151791

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Metin MÜJDECİ

TOPRAK-BİTKİ-ATMOSFER SİSTEMİNDE BUĞDAYIN (*Triticum aestivum* L.) BÜYÜME, GELİŞME VE VERİMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

151791

ADANA, 2004

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK-BİTKİ-ATMOSFER SİSTEMİNDE BUĞDAYIN (*Triticum aestivum* L.) BÜYÜME, GELİŞME VE VERİMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Metin MÜJDECİ

DOKTORA TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu tez 07/10/2004 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

İmza.....	İmza.....	İmza.....
Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV	Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ	Prof. Dr. Müjde KOÇ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
İmza.....	İmza.....	
Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY	Yrd. Doç. Dr. Veysel POLAT	
ÜYE	ÜYE	

Bu tez Enstitümüz Toprak Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No : 863

Prof. Dr. Fikri AKDENİZ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: **FBE2002D207**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

TOPRAK-BİTKİ-ATMOSFER SİSTEMİNDE BUĞDAYIN (*Triticum aestivum* L.) BÜYÜME, GELİŞME VE VERİMİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Metin MÜJDECİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV
Yıl : 2004, Sayfa: 148
Jüri: Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV
Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ
Prof. Dr. Müjde KOÇ
Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY
Yrd. Doç. Dr. Veysel POLAT

Bu çalışma, Çukurova koşullarında verim potansiyeli yüksek Seri-82 buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi üzerinde yürütülmüştür. Çevre faktörleri (meteorolojik faktörler ve toprak faktörleri) ile bitki morfolojik özellikleri arasında ilişkiler kurulmuş ve matematiksel modeller üretilmiştir. Toplam bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerleri, toprak suyu matrik emişi/stoma direnci ilişkileri, transpirasyon, yaprak alan indeksi, fotosentez ve respirasyon hızı v.b. alt modeller sistemli biçimde ilişkilendirilerek, buğdayda verim tahmini için öneriler geliştirilmiştir.

Sonuçta her alt modelin, simülasyon değerleri ile gerçek deneysel değerleri karşılaştırılmış ve uygulanan istatistiksel değerlendirmelerin göstergeleri (korelasyon katsayısı, determinasyon katsayısı ve nispi hata), model sonuçları ile ölçüm değerlerinin uyumlu olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler : Agroekosistem, simülasyon, matematiksel modelleme, buğday, yaprak alan indeksi.

ABSTRACT

PhD THESIS

MATHEMATICAL MODELLING OF GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) IN SOIL-WATER-ATMOSPHERE SYSTEM

Metin MÜJDECİ

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV

Year : 2004, Pages: 148

Jury: Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV
Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ
Prof. Dr. Müjde KOÇ
Assoc. Prof. Dr. Fariz MİKAİLSOY
Asst. Prof. Dr. Veysel POLAT

This study was conducted on Seri-82 (*Triticum aestivum* L.) wheat variety, commonly grown in Adana region. Environmental conditions, such as climate and soil conditions associated with plant morphological characters were evaluated and mathematical models were generated. The total plant water consumption, maximum evaporation rate from the soil, the values of maximum increase rate in the daily dry matter amount at the anthesis stage, soil water matric absorption-stoma resistance interactions, transpiration, leaf area index, photosynthesis and respiration rate equations etc. sub-models were systematically interrelated consequently, productivity suggestions were proposed for wheat.

As a result the values of simulation and real experimental values of the each submodel were compared to and applied statistical evaluations indications (correlation constant, determination constant and relative deviation) revealed that the model results and the measurement values were correlated well with each other.

Key words: Agroecosystem, simulation, mathematical models, wheat, leaf area index.

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçiminden araştırmamın sonuçlandırılmasına kadar her türlü katkılarıyla çalışmalarımı yönlendiren, araştırmamın her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam **Prof. Dr. Alhan L. SARIYEV'e**, gerektiğinde yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen sayın hocam **Prof. Dr. M. Rıfat DERİCİ'ye,** araştırmamın her aşamasında özellikle arazi çalışmalarında ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam **Prof. Dr. Müjde KOÇ ve Dr. Celaleddin BARUTÇULAR'a,** Çalışmamın programlama aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam **Yrd. Doç. Dr. Veysel POLAT'a,** ve tezimin yazım aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam **Doç. Dr. Fariz MİKAİLSOY** ve **Doç. Dr. Ahmet Ali IŞILDAR'a** teşekkür ederim.

Laboratuarda kimyasal analizlerde yardımını esirgemeyen **Arş. Gör. Kürşat KORKMAZ'a,** ayrıca sera çalışmalarında, ilgi ve desteğini gördüğüm **Arş. Gör. Yusuf TÜLÜN'e, ve Barış DERİCİ'ye** teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam sırasında her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, sevgili eşime ve kızıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER SAYFA NO

ÖZ.....I
ABSTRACT.....II
TEŞEKKÜR.....III
İÇİNDEKİLER.....IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....IX
1.GİRİŞ.....1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....4
3. KURAMSAL TEMELLER.....28
3.1. Meteoroloji Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.....30
3.2. Radyasyon Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.....32
3.2.1. Kısa Dalga Boylu Enerjinin Matematiksel Modellenmesi.....32
3.2.2. Uzun Dalga Boylu Enerjinin Matematiksel Modellenmesi.....34
3.3. Toprak Sıcaklığı Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.....35
3.4. Toprak Su Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.....37
3.5. Bitki Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.....41
3.5.1. Gelişme Dönemleri.....42
3.5.2. Yaprak Alan İndeksi 42
3.5.3. Yaprak Stoma Direnci.....43
3.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı.....45
3.5.5. Transpirasyon Hızı.....46
3.5.6. Verim Tahmini.....48
4. MATERYAL VE METOD.....50
4.1. Deneme Alanı Toprağının Özellikleri.....50
4.1.1. Fiziksel Özellikler.....50
4.1.2. Kimyasal Özellikler.....52
4.2. Bitkisel Özellikler.....54
4.2.1. İncelenen Özellikler.....54
4.3. Modelde Yer Alan Blokların Bazı Parametrelerinin Belirlenmesi ve Modelin Sayısal Çözüm Yöntemleri.....58

4.3.1. Meteoroloji Bloğunun Sayısal Çözümü.....61
4.3.2. Radyasyon Bloğunun (Kısa ve Uzun Dalga Boylu Enerjilerin) Sayısal Çözümü.....62
4.3.2.1. Güneşin Doğma Zamanının Hesaplanması.....62
4.3.3. Toprak Sıcaklığı Bloğunun Sayısal Çözümü.....64
4.3.4. Toprak Su Bloğunun Sayısal Çözümü.....68
4.3.5. Bitki Bloğunun Sayısal Çözümü.....71
4.3.5.1. Gelişme Dönemleri 72
4.3.5.2. Yaprak alan indeksi 72
4.3.5.3. Yaprak Stoma Direnci.....73
4.3.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı.....73
4.3.5.5. Transpirasyon Hızı.....74
4.3.5.6. Verim Tahmini.....74
4.3.6. Model Değerleri ile Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması.....74
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....76
5.1. Geliştirilmiş Matematiksel Modelin Test Edilmesi.....76
5.1.1. Hava Sıcaklığı ve Nispi Nemin Ölçüm ve Model Değerlerinin Karşılaştırılması.....76
5.1.2. Kısa Dalgalı Radyasyonun Ölçüm ve Model Değerlerinin Karşılaştırılması.....83
5.1.3. Toprak Yüzey Sıcaklığı-Hava sıcaklığı Model Değerlerinin Karşılaştırılması.....86
5.1.4.Toprak Su Dinamiğinin Model ve Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması89
5.1.5. Bitki Bloğu Model ve Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması.....91
5.1.5.1. Gelişme Dönemleri.....91
5.1.5.2. Yaprak Alan İndeksi.....94
5.1.5.3. Yaprak Stoma Direnci.....97
5.1.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı.....98
5.1.5.5. Verim Tahmini.....100
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....104
KAYNAKLAR.....108
ÖZGEÇMİŞ.....121
EK.....122

ÇİZELGELER DİZİNİ SAYFA NO

Çizelge 4.1. Deneme alanı toprağının hacim ağırlığı, tekstür ve hidrolik iletkenlik değerleri..... 51

Çizelge 4.2. Deneme alanı toprağının toprak su karakteristik değerleri..... 51

Çizelge 4.3. Deneme alanı toprağının gözeneklilik değerleri..... 52

Çizelge 4.4. Deneme alanı toprağının %$CaCO_3$, pH ve %tuz değerleri..... 52

Çizelge 4.5. Deneme alanı toprağının katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyonların değerleri..... 53

Çizelge 4.6. Deneme alanı toprağının azot, fosfor ve organik madde değerleri..... 53

Çizelge 4.7. Seri-82 buğday çeşidinde 2000 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları..... 55

Çizelge 4.8. Seri-82 buğday çeşidinde 2001 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları..... 55

Çizelge 4.9. Seri-82 buğday çeşidinde 2002 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları 56

Çizelge 4.10. 2000, 2001, 2002 yılarına ait yaprak alan indeksi değerleri..... 56

Çizelge 4.11. 2000-2001-2002 yıllarına ait biyomas, dane verimi, hasat indeksi, maksimum yaprak alan indeksi (L_{max}) ve maksimum brüt fotosentez hızı (F_{max}) değerleri..... 58

Çizelge 4.12. Gelişme dönemleri sıcaklık toplamları..... 72

Çizelge 5.1. 01.04.2000-20.04.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 77

Çizelge 5.2. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 78

Çizelge 5.3. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 79

Çizelge 5.4. 01.02.2000-20.02.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 80

Çizelge 5.5. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 81
Çizelge 5.6. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 82
Çizelge 5.7. 27.04.2000 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri..... 84
Çizelge 5.8. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri..... 85
Çizelge 5.9. 01.04.2000-10.04.2000 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 86
Çizelge 5.10. 01.02.2001-10.02.2001 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 87
Çizelge 5.11. 10.03.2002-19.03.2002 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 88
Çizelge 5.12. 05.04.2001 tarihinde ölçülen su içeriği değerleri ile tahmin edilen su içeriği değerleri..... 89
Çizelge 5.13. 27.04.2001 tarihinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri..... 90
Çizelge 5.14. 2000 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları 91
Çizelge 5.15. 2001 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları 92
Çizelge 5.16. 2002 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları..... 93
Çizelge 5.17. 2000 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 95
Çizelge 5.18. 2001 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 95
Çizelge 5.19. 2002 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 96

Çizelge 5.20. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen fotosentez hızı değerleri..... 99
Çizelge 5.21. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri..... 100
Çizelge 5.22. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları..... 101
Çizelge 5.23. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri..... 102
Çizelge 5.24. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları..... 103

ŞEKİLLER DİZİNİ SAYFA NO

Şekil 3.1. Bitki gelişim modelinin temel blokları..... 30
Şekil 3.2. Bitki bloğunun temel alt blokları..... 41
Şekil 4.1. Stoma direnci-toprak suyu matrik emişi arasındaki ilişkiyi görmek için serada kurulan düzenek..... 57
Şekil 4.2. Programın açılış ekranı..... 59
Şekil 4.3. Modelin ilk giriş penceresi..... 59
Şekil 4.4. Modelin simülasyon uygulamasını başlatan pencere..... 59
Şekil 4.5. Modelin simülasyon ekranı..... 60
Şekil 4.6. Meteorolojik verilerin kayıt formu..... 61
Şekil 4.7. Coğrafi konumla ilgili katsayıların girilmesi..... 63
Şekil 4.8. Modele girilen temel toprak özellikleri penceresinin görünümü..... 68
Şekil 4.9. Modelde bitki parametrelerinin girilmesi için kullanılan pencere... 71
Şekil 5.1. 01.04.2000-20.04.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 76
Şekil 5.2. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 77
Şekil 5.3. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri..... 78
Şekil 5.4. 01.02.2000-20.02.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 80
Şekil 5.5. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 81
Şekil 5.6. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri..... 82
Şekil 5.7. 27.04.2000 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri. 83
Şekil 5.8. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri. 84
Şekil 5.9. 01.04.2000-10.04.2000 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 86

Şekil 5.10. 01.02.2001-10.02.2001 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 87
Şekil 5.11. 10.03.2002-19.03.2002 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri..... 88
Şekil 5.12. 05.04.2001 tarihinde ölçülen su içeriği değerleri ile tahmin edilen su içeriği değerleri..... 89
Şekil 5.13. 27.04.2001 tarihinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri..... 90
Şekil 5.14. 2000 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları..... 91
Şekil 5.15. 2001 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları 92
Şekil 5.16. 2002 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları..... 93
Şekil 5.17. 2000 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 94
Şekil 5.18. 2001 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 95
Şekil 5.19. 2002 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri..... 96
Şekil 5.20. Tarla kapasitesi seviyesinde stoma direnci-toprak suyu matrik emiş ilişkisi..... 97
Şekil 5.21. Tarla kapasitesinden düşük toprak su içeriğinde stoma direnci-toprak suyu matrik emiş ilişkisi..... 98
Şekil 5.22. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen fotosentez hızı değerleri..... 99
Şekil 5.23. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri..... 100
Şekil 5.24. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları..... 101
Şekil 5.25. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri..... 102
Şekil 5.26. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları..... 102

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye'de yıldan yıla hızla artan insan nüfusunun besin maddeleri gereksinimini karşılama sorunu, günümüzde bitkisel üretime ayrı bir önem kazandırmaktadır. Bitkisel üretimin vazgeçilmez kaynağı olan toprak, çeşitli faktörlerin etkisi altında ve uzun zaman süreci içerisinde çevre faktörlerine maruz kalmaktadır. Çevre koşullarına bağlı olarak potansiyel verimliliğin bilinmesi ve her bir toprak serisinin kullanım potansiyelinin ortaya konulması ve korunması bir zorunluluktur. Gelişen teknolojinin amacı, sürekli artan nüfusa karşılık uygun tarım tekniklerinin kullanılması ile toprak verimliliğinin arttırılması ve en azından korunması olmalıdır. Bunun için tarımsal ekosistemde ortaya çıkabilecek olası davranışların gelişmiş ve geçerliliği kabul gören bilimsel ve teknik yöntemlerle incelenmesi, büyük önem arz etmektedir. Sözü edilen çeşitli etkileşimler çok bilinmeyen ilişkiler içerisinde olduğu için, ortaya çıkabilecek olası davranışları simülasyon teknikleri ile araştırmak ve değerlendirmek geniş biçimde başvurulan bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

Simülasyon, değişik bilim dallarına ait bilgi ve becerileri bir araya toplayan bir faaliyettir. Bir yandan üzerinde çalışılan bilim dalının iyi bilinmesini gerektirirken, öte yandan da matematik ve istatistik yanında modelleme bilgisini gerektirir. Hatta optimum büyüklük ve yapıda bir simülasyon programı yapmak, çalışmanın algoritmasını isabetli bir şekilde kurmak, estetik unsurlar taşıyan bir sanattır. Bu bakımdan çoğu zaman bu tip araştırmalar bir ekip çalışmasının ürünü olarak ortaya çıkar (Sezgin,1999).

Tüm bilim dallarında çeşitli matematiksel modeller ve simülasyon teknikleri geliştirilerek bunlardan, denenmesi zor ve fazla zaman alacak problemlerin çözümünde yararlanılmaktadır. Tarımsal araştırmalarda çeşitli stratejiler ortaya koymak için matematiksel modeller ve simülasyon teknikleri dünyanın birçok ülkesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Matematiksel modelleme ve simülasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve kullanılması 1980'li yıllardan sonra hızlı bir şekilde artmıştır. Modellemenin öncülüğünü Hollanda, Amerika, Rusya, İsrail ve bazı Avrupa ülkeleri yapmaktadır. Türkiye'de matematiksel modelleme ve

simülasyon teknikleri, bu sayılan ülkelerin geliştirdiği modellerin uygulamaları ile sürdürülmektedir.

Toprak-Bitki-Atmosfer sisteminde enerji-kütle akımlarının korunması yasaları ve denge prensiplerinden yararlanarak, çeşitli fiziksel ve biofiziksel (biotik-abiotik) prosesleri ayrı bloklar şeklinde ele alıp, olayları etkileyen önemli parametrelerle matematiksel sistem denklemleri kurulmaktadır. Söz konusu denklemlerin matematiksel yaklaşımlarla çözümlenmesi ve bloklar halinde programlanması ile modelin ortaya konulması, onun test edilerek uygulanabilirliği çalışmaları sistemli bir şekilde yürütülmektedir.

Bilindiği üzere bitkisel üretim birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler içeren çevresel koşullar tarafından belirlenir. Ancak tarımsal ve çevresel araştırmaların temel sorunlarından biri, karmaşık bir sistem olan "Toprak-Bitki-Atmosfer sistemindeki" taşınma süreçleri ve enerji-madde bütçeleri konusunda yeterli bilgiye nasıl ulaşılacağıdır. Çünkü bu taşınma süreçleri, doğrudan bitkisel verimi etkilemektedir. Bu nedenle, matematiksel modelleme ve simülasyon teknikleri, sağlıklı arazi denemeleri ve bilgisayar kullanımıyla desteklenerek dinamik sistemlerin nicel tanımlamaları için önem kazanmıştır. Dolayısıyla, simülasyon teknikleri kullanılarak agroekosistemde madde ve enerji miktarının değişimi izlenebileceği gibi değişik toprak ve iklim koşullarında yetiştirilen çeşitli bitkilerin önceden potansiyel verim tahminleri de yapılabilir. Bitki gelişim modelleri genelde dinamiklik, balans ve bloklar prensibinde kurulmaktadır. Agroekosistemde cereyan eden olaylar ayrı bloklar şeklinde ifade edilir ve bir ana program çatısı altında birleştirilir.

Bir ülkenin bitkisel üretimi, büyük ölçüde o ülkenin ekolojik koşullarına bağlıdır. Toprak ve iklim koşullarına göre, bitkisel üretimin düzeyini belirleyebilmek, toprak-bitki-atmosfer karmaşık sisteminde madde (örneğin, su, azot) ve enerji (örneğin ısı, radyasyon) bütçesinin izlenmesini gerektirir. Bu da matematiksel modelleme ve bilgisayar simülasyonları ile başarılabilir. Dünyada olduğu gibi, Türkiyede de ekim alanları son sınırına ulaşmış durumdadır. Ekim alanı arttırma olanakları kısıtlı olduğundan üretim artışı, uygulanacak modern teknoloji ve uygun çeşit ile birim alandan yüksek verim almakla sağlanabilir. Dolayısıyla, bitki

parametreleri ile birlikte toprak ve iklim değişkenlerini dikkate alan bitki gelişim modellerinin oluşturulması ve kullanılması çok büyük yarar sağlar. Ayrıca uygun toprak serisine göre bitki deseninin seçilmesi, sulama ve gübreleme düzeylerinin etkin şekilde uygulanması tarımsal faaliyetler için büyük önem arz etmektedir. Ancak bitkisel gelişim üzerinde yukarıda açıklandığı gibi önemli işlevlere sahip bütün madde ve enerji unsurlarının etki düzeylerinin farklı toprak ve iklim koşullarında ve çok sayıda bitki tür ve çeşitleri üzerinde deneysel çalışmalarla ortaya konması, hem çok zaman almakta hem de pahalı alet ve ekipmanların varlığını gerektirmektedir. Bazen söz konusu durum teknik ve ekonomik açıdan imkansız hale gelmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma Çukurova Bölgesinde yüksek bir verim potansiyeli gösteren Seri-82 buğday çeşidi üzerinde yürütülmüştür. Çevre faktörleri (meteorolojik faktörler ve toprak faktörleri) ile bitki morfolojik ve fizyolojik özellikleri arasında ilişkiler kurulmuş ve matematiksel modeller üretilmiştir. Toplam bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerleri, toprak suyu matrik emişi/stoma direnci ilişkileri, transpirasyon, yaprak alan indeksi, fotosentez ve respirasyon hızı v.b. alt modeller sistemli biçimde ilişkilendirilerek, buğdayda verim tahmini için öneriler geliştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bitki gelişim modelleri ve temel blokları ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Monisi ve Sacki (1953), bitki topluluğu veya populasyonunda, radyasyon dağılımını belirlemede Bera-Lamberta formülünü ($I=I_0*\exp(-KL)$) uygulamaya koymuşlardır. Burada I_0: bitkiye kadar gelen ışık miktarı, L: yaprak alan indeksi, K: bitki örtüsünün radyasyonu geçirme katsayısıdır.

Kasahaga ve Monisi (1954), radyasyon bloğunu daha da geliştirerek bitkileri yaprak dağılımına göre katmanlara ayırmışlar ve katmanlara göre fotosentetik aktif radyasyon (PAR) değerlerini aşağıdaki şekilde dikkate almışlardır.

$I=[1-(1-P_L)^{N-1}$ burada P_L: ışığın PAR'a göre iletilme katsayısı, N: bitkinin yaprak katman sayısıdır.

Davidson ve Filip (1958), çalışmalarında ilk kez bitki büyümesinin ve kuru madde üretiminin fotosentez ve respirasyondan hesaplandığını matematiksel olarak ifade etmişlerdir.

Cumora (1967) bitki yapraklarının fotosentez hızını, aşağıdaki modelde yaprak sıcaklığıyla ilişkilendirerek ortaya koymuştur. $F_{max}(t_L)=0.2*F_0(6t_f-t_f^6)$, $t_f=(t_L-t_0)/(t_{opt}-t_0)$, burada t_0: fotosentezin başlaması için eşik sıcaklığı, t_{opt}: optimum fotosentezin gerçekleştiği sıcaklık, t_L: yaprak sıcaklığı, $t_L=(T_L-273)$, F_0: potansiyel fotosentetik hızdır.

Idso (1968), araştırmalarında ilk kez fotosentezin nem, ışık ve CO_2 ile ilişkilerini ortaya koymuş ve bilgisayar ortamına aktarmıştır. $F_L=F_1(w)F_2(c)F_3(I)-F_4(T_L-T_a)$, F_1: fotosentez hızının atmosfer ve toprak nemi ilişkisi, F_2: fotosentezin CO_2 ile olan ilişkisi, F_3: fotosentezin radyasyonla ilişkisi, F_4: fotosentez hızının yaprak ve hava sıcaklığı ilişkisini, geliştirmiş ve matematiksel olarak modeli ortaya koymuştur.

Idso (1969), toprak neminin fotosentez düzeyine etkilerini araştırmış ve ilk kez yaprağın fotosentez hızına ek katkı fonksiyonunu $((\psi_{sm}/\psi_s)/(\psi_{sm}/\psi_{so})-(100-h_A)/600)$, geliştirmiştir. Burada ψ_s: toprak su potansiyeli, ψ_{so}: optimum toprak su

potansiyeli, ψ_{sm}: fotosentezin durduğu andaki toprak su potansiyeli, h_A: havanın nispi nemini ifade etmektedir.

Curry (1969) yetersiz nemin fotosentez hızına etkisini araştırmış ve yaprak stoma direnciyle toprak suyunun potansiyeli arasında şu ilişkiyi önermiştir.

$R_{st} = 7.5 /15+\psi_s$

burada; R_{st}: yaprak stoma direnci,

ψ_s: toprak suyu potansiyelidir.

Maldau (1969), yaprak stoma direncinin (R_{st}) toprak su potansiyeliyle, bitkideki su potansiyeli, kök yoğunluğu ve atmosfer nemi arasındaki matematiksel modeli ortaya koymuştur.

$$R_{st}(I_{\Phi},\psi_L) = R_{st}(1+\frac{\gamma}{I_{\Phi}})*(\frac{\psi_m-\xi\psi_L}{\psi_m-\psi_L})$$

burada;

R_{st}: bitki stoma direnci,

γ: bitkilerin radyasyona duyarlılık faktörü,

ψ_m: toprak matrik su potansiyeli,

ψ_L: bitki yaprak su potansiyeli,

ξ: boyutsuz parametre,

buradaki yaprak su potansiyeli şu formülle elde edilmektedir.

$$\psi_L = \rho_w * R_w * T_L * \ln h_L$$

ρ_w: toprak suyu,

R_w: gaz sabitesi,

T_L: yaprak sıcaklığı,

h_L: nispi nemdir.

Potansiyel buharlaşmanın saptanmasında, Ritchie (1972) tarafından geliştirilmiş olan, Tanner ve Jury (1976) modeline uyarlanmış

$Ep=k*(\Delta/(\Delta+Y))*R_n*\exp(-\tau*LAI)$ formülün kullanılmasını önermişdir.

Ep: Potansiyel evaporasyon (cm/gün),

k: Modele ilişkin bir katsayı,

Δ: Sıcaklığa bağlı olarak doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (mbar/^{o}C),

Y: Psikometri sabiti (mbar/°C),

R_n: Net radyasyon (W/m^2),

τ: Ampirik bir katsayı,

LAI: Yaprak alan indeksi,

τ 'nın çeşitli bitkiler için kullanılacak değerleri, Raes ve ark.(1986) radyasyon akısını (W/m^2), buharlaşma eşdeğerine (cm/gün) çevirmek için (W/m^2 *0.352*10^{-2}) kullanılır.

Allen ve ark. (1974), farklı çeşitlerde, bitki stoma direncinin transpirasyonla ilişkisini araştırmış ve ilk kez yaprağın stoma direnci, transpirasyon ve asimilasyon ilişkilerini matematiksel model bağlamında kullanmışlardır. Söz konusu model mısır bitkisi ile test edilmiş ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Sirotenko ve Boyko (1977) bitki tarafından alınan suyun, toprak ve yaprağın su potansiyelleri ve stoma direnciyle ilişkisini modellemişlerdir, $Q_{WR}=1/g*(\psi_s-\psi_L)/(r_s+r_p)$. Aynı çalışmada bitki stoma direncini aşağıdaki fonksiyonla ilişkilendirmişlerdir. $R_{st}=R_{stmin}+[a_1/(a_2+a_3I)]+f(T)+[-\psi_L/(a_4-a_5\psi_L)]$, burada R_{stmin}: yaprağın minimum stoma direnci, I: radyasyon miktarı, f(T): sıcaklığa bağlı ilişki, a_1-a_5: ampirik sabitelerdir.

Feddes ve ark.(1978), gerçek transpirasyon hızını (Tr=cm/gün) aşağıdaki yaklaşımla belirlemişlerdir.:

$$Tr=\int_{z=0}^{z=2r} S(\psi,Z)dz \leq Tp$$

Doorenbass ve Kassam (1979), buğday bitkisinin toplam büyüme dönem uzunluğunun yazlık çeşitler için 100-130 gün , kışlık çeşitlerde ise bu sürenin 180-250 güne uzadığını belirtmişlerdir.

Sirotenko (1981) ve Poluektov (1991) enerji ve kütle akımlarının, toprak sıcaklığı, toprak nemi, radyasyon rejimi, meteoroloji bloğu, fotosentez ve büyüme bloklarını detaylı irdeleyerek, bunları bir bütün halinde çalıştırmışlardır.

Tomming (1984), yaprakların ısı bütçesini aşağıdaki gibi ifade etmiştir. $\chi_Q I_Q+I_A-I_L-H_L-\Delta E_L=0$ Burada: ΔE_L: Buharlaşma için kullanılan ısı miktarı, $\chi_Q I_Q$: Kısa dalgalı ışınların yaprakta tutunması, I_A: Atmosferden kaynaklanan uzun dalgalı

ışın miktarı, $I_A=\sigma*T_A^4(a1+b1*(e)^{1/2})$, H_L: konveksiyonla kaybolan ısı, I_L: Bitkinin uzun dalgalı ışınla kaybettiği enerji miktarı ve Stefan Bozmant yasası ($I_L=\delta_L\ \sigma T^4$) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Rossi ve Bigaran (1985), dört farklı toprak-su rejiminde, şekerpancarının çıkışından hasata kadar geçen dönemde toprak ve yaprak su potansiyeli ile yaprağın alt ve üst epidermisi stoma direncini ölçmüşlerdir. Yaprağın her iki yüzeyinde stoma genişliği ve dağılımını saptamışlardır. Sonuçlar üst ve alt epidermis stoma direnci arasında, su rejimine, günün saatine ve mevsime bağlı olmaksızın linear ilişki göstermiştir. Susuz bitkilerin yaprak su potansiyeli ile toprak su potansiyeli arasında da yüksek korelasyon bulunmuştur. Stoma direncinin günlük değişimi tüm uygulamalarda, kuatratik eğilim göstererek öğleden 2 saat sonra minimuma ulaşmıştır. Gelişme sezonu boyunca stoma direnci (R) düşmüştür. Kuraklığın şiddeti arttığında, uygulamalar arasındaki farklılıklar artmış, stoma direnci ve yaprak su potansiyelinin günlük değişimi en yüksek olmuştur. Bu durumda ifade edilen stoma direncinin, ekstrem kurak koşullarda şekerpancarı dışındaki bitkilerin. su durumlarını hesap etmek için uygulanamaz olduğu ortaya çıkmıştır.

Scarascia ve ark.(1985), iki farklı sulama rejimi altında yetiştirilen sorgumu farklı gelişim periyotlarında yetiştirmişlerdir. Çalışmalarında stoma iletkenliğinin, toprak suyu yarayışlılığının geliştirilmesi ve bitki gelişimi üzerine etkilerini önceden belirlemişlerdir.

Natali ve ark. (1985), şeftali ağaçlarını iki farklı gelişim döneminde su stresine tabi tutarak yetiştirmişlerdir. Yaprak su potansiyelinin toprakta yarayışlı suyun, güneşin doğmasından önce daha yararlı olduğunu ve bu değişkenler arasında korelasyonun yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. İlk stres döneminde yaprak su potansiyeli ve meyve gelişimi arasında ve ikinci stres döneminde ölçülen parametreler arasında yüksek korelasyon bulmuşlardır. Tarla kapasitesine ulaşıldıktan sonra yaprak su potansiyeli hızlı bir şekilde iyileşirken stoma açıklığı daha yavaş iyileşmiştir. Tarla kapasitesine ulaştıktan bir hafta sonra meyve büyüklüğü stresli bitkilerde küçük olmuştur. Daha küçük meyve gelişiminin meyve olgunlaşmasından önceki 2. stres devresinde daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir.

Tichenor (1990), fizyolojik bir konuyu ele alarak yeşil yaprakta enerji bütçesini incelemiş ve böylece stoma kontrolü ve fotosentez olayını simüle etmiştir. Modüler desene uygun bir dil olan Borland Turbo Pascal V'de yazılan program için 23 tane değişken kullanmıştır. Bunlardan hava sıcaklığı, nispi nem, rüzgar hızı, bulutluluk, enlem, gün uzunluğu, yılın hangi günü olduğu, denizden yükseklik, güneş açısı gibi çevre faktörleri yanında; birçok yaprak özelliğini (yaprağın genişliği, uzunluğu, kalınlığı, nem miktarı, yaprak sıcaklığı, stomalı yüzler, stomalar arası mesafe ve stoma ebatları gibi) de ele almıştır.

Lou (1991), ALFALFA adlı simülasyon programında yoncanın büyümesini simüle etmiştir. Ayrıca toprak ısı transferi ve enerji depolanmasına ait SLTMP adlı bir model programı da bu programa ilave edilmiştir. SLTMP, enerji stoku ve toprak sıcaklığını değişik bitki örtüsü ve toprak su muhtevası altında gerçekçi bir biçimde simüle etmektedir. Ayrıca çalışmada hava ve su sıcaklıkları ile enerji stoku bileşenlerini ölçen iki ayrı deney yürütülerek modelin geçerliliği test edilmiştir. Geliştirilen kök modeli yardımıyla kök bölgesi ortamındaki fonksiyonel ilişkiler göz önüne alınmış, ince köklerdeki gelişme ve ölümlerle ana kökteki uzama ve genişleme belirlenmiştir. Böylece dal ve yaprak gelişimi açıklanmıştır. İnce kök canlı-kütlesindeki değişmeler sağlanan karbonhidrat miktarına yakından bağlıdır. Geliştirilen modelle, farklı mevsimlerdeki kök gelişimleri yanında kök verimi, kayıplar ve ölüm oranı da tahmin edilebilmektedir. İnce kök/yaprak oranı, sulama işlemine, yaprak dökümüne ve kök kesimine bağlı olarak gerçekçi bir şekilde tahmin edilmektedir. Ayrıca söz konusu model toplam solunumun hayatı idame ve büyüme unsurlarına ayrılışının, toplam büyümenin çeşitli organlara dağılışının da doğru tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Stockle ve ark. (1992) tarafından geliştirilen Cropsyst simülasyon modelinde; sulama, yağış, yüzeyde tutulma, yüzey akışı, infiltrasyon, derine sızma, evapotransprasyon, köklerin su alımı gibi su bütçesi öğeleri dikkate alınmaktadır. Bunlardan sulama ve yağışa ilişkin veriler kullanılarak, diğer değerler hesaplanabilmektedir. Ayrıca bitki su alım miktarı aşağıdaki formülle belirlenebilmektedir.

$$Uwi=K*C_i*(P_{si}-Px)$$

Bu ifadede;

Uwi: Bir katmandan alınan su miktarı ($kg/m^2/gün$),

P_{si}: i. toprak katmanının su potansiyeli (J/kg veya m^2/s^2),

Px: Ksilemin su potansiyeli (J/kg veya m^2/s^2),

C_i: i. katmandaki kök kondüktansı (kg/m^2*s),

K: çevirme faktörü (86.4).

Majercak ve Novak (1992), kök bölgesindeki toprak su dinamiğinin analizini hesap etmek için bir simulasyon modeli (GLOBAL) geliştirmişlerdir. Modelde Galerkin'in değiştirilmiş sınırlı element metodu, taşınım eşitliğinin sayısal hesaplamaları için kullanılmıştır.

GLOBAL matematiksel modeli kullanan Novak ve Majercak (1992) toprak neminin ölçülen ve hesaplanan değerleri arasındaki farklılıkların modelde kullanılan toprak özelliklerinin temsil ettiği metot sebebiyle olduğunu vurgulamışlardır.

Aydın ve ark. (1995) CropSyst simülasyon modelini test etmek amacıyla Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Araştırma alanında Seri-82 buğday çeşidini kullanarak bir tarla denemesi kurmuşlardır. Modelde toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, önemli iklim faktörleri, bitkinin termal rejimi, maksimum yeşil alan indeksi ve yaprak alan indeksi, hasat indeksi, maksimum kök derinliği, bitkinin önemli gelişme devrelerindeki azot içeriği gibi parametreler ile toprak işleme, sulama, gübreleme v.b. amenajman uygulamalarını veri olarak kullanmışlardır. Çalışma sonunda bitkinin fenolojik devreleri başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. Deneysel dane verimi değerleri ile tahmin edilen değerler birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur. Toprak üstü aksam ağırlığı ve kök gelişimi konusunda model benzer sonuçlar vermiştir. Yaprak alan indeksi, bitkinin azot alımı gibi öğelerin tahmininde de model çok başarılı bulunmuştur. Diğer taraftan toprak su bütçesi öğelerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde modelin içerdiği bazı sınırlılıklar gözlenmiştir.

Sarıyev ve Gülüt (1995), bitki gelişim modellerinin bugüne kadarki gelişme durumu, modellerin yapısındaki temel prensiplerini (dinamiklik, bütçe ve bloklar prensibi) açıklayarak, modellerin önemi ve bitki gelişimine uygun verimlilik seviyelerine göre modelleme tekniklerini irdelemişlerdir. Ayrıca agroekosistemde

bitki gelişiminin matematiksel modellenmesi amacıyla dikkate alınması gereken temel hususları, fiziksel ve biofiziksel açıdan da ele almışlardır.

Sarıyev ve ark. (1995), toprak kök sisteminde zamanın ve derinliğin bir fonksiyonu olarak, topraktaki suyun durumunu izleyebilmek için toprak rutubet içeriği (θ), toprak rutubet potansiyeli (p) ve hidrolik iletkenlik (k) arasındaki ilişkileri ortaya koyan modeller bankası oluşturmuşlar ve toprak kök sisteminde su dinamiğinin matematiksel tanımlamasını yapmışlardır.

Sarıyev ve ark. (1996), toprak katmanlarında sıcaklığın hesaplanabilmesi için temel fizik kurallarına dayanan bir yaklaşımla, toprağın termal parametrelerine, derinliğine ve zamana bağlı olan bir matematiksel model ortaya çıkarmışlardır.

Şaylan ve Eitzinger (1996), bitkki gelişimi simulasyon modellerinden SIMWASER modelini kullanarak soya bitkisinin (*Glycina max.* Evans) gelişimi ve ürün miktarını hesaplamışlardır. Modelle hesaplanan verim ile gerçek verim arasında uyumlu ilişkiler bulmuşlardır. Model ürün miktarını gerçeğinden sadece %1.34 kadar fazla tahmin etmiştir. Ancak modelin hesapladığı fenolojik zamanlar ile gerçek fenolojik zamanlar arasında uyumlu bir ilişki bulunmamıştır. SIMWASER modelinde De Wit (1958) in geliştirdiği, aşağıdaki gerçek ve potansiyel transpirasyon ile asimilasyon arasındaki ilişki, bitkinin kuru madde miktarındaki değişimin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$\frac{T_{AKT}}{T_{OPT}} = \frac{A_{AKT}}{A_{POT}}$$

Eşitlikte, T_{AKT} ve T_{POT} gerçek ve potansiyel transpirasyonu, A_{AKT} ve A_{POT} gerçek ve potansiyel asimilasyonu göstermektedir.

Aydın (1997), toprak katmanlarındaki sıcaklık düzeylerini hem termo elementlerle hem de matematiksel modelle izlemiştir. Söz konusu matematiksel modelin, toprak sıcaklık rejimi çalışmalarında uygulanabilirliğini saptamıştır.

Arnau ve ark. (1997), verimlilik ve kuraklık toleransında farklılık gösteren altı arpa çeşidinde (*Hordeum vulgare* L.) bitki su durumu ve net fotosentetik gaz değişimine su stresinin etkisini kontrollü ortamda çalışmışlardır. Osmotik ayarlama (OA), net fotosentetik gaz değişimi(P_N), stoma iletkenliği(gs) ve hücre içi/çevre CO_2

konsantrasyon oranını (*Ci/Ca*), yarayışlı suyun %75, %35, %25 ve %15 seviyelerinde incelemişlerdir. Çeşitler arasında OA kapasitelerinde farklılık bulmuşlardır. Kuraga toleranslı çeşitler olan Albeceta ve Alpha, Express ve Mogador çeşitlerine göre daha yüksek OA göstermiştir. Albacete çeşidi aynı zamanda düşük su potansiyelinde (ψ) diğerlerine göre daha yüksek P_N göstermiştir. P_N/gs ve *Ci/Ca* oranları, düşük su potansiyelinde çeşitler arasında fotosentez engellemesindeki farklılıkların muhtemelen stomal olmayan etkilerden dolayı olduğunu göstermiştir. Çok yaygın kök gelişimi olan Tichedrett çeşidinde OA gözlenmemiştir. Bununla birlikte bu çeşit, su stresi altında da fotosentetik aktivitesini sürdürmüştür.

Ramsbeck ve ark. (1997), topraklarda sızan ve taşınan azot miktarını hesap etmek için tek boyutlu olarak azot, karbon, sıcaklık ve suyun dinamikliğini açıklayan bir simulasyon modeli (Karbon ve Nitrojen Dinamiği) kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Karbon ve Nitrojen dinamiği modeli toprağın 3 m derinliğine kadar azot, karbon, sıcaklık ve suyun günlük değişimlerini inceleyebilmektedir. Çalışmalarında lysimetreler kullanarak ölçümler yapmışlardır. Sonuçta ölçüm değerleri ve simülasyon değerlerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Rana ve ark. (1997), Avrupa'da (İtalya ve Fransa'nın güneyinde) tipik Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirdikleri soya bitkisinin verilerini kullanarak gerçek evapotransprasyonu belirlemek için bir model test etmişlerdir. Evapotranspirasyonu hesaplamada kullanılan Penman-Monteith yöntemi üzerine kurdukları modelde uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir

Green ve McNaughton (1997), elma ağacında transpirasyonu hesaplamak için, stoma direncinin hesaplanması esasına dayanan Penman-Monteith eşitliğini kullanmak suretiyle bir metot geliştirmişlerdir. Söz konusu metot iki bölümden oluşmuştur. 1) stoma iletkenliği dağılımının hesaplanabilmesi için yaprak alanı üzerinde radyasyon dağılımının hesaplanması, 2) etkin stoma direncinin hesaplanabilmesi için yaprak alanı üzerinde net radyasyonun tahmini değerine göre bu değerlerin ağırlığını tartma

Metotlar, yaprak alanı üzerindeki net radyasyon dağılımlarını ve fotosentetik foton akış yoğunluğunu parametre haline getirmek için ağaç tarafından absorbe edilen total net radyasyonu ve total fotosentetik foton akışını direkt olarak ölçen

"Whirligig" radyometresinden ve kısa dalga boylu güneş enerjisi ve ağaç kanopisi üzerine yerleştirilen net radyasyon aletlerinden elde edilen mevcut ölçümleri kullanmak suretiyle geliştirilmiştir. Hesaplamalarda yaprak dağılımının küresel olduğunu farz etmişlerdir. Bu sonuçları iki şekilde test etmişlerdir. Birincisi, ağaç tarafından absorbe dilen tüm net dalga radyasyonu ve fotosentetik foton akışı toplamları, çok geniş bir dizilim içerisindeki güneşli ve yağışlı hava koşullarında "Whirligig" den elde edilen ölçüm değerlerine uygunluk göstermiştir. İkincisi aynı geniş dizilimli koşullarda Penman-Monteith eşitliğinden hesaplanan transpirasyon hızları ağacın gövdesine yerleştirilen alet tarafından yapılan bağımsız transpirasyon ölçümleri ile çok yakın bir şekilde uygunluk göstermiştir. Bu durum daha önceki sonuçlar üzerinde önemli bir gelişme olmuştur.

Mirschel ve ark. (1997), tüm bitki rotasyonlarında bilgisayar simulasyonlarını geliştirip tarımda farklı idare sistemleri ve iklim değişikliklerinin etkisini görmek için Agroekosistem Simulasyon modelini (AGROSİM) geliştirmişlerdir. Modelde standart meteorolojik veriler, toprak verileri ve bitki verileri kullanılmıştır.

Antonopoulos (1997), 1990-1994 yılları arasında Yunanistan'ın kuzeyinde ve merkezinde olmak üzere 2 alanda pamukta toprak neminin simulasyon çalışmasını yapmıştır. Toprak nem dinamiğini, sınırlı Galerkin metodu kullanarak değerlendirmiştir. Simülasyon sonuçları ile toprağın farklı derinliklerinde ölçülen su içeriği değerleri arasında iyi bir uyum olduğu ortaya çıkmıştır.

Aksoy ve Sarıyev (1997), Çukurova koşullarında Diyarbakır–81 buğday çeşidinde potansiyel verimlilik ve aktif transpirasyon değerlerini belirlemek amacıyla, Stockle ve Campbell tarafından 1991-1992 yıllarında geliştirilen Cropsyst bitki gelişim modelini kullanmışlardır. Çalışmayı, Arık ve Menzilat toprak serilerinde, 1995-1996 yıllarında, 1993-1994 yıllarına ait iklim verilerini kullanarak yapmışlardır. Modelde toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, önemli iklim faktörleri, bitkinin termal rejimi, maksimum yeşil alan indeksi ve yaprak alan indeksi, hasat indeksi, maksimum kök derinliği, bitkinin önemli gelişme devrelerindeki azot içeriği gibi parametreler ile toprak işleme, sulama, gübreleme v.b. amenajman uygulamaları veri olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, modelde belirlenen potansiyel verimlilik, bitkideki yaprak alan indeksi (YAİ),

spesifik yaprak alanı, sap-yaprak oranı, solar radyasyondan yararlanma katsayısı gibi parametrelerde Cropsyst modeli hassas bulunmuştur. Bu değerlerin fizyolojik sınırlar içerisinde değiştirilmesi potansiyel verim tahminini önemli derecede etkilemiştir. Ayrıca modelde, bitki tarafından tüketilen su miktarı değerleri düşük bulunmuştur.

