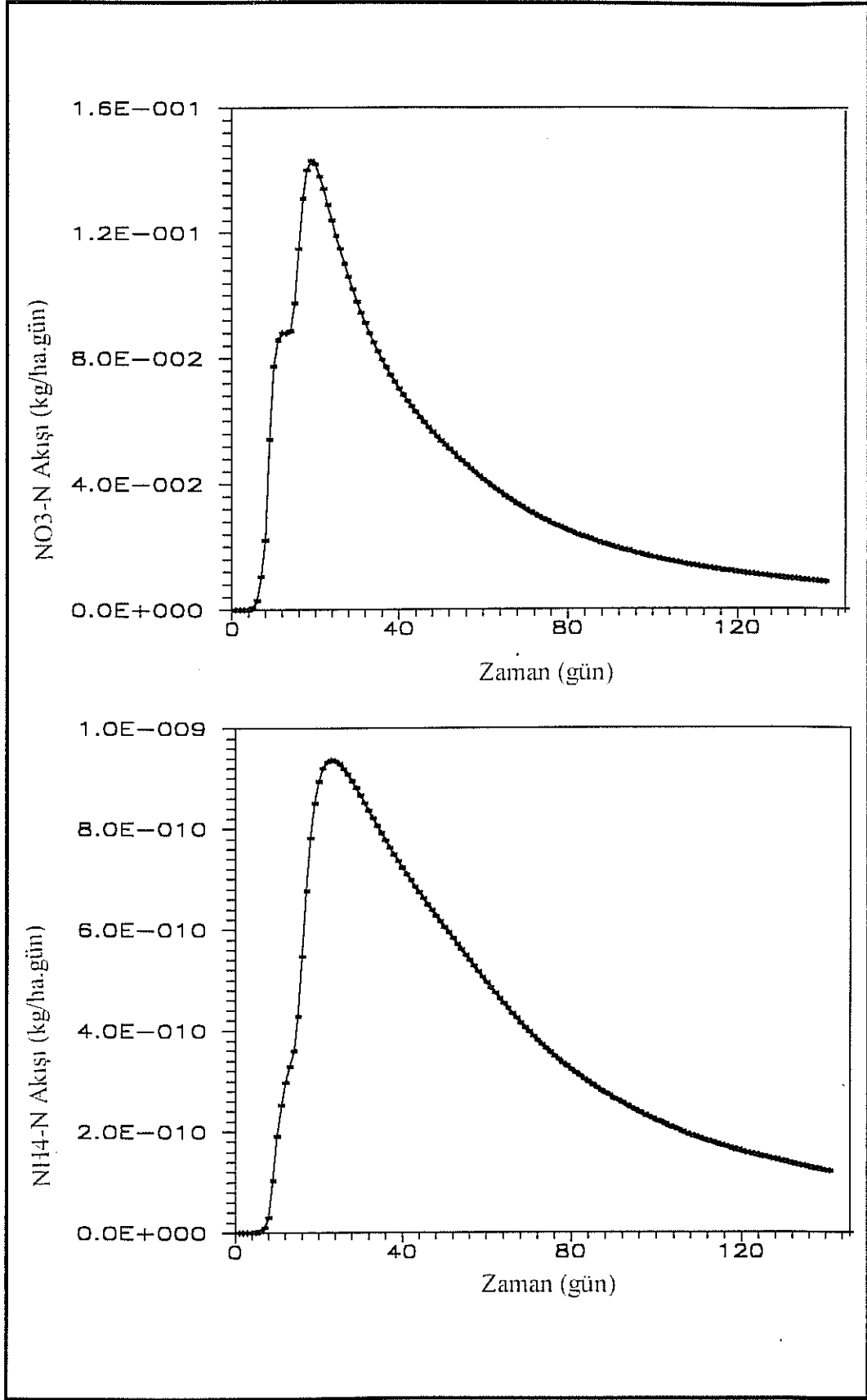


Şekil 5.7. Kum toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> akış yoğunluğu dağılımı

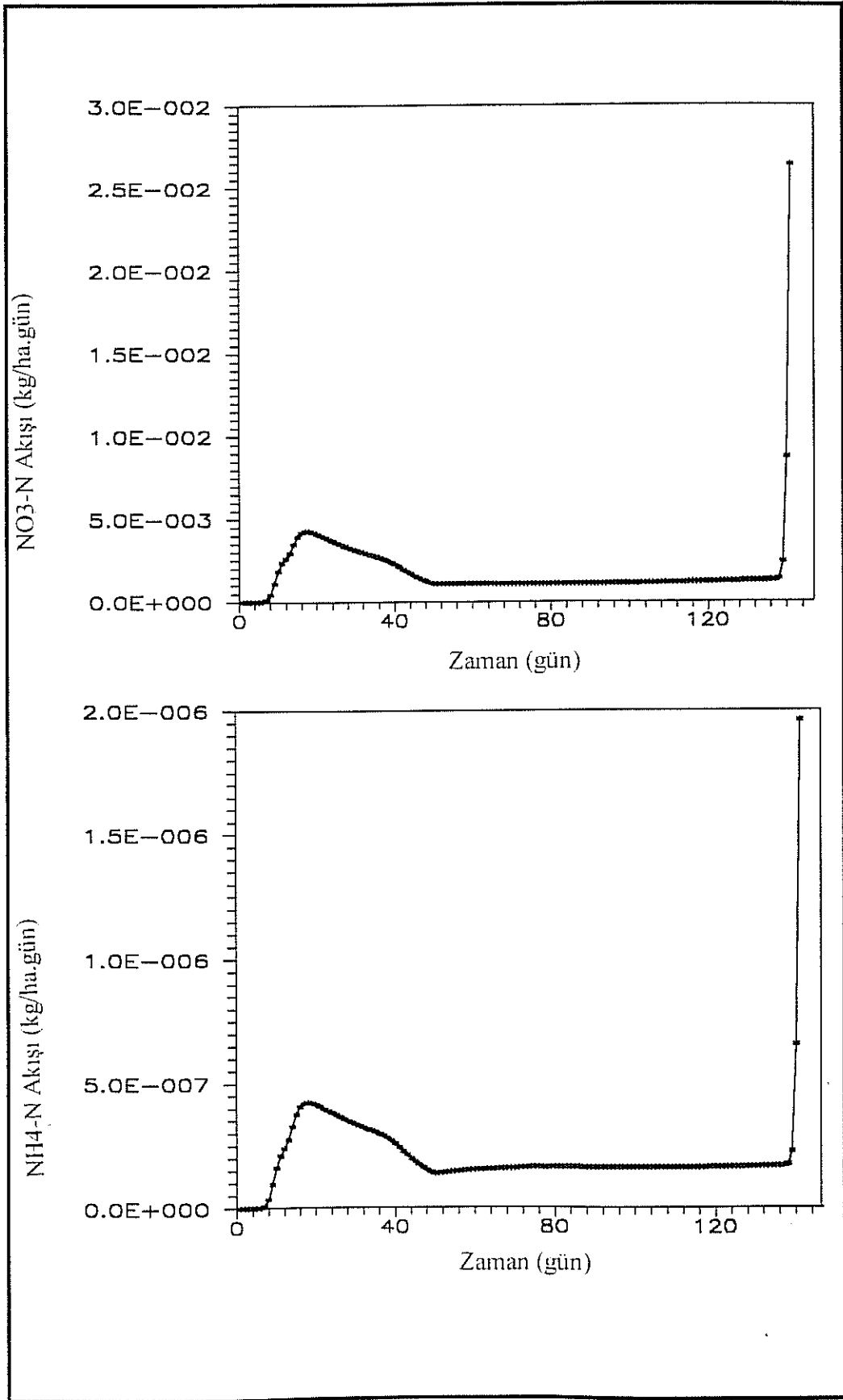


Şekil 5.8. Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki NO3 ve NH4 akım yoğunluğu dağılımı





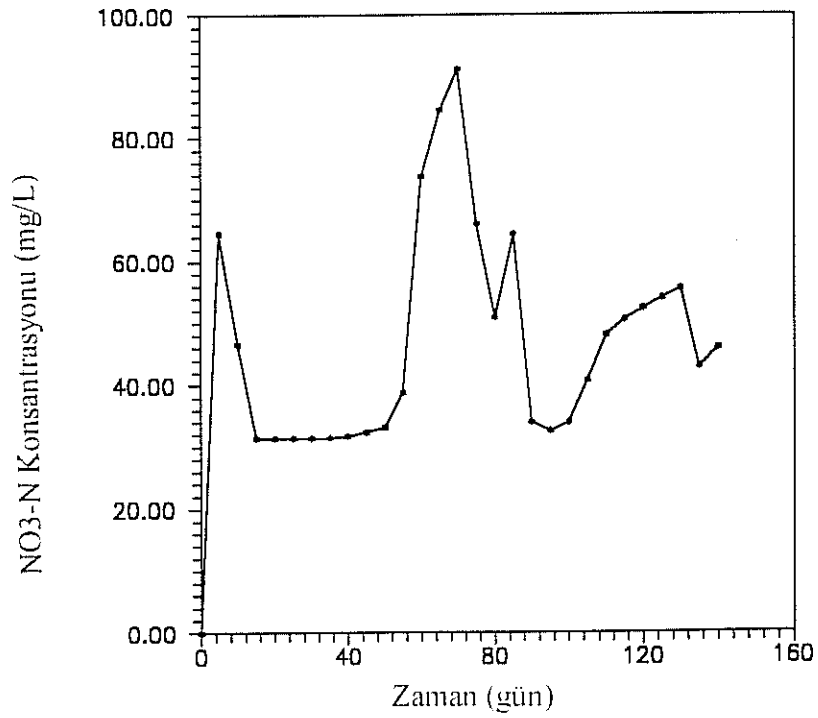
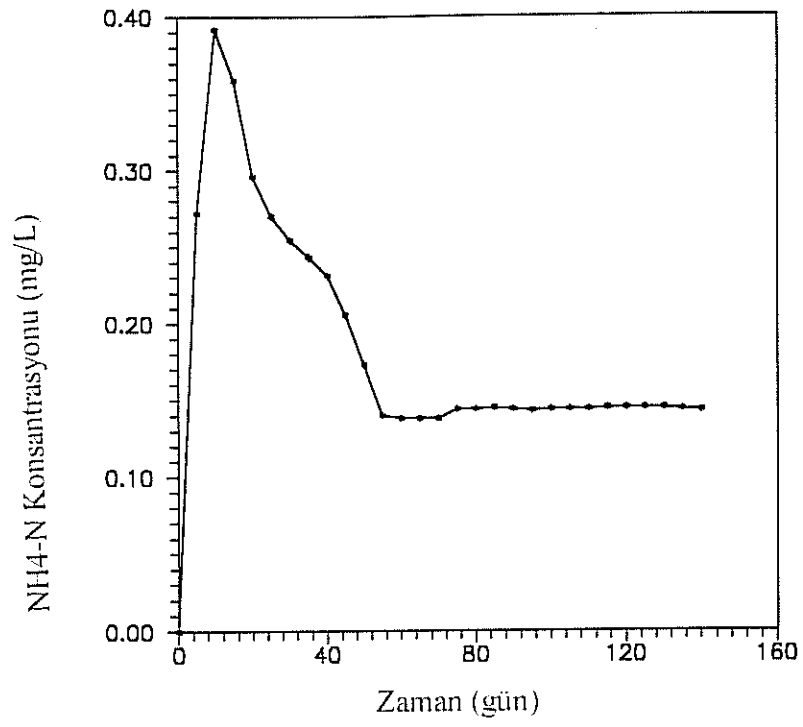
Şekil 5.9. Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> akım yoğunluğu dağılımı



