

## SİSTEMLİ YAKLAŞIMLA EKOSİSTEMİN ANALİZİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME YÖNTEMİ

İmanverdi EKBERLİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Samsun

Sorumlu yazar: iman@omu.edu.tr

Geliş Tarihi: 08.02.2008

Kabul Tarihi: 07.08.2008

**ÖZET:** Bilgi sistemlerinin gelişmesi ve bunların ekosistem araştırmalarına yansımaları, ekosistemlerde ortaya çıkan süreçlerin detaylı incelenmesinde matematiksel modellerin kullanılmasını daha da gerekli kılmaktadır. Ekosistemdeki süreçlerin biyolojik-kimyasal-fiziksel, matematiksel, mantıksal temsili modellerinin yapılması deneysel ve teorik bilgilere bağlı olmaktadır. Sistemli yaklaşım model oluşturmanın metodolojik temelini oluşturduğundan, bu yaklaşımın temel kavramlarının (model bileşenleri, bileşenleri etkileyen dış ortam) belirlenmesi öncelikli problemlerdendir. Bu amaçla, “ekosistem”, “model”, ve “modelleme” kavramları sistemli bir yaklaşım ile ele alınarak, modellerin genel sınıflandırılması, modelleme yöntemindeki gerekli aşamalar (konunun belirlenmesi, kavramlaştırma, özelleştirme, gözlem, tespit, kontrol, inceleme ve optimizasyon) incelenmiş ve genel olarak tarım sistemlerinde uygulanabilir önemli bazı matematiksel modeller (temel kütle taşınım modelleri, verimlilik ve bitki büyüme modelleri) irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** sistemli yaklaşım, ekosistem, tarım, ampirik ve teorik modeller, modelleme

### MATHEMATICAL MODELLING METHOD IN ANALYSIS OF ECOSYSTEM VIA SYSTEMATIC APPROACH

**ABSTRACT:** The evolution and development of information technology, its impact on ecosystem studies has increased the importance of application of mathematical models in detailed analysis of processes occurring in ecosystems. The derivation of models, which represent biological-chemical-physical, mathematical and logical justification of processes occurring in ecosystem, is directly linked to theories and information obtained from experiments. Due to the fact that systematic approach is considered methodological base for model derivation, determining basic concepts (its components, relationship between its components and surrounding environment) of this approach is one of the most important issues in this subject. Therefore, this study emphasizes general classification of models, important phases (deriving subject, concept development, classification, observation, determination, control, analysis, and optimization) of modeling method by evaluating concepts of “ecosystem”, “model” and “modeling” in terms of systematic approach.

**Key Words:** systematic approach, ecosystem, agriculture, empiric and theoretic models, modelling

#### 1. GİRİŞ

Ekosistemdeki farklı sistemlerin (toprak, bitki vb.) incelenmesinin metodolojik temelini sistemli yaklaşım oluşturmaktadır. Karmaşık sistemlerin bağımsız özelliklerinin ve bu özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi, dolayısıyla tüm sistemin incelenmesi sistemli yaklaşım ile mümkündür. Uygulamalı bilim alanlarında karmaşık yapıların sistemli incelenmesine imkan sağlayan elektronik hesap makinelerinin hızlı gelişimine bağlı olarak, 20. asrın ortalarında sistemli yaklaşım özel bilimsel yöntem statüsü kazanmıştır (Watt, 1966; Gordon, 1977; Patent, 1975a, 1975b, 1976; Dale, 1970; Smith, 1970; Gilmanov, 1978).

Sistemli yaklaşımın bazı temel kavramlarından (model bileşenleri ve bileşenlerle ilişkili dış ortam) oluşan araştırma sisteminin (S) parametrelerinin zamana bağlı olarak değişimi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$X = X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$$

$$Y = Y(t) = \{Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_k(t)\}$$

$$Z = Z(t) = \{Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_r(t)\}$$

Burada,  $X$  -sistemin  $n$  sayıdaki dahili bileşenler kümesini;  $Y$  -sistemi önemli derecede etkileyen  $k$  sayıdaki dış ortam bileşenlerinin kümesi;  $Z$  - sistemin

yapısı olup, sistemin iç bileşenleri; iç ve dış ortam bileşenleri arasındaki  $r$  sayıdaki ilişkiyi ifade eder.

$Y(t)$  dış faktörlere bağlı olarak  $S$  sisteminin  $X(t)$  dahili bileşenlerinin ve  $Z(t)$  yapısının zamana bağlı olarak  $F$  değişim kuralı  $S$  sisteminin fonksiyonu olmaktadır. Her hangi bir  $S(t) = S\{X(t), Y(t), Z(t), F\}$  sisteminin sistemli yaklaşım ile incelenmesi i) sistemi oluşturan bileşenlerin ve dış ortamın; ii) sistemin yapısının; iii) sistem bileşenlerinin değişiminin ve dış ortamın etkisiyle bileşenler arasında oluşan ilişkilerin özelliğini belirleyen  $F$  fonksiyonunun (işleme kuralı) bulunmasını kapsamaktadır.

Çağdaş ekolojide i-iii) temel problemlerin çözümüne imkan sağlayan tüm yaklaşımlar içerisinde arazi gözlemleri, tarla ve laboratuvar denemeleri ve modelleme gibi üç temel husus önem taşımaktadır. Ekosistemin incelenmesinde bu üç temel sonucun birleştirilmesi sistemli yaklaşımın tümleyici özelliğini ortaya koymaktadır (Krapivin ve ark., 1982; Krapivin, 1993).

Ekosistem araştırmalarında teorik ve uygulamalı temele bağlı olarak elde edilen gözlem ve deneysel sonuçlar, ekosistemdeki süreçleri belirlemektedir. Model ve modelleme yöntemi (modelin yapılması, kontrol edilmesi, incelenmesi ve model sonuçlarının

yorumlanması), teorik ve uygulama sonuçlarını birleştiren bilimsel düşüncenin etkili bir ifade şeklidir. Bu çalışmanın amacı, sistemli yaklaşımla ekosistemin incelenmesine yönelik model, modelleme yöntemlerini tanımlamak ve araştırmaların amacına uygun olarak kullanılan farklı modelleri (verimlilik, bitki büyüme, taşıyım) irdelemektir.

## 2. MODELVE MODELLEME

Her hangi bir orijinal  $S^0 = S^0(X^0, Y^0, Z^0, F^0)$  sisteminin  $S = S(X, Y, Z, F)$  şeklinde başka bir sistemle ifade edilen modeli, benzerlik teorisine uygun olarak  $f$  modelleme fonksiyonunda  $S^0$  orijinalinin benzerini  $f : (S^0) \rightarrow S$  gibi ifade ederek, modelleme yönteminin mahiyetini açıklamaktadır. Sadeleştirme özelliğine ve derecesine bağlı olarak her hangi bir orijinalin farklı modellerini elde etmek mümkündür. Araştırılan herhangi bir orijinal sistem hakkında bilgi edinilmesine imkan veren yapı model olarak adlandırılır. Model kelimesi, latince modus ve modulus kelimelerinden türetilmiş olup "örnek", "numune", "usul" ve "ölçü" anlamlarını vermektedir. Herhangi bir orijinal sistemin modeli, orijinal hakkında tüm ayrıntıları vermese de, belli bir amaç için yeterli miktarda bilgiyi vermelidir. Sadeleştirme yöntemiyle elde edilen modelin orijinaline yeterli derecede benzer olması, orijinalin özelliklerini ve değişimini etkili bir şekilde barındırması, model sonuçlarının orijinaline uygulanabilirliği modelleme yönteminin stratejisini oluşturmaktadır. Modelin

uygulanabilirliğini kontrol eden yorumlama sürecinin ( $S$  modelinden  $S^0$  orijinaline dönüşüm) orijinalin tüm ayrıntılarını taşımaması mümkündür.

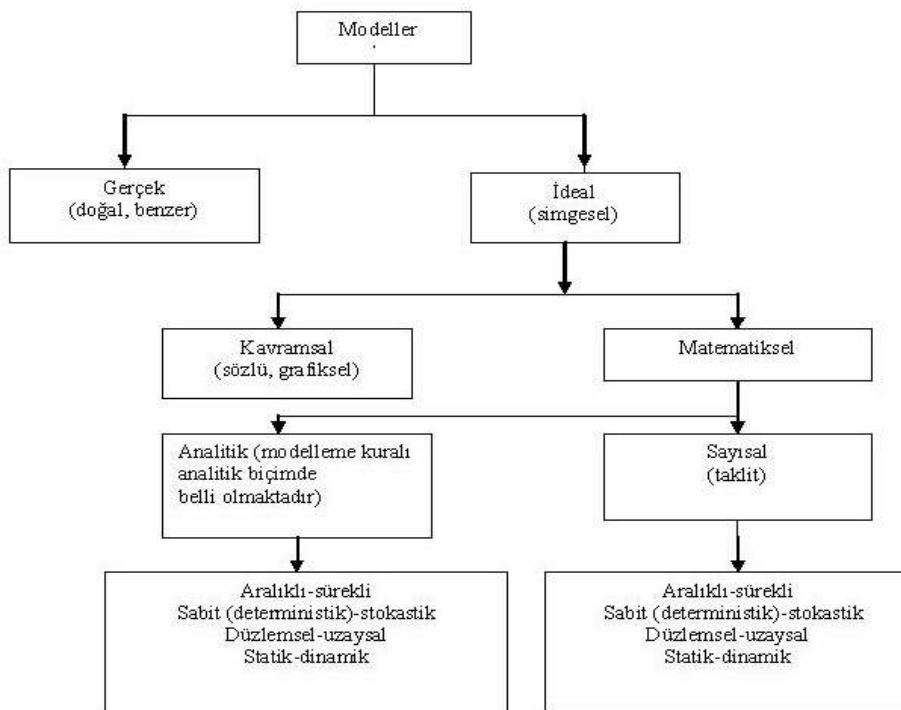
Genel olarak  $S^0$  orijinali karmaşık bir sistem olduğu için  $F^0$  değişim kuralının belirlenmesi zor olmakta, ancak oluşturulan  $S$  modeli için  $F$  kuralının belirlenmesi daha kolay olmaktadır. Bu yaklaşım göz önüne alınarak  $S$  modeli  $S^0$  araştırma sisteminin yerine konur,  $S^0$  orijinal sistemine uygun olarak elde edilen sonuçlar yorumlanır. Böylece modelleme yöntemi bazı tahminlerle modelin orijinaline benzerlik derecesinin belirlenmesine ve incelenen karmaşık  $S^0$  sisteminin en ideal fonksiyonunun elde edilmesine imkan sağlar.