Canbolat ve Sarıyev (1997), Ç.Ü. Ziraat Fakültesi deneme alanları olan Arık ve Menzilat serilerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bu serilerin, hidrolik iletkenlik, ve toprak rutubet karakteristikleri için, en uygun modeli (SIMONA bilgisayar programına göre) belirlemişlerdir. Ayrıca bu serilerdeki toprak sisteminde su dinamiğinin zamana ve derinliğe göre matematiksel modelini (SOIL WATER) yapmışlardır.

Pietka (1998), fotosentez hızına bağlı olarak bitki büyümesinin matematiksel modellemesini geliştirmiştir. Çalışmasında bitki büyümesini etkileyen çevresel faktörleri ele almıştır. Fotosentetik aktif radyasyonu sistemin girdisi ve bitki kuru kütlesi veya yaprağı sistemin çıktısı olarak değerlendirmiştir.

Grant ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, geleneksel toprak işlemenin azalmasıyla, toprak yüzeyinde kalan artık birikiminin arttığını ve böylece toprak yüzeyi ve atmosfer arasındaki kütle ve enerji değişimlerinin azaldığını vurgulamışlardır. Kullandıkları model, atmosfer. bitki örtüsü, toprak ve yüzeyde kalan artıklar arasındaki enerji değişikliklerini simule etmiştir.

Antonopoulos ve Wyseure (1998), su hareketi, kütle taşınımı ve azot transformasyonlarını hiç işlenmemiş ve işlenmiş toprak üzerinde hesaplamışlardır. Su ve nitrojen dinamiğini Galerkin'in sonlu element metodu üzerine kurulu tek boyutlu bir modelle hesap etmişlerdir. Su içeriği ve azot simülasyon değerlerini, topraklarda 2 haftada bir ölçülen su içerikleri ve inorganik azot ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda simülasyon sonuçları ve ölçüm değerleri arasında iyi bir uyum bulunmuştur.

Connor ve Fereres (1999), atmosferik şartlarda su sağlanarak otsu vejetatif bitkilerde yaprak, gövde ve köklerin gelişiminin modelini oluşturmuşlardır. Fizyolojik olarak önemli olan, 12 durum değişkeninden ve 33 parametreden oluşan bu model 4 fonksiyonel ilişki içermektedir. Bu modelin önemli karakteristiği günlük çevresel durumlara yanıt verirken, ürün gelişiminin ve su kullanımının fizyolojik

yanıtlarını yakalamak için kısa zaman aralıklarında (1 saat veya daha az) yapılan hesaplamalarla ulaşılan ürün asimilasyonu ve su dengelerinin aynı zamanda göz önünde bulundurulmasıdır. Söz konusu modelde kök bölgesi su içeriği, bitki gelişirken toprak evaporasyonu ve transpirasyonla azalır ve kök bölgesinin derinliği, sulama ve yağışla artar. Fotosentez, engellenmiş radyasyona ve sıcaklığa ve aynı zamanda bitki su durumundan belirlenen bitki örtüsü iletkenliğine bağlıdır. Organların solunumu gelişme ve devamlılık için, ayrı ihtiyaçlar olarak hesaplanmaktadır. Transpirasyon fotosentezle artmaktadır. Yapraklara, gövdelere ve köklere asimilasyon ürünlerinin taksim edilmesi fenolojik gelişme tarafından kurulan sınırlar içerisindeki asimilasyon ürününü sağlama, sıcaklık ve bitki su içeriğindeki günlük dalgalanmalara bağlıdır. Burada fenolojik gelişme, yaprakların başlangıcı ve genişlemesi ve olgunluk ve bitki örtüsü yaşlılığı ve kök sistemleri sıcaklık tarafından belirlenmektedir. Model performansının eğilimleri ve örnekleri sulama stratejilerine karşı ayçiçeği bitkisinin ölçülen fizyolojik ve agronomik yanıtlarına göre kıyaslanmaktadır.

Karakaplan ve ark. (1999), tuz etkilemiş toprakların yıkanmasının tahmini gibi pratik konuların çözümü için matematiksel model çalışması yapmışlardır.

Overman ve Scholtz, (1999), bitki büyüme olaylarını simule etmek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Gaussion çevresel fonksiyonunu ve linear exponensiyal büyüme fonksiyonunu kapsayan modeli kullanmışlardır. Çalışma 4 lokasyonda mısır için uygulanmıştır. Araştırma sonucunda kuru madde ve bitki besin maddesi birikimi arasında, hiperbolik bir ilişki olduğunu bulmuşlardır.

Öztürk ve Atken (1999), Erzurum koşullarında 1993-94 ve 1994-95 ürün yıllarında yürüttükleri araştırmada, 5 kışlık buğday genotipine (Yayla-305, Doğu-88, SXL/VEE "S", BEZ/CAL/BB, Turkey-13) 4 azot dozu (0, 4, 8,12 kg da^{-1}) ve 3 ekim sıklığı (350, 475, 600 tohum m^{-2}) uygulamışlardır. Çalışmada toplam 29 karakter üzerinde durulmuş ve bu karakterler arasında korelasyonlar hesaplanmıştır. Ayrıca, verimle ilgili 10 temel karakterin tane verimi üzerindeki etkileri path katsayısı analizleri ve diyagramlar yardımıyla incelenmiştir. Tane verimindeki varyasyon genel olarak başaktaki tane sayısı ile m^2 deki başak sayısından kaynaklanmıştır. Bin tane ağırlığının, tane verimine katkısı çok zayıf olmuştur. Metrekaredeki başak

sayısının başaktaki tane sayısı ve 1000 tane ağırlığını olumsuz etkilemesi, bitki sıklığı ile başaktaki tane sayısı ve tane ağırlığı arasında dinamik bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. Bin tane ağırlığı, tane dolum oranı ve yeşil alan süresinin ortak bir fonksiyonu olmuştur. Sonuçlar, yüksek verim için, birim alandaki tane sayısını artırmaya yönelik çabaların tane ağırlığına göre daha etkili olabileceğini göstermiştir.

Thorgeirsson ve Soegaard (1999), yaptıkları çalışmada yaprak fotosentezi ve stoma iletkenliği modelini, tarla ölçümlerini esas alarak parametreler halinde ortaya koymuşlardır. Yaprak gaz değişiminin simülasyonu için arpa tarlasında, toprak CO_2 çıkışı ve atmosfer direncini birlikte hesap etmişlerdir. Ayrıca bitki örtüsü tarafından tutulan radyasyonu büyük yaprakları kullanarak ölçmüşlerdir. Bu modelin şartlara göre kullanılabilir olduğu görülmüştür. 1995 yılının haziran ve temmuz ayları esnasında İsveçteki Uppsala bölgesi civarında kuzey yarı küre iklim prosesleri arazi –yüzey denemesinin (NOPEX) 2. tarla kampanyası esnasında 4 haftalık bir periyot süresince Eddy covariance tekniğini kullanmak suretiyle ölçülen değerler, simule edilen değerlere uygunluk göstermiştir. Kanopi gelişim hızı söz konusu periyot süresince yüksek olmuş ve YAİ 0.7 den 3.5'e kadar değişmiştir.

Jamieson ve ark. (2000), 3 tane günlük zaman aralıklı buğday simülasyon modelleriyle (AFRCWHEAT2, FASSET ve Sirius) elde edilen sonuçları, uygulanan N miktarının ve atmosferik CO_2 konsantrasyonunun farklı olduğu, Arizona eyaletindeki buğday denemelerinden elde edilen sonuçlarla test etmişlerdir. Modeller ve denemelerle elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar olmasına rağmen 3 modelin tahmin ettiği ürün miktarı ile deneme sonuçlarından elde edilen sonuçlar benzer olmuştur. Modellerle ve denemelerle elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucu, CO_2 etkilerine ışık kullanım etkinliğinin (LUE) doğrudan etkisi görülmüştür. Azotun etkileri yeşil alan indeksindeki (GAI) değişikliklerle ifade edilmiştir. Deneme'de kullanılan modellerin buğday üretiminde iklim değişimi etkilerini ölçmede önemli bir potansiyele sahip olduklarını göstermişlerdir.

Ünlü ve Steduto (2000), su stresine karşı gösterdiği tepkiye ilişkin çok az bilginin olması nedeniyle şeker sorgumunun fizyolojik su kullanım randımanını kısıntılı sulama koşulları altında bitki örtü ve yaprak düzeylerinde belirleyip

karşılaştırmasını yapmışlardır. Şeker sorgumunu, iki su stres dönemi ile karşı karşıya bırakmışlardır. Bitki örtü düzeyinde enerji, su buharı ve CO_2 akıları Bowen oranı/Enerji Dengesi/CO_2 Eğimi yöntemiyle; anılan değişkenlerin yaprak düzeyindeki değerleri ise taşınabilir fotosentez sistemi ile belirlemişlerdir. Gün doğumundan önce ve öğle zamanı yaprak su potansiyellerini (ψb, ψn) basınç çemberi ile ölçülmüştür. Bitki örtü ve yaprak düzeyi fotosentetik su kullanım randımanları (WUE) paralel bir tavır göstermiştir. Bunların, gün doğumundan önce yaprak su potansiyelindeki (ψb) azalışa ve yaprak –hava buhar basıncı açığındaki (VPD) artışa karşı azaldıkları gözlenmiştir. Deneme süresince, ψb değerleri –0.2 ile –1.1 Mpa, VPD değerleri ise yaprak düzeyinde 2.3 ile 5.8 kPa ve bitki örtü düzeyinde 1.4 ile 5.5 kPa arasında değişmiştir. Öğle zamanı fotosentetik su kullanım randımanının ortalama değerleri, yaprak ve bitki örtü düzeylerinde, sırasıyla yaklaşık olarak 5 ve 4.3 $mmolCO_2\ mol^{-1}\ H_2O$ olarak belirlemişlerdir.

Ouyang ve Zeng (2000), toprak yüzeyindeki olayların (toprak solunumu, sıcaklık değişimi, toprak su hareketi, yağış, oransal nem, hava sıcaklığı ve güneş radyasyonu) toprak ekosisteminden atmosfere CO_2'in difüziv akışına etkilerini araştırmışlardır. Toprak ekosistemine CO_2 akışını hesap etmek için 2 simulasyon senaryosu (günlük ve aylık) kullanmışlar ve yüzeydeki söz konusu olayların etkilerinin kesin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Reynolds ve ark. (2000), Meksiko da nispi nemliliği düşük, sulanan ve ılıman bir iklime sahip bir arazide yetiştirdikler 16 buğday çeşidinde net fotosentez hızını (An), stoma iletkenliğini (gs), klorofil içeriğini ve karanlıktaki solunum hızını ölçmüşlerdir. Ölçümler gündüz farklı zamanlarda ve bitkinin farklı gelişme periyotlarında bayrak yaprakta yapılmıştır. Fizyolojik ölçümlerin agronomik performansını aynı parsellerde karşılaştırmışlardır. Fotosentez hızı (An) saat 10^{oo}-14^{oo} arasında fazla değişmemiştir. Fotosentez hızı bitkinin daha sonraki gelişme dönemlerinde düşmüştür. Araştırıcılar bitki gelişiminin üç periyodunda ölçülen fotosentez hızı (An) ve stoma iletkenliği (gs) değerlerinin biomass ve elde edilen ürün ile ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Elde edilen veriler sonucunda, fotosentez hızındaki farklılıkların ılıman iklime sahip alanlarda buğday verimini etkileyebileceğini ifade etmişlerdir.

Antonopoulos (2000), Yunanistan'ın kuzeyinde 1996 yetiştirme mevsiminde bir mısır tarlasında, gelişme periyodu boyunca toprak nem dinamiğinin simülasyon çalışmasını yapmıştır. Toprak nem dinamiğini, Galerkin'in sonlu element metodu üzerine kurulan tek boyutlu modeli kullanarak hesap etmiştir. Simülasyonları arazide iki parselde farklı zaman ve miktarda azotlu gübre uygulayarak gerçekleştirmiştir. Toprak nem dinamiğinin simülasyonunda, toprak hidrolik fonksiyonlarının parametrelerini açıklamak için Vereecken ve ark.(1989-1990) tarafından geliştirilen pedotransfer fonksiyonunu kullanmıştır. Araştırma sonucunda toprağın farklı derinliklerinde ölçülen su içeriği ve simülasyon değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Simülasyonlar, hidrolik fonksiyonların direk değerlendirilmesindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında su içeriğinin önceden tahmin edile bileceğini göstermiştir.

Koç ve Barutçular (2000), buğdayda çiçeklenme dönemindeki yaprak alan indeksi (YAİ) ile verim arasındaki ilişkinin Çukurova koşullarındaki durumunu saptamak için üç yıl süreyle tarla denemeleri yürütmüşlerdir. Denemelerde, YAİ değerlerinde yeterince değişkenlik sağlamak için farklı genotipler ele alarak değişik azot dozu ve ekim sıklığı uygulamaları yapmışlardır. Polinomial regresyon analizleri, çiçeklenmedeki YAİ artışına bağlı olarak biyolojik verim (BV), dane verimi (DV) ve dane sayısının (DS) başlangıçta hızlı, daha sonra giderek azalan oranda bir artış göstererek 6.5-7.0 dolaylarında optimuma ulaşıp, daha yüksek YAİ değerlerinde ise düşmüş olduklarını göstermiştir (R^2 değerleri sırasıyla 0.46^{**}, 0.35^{**} ve 0.39^{**}). Dane ağırlığı (DA) ise YAİ değişimlerinden önemli derecede etkilenmemiştir (R^2=0.041). YAİ-DV ilişkisinin, DS'nin bayrak yaprak alan indeksi (BYAİ) değişimlerine bağlı olarak gösterdiği değişimlerden (R^2=0.50^{**}) yüksek BYAİ değerlerinde DS' de ortaya çıkmış olan düşüşlerin ise, başak başına daneli başakçık sayısının azalmasından kaynaklandığı saptanmıştır. BYAİ' deki artışlar DA'yı etkilememiştir (R^2=0.035). Sonuçlar, yaprak büyümesinin aşırı bir şekilde teşvik edildiği koşullarda, başak büyümesinin olumsuz etkilenmesi sonucunda yeterince dane oluşturulmadığı için belirli bir seviyeden sonraki yaprak alanından etkin bir şekilde yararlanılamadığını göstermiştir.

Polat (2000), Toprak su dinamiğini sonlu farklar yöntemiyle sayısal çözümünü irdelemiş ve bilgisayar programı yapmıştır.

Sezen (2000) yaptığı çalışmada, Çukurova ve Harran ovası koşullarında buğdayda azot-su-verim ilişkilerini belirlemiş ve CERES-Wheat bitki büyüme modelini test etmiştir. Her iki denemede çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi kullanmıştır. Çukurova'daki denemede buğdayın azota karşı tepkisini belirlemek amacıyla her sulama konusuna farklı azot dozları ($0(N_0)$, $8(N_1)$, $16(N_2)$, $24(N_3)$, N kg da^{-1}) eklemiştir. Çukurova'daki ilk yıl ortalama buğday dane verimi 298-493 kg da^{-1}; ikinci yıl 271-687 kg da^{-1} arasında değişmiştir. Buğdayın su tüketimi genelde artan azot dozu ile artmıştır. Mevsimlik su tüketimi ilk yıl 431-497 mm, ikinci yıl 412-457mm arasında olmuştur. Harran ovasında en çok su alan (I_1) konusundan ortalama dane verimi 692.5 ile 803 kg da^{-1}, bitki su tüketimi ise 571 ile 721 mm arasında değişmiştir. CERES-Wheat modeli çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk değerlerini gerçek değerlere yakın tahmin etmiştir. Dane verimi ve birim dane ağırlığına ilişkin tahmin değerleri gözlenen değerlerden büyük çıkmış ve aradaki fark özellikle tam sulama koşullarında artan azot dozu ile birlikte daha da artmıştır. Çukurova'da denemenin ikinci yılında dane verimi N_0 ve N_1 azot dozlarında daha yüksek, diğerlerinde (N_2, N_3) ise gözlenen değerlerden daha düşük tahmin edilmiştir. Birim dane ağırlığı, m^2 de dane sayısı, maksimum yaprak alan indeksi, hasatta kuru madde, mevsimlik evapotranspirasyon, hasat indekside benzer tavır göstermiştir.

Antonopoulos (2001) 1996 yılında Yunanistan'ın kuzeyinde bir mısır tarlasında toprak suyu ve nitrojen dinamiğini, gelişme periyodu esnasında ve hasattan sonraki dönemde simule etmiştir. Toprak suyu ve nitrojen simülasyonlarını sonlu element metodu olan Galerkin metoduyla hesaplamıştır. Araştırma sonucunda ölçülen ve simulasyonla elde edilen değerler arasında iyi bir uyum olduğunu ortaya koymuştur.

Arora ve ark. (2001) su stresi, yaprakların azot içeriği ve fotosentez arasındaki ilişkileri, 10 farklı kısa boylu buğday genotipinde çalışmışlardır. Fotosentez hızı (P_N) başak çıkışı döneminde çiçeklenme dönemine göre daha hızlı olmuştur. Su stresi (yaprak su potansiyeli 2-2.5 MPa) ve tüm genotiplerde yaprak azot içeriğinin azalmasıyla, fotosentez hızı azalmıştır. Kısa boylu ve yabani tipler,

çalışılan diğer genotiplerle karşılaştırıldığında, yeterli su sağlandığında, farklı azot dozlarında yaprak azot içeriği ve fotosentez hızı daha yüksek olmuştur.

Çelebi (2001), toprak sıcaklık düzeylerini, kolonlarda kararlı ve kararsız (4 farklı nem seviyesinde) akım koşularında hem algılayıcılarla hem de matematiksel modelle izlemiştir. Ölçümlerde kullanılan AD/DA çevirici kart ve algılayıcılar, verilen dış ısı kaynaklarının etkisini algılamada hassas bulunmuştur. Ayrıca sunulan matematiksel modellerde ölçüm değerleri ile uyumlu bulunmuştur.

Kage ve ark. (2001), karnıbahar yapraklarının CO_2 değişiminin ölçümlerini iki azot dozunda tarla denemesinde yürütmüşlerdir. Radyasyon ve CO_2 konsantrasyonu bir yaprak küveti içerisinde yaprak düzeyinde değiştirilmiştir. Ek olarak bir sıcaklık uygulaması tarlada yetiştirilip iklim odalarına götürülen bitkilere uygulanmıştır. Bu ölçümler radyasyon ve CO_2 konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak karnıbaharın yaprak CO_2 değişimini tanımlayan, dikdörtgen hiperbolik parametre değerlerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Elde edilen parametreler bağımsız değişkenler olarak yaprakların azot içeriği ve sıcaklıkla birlikte deneysel regresyon eşitliklerini elde etmede kullanılmıştır. Ortaya çıkan ilişkiler ışık kullanım etkinliği ve radyasyon, yaprak alan indeksi ve sıcaklık arasındaki fonksiyonel ilişkileri elde etmek için fotosentez-solunuma dayalı kuru madde üretim modeli içerisinde uygulanmıştır. Dikdörtgen hiperbolik, tek bir yaprak üzerinde radyasyon ve CO_2 konsantrasyonu tarafından değiştirildiği için gaz değişim verilerini de açıklaya bilmektedir. Modelin sınırlı hassasiyetinden dolayı başlangıçtaki ışık kullanım etkinliği tahminleri (yaklaşık 25 $\mu g J^{-1}$) çok yüksek olmuştur. Maksimum fotosentez hızı (P_{max}) yaprakların artan azot içeriği ile artmış ve sıcaklığa karşı optimum bir yanıt göstermiştir. Dikdörtgen hiperboliğin başlangıçtaki alfa eğimi yaprakların azot içeriğine ve çevre sıcaklığına uygun yanıtlar göstermemiştir. Yaprak alanı başına solunum (beta) artan sıcaklıkla eksponansiyel olarak artmıştır.

Kırnak ve Short (2001), yaprak alan indeksi (YAİ), rüzgar hızı, solar radyasyon, nisbi nem ve hava sıcaklığını girdi olarak kullanan yeniden düzenlenmiş bir kombinasyon Evapotarnspirasyon (ET) modelini fidanlar için geliştirmiş ve anılan modelin bitki su tüketimi tahminini, bitkinin gerçek su tüketimiyle karşılaştırmışlardır. Bu modeli test etmek için, tarla koşullarında lizimetrede

yetiştirilen Kırmızı Akçaağaç (*Acer Rubrum L.*) fidanlarını kullanmışlardır. Yeniden düzenlenmiş bu kombinasyon modelinin lizimetrede yetiştirilen Kırmızı Akçaağaç bitkisinin su tüketimini doğru biçimde tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca solar radyasyon ve havanın nem açığının ET yi yönlendiren en önemli parametreler olduğu saptanmış, stoma direnci ile solar radyasyon arasında üslü bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Çalışma sonucu, bitki su tüketimi hesaplanmasında hem çevre koşulları hem de bitki örtüsü özelliklerini bir arada kullanan kombinasyon ET modelinin en doğru yaklaşım olduğunu göstermiştir.

Meziane ve Shipley (2001), spesifik yaprak alanı, yaprak azot içeriği, net fotosentez hızı ve stoma iletkenliği arasında modeller kurmuşlar ve kontrollü koşullar altında yetiştirilen otsu bitkilerin 22 türünden elde edilen verilerle test etmişlerdir. Ayrıca sonuçların uyumluluğunu tespit etmek için sera ve tarla ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Spesifik yaprak alanı direkt olarak hem azot seviyelerini hem de net fotosentez hızını etkilemiştir. Yaprak azotu direkt olarak net fotosentez hızını etkilemiştir. Bu durumun stoma iletkenliğini de etkilediğini belirtmişlerdir.

Massunaga ve ark. (2001) fotosentez dinamikliği için basit bir matematiksel model ileri sürmüşlerdir. Modeli iki ana bloktan (ışıkta ve karanlıkta reaksiyon) oluşturmuşlardır. Hybridler için fotosentetik tepkinin fotoacustik ölçümlerini bu basit modelle yapmışlardır. Deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırmışlardır.

Nkansah (2001), Afrika patlıcanının fotosentez hızı, transpirasyon hızı ve stoma iletkenliğini 30, 35 ve 40°C lik sıcaklıklarda ölçmüştür. Fotosentez hızı ve stoma iletkenliği 30 ve 35°C lik sıcaklıklarda en yüksek olmuştur. Transpirasyon hızı sıcaklığın 30°C den 40°C ye artmasıyla artmıştır. Fotosentezin fide oluşturma ve meyve oluşum dönemlerine göre çiçeklenme döneminde en yüksek olduğu görülmüştür. Taze sürgün ve kuru ağırlıklar denemenin sonunda 30°C ye göre 40°C de daha yüksek olmuştur. Buna karşılık meyve sayısı ve ağırlık/rekolte 30°C lik sıcaklıkta daha yüksek olmuştur.

Ünlü ve ark. (2001) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, tam ve eksik sulama koşullarında pamuk bitkisinde su bütçesi yöntemiyle elde edilen gerçek su

tüketim değeri son yıllarda yaygın olarak kullanılan mikrometeorolojik yöntemlerle (enerji dengesi yöntemi) belirlenen su tüketimiyle karşılaştırılmıştır. Denemenin birinci yılında toplam 438 mm, ikinci yılında ise 199 mm sulama suyu uygulanmış ve derine sızma kayıpları söz konusu uygulamalar için sırasıyla, 6 ve 0 mm olarak bulunmuştur. Pamuğun mevsimlik su tüketimi tam sulama koşullarında, enerji dengesi ve su bütçesi yöntemleriyle sırasıyla, 496 ile 629 mm, eksik sulama koşullarında ise 404 ile 394 mm olarak belirlenmiştir. Mikrometeorolojik ve su bütçesi yöntemleriyle belirlenen gerçek su tüketimleri arasında çok yakın, (R^2=0.99) doğrusal ilişkiler saptanmıştır. Sonuç olarak, tam sulama koşullarında su bütçesi yöntemiyle enerji dengesi yaklaşımına göre daha yüksek su tüketim değerleri elde edilmiştir. Bunun tarla parsellerinde derine sızma kayıplarının ölçümünden kaynaklandığını ileri sürülmektedir.

Barutçular ve ark. (2001), Çukurova koşullarında ekmeklik buğdayda (Seri-82) azotun fotosentetik su kullanım etkinliğini (FSKEgs) nasıl etkilediğini ortaya çıkarmak amacıyla 1996/1997 ve 1997/1998 yetiştirme mevsiminde tarla koşullarında bir çalışma yapmışlardır. Azot, ekim (1/3 ü) ve kardeşlenme (2/3 ü) de olmak üzere üç farklı dozda (N1, 80kg N ha^{-1}, N2, 160kg N ha^{-1}, N3, 240kg N ha^{-1}) uygulanmıştır. Çalışmada başaklanma ve başaklanma öncesinden başlanarak geç dane dolumuna kadar bayrak yaprağı net fotosentez hızı (An) ve stoma iletkenliği (g_s) ölçülerek FSKEgs (A_n/g_s) hesaplanmıştır. Hesaplanan FSKEgs değerleri ile ayrı bir çalışma kapsamında hesaplanmış olan biyomas ve dane verimi için su kullanım etkinliği (sırası ile SKE_{BV} ve SKE_{DV}) değerleri arasındaki ilişki test edilmiştir. A_n, her iki yılda da genç yapraklarda üç azot düzeyinde benzer sonuçlar göstermiştir. Yaprakların yaşı ilerledikçe A_n, N1'de N2 ve N3' e göre daha düşük değerler göstermiştir. Genel olarak g_s, azotun 160 kg N ha^{-1}a kadar artması ile artmış, FSKEgs ise azalmıştır. Azot dozları arasındaki FSKEgs yönünden farklar sadece 1996/1997 yılında önemli bulunmuştur. FSKEgs ile SKE_{BV} ve SKE_{DV} arasındaki ilişki genelde önemsiz veya negatif olmuştur.

Koç ve ark.(2001), Çukurova koşullarında stoma iletkenliği-verim ilişkilerini araştırmışlardır. Güncel çeşitler arasından yeterli değişkenlik oluşturabilecek şekilde

seçilen üç Meksika ve iki İtalya kaynaklı beş yazlık buğday çeşidi 1999/2000 yetiştirme mevsiminde bayrak yaprağı stoma iletkenliği (BYgs) ve dane verimi yönünden karşılaştırmışlardır. Azotun stoma iletkenliğini (gs) etkilemesi söz konusu olabileceğinden incelemeleri iki farklı azot uygulamasında (N11: 50+50=100 kg ha^{-1} ve N12: 50+100=150 kg ha^{-1}) yürütmüşlerdir. BYgs çiçeklenmede, dane dolum başlangıcında ve geç dane dolumunda üç kez ölçülmüştür. Azot BYgs'ni artırıcı yönde etki etmiştir. BYgs'si yönünden yüksek azotta belirginleşen çeşit farkları sadece erken dönemlerde gözlenebilmiştir. Kardeşlenmede azotun iki katına çıkarılması ile dane veriminde güncel çeşitlere göre daha fazla olmak üzere ortalama %33 oranında bir artış sağlanmıştır. Verim yönünden önemli çeşit farkları bulunmuştur. Verim ile erken dönemdeki BYgs arasında azotun düşük olduğu koşullarda önemli bir ilişki saptanmazken, yüksek azotta önemli olumlu ilişkiler saptanmıştır. Geç dönemde ise durum tamamen tersine dönmüştür.

Yu ve ark. (2002), kışlık buğdayın fotosentez hızını, 1995-1996 yıllarında Tibet yaylasında yüksek güneş ışığı ve düşük CO_2 basıncında ölçmüşlerdir. Fotosentezin yaylalarda yüksek ışık yoğunluklarında daha fazla olduğunu ve sıcaklığın yayladaki fotosentez hızının günlük değişiminde belirgin rol oynadığını belirtmişlerdir. Bitkide ışık oksidasyonu veya ışık tutulması sebebiyle ışık yoğunluğu ile maksimum fotosentezin azalmasının matematiksel ifadesini geliştirmişlerdir. Tibet yaylasında arazi koşullarında buğdayın fotosentezini simüle etmişlerdir. Sonuçlar arazide modelin doğru bir şekilde fotosentez hızını simüle edebileceğini göstermiştir. Araştırıcılar bu alanlarda yetişen bitkiler için uygulanabilen ve yüksek güneş enerjisi ile özellikle yayla iklimi koşullarında bitkisel üretimi hesap etmek için iyi bir metot olduğunu vurgulamışlardır.

Cai ve Dang (2002), tarafından toprak sıcaklığının fotosentez-stoma iletkenliği modelinin parametreleri üzerine etkilerini belirlemek üzere yürütülen bir çalışmada, kavak ağacı (*Populus tremuloides* Michx.), çam (*Pinus banksiana* Lamb.), siyah ladin (*Picea Mariana* (Mill) B.S.P.) ve beyaz ladin (*Picea glauca* (Moench) Voss) fidelerinde 4 ay boyunca toprak sıcaklığı 5-35°C'de tutulmuştur. Toprak sıcaklığının, 4 önemli model parametresi (Vcmax; karboksilasyonun

maksimum oranı, Jmax; elektron taşınımının maksimum oranı, α; elektron taşınımının çok önemli randımanı veya enerji dönüşüm randımanı ve Rd; gündüzki karanlık solunumu) üzerine etkileri modifiye edilen Arrhenius eşitliği ve polinomial eşitliğinin 2/3'ü kullanılarak modellenmiştir. Toprak sıcaklığının optimum değere yükselmesiyle, tüm çeşitlerde Vcmax ve Jmax artmış fakat toprak sıcaklığının daha fazla artmasıyla azalmıştır. α, toprak sıcaklığına Vmax ve Jmax gibi benzer tepkileri göstermiştir. Bodur ağaçlarda α üzerine toprak sıcaklığının bir etkisi olmamıştır. Rd'ye toprak sıcaklığının herhangi bir türde önemli bir etkisi olmamıştır. Sonuçta stoma iletkenliği modelinin parametreleri ve toprak sıcaklığı arasında önemli olmayan ilişkiler belirlenmiştir.

Kırnak ve ark. (2002), kırmızı akça ağaç bitkisinin evapotranspirasyonunu (ET) belirlemek amacıyla tarla koşullarında bir lizimitre çalışması yürütmüşlerdir. 1997 yılında Ağustos ve Eylül aylarında yapılan çalışmada ortalama bitki su tüketimi 0.084 mm $gün^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Ölçülen ET; Penman, Penman-Monteith, Stanghellini, Fynn matematiksel modelleri ile havanın buhar açığı ve solar radyasyonu içeren ampirik ET modeli karşılaştırılmıştır. Penman-Monteith ve Penman modelleri ölçülen ET'yi sırasıyla %15 ve %31 oranında fazla tahmin ederken, Stanghellini ve Fynn modelleri ise sırasıyla %19.7 ve %16.3 oranında düşük tahmin etmiştir. Penman-Monteith, Penman, Stanghellini ve Fynn modellerinin regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.7, 0.582, 0.645 ve 0.644 olarak belirlenmiştir. Solar radyasyon ve havanın buhar açığı ile ölçülen ET arasındaki regresyon katsayıları sırasıyla 0.750 ve 0.650 olarak bulunmuştur.

Shepherd ve ark. (2002), toprak-bitki atmosfer sisteminde sınırlayıcı faktör olarak toprak suyunu, miktar olarak modellemişlerdir. Tek kaynaklı toprak su modeli geliştirmişler ve SODCOM olarak bilinen ürün gelişiminin güneş enerjisince yürütülen hesap modeline bağlamışlardır. Toprak su modeli, farklı topraklar üzerindeki tarla ölçümleri ile söz konusu modelin tahminlerini kıyaslamak suretiyle test edilmiştir. Modelde günlük zaman aralığını kullanmışlardır. Model, potansiyel evapotranspirasyon ve toprak su tutunması parametreleri esasına dayandırılmıştır. Bu parametreler yağış, akış ve evapotranspirasyonun kök bölgesi su dengesi ile bağlantılı hale konmuştur. Model, potansiyel gelişim hızını geliştirmek için

kullanılan su gelişim faktörünü tahmin etmektedir. Bitki gelişimi ve yeniden üretimin geliştirilmesi için asimilasyon ürünlerinin taksim edilmesini, fotosentezi ve solunumu simüle eden SODCOM ile tahmin etmişlerdir. Gelişim hızını hesaplamaya ek olarak, birleştirilmiş modellerle buğdayın kuraklığa karşı koyabileceği bir stratejiyi tasvir etmişlerdir. İki yetişme sezonu boyunca toprak neminin ölçülen değerleri ve simüle edilen değerleri arasında iyi bir uyum vardır ve istatistiksel analizde 0.87'lik bir uyum korelasyonu elde edilmiştir. Nem stresinin su tutunması ve zayıf toprak tekstürünün sonucu olduğu yerde ve aynı zamanda toprak şartlarının ürünün köklenme derinliğini sınırladığı yerdeki durumları da içine alarak kuzey doğu İngiltere'deki buğday tanesi rekoltelerini 0.4 Mg ha^{-1} %5.5 lik bir hata ile tahmin etmişlerdir.

Vaughan ve Suarez (2002), bitkilerin yüzeylerinden su buharlaşmasının simülasyonu ve CO_2 akışlarını, Oklahama eyaletinin AmeriFlux buğday bölgesinde 1996-1997 kışlık buğday sezonunda, yüzey altı prosesleri ve kanopi gaz değişiminin USGF bağlantılı modeli ile hesaplamışlardır. Toprak yüzeyi CO_2 akışı+kanopi gaz değişimi ve transpirasyon+toprak evaporasyonu, sırasıyla CO_2 ve su buharı akışlarını modellemişlerdir. Net fotosentez, solunum ve transpirasyon için parametre değerlerini yayınlanmış buğday bölgesi kaynaklarından veya model ve veri arasındaki standart sapmayı minimum düzeye indirmek suretiyle tahmin etmişlerdir. Ürünün olgunlaşması ve hızlı gelişimi esnasında CO_2 in ortalama ölçülen aşağı doğru akışı -0.45 değerine karşılık simule edilen akış -0.47 mg m^{-2} sn^{-1} olmuştur. Simule edilen, aşağı doğru CO_2 akışı bitkinin hızlı gelişimi esnasındaki ölçülen değerleri geçmiş, fakat olgunluk esnasındaki akışın altında tahmin edilmiştir. Tam 285 günlük periyot için geceleyin yukarı doğru, ortalama ölçülen CO_2 akışı 0.06 iken simüle edilen akış 0.05 olarak belirlenmiştir.

Ashraf ve Bashir (2003), dane rekoltesinde farklılıklar gösteren iki bahar buğday çeşidinin (Barani-83, Inqlab-91) vejetatif gelişimlerinin farklı dönemlerinde gelişme ve fotosentez hızı arasındaki ilişkileri elde etmek için bir sera denemesi kurmuşlardır. Sürgünlerin taze ve kuru ağırlıkları, bitki başına yaprak alanı ve nispi gelişme oranı, vegetatif dönemde Barani-83 de Inqlab-91 den daha yüksek olarak bulunurken bitki başına dane rekoltesi, başakçık başına dane sayısı ve dane ağırlığı

Inqlab-91 için daha yüksek olmuştur. Söz konusu iki çeşit vejetatif gelişme esnasında CO_2 asimilasyon oranı ve stoma iletkenliği bakımından farklılık göstermiş, Inqlab-91 çeşidinde Barani-83'e göre daha yüksek bulunmuştur. Tohum oluşturma esnasında (çiçeklenmeden dane rekoltesine kadar) bayrak yaprağın net CO_2 asimilasyon oranı her iki çeşitte aynı olmuştur. Her iki çeşit, dane üretimi için farklı fizyolojik stratejiler kullanılmıştır. Vejetatif dönemde Inqlab-91'in daha yüksek fotosentez kapasitesi bu çeşidin daha yüksek rekoltesinde önemli bir rol oynamıştır. Buna karşın Barani-83'te Inqlab-91'dekine göre çiçeklenme sonrası daha yüksek asimilasyon oranı dane rekoltesinde rol oynadığını belirtmişlerdir.

Yu ve ark. (2003) stomanın etkisini temel alarak, fotosentez ve transpirasyon hesabının modelini ortaya koymuşlardır. Çifte modeller sadece çevresel değişkenleri içerdikleri için (çevredeki CO_2 konsantrasyonu, yaprak sıcaklığı, nispi nem ve yaprakların aldığı fotosentetik ışık akısı) pratik kullanımlarda daha kolay olmuştur. Stoma iletkenliği, fotosentez ve transpirasyonu kontrol eden faktörler araştırılmıştır. Ayrıca mısır tarlasından elde edilen verilerle modelin uygulanabilirliği test edilmiştir.

Bastiaanssen ve Ali, (2003), Pakistan'ın Indus havza'sında Dünyadaki en büyük bitişik sulama ağında bitki gelişimini ve tahmini rekolteyi hesaplamak için mevcut üç modeli birleştirmişlerdir. Araştırıcılar, Monteith modelini, absorbe edilmiş fotosentetik aktif radyasyonun hesaplanmasında (APAR), Carnegie Enstitüsü Stanford modelini, ışık kullanım etkinliğinin belirlenmesinde ve arazi için yüzey enerji dengesi algoritmasını (SEBAL) arazinin ıslaklık koşullarında spatio-geçici değişkenliğini ifade etmek için kullanmışlardır. Yeni modelde bir ürün kimlik haritası ve bazı standart meteorolojik ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Toprak üstü kuru kütlenin ürün rekoltesine dönüştürülmesi hasat indeksleri vasıtasıyla ayarlanmıştır. Elde edilen değerler uluslararası literatürlerle kıyaslanmıştır. Bu hesaplamaları; yıllık ürün rotasyon döngüsünü kapsaması için ileri düzeyde çok yüksek çözünürlüklü radyometrenin (AVHRR) 20 tane uydu ölçümlerini kullanmak suretiyle GIS ortamında yapmışlardır. Bölge verilerine uydurmak için buğday, pirinç, pamuk ve şeker kamışı rekoltelerinin (sırasıyla 525, 616, 551 ve 13,484 kg ha^{-1}) kareler ortalaması hatasını hesaplamışlardır. Bu model buğday, pirinç ve şeker

kamışı için iyi bir performans gösterirken pamuk için zayıf bir performans göstermiştir. 1.1 km'lik Piksellere uygulanan modelin doğruluğunun, verilen bir piksel içerisindeki ürünlerin artan sayısıyla azalacağını tahmin etmişlerdir. İleri düzeyde çok yüksek çözünürlüklü radyometre esas itibariyle tarla boyutundaki alanlarda, ürün rekoltesi tahminleri için AVHRR çok kaba bir çözünürlükte olsa da, elde edilen sonuçlar geleneksel bölge düzeyindeki verilere göre Pakistan daki idarecilere rekolte tahminleri sağlamaktadır. Ortalama ve maksimum rekolte arasındaki farklar sırasıyla buğday ve pirinç için 1075 ve 1246 kg ha^{-1} olmuştur. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmanın tarla boyutundaki alanlarda ürün rekoltelerini tahmin etmek için yüksek ve düşük çözünürlüklü görüntülerin bütünlüğüne dayanması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Kang ve ark. (2003), Çin'in kuzey batısında lizimetre verileri esas alınarak kışlık buğday (*Triticum aestivum* L.) ve mısır (*Zea Mays*)'ın transpirasyonunun evapotranspirasyona oranını (T_p/ET_c) ve bitki katsayısını (K_c) belirlemek için 10 yıllık bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda K_c ve ekimden sonraki gün sayısı (DAS), K_c ve yaprak alan indeksi (LAI) ve T_p/ET_c ve LAI arasında ilişkiler geliştirmişlerdir.

Lawless ve ark.(2004), yaprak alanı ışığı engellediğinden ve azotu depoladığından ve yaprakların dizinimi yaprak hastalıklarının geçişini ve türler arası rekabeti etkilediğinden dolayı, buğday modellerinde yaprak alanının simülasyonu önemlidir. Bu çalışmada ana gövdeler ve sürgünler (ARCWHEAT1) üzerindeki yaprak alanları ve sayılarını hesaplayan detaylı bir bitki örtüsü modelinin basitleştirilmesiyle birlikte yaprak görünümünün (Sirius) tahmini esasına dayanan mekanik fenolojik bir modele bağlantılı olan bir model geliştirmişlerdir. ARCWHEAT1 den elde edilen detaylı bitki örtüsü modelinin basitleştirilmesi ana gövde yaprağı ile ilişkili yapraklar her bir grupla birlikte özel bir alanı tayin eder. Sirius'daki yeşil alan indeksi gelişimini gösteren deneye dayalı eğri ile yer değiştirmek için kullanmışlardır.

Müjdeci ve ark.(2004) sera'da yaptıkları saksı denemesinde, Seri-82 ve Adana-99 buğday çeşitlerini kullanarak, toprak suyunun tarla kapasitesi ve tarla kapasitesinden düşük nem düzeylerinde matrik potansiyel, yaprak sıcaklığı, PAR,

meteorolojik parametreler ve stoma direnci değerlerini ölçmüşlerdir. Araştırmada bitki stoma direncinin toprak suyunun matrik potansiyelinden hızlıca etkilendiği görülmüştür. Toprak suyunun tarla Kapasitesi sınırlarındaki bitki stoma direnci 0.69-4.74 sn cm^{-1} sınırlarında bulunmasına rağmen, artan toprak su gerilimine karşın bitki stoma direnci 7.6-54.8 sn cm^{-1}'e yükselmiştir.

Royo ve ark. (2004) ekmeklik buğdayın, yaprak ve yeşil alan gelişimine genetik ve çevresel etkileri araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. İspanyanın kuzey doğusunda, yirmi beş genotip buğdayı, sulanan ve yağmurlu koşullarda iki yıl yetiştirmişlerdir. Yaprak alan indeksi ve yeşil alan indeksi ekimden olgunluğa kadar sekiz elverişli durumda belirlemişler ve veriler asimetrik bir kurve için uygun hale getirilmiştir. Yıllar arasındaki farklılıklara sebep olan kurve özelliklerini belirlemek için farklı yer ve genetiklerde çok değişkenli varyans analizi kullanmışlardır. Genetik farklılıklar yaprak alan indeksi ve yeşil alan indeksinde ekimden olgunluğa kadar istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Bu nedenle çalışmada kullanılan tohumların genetik çeşitliliğinin eksikliğine işaret edilmektedir. Yağmurlu koşullar sulanan alanlar ile karşılaştırıldığında kurve piki, yaprak alan indeksinde %27, yeşil alan indeksinde %35 azalmıştır. Kuraklık bitki gelişimini yaklaşık 3-4 gün uzatmıştır. Aksi olarak ekimden maksimum yaprak alan indeksi ve yeşil alan indeksine kadar geçen zaman yaklaşık %10 azalmıştır. Bitki yaşlılığının başlaması hızlanmıştır. Bitkinin yeşil organlarının yaşlılığının başlangıcı, yağmurlu alanlarda ziyade sulanan alanlarda daha önce başlamıştır. Yaprak alan indeksi ve yeşil alan indeksi örnekleri genotipten ziyade çevreden (yarayışlı su) etkilenmiştir. Bitkide yeşil alan birikiminin çabukluğu ve fenolojik gelişim için bağımsız düzenlemenin belli derecesini önermişlerdir.