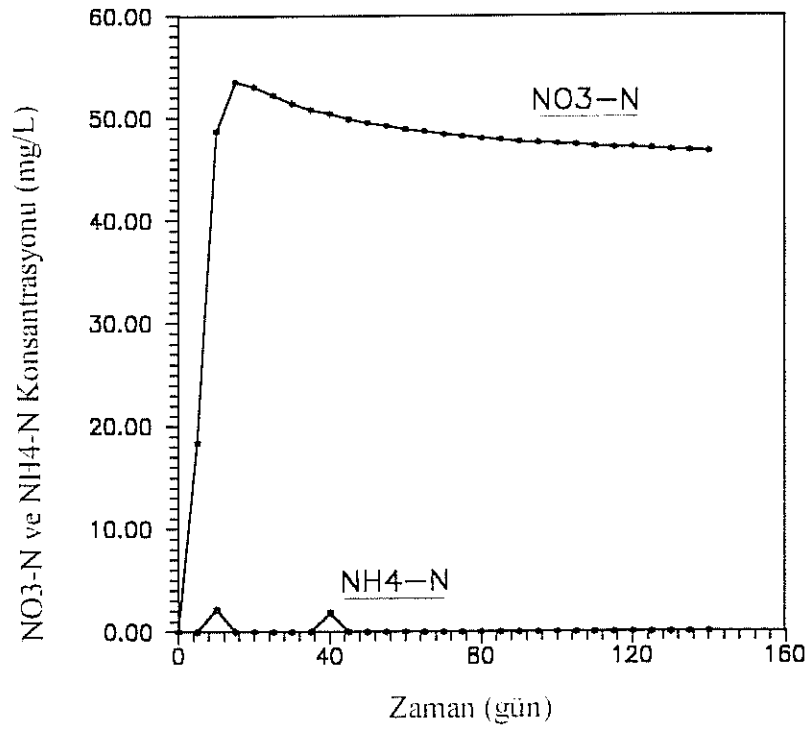
Şekli 5.10. Killi toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> akım yoğunluğu dağılımı

yağmur, sulama suyu veya gübre uygulaması nedeniyle toprak profilinde meydana gelen akış rejimindeki değişikliklere yüksek akış hızına sahip olması dolayısıyla tınlı ve killi topraklara kıyasla çok daha kısa sürede reaksiyon göstermektedir. Buna karşılık tınlı ve killi topraklar, akış hızının nispeten düşük olması nedeniyle akış rejimindeki değişiklikleri zaman içerisinde etkisiz hale getirebilmekte ve  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunluğu değerlerinde görülen iniş çıkışları giderebilmektedirler. Profil içinde taşınım süresi uzadıkça bu iniş çıkışlar kaybolmaktadır. Dikkat çeken diğer bir hususda üçtoprak tipinde de kök bölgesindeki akım yoğunluğunun bitki gelişme sezonunun sonuna doğru aniden artış göstermesidir. Kumlu toprakda 4 kg/da.gün olan sezon sonundaki bu akım yoğunluğu tınlı toprakda 2.7 kg/da.gün, killi toprakda ise 0.0027 kg/da.gün olmaktadır. Uygulanan azotlu gübrenin **bakiye etkisi** olarak nitelendirilen bu durum, sezon sonuna doğru oluşan **kritik** şartlardan, diğer bir deyişle bitkinin azot ve su alımının azalması ve de yağışlı sezonun başlamış olmasından, kaynaklanmaktadır. Bu nedenle gübrenin bakiye etkisi YAS kirliliği açısından oldukça önemli rol oynayan bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Eğer kritik şartların oluştuğu hasat sonrası dönemde toprakda fazla miktarda bakiye azot kalırsa kök bölgesini terkederek YAS na doğru ykanacak azot miktarıda artacaktır. Dolayısıyla, bitki gelişme sezonunda gübre uygulamalarının bakiye azot etkisinin azaltılmasını sağlayacak bir takvime uygun olarak, diğer bir deyişle gübrelemenin bitkinin istediği zamanda istediği miktar kadar yapılması önem arz etmektedir. Bakiye gübre etkisinin azaltılması YAS kirliliği bakımından kumlu ve tınlı topraklarda killi topraklara kıyasla daha önemli görünmektedir.

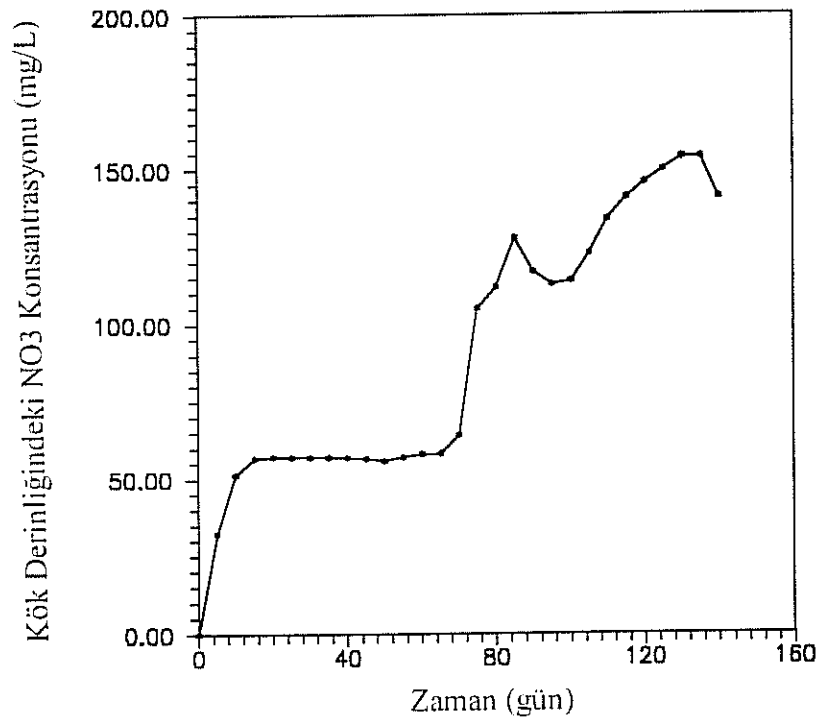
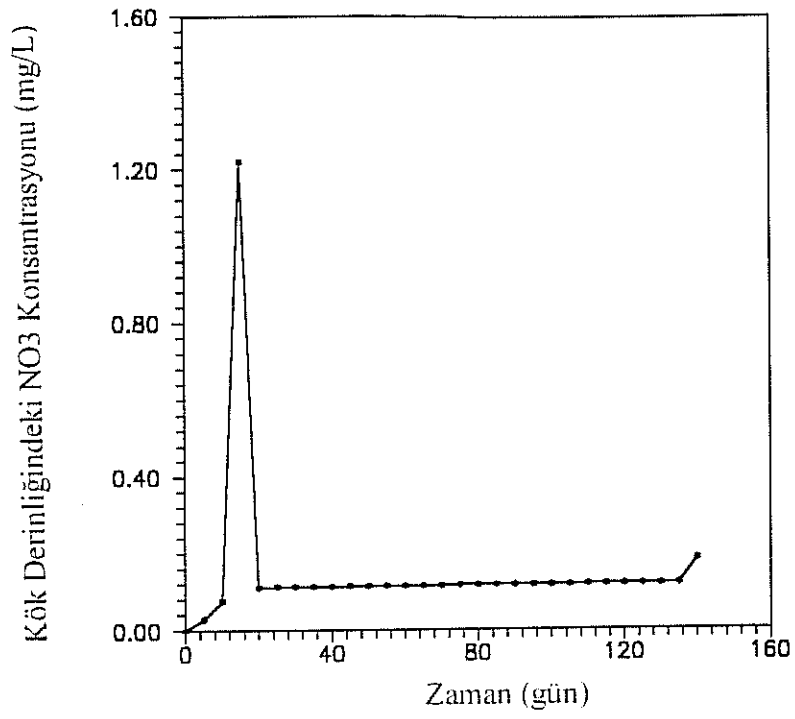
Şekil 5.11 den 5.15 e kadar kumlu, tınlı ve killi topraklar için bitki gelişme dönemi boyunca kök bölgesi ve toprak profili tabanındaki  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu dağılım eğrileri sunulmuştur. Her üç toprak tipinde de kök bölgesi konsantrasyon dağılım eğrilerinde görülen iniş çıkışlar profil tabanında tamamen kaybolmakta ve konsantrasyon dağılımı kararlı bir duruma erişmektedir. İniş çıkışlardaki bu kaybolmalar, akım yoğunluğu dağılımlarında olduğu gibi, taşınım süresinin artmasıyla ilgilidir. Kumlu toprakda profil tabanında 50 mg/L olan kararlı konsantrasyon değerine 15 gün sonra 55 mg/L olarak gerçekleşen maksimum konsantrasyon değerinden azalmak