Araştırma konusuna ve modelin yapılmasına bağlı olarak orijinal ve modelin, aynı zamanda bir orijinalin çeşitli modellerinin uygulanabilirliği farklı olabilir. Modelin uygulama için "iyi anlaşılabilir" şekilde yapılması veya uygulamanın doğru seçimi sonucunda orijinaline göre modelin incelenmesinin önemli derecede kolaylaşması, aynı zamanda orijinalin bileşim, yapı, fonksiyonel kuralı gibi ayrıntılarının uygulanabilir sınırlar kapsamında sağlanması modelleme yönteminin avantajlarını oluşturmaktadır.

### 2.1. Modellerin Genel Sınıflandırılması

Orijinal sisteme, araştırma konusuna ve özelliklerine göre kullanılan modellerin genel sınıflandırılması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Gerçek ve simgesel (işaretili) modeller uygulama



Şekil 1. Modellerin genel sınıflandırılması

tipine göre farklılık göstermektedir. Gerçek modeller orijinal sistemin küçük ölçekli bir benzeri (örneğin, bitki, canlı ve mikroorganizmaları barındıran akvaryum, toprak kesimi, yağmurlayıcı, sera vb.) olup, orijinalin birçok önemli özelliklerini kapsamaktadır. Bu modellerin orijinaline benzerlik derecesinin belirlenmesi kolay olmadığından, modelleme sonuçlarının orijinaline uygulanmasında da zorluk oluşmaktadır. Aynı zamanda benzerlik garantisini olmadığı için, ekosistemin gerçek modellerinin yapılması ve uygulanmasındaki teknik zorlukların ortadan kaldırılması mümkün olmayabilir. Bu ise ileri sürülen konunun her zaman gerçek modeller yardımıyla incelenmesine imkan sağlamamaktadır. Genel olarak aerodinamik ve hidrodinamik araştırmalarda gerçek modeller daha yaygın bir biçimde kullanılır.

Simgesel modeller gerçek modellerden farklı olup, alfabe simgeleri ve bu simgelerin anlamlandırılması yardımıyla orijinal sistemin bağlantılarıyla birlikte tanımlanmasıdır. Bu ifade sonucunda kelime ve cümlelerden oluşan herhangi bir küme (işaretler "dili" kümesi) elde edilmektedir. Orijinal sistemin bileşenlerinin ve bileşenler arasındaki ilişkilerin özelliklerine benzer olan bu kümede belirli kod yardımıyla yorum yapılmaktadır. Poletayev (1966)'e göre, gerçek modellerle karşılaştırıldığında simgesel modeller daha geniş imkanlara sahiptir ve fiziksel uygulama sınırları kontrol edilebilmektedir.

Ekosistem araştırmalarında simgesel modeller, kavramsal ve matematiksel modellere göre daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kavramsal model, araştırma yapılan ekosistemin gözlemsel ve deneysel olarak elde edilen verilerinin sistemli ve detaylı olarak sınıflandırılmış, doğal ve bilimsel tanımıdır. Bu modeller ekosistemin bileşenleri hakkında bilgi veren sözel bölümlerden (kimyasal, fiziksel, biyoloji vb.), diyagram, çizelge, grafik gibi kısımlardan ve bilimsel metinlerden oluşmaktadır. Kavramsal model araştırma yapılan sistem hakkında açık ve genel olarak, tanımlanabilen tüm bilgileri içermektedir. Kavramsal modeller matematiksel modellerinde temelini oluşturur. Matematiksel modeller ile ekosistemin bileşenleri nicel olarak değerlendirilir, doğruluğu belirlenir ve bileşenlerin karşılıklı bağımlılıkları bulunur. Yüksek nitelikli ilk kavramsal modellerin uygulanması 20. asrın başlarında gerçekleşmiştir (Shelford, 1913; Haviland,1926; Summerhayes ve Elton, 1923,1928 ). Kavramsal modellerin evrensellik, çeviklik, ifade araçlarının zenginliği vb. gibi avantajları modelin çeşitli sistemlere uygulanmasına olanak sağlar. Araştırma sonuçlarının ifadesinin bir değerli olmaması ve sistemin dinamik olması gibi özellikler kavramsal modelin eksikliklerini oluşturmaktadır.

Ekosistem dinamiğinin sayısal olarak incelenmesinde matematiksel modelleme yöntemi daha etkili olmaktadır.  $S^0 = S^0(X^0, Y^0, Z^0, F^0)$  orijinal sistemine ait  $S = S(X, Y, Z, F)$  matematiksel modeli,  $X$  iç bileşeni ve  $Y$  ortam bileşeninin

$t_0 \leq t \leq t_N$  zaman aralığındaki  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ ,

$y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)$  değerlerinin ifadesiyle elde edilmektedir. Sistemin  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_r\}$  yapısı, modelin iç ve dış değişkenleri ile birbirine bağlı matematiksel ifadelerden oluşmaktadır. Bu yapı genel olarak denklemler ve eşitsizliklerle

$$\left. \begin{aligned} Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_k) &= 0 \\ \cdot &\cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ Z_m(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_k) &= 0 \\ Z_{m+1}(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_k) &\geq 0 \\ \cdot &\cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ Z_r(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_k) &\leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

biçiminde ifade olunmaktadır.

(1) matematiksel ifadelerinin değişim kuralı olan  $F = \{F_1, \dots, F_n\}$  fonksiyonunun yardımıyla, dış ortamın belirlenen  $y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)$  ( $t_0 \leq t \leq t_N$ ) değişkenlerine bağlı olarak  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  fonksiyonları  $t_0 \leq t \leq t_N$  aralığında

$$\left. \begin{aligned} x_1(t) &= F_1(y_1, \dots, y_k, x_1^0, \dots, x_n^0, t) \\ \cdot &\cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ x_n(t) &= F_n(y_1, \dots, y_k, x_1^0, \dots, x_n^0, t) \end{aligned} \right\} \quad (2) \text{ gibi}$$

elde edilebilir. (2) ifadesi, (1) denklem ve eşitsizliklerini ve verilmiş  $x_1(t_0) = x_1^0, \dots, x_n(t_0) = x_n^0$  başlangıç koşulunu sağlamaktadır.

Örneğin, ideal bir sistemi oluşturan popülasyonda her hangi bir  $t$  anındaki çoğalma, popülasyonun ulaştığı sayı ile orantılı olsun.  $R$  nominal çoğalma oranı (çoğalmanın özgül hızı) ancak herhangi bir dış faktöre, örneğin araştırma yapılan  $t_0 \leq t \leq t_N$  zaman aralığında ortamın bilinen sıcaklığına bağlıdır. Böyle bir sistemin matematiksel modelini yapmak için,  $t_0 \leq t \leq t_N$  zaman aralığında ortamın  $t$  zamanındaki sıcaklığının değişimini belirten  $y(t)$  fonksiyonundan oluşan  $Y$  ve  $t$  zamanındaki popülasyon sayısını ifade eden  $x(t)$  değişkeninden oluşan  $X$  kümelerinin göz önüne alınması gerekir. Bu durumda modelin  $Z$  yapısı, matematiksel ifadelerle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= R(t) x \\ R(t) &= \theta(y(t)) \\ x(t_0) &= x^0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Burada, birinci ifade değişkenleri ayrılabilir sıradan diferansiyel denklem olup,  $R(t)$  özgül çoğalma katsayısına bağlı olarak değişen popülasyon sayısı ile popülasyonun çoğalma hızı arasındaki lineer ilişkiyi; ikinci matematiksel ifade  $R$  çoğalma hızı ve ortamın

$y$  sıcaklığı ( $\theta(y)$  bilinen fonksiyondur) arasındaki ilişkiyi; üçüncü ifade ise  $t = t_0$  başlangıç anındaki populasyon sayısını tanımlamaktadır.

Model fonksiyonunu, yani (3) sisteminin  $F$  değişim kuralını belirlemek için  $R$ 'nin  $y$  ile  $\theta(y)$  fonksiyonuna göre tanımlanan ifadesi

birinci denklemde yerine konursa  $\frac{dx}{dt} = \theta(y(t))x$  (4)

bulunur. (4) denkleminin değişkenleri ayrılırsa  $\frac{dx}{x} = \theta(y(t))dt$  (5) ve uygun olarak,  $[x^0, x]$ ,

$[t_0, t]$  ( $x^0 = x(t_0), x = x(t)$ ) aralıklarında integre edilirse

$$\ln|x| - \ln|x^0| = \int_{t_0}^t \theta(y(t)) dt \text{ veya } \ln\left|\frac{x}{x^0}\right| = \int_{t_0}^t \theta(y(t)) dt \quad (6)$$

ifadesi elde edilir. (6) ifadesinden ise

$$x(t) = x^0 \exp\left\{\int_{t_0}^t \theta(y(t)) dt\right\} \text{ çözümleri bulunur.}$$

Böylece, (3) sisteminin model fonksiyonu

$$x(t) = F(y, x^0, t) = x^0 \exp\left\{\int_{t_0}^t \theta(y(t)) dt\right\} \text{ olur.}$$

$F$  model fonksiyonunun özelliklerine bağlı olarak, herhangi bir dinamik ekosistemdeki matematiksel modeller çeşitli göstergeleri esas alınarak sınıflandırılabilir. Sistemin bilinen her hangi bir fonksiyonuna ve başlangıç koşuluna göre,  $x_1, \dots, x_n$  değişkenlerinin her hangi bir  $t$  anındaki değerlerinin belirlenmesine imkan veren  $F$ 'in tanımlanabilir analitik ifadesi analitik model olarak tanımlanmaktadır. bulunabilir Analitik modellerin sistemin incelenmesini ve uygulanmaları kolaylaştıran özelliklerine rağmen, çoğu durumlarda  $F$  fonksiyonunun analitik ifadesini tanımlamak zor, hatta bazen imkansız olmaktadır. Dinamik modellerde,  $F$ 'in analitik ifadesi ekosistem değişkenlerinin ve zamana bağlı olarak gelişen faktörlerin özelliklerini ifade etmektedir. Modeli dinamik hale getirmek için, önceden ekosistemin belirgin olan dinamik özelliklerini ve parametrelerini tanımlamak gerekir.