3. KURAMSAL TEMELLER

Ekolojik sistemlerin farklı süreçlerinin modellenmesi genel olarak ampirik ve teorik matematiksel modellerin kullanılmasına dayanır.

Ampirik modeller, çok sayıda arazi ve laboratuar koşullarında yapılmış olan deneme sonuçları arasındaki fonksiyonel bağıntının matematiksel formülle ifade edilmesi ile tespit edilir.

Teorik modeller ise, fiziksel kimyasal ve biyolojik kanunlara dayanarak elde edilmiş ve genellikle diferansiyel denklemler biçiminde formüle edilmiş matematiksel ifadelerdir.

Modelleme sırasında en önemli olan ilk aşama incelenen prosesi en doğru ifade edebilen matematiksel modelin seçilmesidir. Bir sonraki aşamada bu modellerin uygulama sınırlarının tespitidir. Bu sırada modelin başlangıç ve sınır koşulları belirlenir. Daha sonra modelin analitik veya sayısal çözümü gerçekleştirilir. Elde edilen çözümden ve deneme sonuçları esasında elde edilen verileri kullanarak modelin gerçek değerleri yansıtan tahmin değerleri hesaplanır. Son aşamada ise onlar arasında duyarlılık seviyesi, yani uyum test edilir.

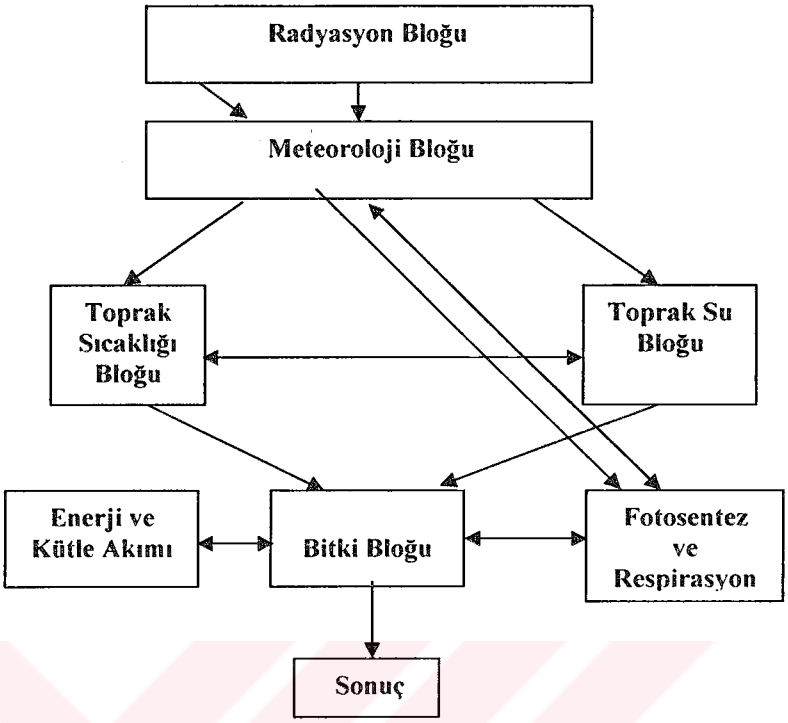
Bitki gelişim modelinin kurulmasında kullanılan bazı varsayımlar, modelin kullanım sınırlarını ortaya koymaktadır.

1. Modelde toprak profili, horizon yerine katman esasına göre değerlendirilmiştir.
2. Sistemdeki ani değişiklikler (fırtına, ani bulutlanma vb.) dikkate alınmamakta, bu bakımdan sistem hemen hemen kararlı (süreçlerin değişim hızı orta düzeydedir) sistem gibi düşünülmektedir.
3. Toprakta yan etkiler ihmal edilerek, bir boyutlu akım denklemleri kullanılmaktadır.
4. Toprakta bitki besin elementleri, güneşlenme ve sıcaklık düzeyi vejetasyon süresince optimuma yakın bir rejim içerisinde devam ediyor.
5. Bitki gelişiminin sınırlayıcı faktörü olarak toprak nemi değerlendirilmiştir (Poluektov, 1991).

Bitki gelişim modelinin kurulması için bloklar prensibi benimsenilmiş ve aşağıdaki blokların matematiksel modellenmesi yapılmıştır.

- Meteoroloji Bloğunun Matematiksel Modellenmesi,
- Radyasyon Bloğunun (Kısa ve Uzun Dalga Boylu Enerjilerin) Matematiksel Modellenmesi,
- Toprak Sıcaklığı Bloğunun Matematiksel Modellenmesi,
- Toprak Su Bloğunun Matematiksel Modellenmesi,
- Bitki Bloğunun Matematiksel Modellenmesi.
  -Gelişme Dönemleri Alt Bloğu,
  -Yaprak Alan İndeksi Alt Bloğu,
  -Yaprak Stoma Direnci Alt Bloğu,
  -Transpirasyon Hızı Alt Bloğu,
  -Fotosentez ve Respirasyon Hızı Alt Bloğu,
  -Verim Tahmini Alt Bloğu.

Bu çerçevede çeşitli süreçler dinamik ve bütçe prensiplerini koruyarak, ayrı ayrı bloklar şeklinde biçimlendirilmiştir. İlgili blokların birleştirilmesi sonucu genel model ortaya konulmuştur. Bu prensip özellikle modelin bilgisayar ortamına aktarılması için önemlidir. Çünkü alt programların özgün yazılması ve ilgili parametrelerin bir ana programla birleştirilerek birinden diğerine aktarılması kolaylık sağlamaktadır. Bu amaçla geliştirilen, bitki gelişim modelinin temel alt blokları şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Bitki gelişim modelinin temel blokları

3.1. Meteoroloji Bloğunun Matematiksel Modellenmesi

Bitkilerin ekiminden hasatına kadar, tüm fizyolojik özelliklerini doğrudan etkileyen meteorolojik parametreler (hava sıcaklığı, nispi nem, rüzgar, yağış ve bulutluluk), bitkisel üretimde son derece önemlidir. Örneğin hava sıcaklığı, tüm etmenler aynı kalmak ve belli fizyolojik sınırlar içerisinde tutulmak koşuluyla arttıkça sürekli olarak buhar şeklinde yiten su miktarını artırır. Yine aynı şekilde rüzgarda bitkiler tarafından yitirilen su miktarı üzerine önemli bir etkisi vardır ve bu etki bir ölçüde çevre koşullarına bağlıdır.

Meteoroloji bloğunun matematiksel modellenmesi için, Poluektov ve ark., (1989) ve Sarıyev (1991) tarafından geliştirilen SIMONA bitki gelişim modelinde, aşağıdaki eşitlik kullanılarak modelin zaman birimi olan her saatte hava sıcaklığı belirlenmiştir.

$$T_a(K_\tau)=\begin{cases}\{T_{min}+(T_{max}-T_{min})\sin(\pi(K_\tau-t_D/2(14-t_D)) & 14\geq K_\tau\geq t_D\\ \{T_{min}-(T_{max}-T_{min})\sin(\pi(K_\tau-14)/2(10-t_D)) & t_D\geq K_\tau\geq 14\end{cases} \quad (3.1.1)$$

$T_a(K_\tau)$: havanın her saat başındaki sıcaklığı,

K_τ: zaman adımı

T_{min}: minimum hava sıcaklığı,

T_{max}: maksimum hava sıcaklığı,

t_D: güneşin doğma zamanı.

Aynı modelde havanın nem içeriğinin değişmesi ise Magnus yasasından yararlanılarak saptanmıştır.

$$\varphi=q(T_a)/q(T_{max})*100 \quad (3.1.2)$$

φ: havanın nispi nemi (%),

$q(T_a)$: saat başı havanın mutlak nem içeriği (gr su/gr hava),

$q(T_{max})$: havanın maksimum sıcaklığındaki mutlak nem içeriği (gr su/gr hava),

Saat başı havanın mutlak nem içeriği $q(T_a)$ Magnus yasasına göre, hava sıcaklığı (T_a) ile aşağıdaki formülle ilişkilendirilmiş ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q(T_a)=3.79*10^{-3}\exp(17.1*T_a/235+T_a) \quad (3.1.3)$$

Havanın maksimum sıcaklığındaki mutlak nem içeriği $q(T_{max})$, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q(T_{max})=3.79*10^{-3}\exp(17.1*T_{max}/235+T_{max}) \quad (3.1.4)$$

Eşitlik (3.1.3) ve (.3.1.4)'ü (3.1.2)'de yerine koyarsak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\varphi=q(T_a)/q(T_{max})*100=\exp(17.1*Ta/235+T_a)/\exp(17.1*T_{max}/235+T_{max})*100 \quad (3.1.5)$$

Bulutluluk (n, 0'dan 10'a kadar) değer almaktadır. Bu değerler radyasyon bloğu için toprak-bitki-atmosfer sistemine gelen ışınların ve PAR'ın azalması için

kullanılmaktadır. Gelen ışınların azalmasını ortaya koyan azalma faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (3.1.6).

$$K_r = 1-(a+b*n/10)*n/10 \quad (3.1.6)$$

Burada a ve b 37° enlem için (Adana için) a≅b≅0.38'e eşit olan bir katsayıdır, n ise bulutluluk miktarıdır (Sarıyev,1991).

Bu eşitlikte n=0 olması durumunda, K_r=1 değerini almakta ve böylece gelen ışınların azalmaması ortaya çıkmaktadır.

3.2. Radyasyon Bloğunun Matematiksel Modellenmesi

Bitkilerin gelişimine doğrudan etkisi olan radyasyonda bitkisel üretimde önemli bir yere sahiptir. Örneğin, radyasyon gözeneklerin açılıp kapanmalarını etkilemek suretiyle, bitkiler tarafından suyun buhar halinde yitirilmesinde önemli bir yere sahiptir.

Radyasyon bloğunun matematiksel modellemesinde, yeryüzüne gelen enerji miktarından, kısa ve uzun dalga boylu enerji miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca fotosentetik aktif radyasyon (PAR)'da belirlenmiştir.

3.2.1. Kısa Dalga Boylu Enerjinin Matematiksel Modellenmesi

Kısa dalgalı ışınların intensitesini hesaplamak için Brelyand ilişkisi kullanılmıştır (Brejnev,1992).

Birim zamanda birim alana gök yüzüne (bulutlara kadar) gelen kısa dalgalı radyasyon miktarı (Q), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q=S_o*\sinh_o/(1+f*\mathrm{cosech}_o) \quad (3.2.1.1)$$

Q: birim zamanda birim alana gelen kısa dalgalı radyasyon miktarı (W/m^2),

S_o: güneş sabiti, S_o=1353 (W/m^2),

Güneş'ten, yer yüzeyine birim alana, birim zamanda ulaşan enerji miktarına Güneş sabiti denir.

h_o: güneşin yüksekliği,

f: aylara ve boylama göre düzeltme katsayısı.

Güneş yüksekliği, yerel saat, coğrafi konum ve mevsimsel zaman değerleri ile ilişkilendirilmiştir.

$$\sin h_o = A + B * \cos\tau \quad (3.2.1.2)$$

τ: güneşin günlük saat açısı,

$$A = \sin t * \sin\delta \quad (3.2.1.3)$$

$$B = \cos t * \cos\delta \quad (3.2.1.4)$$

δ: bulunduğumuz yerin coğrafi koordinatı,

t: mevsimlik zamana göre güneşin yerle yaptığı açı,

$$\tau = 2\pi(t_D + 12)/24 \quad (3.2.1.5)$$

t_D: güneşin doğma zamanı,

Eşitlik 3.2.1.3, 3.2.1.4 ve 3.2.1.5, eşitlik 3.2.1.2'de yerine konursa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\sin h_o = \sin\delta * \sin t + \cos\delta * \cos t * \cos(2\pi(t_D + 12)/24) \quad (3.2.1.6)$$

Mevsimlik zamana göre güneşin yerle yaptığı açı (t), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$t = -0.48 * \cos(2\pi(t_t + 10)/365) \quad (3.2.1.7)$$

t_t: yıl içinde herhangi bir gün

Modelde toplam radyasyon miktarının bir kısmı fotosentetik aktif radyasyon (PAR) olarak değerlendirilmektedir. Özellikle fotosentez ve respirasyon olaylarının hesaplanmasında PAR değerine ihtiyaç vardır. Toplam radyasyon değerinden PAR'ın hesaplanması için aşağıdaki geçit katsayısı değeri uygulanmıştır. Bu değer güneşin yüksekliği ile saptanmakta veya direk (S) ve yayılan (D) radyasyon

değerlerinden de hesaplamak mümkündür (Q_{PAR}=0.42S+0.6D). Güneşin yüksekliğini dikkate alarak PAR hesabı aşağıdaki gibidir.

$$C_{PAR}=\sinh_0/(2.09\sinh_0+0.22) \quad (3.2.1.8)$$

$$Q_{PAR}=Q_{yer}*C_{PAR} \quad (3.2.1.9)$$

3.2.2. Uzun Dalga Boylu Enerjinin Matematiksel Modellenmesi

Poluektov ve ark.(1989), tarafından yapılan çalışmada uzun dalgalı radyasyon modellemesi genel olarak mutlak siyah cisimlerin kendilerinden, Stefan-Bolsman yasasına göre mutlak sıcaklıkların dördüncü dereceleri ile kaybettiği enerji miktarından hesaplanmaktadır.

Uzun dalga boylu enerji bütçesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Kurtner ve Uskov, 1988).

$$\Delta Y_s=q_s-q_a \quad (3.2.2.1)$$

ΔY_s: uzun dalga boylu enerji miktarı (W/m^2),

q_s: toprak tarafından kaybedilen uzun dalga boylu enerji miktarı(W/m^2),

q_a: atmosferin yere gönderdiği uzun dalga boylu enerji değeri (W/m^2).

Bilindiği gibi dalga boyu 2μ'dan büyük enerji dilimine uzun dalga boylu enerji denilmektedir.

Toprak tarafından kaybedilen uzun dalga boylu enerji (q_s), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_s=G*((T_s+273)/100)^4 \quad (3.2.2.2)$$

T_s: toprak sıcaklığı (^oC),

G: ışınım katsayısı (5.52) ($W/(m^2\ ^oC)$),

Atmosferin yere gönderdiği uzun dalga boylu enerji (q_a), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_a=G*S((T_a+273)/100)^4 \quad (3.2.2.3)$$

T_a: atmosfer sıcaklığı (^oC),

S: ışınım katsayısından farklı olarak atmosferdeki nem oranının ve bulutluluğun bir fonksiyonudur.

Atmosferdeki nem oranının ve bulutluluğun bir fonksiyonu olan beyazlık faktörü (S), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$S=(1-f_n*f_e)$ (3.2.2.4)

f_n: bulutluluk,

f_e: nemlilik faktörleri,

$f_n=1-C'_A*n'=1-0.68*n'=1-0.68*n^*$ bulutluluk oranı hesaplanır.

$f_e=a-b*e=0.254-0.0066*e\ (mmhg)^{-1}$

$e=0.061*10^m*\varphi$

e: havanın buhar basıncı, nispi nemin fonksiyonu,

n*: bulutluluk faktörü, (0<n<1),

C'_A: coğrafi konumla ilgili katsayı.

$m=7.45*T_a(235+T_a)^{-1}$

φ: havanın nispi nemi, meteoroloji bloğunda bulunmuştu.

Bu değerler aşağıdaki formülde yerine konursa, uzun dalga boylu enerji bütçesi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$\Delta Y_s=G[(T_s+273/100)^4-(1-f_n*f_e)(T_a+273/100)^4]$ (3.2.2.5)

3.3. Toprak Sıcaklığı Bloğunun Matematiksel Modellenmesi

Toprak sıcaklığı bitkilerin gelişimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bitki gelişimi sırasında meydana gelen solunum, terleme ve fotosentez gibi olaylar sıcaklıkla sıkı bir şekilde ilişkilidir. Bitki ve toprakta oluşan kimyasal reaksiyonların çoğu yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklardakinden daha hızlı gelişmektedir. Sıcaklıktaki her 10^0C'lik artışın kimyasal reaksiyonların hızını iki katına çıkardığı tahmin edilmektedir. Genelde sıcaklığın artmasıyla birlikte fizyolojik aktiviteler de hızlanmaktadır. Böylece, yüksek sıcaklık bitkilerin çoğunda gelişmeyi hızlandırmaktadır. Ayrıca, bitkilerin kök gelişimi ile topraktaki bitki besin elementlerinin çözünebilirlik ve bitki tarafından alınabilirlikleri ve topraktaki suyun

buharlaşması üzerinde de sıcaklığın önemli etkileri bulunmaktadır (Özkan, 1985, Kırda ve Sarıyev, 2002).

Bitkisel üretimde toprak sıcaklığının etkisinin izlenilmesi amacıyla, toprak sıcaklığını ve onu etkileyen toprağın termal parametrelerinin, bu parametrelere bağlı olan katman sıcaklıklarının belirlenebilmesi için, genel temel fizik kurallarına dayalı bir matematiksel yaklaşım ortaya konulmuştur.

Toprakta sıcaklık değişimlerinin zaman ve derinliğe, toprakların ısısal özelliklerine bağımlı matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (Kurtner ve Uskov, 1988, Aydın, 1993; Poluektov,1991, Sarıyev, 1991).

$$C_s(\Theta)\,(\partial T_s/\partial t)=\partial/\partial x\,(\lambda_s(\Theta)\,(\partial T_s/\partial x)) \qquad (3.3.1)$$

Burada;

C_s: Toprağın hacimsel ısı kapasitesi (kal/(cm^3 ^{o}C)),

T_s : Toprak sıcaklığı (^{o}C),

t: Zaman (gün),

x: Toprak derinliği (cm),

λ: Toprağın ısısal iletkenliği (kal/(cm*gün*^{o}C)),

Bu temel denkleme başlangıç ve sınır koşulları da eklenirse, matematiksel fizikte tanımlanan Kosi meselesi tamamlanmış olacaktır.

üst sınır koşulu;

$$-\lambda_s(\partial T_s/\partial x)|_{x=0}=(1-A_s)*Q(0)\pm I_s+\rho_a C_p D_s^T(T_s(0)-T_a)+\rho a\chi Ds^Q(q_s(0)-q_a) \qquad (3.3.2)$$

Eşitlik (3.3.2)'de toprak yüzeyine gelen ve yüzeyin kayıp ettiği ısı bütçesi dikkate alınmıştır. Eşitliğin sol tarafı ($-\lambda_s(\partial T_s/\partial x)$) toprak yüzeyinden toprağa gelen ısı miktarı (veya tersi), sağ taraftaki ($(1-A_s)*Q(0)\pm I_s$), yer yüzündeki kısa ve uzun dalgalı enerji bütçesi, ($\rho_a C_p D_s^T(T_s(0)-T_a)$) ise toprak yüzeyi ile yakın atmosfer'deki konveksiyonla kayıp olan enerji ve ($\rho a\chi Ds^Q(q_s(0)-q_a)$) ise toprak yüzeyinden buharlaşma ile yitirilen enerji unsurlarıdır.

Toprak sıcaklığının alt sınır ve başlangıç koşullarını aşağıdaki gibi yazabiliriz:

Alt sınır koşulu

$T_s|_{x=R}$=Const.

Başlangıç koşulu ise :

$T_s(0,x)=T_{si}$ olacaktır.

Eşitlik (3.3.1)'deki $C_s(\Theta)$ ve $\lambda_s(\Theta)$, toprak su içeriğinin birer fonksiyonudurlar ve izleyen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaları mümkündür:

$$C_s(\Theta)=C_s*\rho_b+C_w*\Theta \quad (3.3.3)$$

Bu ifade de,

C_s: toprağın özgül ısı transferi (0.21 kal/(gr°C)),

ρ_b: toprağın hacim ağırlığı (gr/cm^3),

Θ: toprağın hacimsel su içeriği (cm^3 cm^{-3}).

Toprağın ısısal iletkenliği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Bondarenko ve ark.,1982).

$$\lambda_s(\Theta)=(3*\rho_b-1.7)*10^{-3}/[1+(11.5-\rho_s)*\exp(-50*\Theta/\rho_b)^{1.5}] \quad (3.3.4)$$

Toprak yüzey sıcaklığını belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Sarıyev,1991).

$$T_s=T_a+[12.5(1+1.16\sin(2\pi/\tau)*t-120))+(0.56\sin(2\pi/\tau)*t-45)\ln\varphi]$$
$$\cos(8.36n)-0.85\ln(u+1) \quad (3.3.5)$$

u: rüzgar hızı,

n: bulutluluk,

φ: havanın nispi nemi (%).

3.4. Toprak Su Bloğunun Matematiksel Modellenmesi

Su toprakta çok önemli işlevlerde bulunmaktadır. Her şeyden önce, bitki gelişmesi için gerekli olan çözünebilir besin elementlerinin açığa çıkmasını sağlayan mineral ve organik maddelerin ayrışması olayları için suyun varlığı esastır. Ayrıca su besin elementlerinin bitki köküne doğru hareketine olanak sağlayan bir ortam olarak

hizmet etmektedir. Bunların ötesinde su bitki hücrelerinin canlılıklarını koruyabilmeleri için gerekli bir unsurdur. Bitki gelişmesi birçok etmenle ilişkili olmakla birlikte öncelikle topraktaki suyun varlığına bağlıdır. Bitkiler kökleri aracılığıyla bünyelerine aldıkları suyun bir kısmını kullanırken çok büyük bir kısmını da yaprak yüzeylerinden buharlaşma yoluyla dışarı vermektedir. Bitki tarafından üretilen her 1 kg kuru madde için bu yolla buharlaşan su miktarı 300-1000 litre civarında değişmektedir. Bitkiye uygun bir su desteğinin sağlanması için gelişme periyodu süresince toprağın optimal nem şartlarını içermesi gerekmektedir (Özkan,1985).

Bitkisel üretimde, verimi sınırlayan en önemli gelişim faktörlerinden biri olan topraktaki suyun, zamana ve derinliğe bağlı olarak durumunu izlemek gerekir.

Toprakta su akımı bloğu için geliştirilmiş modelin temeli Darcy yasasına ve süreklilik eşitliği ile kombine edilmesine dayanmaktadır (Aydın ve Polat, 1995; Poluektov, 1991; Sarıyev ve ark., 1995).

Toprakta su akısı ise Darcy yasasına göre aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V=-K(p)*(\Delta H/\Delta x) \qquad (3.4.1)$$

Burada;

K(p):toprağın hidrolik iletkenliği (cm sa^{-1}),

Δx, (x_2-x_1): iki toprak katmanı arasındaki mesafe(cm),

ΔH, $H(x_2)-H(x_1)$: katmanlar arası su yükü farkı (cm),

Diğer yükleri ihmal edersek, topraktaki su yükü, yerçekimi yükü ile matrik yükünün (p) toplamına eşit olur.

$$H=p-z \qquad (3.4.2)$$

Eşitlik (3.4.1) ve (3.4.2) birleştirilirse, aşağıdaki ilişki bulunur:

$$V=-k*[(\Delta p/\Delta x)-1] \qquad (3.4.3)$$

Burada $\Delta z=\Delta x$ olarak alınmıştır.

Toprağın su içeriğinin ($\Theta=cm^3\,cm^{-3}$) zamana göre (t=saat) değişimi şu şekilde yazılabilir;

$$\partial\Theta/\partial t=(-\partial V/\partial x)+f \qquad (3.4.4)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

f: kök tarafından alınan suyun miktarını belirleyen fonksiyonel bir ifadedir.

Eşitlik(3.4.3)'te gösterilen (V) değişkeni eşitlik (3.4.4)'de yerine yazılırsa ve toprağın özgül (diferansiyel) su kapasitesi ifadesi de ($\mu(P)=d\Theta/dp$) kullanılırsa, şu ilişki elde edilir.

$$\mu(p)*(\partial p/\partial t)=[\partial/\partial x)*(k(p)*(\partial P/\partial x-1)-f] \qquad (3.4.5)$$

Burada, toprak rutubet karakteristik eğrisinden (pF eğrisi) yararlanılarak eşitlik (3.4.5), yalnız p değişkenine bağlı, lineer olmayan diferansiyel bir denklem haline dönüştürülmüştür.

(3.4.5) denkleminin üst sınır koşulu aşağıdaki gibidir.

$$V\Big|_{x=0}=-K(p)[\partial p/\partial x-1]\Big|_{x=0}=$$

$$\{E_s,\ \text{koşul}: R_s=0,\ -\min(R_s,K_f),\ \text{koşul}: R_s>0 \qquad (3.4.6)$$

Burada;

E_s: toprak yüzeyinden buharlaşma ile kaybolan su,

R_s: yağış miktarı,

K_f: infiltrasyon hızıdır.

Yukarıdaki tanımlamaya göre, $R_s=0$ ise akı, buharlaşmaya (E_s) eşittir. $0<R_s\leq K_f$ ise yağışın şiddeti, infiltrasyon hızından (akı yoğunluğundan) küçük veya ona eşit olmaktadır. Toprak katmanlarında su içeriği tarla kapasitesine ulaştıktan sonra aşağı doğru hareket etmektedir. $R_s>K_f$ olması durumunda toprak yüzeyinde göllenme meydana gelir ve h_w ile gösterilen biriken su derinliği bütçe esasına dayanılarak hesaplanabilir (Nerpin ve Çudnovski,1975).

Diğer taraftan, alt sınır koşulu seçilen NR derinliğinde şu şekilde tanımlanabilir.

$$-K(p)\partial p/\partial x\Big|_{X=NR}=0 \qquad (3.4.7)$$

Modelin başlangıç koşulu:

$$f(\Theta_i)=\Theta_i \qquad (3.4.8)$$

Modelde kullanılan toprak rutubet karakteristik eğrisi ve hidrolik iletkenlik için sırasıyla aşağıdaki ifadeler kullanılmıştır.

$$P_i=P_D*\exp(A*(\Theta_D-\Theta_i) \qquad (3.4.9)$$

P_i: matrik potansiyel (cm H_2O),

P_D: doygunluk durumundaki toprak suyunun potansiyeli,

A: toprak bünyesine bağlı bir katsayı,

Θ_D: Toprağın doygunluktaki hacimsel su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$),

Θ_i: Toprağın başlangıç hacimsel su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$),

Doymamış hidrolik iletkenlik için aşağıdaki model önerilmiştir.

$$K=K_f(P_d/P)^m \qquad (3.4.10)$$

m: yarı ampirik katsayı,

K_f: doygunluktaki hidrolik iletkenlik.

Toprakta su akımının matematiksel modeli diğer bloklarla aynı zaman diliminde derinliğe bağlı olarak çözümlenmelidir. Bu yaklaşım temel yaklaşım olmakla birlikte, kısa zaman ve derinliklerde başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak tüm vejetasyon döneminde ve homojen olmayan alanlarda, bazı hatalar vermektedir.

Toprak su akımında etkili faktör olan ve üst sınır koşulu için dikkate alınan toprak suyunun buharlaşma modeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_s=\rho_a D_s(q_s(0)-q_a) \qquad (3.4.11)$$

Burada;

ρ_a: hava yoğunluğu ($1.2\ 10^{-3}$ gr cm^{-3}),

D_s: toprakla atmosfer arasında nem iletim katsayısı (cm sn^{-1}), bu değer moleküler diffüzyon katsayısı gibi de değerlendirilmektedir.

$q_s(0)$: toprak yüzeyinin mutlak nem içeriği (gr su/gr hava),

q_a: atmosferin mutlak nem içeriği (gr su/gr hava).

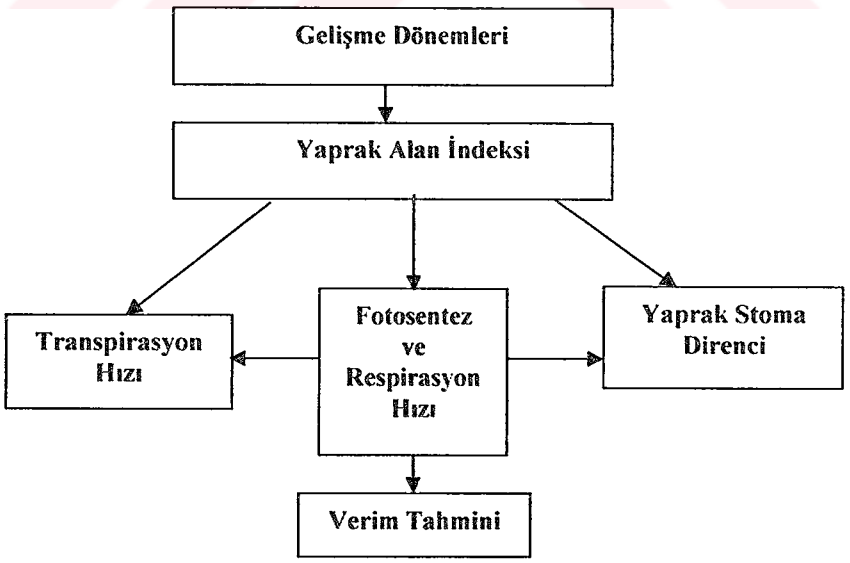
Mutlak nem içeriği Magnus yasasına göre saptanmakta ve sıcaklığın (T) fonksiyonu olduğundan aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$q(T)=3.79*10^{-3}\exp(17.1*T/(235+T)) \quad (3.4.12)$$

Toprak su bloğunda, sığ topraklarda olası yüzey akışları ve taban suyu mevcut olan arazilerde modelin sınır koşulları yeniden tanımlanmalıdır.

3.5. Bitki Bloğunun Matematiksel Modellenmesi

Bitki bloğunun matematiksel modellemesinde, gelişme dönemleri, yaprak alan indeksi, yaprak stoma direnci, transpirasyon hızı, fotosentez ve respirasyon hızı ayrı ayrı modellenerek birbirleriyle ilişkilendirilmişlerdir (Şekil 3.2).



Şekil.3.2. Bitki bloğunun temel alt blokları

3.5.1. Gelişme Dönemleri

Gelişme dönemleri, bitkinin belli bir sıcaklık toplamına ulaşmasıyla meydana gelmektedir. Bitkilerin gelişme dönemlerinde, bir sonraki döneme geçmesi için, hava sıcaklığının eşik sıcaklık değerinde olması gerekmektedir. Gelişme dönemlerinin beklenenden çok uzun veya kısa zamanda olması verimi doğrudan etkilemektedir.

Buğdayın gelişme dönemlerinin dikkatli bir şekilde izlenmesi ve incelenmesi, erken dönemlerde verimle ilgili tahminlerin yapılması bakımından yararlı olduğu gibi, ilaç ve gübre uygulama zamanlarının daha doğru bir şekilde belirlenmesi yönünden de yararlı olur.

Burada, buğdayın ekim tarihinden fizyolojik oluma kadar geçen süre içerisindeki, gelişme dönemleri modellenmiştir. Bu çerçevede günlük sıcaklık ve her dönem için gerekli bazal sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır (Bichle ve ark. 1980).

$$\sum t(\tau) = \sum_{j=1}^{\tau} (t_j - t_0) \qquad (3.5.1.1)$$

Burada

t_j:j gününün ortalama hava sıcaklığı,

τ: fizyolojik olgunluğa kadarki gün sayısı,

t_0: gelişme dönemi için eşik sıcaklık (t_0=0°C).

Günlük sıcaklık birikimi sonucu gelişme döneminin hangi durumda olduğu hesaplanır. Daha detaylı bilgi bölüm 4.3.5.1.'de verilmektedir.

3.5.2. Yaprak Alan İndeksi

Fotosentezin, büyük çoğunluğunun yapıldığı organ olan yaprakların, ışıktan yararlanması ve verim yaprak alan indeksi (YAİ) ile ilgilidir. Diğer çevre koşullarının sınırlı olmadığı bir ortamda, bitkisel üretim (madde birikimi), bitkinin yaşamı boyunca yakalayabildiği ışık enerjisi miktarı tarafından belirlenmektedir. Yapraklar tarafından ne kadar enerjinin tutulabileceği ise yaprak alanının

büyüklüğüne bağlıdır. Buğday bitkisinde yaprak alan indeksi (YAİ), çıkıştan itibaren önce yavaş daha sonra ise hızlı bir şekilde artarak çiçeklenme döneminde en yüksek değerine ulaşır. Daha sonraki dönemlerde ise yaşlanma ile oluşan yaprak kayıpları sonucu giderek azalır. Bitki tür ve çeşidine göre farklılık gösteren YAİ, zamanla değişimine bağlı olarak transpirasyon hızı, fotosentez hızı ve verim miktarını doğrudan etkiler. Bu nedenle YAİ'nin günlük değişiminin hesaplanması bu parametreleri'nde belirlenmesine yardımcı olur.

Yaprak alan indeksinin zamanla değişimi lojistik eğri denilen denklemle ifade edilebilir. Bu durumda temel model (Poluektov, 1991);

$$\frac{dL}{dt} = rL(1 - \frac{L}{K}) \qquad (3.5.2.1)$$

K: bir sabite,

r: bir sabite,

t: gün sayısı.

Bu denklemin başlangıç ve sınır koşulları aşağıdaki gibidir.

$L(0)=L_0=L_{min}$

$L_{max}(t)=L_{max}$

t=0 için L=0

L_{max}: Maksimum yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2}),

L_{min}: Minimum yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2}),

3.5.3. Yaprak Stoma Direnci

Bitki yapraklarının epidermal yüzlerinin bir bölümünü de gözenek (stoma veya stomat) adı verilen çok sayıda mikroskobik delikler kaplamaktadır. Yapraklarda transpirasyon, stomalar (gözenekler) aracılığıyla olmaktadır.Genel olarak bitkilerde suyun %90'ından fazlası gözeneksel transpirasyon ile yiter (Kacar ve ark., 2002).

Bitkinin gelişim dönemi içinde kökler aracılığı ile aldığı su miktarı ile transpirasyon arasındaki her hangi bir fark bitkide depolanan suyu etkiler.

Transpirasyonun, kökler aracılığı ile alınan sudan fazla olması halinde bitkideki su basıncı azalır. Bunun sonucu olarak, fotosentez için gerekli olan CO_2 ve ayrıca transpirasyonda su buharının difüzyon yolu olan stomalar kapanır. Bu nedenlerle fotosentez-transpirasyon, topraktaki su kaynağı ve bunun bitki tarafından alınış işlemleri arasında çoklu bir ilişki vardır (Yeşilsoy, 1994). Stomalar, transpirasyon ve fotosentez olayında regülator görevi görmektedir.

Stomaların açılıp kapanmalarına çevre etmenleri önemli etki yapar. Bunlar: ışık, osmotik düzenleyiciler, karbondioksit konsantrasyonu, su noksanlığı ve Absisik asit (ABA) ve sıcaklıktır. Bekçi hücrelerinde osmotik potansiyele etki yapan osmotik düzenleyicilerden biri potasyumdur (K^+). Osmotik düzenleyici olarak stomaların açılmasında temel görev potasyum (K^+) tarafından yerine getirilirken, stomaların kapanmasında ise temel görev sakkaroz içeriğindeki azalma ile olmaktadır (Kacar ve ark., 2002).

Bitki stoma direncinin belirlenmesinde, toprak suyunun matrik emişi ve havanın nispi nemi dikkate alınarak geliştirilen, aşağıdaki yarı amprik model kullanılmıştır (Müjdeci ve ark., 2004).

$$R_{st} = R_{stmax} \cdot \left(\frac{\psi_s}{\psi_{sk} - a \cdot \psi_s} \cdot \frac{\varphi_a}{100 - b \cdot \varphi_a} \right) \qquad (3.5.3.1)$$

R_{st}: stoma direnci (s cm^{-1}),

R_{stmax}: maksimum bitki stoma direnci (s cm^{-1}),

ψ_s: toprak matrik emişi (bar),

ψ_{sk}: kritik toprak matrik emişi (ψ_{sk}=15 bar),

a: stoma direncinin matrik emişten etkileşi (hassasiyet değeri) katsayısı olup, deneme sonuçlarından a=0.01 kabul edilir.

φ_a: havanın nispi nemi (%),

b: bitki stoma direncinin havanın nispi nemine karşı hassasiyetini belirten değer olarak kabul edilir (1.12).

Yukarıdaki eşitlik kritik toprak matrik emişi 15 bar'a kadar olan durumlarda kullanılır.

3.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı

Fotosentez ve respirasyon sürecinin bitki gelişimi periyodunda karmaşık bir proses olduğu bilinmektedir. Ancak olayın en etkili çevre ve bitki faktörlerinden (PAR değeri, CO_2 konsantrasyonu, stoma direnci) etkileşimi sonucu matematiksel yaklaşımlar türetmek karmaşık olan sürecin tanımlanması modellenmesi bakımından önemli sayılmaktadır.

Bitkilerin güneş enerjisi yardımıyla klorofile sahip hücrelerde CO_2'i indirgiyerek ve topraktan aldıkları H_2O'yu yükseltgeyerek yaptıkları karbonhidratlar ile gerek duyduğu enerji için harcadıkları arasındaki farka asimilasyon denir. Bitkiler özellikle güneşin batımından doğumuna kadar olan süre de enerjiye ihtiyaç (solunum yaparlar) duyarlar. Bitkiler çimlenip toprak yüzünde belirdikten, tamamen sararıncaya kadar fotosentez yapmaktadır. Fotosentezde cereyan eden tepkime özet olarak şu şekilde formüle edilebilir (Kacar ve ark., 2002).

$$6CO_2+12H_2O \xrightarrow[\text{Klorofilli hücre}]{\text{673 Kilokalori güneş enerjisi (hv)}} C_6H_{12}O_6+6O_2+6H_2O$$

Buğdayın günlük net fotosentezinin (kg ha^{-1} $gün^{-1}$) belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

Brüt fotosentezin hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Penning De Veries ve Van Laar, 1982).

$$F=\left(\frac{R_{st}}{C}+\frac{1}{\varepsilon * Q_{PAR}}+\frac{1}{F_{\max}}\right)^{-1} \qquad (3.5.4.1)$$

F: brüt fotosentez (kg ha^{-1} sa^{-1}),

R_{st}: yaprak stoma direnci (s cm^{-1}),

C: atmosferdeki CO_2 miktarı (610 mg cm^{-3}),

ε:~0.5 kg ha^{-1} sa^{-1} joul m^{-2} s^{-1},

Q_{PAR}: PAR miktarı (W m^{-2}),

F_{max}: maksimum fotosentez (kg ha^{-1} sa^{-1}).

Solunum miktarının hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$R=F_{max}*K$ (3.5.4.2)

K: Respirasyon oranı,

R: solunum miktarı.

3.5.5. Transpirasyon Hızı

Bitkilerden buharlaşma (evaporasyon) yoluyla suyun yitmesine transpirasyon denir. Bitkilerin daha çok yapraklarından olan transpirasyon, bitkilerin çimlenip toprak yüzünde belirdikten tamamen sararıncaya kadar devam etmektedir. Fotosentezde olduğu gibi transpirasyonda, yağmurlu günlerde yapılmadığı için hesaplamada dikkate alınmamıştır. Transpirasyon hızının hesaplanmasıyla elde edilecek verim hesaplanabilmektedir.

Burada, buğdayın transpirasyon hızının belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Poluektov, 1991, Bondarenko ve ark., 1982).

$$E = \rho a \int_{o}^{h_L} s_x \; D_q(q_{L}(T_{L}) - q_a(T_a))dh \qquad (3.5.5.1)$$

E: transpirasyon hızı (mm),

D_q: nem iletim katsayısı,

q_L; yaprak ortamındaki nispi nem,

q_a: havanın nispi nemi,

T_L; yaprak sıcaklığı,

T_a: hava sıcaklığı

ρa : havanın yoğunluğu ($1.2*10^{-3}$ gr cm^{-3})

L: yaprak alanı indeksi.

Yukarıdaki (3.5.5.1) temel modelinde $S_{(x)}$ değeri yüksekliğe göre spesifik yaprak yoğunluğudur. Bu değerin toprak yüzeyinden (x=0), bitki boyuna kadar (h_L) integrali, yaprak alan indeksini vermektedir.

$$L = \int_{o}^{h_L} S_{(x)} dx \qquad (3.5.5.2)$$

S_x: h_L yüksekliğinde dikkate alınan yaprak alan indeksi

h_L: yüksekliğinde yaprak alan indeksi (L);

Son durumu yeniden dikkate alırsak eşitlik (3.5.5.1) aşağıdaki biçime dönüşmektedir.

$$E = D_q * (q_L(T_L) - q_a(T_a)) * L * \rho a \qquad (3.5.5.3)$$

Yaprak sıcaklığı (T_L)'nin hesaplanması için aşağıdaki yaklaşım benimsenmiştir.

Bilindiği üzere, toprak yüzeyi, bitki ve atmosfer arasında kısa zaman diliminde konveksiyon akımı ile önce toprak-bitki daha sonra bitki ile atmosfer veya tersi yolla dengeye ulaşması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki ısı bütçesini yazarsak;

$$\rho_a . Cp D_T (T_s - T_L) = \rho a . Cp (T_L - T_a) \qquad (3.5.5.4)$$

Eşitlik (3.5.5.4)'den T_L'yi çekersek aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T_L = \frac{D_q * T_s + D_T * T_a}{D_q + D_T} \qquad (3.5.5.5)$$

T_s: toprak sıcaklığı

D_T: ısı iletim katsayısı.

Yaprak ortamındaki nispi nemin (q_L) hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$q_L(T_L)=3.79*10^{-3}*\exp(\frac{17.1*T_L}{235+T_L}) \quad (3.5.5.6)$$

Havanın nispi neminin (q_a) hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$q_a(T_a)=3.79*10^{-3}*\exp(\frac{17.1*T_a}{235+T_a}) \quad (3.5.5.7)$$

Nem iletim katsayısının (D_q) hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Poluektov, 1991).

$$D_q=\frac{D_T}{1+R_{st}*D_T} \quad (3.5.5.8)$$

R_{st}: bitki stoma direnci (sn cm^{-1}).

Isı iletim katsayısının (D_T) hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$D_T=\frac{1}{C_u}*\sqrt{\frac{u}{L_0}} \quad (3.5.5.9)$$

u: rüzgar hızı (m sn^{-1}),

C_u: sabite,

L_0; karakteristik yaprak boyutu.

3.5.6. Verim Tahmini

Elde edilecek tahmini verimi hesaplamak için kurulan bitki bloğunda gelişme dönemleri, yaprak alanı indeksi, yaprak stoma direnci, transpirasyon hızı, fotosentez ve respirasyon hızı ayrı ayrı hesaplanarak birbirleriyle ilişkilendirilmişlerdir. Bu ilişkilendirme sonucu biyomas miktarı iki şekilde tahmin edilmiştir. Birincisinde, bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su, topraktan olan maksimum buharlaşma miktarı ve çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerlerinin dikkate alındığı aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Hanks ve Ashcroft, 1985, Penning De Veries ve Van Laar, 1982).

$$V = (f * \frac{T}{Es_{max}}) \quad (3.5.6.1)$$

T: bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su (cm),

f: çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı (115 kg $da^{-1}gün^{-1}$), (Penning De Veries ve Van Laar, 1982).

E_{smax}: toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı (0.5 cm $gün^{-1}$),

V: tahmin edilen biyomas miktarı (kg da^{-1}).