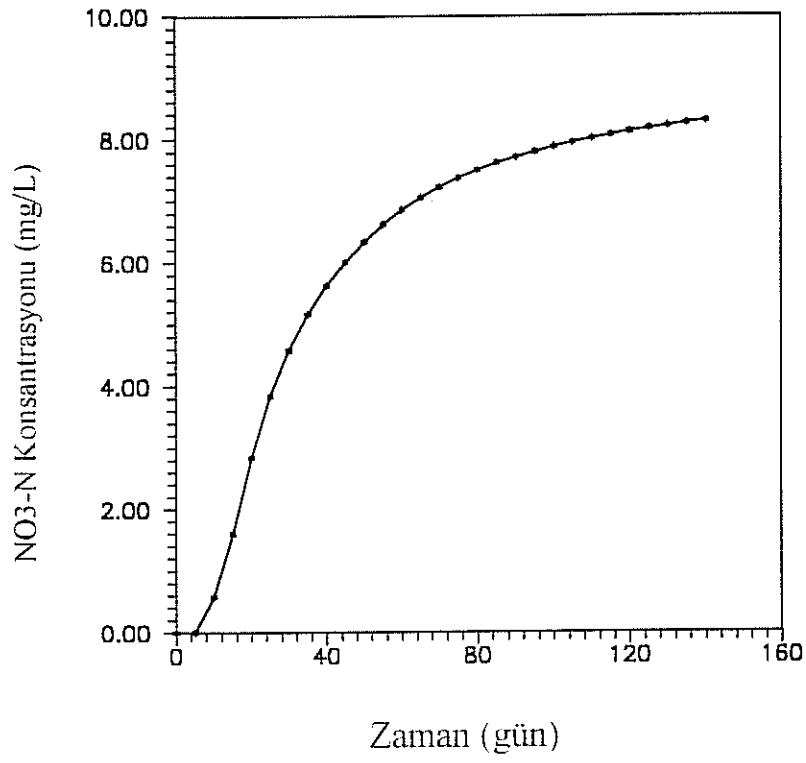
Şekil 5.11. Kumlu topra için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  konsantrasyonu dağılım eğrileri



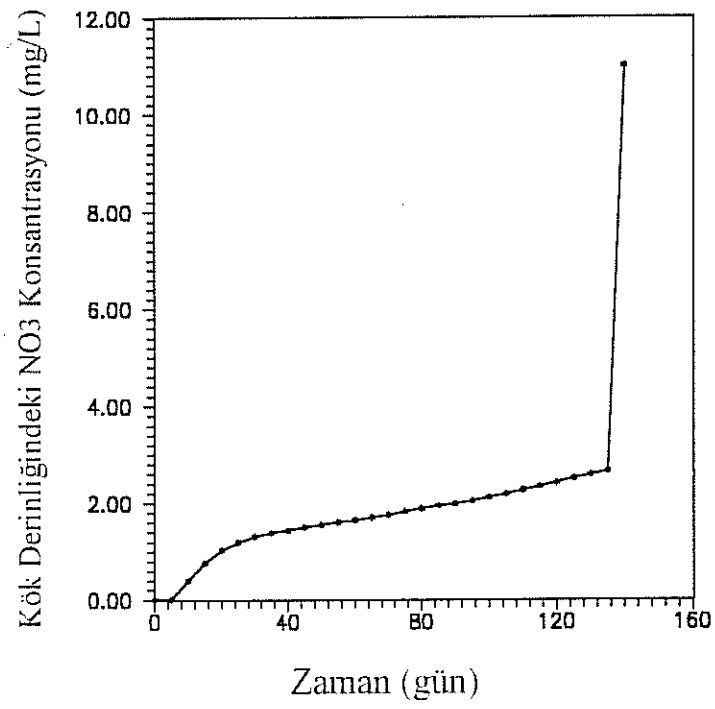
Şekil 5.12. Kum toprak profili sonundaki NO<sub>3</sub>-N ve NH<sub>4</sub>-N kırılma eğrilşeri



Şekil 5.13. Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> konsantrasyonu dağılım eğrisi



Şekil 5.14. Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki NO<sub>3</sub> konsantrasyonu dağılımı eğrisi



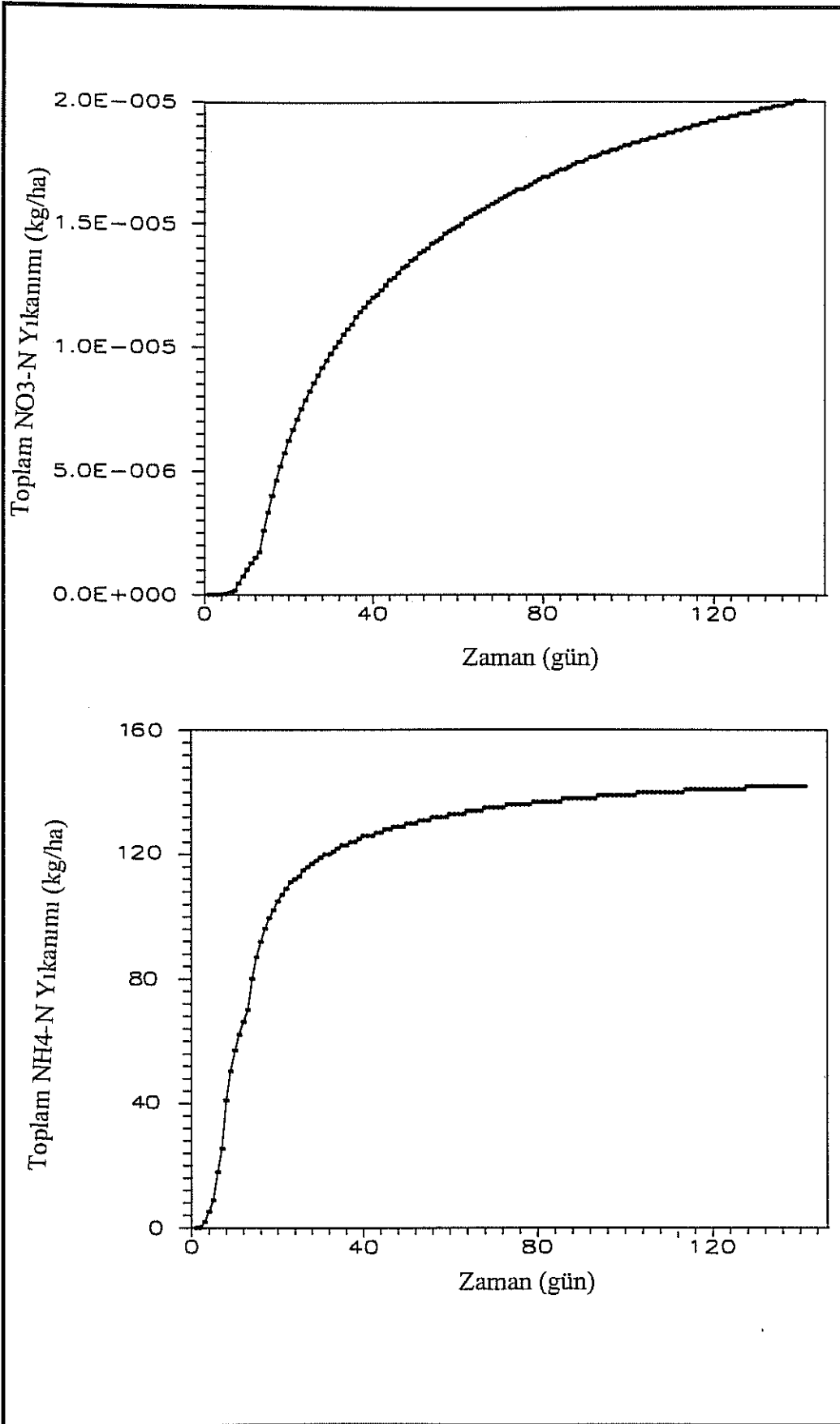
Şekil 5.15. Killi toprak için bitki gelişme sezonu boyunca kök bölgesi tabanındaki NO<sub>3</sub> konsantrasyonu dağılım eğrisi



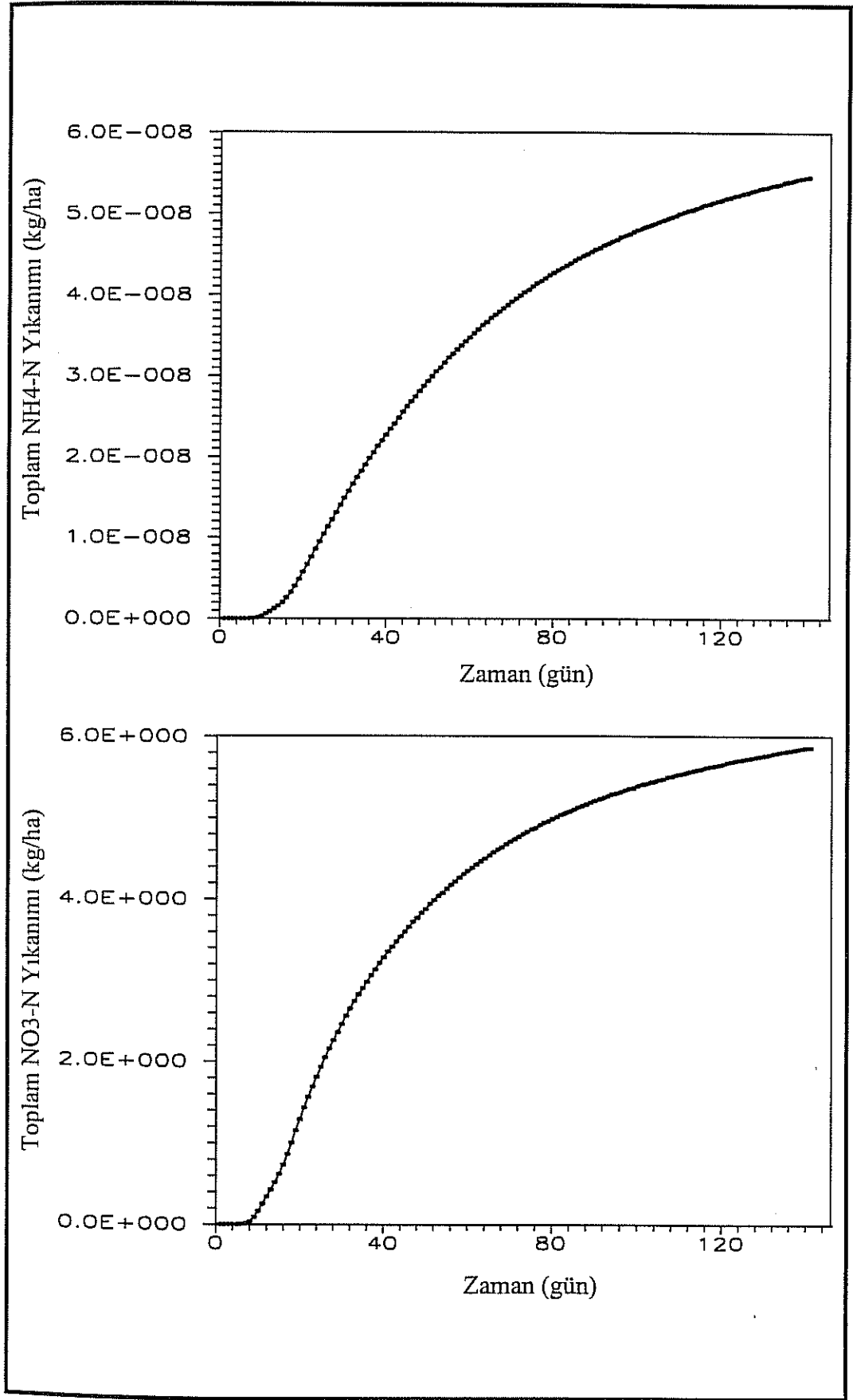
suretiyle yaklaşık 40 gün sonra erişilmektedir. Tınlı toprakda ise kararlı konsantrasyon düzeyi olan 8 mg/L değerine monoton bir artış sonunda ancak 135 gün sonra erişilmektedir. Killi toprakda profil tabanında 140 günlük bitki gelişme süresince  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu gözlemlenmemiştir. Kumlu ve tınlı topraklarda iki değişik zamanda uygulanan gübrenin kök bölgesi tabanındaki konsantrasyon dağılım eğrileri üzerindeki etkisi, kumlu toprakda daha erken olmak kaydıyla, nispeten kısa sürelerde gerçekleşen iki ayrı belirgin konsantrasyon çıkışlarıyla yansıtılmaktadır. Killi toprakda gübre uygulamalarından dolayı gerçekleşen konsantrasyon artışı uzun bir süre sonra ancak bitki gelişme döneminin sonlarında gerçekleşmiştir. Her üç toprakda da ikinci  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu çıkışlarının daha fazla olmasında nitrifikasyon önemli bir rol oynamaktadır.  $\text{NH}_4$  konsantrasyon dağılım eğrilerinde ikinci çıkışların görülmemesi ise ilk 20 günden sonra bitkinin önemli miktarlarda  $\text{NH}_4$  almaya başlamasından ve  $\text{NH}_4$  un toprakda birikmesiyle nitrifikasyonunda artmasından kaynaklanmaktadır. Kumlu topraklarda bile profilden süzülen sızıntı suyunda  $\text{NH}_4$  konsantrasyonu oldukça önemsiz miktardadır. Buna karşılık,  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu tınlı ve özellikle kumlu topraklarda yüksek düzeydedir.