Ekosisteme ait detaylı bilgilerin olmamasına veya yetersizliğine rağmen, onun incelenmesinin gerekli olması durumunda varsayımlarda bulunarak hipotetik modeller oluşturulur. Hipotetik model sonuçlarının uygulanması varsayımların geçerliliği koşuluna bağlıdır.

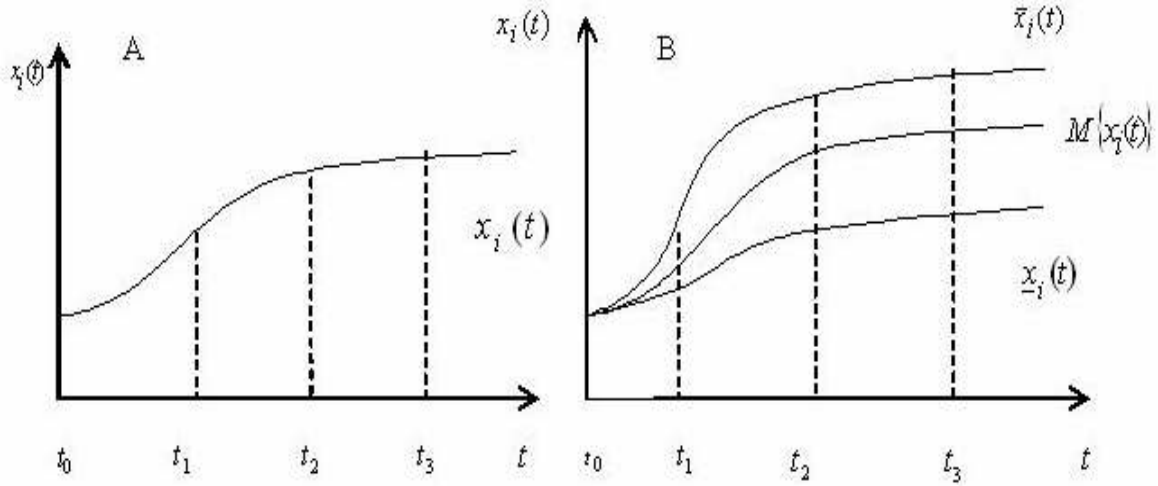
Ampirik modellerde incelenen ekosistemin parametrelerine etki eden faktörler ve ekosistemdeki değişimler deneysel olarak belirlenerek, sistemin yapısı matematiksel eşitliklerle ifade edilir. Bu modeller sistemdeki değişimin derecesini, sebep ( $x_i$ )-sonuç ( $y$ ) ilişkisine göre belirlediği için ( $y = f(x)$ ) uygulamada kolay kullanım imkanına sahiptirler. Tarımsal araştırmalarda bu modeller, tarla deneme verilerinin istatistiksel analiz sonuçlarından elde edilir

ve genel olarak deneysel modeller olarak adlandırılırlar (Bayraklı ve ark., 1999; Korkmaz ve ark., 2000).

(1) sisteminde yer alan denklem ve eşitsizlikler çelişki oluşturmadığı ve aynı zamanda çözümü gerçekleştirmek için yeterli bilgileri kapsadığı koşullarda, bu denklemlerin bilgisayarla gerçekleşen sayısal çözümünün algoritmasının bulunması genel olarak mümkündür. Elde edilen algoritmalar ise,  $F$  fonksiyonunun bilgisayar programı biçiminde uygulanmasına imkan sağlar. Ekosistemin bilinen her hangi bir fonksiyonuna ve başlangıç koşuluna bağlı olarak, yapılan program yardımıyla,  $t_0 \leq t \leq t_N$  aralığında  $x_1(t), \dots, x_n(t)$  değişkenlerinin belirlenmesine imkan sağlayan bu tip modeller sayısal veya taklit modeller olarak adlandırılır.

$F$  fonksiyonunun ( $x_1(t), \dots, x_n(t)$ ) yörüngesinin tahmin düzeyine bağlı olarak modeller deterministik ve stokastik olarak tanımlanabilir. Deterministik modeller (Şekil 2, A) değişkenlerin değerlerini bir değerli (hesaplama hatası hassaslığında) olarak belirlemede, tahmin ve yönetim problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Frans ve Tornli, 1987; Poluektov, 1991). Böyle modellerde, olasılıklı süreç söz konusu değildir, sabit değerlere yaklaşım esas olmaktadır. Ekosistemde yönetilebilen faktörlerle beraber, yönetilmesi zor veya mümkün olmayan faktörlerde (iklim, hava koşulları v.b.) vardır. Bu durumda, deterministik modellerin ekosistemdeki değişimi ifade etmesi genel olarak mümkün olmamakta ve başka modelle ihtiyaç duyulmaktadır. Stokastik modeller ise her bir  $x_i$  değişkeninin mümkün değerleri için,  $M\{x_i\}$  - matematiksel beklenti,  $\sigma\{x_i\}$  - standart sapma vb. gibi olasılık göstericileri ile nitelendirilen dağılımını ifade etmektedir (Şekil 2, B). Ekosistemin bir veya birkaç faktörünün rast gele değerler olması ve onların belirli bir dağılım kuralı ile verilmesi durumunda, ekosisteme özgü olan bazı belirsizliğin ve yönetimi mümkün olmayan faktörlerin idare olunmasında stokastik modeller daha iyi sonuç vermektedir (Platonov ve Çudnovski, 1984; Ross, 1975; Zaslavskiy ve Poluektov, 1988).

Belirli zaman aralığındaki  $x_i(t)$  değişkeninin değişiminin özelliklerine bağlı olarak aralıklı (statik) ve sürekli modeller kullanılmaktadır. Sistemdeki değişimin, aralıklı modellerle belirli  $t_0 < t_1 < \dots < t_j < \dots < t_N$  zaman anlarında, sürekli modellerle ise  $[t_0, t_N]$  zaman aralığının her hangi  $t$  noktasında belirlenmesi mümkündür. Bazı aralıklı modeller bilinen  $\Delta t = t_j - t_{j-1}$  küçük zaman aralığında gerçekleşmektedir. Bu durumda  $\Delta t$ 'nin aralıklar biçiminde gösterilmesi için, tüm modelin yeniden yapılandırılması gerekir. Örneğin, sürekli ve ancak yılda bir değişen populasyon modellerinde  $\Delta t = 1$  kabul edilmektedir.



Şekil 2.  $x_i(t)$  değişken dinamiğinin bir değerli (A) ve stokastik (B) modeli.

Bir değerli model her hangi bir  $t$  anında  $x_i(t)$  değişkeninin tek değerini ifade etmektedir. Stokastik model ise  $x_i(t)$  değişkeninin değerlerini ve onun dağılımlarını ( $M\{x_i(t)\}$  matematiksel beklenti,  $\sigma\{x_i(t)\}$  standart sapma vb. istatistik göstericiler)  $[x_i(t), \bar{x}_i(t)]$  aralığında göstermektedir.

Vejetasyon döneminde bitkinin büyüme sürecinin çeşitli fazlarına ait değerler arasında yapılmış model statik olup, ancak aynı dönemdeki tahminde kullanılabilir. Bu modellerden farklı olarak,  $\Delta t$  zamanının sınırsız olarak azalması (bilgisayar kullanımı sınırında) söz konusu olan aralıklı modeller, zamana bağlı olan değişimin detaylı ifadesi sonucunda sürekli modellere yaklaşmaktadır. Özel olarak bu tür modeller, diferansiyel denklemlerin yaklaşık sayısal çözümü sürecinde incelenen sistemin sürekli ifadesinin aralıklar biçiminde gösterilmesi sonucunda elde edilir.

Ekosistemin uzaysal karakterini ifade edebilmesi matematiksel modellerin önemli özelliklerindedir. Ekosistemin uzaysal incelenmemesi durumunda, yani ekosistemdeki değişimi ancak zamana bağlı  $x_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , değişkeni ile ifade eden bir boyutlu (düzlemsel) veya noktasal modellerden farklı olarak; çok boyutlu (uzaysal) modellerde  $x_i$  değişkeni hem zamana hem de uzay koordinatlarına (bir veya bir kaçına) bağlıdır. Örneğin, toprak sıcaklığının modellenmesinde günlük ortalama sıcaklık değerinin ( $^{\circ}\text{C}/\text{gün}$ ) değişken olarak kabul edilmesi mümkündür. Bu durumda bir boyutlu model  $x_i = x_i(t)$  biçiminde olur. Derinlik ( $z$  eksen) boyunca heterojenlik göz önüne alındığında,  $x_i = x_i(z, t)$  şeklinde çok değişkenli model elde edilir. Sıcaklığın yüzey ve derinlik değerlerine göre  $x_i = x_i(y, z, t)$  modeli, uzaysal koordinatlara göre ise  $x_i = x_i(x, y, z, t)$  biçiminde uzaysal modeli elde edilir.