Yukarıdaki ilişkiden de görüldüğü gibi, bitkilerin su tüketimi-verimlilik ilişkisi kapsamında transpirasyon miktarı en önemli değişkendir.

Biyomas tahmini ikinci olarak, günlük fotosentez miktarlarının toplanmasıyla hesaplanmıştır.

$$V = \sum_{i=1}^{n} F_n \quad (3.5.6.2)$$

F_n: Net fotosentez hızıdır.

Vejetasyon döneminde biyomas (bitki kuru maddesi) değerinin, hasat indeksi ile çarpılmasıyla, tahmin edilen verim hesaplanmıştır.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Deneme Alanı Toprağının Özellikleri

Tarla denemeleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü taban deneme arazisinde 2000, 2001, 2002 buğday yetiştirme mevsiminde yapılmıştır. Arazi 37° 01′ 08″-37° 01′ 18″ kuzey enlemleri ile 35° 21′ 45″-35° 21′ 33″ doğu boylamlarında yer almaktadır. Deneme alanı toprağı Menzilat serisi Alüviyal ana materyal üzerinde oluşmuş Entisol ordosunun Typic Xerofluvent alt ordosunda sınıflandırılmıştır. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

4.1.1. Fiziksel Özellikler

Hacim Ağırlığı: Hacmi 100 cm^3 olan çelik silindirlerle alınan bozulmamış toprak örnekleri etüvde 105°C'de 24 saat kurutulup, fırın kuru toprağın ağırlığı toplam silindir hacmine bölünerek bulunmuştur (Çizelge 4.1) (Blake ve Hartge, 1986).

Değişken Su Yükü Altında Toprak Geçirgenliği: 100 cm^3'lük çelik silindirde alınan bozulmamış toprak örneği saf suyla doyurulduktan sonra çelik silindirin alt ve üst kısımlarına contalı kapaklar yerleştirilmiştir. Contalı kapakların ortasına su hortumları takılacak şekilde borular yerleştirilmiştir. 100 cm^3'lük büret, saf su ile doldurularak büretin alt ucuna geçirilen hortumun havası alınarak çelik silindirin alt kapağına takılmış ve büret suyun geçmesi için açılmıştır. Üst kapağa bir hortum takılarak boş bir kaba yerleştirilerek ve bir süre sonra üst hortumdan su kaba gelmeye başlamış ve zaman tekrar belirlenmiştir. Bu işlemlerden sonra $K=(a*L/A*t)*\ln (H1/H2)$ formülüyle iletkenlik hesaplanmıştır (cm $saat^{-1}$). Yukarıdaki eşitlikte; a:büret alanı, l:çelik silindirin boyu, A:toprak kesit alanı,t:zaman, H1:büret su yüksekliği, H2: değişken su yüksekliği (Çizelge 4.1) (Klute ve Dirksen, 1986).

Tekstür: Bouyoucous hidrometre yöntemi ile yapılmıştır (Çizelge 4.1) (Bouyoucous, 1951).

Çizelge 4.1. Deneme alanı toprağının hacim ağırlığı, tekstür ve hidrolik iletkenlik değerleri

Derinlik(cm)	Hacim ağırlığı (gr cm^{-3})	Kil, (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür sınıfı	Hid. ilet. (cm sa^{-1})
0-10	1.30	53.92	22.41	23.67	C	0.19
10-30	1.24	56.26	19.54	24.2	C	0.15
30-60	1.32	59.69	18.61	21.7	C	0.29
60-90	-	53.18	26.63	20.19	C	-

Toprak Su Karakteristikleri: Toprak örneklerinin, doygunluk ile 1 bar arasındaki değişik gerilimlerde tutabildikleri hacimsel su içeriğini gösteren toprak suyu karakteristikleri saptanmıştır. Basınçlı plaka aletinde toprak suyu gerilimleri, doygunluktan başlayarak 0.1, 0.33, 1.0 bar şeklinde uygulanmış, her bir toprak suyu geriliminde tutulan hacimsel su içerikleri 3'er yinelemenin ortalaması olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde bozulmuş toprak örneklerinde ise 5, 10 ve 15 bar gerilimleri uygulanmış ve bu gerilimlerde tutulan hacimsel su içerikleri 3'er yinelemenin ortalaması olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2) (Klute, 1986).

Çizelge 4.2. Deneme alanı toprağının toprak su karakteristik değerleri

Derinlik (cm)	0.001 (bar)	0.1 (bar)	0.333 (bar)	1 (bar)	5 (bar)	10 (bar)	15 (bar)
	Hacimsel Su (%)						
0-10	61.36	42.37	37.73	36.43	27.38	25.20	23.01
10-30	55.37	42.89	39.88	38.97	33.04	31.95	30.85
30-60	53.77	46.52	42.41	41.51	29.37	28.14	26.92

Gözeneklilik: Toprak su karakteristiklerinde bulunan değerlerden hesaplanmıştır. Doygunluktaki su hacmi toplam gözenekliliği verirken, mikro gözenek hacmini 0.33 bar (Tarla Kapasitesi) da tutulan su miktarından hesap edilmiştir. Makro gözenek hacmi ise, toplam gözenek miktarından mikro gözenek miktarının çıkarılmasıyla bulunmuştur (Çizelge 4.3) (Danielson ve Sutherland, 1986).

Çizelge 4.3. Deneme alanı toprağının gözeneklilik değerleri

Derinlik(cm)	% Toplam gözeneklilik	% Mikro gözeneklilik	% Makro gözeneklilik
0-10	61.36	37.73	23.63
10-30	55.37	39.88	15.49
30-60	53.77	42.41	11.36

4.1.2. Kimyasal Özellikler

Kireç ($CaCO_3$): Asit ile muamele edilen topraktan çıkan CO_2' in ölçülmesi esasına dayanan Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Çizelge 4.4) (Schlichting ve Blume, 1966).

Tuz Yüzdesi: Saturasyon ekstraktında, elektrikli kondaktivitimetre aleti ile ölçülmüştür (Çizelge 4.4) (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

Toprak Reaksiyonu (pH): Saturasyon ekstraktında, cam elektrotlu pH-metre aleti kullanılarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4) (Schlichting ve Blume, 1966).

Çizelge 4.4. Deneme alanı toprağının %$CaCO_3$, pH ve %tuz değerleri

Derinlik(cm)	$CaCO_3$ (%)	pH	Tuz (%)
0-10	26.54	7.49	0.07
10-30	26.96	7.63	0.06
30-60	27.80	7.65	0.06
60-90	26.96	7.64	0.07

Katyon Değişim Kapasitesi (KDK): Bower yöntemine göre belirlenmiştir. Değişim kompleksleri önce sodyum ve sonra da amonyum ile doyurulmuş, açığa çıkan sodyum miktarı alev fotometrede okunmuştur (Çizelge 4.5) (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

Değişebilir K^+: Toprağın değişim komplekslerindeki negatif elektrik yüklerin amonyum asetat ile doyurulmasından sonra amonyum asetat ekstraksiyonunun alev fotometrede okunması ile belirlenmiştir (Çizelge 4.5) (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

Değişebilir Na^+: Toprağın değişim komplekslerindeki negatif elektrik yüklerin amonyum asetat ile doyurulmasından sonra amonyum asetat

ekstraksiyonunun alev fotometrede okunması ile belirlenmiştir (Çizelge 4.5) (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

Değişebilir $Ca^{++}+Mg^{++}$: Değişebilir kalsiyum ve magnezyum, KDK'dan değişebilir sodyum ve potasyum toplamının çıkarılmasıyla bulunmuştur (Çizelge 4.5) (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

Çizelge 4.5. Deneme alanı toprağının katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyonların değerleri

Derinlik(cm)	KDK (mek/100g)	Na^{+} (mek/100g)	K^{+} (mek/100g)	$Ca^{++}+Mg^{++}$ (mek/100g)
0-10	41.94	1.46	0.84	39.64
10-30	42.08	1.47	0.65	39.95
30-60	40.07	1.55	0.46	38.06
60-90	45.15	1.59	0.59	42.97

Total Azot: Sülfürik asit ile yaş yakılan toprak örneğindeki N'u NH_4-N'u şekline dönüştürmek ve alkali ortamda yapılan destilasyon sonucu açığa çıkan NH_3'ı nötrleştiren asit miktarının başka bir asitle titre edilmesiyle yapılmıştır (Çizelge 4.6) (Bremmer, 1960).

Yarayışlı Fosfor: Ekstrakt çözeltisine geçen (0.5 M $NaHCO_3$) fosfor, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre yapılmıştır. Kaya (1982) nın modifiye ettiği şekilde Olsen e göre analiz edilmiştir (Çizelge 4.6) (Olsen ve Watanabe, 1957).

Organik Madde: Modifiye edilmiş Lichterfelder yaş yakma yöntemine göre yapılmıştır (Çizelge 4.6) (Schlicting ve Blume, 1966).

Çizelge 4.6. Deneme alanı toprağının azot, fosfor ve organik madde değerleri

Derinlik(cm)	N (%)	P_2O_5 (kg/da)	Organik madde (%)
0-10	0.09	6.16	1.17
10-30	0.08	5.35	0.85
30-60	0.11	3.58	0.97
60-90	0.1	2.7	0.77

4.2. Bitkisel Özellikler

Daha önce de değinilmiş olduğu gibi çalışma kapsamında ele alınan bitkisel özellikler 2000, 2001 ve 2002 buğday yetiştirme mevsiminde Seri-82 ekmeklik buğday çeşidinin ekildiği parsellerden (4 tekerrür) sağlanmıştır. Ekim metrekareye 450 tohum gelecek şekilde ayak arası mesafe 15 cm olan parsel mibzeri ile 8.0 m uzunluğundaki parsellerde yapılmıştır. Ekimden önce toprağa 80 kg ha^{-1} P_2O_5 gelecek şekilde triple süper fosfat (%42-44) karıştırılmıştır. Azot ise ekimde 50 kg/ha, kardeşlenmede 50 kg ha^{-1}, sapa kalkma da 50 kg ha^{-1}, karınlamada 50 kg ha^{-1} olmak üzere toplam 200 kg ha^{-1} N (NH_4NO_3 %33) kullanılmıştır. Yürütülen çalışmada buğday'ın aşağıdaki morfolojik ve fizyolojik özellikleri incelenip gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

4.2.1. İncelenen Özellikler

Yürütülen çalışmada buğday'ın gelişme dönemleri, yaprak alan indeksi (YAİ), biyomass (toprak üstü), yaprak fotosentez hızı, yaprak stoma iletkenliği, dane verimi, biyolojik verim, günlük madde üretimi ve hasat indeksi incelenip gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Gelişme Dönemleri: Çıkıştan itibaren bitkilerin gelişme durumu Zadoks (Zadoks ve ark., 1974) büyüme skalasına (ZBS) göre değerlendirilmiş, Çıkış (ZBS: 10), Kardeşlenme (ZBS:20), Sapa kalkma (ZBS:30), Başaklanma (ZBS: 55), Çiçeklenme (ZBS:64) ve Fizyolojik olum (ZBS:86) dönemlerinin gerçekleştiği gün (parseldeki bitkilerin %80'i), ekimden itibaren geçen termal süre olarak, **Σ(T-Tb)**, (T=Günlük Ortalama sıcaklık, Tb=Bazal sıcaklık=0) formülüne göre hesaplanmıştır (Çizelge 4.7-4.9).

Çizelge 4.7. Seri-82 buğday çeşidinde 2000 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları

Ekim Tarihi		10.12.1999	
Gelişme dönemleri	Tarih	Ekimden sonraki gün sayısı	Sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	29.12.1999	19	248
Kardeşlenme	09.02.2000	61	580
Sapa Kalkma	21.03.2000	101	994
Bayrak Yaprak	09.04.2000	120	1290
Başaklanma	17.04.2000	128	1436
Çiçeklenme	18.04.2000	129	1462
Fizyolojik olum	17.05.2000	158	2009

Çizelge 4.8. Seri-82 buğday çeşidinde 2001 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları

Ekim Tarihi		27.11.2000	
Gelişme dönemleri	Tarih	Ekimden sonraki gün sayısı	Sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	15.12.2000	18	273
Kardeşlenme	02.01.2001	36	427
Sapa Kalkma	30.01.2001	64	733
Bayrak Yaprak	10.03.2001	103	1215
Başaklanma	22.03.2001	115	1421
Çiçeklenme	04.04.2001	128	1656
Fizyolojik olum	25.04.2001	149	2025

Çizelge 4.9. Seri-82 buğday çeşidinde 2002 yılında gelişmenin farklı dönemleri için geçen gün sayısı ve sıcaklık toplamları

Ekim tarihi		17.01.2002	
Gelişme dönemleri	Tarih	Ekimden sonraki gün sayısı	Sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	08.02.2002	22	239
Kardeşlenme	19.02.2002	31	375
Sapa Kalkma	18.03.2002	58	773
Bayrak Yaprak	05.04.2002	76	1007
Başaklanma	12.04.2002	83	1123
Çiçeklenme	27.04.2002	98	1374
Fizyolojik olum	18.05.2002	119	1795

Yaprak Alan İndeksi (YAİ): Birim alandan farklı zamanlarda alınan bitki örneklerinin, yaprakları, yaprak yakacığından kesilerek elde edilen yaprak ayalarının iz düşüm alanı, LI-3200 (Licor . Inc.) cihazıyla ölçülerek saptanmıştır (Çizelge 4.10).

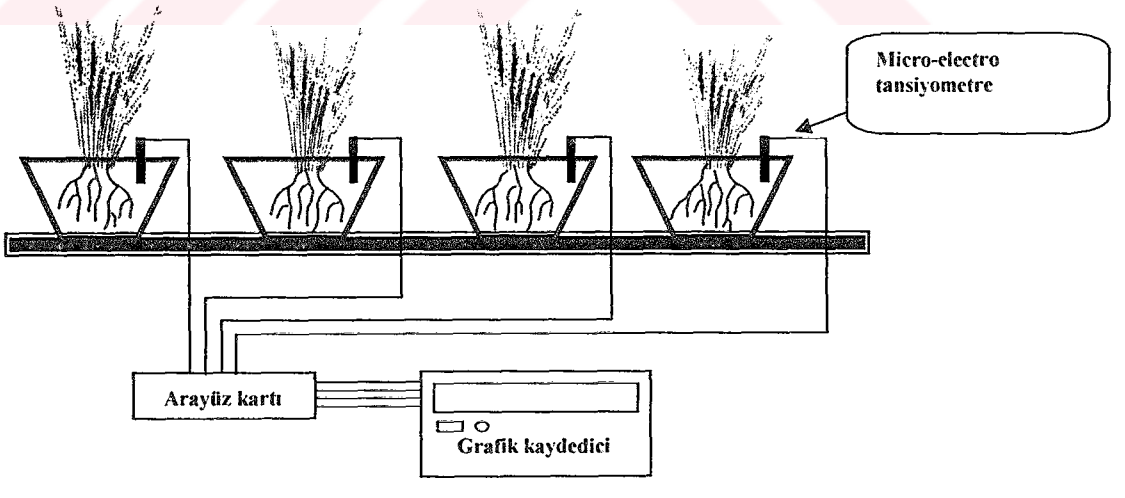
Çizelge 4.10. 2000, 2001, 2002 yılarına ait yaprak alan indeksi değerleri

Ekimden sonraki gün sayısı	2000	2001	2002
20	0.10	0.15	0.20
40	2.00	2.00	2.00
60	4.85	3.30	6.39
100	6.40	6.40	8.00
110			5.00
115			0.80
120	6.80	6.90	0.10
130	7.00	7.50	
140	4.30	3.50	
150	1.08	2.50	
160	0.26	0.40	

Yaprak Fotosentez Hızı (kg ha sa^{-1}): Ana sapta gelişimini tamamlamış en üst yaprağın orta bölümünde **LCA-3 (Carbon Dioxide Leaf Chamber Analysis System)** infrared gaz analiz sistemiyle ölçülmüştür (Çizelge 4.11).

Yaprak Stoma Direnci (s cm^{-1}): AP4-Delta-T Eijelkampt, Giesbech, The Netherlands tipi difüzyon porometresi kullanılarak, içinde bulunulan çevreye kalibre edilmiş küvetle s cm^{-1} olarak bayrak yaprakta alt ve üst epidermiste ayrı ayrı ölçülmüştür.

Serada kurulan aşağıdaki düzenekte toprak su içeriği, tarla kapasitesi ve tarla kapasitesi seviyesinden düşük tutularak, stoma direnci-toprak suyu matrik emişi arasındaki ilişki incelenmiştir.Toprakta tutulan suyun enerjisini ölçen ve gösteren matrik potansiyel tansiyometrelerle saptanmıştır. Toprak suyunun matrik potansiyeli her zaman negatif değerler aldığından, çalışmada bu olayı matrik emiş terimi ile özdeşdirerek, pozitif sayılar kullanılmıştır. Bunun için özellikle sera ortamında saksı denemeleri için kullanılan micro-elektro tansiyometreler kullanılmış ve çok hassas ölçümlerin elde edilmesi için elektronik arayüzler kullanarak, gerçek zaman diliminde (10 dakikada bir ölçüm alınmış ve saatlik ortalamaları alınmıştır) tansiyometrelerin değerleri grafik kayıt edicisine aktarılmıştır.



Şekil 4.1 Stoma direnci-toprak suyu matrik emişi arasındaki ilişkiyi görmek için serada kurulan düzenek

Biyolojik Verim (g m^{-2}): Her parselde belirli bir alandan alınmış olan bitki örneğinde ağırlıkları belirlenmiş olan tüm bitki kısımlarının ağırlıkları toplanarak metrekare başına hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

Dane Verimi (g m^{-2}): Her parselden alınmış olan bitki örneğinden elde edilen dane ürününün ağırlığı esas alınarak metrekare başına hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

Hasat İndeksi: Dane verimi, biyolojik verime oranlanarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. 2000-2001-2002 yıllarına ait biyomas, dane verimi, hasat indeksi, maksimum yaprak alan indeksi (L_{max}) ve maksimum brüt fotosentez hızı (F_{max}) değerleri

	2000	2001	2002
Biyomas (kg da^{-1})	1663	1152	1416
Dane verimi (kg da^{-1})	649	369	637
Hasat indeksi (%)	0.39	0.32	0.45
$YAİ_{max}$	7	7.5	8
F_{max} (kg ha sa^{-1})	29	29	29

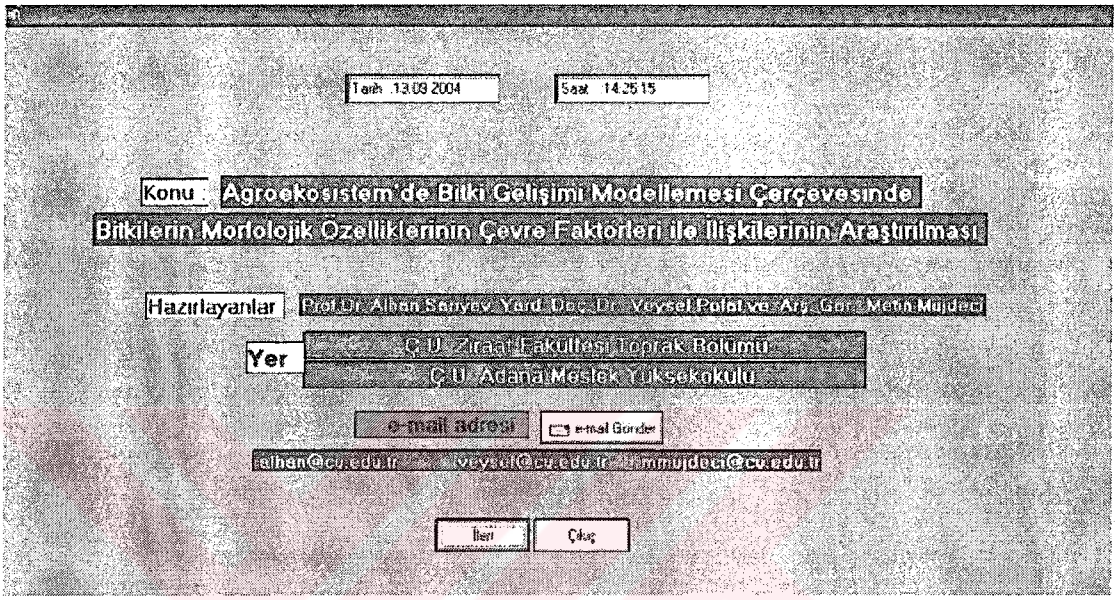
4.3. Modelde Yer Alan Blokların Bazı Parametrelerinin Belirlenmesi ve Modelin Sayısal Çözüm Yöntemleri

Bitki gelişim modelleri bloklar prensibinde kurulmuştur. Blokların birbirleriyle ilişkilendirilmesi için bir ana program geliştirilmiştir. Alt bloklar bilgisayara yüklenerek, ana program tarafından koordineli olarak işletilmekte, her hangi bir blokta güncelleştirme yapılması gerekiyor ise diğer bloklara zarar vermeden yeni yapı değişikliği ilgili blok üzerinde yapılabilmektedir.

Bitki gelişim modelinin bilgisayar programında kullanılan programlama dili olarak, **DELPHI 5.0** seçilmiştir. Windows altında çalışabilmesi, görsel, database uygulamalı grafik ortamının olması, bilimsel çalışmalar için yeterli matematiksel ve trigonometrik fonksiyonların olması ve ayrıca sayısal ifadelerin hassaslığının çok

büyük ve küçük değerler alabilmesi dolayısıyla, çalışmalarda çok geniş hareket etme imkanından yararlanılmaktadır.

Bilgisayar programının adı olan **'Yenidr'** komutunun verilmesiyle program çalışır. **'Çık'** seçeneğiyle programdan çıkılır ve **'İleri'** seçeneğiyle programın ileri düzeyde çalışması başlatılmış olur.

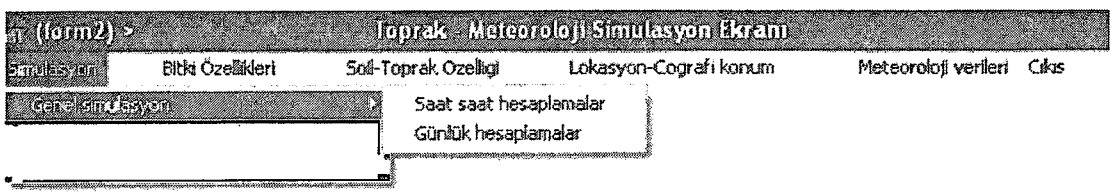


Şekil 4.2. Programın Açılış Ekranı

'İleri' komutunun verilmesiyle şekil 4.3'deki görüntü elde edilir ve ekranın üst kısmında sağdan sola doğru olan seçenekler çalıştırılır. Bu seçeneklere gerekli veriler girildikten sonra bilgisayar programı saatlik ve günlük çalıştırılır.

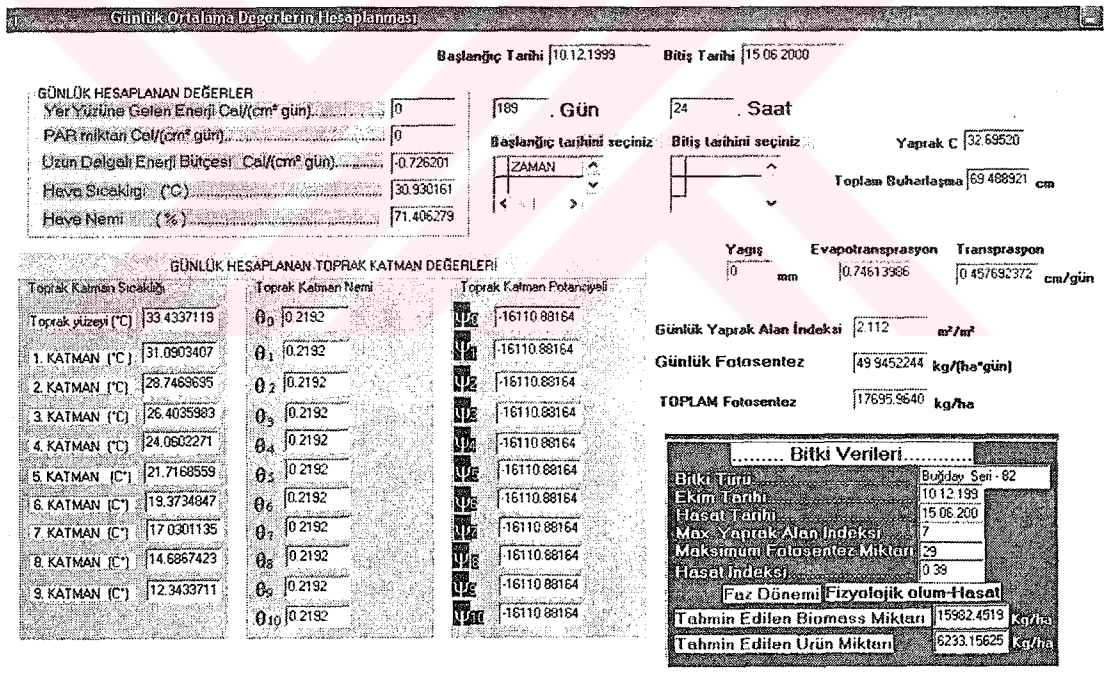


Şekil 4.3. Modelin İlk Giriş Penceresi



Şekil 4.4. Modelin Simülasyon Uygulamasını Başlatan Pencere

Şekil 4.5'de simülasyon uygulamasının başlangıç ve bitiş tarihleri seçilerek hesaplamalar başlatılır. Ekrandaki değerler zaman dilimleri içinde değişimler göstermektedir. Zaman diliminin seçilmesi ile beraber ekrana aşağıdaki pencere gelmekte ve burada yer yüzüne gelen enerji miktarı, bu enerjinin bitki için gerekli olan radyasyon miktarı Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR), uzun dalgalı enerji bütçesi, hava sıcaklığı, hava nemi, yaprak sıcaklığı, 10'ar cm kalınlığındaki toprak katmanlarında; toprak sıcaklığı, toprak nemi ve toprak su potansiyeli, buharlaşma, transpirasyon, yaprak alanı, fotosentez miktarı, buharlaşmaların toplamı, fotosentez miktarlarının toplamı, faz dönemleri, tahmin edilen biomas ve ürün miktarı hesaplanır ve ekranda görüntülenir. Pencerede ayrıca yağış miktarı, bitki türü, ekim tarihi, fizyolojik olum tarihi, maksimum yaprak alan indeksi, maksimum fotosentez hızı, respirasyon oranı ve hasat indeksi değerleri gösterilmektedir.



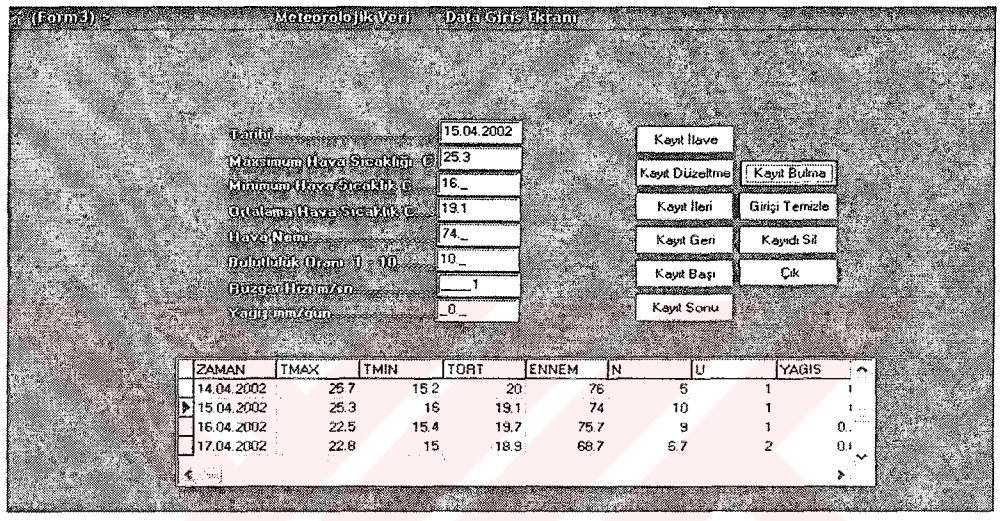
Şekil 4.5. Modelin simülasyon ekranı

Çalışma çerçevesinde bitki gelişim modelinin matematiksel modellenmesi için aşağıdaki temel alt bloklar geliştirilmiş ve modelde yer alan bazı matematiksel formüllerin çözümü için direk programlama bazıları için de uygun çözüm yöntemleri geliştirilmiş ve farklı zaman diliminde hesaplamalar yapmak için (saatlik ve günlük) programlama yapılmıştır.

4.3.1. Meteoroloji Bloğunun Sayısal Çözümü

Meteoroloji koşullarının dinamik modellenmesi için bölüm 3.1'de açıklanan matematiksel formüller kullanılarak direk programlama yapılmıştır.

Meteorolojik parametreler şekil 4.6'da verilen sıra ile bilgisayar ortamına girilmiştir.



Şekil 4.6. Meteorolojik Verilerin Kayıt Formu

Meteoroloji bloğunun matematiksel modellemesinde aşağıdaki, günlük parametreler bilgisayara girilmiştir.

- T_{min}: havanın minimum sıcaklığı (^{0}C),
- T_{max}: havanın maksimum sıcaklığı (^{0}C),
- T_{ort}: havanın ortalama sıcaklığı (^{0}C),
- φ: havanın nispi nemi(%),
- n: bulutluluk dereceleri ($0<n<10$),
- v: rüzgar hızı (m sn^{-1}),
- R_s: yağmur(mm $gün^{-1}$).

Bu yüklenmiş verilerin zaman dilimi içinde, istenilen bir aralığın seçilmesiyle (saatlik ve günlük) bilgisayar programı çalışmaya başlar ve bilgisayara yüklü verilerden seçilen zaman dilimine ait veriler okunarak hesaplamaya başlar.

Meteoroloji bloğunun çıkış parametreleri ise saatlik veya günlük değerler olarak aşağıda sıralanmıştır.

- Ortalama hava sıcaklığı (°C),
- Ortalama nispi nem (%).

4.3.2. Radyasyon Bloğunun (Kısa ve Uzun Dalga Boylu Enerjilerin) Sayısal Çözümü

Bölüm 3.2'de açıklanan matematiksel formüllerden yararlanarak, adım adım yer yüzüne gelen enerji miktarı, güneşin doğma zamanı, fotosentetik aktif radyasyon (PAR), kısa ve uzun dalgalı enerji bütçesinin direk programlaması yapılmıştır.

4.3.2.1. Güneşin Doğma Zamanının Hesaplanması

Bölüm 3.2.1'de açıklandığı gibi eşitlik (3.2.1.2-3.2.1.6)'den $\sinh_o=0$ koşuluna göre güneşin doğma zamanı (t_D) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Brejnev, 1992).

$$\sin\delta*\sin t +\cos\delta*\cos t *\cos(2\pi(t_D+12)/24)=0 \quad (4.3.2.1.1)$$

$$\sin\delta*\sin t = -\cos\delta*\cos t *\cos(2\pi(t_D+12)/24) \quad (4.3.2.1.2)$$

$$\cos((\pi*t_D/12)+\pi)=\cos(180+\pi*t_D/12)=-\cos(\pi*t_D/12) \quad (4.3.2.1.3)$$

$\cos 180=-1$ dir.

$$\cos(\pi*t_D/12)=\tan\delta*\tan t \quad (4.3.2.1.4)$$

$$\pi*t_D/12=\text{Arccos}(\tan\delta*\tan t) \quad (4.3.2.1.5)$$

$$t_D=12/\pi *\text{Arccos}(\tan\delta*\tan t) \quad (4.3.2.1.6)$$

Güneşin doğuş zamanının bu şekilde hesaplanmasından sonra güneşin batış zamanı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

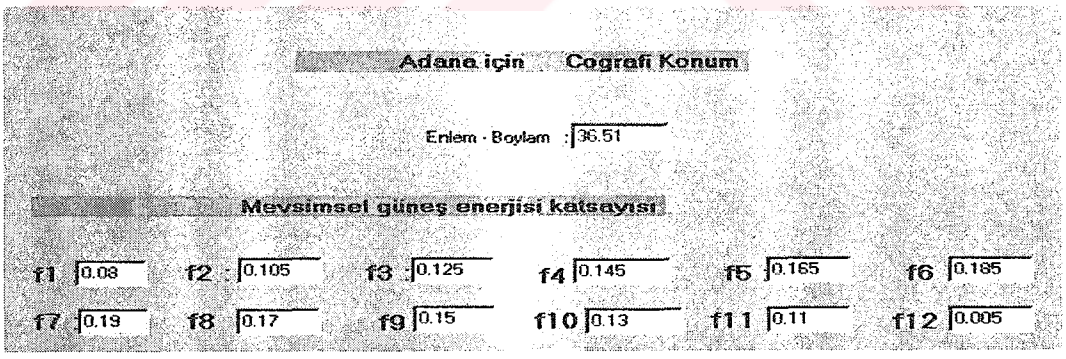
güneşin batması=24-güneşin doğduğu zamanki saat

Güneşin doğma zamanı uygulama alanının coğrafi konumu (δ), mevsimsel değer (t-21 mart dan başlayan takvimle belirlenen gün sayısı) dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu durumda güneşin doğuşundan başlayarak eşitlik (3.2.1.1) ile her saat yeryüzüne gönderilen kısa dalgalı toplam radyasyon değeri hesaplanmaktadır. Bu ilişki, güneşin batımına kadar çalışmaktadır. Güneş batımından itibaren programda radyasyon değeri sıfır kabul edilmektedir. Oysaki gerçekte bir miktar radyasyon vardır. Günlük toplam radyasyonun ölçülen ve tahmin edilen değerleri bölüm 5.1.2'de karşılaştırılmıştır.

Radyasyon bloğunda modelin giriş parametreleri aşağıdaki gibidir.

- δ: Coğrafi enlem (örneğin, Adana için, $36^{o}.51^{'}$),
- f: Mevsimsel katsayılar (Şekil 4.7),
- S_0: Güneş sabiti 1353 (W/m^2).

Bir alt program aracılığıyla bölgenin coğrafi konumu ve aylara göre f sabit değerleri şekil 4.7'deki gibi kayıt edilmektedir.



Şekil 4.7. Coğrafi konumla ilgili katsayıların girilmesi

Söz konusu bloğun çıkış parametreleri ise aşağıdaki gibidir.

- t_D: Güneşin coğrafi konuma ve mevsime göre doğma ve batma zamanı (saat),

- Q: Birim alana gelen kısa dalgalı radyasyon yoğunluğu (W/m^2),
- Q_{PAR}: Birim alana gelen PAR miktarı (W/m^2),
- K_r: Radyasyon düşürme katsayısı,
- ΔY_s: Uzun dalgalı radyasyon bütçesi (W/m^2).

4.3.3. Toprak Sıcaklığı Bloğunun Sayısal Çözümü

Bölüm 3.3'de açıklanan matematiksel formüller kullanılarak, 100 cm toprak derinliğinde 10'ar cm'lik katmanlarda, seçilen zaman dilimi içinde toprak sıcaklığının simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bitki gelişim modelinin temel bloklarından biri olan toprak sıcaklığı bloğunda, toprağın termal parametreleri; toprak nemine, derinliğe ve zamana bağlı olarak irdelenmiştir.

Bu amaçla, toprak sıcaklığını ve onu etkileyen toprağın termal parametrelerinin, bu parametrelere bağlı olan katman sıcaklıklarının belirlenebilmesi için, genel temel fizik kurallarına dayalı bir matematiksel yaklaşım ortaya konulmuştur.

Bir toprak katmanının derinliği $h_i(i=1,n)$, alanı F olursa bu katmanın hacmi,

$$W_i=h_i*F \qquad (4.3.3.1)$$

Bu katmanın toplam ısı kapasitesi C_{si} olursa, katmanın ısı miktarını Δt ($\Delta t=t_{k+1}-t_k$) süresinde ΔT kadar artırmak için ΔQ_i kadar enerji gerekmektedir.

$$\Delta Qi=C_{si}*h_i*F*\Delta t \qquad (4.3.3.2)$$

Enerjinin sakımı yasasına göre, bu süre içerisinde katmanın ısı miktarının değişmesi, katmana giren ve çıkan ısı akımlarının farkına eşit olacaktır.

$$\Delta Q_i = C_{si} * h_i * F * \Delta T = (f_{i+1} - f_i)\Delta t \quad (4.3.3.3)$$

Ayrıca toprağın belli katmanlarındaki ısı akımı toprak katmanının ısı iletim katsayısı ve ısı gradientine bağlıdır.

$$f = \lambda_s * \partial T_s / \partial x \quad (4.3.3.4)$$

$$f_i = (\lambda_{s\,i,\,i-1} / (h_i + h_{i-1}/2)) * F(T_i(t_k) - T_{i-1}(t_k)) \quad (4.3.3.5)$$

Burada, T_i, T_{i-1}, t_k zamanında i ve i-1 katmanlarının sıcaklıkları, $\lambda_{si,\,i-1}$ i ve i-1 katmanlarının ortalama ısı iletim katsayısı, h_i, i katmanının, h_{i-1} ise i-1 katmanının kalınlıklarıdır. Buna benzer şekilde f_{i+1}'ide aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$f_{i+1} = (\lambda_{s\,i,\,i+1} / (h_i + h_{i+1}/2)) * F(T_{i+1}(t_k) - T_i(t_k)) \quad (4.3.3.6)$$

Burada, T_{i+1}, t_k zamanında i+1 katmanının sıcaklığı $\lambda_{si,\,i+1}$ i ve i+1 katmanlarının ortalama ısı iletim katsayısı, h_{i+1} ise i+1 katmanının kalınlıklarıdır. 4.3.3.5-4.3.3.6 ifadelerini 4.3.3.3 de yerine koyarsak 4.3.3.7 nolu eşitliği elde ederiz.

$$C_{si} * h_i * F * (T_i(t_{k+1}) - T_i(t_k)) = (\lambda_{si,i+1} / (h_i + h_{i+1}/2)) * (T_{i+1}(t_k)\ T_i(t_k)) - (\lambda_{si,\,i-1} / (h_i + h_{i-1}/2)) * (T_i(t_k) - T_{i-1}(t_k)) * F * D_t \quad (4.3.3.7)$$

Toprak katmanlarının termal özellikleri toprak nem içeriğinin bir fonksiyonu olduğundan, homojen kabul edilen topraklar için ve katman kalınlıklarının sabit kabul edilmesi durumunda,

$$C_{s1} = C_{s2} = C_{si} = C_s$$
$$h_1 = h_2 = h_i = h_s$$
$$\lambda_{s1} = \lambda_{s2} = \lambda_{si} = \lambda_s \quad (4.3.3.8)$$

ve bu değerler (4.3.3.9). eşitlikte dikkate alındığında, her bir toprak katmanındaki sıcaklıkları aşağıdaki formülle hesaplanabilir. Ayrıca toprak katmanlarının başlangıç

sıcaklıkları (t_k anında) bilinirse aşağıdaki formülle t_{k+1} zamanında katmanlarda toprak sıcaklığı dağılımları da belirlenebilmektedir.

$$T_i(t_{k+1})-T_i(t_k)=\lambda_s*\Delta t/C_s*h^2[T_{i-1}(t_k)-2T_i(t_k)+T_{i+1}(t_k)] \quad (4.3.3.9)$$

Yukarıdaki denklemde;

$\lambda_s \Delta t/C_s h^2$ ifadesi boyutsuz bir değerdir. Bu A_t olarak tanımlandığında;

$$A_t=\lambda_s \Delta t/C_s h^2 \quad (4.3.3.10)$$

olur.

A_t değeri için boyutsal analiz yapılırsa;

$\frac{(\frac{cal}{cm.sn.^0C})sn}{(\frac{cal}{cm^3.^0C}).cm^2}$ A_t nin boyutsuz olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki (4.3.3.9) nolu denklem son olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir,

$$T_i(t_{k+1})=T_i(t_k)+A_t[(T_{i-1}(t_k)-2T_i(t_k)+T_{i+1}(t_k)] \quad (4.3.3.11)$$

Bu ifadeden yararlanarak Δt zaman adımına göre istenilen katmanın sıcaklık dağılımları hesaplanabilir (Poluektov,1991, Sarıyev ve ark., 1996).

Eşitlik (4.3.3.11)'i daha sade biçime dönüştürerek, söz konusu katman sıcaklığı için yüzey ve alt katmanın sıcaklık ve konumları arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$T_j=\frac{N_S-j}{N_S}T_0+\frac{j}{N_S}T_{NS} \quad (4.3.3.12)$$

Burada;

T_0: toprak yüzey sıcaklığı,

N_S: katman sayısı,

T_{NS}: alt katmanın sıcaklığı,

T_j: j inci katman sıcaklığı.

Örnek verirsek;

Katman sayısı 10 olan bir toprakta 3. katman (j=3) için sıcaklık değeri,

$$T_3 = \frac{10-3}{10} T_0 + \frac{3}{10} T_{NS}$$

Görüldüğü gibi katman yüzeye yakınsa yüzey sıcaklığı etkili olmakta, tersi durumda ise alt katman sıcaklığı etkili konuma gelmektedir.

Toprak sıcaklığı bloğunun giriş parametreleri;

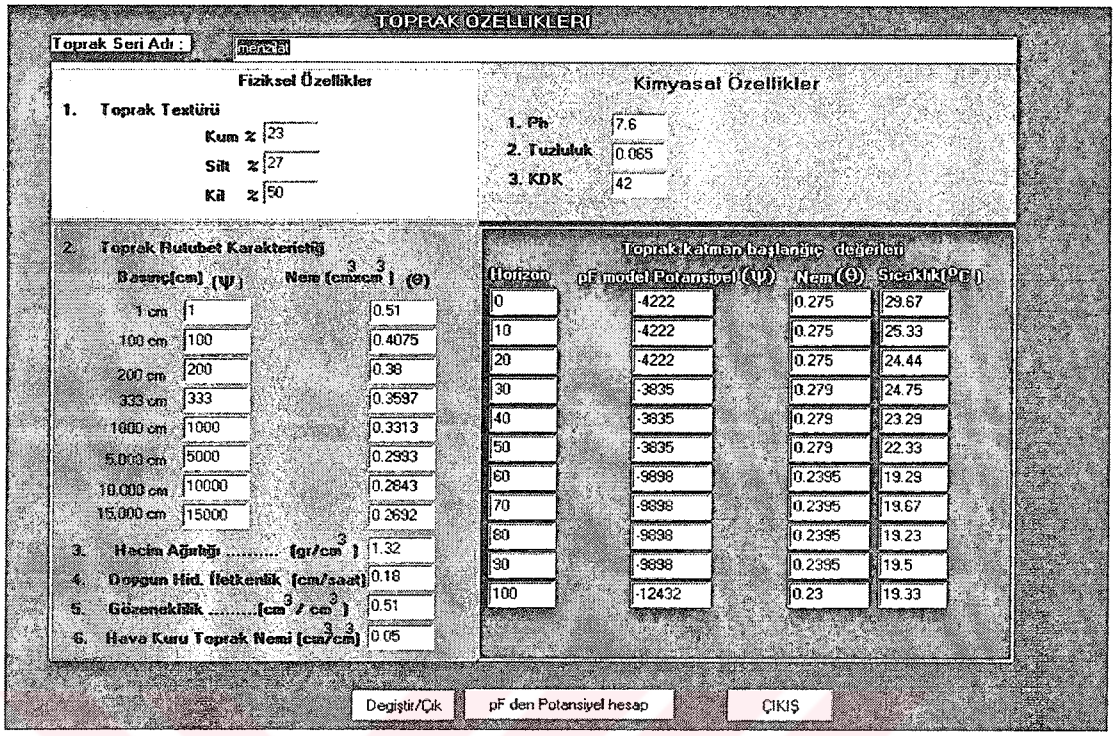
- toprak katman kalınlığı h=10 cm,
- katman sayısı i=10,
- toprağın albedosu A=0.15,
- toprağın alt sınır koşulu için T_x=100=19.33°C.