Şekil 5.16 ve 5.17 de kumlu ve tınlı topraklar için bitki gelişme dönemi boyunca toprak profilden yıkanan toplam  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  miktarları sunulmuştur. Her iki toprak tipinde de profilden bitki gelişme sezonu boyunca yıkanan  $\text{NH}_4$  miktarı yok denecek kadar azdır. Buna karşılık,  $\text{NO}_3$  yıkanması özellikle kumlu toprakda önemli miktarlarda gerçekleşmektedir. Bitki gelişme sezonu boyunca kumlu toprakdan yıkanan  $\text{NO}_3$  miktarı 13.5 kg/da, tınlı toprakda ise yaklaşık 0.6 kg/da düzeyindedir. Profil tabanındaki konsantrasyon dağılım eğrilerinde gözlemlendiği gibi, profilden yıkanan  $\text{NO}_3$  miktarında da kumlu topraklarda çok daha erken olmak kaydıyla bir süre sonra kararlı (sabit) bir düzeye erişilmektedir. Killi topraklarda bitki gelişme sezonu boyunca  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  yıkanması olmamıştır.

Toprak hidrolik özelliklerinin toprak içerisinde azot taşınımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kumlu, tınlı ve killi topraklarda yapılan simülasyon çalışmaları hidrolik iletkenliğin



Şekil 5.16. Kum toprak profilinden toplam NH4-N ve NO3-N yıkanımı



Şekil 5.16. Tınlı toprak için bitki gelişme sezonu boyunca toprak profili tabanındaki NO3 ve NH4 yıkanma miktarları

yüksek olduğu kumlu topraklarda bile  $\text{NH}_4$  yıkanması nedeniyle YAS kirliliği bakımından ciddi bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır. YAS kirliliği bakımından asıl önemli sorun  $\text{NO}_3$  yıkanmasından kaynaklanmaktadır. Tınlı ve özellikle kumlu topraklarda  $\text{NO}_3$  yıkanması sorunu uygulanan azotlu gübrenin **bakiye etkisi** nedeniyle ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Dolayısıyla, azot yıkanmasının azaltılması bakımından, gübre ve sulama suyu uygulama miktarı, zamanı ve sıklığının bitki gelişimi ile uyumlu olarak düzenlenmesi önem arz etmektedir.

#### *5.4 Bitki Parametrelerine Duyarlılık*

Azotun toprak profilinde dağılımını etkileyecek bitki parametreleri bitki gelişimi ve örtüsü, kök derinliği ve dağılımı ile bitki su tüketimini ilgilendiren parametrelerdir. Bu parametreler sırasıyla Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4 de verilmiştir. Tablolarda sunulan parametreler ayçiçeği bitkisi için tipik değerler olarak kabul edilmektedir (Doorenbos ve Kassam, 1979).

Yeni bitki parametreleri kullanılarak diğer model girdileri bakımından base line şartları altında yapılan simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar Şekil 5.18 de verilmiştir. Şekilde ayçiçeği ve patates bitkilerinin yetiştirildiği toprak profillerinde hasat sonunda elde edilen  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  dağılımları sunulmaktadır. Sonuçlar bitki çeşidinin profildeki azot dağılımını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Su tüketimi patatese göre daha fazla olan ayçiçeği bitkisinin bulunduğu topraklarda azotun bitki tarafından daha fazla alınması nedeniyle profilden yıkanma yoluyla azot kaybı çok daha az miktarda olmaktadır.

#### *5.5 Gübre ve Sulama Suyu Uygulamalarına Duyarlılık*

Sulama suyu ve gübre dozu uygulamalarının toprak profilindeki azot dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere iki seri simülasyon çalışması yapılmıştır. Birinci seri simülasyonlarda 40, 60 ve 100 kg/da olmak üzere üç ayrı gübre dozu ve 873.5 mm (kalibrasyondaki) sulama suyu

Tablo 5.2. Duyarlılık analizlerinde ayçiçeği için kullanılan bitki gelişim periyotları ve bitki örtüsü verileri

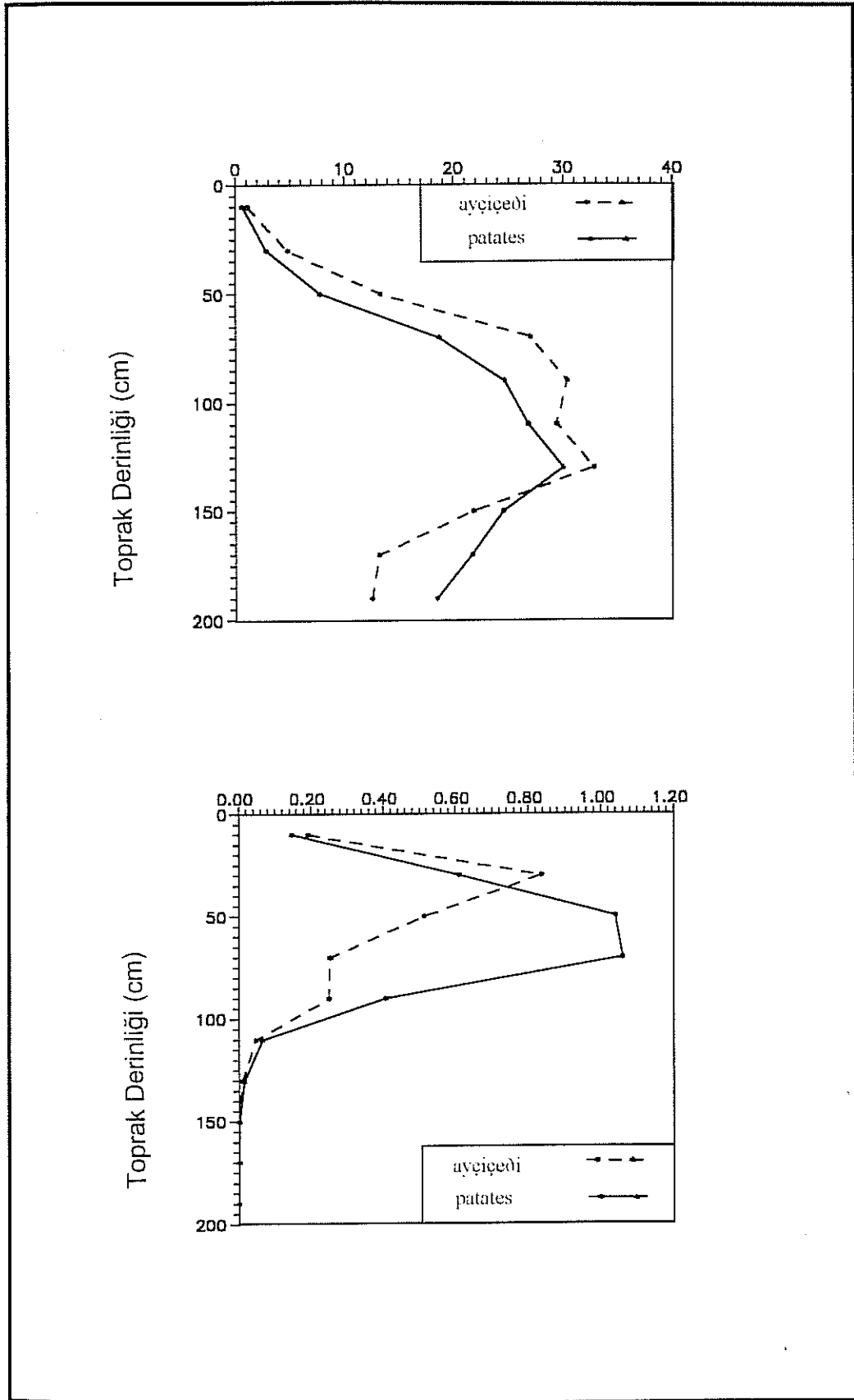
Gelişim Periyotları	Zaman Aralığı	Bitki Örtüsü Oranı (%)
Bitki Çıkışı	Dikimden 20 gün sonra	0-10
Bitki Gelişimi	Bitki Çıkışından 55 gün sonra	10-80
Yumuru Gelişimi	Bitki Gelişiminden 55 gün sonra	80
Olgunluk	Yumuru Gelişiminden 15 gün sonra	70

Tablo 5.3. Duyarlılık analizlerinde kullanılan kök derinliği ve kök dağılımı oranı değerleri

Toprak Derinliği (cm)	Kök Dağılımı (%)
0-22,5	40
22,5-45	30
45-67,5	20
67,5-90	10

Tablo 5.4. Duyarlılık analizlerinde kullanılan su tüketimi ve su tüketim katsayısı değerleri

Ay	Su Tüketimi ( $T_d$ ) <sup>*</sup> (mm)	Su Tüketim Katsayısı ( $K_c$ ) <sup>#</sup>
Nisan	40,3	0,3-0,4
Mayıs	62,2	0,7-0,8
Haziran	183,5	1,05-1,20
Temmuz	217,3	0,70-0,80
Ağustos	85,0	0,4



Şekil 5.18. Bitki parametrelerine duyarlılık analizleri için toprak profilinde NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> dağılımları

uygulanması durumu dikkate alınmıştır. İkinci seri simülasyonlarda ise 1100 mm, 873 mm ve 650 mm lik üç ayrı sulama suyu uygulaması ve 60 kg/da gübre dozu dikkate alınmıştır. Daha önce verilen Şekil 4.3 den de görüleceği gibi, 60 kg/da maksimum verimin elde gübre dozudur. 1100 mm lik su miktarı çalışmanın yürütüldüğü Derinkuyu'daki toplam evaporasyon miktarına, 650 mm lik su miktarında TOPRAKSU (1982) de verilen patates için gelişme sezonu boyunca gerekli toplam su tüketimi ihtiyacına tekabül etmektedir. Bilindiği gibi 873 mm lik su miktarı ise, kalibrasyon çalışması sonucu elde edilen ve bitki gelişme sezonu boyunca bitkiye yağış ve sulama yoluyla uygulanan toplam su miktarıdır.