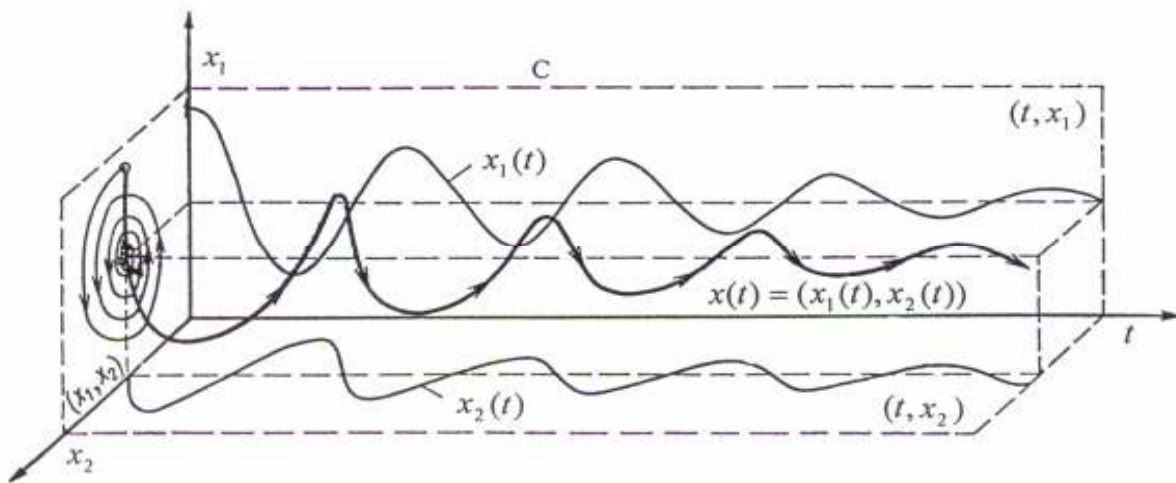
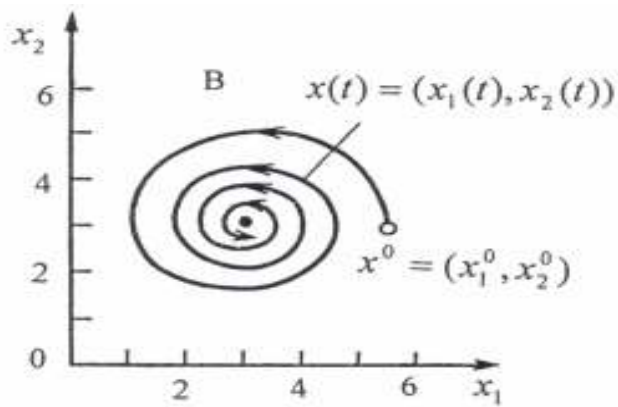
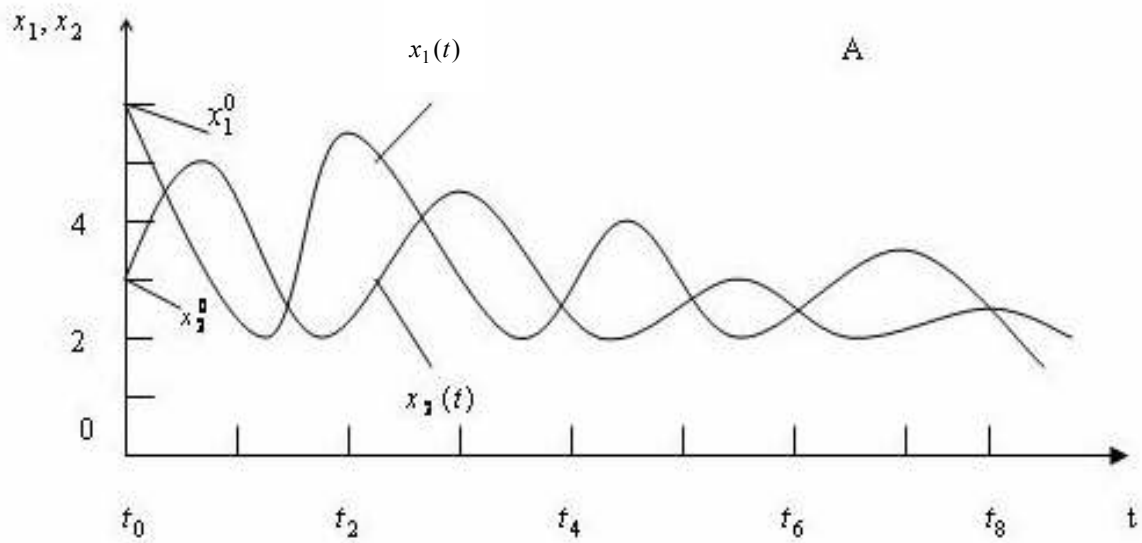
Modelleme yöntemi sonuçlarının zamana bağlı ve fazlı tanımlama gibi bazı gözlem yöntemleri ile gösterilmesi mümkündür. Zamana bağlı olan tanımlama yönteminde,  $x_i(t)$  değişkeninin başlangıç

ve zamana bağlı olarak değişen değerleri çizelge veya eğriler yardımıyla gösterilmektedir (Şekil 3, A). Bu yöntemin tüm avantajlarına rağmen, değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkileri her zaman (özellikle değişkenlerin sayısı fazla olduğunda) açık biçimde ifade etmemektedir. Bu nedenle, bazı durumlarda bu yöntemle ilave olarak, sistemin uzaysal ( $n = 2$  veya  $3$  olduğunda) yörüngesinin grafiğinden veya  $n > 3$  olduğunda farklı koordinat çiftlerinden oluşan bu yörüngenin  $(x_i, x_j)$  koordinat düzlemindeki izdüşümünden oluşan fazlı tanımlama yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 3, B). Başlangıç değer yörünge yönündeki hareketinin bağlı olduğu zaman, fazlı tanımlama yönteminde kapalı şekilde ifade edilmektedir. Modelleme sonuçlarına bağlı olarak, iki boyutlu uzay düzleminde gösterilen zamana bağlı ve fazlı tanımlama eğrilerinin (yöntemlerin oransal ifadesinin) tek uzay koordinat sisteminde de gösterilmesi mümkündür (Şekil 3, C).

## 2.2. Modelleme Yönteminde Gerekli Aşamalar

Araştırmanın amacına uygun olarak sistemli yaklaşımın modelleme yönteminde araştırılacak konunun ileri sürülmesi, kavramlaştırma, özelleştirme (spesifikleştirme), gözlem, tespit, kontrol, inceleme, optimizasyon gibi aşamaların yapılması gerekmektedir. Araştırılacak konunun ileri sürülmesinde, problemin incelenmesine imkan sağlayan önemli özellikler ve süreçler belirlenmekte ve sistemleştirilmektedir.

Kavramlaştırma aşaması, incelenen sisteme ait bilinen bilgilerin ve düşüncelerin yeterli derecede tam ve mantıksal olarak çelişki oluşturmayan kavramsal modeller biçiminde özetlenmesini kapsamaktadır. İleri sürülen problemin çözümüne ve araştırmanın sürdürülmesine imkan sağlayan verilerin toplanması,



Şekil 3. Matematiksel modelleme sonuçlarının zamana bağlı (A), fazlı tanımlama (B) gözlem yöntemlerinin ve bu yöntemlerin oransal ifadesinin iki boyutlu uzay düzlemindeki (C) eğrileri

araştırılan sistemin bileşiminin, yapısının, bazı işleme sürecinin (dış faktörlerin hareketine bağlı olarak, sistemin bileşenlerinin özelliklerinin değişme süreci ve dahili bileşenler arasındaki karşılıklı etki) kavramsal modeldeki yerinin açıklanması da bu aşamada gerçekleşmektedir.

Özelleştirme aşaması, yapılacak  $S = S(X, Y, Z, F)$  modelinin  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  ve  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$  değişkenler kümesinin elemanlarının belirlenmesi,  $S^0 = S^0(X^0, Y^0, Z^0, F^0)$  orijinal sistemini  $S = S(X, Y, Z, F)$  modeline dönüştüren  $f$  modelleme fonksiyonunun oluşturulması (mümkün derecede kesin ve bir değerli) süreçlerini içermektedir. Özel olarak, ekosistemin ve çevreyici (dış) ortamın ölçülebilir özelliklerinin  $x_i (i = 1, \dots, n)$  ve  $y_j (j = 1, \dots, k)$  değişkenleri ile karşılaştırılmasında kullanılan yöntem ve ölçü birimleri özelleştirme aşamasında gösterilmektedir.

Özelleştirme sonuçlarına ve yapılan kavramsal modellerdeki genel bilgilere göre, ekosistemin ve çevreyici ortamın (öncelikle  $x_i$  ve  $y_j$  değişkenlerine uygun olan özellikleri) araştırılan özelliklerinin değişimi üzerinde tarla gözlemlerinin yapılması gerekmektedir. Elde edilen gözlem sonuçları sonraki aşamalarda (tespit, modelin kontrolü ve incelenmesi) kullanılmaktadır.

Tespit aşamasında modelin  $Z = \{Z_1, \dots, Z_r\}$  yapısını ifade eden, spesifikleştirilmiş  $x_i (i = 1, \dots, n)$  ve  $y_j (j = 1, \dots, k)$  değişkenleri arasında  $Z_s(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_k) (s = 1, \dots, r)$  matematiksel ifadesi bulunmaktadır. Özel olarak, ekosistemin daha yaygın kullanılan  $n$  değişkenli dinamik modelleri, her bir  $x_i (i = 1, \dots, n)$  değişkeninin zamana bağlı değişimini ifade eden  $n$  sayıda diferansiyel (sürekli) veya fark (aralıklı) denklemlerinden oluşmaktadır. Bu durumda,  $(r - n)$  sayıdaki ifadeler ise  $(r - Z\{Z_1, \dots, Z_r\})$  kümesinin toplam eleman sayısıdır) yardımcı matematiksel ifadeler olup, değişim denklemlerinin çeşitli terimlerinin ifadelerinde veya denklemlerin çözümüne ilave edilen yardımcı ve sınır koşullarının formüle edilmesinde kullanılmaktadır. Model değişkenlerinin karşılıklı ilişkisinin özelliklerine ait çeşitli hipotezlerin kontrol edilmesi veya bu ilişkilerin ifadesindeki gerekli parametreleri belirlemek için, tespit aşamasında genel olarak tarla veya laboratuvar denemelerine ihtiyaç duyulur.

Modelin uygulanması aşamasında,  $F = \{F_1, \dots, F_n\}$  değişim kuralının  $x_i(t) = F_i(y_1, \dots, y_k, x_1^0, \dots, x_n^0, t)$  ifadesinin yapılması gerekmektedir. Bu ise  $y_j(t), j = 1, \dots, k$  değişkenlerine  $x_i(t_0) = x_i^0, i = 1, \dots, n$  başlangıç değerlerine bağlı olarak,  $t_0 \leq t \leq t_N$  zaman aralığında  $x_i(t)$  değişkeninin belirlenmesine imkan sağlar.  $F$  fonksiyonunun analitik ifadesinin

belirlenmesi zor olduğundan, uygulama sürecinde çoğu durumlarda bilgisayar programları kullanılmaktadır. Bu aşamanın gerçekleşmesi, ekoloji, programlama, uygulamalı matematik gibi alanların birlikte uygulanması ile mümkündür.