Yukarıda açıklanan giriş verilerine toprak katmanlarındaki başlangıç sıcaklık değerleri'de eklenmektedir.

T(0)=29.67, T(1)=25.33, T(2)=24.44, T(3)=24.75, T(4)=23.29, T(5)=22.33, T(6)=19.29, T(7)=19.67, T(8)=19.23, T(9)=19.33 (^{0}C).

Modelin çıkış parametresi, katmanlardaki toprak sıcaklık değerleridir.

Şekil 4.8'de verilen toprak özellikleri penceresinde deneme alanı toprağının, temel fiziksel (tekstür, hacim ağırlığı, hidrolik iletkenlik, gözeneklilik, hava kurusu nem içeriği, toprak rutubet karakteristiği) ve kimyasal özellikleri (pH, tuzluluk, KDK) kayıt edilir. Toprak katmanlarında başlangıç nem ve sıcaklık değerleri ölçülerek bilgisayara girilir.



Şekil 4.8. Modele girilen temel toprak özellikleri penceresinin görünümü

4.3.4. Toprak Su Bloğunun Sayısal Çözümü

Toprak su dinamiğinin sayısal olarak çözümlenmesi için bölüm 3.4'deki ve aşağıdaki eşitlikler kullanılarak 100 cm toprak derinliğinde 10'ar cm'lik katmanlarda, toprak nemi ve onun pF eğrisi modelinden hesaplanan su potansiyelinin seçilen zaman dilimi içerisindeki değişimi, simüle edilmektedir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.8).

Penning De Veries ve Van Laar (1982), tarafından geliştirilmiş olan aşağıdaki modelde, topraktan buharlaşan toplam su, tüm katmanlardan olan buharlaşmaların ayrı ayrı hesap edilip toplanması ile elde edilmiştir.

Yüzeye gelen yağmur miktarı her katmanı o anki nem içeriğine göre, tarla kapasitesine (TK) ulaştırdıktan sonra, alt katmanlara yağmurun etkisi başlar. Gelen yağmur miktarının kaç katmanı ıslatacağı algoritma ile izlenmekte ve bundan sonra toprak katmanlarında yeni bir nem profili oluşarak, diğer zaman dilimleri için yeniden buharlaşmanın etkisi (eğer sonraki günlerde yağmur yoksa) devreye girmektedir.

Her hangi bir katmandan su buharlaşma hızı (E_{Rn}) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{Rn}=F_n*AEVR \quad (4.3.4.1)$$

E_{Rn}: n inci katmandan su buharlaşma hızı, (mm gün^{-1}),

F_n: n inci katmandan su kayıp oranı,

AEVR: toplam buharlaşma miktarı (mm gün^{-1}).

n inci toprak su içeriğinin derinliğe göre ağırlıklı azalma katsayısı (VAR_n), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$VAR_n=(\Theta_{bn}-\Theta_{hk})*\exp(-PROP*(TDT_n+0.5*\Delta x_n)) \quad (4.3.4.2)$$

VAR_n: n inci toprak su içeriğinin derinliğe göre ağırlıklı azalma katsayısı,

PROP: katsayı (1.2), Model değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.

TDT_n: n inci katman başlangıcı,

Θ_{bn}: n inci katmanın başlangıç hacimsel su içeriği (cm^3 cm^{-3}),

Θ_{hk}: Toprağın hava kurusu hacimsel su içeriği (cm^3 cm^{-3}),

Δx_n: n inci toprak katman kalınlığı (m),

Toprak yüzeyinde katman kalınlığını dikkate alan ağırlıklı toplam VAR değeri (SUM_1) değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SUM_1=VAR_1*\Delta x_1 \quad (4.3.4.3)$$

Diğer alt katmanlarda ise, n inci katman kalınlığını dikkate alan ağırlıklı toplam VAR değerleri, (SUM_n) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SUM_n=SUM_{n-1}+(VAR_n*\Delta x_n) \quad (4.3.4.4)$$

SUM_n: n inci katman kalınlığını dikkate alan ağırlıklı toplam VAR değerleri,

n inci katmandan su kayıp oranı (F_n), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_n=\Delta x_n*VAR_n/SUM_{NR} \quad (4.3.4.5)$$

SUM_{NR}: en alttaki katman kalınlığını dikkate alan ağırlıklı toplam VAR değerleri,

n inci katman hacimsel su içeriği ($\Delta\Theta_n$), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta\Theta_n=-ER_n/\Delta x_n \quad (4.3.4.6)$$

$\Delta\Theta_n$: n inci katman hacimsel su içeriği,

n inci katman son hacimsel su içeriği (Θ^s_n), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Theta^s_n=\Theta_b+\Delta\Theta_n \quad (4.3.4.7)$$

Toprak su içeriğinin saptanması ile söz konusu konumdaki toprak suyunun matrik potansiyeli (emişi) aşağıdaki eşitlikle saptanmıştır.

$$P_i=P_D*\exp(A*(\Theta_D-\Theta_i) \quad (4.3.4.8)$$

Bu ilişkide,

P_D: laboratuarda doygun toprak örneğinde uygulanan su yükü ile saptanarak (15 cm H_2O) bulunmuştur.

Bu bloğun giriş parametreleri:

- P_d: doygunluk durumundaki toprak suyunun potansiyeli (15 cm H_2O),
- Θ_d: doygunluk durumundaki toprak su içeriği (0.51 $cm^3\ cm^{-3}$),
- Θ_{hk}: toprağın hava kuru su içeriği (0.05 $cm^3\ cm^{-3}$),
- A: yarı ampirik katsayı (24),
- PROP: katsayı (1.2),
- ρa: havanın yoğunluğu ($\rho a=1.2*10^{-3}$ g cm^{-3}),
- toprağın başlangıç su içeriği,
- toprak suyunun başlangıç potansiyel değerleri.

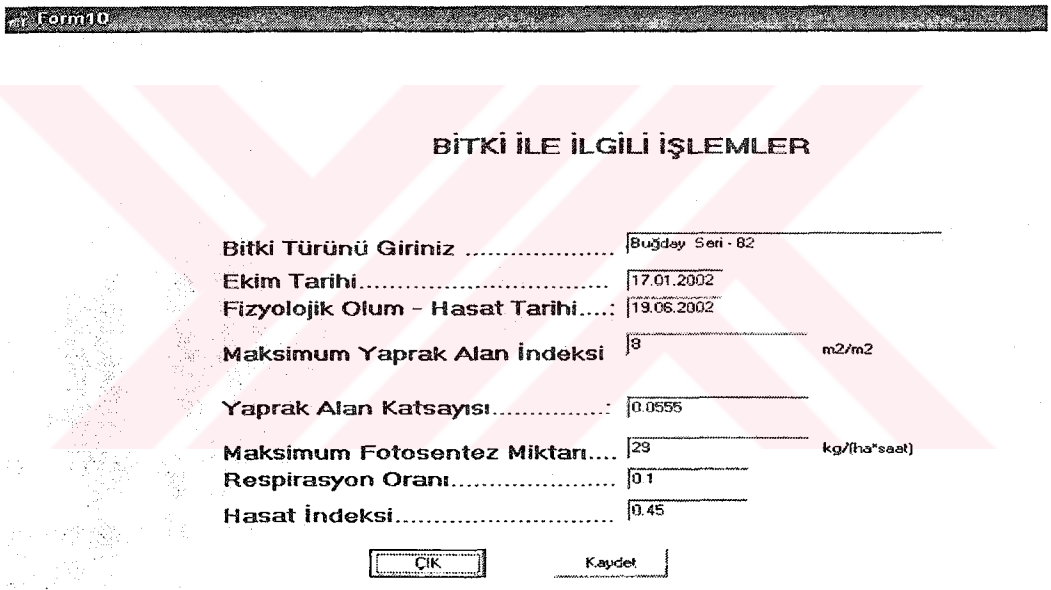
Bu bloğun çıkış parametreleri aşağıdaki gibidir:

- Katmanlardaki toprak nem içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$),
- Katmanlardaki toprak su potansiyeli (cm H_2O),
- Her katmandan buharlaşma miktarı, (evaporasyon) (cm $saat^{-1}$)
- Toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon) (cm $saat^{-1}$).

4.3.5. Bitki Bloğunun Sayısal Çözümü

Bitki bloğunun matematiksel modellemesinde, bölüm 3.5'deki eşitlikler kullanılarak sayısal çözümleri yapılmıştır. Gelişme dönemleri, yaprak alanı indeksi, yaprak stoma direnci, transpirasyon hızı, fotosentez ve respirasyon hızı ve verim tahmini seçilen zaman dilimi içerisinde simüle edilmiştir.

Şekil 4.9'daki pencereye bitki türü, ekim tarihi, fizyolojik olum tarihi, maksimum yaprak alan indeksi, yaprak alan katsayısı, hasat indeksi, maksimum fotosentez hızı ve respirasyon oranı değerleri girilip kayıt edilir. Daha sonra şekil 4.5'de istenilen zaman diliminde program çalıştırılıp çıkış parametreleri elde edilir.



Şekil 4.9. Modelde bitki parametrelerinin girilmesi için kullanılan pencere

Bitki bloğunun giriş parametreleri:

- Ekim tarihi,
- Fizyolojik olum tarihi,
- L_{max}: Maksimum yaprak alan indeksi,
- L_{min}:Minimum yaprak alan indeksi,
- F_{max}: Maksimum brüt fotosentez miktarı(kg ha^{-1} sa^{-1}),
- K: Respirasyon oranı,

- Hİ: Hasat indeksi,
- r: yaprak alan indeksi sabiteleri (r_{max}, r_{min}).

Bitki bloğunun çıkış parametreleri:

- L_t: yaprak alan indeki,
- E_q: transpirasyon miktarı,
- F: fotosentez miktarı,
- Biomass miktarı
- Verim miktarı

4.3.5.1. Gelişme Dönemleri

Buğdayın ekim tarihinden fizyolojik oluma kadar geçen süre içerisindeki, gelişme dönemleri bölüm 3.5.1'deki eşitlikler kullanılarak çözülmüştür. Bilgisayar programında kullanılan, gelişme dönemlerinin gerçekleştiği sıcaklık toplamları (kışlık buğday) aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Poluektov, 1991).

Çizelge 4.12. Gelişme dönemleri sıcaklık toplamları

Gelişme dönemleri	Sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	254
Kardeşlenme	460
Sapa Kalkma	835
Bayrak Yaprak	1170
Başaklanma	1325
Çiçeklenme	1500
Fizyolojik olum	1950

4.3.5.2. Yaprak Alan İndeksi

Buğdayın arazi yüzeyini kaplamasından sonra maksimum (çiçeklenme dönemi) yaprak alan indeksi meydana gelinceye kadarki dönem için bölüm 3.5.2'de verilen modelin çözümü aşağıdaki gibidir.

$$L_t = \frac{L_{max} * L_{min} * e^{r_{max} * t}}{L_{max} + L_{min} * (e^{r_{max} * t} - 1)} \quad (4.3.5.2.1)$$

t: gün sayısı

L_{max}: Maksimum yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2})

L_{min}: Minimum yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2})

r_{max}: sabite, yıllara göre deneme sonuçlarından elde edilmiştir. Sırasıyla 2000. 2001 ve 2002 için (0.0855, 0.0155, 0.0555) olmuştur.

Maksimum yaprak alan indeksine ulaştıktan sonra yaprak alan indeksinin belirlenmesinde ise bölüm 3.5.2'de verilen modelin çözümü aşağıdaki gibi olmuştur.

$$L_t = \frac{L_{max} * L_{min} * e^{r_{min} * t}}{L_{min} + L_{max} * (e^{r_{min} * t} - 1)} \quad (4.3.5.2.2)$$

r_{min}: maksimum yaprak alan indeksi meydana geldikten sonra kullanılan sabite (0.0002199). Model değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.

4.3.5.3. Yaprak Stoma Direnci

Yaprak stoma direncinin belirlenmesinde, bölüm 3.5.3'deki, toprak suyunun matrik emişi ve havanın nispi nemi dikkate alınarak geliştirilen, yarı amprik model kullanılarak direk programlama yapılmıştır.

4.3.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı

Buğdayın günlük yaprak alan değişimine dayalı net fotosentez miktarının hesaplanması için bölüm 3.5.4'deki eşitliklerin kullanılmasıyla aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir.

$$F_n = (F - R) * e^{(b*(L_{max} - L)} \quad (4.3.5.4.1)$$

F: brüt fotosentez,

F_n: net fotosentez (kg ha^{-1} sa^{-1})

b: sabite (0.24), Model değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir.

L_{max}: maksimum yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2}),

L: günlük yaprak alan indeksi (m^2 m^{-2})

R=K*F

K: respirasyon oranı (K=0.1), hava sıcaklığına göre 0.1-0.3 arasında değişir,

R: Solunum miktarı.

4.3.5.5. Transpirasyon Hızı

Transpirasyon miktarının belirlenmesi için bölüm 3.5.5'deki eşitlikler kullanılarak direk programlama yapılmıştır.

4.3.5.6. Verim Tahmini

Verim tahmini iki şekilde yapılmıştır. Birincisi, bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su, topraktan olan maksimum buharlaşma miktarı ve çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerlerinin dikkate alındığı eşitlik 3.5.6.1 kullanılarak toplam biyomas hesaplanmıştır.

Toplam biyomas, ikinci olarak bölüm 3.5.4 deki (3.5.4.1-3.5.4.2) eşitliklerde belirtilen ve sayısal çözümü bölüm 4.3.5.4'de eşitlik (4.3.5.4.1) kullanılarak elde edilen günlük net fotosentez miktarlarının toplanmasıyla hesaplanmıştır (3.5.6.2).

Biyomas (bitki kuru maddesi) değerinin, hasat indeksi ile çarpılmasıyla, tahmin edilen verim miktarı (kg/da) hesaplanmıştır.

4.3.6. Model Değerleri ile Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması

Çalışmada ölçüm değerleri ile tahmin edilen değerler arasındaki uyum, korelasyon katsayısı (r), determinasyon katsayısı (η) ve nispi hata ($\%\varepsilon$) değerleri belirlenerek tespit edilmiştir.

Korelasyon katsayısı(r), Excel paket programında hesaplanmıştır.

Geliştirilen matematiksel modeller ile hesaplanmış değerlerin, ölçülen değerler ile arasındaki uyumluluk, (belirginlik, tespit, belirleme, uyum iyiliği) olarak belirtilen determinasyon katsayısı ise aşağıda ifade edilen eşitlikle hesaplanmıştır (Kılıçbay, 1986, Kleinbaum ve ark., 1998).

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}} \qquad (4.3.6.1)$$

Burada;

η : determinasyon katsayısı,

y_i : ölçülen değerler,

$\tilde{y}_i$: tahmin edilen değerler,

$\bar{y}$: ölçülen değerlerin ortalaması,

n : ölçülen değerlerin sayısı.

Determinasyon katsayısı $0 \leq \eta \leq 1$ olup her zaman pozitif bir sayıdır.

Tahmin edilen değerlerle ölçülen değerler arasındaki nispi hata ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\%\varepsilon = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| \qquad (4.3.6.2)$$

$\%\varepsilon$: Nispi hata yüzdesi

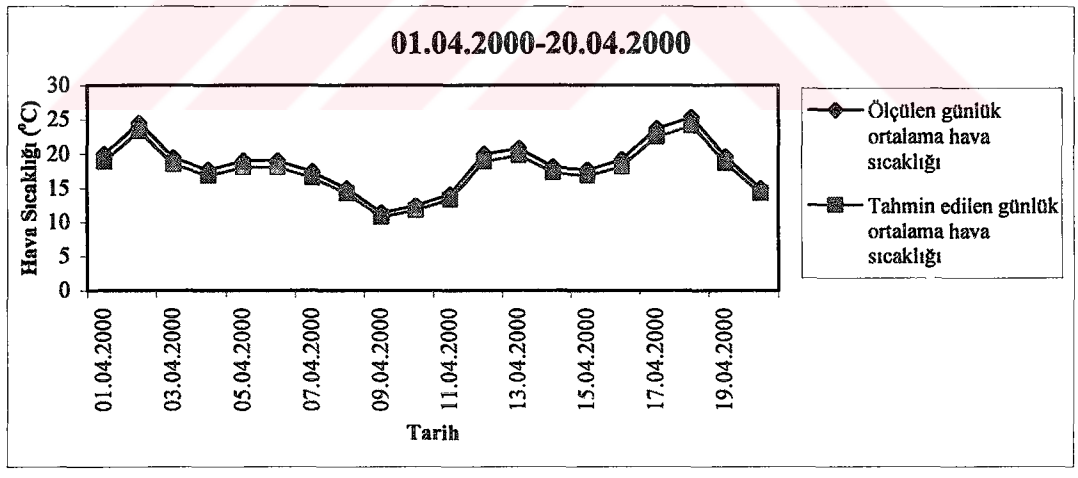
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Geliştirilmiş Matematiksel Modelin Test Edilmesi

Çalışma sonucunda geliştirilmiş bitki gelişim modelinin temel bloklarının simülasyon değerleri ile üç yıllık (2000, 2001, 2002) arazi denemesinden alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.1.1. Hava Sıcaklığı ve Nispi Nemin Ölçüm ve Model Değerlerinin Karşılaştırılması

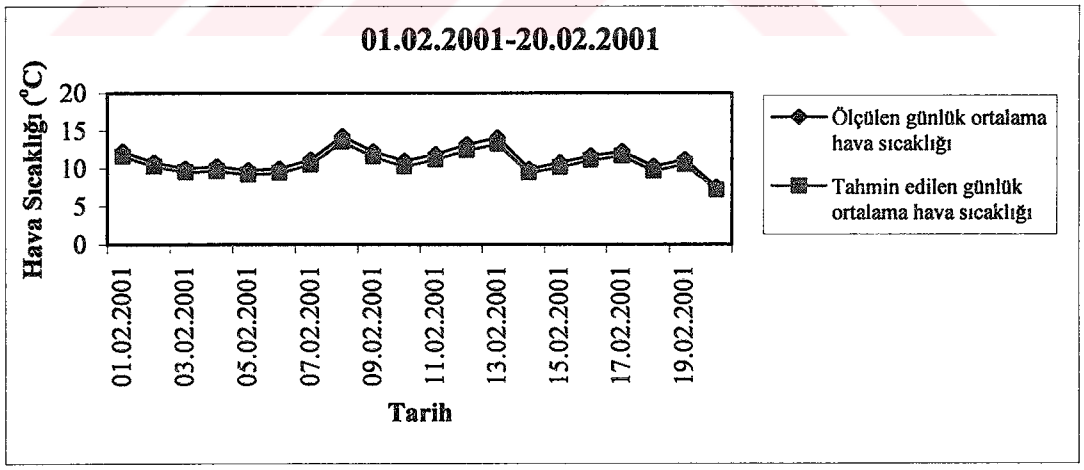
Poluektov ve ark., (1989) ve Sarıyev (1991) tarafından geliştirilen SIMONA bitki gelişim modelinden alınmış ve eşitlik (3.1.1-3.1.5)'de açıklaması yapılmış meteoroloji bloğunun çıkış parametrelerinden biri olan hava sıcaklığı değerleri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adana Bölge Müdürlüğünden alınan ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.1-5.3 ve Çizelge 5.1-5.3).



Şekil 5.1. 01.04.2000-20.04.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.1. 01.04.2000-20.04.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

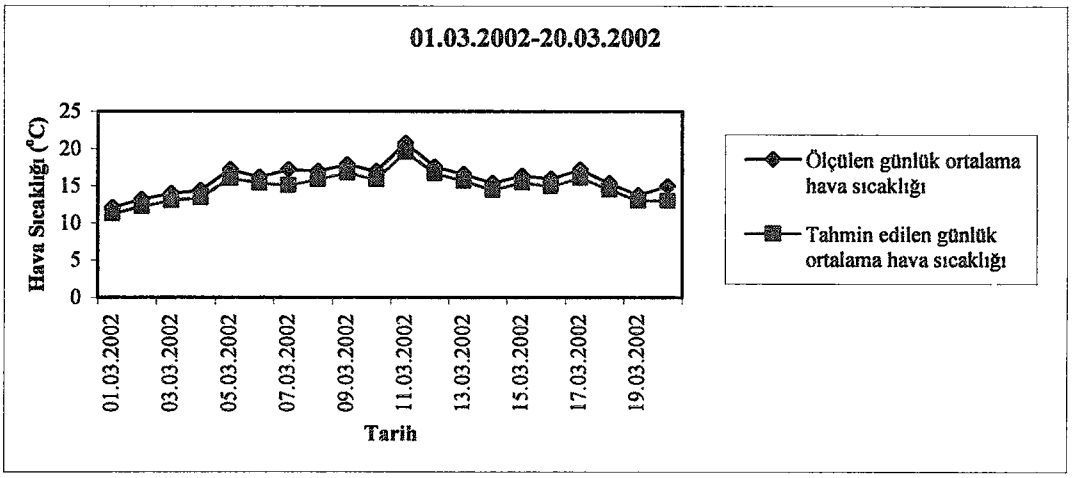
Tarih	Ölçülen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)
01.04.2000	20.00	18.91
02.04.2000	24.50	23.31
03.04.2000	19.40	18.50
04.04.2000	17.70	16.83
05.04.2000	19.00	18.05
06.04.2000	19.00	18.03
07.04.2000	17.40	16.55
08.04.2000	15.00	14.26
09.04.2000	11.40	10.83
10.04.2000	12.50	11.78
11.04.2000	14.10	13.34
12.04.2000	20.00	18.89
13.04.2000	20.80	19.79
14.04.2000	18.10	17.25
15.04.2000	17.70	16.84
16.04.2000	19.20	18.17
17.04.2000	23.70	22.45
18.04.2000	25.30	24.09
19.04.2000	19.60	18.69
20.04.2000	15.00	14.33
r=1.00, $\eta = 0.96$, $\%\varepsilon = 5$		



Şekil 5.2. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.2. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

Tarih	Ölçülen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)
01.02.2001	12.30	11.62
02.02.2001	10.80	10.30
03.02.2001	10.00	9.53
04.02.2001	10.30	9.68
05.02.2001	9.80	9.20
06.02.2001	10.00	9.39
07.02.2001	11.20	10.52
08.02.2001	14.30	13.54
09.02.2001	12.30	11.56
10.02.2001	11.00	10.28
11.02.2001	11.90	11.17
12.02.2001	13.20	12.41
13.02.2001	14.10	13.27
14.02.2001	9.90	9.44
15.02.2001	10.80	10.16
16.02.2001	11.70	11.09
17.02.2001	12.30	11.66
18.02.2001	10.30	9.66
19.02.2001	11.20	10.56
20.02.2001	7.50	7.17
r=1.00, $\eta = 0.91$, $\%\varepsilon = 6$		



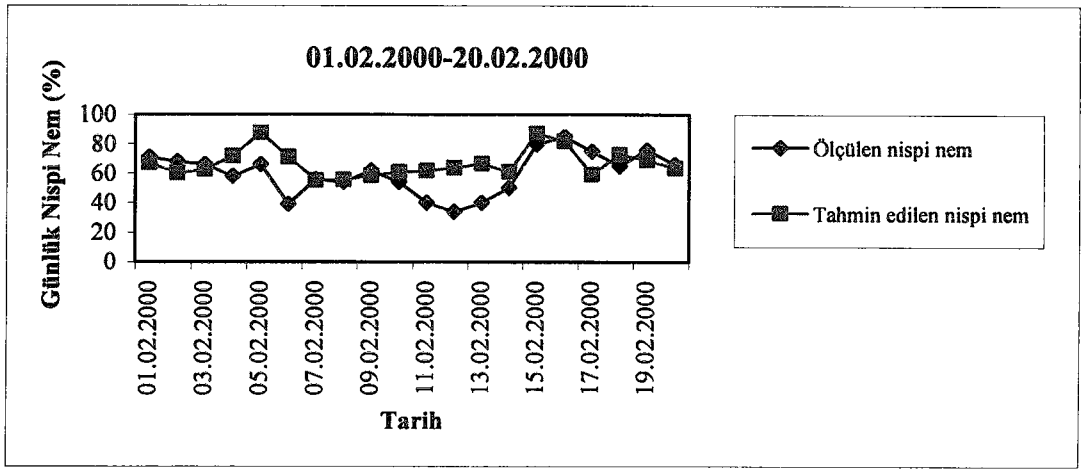
Şekil 5.3. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.3. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri

Tarih	Ölçülen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)
01.03.2002	12.10	11.22
02.03.2002	13.20	12.24
03.03.2002	14.00	13.03
04.03.2002	14.40	13.41
05.03.2002	17.20	16.07
06.03.2002	16.20	15.41
07.03.2002	17.20	15.11
08.03.2002	17.00	15.87
09.03.2002	17.90	16.76
10.03.2002	17.00	15.88
11.03.2002	20.80	19.57
12.03.2002	17.60	16.68
13.03.2002	16.60	15.70
14.03.2002	15.40	14.46
15.03.2002	16.40	15.49
16.03.2002	16.00	14.97
17.03.2002	17.20	16.13
18.03.2002	15.40	14.54
19.03.2002	13.80	13.03
20.03.2002	15.00	13.03
r=0.98, $\eta = 0.80$, $\%\varepsilon = 7$		

2000, 2001 ve 2002 yıllarında farklı zamanlarda ölçülen hava sıcaklığı değerleri, tahmin edilen hava sıcaklığı değerlerinden yüksek çıkarken, aralarındaki korelasyon katsayıları (r) sırasıyla 1, 1 ve 0.98, determinasyon katsayıları (η) 0.96, 0.91 ve 0.80 ve nispi hataları ($\%\varepsilon$), 5, 6 ve 7 olmuştur (Çizelge 5.1-5.3).

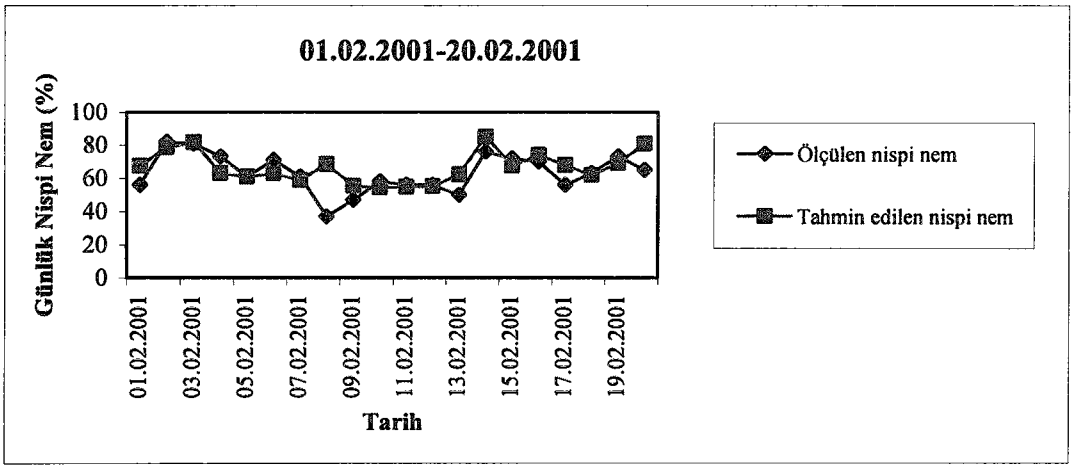
Ayrıca meteoroloji bloğunun çıktılarından olan nispi nem değerleri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adana Bölge Müdürlüğünden alınan nispi nem değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.4-5.6, Çizelge 5.4-5.6).



Şekil 5.4. 01.02.2000-20.02.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

Çizelge 5.4. 01.02.2000-20.02.2000 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

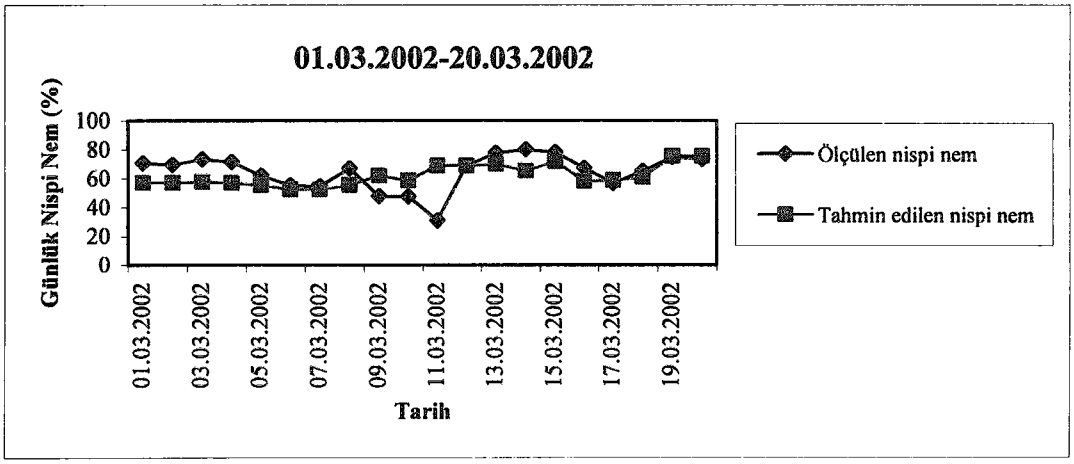
Tarih	Ölçülen nispi nem (%)	Tahmin edilen nispi nem (%)
01.02.2000	71	67
02.02.2000	68	60
03.02.2000	66	63
04.02.2000	58	72
05.02.2000	66	88
06.02.2000	39	71
07.02.2000	56	55
08.02.2000	54	56
09.02.2000	62	59
10.02.2000	54	61
11.02.2000	40	62
12.02.2000	34	64
13.02.2000	40	67
14.02.2000	50	61
15.02.2000	80	87
16.02.2000	85	82
17.02.2000	75	59
18.02.2000	65	73
19.02.2000	76	69
20.02.2000	66	64
r=0.40, η-anlamsız, $\%\varepsilon = 24$		



Şekil 5.5. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

Çizelge 5.5. 01.02.2001-20.02.2001 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

Tarih	Ölçülen nispi nem (%)	Tahmin edilen nispi nem (%)
01.02.2001	56	67
02.02.2001	82	79
03.02.2001	81	82
04.02.2001	73	63
05.02.2001	61	61
06.02.2001	71	63
07.02.2001	61	59
08.02.2001	37	68
09.02.2001	47	55
10.02.2001	58	54
11.02.2001	56	55
12.02.2001	56	55
13.02.2001	50	62
14.02.2001	76	85
15.02.2001	72	68
16.02.2001	70	74
17.02.2001	56	68
18.02.2001	63	62
19.02.2001	73	69
20.02.2001	65	81
r=0.58, $\eta = 0.45$, $\%\varepsilon = 13$		



Şekil 5.6. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

Çizelge 5.6. 01.03.2002-20.03.2002 tarihlerinde ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri

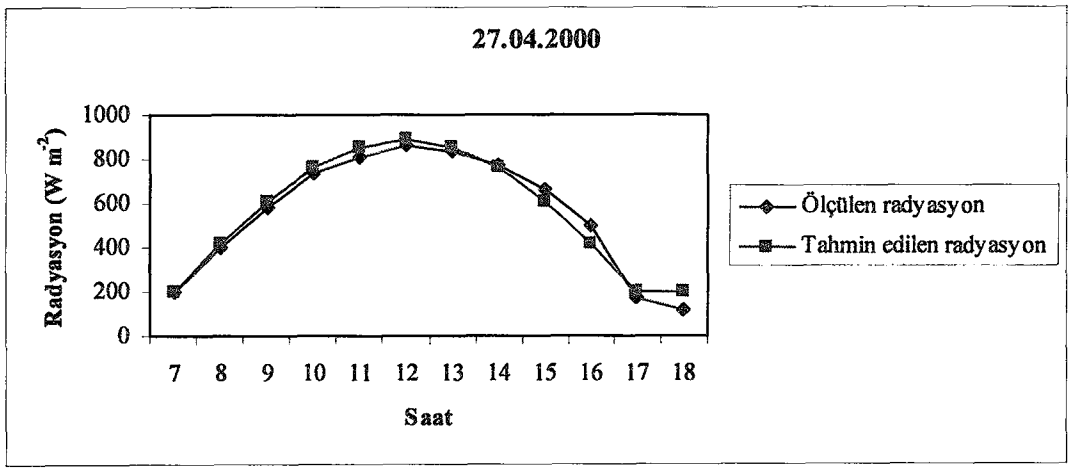
Tarih	Ölçülen nispi nem (%)	Tahmin edilen nispi nem (%)
01.03.2002	71	57
02.03.2002	70	57
03.03.2002	73	58
04.03.2002	72	57
05.03.2002	62	56
06.03.2002	55	53
07.03.2002	55	53
08.03.2002	67	56
09.03.2002	48	62
10.03.2002	48	59
11.03.2002	31	69
12.03.2002	69	69
13.03.2002	78	70
14.03.2002	80	65
15.03.2002	78	72
16.03.2002	67	58
17.03.2002	57	59
18.03.2002	65	61
19.03.2002	75	76
20.03.2002	73	76
r=0.27, η-anlamsız, $\%\varepsilon = 18$		

2000, 2001 ve 2002 yıllarında farklı zamanlarda ölçülen ve tahmin edilen nispi nem değerleri aralarındaki korelasyon katsayıları (r) sırasıyla 0.4, 0.58 ve 0.27 olmuştur (Çizelge 5.4-5.6). 2000 ve 2002 yıllarında determinasyon katsayısı anlamsız çıkarken nispi hataları ($\%\varepsilon$) sırasıyla 24 ve 18 olmuştur. 2001 yılında determinasyon katsayısı (η) 0.45, nispi hatası ($\%\varepsilon$) 13 çıkmıştır (Çizelge 5.5). Deneme alanının konumu nispi nem miktarının tahmininde hatalara sebep olmuş, bu nedenle hava sıcaklıklarına benzer uyumlu sonuçlar elde edilememiştir.

Meteorolojik verilerin simülasyonu ile ilgili benzer çalışmalarda, Mirschel ve ark. (1997), AGROSİM modelini geliştirirken, Sirotenko (1981) ve Poluektov (1991) enerji ve kütle akımlarının, toprak sıcaklığı, toprak nemi, radyasyon rejimi, meteoroloji bloğu, fotosentez ve büyüme bloklarını detaylı irdeleyerek, bunları bir bütün halinde çalıştırmışlardır.

5.1.2. Kısa Dalgalı Radyasyonun Ölçüm ve Model Değerlerinin Karşılaştırılması

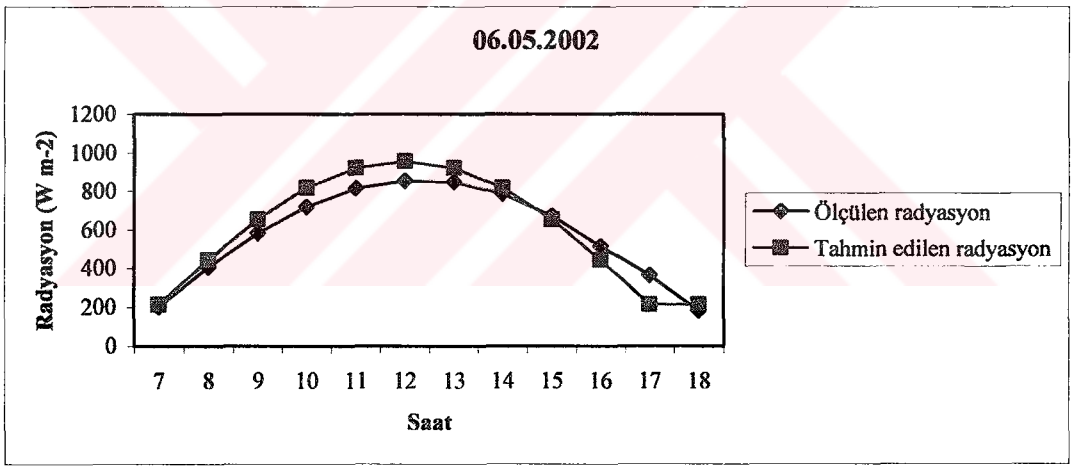
Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adana Bölge Müdürlüğünden alınan radyasyon ölçüm değerleri, bölüm 3.2'de açıklanan matematiksel formüllerden yararlanarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.7-5.8 ve Çizelge 5.7-5.8).



Şekil 5.7. 27.04.2000 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri

Çizelge 5.7. 27.04.2000 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri

Saat	Ölçülen radyasyon ($W\ m^{-2}$)	Tahmin edilen radyasyon ($W\ m^{-2}$)
7	203	199
8	400	415
9	583	609
10	732	760
11	807	856
12	868	889
13	841	856
14	773	760
15	665	609
16	502	415
17	170	199
18	122	199
r=0.99, $\eta = 0.99$, $\%\varepsilon = 11$		



Şekil 5.8. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri

Çizelge 5.8. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen radyasyon değerleri

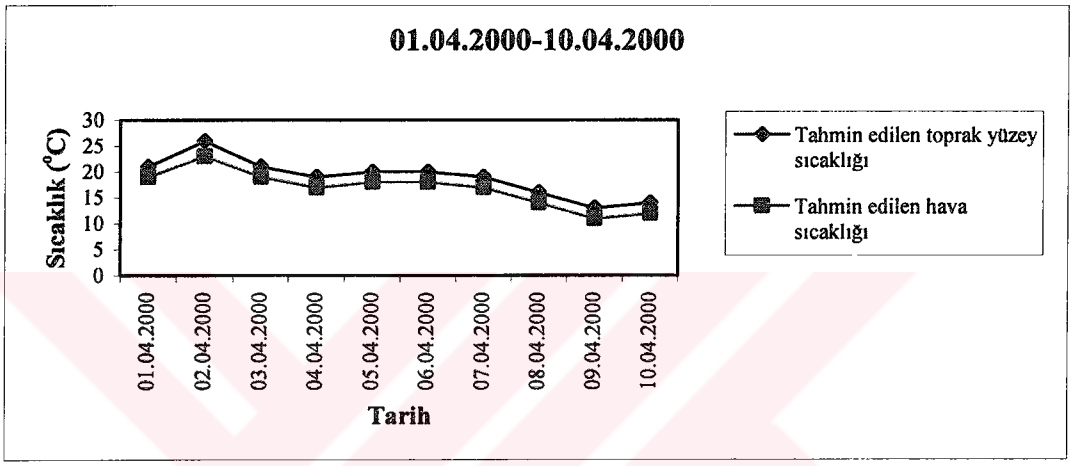
Saat	Ölçülen radyasyon ($W\ m^{-2}$)	Tahmin edilen radyasyon ($W\ m^{-2}$)
7	203	215
8	407	446
9	583	655
10	719	818
11	814	921
12	854	957
13	848	921
14	787	818
15	671	655
16	515	446
17	366	215
18	183	215
r=0.97, $\eta = 0.94$, $\%\varepsilon = 13$		

27.04.2000 ve 06.05.2002 tarihlerinde ölçülen radyasyon değerleri ile tahmin edilen radyasyon değerleri arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla (r) 0.99 ve 0.97, determinasyon katsayıları (η), 0.99 ve 0.94 ve nispi hataları ($\%\varepsilon$) ise 11 ve 13 çıkmıştır (Çizelge 5.7-5.8).

Monisi ve Sacki (1953), bitki topluluğu veya populasyonunda, radyasyon dağılımını belirlerken, Kasagaha ve Monisi (1954), radyasyon bloğunu daha da geliştirerek bitkileri yaprak dağılımına göre katmanlara ayırmışlardır. Sirotenko (1981) ve Poluektov (1991) enerji ve kütle akımlarının, toprak sıcaklığı, toprak nemi, radyasyon rejimi, meteoroloji bloğu, fotosentez ve büyüme bloklarını detaylı irdeleyerek, bunları bir bütün halinde çalıştırmışlardır. Green ve McNaughton (1997) stoma iletkenliği dağılımının hesaplanabilmesi için yaprak alanı üzerinde radyasyon dağılımını hesaplamışlardır. Yu ve ark. (2002) kışlık buğdayın fotosentez hızını, 1995-1996 yıllarında Tibet yaylasında yüksek güneş ışığı ve düşük CO_2 basıncında ölçmüşlerdir.

5.1.3. Toprak Yüzey Sıcaklığı-Hava Sıcaklığı Model Değerlerinin Karşılaştırılması

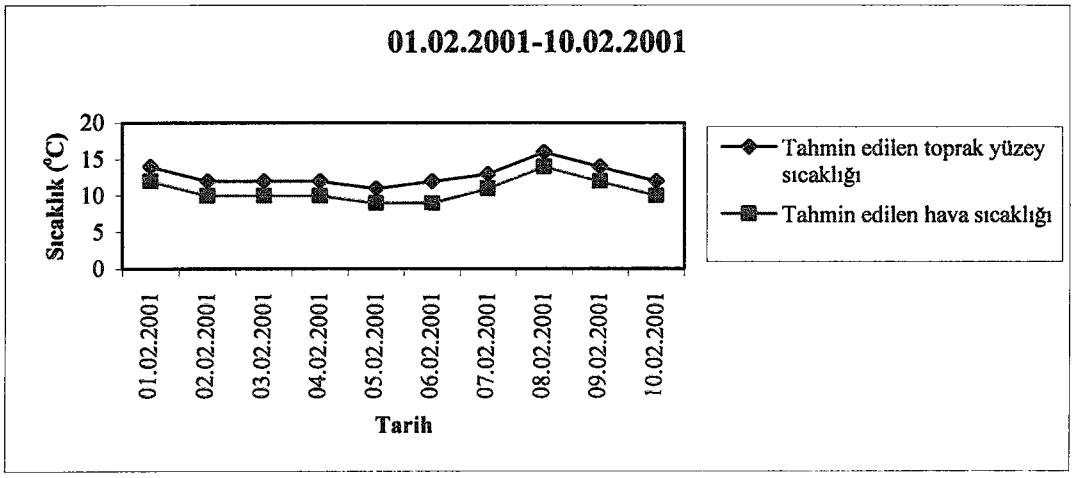
Toprak sıcaklığı bloğunda ölçüm yapılmadığı için modelin çıkış parametrelerinden biri olan tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı (bölüm 3.3'de eşitlik 3.3.5 kullanılarak) ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.9-5.11 ve Çizelge 5.9-5.11).