Simülasyon sonuçları gübre dozları için Tablo 5.5 de, sulama suyu dozları için de Tablo 5.6 da azot bütçesi şeklinde sunulmuştur. Toprağa uygulana gübrenin büyük bir çoğunluğu (%95 üzerinde)  $\text{NO}_3$  haline dönüşmektedir. Bitki tarafından birim alandan alınan azot miktarı uygulanan gübre ve sulama suyu dozlarından etkilenmemektedir. Ancak, bitki tarafından birim alandan alınan gübre miktarının uygulanan toplam gübre miktarına oranı artan gübre dozuyla azalmaktadır. Bu oranlar 40 kg/da, 60 kg/da ve 100 kg/da gübre dozları için sırasıyla %26, %18 ve % 11 düzeyindedir. Toprakda kalan azot miktarının uygulanan gübre dozuna oranı artan gübre uygulamasıyla artmakta (40 kg/da, 60 kg/da ve 100 kg/da gübre dozları için sırasıyla % 58, % 67 ve % 74) fakat sulama suyu dozunun artmasıyla azalmaktadır (650 mm, 873 mm ve 1100 mm sulama suyu dozları için sırasıyla % 74, % 67 ve % 53).

Artan gübre ve sulama suyu dozu uygulamasıyla profilden  $\text{NH}_4$  yıkanmasının olmadığı, fakat yıkanan  $\text{NO}_3$  miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Yıkanan azot miktarının toprağa uygulanan toplam azota oranı bazında bir değerlendirme yapıldığında, sulama suyu dozunun artmasıyla yıkanma oranlarının arttığı (sırasıyla % 9, % 15 ve % 30) ancak gübre dozunun

Tablo 5.5. Farklı gübre dozu uygulamaları için yapılan duyarlılık analizlerinde hasat sonunda toprağa uygulanan etiketli azotun bütçesi

Gübre Uygulaması (kgN/da)	Bitkinin Aldığı Azot (kgN/da)		Toprakta Kalan Azot (kgN/da)				Yıkanan Azot (kgN/da)			
			(0-60 cm)		(0-200 cm)		(60 cm'in altına)		(200 cm'in altına)	
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
400	3,73	102,00	3,46	32,81	4,37	228,20	0,89	195,30	0,00	61,53
600	3,16	102,00	6,11	62,17	7,47	393,90	1,36	331,90	0,00	92,50
1.000	1,86	104,00	11,59	120,66	13,89	725,10	2,31	604,30	0,00	154,46

Tablo 5.6. Farklı sulama suyu dozu uygulamaları için yapılan duyarlılık analizlerinde hasat sonunda toprağa uygulanan etiketli azotun bütçesi

Sulama Suyu Uygulaması (kgN/ha)	Bitkinin Aldığı Azot (kgN/da)		Toprakta Kalan Azot (kgN/da)				Yıkanan Azot (kgN/da)			
			(0-60 cm)		(0-200 cm)		(60 cm'in altına)		(200 cm'in altına)	
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
1.100,0	3,16	102,00	4,25	19,65	5,59	310,80	1,19	291,20	0,00	177,50
873,0	3,16	102,00	6,11	62,17	7,47	393,90	1,36	331,90	0,00	92,50
650,0	2,62	103,00	11,66	251,56	12,30	428,70	0,64	177,20	0,00	52,90



yıkanan azot oranını etkilemediği (her üç gübre dozu için % 15) anlaşılmaktadır. Bu durum, topraktan yıkanan azot miktarının azaltılması için uygulanan gübre dozunun azaltılmasının tek başına yeterli olmadığı ve uygulanan sulama suyu dozunun da azaltılması gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır. Sulama suyu dozunu değiştirmeksizin gübre dozunun artırılması veya azaltılması uzun vadede YAS kirlilik potansiyeli bakımında önemli olan topraktaki bakiye azotun artırılması veya azaltılmasına neden olmaktadır.

Ürün verimi ve YAS kirlilik potansiyeli birlikte değerlendirildiğinde sulama suyu ve gübre dozu uygulamasının optimum düzeyde olması gerekmektedir. Tablo 5.5 ve 5.6 da sunulan sonuçlar Derinkuyu sahası için 60 kg/da gübre ve 650 mm sulama suyu dozunun optimum olduğunu göstermektedir. Ancak, 40 kg/da ve 60 kg/da gübre dozlarından elde edilen verimler arasındaki farkın çok fazla olmaması nedeniyle sulama suyu dozununun aynı kalması ve yapılacak bir ekonomik fayda-maliyet analizinin olumlu sonuç vermesi koşuluyla gübre dozunun 40 kg/da a kadar azaltılması YAS kirliliği açısından olumlu olarak değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle, sulama suyu-gübre dozu optimizasyonu için yapılacak fayda maliyet analizinde gübre dozunun artması sonucu YAS kirliliğindeki artmanın neden olacağı ekonomik değer kaybı da önemli bir etken olarak dikkate alınmalıdır.

## **6. Modelin Uygulanması**

### *6.1 Simülasyon Senaryosu*

LEACHN modelinin kalibrasyonunu ve değişik toprak hidrolik özellikleri ve bitki şartları altında azotun toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımı inceleyen duyarlılık analizlerini

takiben, kalibre edilen LEACHN in kullanılmasıyla uzun süreli simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu simülasyonlarda Nevşehir yöresinde mevcut sulama suyu ve azotlu gübre uygulamalarının uzun dönemde yaratması muhtemel YAS kirlilik yükleri tahmin edilerek uygun sulama suyu-gübre miktarlarını belirleyecek bir yönetim planı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Uzun süreli simülasyon senaryosunda simülasyon süresi olarak beş yıl dikkate alınmış ve toprak hidrolik, azot transformasyon ve bitki parametreleri için kalibrasyon sonucu elde edilen parametre değerleri (Tablolar 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.15) kullanılmıştır. Bir önceki yılda, bitki gelişme sezonu sonunda toprak profilindeki  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  konsantrasyonu dağılımları bir sonraki yıla ait simülasyon için başlangıç koşulu olarak alınıp, halen Nevşehir'de uygulanmakta olan mevcut azotlu gübre ve sulama suyu uygulamalarının her yıl tekrarlandığı varsayılarak simülasyonlar periyodik olarak beş yıl süreyle tekrarlanmıştır. Kalibrasyon çalışmalarından hatırlanacağı gibi, bitki gelişme sezonu boyunca değişik zamanlarda uygulanan sulamalar ve yağışlar sonucu profile uygulanan su miktarı 873.5 mm yi bulmaktadır. Bunun dışında ayrıca, hasadı takiben bir yıl sonraki ekim zamanına kadar geçen sürede meydana gelen yağışlar, beş yıllık meteoroloji verilerinden yararlanmak suretiyle her yıl için ayrı ayrı toprağa uygulanan ilave su miktarı olarak simülasyonda dikkate alınmıştır. Gübre dozu olarak ise iki defada, yarısı dikimde ve diğer yarısında birinci sulamadan önce, uygulanmak üzere 40 kg/da kullanılmıştır. Bu miktar Derinkuyu yöresinde çiftçiler tarafından uygulanan gübre dozunun alt sınırına yakın bir değerdir. Yörede çiftçiler tarafından uygulanan azotlu gübre dozu 90 kg/da a kadar çıkmaktadır (İlbeyi vd, 1996).

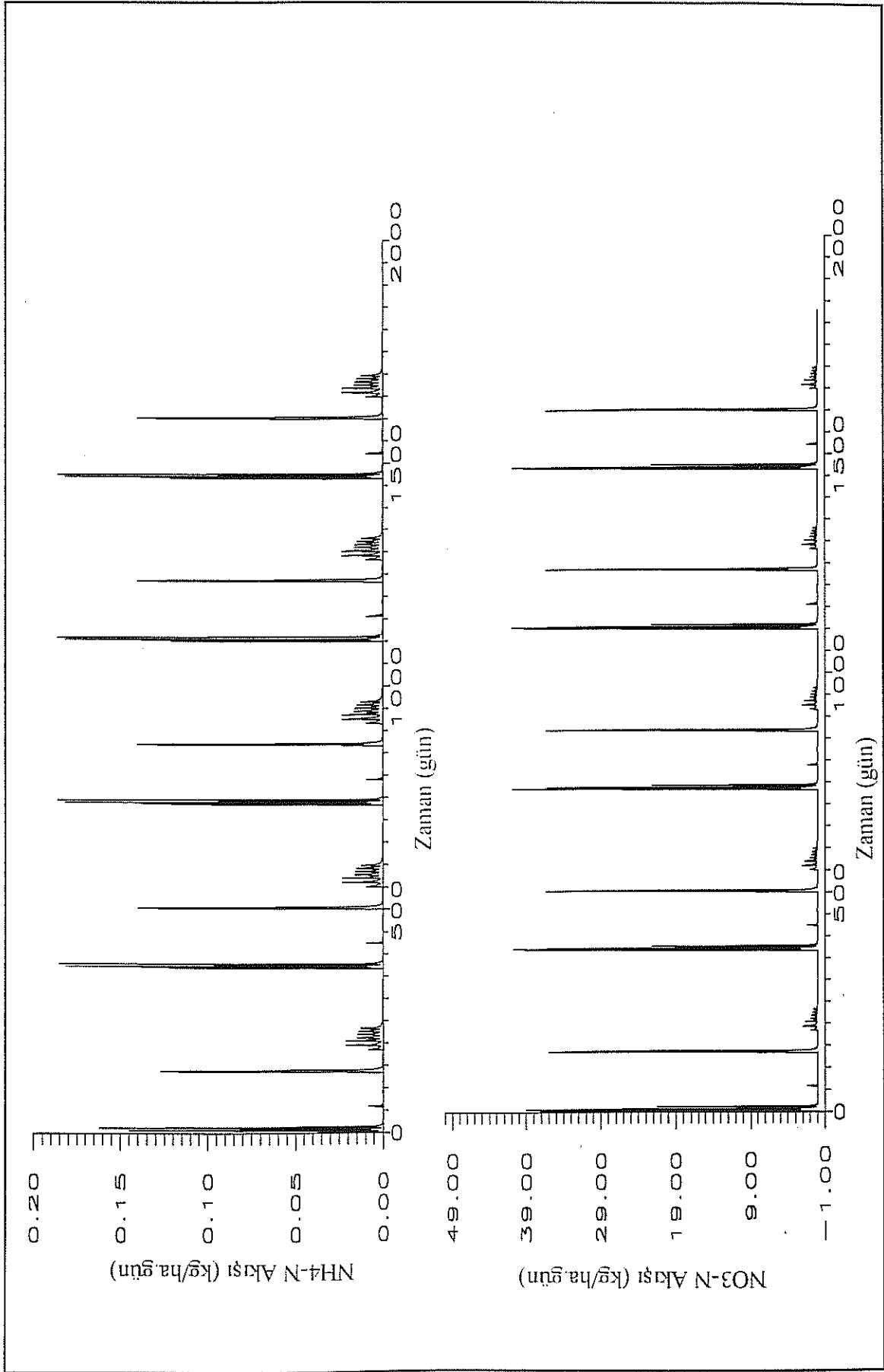
## 6.2 Simülasyon Sonuçları ve Yönetim Planı Stratejileri