Modelin kontrolünde orijinal sistemin araştırılan özelliklerinin, model yardımıyla hangi düzeyde ifade edildiği incelenir. Model sonuçlarının gözlem ve deneme değerleri ile karşılaştırılmasına ve modellenen sistemin hipotezinin, tahmininin, optimizasyonunun, idare edilmesinin kontrolünde modelin pratik uygulamasının araç gibi kullanılması denemelerine bağlı olarak, modelin uygulanabilirliğine karar verilir. Aynı zamanda, modelin uygulanabilirliğinin kontrol edilmesi için gerekli olan ön bilgiler, modelin yapılması sürecinde de gerekli olmaktadır.

Genel olarak dinamik modellerin kontrol edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Cyert, 1966; Wright, 1972; Keulen, 1975a, 1976; Ekberli, 2006; Kara ve ark., 2008). Modelin  $x_i(t), i = 1, \dots, n$  değişkeninin  $t_0 \leq t \leq t_N$  zaman aralığında hesaplanan değerlerine göre elde edilen eğrisinin, bu periyotta sistemin gözlem değerlerinden oluşan sürekli  $x_i^*(t), i = 1, \dots, n$  ergisi veya  $t_0 < t_1 < \dots < t_N$  ardışık zaman aralıklarındaki aralıklı gözlem değerleri ile karşılaştırılması öncelikli problemlerdendir. Yapılacak modelin geçerliliği sadece uygun zamanda hesaplanan değerlerin ampirik verilerle iyi örtüşmesine bağlı olmayıp, aynı zamanda modelin uygulanabilirliğinin başka yönlerinin (yeni verilerin eklenmesi ve çıkarılması, verilerin değiştirilmesi, modelin benzer çeşitli sistemlere uygulanması vb.) kontrolüyle de ilişkilidir. Örtüşme düzeyinin nicel olarak değerlendirilmesinde çeşitli sayısal kriterler ve istatistiksel değerlendirmeler kullanılmaktadır. Genel olarak modelin ilk kontrolünde bazı değişkenlere ait model ve deneme sonuçlarının örtüşmemesi mümkündür. Bu eksikliğin giderilmesi için, modelin tespit aşamasındaki bazı değişkenler arasında ifadelerin hassaslaştırılması veya yeniden oluşturulması gerekir. Bu işlemler model ve deneme sonuçları örtüşünceye kadar, yani benzerlik kriterleri sağlanana kadar tekrarlanmalıdır.

Modelleme ve deneme sonuçlarının noktasal karşılaştırılmasından başka, ampirik verilerin yeterli düzeyde sıkı (veya sürekli) olan seri biçiminde olması durumunda, benzerliğin değerlendirilmesi modelin ampirik eğrisinin a) uçdeğer noktalarının sayısı b) zamana bağlı olarak uçdeğer noktalarının dağılımı c) uçdeğer noktalarındaki değişimin yönü ç) aynı zaman aralığında amplitüt titreşimi d) değişkenlerin ortalama değerleri e) çeşitli değişkenler için uçdeğer noktalarının aynı zamanda oluşumu gibi özellikleri yansıtabilmesiyle mümkündür.

Bir değerli modellerden farklı olarak, stokastik modellerin benzerliğinin değerlendirilmesinde ise model ve deneme değerlerinin dağılımının matematiksel bekleme, varyans, dağılım gibi olasılık parametrelerinin de belirlenmesi gerekir.

Tarımsal işlemler (sulama, yıkama, gübreleme, bitki çeşidinin değişimi vb.) sonucunda ekosistem değişkenlerinin değişiminin model tarafından iyi ifade edilmemesi durumunda, modelin bileşenlerinin, yapısının, fonksiyonunun yeniden incelenmesi gerekir. Genel olarak, kavramsal modelin yeterli düzeyde güvenli, kullanılan benzerlik kriterlerinin gerçek olması durumunda, yapılan modelin sonraki inceleme aşamalarının gerçekleştirilmesi gereklidir.

$x_i(t), i = 1, \dots, n, t_0 \leq t \leq t_N$  yörüngesinin, modelin durumunu (varlık ve teklük, kısıtlar, periyodiklik, dayanıklılık vb.) ifade edebilmesinin genel özellikleri modelin incelenmesi aşamasında yapılmaktadır. Yani çözüm ile,  $(x_1^0, \dots, x_n^0)$  başlangıç durum, modelin yapısı  $(Z_r)$  ve  $y_1(t), \dots, y_k(t), t_0 \leq t \leq t_N$  parametreler arasındaki ilişkiler incelenmelidir. Model yörüngesinin genel özelliklerinin ifadesinde klasik matematik yöntemlerden (diferansiyel veya fark denklemleri teorisi) kullanılmasına rağmen, önemli problemlerin çözümünde "hassasiyet analizi" (dinamik modellerin incelenmesinde bilgisayarla gerçekleşen yöntemlerin uygulama sonuçları) kullanılmaktadır. Başlangıç koşullarının, değişkenler arasındaki ilişkilerin, dış faktörlerin modele olan etki düzeyi hassasiyet analizi sonuçlarına göre belirlenmektedir. Bu ise gözlem ve deneme döneminde parametrelerin hangisinin daha kesin veya yaklaşık değerlendirilmesi gerektiğine olanak sağlamaktadır.

Ekosistemin  $X_n(t), Y_k(t), Z_r(t)$  vb. önemli parametrelerinin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi sonucunda, model yardımıyla ekosistemin optimizasyonu, tahmini ve idare edilmesi modelleme yönteminin son aşamasını oluşturmaktadır.

### 3. VERİMLİLİK VE BİTKİ BÜYÜME MODELLERİ

Yüksek verim almak ve üründen sonrada bu verimi korumak için, toprakların verimlilik faktörlerinin sistemleştirilmesi, toprak verimliliğinin matematiksel modelinin yapılması gerekmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından toprak ekosistemine ait verimliliğin tam bir sistem gibi kabul edilmemesi, verimlilik modelinin yapılmasında bazı zorluklar yaratmaktadır. Uzmanlar tarafından, araştırmaların amacına uygun olarak farklı verimlilik modelleri kullanılmaktadır. Verimlilik modelinde bitki çeşidi ve elde edilen ürün gibi faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörlerin dikkate alınması model parametrelerinin belirlenmesinde efektif yöntemlerin kullanılmasına imkan vermektedir. Birçok araştırmacı tarafından teorik bilgiler dikkate alınarak verimlilik modelleri (Wright, 1971; Keulen ve Wolf, 1986; Aparin, 1988; van Diepen ve ark., 1989; Keulen ve Diepen, 1990) uygulanmıştır.

Araştırılan objenin önemli özelliklerini ifade eden, sade matematiksel ilişkilerin oluşturulmasına imkan sağlayan belli parametrelerin az sayıda seçilmesi, model yapılmasının temel prensiplerindedir.

Parametrelerin toplam sayısının fazla (>15-20) olması, yapılan dinamik modellerin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Objenin belli özelliklerini ifade eden, karşılıklı korelatif ilişkide olan parametrelerin bir veya birkaçının tayin edilmesi, genel olarak diğer parametreler grubunu da karakterize etmek için yeterli olmaktadır. Kuzneçova'ya (1979) göre, toprağın özgül ağırlığı ve strüktür durumu, onun fiziksel özelliklerini detaylı olarak ifade edebilmektedir.

Toprak tipine bağlı olarak, vejetasyon döneminde bitkinin normal gelişimine ve yüksek ürün elde edilmesine imkan sağlayan optimum parametrelerin bulunması iyi verimlilik modellerinin yapılmasının gerekli koşullarından biridir. Toprak özelliklerinin gerçek ve optimum parametrelerinin karşılaştırılması, toprak işleminde uygulanan gerekli yöntemlerin ve buna sarf edilen masrafların belirlenmesine de imkan sağlamaktadır.

Verimlilik modelinin uygulandığı arazinin seçiminde, toprak tipinin ve tarım bitkilerinin arazi için özgün olması, uygulanan teknolojinin dikkate alınması, çeşitli bitkilerin kök derinliğinin belirlenmesi modellemenin gerekli şartlarından (Clayden, 1984; Keulen, Wolf, 1986; Rachhpal-Singh ve Kirk, 1993).

Uygulamaya yönelik, verimliliği ve verimliliğe etki yapan parametreleri ifade edebilen az parametrelilik (basit) modeller genel olarak lineer ( $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ , burada  $y$  - bağımlı,  $x_i$  - bağımsız ekosistem faktörleri,  $a_i$  - sayısal katsayılar); parabolik

$(y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{mm}x_m^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + \dots + a_{1n}x_1x_n + \dots)$ , burada  $x_ix_j$  - parametrelerin çarpımları,  $a_{ij}$  - çarpım katsayıları;  $i, j$  - kullanılan parametrelerin sayısıdır);

kuvvet ( $y = Ax_1^{b_1}x_2^{b_2}\dots x_n^{b_n} = A \prod_{i=1}^n x_i^{b_i}$ , burada

$b_i - i$  parametresinin üssü olup, pozitif veya negatif olarak tam veya kesir olabilir;  $A$  - katsayıdır); üstel

$(y = a_1^{b_1x_1}a_2^{b_2x_2}\dots a_n^{b_nx_n} = \prod_{i=1}^n a_i^{b_ix_i})$ ;

doğrusallaştırılması kolay ve üstel ilişkinin özel durumunu gösteren eksponensial

$(y = e^{f(x_1, \dots, x_n)} = \exp[f(x_1, \dots, x_n)])$ , burada  $f(x_i) - x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) özelliğinin herhangi bir fonksiyonudur); fonksiyonlar çarpımı

$(y = cf_1(x_1)f_2(x_2)\dots f_n(x_n) = c \prod_{i=1}^n f_i(x_i)$  ( $c$  - katsayı);

eğrisi S' ye benzer olan lojistik ( $y = \frac{N}{1 + 10^{a+bt}} + C$ ,

burada  $t$ -özelliğinin başlangıç değeri ( $C$ ) ile maksimum değeri ( $N$ ) arasındaki zaman,  $a, b$ - lojistik eğrisinin özelliğini belirleyen katsayılar)



biçiminde yapılmaktadır (Keulen, 1975b; Aleşin ve Brejnev, 1980; Claus ve Mühle, 1989; Pachepsky ve ark., 1996; Pachepsky ve Rawls, 2003; Nemes ve ark., 2005; Ekberli ve ark., 2005; Ekberli ve Kerimova, 2005; Gülser ve ark., 2007).