Şekil 5.9. 01.04.2000-10.04.2000 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.9. 01.04.2000-10.04.2000 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

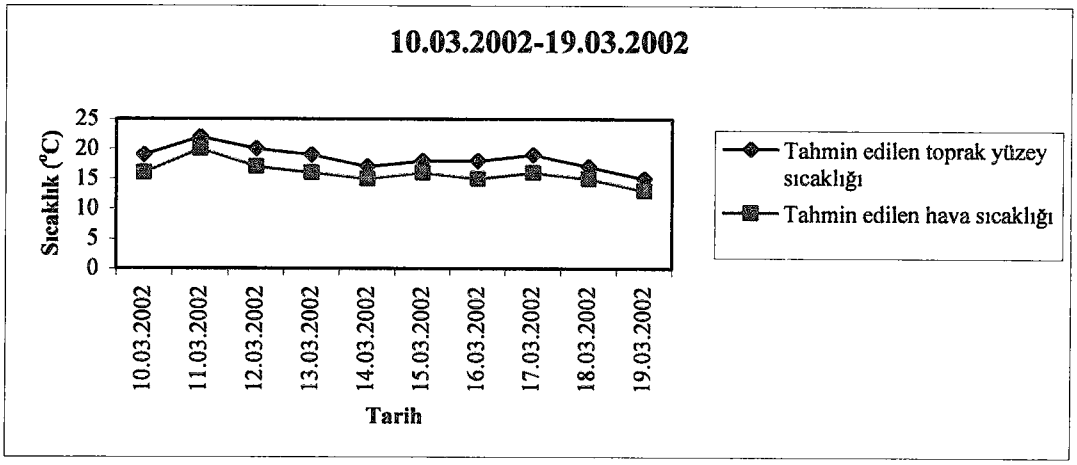
Tarih	Tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen hava sıcaklığı (°C)
01.04.2000	21	19
02.04.2000	26	23
03.04.2000	21	19
04.04.2000	19	17
05.04.2000	20	18
06.04.2000	20	18
07.04.2000	19	17
08.04.2000	16	14
09.04.2000	13	11
10.04.2000	14	12
r=1.00, $\eta = 0.81$, $\%\varepsilon = 11$		



Şekil 5.10. 01.02.2001-10.02.2001 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.10. 01.02.2001-10.02.2001 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

Tarih	Tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen hava sıcaklığı (°C)
01.02.2001	14	12
02.02.2001	12	10
03.02.2001	12	10
04.02.2001	12	10
05.02.2001	11	9
06.02.2001	12	9
07.02.2001	13	11
08.02.2001	16	14
09.02.2001	14	12
10.02.2001	12	10
r=0.98, η-anlamsız, $\%\varepsilon = 17$		



Şekil 5.11. 10.03.2002-19.03.2002 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

Çizelge 5.11. 10.03.2002-19.03.2002 tarihlerinde tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı ve tahmin edilen hava sıcaklığı değerleri

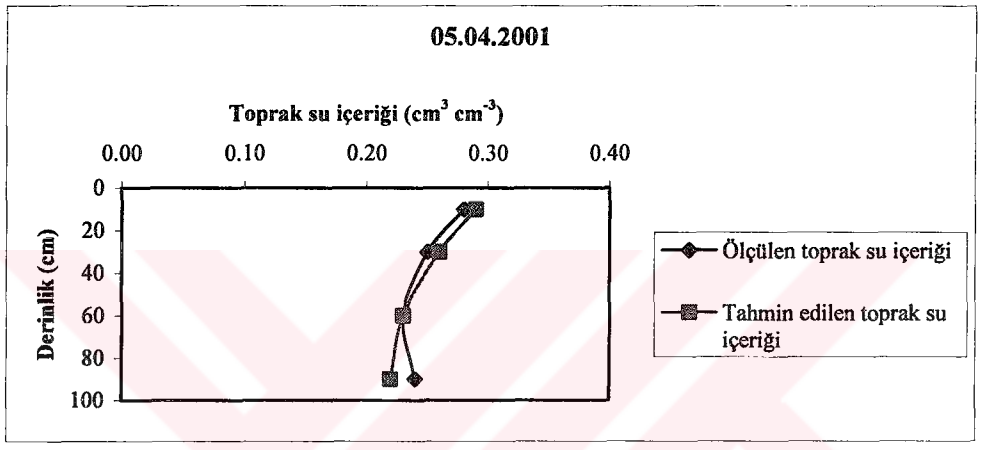
Tarih	Tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı (°C)	Tahmin edilen hava sıcaklığı (°C)
10.03.2002	19	16
11.03.2002	22	20
12.03.2002	20	17
13.03.2002	19	16
14.03.2002	17	15
15.03.2002	18	16
16.03.2002	18	15
17.03.2002	19	16
18.03.2002	17	15
19.03.2002	15	13
r=0.96, η -anlamsız, $\%\varepsilon = 14$		

2000, 2001 ve 2002 yıllarında farklı zamanlardaki tahmin edilen toprak yüzey sıcaklığı değerleri, tahmin edilen hava sıcaklığı değerlerinden yüksek çıkarken, aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla (r) 1, 0.98 ve 0.96, determinasyon katsayısı (η) 2000 yılında 0.81 çıkarken 2001 ve 2002 yıllarında anlamsız çıkmıştır. Nispi hataları ($\%\varepsilon$) sırasıyla, 11, 17 ve 14 olmuştur (Çizelge 5.9-5.11).

Lou (1991), Aydın (1997), Polat (2000), Çelebi (2001) ve Ramsbeck ve ark. (1997), toprak sıcaklığının zamanla değişimini izlemek amacıyla benzer simülasyon modelleri kullanmışlardır.

5.1.4. Toprak Su Dinamiğinin Model ve Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması

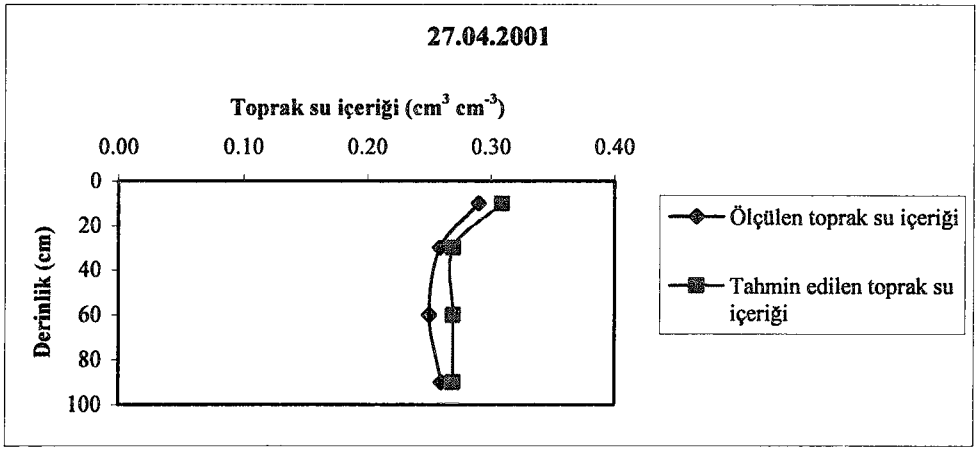
Bitkisel üretimde, verimi sınırlayan en önemli gelişim faktörlerinden biri olan topraktaki suyun, zamana ve derinliğe bağlı olarak değişimini izlemek amacıyla kurulan, toprak su bloğunda, toprak suyunun ölçülen değerleri ile tahmin edilen toprak suyu değerlerinin uyumlu olup olmadığını test etmek için, deneme alanından toprak örneği alınarak hacimsel su içeriği belirlenmiş ve aynı tarihlerde tahmin edilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.12-5.13 ve Çizelge 5.12-5.13).



Şekil 5.12. 05.04.2001 tarihinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri

Çizelge 5.12. 05.04.2001 tarihinde ölçülen su içeriği değerleri ile tahmin edilen su içeriği değerleri

Derinlik (cm)	Ölçülen toprak su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)	Tahmin edilen toprak su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)
10	0.28	0.29
30	0.25	0.26
60	0.23	0.23
90	0.24	0.22
r=0.93, $\eta = 0.76$, $\%\varepsilon = 4$		



Şekil 5.13. 27.04.2001 tarihinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri

Çizelge 5.13. 27.04.2001 tarihinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri

Derinlik (cm)	Ölçülen toprak su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)	Tahmin edilen toprak su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$)
10	0.29	0.31
30	0.26	0.27
60	0.25	0.27
90	0.26	0.27
r=0.97, $\eta = 0.27$, $\%\varepsilon = 5$		

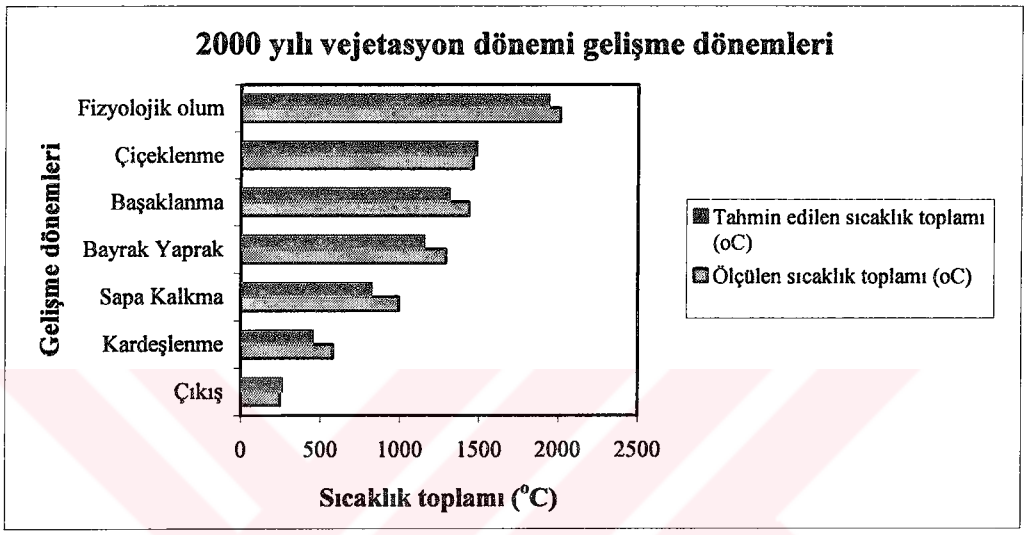
05.04.2001 ve 27.04.2001 tarihlerinde ölçülen toprak su içeriği değerleri ile tahmin edilen toprak su içeriği değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (r) sırasıyla 0.93 ve 0.97 iken determinasyon katsayıları(η), 0.76 ve 0.27 çıkmıştır. Nispi hataları ($\%\varepsilon$) ise sırasıyla, 4 ve 5 olmuştur (Çizelge 5.12-5.13). Toprak suyunun yukarı doğru hareketinden dolayı 10 cm'de toprak su içeriği daha yüksek çıkmıştır.

Topraktaki suyun zamana ve derinliğe bağlı olarak değişimi ile ilgili benzer çalışmaları Ramsbeck ve ark.(1997), Antonopoulos (1997), Canbolat ve Sarıyev (1997), Antonopoulos ve Wyseure (1998), Polat (2000), Antonopoulos (2000), ve Antonopoulos (2001), yapmışlardır.

5.1.5. Bitki Bloğu Model ve Ölçüm Değerlerinin Karşılaştırılması

5.1.5.1. Gelişme Dönemleri

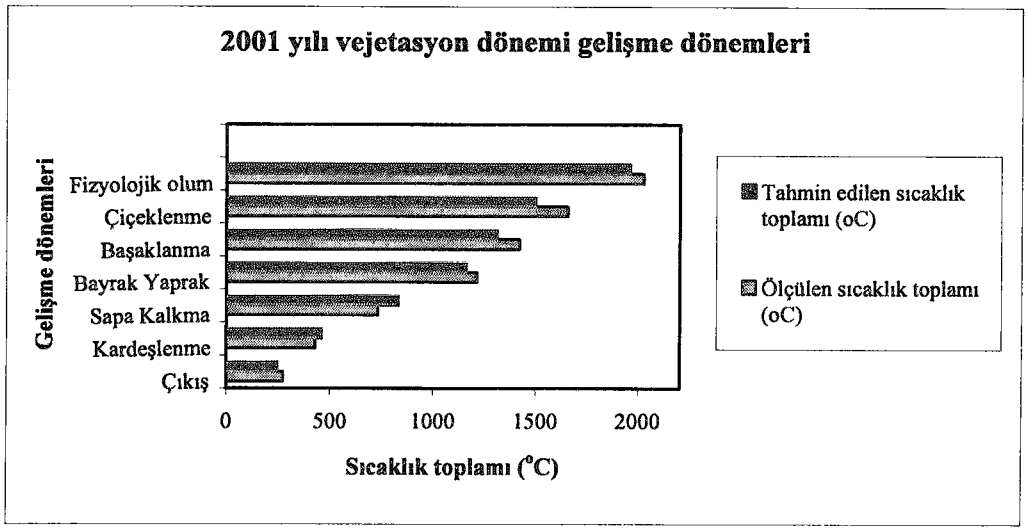
2000, 2001 ve 2002 vejetasyon dönemine ait gelişme dönemlerinin (sıcaklık toplamı ve ekimden sonraki gün sayısı) ölçülen değerleri ve tahmin edilen değerleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 5.14-5.16 ve Çizelge 5.14-5.16).



Şekil 5.14. 2000 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık toplamları

Çizelge 5.14. 2000 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları

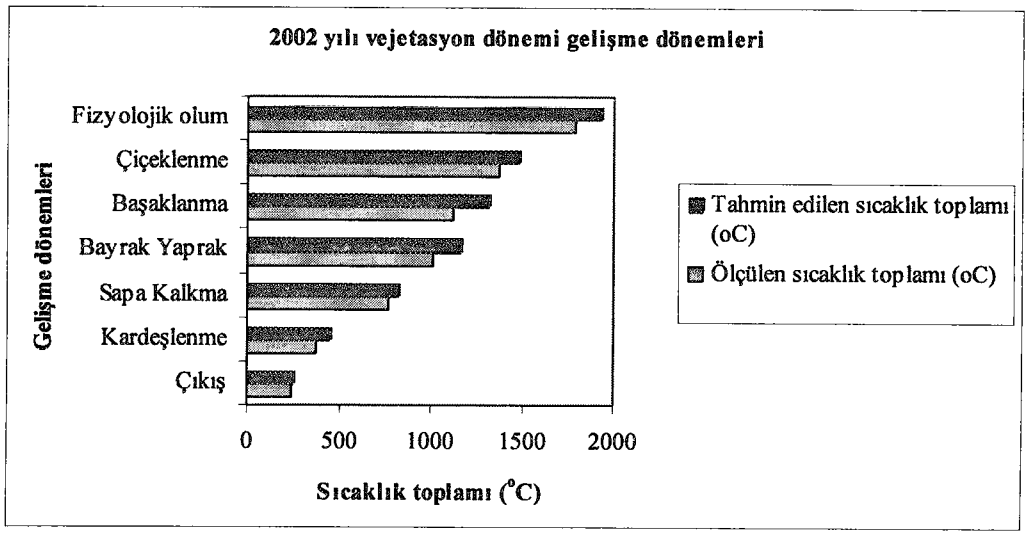
Gelişme dönemleri	Ekimden sonraki ölçülen gün sayısı	Ekimden sonraki tahmin edilen gün sayısı	Ölçülen sıcaklık toplamı (°C)	Tahmin edilen sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	19	22	248	258
Kardeşlenme	61	52	580	452
Sapa Kalkma	101	94	994	819
Bayrak Yaprak	120	119	1290	1152
Başaklanma	128	129	1436	1309
Çiçeklenme	129	139	1462	1483
Fizyolojik olum	158	162	2009	1935
	r=0.99, $\eta = 0.99, \% \varepsilon = 7$		r=0.99 $\eta = 0.98, \% \varepsilon = 10$	



Şekil 5.15. 2001 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık toplamları

Çizelge 5.15. 2001 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları

Gelişme dönemleri	Ekimden sonraki ölçülen gün sayısı	Ekimden sonraki tahmin edilen gün sayısı	Ölçülen sıcaklık toplamı (°C)	Tahmin edilen sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	18	22	273	246
Kardeşlenme	36	42	427	459
Sapa Kalkma	64	78	733	833
Bayrak Yaprak	103	105	1215	1164
Başaklanma	115	115	1421	1313
Çiçeklenme	128	125	1656	1500
Fizyolojik olum	149	152	2025	1960
	r=1.00, $\eta = 0.99$, $\%\varepsilon = 10$		r=0.99, $\eta = 0.99$, $\%\varepsilon = 8$	



Şekil 5.16. 2002 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık toplamları

Çizelge 5.16. 2002 yılı vejetasyon dönemi gelişme dönemleri ölçülen ve tahmin edilen, ekimden sonraki gün sayıları ve sıcaklık toplamları

Gelişme dönemleri	Ekimden sonraki ölçülen gün sayısı	Ekimden sonraki tahmin edilen gün sayısı	Ölçülen sıcaklık toplamı (°C)	Tahmin edilen sıcaklık toplamı (°C)
Çıkış	22	25	239	253
Kardeşlenme	31	43	375	453
Sapa Kalkma	58	69	773	828
Bayrak Yaprak	76	92	1007	1169
Başaklanma	83	102	1123	1318
Çiçeklenme	98	111	1374	1487
Fizyolojik olum	119	133	1795	1939
	r=1.00, $\eta = 0.91, \%\varepsilon = 20$		r=1.00, $\eta = 0.97, \%\varepsilon = 12$	

2000, 2001 ve 2002 vejetasyon dönemine ait gelişme dönemleri (sıcaklık toplamı) ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (r) sırasıyla 0.99, 0.99 ve 1.00, determinasyon katsayıları (η) 0.98, 0.99 ve 0.97 iken nispi hataları ($\%\varepsilon$), 10, 8 ve 12 olmuştur (Çizelge 5.14-5.16).

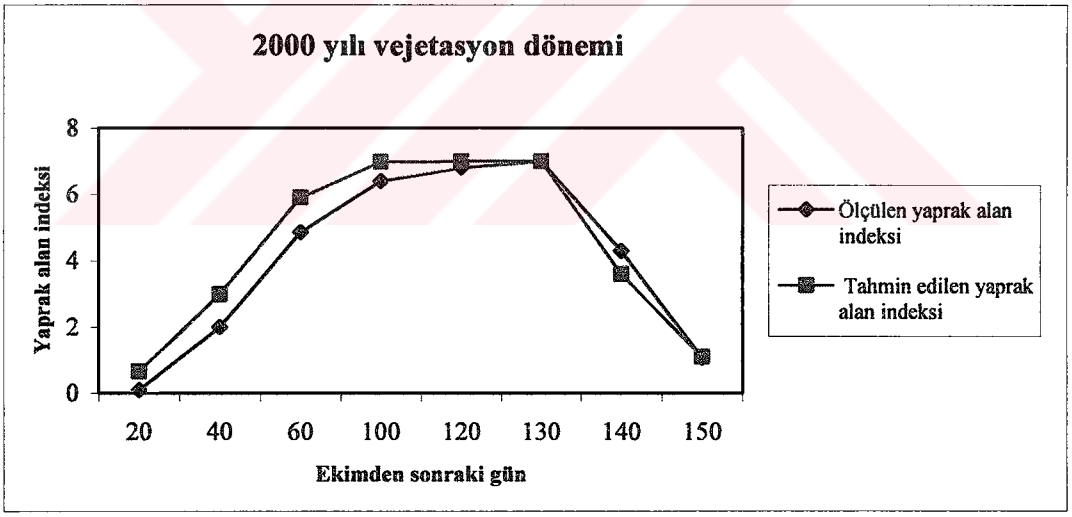
2000, 2001 ve 2002 vejetasyon dönemine ait gelişme dönemleri (ekimden sonraki gün sayısı toplamı) ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyon

katsayıları (r) sırasıyla 0.99, 0.99 ve 1.00, determinasyon katsayıları (η) 0.99, 0.99 ve 0.91 iken nispi hataları ($\%\varepsilon$), 7, 10 ve 20 olmuştur (Çizelge 5.14-5.16).

Ekim denemenin ilk yılında 10.12.1999, ikinci yılında 27.11.2000 ve üçüncü yılında 17.01.2002 tarihlerinde yapılmıştır. Çıkış ilk yıl ekimden 19 gün, ikinci yıl 18 gün ve üçüncü yıl 22 gün sonra gerçekleşmiştir. Buğday, denemenin ilk yılında 158, ikinci yılında 149 ve üçüncü yılda 119 günde fizyolojik oluma gelmiştir. Üçüncü yıl deneme geç ekildiği için fizyolojik olum daha önce olmuştur. Elde edilen bu sonuçların Doorenbas ve Kassam (1979) ve Sezen (2000) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

5.1.5.2. Yaprak Alan İndeksi

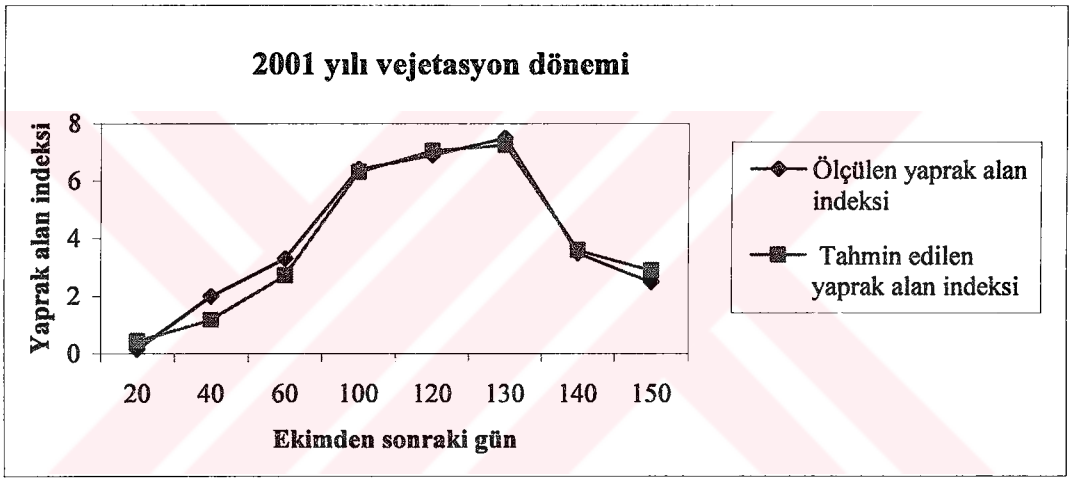
Yaprak alan indeksinin, 2000, 2001 ve 2002 vejetasyon dönemine ait günlük değişiminin ölçülen ve tahmin edilen değerleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 5.17-5.19 ve Çizelge 5.17-5.19).



Şekil 5.17. 2000 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Çizelge 5.17. 2000 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Ekimden sonraki gün sayısı	Ölçülen yaprak alan indeksi	Tahmin edilen yaprak alan indeksi
20	0.10	0.66
40	2.00	3.00
60	4.85	5.90
100	6.40	6.97
120	6.80	7.00
130	7.00	7.00
140	4.30	3.61
150	1.08	1.11
r=0.98, $\eta = 0.97$, $\% \varepsilon = 15$		



Şekil 5.18. 2001 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Çizelge 5.18. 2001 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Ekimden sonraki gün sayısı	Ölçülen yaprak alan indeksi	Tahmin edilen yaprak alan indeksi
20	0.15	0.44
40	2.00	1.19
60	3.30	2.72
100	6.40	6.30
120	6.90	7.06
130	7.50	7.24
140	3.50	3.60
150	2.50	2.90
r=0.99, $\eta = 0.99$, $\% \varepsilon = 12$		



Şekil 5.19. 2002 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Çizelge 5.19. 2002 yılı vejetasyon dönemi yaprak alan indeksi değerleri

Ekimden sonraki gün sayısı	Ölçülen yaprak alan indeksi	Tahmin edilen yaprak alan indeksi
20	0.20	1.09
40	2.00	3.96
60	6.39	6.87
100	8.00	7.97
110	5.00	6.84
115	0.80	1.65
120	0.10	0.20
r=0.97, η = 0.92, %ε = 58		

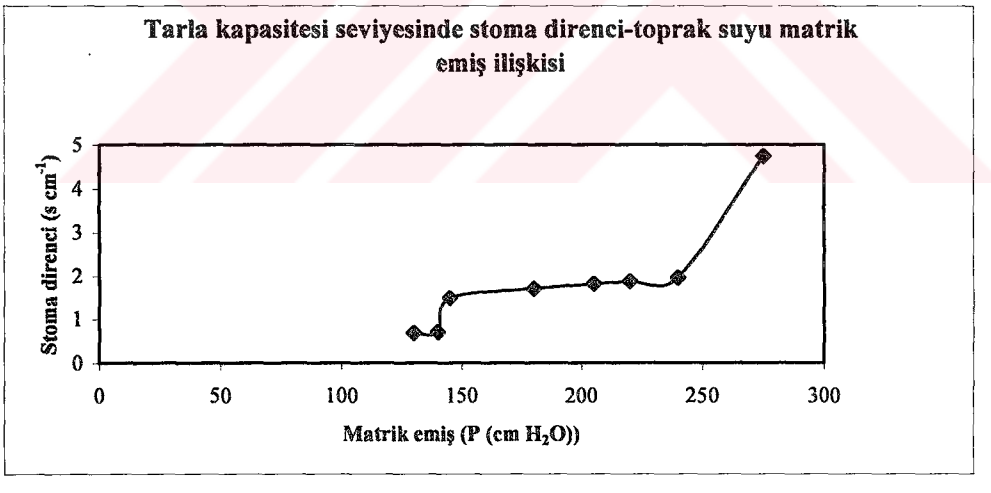
2000, 2001 ve 2002 yıllarında yaprak alan indeksinin günlük değişiminin, ölçülen değerleriyle tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (r) sırası ile 0.98, 0.99 ve 0.97, determinasyon katsayıları (η) sırasıyla, 0.97, 0.99 ve 0.92 çıkmış ve tahmin edilen değerlerin ilk değerlerinin ölçülen değerlerden fazla yüksek olması sebebiyle her üç yılda da ihmal edilerek nispi hataları (%ε) sırasıyla 15, 12 ve 58 olmuştur (Çizelge 5.17-5.19). Özellikle 2002 yılında ekimin geç yapılması nedeniyle gelişme dönemlerindeki farklılıklar, yaprak alan indeksinin model ile doğru tahmin edilememesine sebep olmuştur.

Bitki tür ve çeşidine göre farklılık gösteren maksimum yaprak alan indeksi değerine, her üç yılda çiçeklenmeden önce ulaşılmış ve dane dolum süresince

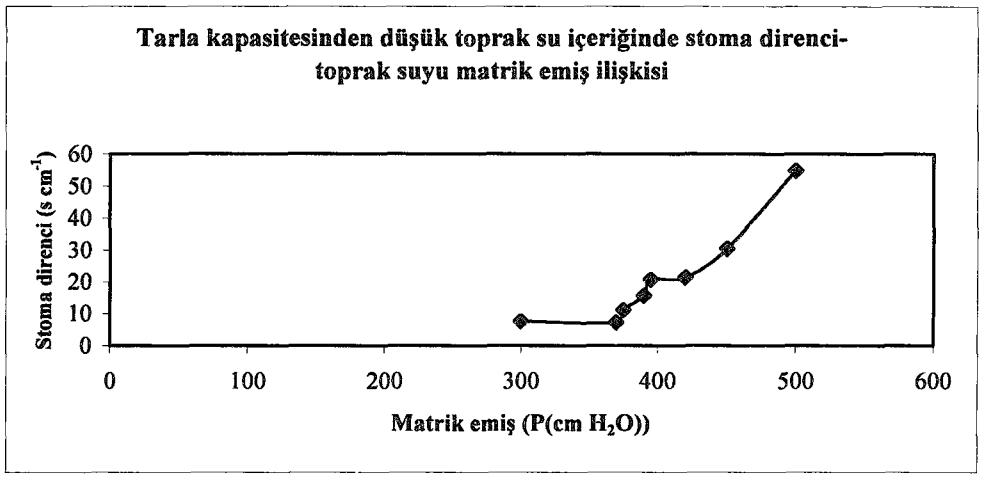
giderek sıfıra doğru azalmıştır. Maksimum yaprak alan indeksi, 2000 yılında 7, 2001 yılında 7.5 ve 2002 yılında 8 olmuştur. 2000 ve 2001 yıllarında maksimum yaprak alan indeksi değerine 130 günde ulaşılırken, 2002 yılında 100 günde ulaşılmıştır. Bazı dönemlerde yaprak alan indeksi değerinin ölçüm değerleri ile uyumu düşük düzeyde bulunmuştur. Bu durum yaprak alan indeksi modelindeki L_{max}, L_{min} ve r_{max} parametrelerinin yanı sıra, biomas-yaprak alan indeksi ilişkisinin daha doğru yaklaşım olabileceğine işaret etmektedir. Bu çerçevede çalışmalarımız devam edecektir. Elde edilen bu sonuçların Sezen (2000), Koç ve Barutçular (2000), Connor ve Fereres (1999) ve Lawless ve ark. (2004) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

5.1.5.3. Yaprak Stoma Direnci

Buğdayda, stoma direnci-toprak suyu matrik emişi arasındaki ilişkiyi görmek için serada kurulan düzenekten (Şekil 4.1) elde edilen ölçümlerin sonucu, şekil 5.20-5.21'de görülmektedir.



Şekil 5.20. Tarla kapasitesi seviyesinde stoma direnci-toprak suyu matrik emiş ilişkisi

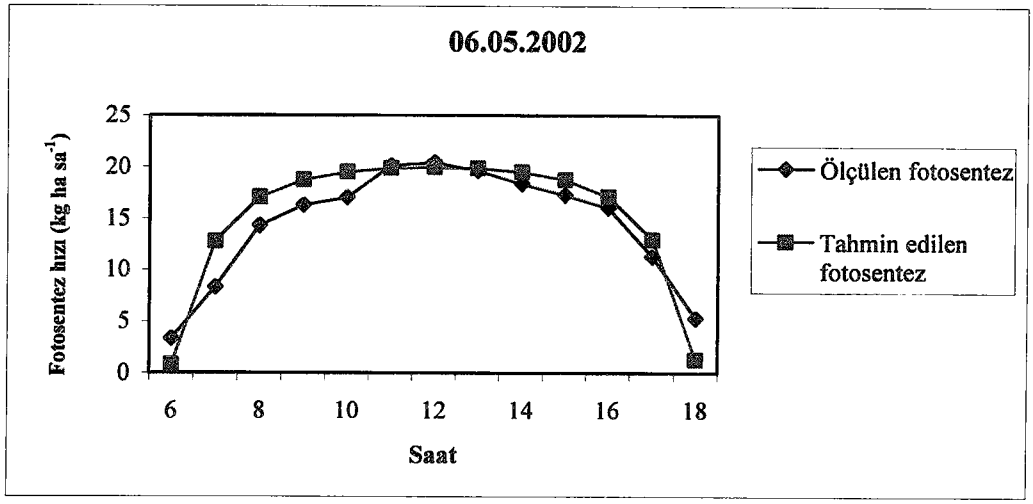


Şekil 5.21. Tarla kapasitesinden düşük toprak su içeriğinde stoma direnci-toprak suyu matrik emiş ilişkisi

Toprak su içeriği tarla kapasitesi seviyesinde, bitki stoma direncinin yaklaşık olarak 1-3 s cm^{-1} aralığında değiştiği görülmüştür (Şekil 5.20). Toprak su içeriği tarla kapasitesinden düşük olduğunda ise stoma direnci daha yüksek değerlere (7.6-54.8 s cm^{-1}) ulaşmıştır (Şekil 5.21). Toprak suyunun matrik emişi 333 cm H_2O sütununun az üzerine çıktığında stoma direncinin hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür (Şekil 5.21). Bu nedenle sık sık sulama yapılması ihtiyacı doğmuştur. Görüldüğü gibi 333 cm H_2O sütunu civarındaki suyun yarayışlılığı önem taşımaktadır. Dolayısıyla tarla kapasitesi değeri göreceli değerdir. Pratikte tarla kapasitesi 333 cm H_2O sütunu civarında olan emişlerde tutulan su olarak kabul edilebilir. Bu değerin üzerinde, bitkilerin yavaş yavaş su stresine girdiği görülmektedir. Curry (1969), Maldau (1969) ve Bichle ve ark. (1980) toprak su potansiyeli ile stoma direnci arasında ilişkiler kurmuşlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

5.1.5.4. Fotosentez ve Respirasyon Hızı

Buğdayın çiçeklenme dönemindeki fotosentez hızının gün içerisindeki değişiminin ölçülen ve tahmin edilen değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.22 ve Çizelge 5.20). Ölçümün yapıldığı gün bulutluluk oranı 1'dir.



Şekil 5.22. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen fotosentez hızı değerleri

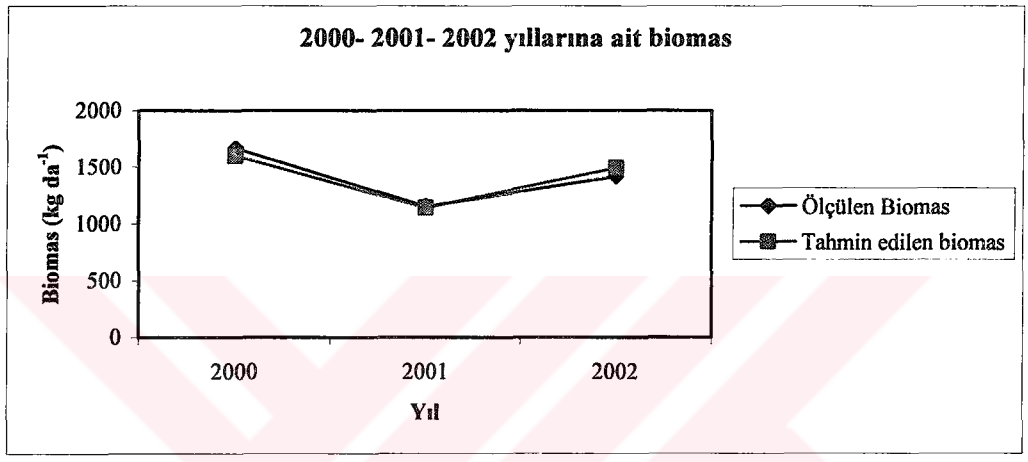
Çizelge 5.20. 06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen fotosentez hızı değerleri

Saat	Ölçülen fotosentez hızı (kg ha sa^{-1})	Tahmin edilen fotosentez hızı (kg ha sa^{-1})
6	3.30	0.77
7	8.30	12.80
8	14.30	17.07
9	16.30	18.73
10	17.04	19.52
11	20.13	19.89
12	20.46	20.00
13	19.64	19.89
14	18.36	19.53
15	17.30	18.76
16	16.06	17.13
17	11.30	12.97
18	5.31	1.31
r=0.95, η = 0.90, $\%\varepsilon$ =23		

06.05.2002 tarihinde ölçülen ve tahmin edilen fotosentez hızı, fotosentetik aktif radyasyon (PAR)'ın artışına paralel olarak artmış ve saat 12'de maksimuma ulaşmıştır. Fotosentez hızının, ölçülen değerleriyle tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyon katsayısı (r) 0.95, determinasyon katsayısı (η) 0.90, nispi hata ($\%\varepsilon$) 23 çıkmıştır (Çizelge 5.20). Idso (1968), Nkansah (2001), Yu ve ark. (2002), Ashraf ve Basir (2003) benzer çalışmalar yapmışlardır.

5.1.5.5. Verim Tahmini

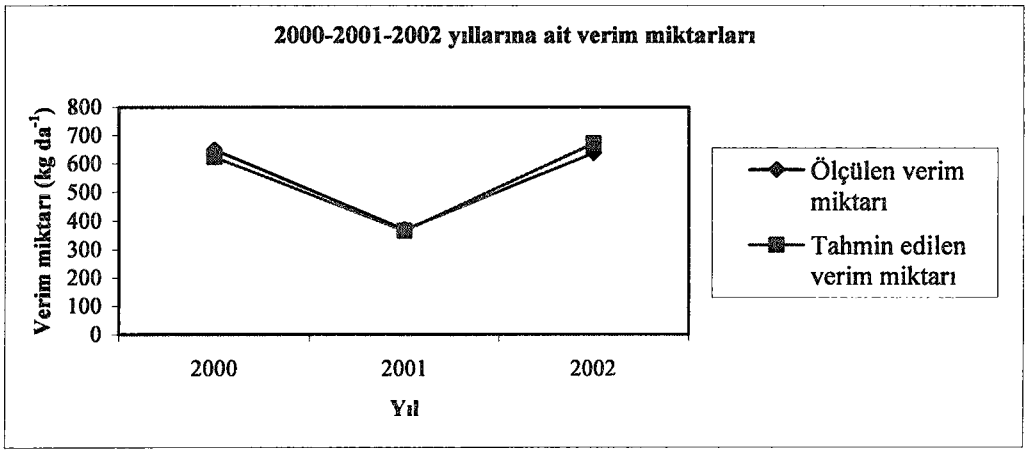
Deneme yıllarına ait biomas ve verim miktarları, bitki tarafından vejetasyon sonuna kadar buharlaştırılan toplam su, topraktan olan maksimum buharlaşma miktarı ve çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde artış hızının dikkate alındığı eşitlikle (3.5.6.1) belirlenen biomas ve verim miktarları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.23-5.24 ve Çizelge 5.21-5.22).



Şekil 5.23. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri

Çizelge 5.21. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri

Yıl	Ölçülen biomas (kg da^{-1})	Tahmin edilen biomas (kg da^{-1})
2000	1663	1598
2001	1152	1139
2002	1416	1492
r=0.96, $\eta = 0.96$, $\%\varepsilon = 3$		



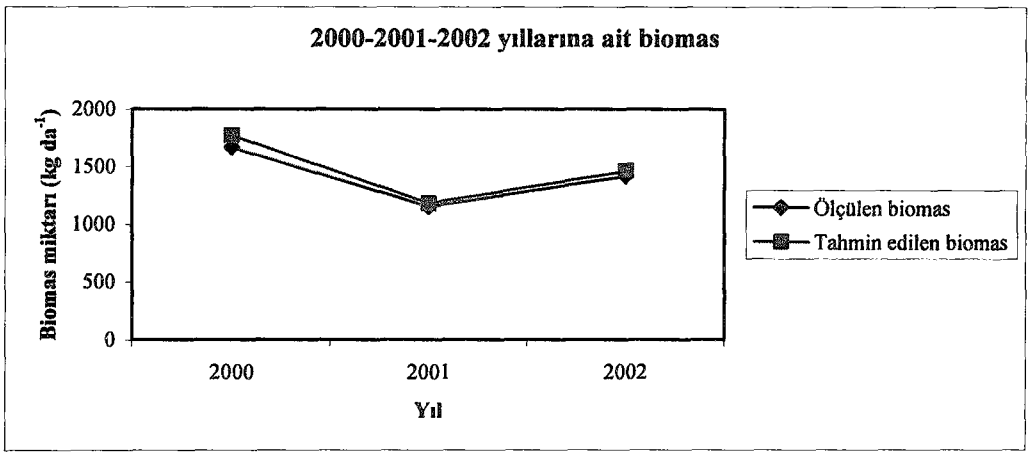
Şekil 5.24. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları

Çizelge 5.22. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları

Yıl	Ölçülen verim miktarı (kg da^{-1})	Tahmin edilen verim miktarı (kg da^{-1})
2000	649	623
2001	369	365
2002	637	671
r=0.98, $\eta = 0.98$, $\%\varepsilon = 3$		

2000, 2001 ve 2002 yıllarında, ölçülen biomas ve verim miktarları ile eşitlik (3.5.6.1)'in kullanılmasıyla tahmin edilen biomas ve verim miktarları arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla (r) 0.96, 0.98, determinasyon katsayıları(η), 0.96, 0.98, nispi hataları ($\%\varepsilon$) 3 çıkmıştır (Çizelge 5.21-5.22). 2001 yılında vejetasyon döneminin kurak geçmesi sebebiyle verim miktarı 2000 ve 2002 yılına göre daha düşük olmuştur.

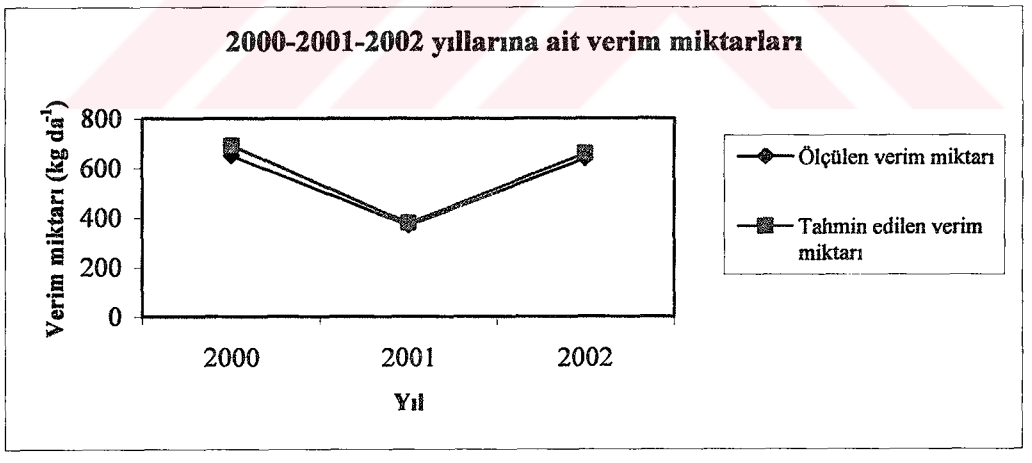
Verim tahmini için kullanılan ikinci modelde, deneme yıllarına ait biomas ve verim miktarları, günlük fotosentez miktarlarının toplanmasıyla elde edilen biomas ve verim miktarları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.25-5.26 ve Çizelge 5.23-5.24).



Şekil 5.25. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri

Çizelge 5.23. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen biomas değerleri

Yıl	Ölçülen biomas (kg da^{-1})	Tahmin edilen biomas (kg da^{-1})
2000	1663	1770
2001	1152	1180
2002	1416	1460
r=1, $\eta = 0.94$, $\%\varepsilon = 4$		



Şekil 5.26. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları

Çizelge 5.24. 2000-2001-2002 yıllarında ölçülen ve tahmin edilen verim miktarları

Yıl	Ölçülen verim miktarı (kg da^{-1})	Tahmin edilen verim miktarı (kg da^{-1})
2000	649	690
2001	369	378
2002	637	657
r=1, η = 0.98, % ε = 4		

2000, 2001 ve 2002 yıllarında, ölçülen biomas ve verim miktarları ile eşitlik (3.5.6.2)'nin kullanılmasıyla tahmin edilen biomas ve verim miktarları arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla (r) 1.00, 1.00, determinasyon katsayıları (η), 0.94, 0.98 ve nispi hataları (% ε) 4 çıkmıştır (Çizelge 5.23-5.24).

Her iki modelde kullanılan parametreler birbiriyle ilişkili (fotosentez, transpirasyon ve evaporasyon) olduğu için verim tahmini birbirine yakın olmuştur.

Davidson ve Filip (1958), Aksoy ve Sarıyev (1997), Overman ve Scholtz (1999), Jamieson ve ark. (2000), Sezen (2000) ve Bastiaanssen ve Ali (2003) benzer çalışmalar yaparak ölçülen ve tahmin edilen verim miktarlarını karşılaştırmışlardır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Seri-82 buğday çeşidi ile 2000-2001-2002 vejetasyon döneminde yürütülen bu çalışmada, çevre faktörleri (meteorolojik faktörler ve toprak faktörleri) ile bitki morfolojik ve fizyolojik özellikleri arasında ilişkiler kurulmuş ve matematiksel modeller üretilmiştir. Toplam bitki su tüketimi, toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerleri, toprak suyu matrik emişi/stoma direnci ilişkileri, transpirasyon, yaprak alan indeksi, fotosentez ve respirasyon hızı v.b. alt modeller sistemli biçimde ilişkilendirilerek, buğdayda verim tahmini için öneriler geliştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen matematiksel modelin blokları kuramsal temeller çerçevesinde geliştirilmiş ve kullanılan bazı varsayımlar, modelin kullanım sınırlarını ortaya koymuştur. Model bloklar prensibine göre kurulmuştur. Blokların birbirleriyle ilişkilendirilmesi ve bilgisayar simülasyonları için bir program (Delphi 5.0) geliştirilmiştir. Söz konusu çalışmada geliştirilmiş bitki gelişim modelleri aşağıdaki bloklardan oluşturulmuştur:

- Meteoroloji bloğu;
- Radyasyon bloğu;
- Toprak sıcaklığı bloğu;
- Toprak su bloğu;
- Bitki bloğu.