Uzun dönem simülasyon sonucu 5 yıl boyunca elde edilen kök bölgesi (0-75 cm) ve toprak profili (0-200 cm) tabanındaki  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları ile toprak profilinden yıkanan toplam  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  miktarları sırasıyla Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3 de sunulmuştur. Şekil 6.1 ve 6.2 de hem  $\text{NO}_3$  hemde  $\text{NH}_4$  akım yoğunluklarının değerlendirilmesinde konsantrasyon çıkışlarının sıklığının yanısıra büyüklükleride önem arz etmektedir. Doğal olarak konsantrasyon çıkış zamanları ve büyüklükleri yıkanan azotun kök bölgesi veya toprak profilini katetme süresiyle orantılı olarak belirli bir gecikme dahilinde yağış ve sulama suyu uygulama zamanlarıyla doğrudan ilgilidir. Kök bölgesinde  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları her ne kadar yıldan yıla oldukça önemsiz bir artış gösteriyor olsalarda birinci yılda kararlı bir duruma erişmekete ve daha sonra hemen hemen her yıl periyodik olarak aynı yıkanma davranışını tekrarlamaktadırlar.

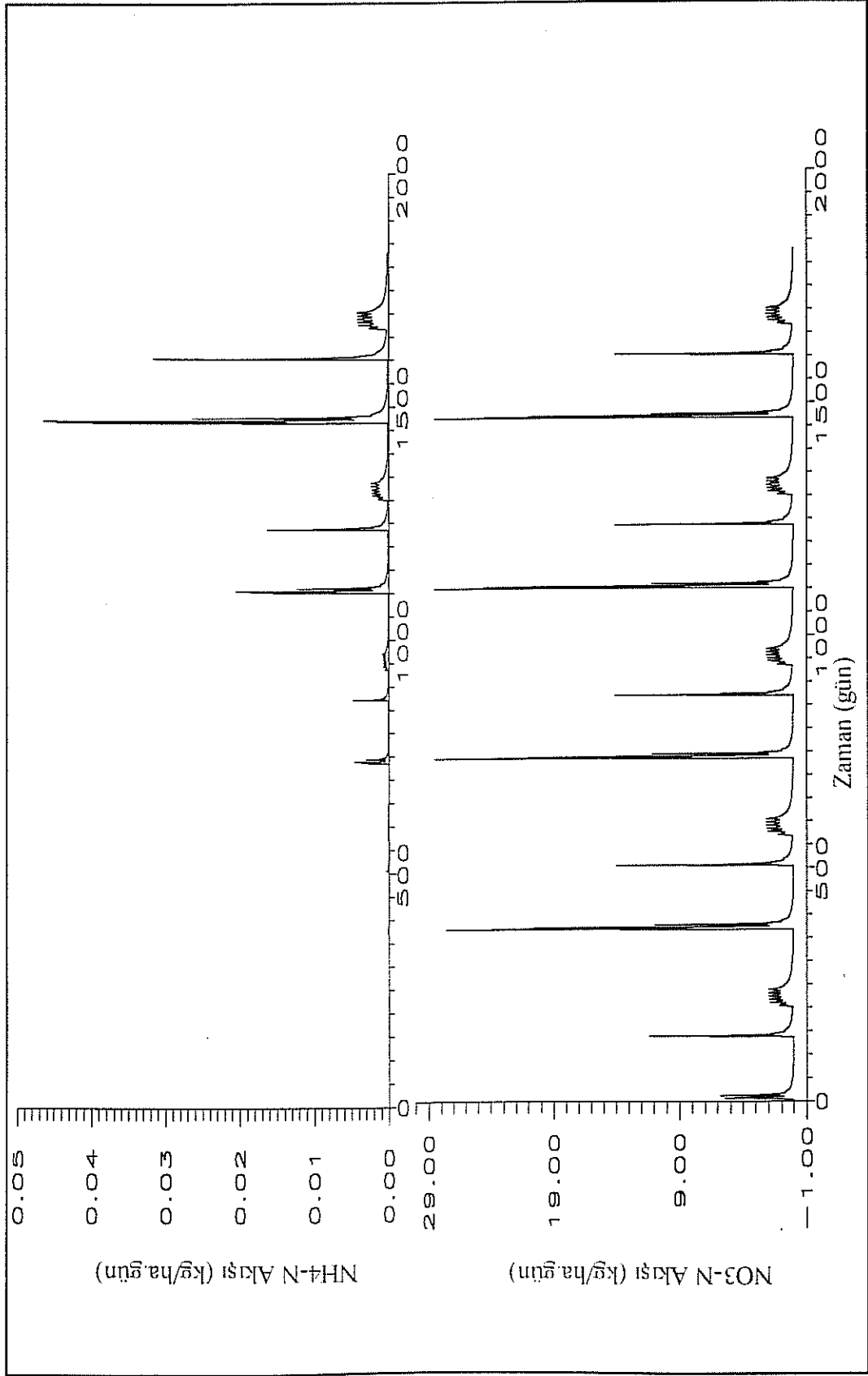
Toprak profilinin tabanından olan  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunlukları kök bölgesine kıyasla hem konsantrasyon çıkışlarının büyüklüğü hemde zamana göre dağılımı bakımından oldukça farklı bir durum sergilemektedir. Bu farklılık  $\text{NH}_4$  için  $\text{NO}_3$  a göre daha belirgin olarak ortaya konmaktadır. İlk iki yıl profilden hiç bir  $\text{NH}_4$  yıkanması gözlemlenmemektedir. Daha sonra ise yıldan yıla yıkanma miktarlarında hızlı bir artış görülmektedir. Bu durum  $\text{NH}_4$  azotunun toprakda henüz kararlı bir duruma erişmediğini, her yıl uygulanan gübreden gelen  $\text{NH}_4$  un adsorpsiyon yoluyla toprakda depolanmakta olduğunu ve mevcut gübre, sulama suyu dozu ve bitki çeşidi uygulamalarının devam ettirilmesi halinde bir süre sonra  $\text{NH}_4$  yıkanma oranlarının çok daha önemli düzeylere erişeceğini göstermektedir.  $\text{NO}_3$  yıkanma yoğunluğu ise ikinci yıldan itibaren kararlı bir duruma gelmekte ve daha sonra hemen hemen her yıl periyodik olarak aynı yıkanma davranışını, maksimum yaklaşık 2.9 kg/da.gün olmak üzere,

tekrarlamaktadır. Yıkanma yoğunlukları gübre ve sulama suyu uygulamalarının yoğun olduğu dönemlerde gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, toprakda kalan bakiye azot nedeniyle hasadı takip eden yağışlı sezonda da önemli  $\text{NO}_3$  yıkanmasının vuku bulması dikkat çekmektedir. Toprakda tutulması ve büyük ölçüde nitrifikasyona uğraması nedenleriyle hem kök bölgesi hemde toprak profili tabanından  $\text{NH}_4$  yıkanma yoğunluğu  $\text{NO}_3$  yıkanma yoğunluğuna kıyasla oldukça düşük düzeydedir.