Sistem sınırlarının belirlenmesi bitki büyüme modellerinin oluşturulması ve model sonuçlarının incelenen sistemi iyi ifade edebilmesi bakımından da önemlidir. İdeal sistem sınırlarının belirlenmesinde, dış ortamın sistemdeki süreçlere etki yapması ve sistemin ise dış ortamla aktif ilişkide olmaması koşulunun sağlanması gerekir. Sistemin oluşturulması araştırmanın amacına bağlıdır. Bitki veya ekim sistemlerinde dış ortam; bitki büyümesi ve ürün için hava koşulları, zararlılar, ürün fiyatı gibi faktörlerden oluşmaktadır. Bazı durumlarda sistemin sınırları kolayca belirlenebilirken, bazı hallerde ise sistem ile aktif ilişkide olmayan ikincil parametrelerin göz önüne alınmasının gerekliliği sınırların belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Sistem sınırlarının oluşturulması, sistemli yaklaşım kapsamında incelenmektedir. Böylece sistemin oluşturulmasında araştırmanın amacının ve sistemin sınırlarının belirlenmesi, sonra ise sistemi oluşturan önemli parametrelerin incelenmesi gerekmektedir. Örneğin, sulanan verimli topraklarda yetiştirilen bitkilerden ürün elde edilmesi sürecine sistem gibi bakılması mümkün olup, sistemde bir biri ile karşılıklı ilişkide olan CO<sub>2</sub> asimilasyonu, büyüme, solunum, gelişim gibi süreçler gerçekleşmektedir. Bu fizyolojik süreçlerin hızı hava koşullarına önemli derecede bağlı olup, bitki büyümesinin havaya aktif etkisi ise önemli düzeyde olmamaktadır. Buna göre, sistemin sınırlarını belirlenmesinde, fizyolojik ve meteorolojik süreçlerin bir birinden ayrılması mümkündür. Sera koşullarında bitki büyüme süreci havanın rutubetine, sıcaklığa, çevreyici ortamın CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna aktif etki yapmakta, hava koşulu ise sistemin bir parçası olmaktadır. Buna göre, araştırmanın amacı ile ilişkisi olmayan değişimlerin etkisi ile sistemin sınırlarının değişmesi mümkün olmaktadır.

Wit ve Penning de Vries (1982), yabani ve kültür bitkilerine ait aile sınıflarının sınırlandırılmasının basit ve pratik tayinini göstererek, kültür bitkilerinin azalan yönde dört farklı verimlilik düzeyini ve bu düzeylerde bitki büyümesine önemli etki yapan faktörleri göstermişlerdir. Verimlilik düzeylerini iklim koşulları ve toprak özelliklerini göz önüne alarak yapmışlardır. Her bir düzey için bitkinin kuru kütlesi, fotosentetik hücrelerin yüzey alanı, CO<sub>2</sub> asimilasyonu, transpirasyon, solunum, büyüme, yaprak alanlarının gelişimi, toprak rutubeti, toprak ve bitkinin su bilançosu, buharlaşma, drenaj ve yüzey akımı, topraktaki ısı bilançosu, topraktaki azot noksanlığı, topraktaki ve bitkideki çeşitli azot bileşenleri, azotun toprak-bitki sistemindeki dönüşümleri, topraktaki fosfor noksanlığı, toprak ve bitkideki fosfor ve başka mineral maddelerin miktarı ve dönüşüm süreçleri gibi etkili veya az etkili olan uygun parametrelerden bazılarını belirtmişlerdir. İklim koşulları ve toprak

özellikleri dikkate alınarak, verimlilik düzeylerinin oluşturulmasında yukarıda belirtilen faktörlerin etkilerinin öncelik sırasına göre bazıları asıl diğerleri ise ilave parametreler olarak seçilmiştir.

Oluşturulan verimlilik düzeylerinin her hangi biri aslında gerçek bir sistemle tam olarak örtüşmeyebilir. Ancak, araştırmanın amacı ve deneme koşulları dikkate alındığında yukarıdaki düzeylerden her hangi birine dayanarak araştırma da sadeleştirilebilir.

Bitki büyüme ve verimlilik modellerini birincil, ayrıntılı ve özet modeller olarak sınıflandırmak mümkündür.

Birincil modeller basit olup, deneysel verilere ve çeşitli hipotezlere dayanarak yapılmaktadır. Genel olarak bu modellerin tahmin problemlerinde kullanımı iyi sonuçlar vermemektedir. Ayrıntılı modeller birincil modellerin daha da geliştirilmiş biçimi olup, birinci ve ikinci verimlilik düzeylerine bağlı olarak yapılır, sistemin önemli değişkenlerini kapsayarak tahmin problemlerinde kullanılmaktadır. Özet modellerin pratik ve bilimsel olarak daha da elverişli olması için genelleştirilmesi sonucunda genel modeller elde edilmektedir. Genelleştirme düzeyi modelin gelecekteki uygulama alanı, zorluluk derecesi vb. gibi faktörlere bağlı olup, uzman olmayanlar tarafından kullanışlı olacak biçimde sadeleştirilmelidir. Genelleştirme sırasında modelin gerçek uygulama sınırlarının belirlenmesi önemlidir. Ayrıntılı model hakkında detaylı bilgiye sahip araştırmacı tarafından, modelin hangi yönde ve hangi derecede genelleştirilmesi, potansiyel uygulamacı ile ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir (Rees ve Thornley, 1973; Penning de Vries ve van Laar, 1986; Şaylan ve Eitzinger, 1996; Topçu, 1996; Topçu ve Beyturan, 1999; Uzun ve Çelik, 1999; Köksal ve Kanber, 2003).

#### **4. TEMEL KÜTLE TAŞINIM MODELLERİ**

Her hangi bir ortamda kütle taşınımı modelleri teorik modeller kapsamına girmektedir. Ekosistemin fiziksel, kimyasal, biyolojik faaliyetleri ve bunların işleme mekanizmalarının detaylı bir şekilde belirli olması durumunda elde edilen ve ekosistemi ifade edebilen matematiksel ilişkiler teorik modelleri oluşturmaktadır. Ekosisteme etki yapan dış faktörlerin ve dahili parametrelerin karşılıklı ilişkileri sonucunda, ekosistemde meydana çıkan değişimlerin incelenmesi, tahmin ve idare etme imkanlarının araştırılması teorik modeller yardımıyla mümkündür. "Su-toprak-bitki örtüsü-atmosfer" ekosisteminin yapılan teorik modelleri, bu sistemde meydana çıkan önemli süreçleri (besin maddelerinin dönüşümü ve bitki tarafından tutulması, su-tuz ve ısı değişimi, biyokimyasal tepkimelerin yönü, vejetasyon döneminde bitkinin büyümesi vb.), aynı zamanda ürün oluşumuna etki eden başka olayları detaylı bir şekilde ifade edebilir (Nerpin ve Çudnovski, 1975; Şatilov ve Çudnovski, 1980; Mikailov ve Azizov, 1981; Azizov ve Mamedov, 1986; Pachepsky, 1990; Mikayiov ve Ekberov, 1999; Mikailov ve Pachepsky, 2003; Nobuo

ve ark., 2003; Bosatta ve Agren, 1995). Kütle taşınım modelleri, genel olarak temel difüzyon denkleminin bağlı olarak yapılmaktadır. Ortamdaki zerreciklerin mesafe ( $x$ ) ve zamana ( $t$ ) bağlı,  $\rho(x,t)$

konsantrasyonu için bir boyutlu difüzyon denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} \quad (7) \text{ (burada, } D \text{ - difüzyon}$$

katsayısıdır,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ) biçimindedir. Benzer difüzyon süreçlerinin modellenmesinde de (7) denkleminin yararlanılmaktadır. Örneğin, doğrusal homojen ortamın  $x$  noktasında ve  $t$  zamanında sıcaklığı  $T = T(x,t)$  olduğunda,  $Q$  ısı enerjisinin yoğunluğu  $\rho_Q = c\rho_0 T$  (burada,  $\rho_0$  - ortamın lineer özgül ağırlığı,  $c$  - ısı kapasitesi katsayısı olup,  $T$ 'in küçük değişiminde sabit kabul edilebilmektedir) olur. Fourier kuralına göre, ortamdaki ısı akımı  $q_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$

(burada,  $\lambda$  - sabit kabul edilebilen ısı iletkenliği katsayısıdır) olduğundan, ısı enerjisi için bir boyutlu süreklilik denklemi  $\frac{\partial}{\partial x} \left( -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} (c\rho_0 T) = 0$

$$\text{veya} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{burada, } a = \frac{\lambda}{c\rho_0} \text{ - sıcaklık}$$

iletkenlik katsayısı (difüzivite) veya ısısal yayımdır) biçimindedir (Gülser ve Ekberli, 2002, 2004; Antonopoulos, 2006, Ekberli, 2006). Araştırmanın amacına uygun olarak, iki ve üç boyutlu difüzyon denklemleri de yapılmaktadır (Luikov, 1975; Li ve ark., 2005; Ekberli, 2006; Santos ve Mendes, 2006; Badescu, 2007).