  -Gelişme dönemleri alt bloğu,

  -Yaprak alan indeksi alt bloğu,

  -Yaprak stoma direnci alt bloğu,

  -Transpirasyon hızı alt bloğu,

  -Fotosentez ve respirasyon hızı alt bloğu,

  -Verim tahmini alt bloğu.

Geliştirilmiş her bir alt model (blok), uygun sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak, Delphi 5.0 algoritmik görsel programlama diliyle, bir ana program

altında bilgisayar ortamına taşınmış ve modelin testi için ölçülen veriler, model verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta ölçülen veriler, model verileriyle büyük ölçüde uyumlu bulunmuştur.

Yukarıdaki blokların bilgisayar simülasyonları sonucu aşağıdaki biotik ve abiyotik parametreler hesaplanmıştır.

- Hava sıcaklığı ve hava nemini hesaplayan meteoroloji bloğu geliştirilmiştir.
- Mevsimsel zaman ve coğrafi konumu dikkate alan kısa ve uzun dalgalı radyasyon değerlerini simüle eden radyasyon bloğu geliştirilmiştir, ayrıca PAR'da hesaplanmıştır.
- Toprak katmanlarında, sıcaklığın zamanla değişimini hesaplayan toprak sıcaklığı bloğu geliştirilmiştir.
- Toprak su dinamiğinin hesaplanması için toprak su bloğu (modelde temel eşitliğe alt ve üst sınır koşulu ve başlangıç koşulu deneme döneminde araştırma yapılan verilerle desteklenmiştir) geliştirilmiştir, ayrıca toprak su karakteristik eğrisi verilerinden yararlanılarak, toprak suyu potansiyelinin zamanla değişimi hesaplanmıştır.
- Bitki bloğunun matematiksel modellemesinde, vejetasyon dönemi boyunca gelişme dönemleri, yaprak alan indeksi değişimi, yaprak stoma direnci değişimi, fotosentez hızı değişimi ve evapotranspirasyon detaylı bir şekilde ayrı ayrı modellendikten sonra birbirleriyle ilişkilendirilmişlerdir. Sonuçta, bitki tarafından tüketilen (transpirasyon) toplam su miktarı, çiçeklenme dönemindeki günlük kuru madde miktarındaki maksimum artış hızı değerleri ve toprak yüzeyinden maksimum buharlaşma hızı verileri kullanılarak, verim tahmini yapılmıştır. Ayrıca günlük fotosentez miktarlarının birikiminden elde edilen biyomas değerinden de verim tahmini yapılmıştır.

Geliştirilmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmış model, zaman diliminin seçilmesi ile (saat veya gün) sayısal olarak aşağıdaki parametreleri hesaplamaktadır:

-Ortalama hava sıcaklığı (^{o}C),

-Ortalama nispi nem (%),

-Güneşin coğrafi konuma ve mevsime göre doğma ve batma zamanı (saat),

-Birim alana gelen kısa dalgalı radyasyon yoğunluğu (W/m^2),

-Birim alana gelen PAR miktarı (W/m^2),

-Radyasyon düşürme katsayısı,

-Uzun dalgalı radyasyon bütçesi (W/m^2),

-Katmanlardaki toprak sıcaklık değerleri,

-Katmanlardaki toprak su içeriği ($cm^3\ cm^{-3}$),

-Katmanlardaki toprak su potansiyeli (cm H_2O),

-Toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon) ($cm\ saat^{-1}$),

-Her katmandan buharlaşma miktarı, (evaporasyon) ($cm\ saat^{-1}$),

-Gelişme dönemleri,

-Yaprak alan indeksi değişimi,

-Transpirasyon miktarı (cm),

-Fotosentez miktarı ($kg\ ha\ sa^{-1}$),

-Biomass miktarı ($kg\ da^{-1}$),

-Verim miktarı ($kg\ da^{-1}$).

Modelin verim tahmini önerisinde ortaya konulan her iki yaklaşım "fotosentez-biomas" ve "transpirasyon-evaporasyon" birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Modelin alt bloklarının çıkış parametreleri deneysel verilerle karşılaştırılmış ve uygulanan istatistiksel değerlendirmelerle (korelasyon katsayısı, determinasyon katsayısı ve nispi hata) modelin genellikle uyumlu olduğu ortaya konulmuştur.

Yukarıdaki sonuçların analizinden sonra bu çalışmanın uygulanmaya aktarılması durumunda aşağıdaki önerilerde bulunula bilinir.

-Matematiksel modelleme çalışmalarında, değişik dallardan bilim adamları bir araya gelerek ekip halinde çalışmaları ile bilgi kaynağı ve koordinasyonu sağlayabilirler. Ayrıca modellerin oluşturulmasında disipliner bazda önem dereceleri ortaya çıkarılarak, her disiplinin ayrı ayrı katkı payları incelenebilir.

-Modellerin uygulamadaki katkıları ile, yapılmakta olan denemelerin stratejisini ve planını daha iyi sonuçlara ulaştırmak mümkündür. İyi adapte olmuş

modeller, tarla veya laboratuarda kurulması planlanan yüksek maliyetli, uzun zaman ve işgücü alan, denemelerin yerine kullanılabilir.

-Gerçekleştirilen bu çalışma, bitkilerin en düşük PAR değerinde stomalarını erken açarak, fotosentez prosesine başlayan çeşitli buğdayların ıslahı çalışmalarına ışık tutacaktır. Bundan sonraki çalışmalar, farklı bitki desenlerinde, arazi ve sera şartlarında yapılmalıdır. Ayrıca bitki besin elementi statülerinin belirlenmesi çalışmaları da, ileriki çalışmalarda ele alınabilir.

-Farklı bitki örtülerinin temel morfolojik özellikleri ve bölgenin meteorolojik değerleri dikkate alınarak transpirasyon miktarı hakkında model çalıştırılabilir.

-Geliştirilmiş modele yeni bloklar ilave edilerek sonuçlara hızlı bir şekilde ulaşıla bilinir. Örneğin GIS kullanarak bitkilerin yansıma değerlerinin elde edilmesiyle, biomas hakkında modelde hesaplamalar yapılabilir.

-Bazı dinamik süreçlerin (toprak su bütçesi, toprak ısı bütçesi, günlük biyomas, günlük fotosentez, günlük yaprak alan indeksi v.b.) eş zamanlı olarak deneme alanı ile model sonuçlarını izlemek mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

AKSOY, H., SARIYEV, A., 1997. Çukurova Bölgesinde Arık ve Menzilat Toprak Serilerinde Cropsyst Modeli Aracılığıyla Diyarbakır-81 Buğday Çeşidinde Potansiyel Verimliliğin Hesaplanması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:8, Vol:8, sayfa:151-158. Adana. Yüksek Lisans Tezi.

ALLEN, L. H., JR., STEWARD, D. W., LEMON, E. R., 1974. Photosynthesis in Plant Canopies. Effect of Light Response Curves and Radiation Source GeometryPhotosynthetica, 8:184-207.

ANTONOPOULOS, V. Z. 1997. Simulation of Soil Moisture Dynamics on Irrigated Cotton in Semi–Arid Climates. Agricultural Water Management 34:233-246

ANTONOPOULOS, V. Z. 2000. Modelling of Soil Water Dynamics in an Irrigated Corn Field Using Direct and Pedotransfer Functions for Hydraulic Properties. Irrigation and Drainage Systems, Kluver Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 14:325-342.

ANTONOPOULOS, V. Z. 2001. Simulation of Water and Nitrogen Balances of Irrigated and Fertilized Corn–Crop Soil. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. March/April:77-83.

ANTONOPOULOS,V. Z., WYSEURE, G. C.L., 1998. Modeling of Water and Nitrogen Dynamics on an Undisturbed Soil and a Restored Soil After Open Cast Mining. Agricultural Water Management, 37:21-40.

ARNAU, G., MONNEVEUX, P., THIS, D., ALEGRE, L., 1997. Photosynthesis of Six Barley Genotypes as Affected by Water Stres. Photosynthetica 34 (1):67-76.

ARORA, A., SINGH, V.P., MOHAN, J., 2001. Effect of Nitrogen and Water Stress on Photosynthesis and Nitrogen Content in Wheat, Biologia Plantarum, 44(1):153-155.

ASHRAF, M., BASHIR, A., 2003. Relationship of Photosynthetic Capacity at the Vegetative Stage and During Grain Development with Grain Yield of two Hexaploid Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Differing in Yield. European Journal of Agronomy 19:277-287.

AYDIN, C., 1997. Toprak Kolonlarında Sıcaklık Dağılımlarının Bilgisayar Destekli Termoelementlerle Ölçülmesi ve Toprakta Sıcaklık Rejiminin Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 66 sayfa, Adana (yayınlanmamış).

AYDIN, M., 1993. Estimation of thermal Properties of Widely Distributed Red Soils in the Harran Plain. Proceedings of 2 nd International Meeting on 'Red Mediterranean Soils', Adana Turkey, 149-151.

AYDIN, M., Polat., V., 1995. Bitki Kök Bölgesinde Toprak Su Bütçesi Ögelerinin Nicelleştirilmesi. Doğa Tarım ve Ormancılık Dergisi. 12(2):111-117.

AYDIN, M., YEŞİLSOY, M.Ş., KOÇ, M., KANBER, R.. ÇELİK, İ., BARUTÇULAR, C., TULİ, A., SARIYEV. A., BAYTORUN, N.. ALKAN, A., BİLGEHAN, G., POLAT, V., GENÇOĞLAN, C., ULAŞOĞLU, D., 1995. CropSyst Bitki Yetiştirme Modelinin Buğday için Çukurova Koşullarında Test Edilmesi. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu. Cilt I, Yayın No:7, sayfa:126-134.

BARUTÇULAR, C., KOÇ, M., Sezen, M., Kırda, C., Kanber, R., Yazar, A., 2001. Ekmeklik Buğday da Azotun Fotosentetik Su Kullanım Etinliği Üzerine Etkisi. Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi, , Cilt I. Tahıllar ve Yemeklik tane Baklagilller 17-21 Eylül 2001. Tekirdağ.

BASTIAASSEN, W.G.M., ALI, SAMIA, 2003. A New Crop Yield Forecasting Model Based on Satellite Measurements Applied Across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment 94:321-340.

BICHLE, S.H, MOLDAU, H.A, ROSS, J. K., 1980. Mathematical Modeling of Plant Transpiration and Photosynthesis under Soil Moisture Stress. Gidrometoizdat, p.223.

BLAKE, G.R., HARTGE, K.H.,1986. Bulk Density In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. (Ed: A. Klute) Agr. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison WI.p.363-375.

BONDARENKO, H.F., JUKOVSKY, E.E., MUSKIN, I.G., NERPIN, S.V., POLUEKTOV, R.A., USKOV, I.B. 1982. Simulation of Agroecosystem Productivity, Russia.

BOUYOUCOS, G.J., 1951. Hydrometer Method Improved For Marking Particle Size Analysis of Soils. Agronomy J., 54:464-465.

BREJNEV, K., 1992. Kocene Sutocnix Norm Prixodyasiy Korotnovolnovori Solnecnoy radiacii. Leningrad, AFİ, 76:28-31.

BREMNER, J.M., 1960. Determination of nitrogen in Soil by the Kjeldahl Method. J.Agric Sci., 55:11-33.

CAI, T., VE DANG, Q.,L., 2002. Effects of Soil Temperature on Parameters of a Coupled Photosynthesis-Stomatal Conductance Model. Tree Physiology, Heron Publishing-Victoria, Canada, 22:89-827.

CANBOLAT, R., SARIYEV., A., 1997. Ziraat Fakültesi Deneme Alanlarında Yaygın Bazı Toprak Serilerinin Fiziksel Parametrelerinin Belirlenmesi ve Hidrolik Özelliklerinin Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 8, Vol: 8, sayfa:159-167. Adana. Yüksek Lisans Tezi.

CONNOR, D.J., FERERES, E., 1999. A Dynamic Model of Crop Growth and Partitioning of Biomass. Field Crops Research, 63:139-157.

CUMORA, S. H., 1967. Izuccuye Temperaturnoi Zarismosti Fotosenteza Lista Fiziologiya Rasteniy, No:4, s. 603-611.

CURRY, R. B., 1969. Dynamic Modelling of Plant Growth. In: 1969 winter Meeting ASEA, Sherman House, Chicago, Illionois, December 9-12, paper No 69-939, p.1-17.

ÇELEBİ, E., 2001. Toprak kolonlarında sıcaklık dağılımlarının farklı nem düzeylerinde araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 76 sayfa, Adana (yayınlanmamış).

DANIELSON, R.E., SUTHERLAND, P.L., 1986. Porosity In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. (Ed: A. Klute) Agr. Monogr. . ASA and SSSA, Madison WI. P. 635-662.

DAVIDSON, J. L., PHILIP J. R., 1958. Light and Pasture Growth. Climatology and Microclimatology, UNESCO, p.181-187.

DE WIT., C.T., 1958. Transpiration and Crop Yields, Inst. of Biol. and Chen. Research on Field Crops and Herbage, Wageningen, The Netherlands, Versl. Landbouwk. Onderz., Gravehage, 64, 6.

DOORENBASS. J., KASSAM, A.H., 1979. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper: 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Italy, 193p.

FEDDES, R., A., KOVALIK, P., J., ZARADNY, H., 1978. Simulation of Field Water Use and Crop Yield. Simulation Monogiaphs, Pudoc, Wageningln. pp.189.

GRANT, R.F., IZAURRALDE, R.C., NYBORG, M., MALHI, S.S., SOLBERG, E.D., JANS-HAMMERMEISTER, D., LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.F., STEWART, B.A., 1998. Modelling Tillage and Surface Residue Effects on Soil C Storage under Ambient vs. Elevated CO_2 and temperature in Ecosys. Soil Processes and the Carbon Cycle 527-547. (Cab Abstracts 1996-1998/07) CRC Press Inc. Boca Raton, USA.

GREEN, S.R., McNAUGHTON, K.G., 1997. Modelling Effective Stomatal Resistance for Calculating Transpiration from an Apple Tree. Agriculture and Forest Meteorology 83:1-26.

HANKS, R.J., ASHCROFT, G.L., 1985. Applied Soil Physics, Soil Water and Temperature Application. Leningrad, Gidrometoizdat, (translated from Russian), 150 pages.

IDSO, S. B., 1968. Atmospheric and Soil Induced Water Stress in Plants and their Effects on Transpiration and Photosynthesis.-J. Theoretical Biol., 21:1-12.

IDSO, S. B., 1969. A theoretial Framework for the Photosynthetic Modelling of Plant Communities. In: Advancing Frontiers of Plant Sciences. L. Chandra (ed.), 23:91-118.

JAMIESON, P.D., BERNTSEN, J., EWERT, F., KIMBALL, B.A., OLESEN, J.E., PINTER JR, P.J., PORTER, J.R., SEMENOV, M.A., 2000. Modelling CO_2 Effecting on Wheat with Varying Nitrogen Supplies. Agriculture, Ecosystem and Environment, 82:27-37.

KACAR, B., KATKAT, V., ÖZTÜRK, Ş., 2002. Bitki Fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:198, Bursa.

KAGE, H., ALT, C., STUTZEL, H., 2001. Predicting Dyr Matter Production of Cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) under Unstressed Conditions I. Photosynthetic Parameters of Cauliflower Leaves and their Implications for Calculations of Dry Matter Production. Scientia Horticulturae, 87:155-170.

KANG, S., GU, B., DU, T., ZHANG, J., 2003. Crop Coeeficient and Ratio of Transpiration to Evaporatranspiration of Winter Wheat and Maize in a Semi-Humid Region. Agricultural Water Management, 59:239-254.

KARAKAPLAN, S., MİKAYİLOV, F., SARIYEV, A., 1999. Tuzlu Toprakların Islahının Bazı Problemleri. GAP I. Tarım Kongresi, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 26-28 Mayıs, ŞANLIURFA, Cilt: 2, sayfa: 1019-1026.

KASAHAGA, K., MONISI, M., 1954. On the light-transmission of leaves and its meaning for the production of matter in plant communities-Jap.J. Bot., 14:304-324.

KAYA, Z., 1982. Çukurova Bölgesinde Yaygın Bazı Toprak Serilerinde Fosforun Statüsü ve Toprak Bitki Sistematiğindeki Dinamiği. Doçentlik Tezi, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana.

KILIÇBAY, A., 1986. Ekonometrinin Temelleri. İ.Ü. İktisat Fakültesi Yayınları, 677 sayfa.

KIRDA, C., SARIYEV, A., 2002. Toprak Fiziği. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 245, Ders Kitapları Yayın No: A-79, Adana.

KIRNAK, H., HANSEN, R.C., KEENER, H.M., VE SHORT, T.,H., 2002. An Evaluation of Physically Based And Empirically Determined Evapotranspiration Models for Nursery Plants. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Volume, 26:355-362.

KIRNAK, H., SHORT, T.H., 2001. An Evapotranspiration Model for Nursery Plants Grown in a Lysimeter Under Field Conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25:57-63.

KLEINBAUM, D.G., KUPPER, L.L., MULLER, K.E., NIZAM, A., 1998. Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. ISBN:0-534-209106, 798 pages, Duxbury Press, London.

KLUTE, A., 1986. Water Retention: Laboratory Methods. In: Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. (Ed: A. Klute)Agr. Monogr.). ASA and SSSA Madison WI. p. 635-662.

KLUTE, A., DIRKSEN, C., 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. In: Methodsof Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods. (Ed: A. Klute) Agr. Monogr. 9.ASA and SSSA, Madison WI p. 687-734.

KOÇ, M., BARUTÇULAR, C., 2000. Buğdayda Çiçeklenme Dönemindeki Yaprak Alanı İndeksi ile Verim Arasındaki İlişkinin Çukurova Koşullarındaki Durumu. Turk J. Agric. For. 24:585-593.

KOÇ, M., BARUTÇULAR, C., GENÇ, I. 2001. Çukurova'da Ekmeklik Buğday da Stoma İletkenliği- Verim İlişkileri. Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi,. Tahıllar ve Yemeklik tane Baklagilller 17-21 Eylül, Tekirdağ Cilt I, sayfa,87-92.

KURTNER, D.A., USKOV, İ.B., 1988. Tarımsal Mikroklima. Gidrometoizdat, Leningrad, 262 sayfa,.

LAWLESS, C., SEMENOV, M.A., JAMIESON, P.D., 2004. A Wheat Canopy Model Linking Leaf Area and Phenology. European Journal of Agronomy,(baskıda).

LOU, Y. (1991) Environmental and Developmental Physiology of Alfalfa (Medigaco sativa L.) Integrated with the Simulation Model ALFALFA. Ph. D. Thesis. University of California, Davis. pp. 207.

MAJERCAK, J., NOVAK, V. 1992. Simulation of the Soil-Water Dynamics in the Root Zone During the Vegation Period. Vodohospodarsky-Casopis (CSFR), 40(3):299-315. (Abstract).

MALDAU, X. A., 1969. Soprativleniye Ustic Vestestren-Nix Usloviyax. Tartu, İAFa AN ESSR, s. 131-142.(Rusca kaynak).

MASSUNAGA, M.S.O., GATTS, C.E.N., GOMES, A. G., VARGAS, H., 2001. A Simple Model for the Dynamics of Photosynthesis, Analytical Sciences April, Vol. 17, Special Issue. the Japan Society for Analytical Chemistry.

MEZIANE, D., SHIPLEY, B., 2001. Direct and Indirect Relationships Between Specific Leaf Area, Leaf Nitrogen and Leaf Gas Exchange. Effects of Irradiance and Nutrient Supply. Annals of Botany 88:915-927.

MIRSCHEL, W., SCHULTZ, A., WENKEL, K-O., DELECOLLE, R.,JADCZYSZYN, T. 1997. Possibilities and Limitations for the Usage of Dynamic Agroecosystem Models within Decision Support Systems on Farm Level. First Europen Conferance for Information Technology in Agriculture, 15-18 June, Copenhagen.

MONISI, M., SACKI T., 1953. Sber den Lichtfaktor in Den Pflanzengesellschaften und Seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. Jap. J. Bot,.

MÜJDECİ, M., SARIYEV, A., ÇELİK, İ., TÜLÜN, Y., KARACA, H., 2004. Investigation of the Relationships Between Stoma Resistance and Soil Water Matric Potential with other Environmental Factors in the Respect of Mathematical Modelling of Plant Water Consumption.

International Soil Congress, Natural Resource Management for Sustainable Development, June 7-10. 2004 Erzurum-Turkey.

NATALI, S., XILOYANNIS, C., PEZZAROSSA B.,1985. Relationship Between Soil Water Content, Leaf Water Potential And Fruit Growth During Different Fruit Growing Phases of Peach Trees, ISHS Acta Horticulturae 171: I International Symposium on Water Relations in Fruit Crops.

NERPIN, S. V., Cudnowsky, A. F., 1975. Energo-i Massoobmeno ve Sistema Rastenya-Pocva-Vozdux. Leningrad, Gidrometeoizdat, 358 sayfa.

NKANSAH, G.O., 2001. Some physiological features of the African Eggplant, *Solanum aethiopicum* group 'Gilo'. Scientia Horticulturae 90:181-186.

NOVAK, V., MAJERCAK,-J, 1992. Simulation of the Soil Water Dynamics in the Root Zone During the Vegatation Period. Vodohospodarsky-Casopis (CSFR), 40(4):380-397 (Abstract).

OLSEN, S.R., WATANABE, F.S., 1957. A Method to Determine a phosphorus Adsorption Maximum for Soils as measured by the Langmuir Isoterm. Soil Science Society American Proc., 21:144-149.

OUYANG-Y, ZHENG-C, 2000. Surficial Processes and CO_2 Flux in Soil Ecosystem. Journal-of–Hydrology-Amsterdam, 234:1-2, 54-70; (CAB Abstract 2000/08-2001/04)

OVERMAN, A.R., SCHOLTZ, R.V. III., 1999. Model for Accumulation Dry Matter and Plant Nutrients by Corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis., 30 (15/16):2059-2081 (Abstract).

ÖZKAN, A.İ., 1985. Toprak Fiziği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:946, Ders Kitabı:270. Ankara.

ÖZTÜRK, A., AKTEN, Ş., 1999. Kışlık Buğdayda Bazı Morfofizyolojik Karakterler ve Tane Verimine Etkileri. Tr.J. of Agriculture and Forestry ek sayı 2, 23:409-422.

PENNING DE VERIES, F.W.T. ve VAN LAAR, H.H., 1982. Simulatin of Plant Growth and Crop Production, Russia.

PIETKA, J. 1998. Plant Growth Influenced by Photosynthetic Irradiance and Temperature Part I : Mathematical Model for Standard Conditions. BioSystems, 45:11-20.

POLAT, V., Toprak-Bitki-Atmosfer Devamlılığında Enerji ve Kütle Akımlarının Matematiksel Modellemesi ve Sayısal Hesaplaması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 85 sayfa, Adana (yayınlanmamış).

POLUEKTOV, R, A, 1991. Simulasyon of Agroecosystem Dinamics s.312, Gidrometoizdat, St-Petersburg, Russia.

POLUEKTOV, R, A, KOBILYANSKI, G. V., KOTOVICH, L. N., SARIYEV, A. L., 1989. Matematical Modelling Energy and Mass Transfer in Systems Soil-Plant-Atmosphere Naucno-Texniceskiy Bülletinpo Agronomiceskoy Fizike AFI. No:76 s.3-18, Leningrad-Russia.

RAES, D., P., Van A.,. Wyseure., G 1986. Etref, Etcrop, Etsplit and Deficit. Reference Manual. Soils and Water Enginering Lab. K. U. Leuven, Belgium.

RAMSBECK, M. FRANKO, U. STEINHARDT, U. 1997. Modelling of Lysimeter Data Using the Simulation Model CANDY to Interpret Water and Nitrogen Flow. First Europen Conferance for Information Technology in Agriculture, 15-18 June Copenhagen.

RANA, G., KATERJI, N., MASTRORILLI, M.,EL MOUJABBER, M., BRISSON, N., 1997. Validation of a Model of Actual Evapotranspiration for Water Stressed Soybeans. Agricultural and Forest Meteorology 86:215-224.

REYNOLDS, M.P., DELGADO, M.,I., GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M., LARQUE-SAAVEDRA, A.,2000. Photosynthesis of Wheat in a Warm, Irrigated Environment I: Genetic Diversity and Crop Productivity, Field Crops Research, 66, p, 37-50.

RITCHIE K. 1972. Stomatal action-Aun. Rev. Plant Physiol., 26:309-334.

ROSSI PISA, P.,. BIGARAN, F.,1985. Stomatal Resistance and Leaf Water Potential Measured under Field Conditions. ISHS Acta Horticulturae 171: I International Symposium On Water Relations In Fruit Crops.

ROYO, C., APARICIO, N., BLANCO, R., VILLEGAS, D., 2004. Leaf and Green Area Development of Durum Wheat Genotypes Grown under Mediterranean Conditions. European Journal of Agronomy, 20:419-430.

SARIYEV, A.L., 1991. Bitki gelişim modellerinin Seralarda Adaptasyonu, Matematiksel Modellemesi ve Deneysel Araştırılması. AFİ, 136 sayfa, Leningrad.

SARIYEV, L. A., AYDIN, M., POLAT, V., TULİ, A., 1995. Toprak Rutubet Karekteristik Eğrisi ve Toprak-Kök Sisteminde Su Akımının Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi 25. kuruluş Yılı Özel sayısı:257-268.

SARIYEV, L. A., BİLGEHAN, G., GÜLÜT, K., AYDIN., C., 1996. Toprak Sıcaklığının Matematiksel Modellenmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 11, (2):115-120.

SARIYEV, L. A., GÜLÜT, K., 1995. Agroekosistemde Bitki Gelişiminin Matematiksel Modelleri ve Bunların Temel Prensipleri. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 10,(4):61-66.

SCARASCIA, V.M.E.,. COLUCCI, R., LOSAVIO, N.,. MASTRORILLI, M., BENINCASA, F., MARACCHI, G. RASCHI, A. 1985. Field Studies On Stomatal Conductance As Index Of Plants Response to Environmental Conditions ISHS Acta Horticulturae 171: I. International Symposium on Water Relations in Fruit Crops.

SCHLICHTING, E., BLUME, E., 1966. Bodenkundliches Practikum. Verlag Paul Parey. Hamburg and Berlin.

SEZEN, S.M., 2000. Çukurova ve Harran Ovası Koşullarında Buğdayda Azot-Su-Verim İlişkilerinin Belirlenmesi ve CERES-Wheat V3 Bitki Büyüme Modelinin Test edilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen

Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora tezi, Adana. 180 sayfa (yayınlanmamış).

SEZGIN, F., 1999. Simülasyon Tekniği ve Tarımda Uygulanışı. 3. Tarımda Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu (TBUS-3) 4-6 Ekim 1999, Çukurova Üniversitesi Adana.

SHEPHARD, A., MCGINN, S.M., WYSEURE, G.C.L., 2002. Simulation of the Effect of Water Shortage on the Yields of Winter Wheat in North-East England. Ecological Modelling, 147:41-52.

SIROTENKO, O. D., 1981. Matematiceskol Modelirovanic Vodno-Teplovogo Rejima Produktivnosti Agroekosistem., Gidrameteoizdat, 167 sayfa. Leningrad (Rusca kaynak).

SIROTENKO, O. D., BOYKO, A. P. 1977. O Postroeniye Zamknutnoy Sistemi Uravneniy Energo-u-Massoobmena Dlya Rasceta Biomassi Selsko-xozyaystvennix Kultur. Meteorologiya Gidrolegiya, 2:78-87.

STOCKLE, C. O., MARTIN, S. A., CAMPBELL, G. S., 1992. A model to Assess Environmental Impact of Cropping Systems. An ASAE Meeting Presentation, Paper No 92-2041, Charlotte, North Carolina.

ŞAYLAN, L., EITZINGER, J., 1996. SIMWASER Bitki Gelişimi Modeli ile Soya Bitkisinin Gelişiminin Belirlenmesi. Topraksu, Kültür Teknik Derneği, Ankara, 2:8-13.

TANNER, C. B., JURY W. A., 1976. Estimating Evaporation and Transpration From a Row Crop During Incomplete Cover. Agron. J. 68:239-243.

THORGEIRSSON, H., SOEGAARD, H., (1999). Simulated Carbon Dioxide Exchange of Leaves of Barley Scaled to the Canopy and Compared to Measured Fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99:479-489.

TICHENOR, L.H. (1990) Modular Simulation of the Static Portion of the Leaf Energy Budget. Simulation, 55(6):345-351.

TOMMING, X. G., 1984. Ekologiceskiy Principi Maxsimalnoy Produktivnosti Posevov. Leningrad, Gidrometeozdat, s.320 (Rusca kaynak).

U.S., SALINITY LABORATORY STAFF, 1954. Diagnosis and Improvement of Soil Saline and Alkaline Soils. Agricultural Handbook No:60.

ÜNLÜ, M., KANBER, R., DİKER, K., STEDUTO, P., 2001. Comparing Cotton Evapotranspirations Estimated by Micrometeorological and Water Budget Methods. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25:329-335.

ÜNLÜ, M., STEDUTO, P., 2000. Comparison of Photosynthetic Water use Efficiency of Sweet Sorghum at Canopy and Leaf Scales. Turk., Journal, Agric., For., TÜBİTAK, 24:519-525.

VAUGHAN, P.J., SUAREZ, D.L., 2002. Modeling above-Canopy CO_2 Flux and Evapotranspiration in Wheat. Environmental Pollution, 116:37-44.

VEREECKEN, H., MAES, J., FEYEN, J., 1990. Estimating Unsaturated Hydraulic Conductivity from Easy Measured Soil Properties. Soil Science 149(1):1-11.

VEREECKEN, H., MAES, J., FEYEN, J., DARIUS, P., 1989. Estimating of Soil Moisture Retention Characteristic from Texture, Bulk Density, and Carbon Content. Soil Science 148(6):389-403.

YEŞİLSOY; Ş., 1994. Toprak Bitki Su İlişkiler. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:89, Ders Kitapları Yayın No:21, Adana.

YU, G-R., KOBAYASHI, T., ZHUANG, J., WANG, Q-F., QU, L-Q., 2003. A Coupled Model of Photosynthesis-Transpiration Based on the Stomatal Behavior for Maize (*Zea mays* L.) Grown in the Field. Plant and Soil, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 249:401-416.

YU, Q., LIU, Y.,LIU, J., WANG, T., 2002. Simulation of Leaf Photosynthesis of Winter Wheat on Tibetan Plateau and in North China Plain. Ecological Modelling, 155:205-216.

ZADOKS, J.C., CHANG, T.T., KONZAK, C.F., 1974. A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. Weed Res., 14:415-421.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Yerköy'de doğdum. İlkokulu Yerköy'ün Küçüknefes Köyünde, orta ve lise öğrenimimi Ankara'da tamamladım. 1991 yılında Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde Lisans eğitimime başladım. 1995 yılında mezun oldum. Aynı yıl Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim dalında yüksek lisansa başladım ve 1998 yılında mezun oldum. 1997 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümün'de Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladım. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim dalında doktoraya başladım.

Evli ve bir çocuk babasıyım.

EK

GELİŞTİRİLMİŞ MATEMATİKSEL MODELİN DELPHİ 5.0 GÖRSEL PROGRAMLAMA DİLİNDE PAKET PROGRAMI

```
unit gunlukort;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs,
  StdCtrls, Db, DBTables, Grids, DBGrids, ExtCtrls, Menus;

type
  Tform12 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label23: TLabel;
    Label25: TLabel;
    Button1: TButton;
    Button3: TButton;
    DBGrid1: TDBGrid;
    DBGrid2: TDBGrid;
    Button2: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit19: TEdit;
    Edit20: TEdit;
    Edit21: TEdit;
    DataSource1: TDataSource;
    Table1: TTable;
    Table1ZAMAN: TDateField;
    Table1TMAX: TFloatField;
    Table1TMIN: TFloatField;
    Table1TORT: TFloatField;
    Table1ENNEM: TFloatField;
    Table1N: TFloatField;
    Table1U: TFloatField;
    Table1YAGIS: TFloatField;
    Table3: TTable;
    Table3F1: TFloatField;
    Table3F2: TFloatField;
    Table3F3: TFloatField;
    Table3F4: TFloatField;
    Table3F5: TFloatField;
    Table3F6: TFloatField;
    Table3F7: TFloatField;
    Table3F8: TFloatField;
    Table3F9: TFloatField;
    Table3F10: TFloatField;
```

```
Table3F11: TFloatField;
Table3F12: TFloatField;
Table3F13: TFloatField;
Table2: TTable;
Table2TAR: TDateField;
Table2SURE: TSmallintField;
Table2QYER: TFloatField;
Table2PAR: TFloatField;
Table2QUEB: TFloatField;
Table2ENBUT: TFloatField;
Table2GUDOGZAM: TSmallintField;
Table2HAVANEM: TFloatField;
Table2HAVASIC: TFloatField;
Table2TOPYUSIC: TFloatField;
Table2KAT1: TFloatField;
Table2KAT2: TFloatField;
Table2KAT3: TFloatField;
Table2KAT4: TFloatField;
Table2KAT5: TFloatField;
Table2KAT6: TFloatField;
Table2KAT7: TFloatField;
Table2KAT8: TFloatField;
Table2KAT9: TFloatField;
Table5: TTable;
Table5TAR: TStringField;
Table5SURE: TSmallintField;
Table5QYER: TFloatField;
Table5PAR: TFloatField;
Table5QUEB: TFloatField;
Table5ENBUT: TFloatField;
Table5GUDOGZAM: TSmallintField;
Table5HAVANEM: TFloatField;
Table5HAVASIC: TFloatField;
Table5TOPYUSIC: TFloatField;
Table5KAT1: TFloatField;
Table5KAT2: TFloatField;
Table5KAT3: TFloatField;
Table5KAT4: TFloatField;
Table5KAT5: TFloatField;
Table5KAT6: TFloatField;
Table5KAT7: TFloatField;
Table5KAT8: TFloatField;
Table5KAT9: TFloatField;
Table5YUZNEM: TFloatField;
Table5KAT1NEM: TFloatField;
Table5KAT2NEM: TFloatField;
Table5KAT3NEM: TFloatField;
Table5KAT4NEM: TFloatField;
Table5KAT5NEM: TFloatField;
Table5KAT6NEM: TFloatField;
Table5KAT7NEM: TFloatField;
Table5KAT8NEM: TFloatField;
Table5KAT9NEM: TFloatField;
Table5KAT10NEM: TFloatField;
Table5YUZPOT: TFloatField;
Table5KAT1POT: TFloatField;
```

```
Table5KAT2POT: TFloatField;
Table5KAT3POT: TFloatField;
Table5KAT4POT: TFloatField;
Table5KAT5POT: TFloatField;
Table5KAT6POT: TFloatField;
Table5KAT7POT: TFloatField;
Table5KAT8POT: TFloatField;
Table5KAT9POT: TFloatField;
Table5KAT10POT: TFloatField;
Label26: TLabel;
GroupBox1: TGroupBox;
Label27: TLabel;
Label29: TLabel;
Edit22: TEdit;
Edit28: TEdit;
Label31: TLabel;
GroupBox4: TGroupBox;
Label32: TLabel;
Label48: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
GroupBox5: TGroupBox;
Label10: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label58: TLabel;
Label59: TLabel;
Label70: TLabel;
Label91: TLabel;
Label92: TLabel;
Label93: TLabel;
Label94: TLabel;
Label95: TLabel;
```

```
Label96: TLabel;
Label97: TLabel;
Edit31: TEdit;
Edit32: TEdit;
Edit33: TEdit;
Edit34: TEdit;
Edit35: TEdit;
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Edit40: TEdit;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Edit41: TEdit;
GroupBox6: TGroupBox;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label60: TLabel;
Label61: TLabel;
Label62: TLabel;
Label63: TLabel;
Label64: TLabel;
Label65: TLabel;
Label66: TLabel;
Label68: TLabel;
Label71: TLabel;
Label98: TLabel;
Label99: TLabel;
Label100: TLabel;
Label101: TLabel;
Label102: TLabel;
Edit42: TEdit;
Edit43: TEdit;
Edit44: TEdit;
Edit45: TEdit;
Edit46: TEdit;
Edit47: TEdit;
Edit48: TEdit;
Edit49: TEdit;
Edit50: TEdit;
Edit51: TEdit;
Edit52: TEdit;
Table6: TTable;
Table6BITTUR: TStringField;
Table6ETARIH: TDateField;
Table6HTARIH: TDateField;
Table6MYAPAL: TFloatField;
Table6MFTOSE: TFloatField;
```

```
Table6RESO: TFloatField;
Table6HASIN: TFloatField;
Edit54: TEdit;
Label44: TLabel;
Label45: TLabel;
Edit55: TEdit;
GroupBox7: TGroupBox;
Label7: TLabel;
Label22: TLabel;
Label21: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Panel1: TPanel;
Label24: TLabel;
Edit56: TEdit;
Label30: TLabel;
Edit57: TEdit;
Label46: TLabel;
Edit58: TEdit;
Label3: TLabel;
Label47: TLabel;
Label28: TLabel;
Label49: TLabel;
Label67: TLabel;
Label69: TLabel;
Label72: TLabel;
Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Edit59: TEdit;
Edit60: TEdit;
Edit61: TEdit;
Edit62: TEdit;
Edit63: TEdit;
Edit64: TEdit;
Table4: TTable;
Table4TOPRAKSERI: TStringField;
Table4KUM: TFloatField;
Table4SILT: TFloatField;
Table4KIL: TFloatField;
Table4SUPOT1: TFloatField;
Table4SUPOT2: TFloatField;
Table4SUPOT3: TFloatField;
Table4SUPOT4: TFloatField;
Table4SUPOT5: TFloatField;
Table4SUPOT6: TFloatField;
Table4SUPOT7: TFloatField;
Table4NEM1: TFloatField;
Table4NEM2: TFloatField;
Table4NEM3: TFloatField;
Table4NEM4: TFloatField;
Table4NEM5: TFloatField;
```

```
Table4NEM6: TFloatField;
Table4NEM7: TFloatField;
Table4HACAG: TFloatField;
Table4DOYHIDIL: TFloatField;
Table4GOZENEK: TFloatField;
Table4ALBEDO: TFloatField;
Table4PH: TFloatField;
Table4TUZ: TFloatField;
Table4KDK: TFloatField;
Table4HORIZON0: TFloatField;
Table4HORIZON1: TFloatField;
Table4HORIZON2: TFloatField;
Table4HORIZON3: TFloatField;
Table4HORIZON4: TFloatField;
Table4HORIZON5: TFloatField;
Table4HORIZON6: TFloatField;
Table4HORIZON7: TFloatField;
Table4HORIZON8: TFloatField;
Table4HORIZON9: TFloatField;
Table4HORIZON10: TFloatField;
Table4BASNEM0: TFloatField;
Table4BASNEM1: TFloatField;
Table4BASNEM2: TFloatField;
Table4BASNEM3: TFloatField;
Table4BASNEM4: TFloatField;
Table4BASNEM5: TFloatField;
Table4BASNEM6: TFloatField;
Table4BASNEM7: TFloatField;
Table4BASNEM8: TFloatField;
Table4BASNEM9: TFloatField;
Table4BASNEM10: TFloatField;
Table4BPOT0: TFloatField;
Table4BPOT1: TFloatField;
Table4BPOT2: TFloatField;
Table4BPOT3: TFloatField;
Table4BPOT4: TFloatField;
Table4BPOT5: TFloatField;
Table4BPOT6: TFloatField;
Table4BPOT7: TFloatField;
Table4BPOT8: TFloatField;
Table4BPOT9: TFloatField;
Table4BPOT10: TFloatField;
Table4BSIC0: TFloatField;
Table4BSIC1: TFloatField;
Table4BSIC2: TFloatField;
Table4BSIC3: TFloatField;
Table4BSIC4: TFloatField;
Table4BSIC5: TFloatField;
Table4BSIC6: TFloatField;
Table4BSIC7: TFloatField;
Table4BSIC8: TFloatField;
Table4BSIC9: TFloatField;
Table4BSIC10: TFloatField;
Table4SUPOT23: TFloatField;
Table4NEM23: TFloatField;
Table4HKURUTOP: TFloatField;
```

```
    Label75: TLabel;
    Label76: TLabel;
    Edit26: TEdit;
    Label77: TLabel;
    Table6YAPKATAL: TFloatField;
    Label78: TLabel;
    Label79: TLabel;
    Label80: TLabel;
    Label81: TLabel;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure DBGrid1DblClick(Sender: TObject);
    procedure DBGrid2DblClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

  var
  Form12: TForm12;
  ay1 : array [1..12] of real;
 teta : array [0..10] of real;
 pot  : array [0..10] of real;
 teta1: array [0..10] of real;
 pot1 : array [0..10] of real;
 K    : array [1..10] of real;
 topTk: array [0..10] of real;
pot1Es: array [0..10] of real;
var1 : array [0..10] of real;
sum1 : array [0..10] of real;
ff1  : array [0..10] of real;
er1  : array [0..10] of real;
del1 : array [0..10] of real;

 var
 Rs,Tk,topkon   : real;
 Qsat :  real;
 Qso  :  real;
 Qa   :  real;
 Es   :  real;
 FCK  :  real;
 ldt  :  integer;
rlmax, rlmin, lmin, lmax,lt: real;
FG,rd,rdf,lkr,fgn,fgnt,fgntoplam,Fmaxmod:real;

qubgunort,
Qyer1gunort,
tagunort,pargunort,figunort,tskat1gunort,tskat2gunort,tskat3gunort,
tskat4gunort,tskat5gunort,tskat6gunort,tskat7gunort,tskat8gunort,tsk
at9gunort,
teta10gunort,teta11gunort,teta12gunort,teta13gunort,teta14gunort,tet
a15gunort,
```

```
teta16gunort,teta17gunort,teta18gunort,teta19gunort,teta110gunort,po
t10gunort,
pot11gunort,pot12gunort,pot13gunort,pot14gunort,pot15gunort,pot16gun
ort,
pot17gunort,pot18gunort,pot19gunort,pot110gunort,esgunort,esguntop,
verim,Est,tsogunort :real;
implementation

{$R *.DFM}


procedure Tform12.Button2Click(Sender: TObject);
var
sonuc:boolean;
T3,Tor,ATO,Tus,talt,cv,l:real;
ts,ts1,ts2,ts3,d,t0,sinh0,f,Q,So,a,b,kr
,tis,Qyer1,eu:real;  {}
fn1,a1,b1,f1,m1,e1,fe1,s1,q1,qk,cpar1,par:real; {}
ttd,sw,sw3,td,tb,tsi,don,art:integer;
sq1,dq1,T,Ta : real;
PARWATT, FG1, RX, CO2, EP, FMAX, FG,biomass:REAL;
kk1 : integer;
sn,alfa, beta, tl, tl1,dequ: real;
Estoplam, transtoplam:real;
m,j,i,i1,i2,topo,l1:integer;
Tatoplam, Tmax,Tmin,Tort,bak,qub:real;
MTmax,MTmin,MTort,Fi,Tso:real;
tskat1,tskat2,tskat3,tskat4,tskat5,tskat6,
tskat7,tskat8,tskat9,tskat10,ENBUT1,ALBEDO:real;
gun,ay,yil,son,top : integer;
gune,aye,yile,sone,tope : integer;
ql,trans,lyaprak,Tetahv:real;
bake,Prop: real;
u,n,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,F9,F10,F11,F12,F13,Esmax,bitkiverimi :
real;
const aylar : array[1..12] of integer =
(31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31);
yz : array[0..10] of real =
(0.20,0.15,0.12,0.10,0.10,0.09,0.09,0.07,0.04,0.03,0.01);

label
bas,cik,cik1,bak1;
begin
table1.open;
table2.open;
table4.open;
table6.open;
table2.active:=true;
tope:=0;

{ * * * ** F cografi parametrelerin atanması * * * * * * * * * * * }
 F1 := strtofloat(table3f2.text);  F2 := strtofloat(table3f3.text);
 F3 := strtofloat(table3f4.text);  F4 := strtofloat(table3f5.text);
 F5 := strtofloat(table3f6.text);  F6 := strtofloat(table3f7.text);
 F7 := strtofloat(table3f8.text);  F8 := strtofloat(table3f9.text);
 F9 := strtofloat(table3f10.text); F10:= strtofloat(table3f11.text);
```

```
 F11:= strtofloat(table3f12.text); F12:= strtofloat(table3f13.text);
       ay1[1]:= F1;  ay1[2]:=  F2;  ay1[3]:= F3;   ay1[4]:= F4;
       ay1[5]:= F5;  ay1[6]:=  F6;  ay1[7]:= F7;   ay1[8]:= F8;
       ay1[9]:= F9; ay1[10]:= F10; ay1[11]:= F11; ay1[12]:= F12;
sw:=1;
{ * Kullanılacak datanın tarih diliminin belirlenmesi * * * * * * *}
   table1.indexname  := 'zaman1';
   sonuc:=table1.findkey([edit1.text]);
   if sonuc=false then
   begin
   showmessage('1.tarih hatalı');
   edit1.setfocus;
     halt;
   end
         else
         begin
         table1.indexname  := 'zaman1';
          sonuc:=table1.findkey([edit2.text]);
          if sonuc=false then
   begin
   showmessage('2.tarih hatalı');
   edit2.setfocus;
     halt;
   end
   else
      begin

if strtodate(edit1.text) > strtodate(edit2.text) then
  begin
 showmessage('başlangıç tarihi bitiş tarihinden büyük olamaz');
 halt;
 end
end
end;

{ * *  Okuyucu kafa seçilen ilk tarihe konumlanıyor  * * * * * * * }

         table1.indexname  := 'zaman1';
         sonuc:=table1.findkey([edit1.text]);

top := 0;   Esmax:=0;

{ Şubat ayının 28 - 29 olduğuna karar verir }
gun:=strtoint(copy(table1zaman.text,1,2));
ay :=strtoint(copy(table1zaman.text,4,2));
yil:=strtoint(copy(table1zaman.text,7,4));
bak:=int(yil/4);
son:= strtoint(floattostr(bak));
if yil = son*4 then aylar[2]:=29;

for i := 1 to (ay-1) do
begin
top :=top + aylar[i];
end;
art :=0;
top:= top + gun; { Yılın kacıncı gunu oldugu bulundu }
```

```
topo := 0;


{ *Ekim tarihinden takvim aralıgının başlangıcına kadar olan gün }

gune:=strtoint(copy(table6etarih.text,1,2));
aye :=strtoint(copy(table6etarih.text,4,2));
yile:=strtoint(copy(table6etarih.text,7,4));
bake:=int(yil/4);
sone:= strtoint(floattostr(bake));
if yile = sone*4 then aylar[2]:=29;

{ Aynı yıl aralığı içerisindeyse }
if yil = yile then
begin
for i := aye to (ay-1) do
begin
tope :=tope + aylar[i];
end;
tope:= tope + (gun-gune); { Yılın kacıncı gunu oldugu bulundu }
end;

{ Tarih aralığı ekim aralığından büyükse }

if yile < yil then
begin

for i := aye to 12 do
begin
tope :=tope + aylar[i];
end;

for i := 1 to (ay-1) do
begin
tope :=tope + aylar[i];
end;
tope:= tope + (gun-gune); { Yılın kacıncı gunu oldugu bulundu }

end;


{ * * * * * * * * ** Output kutugunun temizlenmesi *  * * * * * * *}
table5.close;
with table5 do
begin
active:=false;
databasename:='delphibook';
tablename:='topsuila';
tabletype := ttdbase;
emptytable;
end;
```

```
{*********************************************************************}

tatoplam:=0; fgntoplam:=0;  transtoplam:=0; estoplam:=0; ldt:=0;
tope:=tope-1;

BAS:
tope:=tope + 1;

parwatt:=0;     fgnt:=0;
fg:=0;
 tl:=0;
i2:=24;

top:= top + art; { Ikinci kayıt okundugunda gun sayisini 1 artir.}
art:=1; {sonraki günde gün bir artsın }
aylar[2]:=28;
td:=top-1;
topo := topo + 1; { kaçıncı gün }
edit19.text:=inttostr(topo);

{*********************************************************************}
{Kısa dalga boylu (yeryüzüne ulaşan) enerjinin Hesaplanması  }

So:=118.8; {ekvator'a ulaşan güneş enerji 118.8 kal/cm2 saat  }


n:=strtofloat(tableln.text); { bulutluluk degerinin atanmasi }

{ Q :=(So*sinh0)/(1+f/sinh0)     Yer Yüzüne gelen enerji formulu }
{ So :=118.18; güneş sabiti türkiye için sabit }
{ formuldeki, sinho = A+B cosT }
{A=sinq*sind (q=37:adana için) hesaplama yapılacak yerin enlem
boylami }
{d =güneşin kendi ekseninde dön.açısı asagidaki formulle bulunur}
{ B = cosq*cosd    }
{ d = -0.408*cos(2pi(td+10)/365 , 365 : güneşin ekseninde dünyanın
dönüş süresi}
{ td : 1-365 içinde her hangi bir gün örn. 180. gün gibi }
{ 365 : yıl }
{ sinh0:=sin((37*pi)/180)*sin(d)+cos((37*pi)/180)*cos(d)*cosT }
{ T = 2pi*(ts+12)/24:güneşin saatsal açısı,ts:güneşin doğduğu saat }
{ ts 0-24 arası bir saat }

a:=0.38;    { a: cetvelden bulunan sabit degerler }
b:=0.38;    { b: cetvelden bulunan sabit degerler }

{d:=-0.408*cos(2*pi*(td+10)/365); }
td:=td+1;
ttd:=td;

if td > 80 then td:= td - 80
           else td:= td+285;

{d:=(0.0473*td - 0.00196*td - 0.00000407*td - 0.616)*3.14/180; }
d:= 23.4/180 * sin(3.14*td/182.5);    { yeni 1 }
```

```
d:=abs(d);  { d nin mutlak degeri alinmali }

{ Güneşin doğdugu zamanın bulunması }
{Sinho = 0 da güneş dogar buna gore
{Sin(q)*Sin(d) + Cos(q)*cos(d)*Cos(2*pi*(ts+12)/24) = 0 dan }
{Sin(q)*Sin(d) = -Cos(q)*cos(d)*Cos(2*pi*(ts+12)/24)        }
{Cos(pi*(ts+12)/12) => Cos(pi*ts/12 + 12pi/12) => Cos(pi + pi*ts/12)
{ Cos(180) = -1 dir  Cos(pi + pi*ts/12) = - Cos(pi*ts/12) olur
asagıda yerıne koy
{ Sin(q)*Sin(d) = -Cos(q)*cos(d)*( - Cos(pi*ts/12) ) }
{ Sin(q)*Sin(d) / Cos(q)*cos(d)  = Cos(pi*ts/12)
{ Cos(pi*ts/12) = tan(q)*tan(d)
{ pi*ts/12 = arccos(tan(q)*tan(d))
{ ts = 12/pi* arccos(tan(q)*tan(d))  gusın dogdugu saat formulu

{ ts1= tan(q)*tan(d) , d=37*pi/180  }
{ts = 12/pi * arccos(tan(q)*tan(d))   }
{ts1=tan(q)*tan(d)                    }

FCK:=strtofloat(table3f1.text);

ts1:=sin((FCK*pi)/180)/cos((FCK*pi)/180) * sin((d)/180)/cos((d));
ts2:=arctan(sqrt(1-sqr(ts1))/ts1);
ts:= int(((12/pi)*ts2)); { Güneşin doğduğu zaman }

Tmax:=strtofloat(table1tmax.text); { meteorolojik maximum sıcaklık}
Tmin:=strtofloat(table1tmin.text); { meteorolojik minimum sıcaklık }
Tort:=strtofloat(table1tort.text); { meteorolojik ortalama sıcaklık}
MTmin:=Tort-0.5*(Tmax-Tmin); {modelin hesapladıgı minimum sıcaklıgı}
MTmax:=Tort+0.5*(Tmax-Tmin);{modelin hesapladıgı maximum sıcaklıgı}
T3:=0;
tsi:=strtoint(floattostr(ts));

{(24-ts);  güneşin battıgı saat }
sw3:=0;
Rs:=strtofloat(table1yagis.text);
edit20.text := floattostr(Es);
if rs > 0 then est :=0;
edit57.text := floattostr(Est);
Qyer1gunort := 0; tagunort    := 0;  pargunort   := 0; figunort:=0;
tskat1gunort:= 0; tskat2gunort:= 0;tskat3gunort:=0; tskat4gunort:=0;
tskat5gunort:= 0; tskat6gunort:= 0; tskat7gunort:=0;tskat8gunort:=0;
tskat9gunort:= 0;
teta10gunort:= 0; teta11gunort:= 0; teta12gunort:=0;teta13gunort:=0;
teta14gunort:= 0; teta15gunort:= 0;teta16gunort:=0;teta17gunort:= 0;
teta18gunort:= 0; teta19gunort:= 0; teta110gunort:= 0;
pot10gunort := 0; pot11gunort := 0; pot12gunort  :=
0;pot13gunort:=0;
pot14gunort := 0;pot15gunort :=0; pot16gunort := 0; pot17gunort:= 0;
pot18gunort := 0; pot19gunort := 0; pot110gunort := 0; tsogunort:=0;
esgunort    := 0; qubgunort   := 0; esguntop:=0;



for i := 1 to 24 do
{dogdugu saatten batışa kadar don }
```

```
begin
t0:=2*pi*(i+12)/24; { gunesin saatsal acisi i : herhangi bir gun }
sinh0:=sin((fck*pi)/180)*sin(d)+cos((fck*pi)/180)*cos(d)*cos(t0);
if (i > tsi) and (i< (24-tsi)) then     {güneş  var iken}
begin

ay :=strtoint(copy(table1zaman.text,4,2));
f:=ayl[ay]; { tablodan ay sabitesi }

{edit53.text:=floattostr(f); }

Q:=(So*sinh0)/(1+f/sinh0);{ Yer Yüzüne gelen enerji  }
kr:=1-(a+b*(n/10))*n/10; {Bulutluluk etkisi etkisi }
{Qyer1:=Q*Kr; }
sq1:=Q*Kr;
dq1:=(Q-sq1)*kr;

{Cpar1:= Sinh0/(0.9*Sinh0 + 22);}
 Qyer1:=sq1 + dq1;
 PAR:=0.42*Sq1 + 0.6*dq1;
{ PAR=Toplam Q direk(sq1) ve dağılan(dq1) olarak ikiye ayrıldı }

{PAR := 0.6*Qyer1; }    {yeni 2}
{par:=cpar1*Qyer1; }

{FOTOSENTEZİN HESAPLANMASI}

lmax:=strtofloat(table6myapal.text);
rlmax:=strtofloat(table6yapkatal.text);

rlmin:=0.0002199;
lmin:=0.15;

LT:=(lmax * lmin*exp(rlmax*tope))/(lmax+lmin*((exp(rlmax*tope)-1)));
if tope > 120 then
 { LT := (lmax * lmin * exp(rlmin*tope))/(lmin +
lmax*((exp(rlmin*tope) -1))); }
 lt := lmax - 0.026*tope;

edit54.text:=floattostr(lt);
parwatt:=parwatt + PAR*11.302;
CO2:=610;  {MG/CM3 = KG/M3}
RX:= 1; { sn/cm}
FMAX:=strtofloat(table6mftose.text);  {KG/HA*SAAT }
{Fmaxmod:= fmax * exp(lkr*(lmax - lt)); }
Fmaxmod:=fmax;
EP:=0.5;
FG1:=(1/610*1/360000 + 1/(EP*PARWATT) + 1/FMAXmod);
{ RX/CO2*10000  Kg/(ha*saat) }

FG:= 1/FG1;
RD:= strtofloat(table6reso.text);
RDF:= FMAX * RD;
Lkr:= 0.24;
FGN:=(FG-RDF)* exp(-Lkr*(lmax - lt));
if   strtofloat(table1yagis.text) = 0 then fgn:= fgn*0.75;
```

```
{FGN:=FG - RDF;    }


if lt = 0 then fgn :=0;
fgnt:= fgnt + fgn;      {Bir gündeki saatlikler toplamı}
fgntoplam:= fgntoplam + fgn; { Günluklerin toplamı }

{ * * * * * * * * *  Baslangic nem ve potansiyelinin bulunmasi  * * *
* * * * * }
Qyerlgunort := Qyerlgunort + Qyer1;
pargunort:=pargunort + par;
edit56.text:=floattostr(fgnt);
 end;


{*********************************************************************}
{ * * Hava sicaklıgı ve Nemin  Hesablanması Baş * * * * * * * * * }

   if (1 <= i) and (i < tsi)  then {güneş yok iken}
begin

i2:=i2+1;

{ gece saat 1 - 6 arası işlem dogru olması için 25 den 29 a kadar
alınmalı }
{14 < i <= tsi, saat 14 den sonra hava sıcaklıgı asagıdaki formulle
hesaplanır }
ta:=MTmax-(MTmax-MTmin)*sin(pi*(i2-14)/(2*(10+tsi)));
tagunort:=tagunort+ta;

eu:=(17.1*ta/(235+ta))-(17.1*tmax/(235+tmax));
Fi:=exp(eu);
figunort:=figunort+(fi*100);
end;

  if (tsi < i) and (i<= 14) then    { ögleden önce }
begin
{ tsi <= i <=14 ise }
{Ögleden önceki(14 den önce) sıcaklık farklı hesaplanır ve havanın
nemi bulunur}
ta:=MTmin+(MTmax-MTmin)*sin(pi*((i-tsi)/(2*(14-tsi))));
tagunort:=tagunort+ta;
eu:=(17.1*ta/(235+ta))-(17.1*tmax/(235+tmax));
Fi:=exp(eu);
figunort:=figunort+(fi*100);
end;

 if (i > 14) then
begin
{14 < i <= tsi, saat 14 den sonra hava sıcaklıgı asagıdaki formulle
hesaplanır }
ta:=MTmax-(MTmax-MTmin)*sin(pi*((i-14)/(2*(10+tsi))));
tagunort:=tagunort+ta;
eu:=(17.1*ta/(235+ta))-(17.1*tmax/(235+tmax));
Fi:=exp(eu);
figunort:=figunort+(fi*100);
```

```
end;

u:=strtofloat(tablelu.text); {u:=5}

{*********************************************************************}
{ ***********   Toprak yüzey sıcaklığının hesabı ***************** }
{Tso'da kullanılan sabit deger daha sonra duzenlenecek }

Tso:= Ta+(3*(1+1.16*sin((2*pi*i/24)-2.09)) +
0.56*sin((2*pi*i/24)-0.785)*ln(50))*cos(0.0464*n)-(0.85*ln(u+1));
   tskat10:=10;  {katman derimliği,iki katman arasındaki mesafe cm}
 tsogunort:=tsogunort+tso;

 Beta:= 1/2 * sqrt(100*u/2);
 Alfa:= 1;
 {Tl:=(alfa*Tso +  Beta * Ta) / (alfa + beta); }

   tl1:= (ta + tso)/2;
   tl:= tl + (ta + tso)/2;

  rx:=1;
 Dequ:= beta / (1 + rx*beta) * 3600;

{ * * * * * * toprak katman sıcaklıgının hesabı * * * * * * * * * * }
{toprak katman sıcaklık formulu => Tj= (Ns-J)/Ns*Tso + J/Ns*Tns buda
eşit      }
{ Tj =((Ns-J)*Tso + J*Tns))/Ns          }
{Tj : sıcaklıgı hesaplanacak katman     }
{Ns : son katman numarası burada 10 dur }
{ J : kaçıncı katman oldugunu gosterir  }
{Tso: toprak yuzey sicakligi            }
{Tns: son katmanin sicakligi            }


 Tskat1:= ((9*Tso)+(1*Tskat10))/10;
 Tskat2:= ((8*Tso)+(2*Tskat10))/10;
 Tskat3:= ((7*Tso)+(3*Tskat10))/10;
 Tskat4:= ((6*Tso)+(4*Tskat10))/10;
 Tskat5:= ((5*Tso)+(5*Tskat10))/10;
 Tskat6:= ((4*Tso)+(6*Tskat10))/10;
 Tskat7:= ((3*Tso)+(7*Tskat10))/10;
 Tskat8:= ((2*Tso)+(8*Tskat10))/10;
 Tskat9:= ((1*Tso)+(9*Tskat10))/10;


    tskat1gunort:=tskat1gunort+tskat1;
    tskat2gunort:=tskat2gunort+tskat2;
    tskat3gunort:=tskat3gunort+tskat3;
    tskat4gunort:=tskat4gunort+tskat4;
    tskat5gunort:=tskat5gunort+tskat5;
    tskat6gunort:=tskat6gunort+tskat6;
    tskat7gunort:=tskat7gunort+tskat7;
    tskat8gunort:=tskat8gunort+tskat8;
    tskat9gunort:=tskat9gunort+tskat9;
```

```
{ * * * * * Uzun dalga boylu enerji hesabı * * * * * * * * * * * * }

{q=s*T**4 :gunesten gelen enerji, qc : cismin tuttugu
enerji,qk:kacan enerji }
{ qc = q - qk,   qk=s*((273+ta)/100)**4 *(1-fn*fg), T= (273+ta)/100)
Kelvin
{ fn=1- C*n=1-0.68*n , }

    fn1:=1-0.066*n;
    a1:=0.254;
    b1:=0.0066;
    m1:=(7.45*ta)/(235+ta);
    e1:=0.061*exp((m1)*ln(10))*(fi*100);
    fe1:=a1-b1*e1;
    s1:=0.45;

    qk:=s1*(0.97*ta+52.3)*(1-fn1*fe1);
    q1:=s1*(0.97*tso+52.3);
    qub := (-1)*(q1-qk);

    {-1 qub:uzun dalgalı en. butcesi degeri negatif olmalı bu
nedenle -1 çarp.}

     qubgunort:=qubgunort+qub;

    i1:=i;
    edit3.text:=floattostr(i1);


  if i > 24 then i1:= i- 24;
  if (i < ts) or (i > (24 - ts) ) then
  begin edit4.text:='0'; edit5.text:='0'; par:=0; end;

{ * * * * * * * * * * Hava Nem Hesabı Bit * * * * * * * * * * * * }

{ toprak sıcaklıgı bas }

{ * * ** * Atamaları yap ve kutuge yazdır * * * * * * * * * * * * }

 ALBEDO:=0.15;
 kr:=1-(a+b*(n/10))*n/10;
 Q:=(So*sinh0)/(1+f/sinh0);
 ENBUT1:=(1-ALBEDO)*(q*kr)+qub;


{////////// Buhar programi buraya yerlesecek bas \\\\\\\\\\\\\\\\\}

{ * * * * * * *  TOPRAK NEMİ VE POTANSİYELİ HESABİ  * * * * * * ** }
{ * * * * * * *  Baslangic nem ve potansiyelinin bulunmasi * * * * * }
if sw = 1 then
begin

teta[0]:=strtofloat(table4basnem0.text);
teta[1]:=strtofloat(table4basnem1.text);
teta[2]:=strtofloat(table4basnem2.text);
teta[3]:=strtofloat(table4basnem3.text);
```

```
teta[4]:=strtofloat(table4basnem4.text);
teta[5]:=strtofloat(table4basnem5.text);
teta[6]:=strtofloat(table4basnem6.text);
teta[7]:=strtofloat(table4basnem7.text);
teta[8]:=strtofloat(table4basnem8.text);
teta[9]:=strtofloat(table4basnem9.text);
teta[10]:=strtofloat(table4basnem10.text);

pot[0]:=strtofloat(table4bpot0.text);
pot[1]:=strtofloat(table4bpot1.text);
pot[2]:=strtofloat(table4bpot2.text);
pot[3]:=strtofloat(table4bpot3.text);
pot[4]:=strtofloat(table4bpot4.text);
pot[5]:=strtofloat(table4bpot5.text);
pot[6]:=strtofloat(table4bpot6.text);
pot[7]:=strtofloat(table4bpot7.text);
pot[8]:=strtofloat(table4bpot8.text);
pot[9]:=strtofloat(table4bpot9.text);
pot[10]:=strtofloat(table4bpot10.text);
{Es:=0.083; }
{sıfırıncı saatte herkatmanın nemini aşağıdaki şekilde
hesaplayabilirim}

{for m := 0 to 10  do
begin
teta[m] := 0.51- (1/24*ln(pot[m]/-15));
end; }

for m := 0 to 10  do
begin
teta1[m] := teta[m];
end;


{ Hesaplanan nemin table5'e  yazım işlemleri    }

table5.open;
table5.active:=true;
table5.edit;

{for j:= 0 to 10 do
begin
pot1Es[j]:= pot[j] + (10*(1-((Es-Rs)/-6690)));
end;       }
{* * * * * * * * *  DEGERLERİN GORUNTULENMESİ * * * * * * * * * * }


         Qsat := 0.00379*exp((17.1*Tso)/(235+Tso));
         Qso  := Qsat*(1-exp(-6690*(exp((0.09*teta[0]/1.2)
*ln(2)))));
         Qa   := 0.00379*exp((17.1*Ta)/(235+Ta));

          Ql  :=  0.00379*exp((17.1*Tl1)/(235+Tl1));
         trans:= dequ*0.0012 * (ql - qa) * Lt;
         transtoplam:= transtoplam + trans;
         Es   := 0.0012*3600*2*(Qso-Ql) + trans;
```

```
          if lt <= 0 then  Es    := 0.0012*3600*2*(Qso-Qa);
           if Es < 0 then Es :=0;
           if ( i < tsi) and (i> (24 - tsi)) then Es := 0;
            if Rs > 0 then Es :=0;

          { if Es < 0 then Es :=0;  }

          Esguntop:=Esguntop+Es;
          Est:= Esguntop * (1-exp(-0.45*Lt));
          if Rs > 0 then Est :=0;
          edit20.text := floattostr(Esguntop);
          edit57.text := floattostr(Est);
   for j := 1 to 10 do
          begin
          K[j] := 1.2*(exp(2.18*ln(-5/pot[j])));
          end;

end; { swich = 1 in   end }


{ 1. saat }

if sw = 0 then
begin

{ * * * * * * * *    Yagıs  bas  * * * * * * * * * * * * * * }

     edit21.text:=table1yagis.text;
     Tk:=strtofloat(table4nem23.text);
     sn:=strtofloat(table4nem7.text);
  if rs = 0 then goto bak1;
if Rs > 0 then
     Rs := Rs * 0.1;
     topkon:=0;
  begin
   for j := 0 to 10 do
   begin

    {KAPA}      topTk[j] := (Tk - teta[j])*10;
          topkon := topkon + topTk[j];  {KAPA}

               if topkon <= Rs then
               begin
                teta[j]:=Tk;
                pot[j]:=-15*exp(24*(0.51-teta[j]));
                TETA[0]:=abs(teta[0]);

               end

               else
                        begin
                  {KAPA}        topkon := topkon - topTk[j];
                                 TETA[0]:=abs(teta[0]);
                           teta[j] := teta[j] + (Rs - topkon)/10;
                           rs:=0;
```

```
                              sw3:=1;      {KAPA}

                               for kk1 := 0 to 10 do
                              begin
                              toptk[kk1]:=0; end;

                              goto cik;
                            end;
     end;
end;


{ Yagıs  son }

{ Bir günlük hesaplamalar }
{ saat saat toprak nemi ve potansiyelinin bulunması }

{T := (Tso+273);              {yukarida hesaplana deger, toprak yuzey
sicakligi }
{Ta:= ta;                     {yukarida hesaplana deger, hava
sicakligi          }

 {Pot1[0]  := ((83100*T)/(18)) * ln(0.999);
 teta1[0] := 0.482 - (1/24*ln(pot1[0]/-5));

 { katmanların hidrolik iletkenliginin bulunması }
{ hidrolik iletkenlik formulu K := Kf(Pd/P)**m  }
{ m:=2.18 sabit, Pd:=topragin emis gucu, Kf:=doygun toprak hidrolik
iletkenligi}

bak1:
    if sw3 = 1 then goto cik;

   { Yeni toprak su içeriği parametreleri  }

   Tetahv:=strtofloat(table4hkurutop.text);
   Prop:=1.2;

         var1[0]:=(teta[0] - Tetahv) * exp(-prop * 0.5*0.1);
         var1[1]:=(teta[1] - Tetahv) * exp(-prop * (0.1+0.5*0.1));
         var1[2]:=(teta[2] - Tetahv) * exp(-prop * (0.2+0.5*0.1));
         var1[3]:=(teta[3] - Tetahv) * exp(-prop * (0.3+0.5*0.1));
         var1[4]:=(teta[4] - Tetahv) * exp(-prop * (0.4+0.5*0.1));
         var1[5]:=(teta[5] - Tetahv) * exp(-prop * (0.5+0.5*0.1));
         var1[6]:=(teta[6] - Tetahv) * exp(-prop * (0.6+0.5*0.1));
         var1[7]:=(teta[7] - Tetahv) * exp(-prop * (0.7+0.5*0.1));
         var1[8]:=(teta[8] - Tetahv) * exp(-prop * (0.8+0.5*0.1));
         var1[9]:=(teta[9] - Tetahv) * exp(-prop * (0.9+0.5*0.1));
         var1[10]:=(teta[10] - Tetahv) * exp(-prop * (1+0.5*0.1));

          for j:= 0 to 10 do
            begin
             if j= 0 then sum1[j]:= var1[j] * 0.1
             else
          sum1[j]:=sum1[j-1] + var1[j]*0.1;
            end;
```

```
        for j := 0 to 10 do
         begin
         {if Es < 0 then Es :=0;}

          ff1[j]:=0.1 * var1[j]/sum1[10];
          er1[j]:= ff1[j] * es*10;
          Del1[j]:= er1[j]/0.1*0.001;

         teta1[j] := teta[j] -  del1[j];
         TETA1[0]:=abs(teta1[0]);
         if teta1[j] <=  (sn - Tetahv)  then teta1[j]:=(sn - Tetahv)
;
         end;


         for j := 0 to 10 do
         begin
         pot1[j] := -15*(exp(24*(0.51-teta1[j])));
         end;

         for j := 1 to 10 do
         begin
         K[j] := 1.2*(exp(2.18*ln(-5/pot1[j])));
         end;



         Qsat := 0.00379*exp((17.1*Tso)/(235+Tso));
         Qso:= Qsat*(1-exp(-6690*(exp((0.09*teta[0]/1.2) *ln(2)))));
         Qa := 0.00379*exp((17.1*Ta)/(235+Ta));
          Ql   :=  0.00379*exp((17.1*Tl1)/(235+Tl1));
         trans:= dequ*0.0012 * (ql - qa) * Lt;
          if Rs > 0 then trans :=0;

         transtoplam:=transtoplam + trans;
         Es    := 0.0012*3600*(Qso-Ql) + trans;

          if Es < 0 then Es :=0;
          if ( i < tsi) and (i> (24 - tsi)) then Es := 0;
           if Rs > 0 then Es :=0;


         esguntop:=esguntop+Es;
         Est:= Esguntop * (1-exp(-0.45*Lt));
         if Rs > 0 then Est :=0;
         edit20.text := floattostr(Esguntop);
         edit57.text := floattostr(Est);
         {if Es < 0 then Es :=0; }

        if Rs > 0 then Es :=0;

    { Toprak nem icerginin 1. saat icin katman katman hesaplanması }

    {     for j := 1 to 10 do
         begin
```

```
          L1:= j+1;
          if (L1) > 10 then L1 := 10;
          teta1[j] := teta[j] +(0.01 *K[j]*(pot[L1]-2*(pot[j])+
(pot[j-1])));

          end;

{*********************************************************************}
    { Yagısın olması durumunda Topragın tarla kapasitesine gelmesi}

{*********************************************************************}

{ yağışsız ortamda saat saat toprak katman potansiyeli }

         {for j := 1 to 10 do
         begin
         pot1[j] := -5*(exp(24*(0.482-teta1[j])));
         end;

 { potansiyele                ilave    yağış ve evaporasyon etkisi }
 { Py = (R*T)/(M*G)* ln (E)    +     dx*(1- (Es-Rs)/K)             }
 { dx : katman kalınlıgı, Es : evaporasyon, Rs : yağış, K : sabit }
 { Ty,T : toprak yüzey sıcaklığı                                   }
 { Ta : hava sıcaklığı                                             }
 { dx : katman kalınlığı                                           }
 { 0  : yagış miktarı                                              }
 { Es = ga*Dqs*(Qso-Qa)                                            }
 { ga : 1.2 * 10**-3 gr/Cm**3 : toprak yogunlugu sabit             }
 { Dqs : 1 cm/sn = 3600 cm/saat : toprak yüzeyinden nemin iletilme
hızı sabit }
 { Qs0 = Qsat*(1-exp*(-Ks(ds*Qy/gs)**2)                            }
 { Qsat = 3.79*10**-3* exp((17.1*Ts)/(235+Ts)) Ts : toprak yüzey
sıcaklığı    }
 { Qa = 3.79*10**-3 exp((17.1*Ta)/(235+Ta))  Ta : meteoroloji degeri
bulduk   }
 { Ks : hid.ilt sabit = -6.69*10**3 ,ds:toprak yüzeyindeki tanecik
çapı =0.09 }
 { Qy : toprak yüzeyi nem içerigi program ile bulduk ,             }
 { gs : toprak hacim agırlığı = 1.2 gr/cm**3                       }
 {      x**2 = exp(x*(ln(2))  üst alma ifadesi aşağıda kullanıldı }
 { bu degerler yerine konursa Es ve potansiyel yeniden hesaplanır }
 { bu bulunan potansiyel buharlasma göz önüne alınmış halidir.
yağış yok    }
 { daha sonra Rs : yağış ilave edilecek
 { Qsat : toprak doygun nem }
 { Qso  : toprak yüzeyindeki mutlak nem                            }

{*********************************************************************}
{ Yağışın olması durumunda saat saat potansiyel hesabı }

      {   Qsat := 0.00379*exp((17.1*Tso)/(235+Tso));
     Qso  := Qsat*(1-exp(-6690*(exp((0.09*teta1[0]/1.2) *ln(2)))));
         Qa    := 0.00379*exp((17.1*Ta)/(235+Ta));
         Es    := 0.0012*3600*(Qso-Qa);
         if Es < 0 then  Es :=0;
```

```
          edit20.text := floattostr(Es);

          for j:= 0 to 10 do
          begin
          if Rs > 0 then Es :=0;

          pot1Es[j]:= pot1[j] + (10*(1-((Es-Rs)/-6690)));
          end;              }

for j := 0 to 10 do
begin
teta[j] := teta1[j];
pot[j]  := pot1[j];

end;

{ Hesaplanan nemin table5'e  yazım işlemleri    }


     { table3 yazım işlemi}

{edit26.text := inttostr(i);
edit27.text := table1topyusic.text;
edit39.text := table1havasic.text; }

teta10gunort:=teta10gunort+teta1[0];
teta11gunort:=teta11gunort+teta1[1];
teta12gunort:=teta12gunort+teta1[2];
teta13gunort:=teta13gunort+teta1[3];
teta14gunort:=teta14gunort+teta1[4];
teta15gunort:=teta15gunort+teta1[5];
teta16gunort:=teta16gunort+teta1[6];
teta17gunort:=teta17gunort+teta1[7];
teta18gunort:=teta18gunort+teta1[8];
teta19gunort:=teta19gunort+teta1[9];
teta110gunort:=teta110gunort+teta1[10];

pot10gunort:=pot10gunort+pot1[0];
pot11gunort:=pot11gunort+pot1[1];
pot12gunort:=pot12gunort+pot1[2];
pot13gunort:=pot13gunort+pot1[3];
pot14gunort:=pot14gunort+pot1[4];
pot15gunort:=pot15gunort+pot1[5];
pot16gunort:=pot16gunort+pot1[6];
pot17gunort:=pot17gunort+pot1[7];
pot18gunort:=pot18gunort+pot1[8];
pot19gunort:=pot19gunort+pot1[9];
pot110gunort:=pot110gunort+pot1[10];

end; { switch = 0 in end  }

cik:

sw :=0;
```

```
{ * *  Baslangic nem ve potansiyelinin bulunmasi  * * * * * * * * *}
{ * * * * * buhar programi buraya yerlesecek son  * * * * * * * * *}

 if (i < ts) or (i > (24 - ts) )  then {güneş yoksa,  par' da yok}
  begin
  q:=0;
  PAR:=0;
 end;

 end;
 {Kısa dalga boylu enerjinin Hesaplanması Bit   }
 if table1zaman.text = edit2.text then
 begin

 table1.close;
 table2.close;
 table4.Close;
 table5.close;
 table6.close;
 if tatoplam <= 1950 then edit26.text:= ' '
 else  edit26.text:= floattostr(verim);
 end
   else
    begin

{Günlük ortalamaların hesaplanması, gösterilmesi,kütüge yazılması }

edit4.text:=floattostr(Qyerlgunort);
edit5.text:=floattostr(pargunort);
edit6.text:=floattostr(qubgunort);

edit7.text:=floattostr(tagunort/24);

tatoplam:=tatoplam + tagunort/24;
if tatoplam >= 254 then  label3.caption:='Çimlenme....';
if tatoplam >= 400 then  label3.caption:='Üç Yaprak...';
if tatoplam >= 460 then label3.caption:='Kardeşlenme.';
if tatoplam >= 835 then label3.caption:='Sapa Kalkma.';
if tatoplam >= 1170 then label3.caption:='Bayrak Yaprak';
if tatoplam >= 1325 then label3.caption:='Başaklanma ';
if tatoplam >= 1500 then label3.caption:='Çiçeklenme..';
if tatoplam >= 1950 then label3.caption:='Fizyolojik olum';
if tatoplam > 2450  then label3.caption:='Fizyolojik olum-Hasat';

edit8.text:=floattostr(figunort/24);


edit9.text:=floattostr(Tsogunort/24);
edit10.text:=floattostr(Tskat1gunort/24);
edit11.text:=floattostr(Tskat2gunort/24);
edit12.text:=floattostr(Tskat3gunort/24);
edit13.text:=floattostr(Tskat4gunort/24);
edit14.text:=floattostr(Tskat5gunort/24);
edit15.text:=floattostr(Tskat6gunort/24);
edit16.text:=floattostr(Tskat7gunort/24);
edit17.text:=floattostr(Tskat8gunort/24);
```

```
edit18.text:=floattostr(Tskat9gunort/24);
edit20.text := floattostr(Esguntop);
edit57.text := floattostr(est);
edit31.text := floattostr(teta10gunort/24);
edit32.text := floattostr(teta11gunort/24);
edit33.text := floattostr(teta12gunort/24);
edit34.text := floattostr(teta13gunort/24);
edit35.text := floattostr(teta14gunort/24);
edit36.text := floattostr(teta15gunort/24);
edit37.text := floattostr(teta16gunort/24);
edit38.text := floattostr(teta17gunort/24);
edit39.text := floattostr(teta18gunort/24);
edit40.text := floattostr(teta19gunort/24);
edit41.text := floattostr(teta110gunort/24);
edit42.text := floattostr(pot10gunort/24);
edit43.text := floattostr(pot11gunort/24);
edit44.text := floattostr(pot12gunort/24);
edit45.text := floattostr(pot13gunort/24);
edit46.text := floattostr(pot14gunort/24);
edit47.text := floattostr(pot15gunort/24);
edit48.text := floattostr(pot16gunort/24);
edit49.text := floattostr(pot17gunort/24);
edit50.text := floattostr(pot18gunort/24);
edit51.text := floattostr(pot19gunort/24);
edit52.text := floattostr(pot110gunort/24);
edit28.text := floattostr(tl/24);


table5.edit;
table5.append;
       table5tar.text      := table1zaman.text;
       table5sure.text     := inttostr(i);
       table5qyer.text     := floattostr(qubgunort);
       table5par.text      := floattostr(pargunort);
       table5queb.text     := floattostr(qubgunort);
       table5enbut.text    := floattostr(ENBUT1);
       table5gudogzam.text := floattostr(tsi);
       table5havanem.text  := floattostr(figunort/24);
       table5havasic.text  := floattostr(tagunort/24);
       table5topyusic.text := floattostr(Tsogunort/24);
       table5kat1.text     := floattostr(Tskat1gunort/24);
       table5kat2.text     := floattostr(Tskat2gunort/24);
       table5kat3.text     := floattostr(Tskat3gunort/24);
       table5kat4.text     := floattostr(Tskat4gunort/24);
       table5kat5.text     := floattostr(Tskat5gunort/24);
       table5kat6.text     := floattostr(Tskat6gunort/24);
       table5kat7.text     := floattostr(Tskat7gunort/24);
       table5kat8.text     := floattostr(Tskat8gunort/24);
       table5kat9.text     := floattostr(Tskat9gunort/24);

       table5yuzpot.text   := floattostr(pot10gunort/24);
       table5kat1pot.text  := floattostr(pot11gunort/24);
       table5kat2pot.text  := floattostr(pot12gunort/24);
       table5kat3pot.text  := floattostr(pot13gunort/24);
       table5kat4pot.text  := floattostr(pot14gunort/24);
       table5kat5pot.text  := floattostr(pot15gunort/24);
```

```
        table5kat6pot.text  := floattostr(pot16gunort/24);
        table5kat7pot.text  := floattostr(pot17gunort/24);
        table5kat8pot.text  := floattostr(pot18gunort/24);
        table5kat9pot.text  := floattostr(pot19gunort/24);
        table5kat10pot.text := floattostr(pot110gunort/24);

        table5yuznem.text   := floattostr(teta10gunort/24);
        table5kat1nem.text  := floattostr(teta11gunort/24);
        table5kat2nem.text  := floattostr(teta12gunort/24);
        table5kat3nem.text  := floattostr(teta13gunort/24);
        table5kat4nem.text  := floattostr(teta14gunort/24);
        table5kat5nem.text  := floattostr(teta15gunort/24);
        table5kat6nem.text  := floattostr(teta16gunort/24);
        table5kat7nem.text  := floattostr(teta17gunort/24);
        table5kat8nem.text  := floattostr(teta18gunort/24);
        table5kat9nem.text  := floattostr(teta19gunort/24);
        table5kat10nem.text := floattostr(teta110gunort/24);


     table5.append;
if messagedlgpos('Devam',mtinformation,[mbyes,mbno],0,600,600)=mrno
then close;

{ bitki verimini hesaplamak için maximum Es yi tesbit et }
         if Esguntop > Esmax then Esmax:=Esguntop;
         if Rs > 0 then Est :=0;

         edit55.text:=floattostr(fgntoplam);
         edit57.text:=floattostr(Est);
         estoplam:=estoplam + esguntop;
         edit58.text := floattostr(Estoplam);

Biomass := 115*Estoplam / 0.5;
verim := Biomass * strtofloat(table6hasin.text);

edit59.text:= table6bittur.Text;
edit60.text:= table6etarih.Text;
edit61.text:= table6htarih.Text;
edit62.text:= table6myapal.Text;
edit63.text:= table6mftose.Text;
edit64.text:= table6hasin.Text;
edit22.text:= floattostr(biomass);
{edit26.text:= floattostr(verim);     }
  table1.next;
   sw3:=0;
   goto bas;
    end;
end;



procedure Tform12.Button3Click(Sender: TObject);
var
f: textfile;
i : integer;
k : integer;
```

```
u1,u2,u3,u4,u5,u6,u7,u8,u9,u10,u11,u12,u13,u14,u15,u16,u17,u18 :
integer;
label
top,bas;
begin
assignfile(f,'lpt1');
rewrite(f);

write(f,'Tarih   ');
write(f,'   Süre ');
write(f,'   QYER ');
write(f,'   PAR  ');
write(f,'   QUEB ');
write(f,'   ENBÜT');
write(f,'   Gün.Do.Z ');
write(f,'   Hava Sıc ');
write(f,'   Top.Yü.Sı');
write(f,'   Kat1 ');
write(f,'   Kat2 ');
write(f,'   Kat3 ');
write(f,'   Kat4 ');
write(f,'   Kat5 ');
write(f,'   Kat6 ');
write(f,'   Kat7 ');
write(f,'   Kat8 ');
writeln(f,'   Kat9 ');

for i := 1 to 5 do
begin
write(f,'_____________________');
end;
     writeln(f,'');
     table2.open;
     table2.active:=true;

     table2.first;
     bas:
     table2.edit;
     u1 :=7-length(table2tar.text);
write(f,table2tar.text,'':u1);
     u2 :=7-length(table2sure.text);
write(f,table2sure.text,'':u2);
     u3 :=7-length(table2qyer.text);
write(f,table2QYER.text,'':u3);
     u4 :=7-length(table2par.text);
write(f,table2PAR.text,'':u4);
     u5 :=7-length(table2queb.text);
write(f,table2queb.text,'':u5);
     u6 :=7-length(table2enbut.text);
write(f,table2enbut.text,'':u6);
     u7 :=7-
length(table2gudogzam.text);write(f,table2gudogzam.text,'':u7);
     u8 :=7-length(table2havasic.text);
write(f,table2havasic.text,'':u8);
     u9 :=7-
length(table2topyusic.text);write(f,table2topyusic.text,'':u9);
```

```
     u10:=7-length(table2kat1.text);
write(f,table2kat1.text,'':u10);
     u11:=7-length(table2kat2.text);
write(f,table2kat2.text,'':u11);
     u12:=7-length(table2kat3.text);
write(f,table2kat3.text,'':u12);
     u13:=7-length(table2kat4.text);
write(f,table2kat4.text,'':u13);
     u14:=7-length(table2kat5.text);
write(f,table2kat5.text,'':u14);
     u15:=7-length(table2kat6.text);
write(f,table2kat6.text,'':u15);
     u16:=7-length(table2kat7.text);
write(f,table2kat7.text,'':u16);
     u17:=7-length(table2kat8.text);
write(f,table2kat8.text,'':u17);
     u18:=7-length(table2kat9.text);
writeln(f,table2kat9.text,'':u18);
    table2.next;
    if table2.eof = false then goto bas;
    system.closefile(f); close;

end;

procedure Tform12.Button1Click(Sender: TObject);
begin
table1.close;
  close;
end;

procedure Tform12.DBGrid1DblClick(Sender: TObject);
begin
edit1.text := table1zaman.text;
end;

procedure Tform12.DBGrid2DblClick(Sender: TObject);
begin
edit2.text := table1zaman.text;
end;

procedure Tform12.FormCreate(Sender: TObject);
begin
table1.indexname  := 'zaman1';
form12.top    := 1;
form12.left   := 1;
form12.height :=  800;
form12.width  :=  1000;
end;

end.
```

***{.....} işareti programın kapalı olduğunu gösteriyor.**