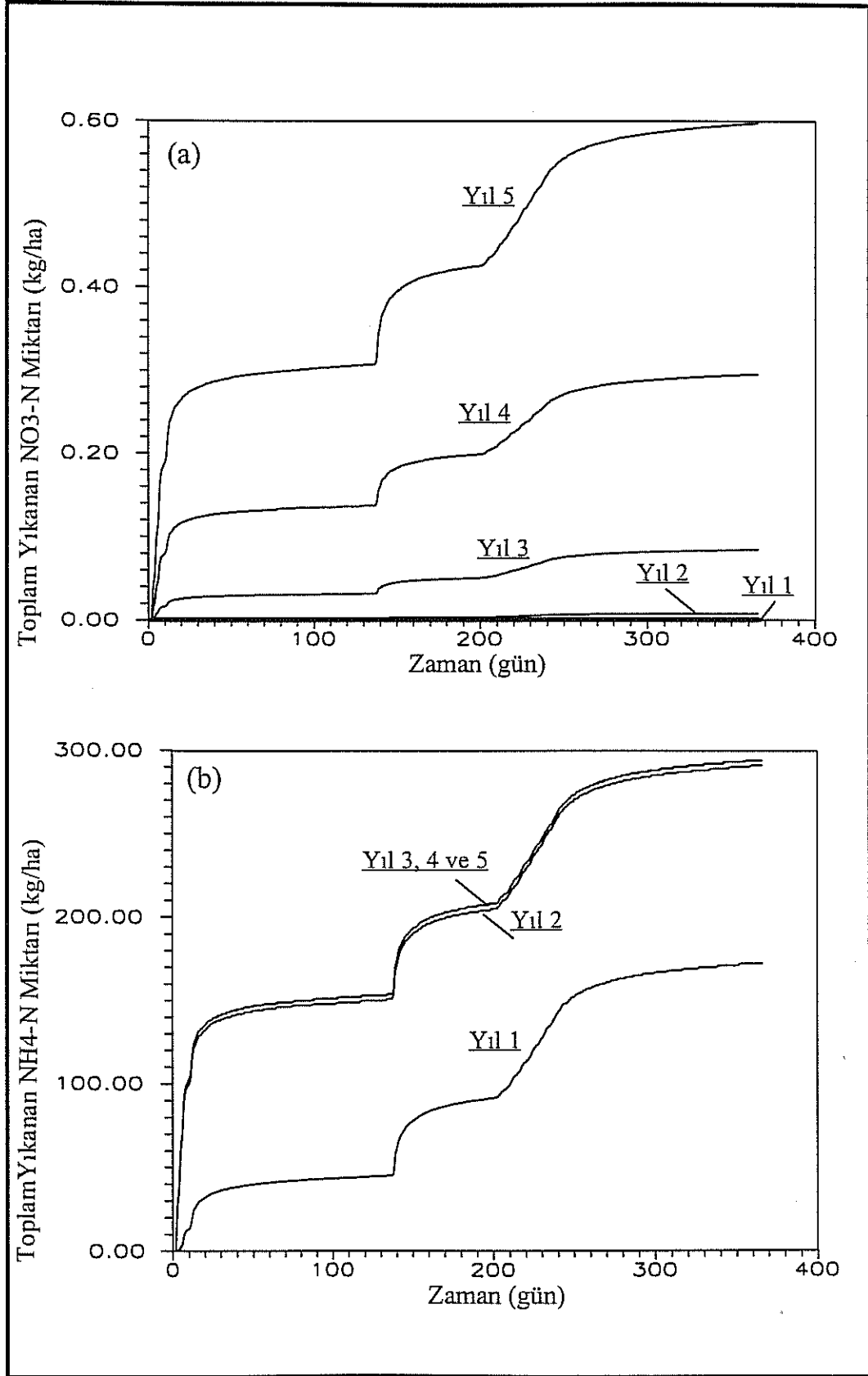
Toprak profilinden yıkanan yıllık toplam  $\text{NH}_4$  miktarını gösteren eğriler incelendiğinde, YAS na yıkanan  $\text{NH}_4$  miktarının profildeki bakiye azot miktarının artmasıyla yıldan yıla hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak, akım yoğunluğu dağılımında da görüldüğü gibi,  $\text{NH}_4$  bu artışı henüz kararlı bir duruma erişmemiştir; diğer bir deyişle yıkanan  $\text{NH}_4$  azotu miktarı mevcut toprak-bitki-su yönetim şartların devam etmesi halinde artmaya devam edecektir. Toprak profilinden yıkanan yıllık toplam  $\text{NO}_3$  zotu miktarı ikinci yılın sonundan itibaren kararlı bir duruma erişmekte, bu yıldan sonra 30 kg/da lık sabit oranda YAS na yıkanmaktadır. Diğer bir deyişle, birinci yıl uygulanan gübrenin yaklaşık % 42.5 i, ikinci yıl uygulanan gübrenin yaklaşık % 71 i, üçüncü ve daha sonraki yıllardan itibaren uygulanan gübreninde yaklaşık % 74 ü yıkanmaktadır. Mevcut uygulamanın ikinci yıldan itibaren devam etmesi halinde uygulanan gübrenin ancak % 26 sı bitki tarafından kullanılabilen geri kalan kısmı ise YAS nu kirletmek üzere toprakdan yıkanmaktadır. Bu durum potansiyel olarak çok ciddi bir ekonomik kayıp ve kirlilik ve probleminin mevcudiyetini ortaya koymaktadır.



Şekil 6.1. Uzun vadeli simülasyon döneminde kök bölgesi tabanındaki NH4 ve NO3 akım yoğunluğu değerleri



Şekil 6.2. Uzun vadeli simulasyon döneminde toprak profili tabanındaki  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}_3$  akım yoğunluğu değerleri



Şekil 6.3. Uzun vadeli simülasyon döneminde toprak profili tabanındaki (a) toplam NH4 ve (b) toplam NO3 yıkanma miktarları

Uzun dönem simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar Nevşehir yöresinde YAS kirlilik potansiyelini azaltmak amacıyla mevcut gübre ve sulama suyu miktarlarını belirleyecek yönetim planının oluşturulmasında bazı hususları ön plana çıkarmaktadır. Sahada yürütülmekte olan patates tarımının mevcut sulama suyu ve gübre uygulama şartları altında devam ettirilmesi halinde, birinci yılın sonundan itibaren uygulanan azotlu gübrenin önemli bir kısmının bitki tarafından kullanılmayan bakiye azot olarak toprakda biriktiği görülmektedir. Yöre topraklarının kumlu olması, biriken bakiye azotun  $\text{NO}_3$  dönüşerek hızla topraktan YAS na yıkanmasına sebep olmaktadır. Bu bakımdan, hasat sonrası yıkanma oranlarının azaltılması için gübre uygulamalarında bitki tarafından kullanılmayan bakiye azot miktarının azaltılmasını sağlayacak düzenlemelere gidilmesi önem arz etmektedir.

Verimde ekonomik anlamda ciddi bir azalmaya yol açmaksızın toplam gübre uygulama oranının sabit kalması kaydıyla, gübre uygulama zamanı, sayısı ve her bir seferde uygulanacak miktarı yeniden düzenlemek faydalı olacaktır. Bu bağlamda, verimde önemli bir düşüşe sebep olmayacağından, halen 60 kg/da olarak belirlenen optimum gübre dozunun 40 kg/da a indirilmesi; halen yarısı dikimde, diğer yarısında birinci sulamadan önce olmak üzere iki defada yapılan gübreleme sayısının ise dörde çıkarılması ve uygulama oranlarının Tablo 4.9 da verilen bitki gelişme dönemleriyle uyumlu olarak (örneğin % 15 i dikimde, % 35 i dikimden 30 gün sonra, % 35 i dikimden 55-65 gün sonra ve geri kalan % 15 i de dikimden 90 gün sonra olacak şekilde) belirlenmesi önerilmektedir. Bu tarzda bir gübre uygulama zamanlaması, bitkinin gübreye olan gereksinimle daha uyumlu olması sebebiyle, verilen gübrenin bitki tarafından daha etkili bir şekilde alınmasını ve dolayısıyla bakiye azot etkisinin azalmasını mümkün kılacaktır. Ayrıca, azotlu gübrenin sulamalardan önce değil, toprakların hidrolik iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle sulama sonlarına doğru profildeki su miktarının tarla kapasitesi civarında olduğu zamanda uygulanması azot yıkanmasının



azaltılması bakımından etkili olacaktır. Sık ve az miktardaki sulama ile gübre dozu ve sulama derinliği de düşürülebilir. Örnek olarak, 75 cm toprak profilini tarla kapasitesine getirinceye kadar sulama yapılabilir. Hatta tam tarla kapasitesine gelmeden sulamaya son verilebilir. Bu şekilde bitki besin elementi profilin üst kısımlarında tutulabilir. Dolayısıyla, yıkanma azaltılabilir. Bunlara ilave olarak, sulama suyu miktarına duyarlılık çalışmaları sırasında kumlu topraklarda bitki gelişme sezonu boyunca toplam 18 adet sulama sonucu 650 mm lik sulama suyu uygulamasının azot yıkanma oranını önmeli ölçüde azalttığı dikkate alındığında, yöredeki sulama miktarında 650 mm civarda tutulması YAS kirlilik potansiyelinin azaltılması bakımından önem arz etmektedir. Nihai olarak ise, bakiye azot etkisinin azaltılması amacıyla, patatesden sonra ikinci yıl toprakda kalan azotlu gübreyle yetinebilecek veya daha az azotlu gübre gereksinimi olan bir bitki, örneğin yörede patatesden sonra en çok ekilen buğday, ile münavebe sisteminin daha yaygın olarak uygulanması bakiye azotun YAS na yıkanmasını azaltmada etkili olacaktır.

## 7. Sonuç ve Değerlendirmeler

Türkiye’de yanlış ve aşırı azotlu gübre kullanımı sonucu toprak ve YAS kaynaklarında ciddi boyutlarda kirlilik probleminin olduğu OECD nin hazırladığı bir raporda vurgulanmaktadır. Bu çerçevede, Nevşehir ili Derinkuyu yöresinde patates tarımı yapılan alanlarda YAS nda artan miktarlarda  $\text{NO}_3$  kirliliğinin gözlemlenmesi anılan soruna tipik bir örnek oluşturmaktadır. Optimum tarımsal ürün için gerekli olan azotlu gübrenin yeterli zaman ve miktarda toprak ve YAS kirliliğine yol açmadan uygulanmasını gerektiren "bilinçli gübreleme ve sulama" yöntemlerini içeren yönetim planlarının geliştirilmesi kirlilik sorununun giderilmesinde önemli bir etken olmaktadır. Bu çalışmada temel olarak değişik toprak ve

hidrolojik şartlar altında, ürün veriminde ekonomik anlamda ciddi azalmalara yol açmadan, YAS kirlilik potansiyelini en aza indiren yönetim planalarının oluşturulmasına rehberlik edebilecek temel bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak kullanılabilen en etkin aracın toprak-bitki-su sistemini simüle edebilen matematik modeller olduğu bilinmektedir.

Proje hedeflerine ulaşmak için iki aşamalı bir yol izlenmiştir. Birinci aşamada, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde <sup>15</sup>N kullanarak değişik gübre ve sulama suyu dozları altında azotun toprak-su-bitki sistemi içerisinde dağılımını belirlemeyi, su ve azotun toprak içerisinde hareketini izlemeyi ve toprak hidrolik özelliklerini ölçmeyi amaçlayan saha ve laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. İkinci aşamada ise, saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler azot çemberi ve toprak-su-bitki sistemi dinamiğini detaylı bir şekilde dikkate alan LEACHN isimli nümerik bir bilgisayar modeli kullanılarak çok sayıda simülasyon çalışmaları yürütülmüştür.

Simülasyon çalışmaları LEACHN in kalibrasyonunu, duyarlılık analizlerini ve uzun vadeli uygulamalarını kapsamaktadır. Model kalibrasyonu yoluyla sahadaki su rejimini ve azot dağılımını kontrol eden parametrelerin değerleri belirlenmiş ve bu süreçler bakımından modelin saha şartlarını gerçeğe en yakın şekilde benzeştirebilmesi sağlanmıştır. Duyarlılık analizleriyle, yönetim planı oluşturulması bakımından önem arzeden, değişik toprak, bitki ve hidrolojik şartlar altında azotun bitki gelişme sezonu boyunca toprak-su-bitki sistemi içerisindeki dağılımı incelenmiştir. Kalibre edilen LEACHN in kullanılmasıyla yapılan simülasyonlarla da Nevşehir yöresinde mevcut sulama suyu ve azotlu gübre uygulamalarının uzun dönemde yaratması muhtemel kirlilik yükleri tahmin edilerek uygun sulama suyu-gübre miktarlarını belirleyen bir yönetim planı oluşturulmuştur.