Heterojen ortamda katıların hareketini ifade eden teorik modeller de difüzyon denkleminin benzer olup, bu grup modeller jeokimyasal ve hidrodinamik yöntem ve prensiplere dayanarak elde edilirler. Bu yöntem ilk olarak Lapidus ve Amundson (1952) ve Verigin (1953) tarafından geliştirilmiş ve çağdaş toprak biliminde (örneğin, tuzlu toprakların ıslahı için gerekli su miktarının ve yıkama zamanının belirlenmesi ve yıkamadan sonraki devirde tuz konsantrasyonunun tahmini; toprakların kirlenme derecesinin ve kirleticilerin toprak profilindeki konsantrasyonundaki değişimin tahmini vb. yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (van Genuchten ve ark, 1977; Li ve ark., 1994; Verigin ve ark., 1986; Mikayilov ve ark, 2002; Mikayilov, 2007).

Lapidus ve Amundson'a (1952) göre, doymuş koşullara sahip her hangi bir gözenekli heterojen ortamda (toprakta) çözeltinin hareketini ifade eden matematiksel modelin kısmi türevli diferansiyel denklemi (veya konvektif difüzyon denklemi) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (8)$$

Burada,  $R$  - gecikme faktörü (veya toprağın katı fazı ile aktif gözeneklerde bulunan çözelti arasındaki lineer adsorpsiyon katsayısı);  $C$  - çözeltinin konsantrasyonu ( $\text{ML}^{-3}$ );  $D$  - difüzyon katsayısı ( $\text{L}^2\text{T}^{-1}$ );  $t$  - zaman ( $\text{T}$ );  $v$  - gözeneklerdeki suyun ortalama akış hızı ( $\text{LT}^{-1}$ );  $x$  - mesafedir ( $\text{L}$ ).  $R = 1 + (\rho K_D)\theta^{-1}$  olup,  $\rho$  - toprağın hacim ağırlığı ( $\text{ML}^{-3}$ );  $K_D = SC^{-1}$  - dağılım katsayısı;  $S$  - adsorbe edilen konsantrasyon ( $\text{MM}^{-1}$ ) ve  $\theta$  - toprağın hacimsel su içeriği ( $\text{L}^3\text{L}^{-3}$ ) olmaktadır.

(8) denkleminin başlangıç ve sınır koşulları

$$\begin{aligned} C &= 0 & x &\geq 0 & t &= 0 \\ \frac{\partial C}{\partial x} &= 0 & x &\rightarrow \infty & t &> 0 \\ C &= C_0 & x &= 0 & 0 < t < t_0 \\ C &= 0 & x &= 0 & t > t_0 \end{aligned}$$

gibi olup, denklemin bu koşullara bağlı çözümü (Lapidus ve Amundson, 1952) aşağıdaki biçimdedir:

$$\begin{aligned} \frac{C(x,t)}{C_0} &= 0.5 \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx - vt}{\sqrt{4DRt}} \right] - 0.5 \exp \left( \frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx + v}{\sqrt{4DR}} \right] \\ &+ 0.5 \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx - v(t - t_0)}{\sqrt{4DR(t - t_0)}} \right] \\ &- 0.5 \exp \left( \frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[ \frac{Rx + v(t - t_0)}{\sqrt{4DR(t - t_0)}} \right] \quad (9) \end{aligned}$$

Burada,  $C_0$  - giriş sınırındaki çözelti konsantrasyonu;

$$\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^\infty e^{-u^2} du \text{ - değerleri detaylı}$$

biçimde tabloleştirilmiş Gauss veya Kramp fonksiyonudur (Lıkov, 1948).

Araştırmanın amacına uygun olarak, (9) çözümünün daha da sadeleştirilmesi, çeşitli sınır ve başlangıç koşullarında (8) denkleminin uygulamaya yönelik başka çözümlerinde elde edilmesi mümkündür. (Rao ve ark., 1980; Mikaylov ve Azizov, 1985; Shukla ve ark., 2002; Ekberli, 2006).

## 5. SONUÇ

Ekosistemi oluşturan elemanların (atmosfer, bitki, toprak vb.) matematiksel modelleri sistemli yaklaşıma göre oluşturulmalıdır. Model çeşidinin (ampirik veya teorik) seçimi, sistem bileşenleri ve değişimlerinin, dış ortamın, sistem bileşenleri arasındaki ilişkilerin özelliklerine bağlı olarak yapılması önemlidir.

Modelleme yöntemindeki gerekli aşamaların (konunun ileri sürülmesi, kavramlaştırma, gözlem, tespit, kontrol, inceleme, optimizasyon) yapılmasında, araştırma koşullarının ve sistemin önemli parametrelerinin göz önüne alınması ve modelin gelecekteki uygulamalarında bu aşamaların tekrarlanması gerekir.

Araştırılan sistemde ölçümü zor parametrelerin varlığı, yüksek maliyet, deneysel çözüm tekniklerinin

azlığı veya zorluğu, parametrelerin çok yavaş veya hızlı değişimi gibi durumlarda teorik modellerin kullanılması daha etkilidir.

Teorik modellerde birçok parametrenin değerlendirilmesi için özel arazi ve laboratuvar denemeleri yapılmalıdır. Araştırma konusuyla ilgili matematiksel modellerde kısmi türevli diferansiyel denklemlerin uygun başlangıç ve sınır koşullarında çözümleri mümkündür. Uygulamaya yönelik modellerin yapılması deneysel ve teorik bilgilere bağlı olduğundan, bu çeşit modellerin yapılmasında farklı disiplinlerin bir araya gelmesi ve bu alanda elde edilen verilerin değerlendirilmesi önemlidir.

## **6. KAYNAKLAR**

- Aleşin, V.D., Brejnev, A.İ., 1980. Prikladnaya model produktivnosti posevov. Naučno-Tehn.Bülleten po Agronom. Fizike, 42: 45-49.
- Antonopoulos, V.Z., 2006. Water movement and heat transfer simulations in a soil under ryegrass. Biosystems Engineering, 95 (1): 127-138.
- Aparin, B.F., 1988. Parametri plodorodiya poçv i sistemi upravleniya. Trudi Poçvennyy İnstitutu im. V.V.Dokuçayeva, vıp. 48. Moskova, s. 12-15.
- Azizov, K.Z., Mamedov, A., A., 1986. Opredeleyniy znaceniyy gidroximiçeskix parametrov, promivnix norm i solevogo rejima poçvogruntov. V kn.: Peredoviyte Metodi Organizacii i Teknologii İnjenernıx İzıskaniy dlya Meliorativnogo Styroitelstva. Sbornik Nauçnix Trudov, Moskova, VO "Soyuzvodproyekt", s. 47-56.
- Badescu, V., 2007. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house. Renewable Energy, 32: 845-855.
- Bayraklı, F., Ekberli, İ.A., Cülser, C., 1999. Azerbaycan Mil Ovası topraklarının verimlilik düzeylerinin Deneysel ve Matematiksel Olarak Değerlendirilmesi. OMÜ Zir.Fak. Dergisi, 14 (2): 138-153.
- Bosatta, E., Agren, G.I., 1995. Theoretical analyses of interactions nitrogen and soil organic matter. European Journal of Soil Science, 46 (49): 109-114.
- Claus, St., Mühle, H., 1989. Ein dynamisches modell der Ertragsbildung winterweizen als entscheidungshilfe für die Züchtung. Arch. Züchtungsforsch., Berlin 19, 4: 283-290.
- Clayden, B., Hollis, J.M. 1984. Criteria for Differentiating Soil Series. Technical. Monograph No. 17. Soil Survey of England and Wales, Harpenden.
- Cyert, R. M., 1966. A description and evaluation of some firm simulations. In Proceedings of the IBM Scientific Computing Symposium on Simulation Models and Gaming (White Plains, N.Y.), IBM, White Plains, N.Y., 3-22.
- Dale, M. B., 1970, Systems analysis and ecology. Ecology, 51 (1): 2-16.
- Santos, G. H., Mendes, N., 2006. Simultaneous heat and moisture transfer in soils combined with building simulation. Energy and Buildings, 38: 303-314.
- Ekberli, İ., 2006. Isı iletkenlik denkleminin çözümüne bağlı olarak topraktaki ısı taşınımına etki yapan bazı parametrelerin incelenmesi. O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi 21(2): 179-189.
- Ekberli, İ., 2006. Determination of hydro-chemical parameters of salt transportation in soil by using the solution of convective diffusion equation. J. of Applied Sci. 6(6): 1243-1247.
- Ekberli, İ., 2006. Determination of initial unconditional solution of heat conductivity equation for evaluation of temperature variance in finite soil layer. J. of Applied Sci. 6(7): 1520-1526.
- Ekberli, İ., 2006. Determination of initial unconditional solution of heat conductivity equation for evaluation of temperature variance in finite soil layer. J. Applied Sci., 6(7): 1520-1526.
- Ekberli, İ., Horuz, A., Korkmaz, A., 2005. İklim faktörleri ve farklı azot dozlarının mısır bitkisinde verim ve azot kapsamına etkisi. OMÜ Zir.Fak. Dergisi, 20(1): 12-17.
- Ekberli, İ., Kerimova, E., 2005. Azerbaycan'ın Şirvan bölgesinde sulanan killi bir toprağın bazı fiziksel-kimyasal parametrelerinin değişimi. OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 20(3): 54-59.
- Frans, Dj., Tornli, Dj. X.M., 1987. Matematiçeskiye Modeli v Selskom Xozyaystve. Moskova, Agropromizdat.
- Gordon R. Conway, 1977. Mathematical models in applied ecology. Nature, 269: 291-297.
- Gilmanov, T.G., 1978. Mathematical Modelling of Biochemical Cycles in Grass Ecosystems. Moscow State University, Moscow.
- Gülser, C., Candemir, F., İç, S., Demir, Z., 2007. Pedotransfer modellerle ince bünyeli topraklarda dogun hidrolik iletkenliğin tahmini. V. Ulusal Hidroloji Kongresi. Bildiriler Kitabı. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 563-569, 5-7 Eylül 2007, Ankara.
- Gülser, C., Ekberli, İ., 2004. A comparison of estimated and measured diurnal soil temperature through a clay soil depth. J. of Applied Sci. 4(3): 418-423.
- Gülser, C., Ekberli, İ., 2002. Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. O.M.Ü. Zir. Fak. Dergisi, 17(3): 43-47.
- Haviland, M.D., 1926. Forest, Stepe and Tundra, studies in animal environment., Cambridge.
- Kara, T., Ersin K., Apan, M., 2008. Using empirical equations to determine appropriate furrow length under field condition. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(2): 220-225.
- Keulen, H. van., 1975a. Evaluation of models. In Ecological Models, with Emphasis on Grassland Models. G. Arnold and C.T. De Wit, eds., Simulation Monographs Pudoc, Wageningen (published: summer 1975).
- Keulen, H. Van., 1975b. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Wageningen, Pudos.
- Keulen, H. van., 1976. Evaluation of models. In Critical Evaluation of Systems Analysis in Ecosystem Research and Management (Eds. G. W. Arnold and C. T. de Wit), Center for Agriculture Publishing and Documentation (PUDOC), Wageningen, Netherlands, 22-29
- Keulen, H. van, van Diepen, C.A., 1990. Crop growth models and agro-ecological characterization. In: Scaife, A. (ed.): Proceedings of the First Congress of the European Society of Agronomy, CEC, ESA, INRA, session 2:1-16. 5-7 December 1990, Paris.
- Keulen, H. van, Wolf, J., (eds.), 1986. Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Korkmaz, A., Bayraklı, F., Cülser, C., Ekberli, İ.A., 2000. Bafra ve Çarşamba Ovalarında mısır bitkisinin azotlu ve fosforlu gübre ihtiyacının belirlenmesinde matematiksel modellerin uygulanabilirliği. OMÜ Zir.Fak. Dergisi, 15 (1): 33-40.
- Köksal, H., Kanber, R., 2003. Bitki büyüme modelleri.

- Sulama ve drenaj mühendisliği, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Yayın No: 122, s.188-201.
- Krapivin, V.F., 1993. Mathematical model for global ecological investigations. *Ecological Modelling*, 67 (2-4): 103-127.
- Krapivin, V.F., Svirezhev, Yu.M, Tarko, A.M., 1982. Mathematical modelling of the Global Biosphere Processes. Nauka, Moscow.
- Kuzneçova, İ. V., 1979. O nekotorig kriteriyax oçenki fiziçeskix svoystv poçv.Poçvovedeniye (Sovyet Soil Science), 3: 81-88.
- Lapidus, L., Amundson, N.R., 1952. A descriptive theory of leaching. *Mathematics of adsorption beds. J. Phys. Chem.*, 56: 984 – 988.
- Likov, A.V., 1948. Teploprovodnost Nestaçionarnıx Proçessov. GEİ, Moskova, 216-219.
- Li, L., Barry, D.A., Culligan-Hensley, P.J. and Bajracharya, K., 1994. Mass transfer in soils with local stratification of hydraulic conductivity, *Water Resources Research*, 30(11): 2891-2900.
- Li, X., Zhao, J., Zhou, Q., 2005. Inner heat source model with heat and moisture transfer in soil around the underground heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 25:1565-1577.
- Luikov, A. V., 1975. Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies (review). *Int. J. Heat and Mass Transfer.*, 18: 1-14
- Mikayilov, F.D., 2007. Determination of salt-transport model parameters for leaching of saturated superficially salted soils. *Eurasian Soil Science*, 40(5):544-554.
- Mikailov, F. D., Azizov, K.Z., 1981. Movement of salts in soils with unstable uniform filtration. *Sovyet Soil Science*, 5: 69-73.
- Mikayilov, F.D., Azizov, K.Z., 1985. Determination of the hydrochemical parameter of dispersion by salts transfer in the course of washing of saline water-saturated soils. *Sovyet Soil Science*, 5: 84-90.
- Mikailov, F.D., Ekberov, İ.A., 1999. Analytical analysis of mass transpiration in heterogenous media. 1<sup>ST</sup> Turkish World Mathematics Sempodium, Abstracts, 163, 29 June-2 July 1999., Elazığ/Turkey.
- Mikayilov, F., Gulser, C., Bayraklı, F., Ekberov, İ., 2002. Determination of soil pollutants movement by using mathematical models. *Proceedings of the Sixth Baku International Congress "Energy, Ecology, Economy"*, 431-436, May 30-June 3, 2002, Baku / Azerbaijan.
- Mikailov, F.D., Pachepsky, Ya.A., 2003. Analytical solution of the equation of the nonequilibrium solute transport in soil with dual porosity. *Eurasian Soil Sci.* 4: 441-450.
- Nemes, A., Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., 2005. Influence of organic matter on estimation of saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, 69: 1330-1337.
- Nerpin, S.B., Çudnovski, A.F., 1975. Energo-i Massoobmen v Sisteme Rasteniy-Poçva-Vozdux. Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Nobuo, T., Mitsuhiro, I., Feike J. L., 2003. Hydrodynamic dispersion in an unsaturated dune sand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 703-712.
- Pachepsky, Ya.A., 1990. *Mathematical Models of Physico-chemical Processes in Soils.* Nauka, Moscow.
- Pachepsky, Ya.A., Rawls, W.J., 2003. Soil structure and pedotransfer functions. *Europ. J. of Soil Sci.*, 54: 443-451.
- Pachepsky, Y.A., Tilin, D., Varallyay, G., 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 727-733.
- Patten, B. C., 1975a. A reservoir cove ecosystem model. *Transactions of the American Fisheries Society*, 104(3): 596-619.
- Patten, B. C., 1976. "Ecosystem modeling and reservoir management." *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science* 5: 1-20.
- Patten, B. C., Egloff, D.A., Richardson, T.H., 1975b. Total Ecosystem Model for a cove in Lake Texoma. *Systems Analysis and Simulation Ecology*, Academic Press, Inc. Vol. III, p: 205-421.
- Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H. (eds), 1986. *Simulation of Plant Growth and Crop Production.* Leningrad, Gidrometeoizdat, s. 32-36.
- Platonov, V.A., Çudnovski, A.F., 1984. Modelirovaniye agrometeorologiceskix usloviy i optimizaçiya agrotexniki (ASU TP v zemledelii). Leningrad, Gidrometeoizdat, p. 280.
- Poletaev, İ.A., 1966. On mathematical models of elementary processes in biogeocenoses. *Problems of Cybernetics*, Nauka, Moscow, 6: 171-190.
- Poluektov R.A., 1991. *Dinamiçeskiye Modeli Agroekosistem.* Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Rachhpal-Singh, Kirk, G.J.D., 1993. A model for predicting the fate of nitrogen fertilizer in lowland ricefields. I.Theory. *Journal of Soil Science*, 44(2): 271-283.
- Rao, P.S.C., Rolston, D.E., Jessup, R.E., Davidson, J.M., 1980. Solute transport in aggregated porous media: Theoretical and experimental evaluation. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 44:1139-1146.
- Rees, A.R., Thornley, J.H.M., 1973. A simulation of tulip growth in the field. *Ann. Bot.*, 37: 121-131.
- Ross, Yu. K., 1975. Matematiceskoye modelirovaniye produkcionnogo proçessa i urojaya.V kn.: *Programmirovaniye Urojayev c.-x. kultur.* Nauçniye Trudı VASXNİL. Moskva, Kolos, 415-427.
- Sezgin, U., Çelik, H., 1999. Leaf area prediction models (Uzçelik-I) for different horticultural plants. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(6): 645-650.
- Shelford, V.E., 1913. *Animal Communities in Temperate America.* Chicago, University of Chicago Press.
- Shukla, M.K., Kastanek, F.J., Nielsen, D.R., 2002. Inspectional analysis of convective-dispersion equation and application on measured breakthrough curves. *Soil Sci.Soc. Am. J.*, 66 (4): 1087-1094.
- Smith, F.E., 1970. *Analysis of ecosystems.* In: *Analysis of Temperate Forest Ecosystems* (edited by D. Reichle), New York, Springer-Verlag, 7-18.
- Summerhayes V.S., Elton C.S., 1923. Contributions to the ecology of Spitsbergen and Bear Island. *Journal of Ecology*, 11 (2): 214-286.
- Summerhayes V. S., Elton, C. S., 1928. Further contributions to the ecology of Spitsbergen. *Journal of Ecology*, 6: 193-268.
- Şatılov, İ.S., Çudnovski, A.F., 1980. *Agrofiziçeskiye, Agrometeorologiceskiye Agrotexniçeskiye Osnovı Programmirovaniya Urojaya.* Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Şaylan, L., Eitzinger, J., 1996. SIMWASER bitki gelişimi modeli ile soya bitkisinin gelişiminin belirlenmesi, *Kültürteknik Derneği, TOPRAKSU Dergisi*, 5(2): 8-13.
- Topçu, S., 1996. Calibration/Validation of the maize growth simulation model "Cornf" for southern region of Germany. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 20(2): 99-105.

- Topçu, S., Beyturan, A.N., 1999. "TOMGRO" sera domates büyüme modelinin Çukurova örtüaltı yetiştiriciliği koşullarında test edilmesi. Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, 23 (Ek Sayı 3): 749-755.
- van Diepen, C.A., Wolf, J., van Keulen, H., Rappoldt, C., 1989. WOFOST: A simulation model of crop production. Soil Use Manage. 5, 16-24.
- van Genuchten, M. Th., Wierenga, P. J, O'conner, G.A., 1977. Mass transfer studies in sorbing porous media: III. Experimental evaluation with 2,4,5-T. Soil Sci.Soc.Am. J. 41:278-285.
- Verigin,N.N., Azizov, K.Z., Mikayilov, F. D., 1986. On the impact of boundary conditions in simulation experiments on salts transfer in soils during washing. Sovyet Soil Science. 6: 67-73.
- Zaslavskiy, B., G., Poluektov, R.A., 1988. Upravleniye Ekologičeskimi Sistemami. Moskow, Nauka.
- Watt, K. E. F. 1966. Systems Analysis in. Ecology. New York, Academic Pres.
- Wit, C.T., Penning de Vries, F.W.T., 1982. Lanalyse des systemes de production primaire. In: La Productivite des Paturages Saheliens. Agr. Res. Rep., 918, Pudoc, Wageningen, 20-23.
- Wright, R. D.,1972.Validating dynamic models: An evaluation of tests of predictive power. In: Proc. Summer Computer Simulation Conference. San Diego, California, 1286-1294.
- Wright, A, 1971. Farming systems, models and simulation. In J.B. Dent and J.R. Anderson, eds., Systems Analysis in Agricultural Management, Sydney: Wiley, 17-34.