Proje kapsamında yürütülen simülasyon çalışmalarının sonuçları yanlış tarımsal uygulamalardan kaynaklanan YAS kirlilik potansiyelini azaltmak amacıyla yönelik uygun azotlu gübre sulama suyu miktarlarını belirleyen yönetim planının oluşturulmasında bazı hususları ön plana çıkarmaktadır. Bu hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir. YAS kirliliği bakımından asıl önemli sorun  $\text{NO}_3$  yıkanmasından kaynaklanmaktadır. Hidrolik iletkenliğin yüksek olduğu kumlu topraklarda bile  $\text{NH}_4$  yıkanması nedeniyle YAS kirliliği bakımından ciddi bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır. Toprağa uygulanan azotlu gübrenin bakiye etkisi YAS kirliliği açısından oldukça önemli rol oynayan bir faktördür. Bakiye gübre etkisinin azaltılması YAS kirliliği bakımından kumlu ve tınlı topraklarda killi topraklara kıyasla daha önemli görünmektedir. Tınlı ve özelliklede kumlu topraklarda azotlu gübrenin bakiye etkisi nedeniyle  $\text{NO}_3$  yıkanmasının azaltılması bakımından, gübre ve sulama suyu uygulama miktarı, zamanı ve sıklığının bitki gelişimi ile uyumlu olarak düzenlenmesi önem arz etmektedir. Sulama suyu dozunu değiştirmeksizin gübre dozunun azaltılması YAS na yıkanan azot miktarının azaltılmasında tek başına etkili olmamaktadır. Sulama suyu-gübre dozu optimizasyonu için yapılacak fayda maliyet analizinde gübre dozunun artması sonucu YAS kirliliğindeki artmanın neden olacağı ekonomik değer kaybı önemli bir etken olarak dikkate alınmalıdır.

Halen Nevşehir'de patates tarımının yapıldığı alanlarda uygulanmakta olan mevcut azotlu gübre ve sulama suyu uygulamalarının her yıl tekrarlanması halinde toprakta kalan bakiye azot nedeniyle hasadı takip eden yağışlı sezonda önemli  $\text{NO}_3$  yıkanmasının vuku bulması dikkat çekmektedir. Yöre topraklarının kumlu olması nedeniyle, birinci yılın sonundan itibaren uygulanan azotlu gübrenin bitki tarafından kullanılmayan önemli bir kısmı  $\text{NO}_3$  dönüşerek hızla toprakdan YAS na yıkanmaktadır. Bu bakımdan, hasat sonrası yıkanma oranlarının azaltılması için gübre uygulamalarında bitki tarafından kullanılmayan bakiye azot miktarının azaltılmasını sağlayacak düzenlemelere gidilmesi önem arz etmektedir. Bu

bağlamda, optimum gübre dozunun 40 kg/da olması, gübreleme sayısının dörde çıkarılması ve uygulama oranlarının bitki gelişme dönemleriyle uyumlu olarak belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, azotlu gübrenin sulamalardan önce değil, toprakların hidrolik iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle sulama sonlarına doğru profildeki su miktarının tarla kapasitesi civarında olduğu zamanda uygulanması, bitki gelişme sezonu boyunca uygulanacak toplam sulama miktarının 650 civarında tutulması ve yörede münavebe sisteminin daha yaygın olarak uygulanması toprakda kalan fazlalık azotun YAS na yıkanmasını azaltmada etkili olacaktır.

## 8. Kaynaklar:

Axmann, H., A. Sebastianelli, ve J. L. Arrillaga. 1990. Use of Nuclear Techniques in Studies of Soil-Plant Relationships. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Campbell, G. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117:311-314.

Carsel, F. R. ve R. S. Parrish. 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. Water Resour. Res., 24(5):1498-1504.

Davidson, J. M., D. A. Graetz, P. Suresh, C. Rao ve H. M. Selim. 1978. Simulation of nitrogen movement, transformation and uptake in plant root zone, EPA-600/3-78-029.

Doorenbos, J. ve Kassam, A. H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome.

DSİ Genel Müdürlüğü. 1970. Mislî Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, Ankara.

Gureghian, A. B., D. S. Ward ve R. W. Cleary. 1979. Imultaneous transport of water and reacting solutes through multilayerded soils under transient unsaturated flow conditions, J. Hydrol., 41:253-278.

Hutson ve R. J. Wagenet. 1992. Leaching Estimation and Chemistry Model. Département of Soil, Crop and Atmospheric Sciences, Cornell University, research Serious No. 92-3, Ithaca, New York, USA.

- İlbeyi, A., B. Halitligil ve A. Akin. 1996. Nevşehir Derinkuyu yöresinde azotlu gübrenin patates verimine etkisinin ve yeraltı suyunu kirletme potansiyelinin belirlenmesi, KHGM-AAE, Ankara.
- Johnsson, H. L., L. Bergstorm, P-E. Jansson, ve K. Paustian. 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 18:333-356.
- Kaluarachchi, J. J. ve J. C. Parker. 1988. Finite element model of nitrogen species transformation and transport in the unsaturated zone, *J. of Hydrol.*, 103:249-274.
- Karaca, M. ve Z. demir. 1995. Kapadokya bölgesinde su ve azot miktarının paptes yumru verimine ve hasat sonrası toprak inorganik azotuna etkisi. *Toprak Ilmi Derneği İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu*, pp: B191-B201, Ankara.
- Kirda, C., J. L. Starr, C. Misra, J. W. Biggar ve D. R. Nielsen. 1974. Nitrification and denitrification during miscible displacement in unsaturated soil, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:772-776.
- Klute, A. 1986. *Method of Soil Analysis: Part 1, Physical and Minerological Methods*, Soil Science Society of America Publ., Madison, WI.
- Mishra, C., D. R. Nielsen ve J. W. Biggar. 1974a. Nitrogen transformation during leaching; I. Theoretical considerations, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:289-293.
- Mishra, C., D. R. Nielsen ve J. W. Biggar. 1974b. Nitrogen transformation during leaching; II. Steady state nitrification and nitrate reduction, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:294-299.

Mishra, C., D. R. Nielsen ve J. W. Biggar. 1974c. Nitrogen transformation during leaching; III. Nitrate reduction in soil columns, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:300-304.

OECD, Environment Policy Committee. 1992. Environmental policies in Turkey slected topics, No: ENV/EPOC(92)/ANN, Paris, France.

Selim, H. M. ve I. K. Iskandar. 1981a. Modeling nitrogen transport transformation in soils: Theoretical considerations, *Soil Sci.*, 131:233-241.

Selim, H. M. ve I. K. Iskandar. 1981b. Modeling nitrogen transport transformation in soils: Validation, *Soil Sci.*, 131:303-312.

Stanford, G. ve V. P. Dzienia. 1975. Denitrification rates in relation to total and extractable soil carbon, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:284-289.

Starr, J. L., F. E. Broadbent ve D. R. Nielsen. 1974. Nitrogen transformation during continuous leaching, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:283-289.

Tanji, K. K. ve S. K. Gupta. 1978. Computer simulation modeling for nitrogen in irrigated crop lands. In: D. R. Nielsen and J. G. MacDonald (eds.). *Nitrogen in the environment*. Academic, New York, pp.79-130.

Tillotson, W. R. ve R. J. Wagenet. 1982. Simulation of fertilizer nitrogen under cropped situations, *Soil Sci.*, 133:133-143.

TOPRAKSU, 1982. Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketimleri Rehberi Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı. Yayın No: 35. Rehber No: 5. Ankara.

Tüzüner, A. 1990. Toprak ve Su Analiz El Kitabı. KHGM Yayınları Seri No: 10, Ankara.

Wagenet, R. J., J. W. Biggar ve D. R. Nielsen. 1976. Analytical solutions of miscible displacement equations describing the sequential microbiological transformations of urea, ammonium and nitrate, Water Science and Engineering Papers, No:6001, Dept. of Water Sci. and Enginer., UC Davis.

Wagenet, R. J. ve B. K. Rao. 1983. Description of nitrogen movement in the presence of spatially variable soil hydraulic properties, Agrig. Water Maneg., 6:227-242.

Watts, D. G. ve R. J. Hanks. 1978. A soil-water-nitrogen model for irrigated corn on sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 492-499.



BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: YDABÇAG-76	2- Rapor Tarihi: 24.7.1997
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Kasım 1994-Kasım 1996	
4- Projenin Adı: Azotlu Gübre Yıkanması Nedeniyle Yeraltı Suyu Kaynaklarındaki Kirlenme Miktarının Matematik Modellerle Belirlenmesi	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Proje Yürütücüsü : Doç.Dr.Kahraman Ünlü Araştırmacılar: Y.Müh.Günel Üzenirler,Y.Müh.Adem İlbeyi, Dr.Haluk Üstün.	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü ANKARA	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü ANKARA	
8- Öz (Abstract): Türkiye'de tarımın yoğun olduğu yörelerde yanlış ve aşırı azotlu gübre kullanımının yeraltı suyu (YAS) kaynaklarında önemli miktarlarda kirlenmeye yol açtığı bilinmektedir. Bu raporda, N ile yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilere dayanarak ve matematik modeller kullanarak yürütülen simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar baz alınarak, Türkiye'de geniş tarımsal alanlarda YAS kaynaklarının kirlenmesine yol açmayacak optimum azotlu gübre ve sulama suyu kullanım miktarlarının belirlenmesine yardımcı olacak bir yönetim planı oluşturulması amaçlanmıştır. Proje hedeflerine ulaşmak için iki aşamalı bir yol izlenmiştir. Birinci aşamada, KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından Nevşehir ili Derinkuyu ilçesinde N kullanarak değişik gübre dozları altında azotun toprak-su bitki sistemi içerisinde dağılımını belirlemeyi, su ve azotun toprak içerisinde hareketini izlemeyi ve toprak hidrolik özelliklerini ölçmeyi amaçlayan saha ve laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. İkinci aşamada ise, elde edilen veriler LEACHN isimli sayısal bir bilgisayar modeli kullanılarak çok sayıda simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Azotlu gübrenin bakiye etkisi nedeniyle NO <sub>3</sub> yıkanmasının azaltılması önem arz etmektedir. Anahtar Kelimeler: Toprak ve yeraltı suyu kirliliği, azot yıkanması, simülasyon modeli.	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler Projeden The Journal of Hydrology'de yayınlanmak üzere bir makale hazırlanmaktadır.	
10- Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: ISIC Kodu: Uzmanlık Alanı Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input checked="" type="checkbox"/> Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input checked="" type="checkbox"/> Gizli Değil	

(\*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz