

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Taofeek Samuel WAHAB

**FARKLI SU DÜZEYLERİNDE MISIR BİTKİSİNİN NEM-
VERİM İLİŞKİLERİNİN CROPSYST MODELİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ADANA-2020

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI SU DÜZEYLERİNDE MISIR BİTKİSİNİN NEM-VERİM İLİŞKİLERİNİN CROPSYST MODELİ İLE ARAŞTIRILMASI

Taofeek Samuel WAHAB

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Alkhan SARIYEV
Yıl: 2020, Sayfa: 97
Jüri : Prof. Dr. Alkhan SARIYEV
: Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR
: Dr. Öğr. Üyesi Yakup Kenan KOCA

Bu tez çalışmasında yeraltı sulama yöntemi kullanılarak farklı düzeylerde sulama uygulamalarının mısır bitkisinin verimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi ve CropSyst bitki büyüme modeli aracılığıyla verimin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Çukurova iklim koşullarında bir yıl süreyle deneme kurulmuştur. Denemede I100 (Tam sulama), I75 (Tam sulamanın %75'i) ve I50 (Tam sulamanın %50'si) olmak üzere üç sulama rejimi uygulanmıştır. Deneme süresince mısır bitkisine ait önemli olgunlaşma dönemlerinde ölçümler yapılmış ve hasattan sonra toprak örneği alınmıştır. CropSyst ile farklı senaryolar kurularak mısır bitkisinin verimi tahmin edilmiş ve sıcaklık ile nem ilişkisi modellenmiştir. Çalışmada fiziksel toprak özellikleri, biyokütle ve yaprak alan indeksi (YAI) üzerinde sulama uygulamalarının istatistiksel olarak önemli etkileri bulunmamıştır. Buna karşın toprak organik karbonu, bazı kimyasal özellikler, koçan uzunluğu ve genişliği ve verim üzerinde I100 ile I75 uygulamaları I50 uygulamasına kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. CropSyst'teki kalibrasyon ve validasyon sonucu yeraltı sulama yöntemi ile yetiştirilen mısır bitkisinin biyokütlesini tüm sulama uygulamalarında yüksek düzeyde tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Yapılan senaryolara göre ekim tarihi değiştirildiğinde I75 ve I50 uygulamalarında verimin en çok etkilendiği görülmüştür. Deneme süresince sıcaklık aynı düzeyde tutulduğunda I100, I75 ve I50 uygulamalarının verimi sırasıyla 35°C, 32°C ve 27°C sıcaklığa kadar artmıştır. Günlük ortalama sıcaklık 1°C arttırıldığında ise I100 aynı düzeyde kalmış iken, I75 ve I50 uygulamalarında sıcaklık arttıkça verimin düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada mısır bitkisinin verim unsurları dikkate alındığında tam sulamadan ziyade %25 daha az suyun kullanıldığı kısıtlı sulama (I75) ön plana çıkmıştır. Ayrıca ürün veriminin belirlenmesi açısından CropSyst kullanımının yaygınlaşması ve modelin daha farklı amenajman uygulamalarını dikkate alarak genişletilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: CropSyst, Sulama, Mısır, Modelleme, Verim

ABSTRACT

MSc THESIS

THE RELATIONSHIP BETWEEN MOISTURE AND YIELD OF MAIZE UNDER DIFFERENT WATER LEVELS USING CROPSYST MODEL

Taofeek Samuel WAHAB

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

Supervisor : Prof. Dr. Alkhan SARIYEV
Year: 2020, Pages: 97

Jury : Prof. Dr. Alkhan SARIYEV
: Assoc. Prof. Dr. Çağdaş AKPINAR
: Asst. Prof. Dr. Yakup Kenan KOCA

This thesis study was aimed at determining the effect of different irrigation regimes on maize under subsurface drip irrigation system and the prediction of maize yield using CropSyst plant growth model. Within the scope of this study, a one-year period field experiment was carried out under Çukurova climatic condition. Three irrigation regimes including I100 (full irrigation), I75 (75% of full irrigation), and I50 (50% of full irrigation) was applied in the field study. During the period of the study, maize plant's important growth data were collected and after harvest soil samples was also collected. The yield of maize was estimated by creating different scenarios with CropSyst and the relationship between temperature and moisture was modelled. It was found that the irrigation regimes had no significant effect on soil physical properties, biomass, and the leaf area index (LAI) in the study. On the other hand, I100 and I75 performed better in soil carbon content, some soil chemical properties, cob length and width and yield compared to I50. From the result of the calibration and validation of CropSyst, it was determined that the biomass of maize under subsurface irrigation system can be effectively predicted in all irrigation regimes. According to the result of scenario made when the planting date was altered yields of I75 and I50 were the most affected. Throughout the scenario period at different constant temperature regimes I100, I75 and I50 practice's yield increased up to 35°C, 32°C and 27°C respectively. When the daily mean temperature was raised by 1°C, I75 and I50 treatment's yield decreased with increase in temperature while I100's yield remained relatively the same. In this study, when taken yield componets of maize is taken into consideration, it came into prominence that limited irrigation (I75) which is 25% less use of full irrigation capacity can be adopted. In addition, the adoption of CropSyst in terms of estimating the crop yield is strongly suggested and also the model should be expanded considering different management applications.

Key Words: CropSyst, Irrigation, Maize, Modelling, productivity

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Dünya üzerinde azalan su kaynakları gıda güvenliğini olumsuz etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Yeterli miktarda su kaynağı bulunmayan ülkelerde veya su kaynağını korumak isteyen ülkeler su tüketimini daha işlevsel bir şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Su tüketiminin en fazla kullanıldığı tarımda ise su kaynaklarının akılcı kullanılması günümüzde büyük bir önem taşımaktadır. Bunun için Çukurova iklim koşullarında yeraltı sulama yöntemi ile yetiştirilen mısır bitkisinin nem-potansiyel verimliliğinin belirlenmesi için 2019 yılında bir yıl süreyle deneme kurulmuştur. Deneme Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde Menzilat serisi ile Arık serisi arasında bir geçiş bölgesi üzerinde kurulmuştur. İklim verisi Adana metroloji müdürlüğüne ait deneme alanına 3 km yakınlıktaki istasyondan temin edilmiştir.

Deneme alanında sulama borusu 5 sulama hattı üzerinde 35 cm toprak derinliğine gömülmüştür. Bu sulama hattına göre sulama düzeyi seçilmiş, ilk ve son sulama hattı deneme dışı bırakılmıştır. Arada kalan sulama hatları ise I100 (tam sulama), I75 (tam sulamanın %75'i) ve I50 (tam sulamanın %50'si) olmak üzere üç sulama uygulamasına tahsis edilmiştir. Denemede atdiği mısır çeşidi 70 cm sıra aralıklı, 4 sıra halinde, 16 cm sıra üzeri aralıkta 6 m uzunluğundaki parsellere ekilmiştir. Bitkiler 4 yapraklı seviyeye geldikten sonra sulama rejimine uygulamaya başlanmıştır. Çıkış tarihi, hasat tarihi ve önemli bitki gelişim dönemlerinde ölçümler yapılmış ve hasat döneminde bitki ve toprak örnekleme yapılmıştır.

Uygulamalar arasındaki farklılığın belirlenmesi için R paket programı ile ANOVA analizi yapılmış, bunun yanında denemeden elde edilen toprak ve bitki verileri ve iklim istasyonundan alınan iklim verileri ile CropSyst uygulamasında bulunan mısır modülü kalibre edilmiş ve validasyon yapıldıktan sonra farklı ekim tarihi, farklı sıcaklık düzeyi gibi senaryolar kurulmuş, nem-potansiyel verimliliği modellenmiştir. Toprak fiziksel özellikleri, kireç, elektriksel iletkenlik, fosfor,

potasyum, bakır ve demir üzerinde “ analiz sonucunda sulama uygulamalarının herhangi bir etkisi bulunmamıştır. Buna karşın toprak pH’sı, organik karbon, çinko ve mangan üzerine sulama uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Genel olarak pH, organik karbon, çinko ve mangan değerleri incelendiğinde uygulamalar arasındaki farkların çok büyük olmadığını aksine birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Farklı tarihte alınan bitki mısır biyokütlesi üzerine sulama uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli derece fark bulunmamıştır. Ancak hasattan önce yapılan örneklemede değerler incelendiğinde 29244 kg/ha ile en yüksek biyokütle I100 uygulamasında iken, I75 ve I50 uygulamaları sırasıyla 28933 kg/ha ve 27733 kg/ha ile I100 uygulamasını takip ettiği görülmüştür. Sulama uygulamalarının yaprak alan indeksi üzerinde sadece tepe püskülü döneminde istatistiksel olarak önemli derece etkileri bulunmuştur. I100 ve I50 uygulamaları I75 uygulamasına kıyasla yaprak alan indeksini küçük farklarla geliştirmiştir. Ayrıca tüm deneme boyunca en yüksek yaprak alan indeksi I100 uygulamasında elde edilmiş olup, bunu sırasıyla I50 ve I75 uygulamaları takip etmektedir. Bitki uzunluğunda 6 yapraklı dönemde yapılan örneklemede en yüksek bitki uzunluğu I50 ve I75 uygulamalarında elde edilmiştir. Tepe püskülü döneminde ise en yüksek bitki uzunluğu I75 uygulamasında elde edilmiştir.

Koçan uzunluğu, dane sayısı, danesiz çap, daneli çap ve mısır verimi üzerinde sulama uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Verim unsurlarından olan koçan uzunluğu, dane sayısı, danesiz çap ve daneli çap ve mısır bitkisinin verimi I50 uygulamasına kıyasla I100 ve I75 uygulamalarında en yüksek değerleri elde etmiştir.

CropSyst’te kalibrasyon ve validasyon yapıldıktan sonra farklı senaryolar kurulmuştur. Yapılan senaryolardan ilki “mısır bitkisinin ekim tarihi daha geri alınsaydı, verim ne olurdu?” üzerinedir. Senaryoya göre gerçek ekim tarihinden daha önce ekim yapılsaydı daha yüksek verim elde edebilirdi. Bu durum özellikle kısıtlı sulama uygulamaları olan I75 ve I50 uygulamalarında daha belirgin olarak

görülmüştür. Yeraltı sulama sistemiyle yapılan mısır yetiştiriciliğinde çalışma sonucuna göre en geç mayıs ayının sonunda ekim işleminin yapılması gerektiği tavsiye edilmektedir.

Bir diğer senaryo ise sıcaklıkla ilgili olup, iki farklı yöntem denenmiştir. Bunlardan ilki “deneme süresince sıcaklık sabit olsaydı mısır bitkisinin verimi ne olurdu?” üzerinedir. Deneme süresince aynı sıcaklık altında tutulan mısır bitkisinin verimi I100, I75 ve I50 uygulamalarında belirli bir seviyeye kadar yükseltmiştir. I100, I75 ve I50 uygulamalarında sırasıyla 32-35 °C, 26-30 °C, ve 23-25 °C sıcaklık düzeylerinde en yüksek verim elde edildiği görülmüştür. Sıcaklıkla ilgili ikinci senaryo ise “günlük en düşük sıcaklık kademeli olarak 1 °C arttırıldığında verim ne olurdu? üzerinedir. Günlük en düşük sıcaklık kademeli olarak 1 °C arttırıldığında I100 uygulamasının verimi aynı düzeyde kalırken, I75 ve I50 uygulamaları sıcaklık arttıkça verimin düştüğü görülmüştür. Tepe püskülü döneminde ise iki sıcaklık yöntemi uygulandığında verimde herhangi bir değişiklik görülmemiştir.

Bu tez çalışmasında tam sulamaya kıyasla %25 daha az yapılan sulama konusunda (I75) verim ve unsurları açısından rakamsal olarak fark görülse de istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Su kıtlığı ve iklim değişimi gibi ciddi problemlerin hissedildiği günümüzde su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından I75 uygulaması ön plana çıkmıştır. Simülasyon çalışmaları incelendiğinde denemede elde edilen sonuçlarla modelin tahmin ettiği verim parametreleri uyumlu bulunmuştur. Ancak model bazı durumlarda çeşitli parametrelerin sınırlar ölçüsünde değişmesine duyarlı olmamıştır. Modelin bölgede kullanılabilirliğini artırmak için, iklim ve toprak verilerinin çok hassas belirlenmesi ve aynı zamanda verim unsurlarını tahmin eden ilişkilerin yöreye modelin yazılımında uygun olarak düzeltilmesi gerektiği de anlaşılmıştır.

Modelin çalışmasını daha detaylı inceleyerek, gerçek zaman diliminde bazı temel bileşenlerin bütçesini, özellikle toprakta su rejiminin dinamiğini belli

periyotlarla kestirim yaparak, sulama ihtiyacı ve su miktarının da doğru tespit edilmesi incelenmeli ve uygulamalarda bu konuya önem verilmelidir. Önerilerden en önemlisi, dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi uzun süreli denemelerle ve çeşitli bitki desenleri ile validasyonu sağlanmış CropSyst bitki büyüme modeli ve diğer modeller kullanılarak ürün gelişimi ve veriminin tahmin edilmesidir. Bununla birlikte iklim koşulları dikkate alınarak başta toprağın bileşenleri, su bütçesi ve tekstürü, toprak yapısı gibi fiziksel toprak özelliklerine göre yetiştiricilik yapılacak bölgeye uygun ürün seçiminin model çalışmalarında kullanılmasıdır. Bu sayede doğru gübreleme ve sulama programları gibi tarımsal uygulamaların daha iyi planlanması ve ürün veriminin hasattan önce tahmin edilmesi ile pazarlama stratejilerinin daha doğru yönlendirilmesi sağlanmış olacaktır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren ve sürekli olarak yanımda olan değerli danışmanım Prof. Dr. Alkhan SARIYEV'e, tezimin arazi çalışmalarında yardımcı olan hocam Prof. Dr. Celaleddin BARUTÇULAR'a, tezimin laboratuvar analizleri ve yazımında usanmadan bana yardımcı olan Arş. Gör. Mert ACAR'a, CropSyst modelinin kullanımını ve çalışmalarını kontrol eden Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİLEK'e ve değerli Jüri üyeleri Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR ve Dr. Öğr. Üyesi Yakup Kenan KOCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

2017 yılından itibaren yüksek lisans eğitimim için YTB (Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı) aracılığıyla bana burs sağlayan Türkiye Cumhuriyeti Devletine, tezimin FYL-2019-12298 kodlu projesini finans eden Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve bana kapılarını açan Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümünün tüm hocalarına ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Sürekli halimi soran, tavsiye ve destek veren değerli annem Aramide WAHAB'a, babam Sikiru WAHAB'a ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde görev yapan ve arazi çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Hüsametdin ŞAHAN, Murat ÜNAL ve danışman hocamın lisans tez bitirme öğrencilerine de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Ürün Simülasyon Modeli Nelerdir?.....	5
2.2. Ürün Simülasyon Modelinin Kısa Tarihi	5
2.3. Ürün Simülasyonunun Önemleri	7
2.4. Ürün Modellerinin Kısıtları	8
2.5. Ürün Modellerinin Türleri	9
2.6. Bazı Ürün Modelleri İle İlgili Çalışmalar.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Araştırma alanı	17
3.2. Tarla denemesinin kurulması.....	19
3.3. Denemede Kullanılan Mısır Bitkisinin Ekim, Bakım ve Hasat İşlemleri....	22
3.4. Bitki-Toprak Örnekleme ve Ölçümleri	23
3.4.1. Toprak Örnekleme ve Yapılan Analizler.....	23
3.4.2. Bitki Örnekleme ve Ölçümleri.....	24
3.5. Model.....	25
3.5.1. CropSyst Modelinin Unsurları	25
3.5.2. CropSyst İçinde Bulunan Modeller	26
3.5.3. CropSyst'in Veri İstekleri	30

3.6. CropSyst Model Analizi ve İstatistiksel Analizler	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Farklı Sulama Düzeyinin Kimyasal Toprak Özelliklerine Etkisi	37
4.2. Farklı Sulama Düzeyinin Fiziksel Toprak Özelliklerine Etkisi.....	41
4.3. Farklı Sulama Düzeyinin Biyokütle ve Verim Üzerine Etkisi	43
4.4. Deneme Alanına ait İklim Verileri ve Hareketleri.....	53
4.5. Model Kalibrasyonu ve Senaryo Sonuçları	57
4.5.1. Model Kalibrasyonu.....	57
4.5.2. Model Validasyonu	62
4.5.3. Senaryo Oluşturulması	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	Adana iline ait uzun yıllar (1929-2019) iklim verileri	18
Çizelge 3.2.	Deneme süresince düşen yağış (mm).....	19
Çizelge 3.3.	Deneme süresince uygulanan sulama miktarı	22
Çizelge 4.1.	Farklı sulama uygulamalarının toprak ph'sı, elektriksel iletkenlik ve kireç içeriği üzerine etkisi	37
Çizelge 4.2.	Farklı sulama uygulamalarının toprağın organik karbon, fosfor ve potasyum içerikleri üzerine etkisi	38
Çizelge 4.3.	Farklı sulama uygulamalarının topraktaki mikro besin elementleri üzerine etkisi	40
Çizelge 4.4.	Farklı sulama uygulamalarının hacim ağırlığı ve gözeneklilik üzerine etkisi	41
Çizelge 4.5.	Farklı sulama uygulamalarının hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi üzerine etkisi	42
Çizelge 4.6.	Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen biyokütleye etkisi	43
Çizelge 4.7.	Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen yaprak alan indeksine etkisi	45
Çizelge 4.8.	Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen bitki uzunluğuna etkisi	47
Çizelge 4.9.	Farklı sulama uygulamalarının koçan ölçümü ve dane sayısına etkisi	49
Çizelge 4.10.	Farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisinde verime etkisi	52
Çizelge 4.11.	2019 yılı iklim verileri	57
Çizelge 4.12.	CropSyst modelinde kullanılan katsayılar	59

Çizelge 4.13. Yer altı sulama yöntemiyle sulanan mısır bitkisinin biyokütlesinin CropSyst'ın aracılığıyla modellenmesi, performansının değerlendirilmesi için kullanan istatistiksel indeksler.....	62
Çizelge 4.14. Yer altı sulama yöntemiyle sulanan mısır bitkisinin yaprak alan indeksinin CropSyst'ın aracılığıyla modellenmesi, performansının değerlendirilmesi için kullanan istatistiksel indeksler.....	63
Çizelge 4.15. Ölçülen ve modellenen verim arasındaki farklılığı gösteren bir tablo	65
Çizelge 4.16. Ekim tarihine göre yapılan modelleme sonuçları	68
Çizelge 4.17. Farklı sıcaklık rejiminde modelleme sonucu tablosu (1)	70
Çizelge 4.17. Farklı sıcaklık rejiminde modelleme sonucu tablosu (2)	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1.	Araştırma alanı görüntüsü	17
Şekil 3.2.	Deneme deseni	20
Şekil 3.3.	CropSyst modelinde iklim verilerinin girişi	30
Şekil 3.4.	CropSyst modelinde iklim verilerine ait grafiklerin görünümü	31
Şekil 3.5.	CropSyst modelinde toprak verilerinin girişi	32
Şekil 3.6.	CropSyst modelinde toprak yönetim uygulamalarının girişi.....	33
Şekil 3.7.	CropSyst modelinde ürün bilgilerinin girişi	34
Şekil 4.1.	Farklı sulama uygulamalarında topraktaki organik karbon içeriğine etkisi	39
Şekil 4.2.	Farklı sulama uygulamalarında biyokütlenin gelişimine ait grafik	44
Şekil 4.3.	Farklı sulama uygulamalarında yaprak alan indeksine ait grafik	46
Şekil 4.4.	Farklı sulama uygulamalarının bitki uzunluğuna etkisi	48
Şekil 4.5.	Farklı sulama uygulamalarının koçan ölçümü ve dane sayısına etkisi	50
Şekil 4.6.	Farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisinin verimine etkisi.....	52
Şekil 4.7.	2019 yılında güneş radyasyonu, evapotranspirasyon, rüzgâr hızı ve yağış verileri	54
Şekil 4.8.	2019 yılında sıcaklık ve nem verileri	55
Şekil 4.9.	Modellenen ve ölçülen yaprak alanı indeksi grafiği.....	61
Şekil 4.10.	Modellenen ve ölçülen biyokütle grafiği.....	61
Şekil 4.11.	Uygulamaya göre ölçülen ve tahmin edilen biyokütle grafiği	63
Şekil 4.12.	Uygulamaya göre yaprak alan indeksinin r^2 'sını gösteren bir grafik	64
Şekil 4.13.	Uygulamaya göre ölçülen ve modellenen verim arasındaki farklılık	66
Şekil 4.14.	Ekim tarihine göre yapılan modelleme sonuçları	69

Şekil 4.15. Deneme boyunca aynı düzeyde tutulan sıcaklık seviyesindeki verimler	73
Şekil 4.16. Tepe püskülü döneminde aynı düzeyde tutulan sıcaklık seviyesindeki verimler.....	73
Şekil 4.17. Deneme süresince en düşük sıcaklığın kademeli olarak 1 °C arttırılması sonucu verim değişimleri.....	75
Şekil 4.18. Tepe püskül döneminde en düşük sıcaklığın kademeli olarak 1 °C arttırılması sonucu verim değişimleri.....	75



1. GİRİŞ

Gıda güvenliğinin önümüzdeki yıllarda dünya üzerinde daha fazla şekilde tartışılması beklenmektedir. Dünyadaki gıda ve beslenme raporuna göre özellikle iklim değişikliği nedeniyle önceleri kendi kendine yeten ülkeler, ileriki dönemlerde gıda güvenlik sorunu yaşayabilecektir. Buna karşın Afrika ülkeleri gibi gelişmekte olan ülkeler bu sorunu daha ciddi bir şekilde hissedebilecekleri bildirilmiştir (Resilience, B. (2017).. Bu sorunu hafifletmek için uzun vadeli araştırmaların yapılması gerekmektedir. Ancak hızlı bir şekilde artan nüfusla birlikte gıda güvenlik sorunu buna fırsat vermemektedir.

Matematiksel modellerin uygulanması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte öngörülebilir bitkisel üretim ve verimlilik planlaması gibi sorunlar matematiksel ifadelerle dönüştürülerek kısa süre içinde gelecekte ortaya çıkabilecek sorunlar için senaryolar oluşturulabilmekte ve bu sorunları çözmek için kullanılabilecek farklı yaklaşımlar geliştirilebilmektedir. Son yıllarda araştırmacılar sulama, beslenme, iklim gibi bitki gelişimi ve verimliliğini etkileyen faktörler ve bitki fizyolojik özellikleri ile ürün modeli ve buna ait farklı senaryoları oluşturabilmektedir. Bu da bitki yetiştiriciliğin çevre üzerindeki etkisi ve bitki verimliliğinin artırılması ve yetiştiricilik süresince kullanılan girdinin azaltılması üzerine çalışmaların başlamasına sebep olmuştur.

Dünyada birçok ülkede, bitki verimini arttırabilmek, verimi azaltıcı etkileri belirlemek ve bunlara çözüm yolları bulmak amacıyla tarımsal meteoroloji dalında çalışmalar yapılmakta ve özellikle atmosfer-toprak-bitki ilişkisini daha iyi analiz edebilmek için bitki-iklim benzetim modelleri kullanılmaktadır. Bitki-iklim modellerinin kullanılması ile meteorolojik değişimlerin tarımsal faaliyetlerde etkileri daha iyi bir şekilde değerlendirilmekte ve bitkinin göstereceği tepkiler önceden tahmin edilebilmektedir. Bu durum bitki, toprak ve atmosfer arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi anlamaya yardımcı olmakta ve birim alandan alınan verimin arttırılmasına katkıda bulunmaktadır (Şaylan ve ark., 1998).

Su özellikle bitki gelişimi açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. Mısır gibi yüksek suya ihtiyaç duyan bitkiler, yeterli su olmayınca bitkinin fizyolojik süreçleri kısıtlanmakta ve bu doğrultuda bitkinin verimliliği azalmaktadır (Bozkurt ve ark., 2006; Hao ve ark., 2015). Ancak çoğu çiftçiler yüksek mısır verimliliğine ulaşmaları için mısır bitkisinin ihtiyacından daha fazla su vermekte ve bu da düşük su kullanım etkinliğine ve bitkide zarara neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2017). Bununla birlikte sulanmakta olan tarlaların tatlı suyun % 70-75'ini kullandığı düşünüldüğünde, artan dünya nüfusu ve iklim değişikliği nedeniyle tatlı su üzerinde ciddi baskı yapmaktadır (Wallace, 2000; Rosengrant ve ark., 2009).

Mısır gibi yüksek suya ihtiyaç duyan bitkiler için kullanılan suyun azaltılması sürdürülebilir tarım için çok önemlidir (Guoqiang Zhang ve ark., 2017). Mısır verimliliğini çok fazla azaltmadan kullanılan sulama suyunun azaltılması üzerinde farklı araştırmalar bulunmaktadır (Piper ve Weiss 1990, Pereira ve ark., 2014, Guoqiang Zhang ve ark., 2017). Ancak farklı sulama düzeylerinde mısır yetiştiriciliğinin CropSyst modeli kullanılarak bir araziden en düşük su kullanılarak optimum verim elde edilmesi hakkında çalışmalar oldukça sınırlıdır. Yapılan araştırmalara göre CropSyst modelinin dinamik bir araştırma ve verim tahmini yapmak için uygun olduğu tespit edilmiştir (Ferrer-Alegre ve Stöckle, 1999; Belhouchette ve ark., 2001; Bocchi ve ark., 2001). Bunun için kurulacak denemeden farklı toprak özellikleri ve birkaç mısır bitkisinin fizyolojik özellikleri ölçülerek elde edilen veriler CropSyst modeli ile doğrulanarak gelecekte oluşması muhtemel bir olayın modellenmesi hedeflenmektedir. Bu sayede gelecekte karşılaşılabilecek sorunların üstesinden gelinebilmesi ve stratejik bitkilerin yetiştiriciliğinin yapılabilmesine olanak tanımaktadır.

Suyun bitki gelişimini sınırlayan en önemli faktör olduğunu göz önünde bulundurarak, kısıtlı sulama ve verim ilişkilerinin araştırılması ve model yardımı ile senaryolar üretilmesi bu açıdan önem arz etmektedir. Bu çerçevede çalışmanın amacı aşağıdaki gibidir. Bu çalışmada;

- Mısır bitkisinin 3 farklı sulama düzeyinde (%100, %75, %50) verim–nem ilişkilerinin arazi denemeleri ile araştırılması,
- Arazi denemesinden elde edilen verilerin kullanılması ile CropSyst bitki büyüme modelinin adaptasyonunun sağlanması,
- Modelin katkısı ile simülasyon teknikleri uygulanarak potansiyel verim hedefinin araştırılması ve
- Ekim tarihi, sıcaklık ve farklı sulama düzeyleri gibi amenajmanların uygulanması ile simülasyonlar yaparak, nem-verim ilişkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Ürün Simülasyon Modeli Nelerdir?

Ürün simülasyon modeli ürün ve yetiştirildiği çevresinin arasındaki etkileşimin bilgisayar tabanlı matematiksel temsildir. Bilimsel araştırma ve kaynak yönetiminde özellikle tarımsal araştırmada son zamanlarda önemli rol oynamaktadır (Graves ve ark., 2002). Simülasyon modelleri, genellikle gerçek dünya sisteminin matematiksel temsildir (Mize ve Cox, 1968). Ancak genellikle bilgisayar simülasyonunda tüm çevre ve bitkiler arasında etkileşimin eklenmesi mümkün olmayıp, bilgisayar modeli gerçek dünyanın kolaylaştırılmış/basitleştirilmiş halidir. Çoğu zaman modeller özellikle bir araştırmayı simüle etmek için ihtiyaç duyulan temel verilerin yokluğunda araştırma gerçekleştirildiğinde birçok kuram içermektedir. Modeller bilimsel tabanlı bir denklemi içeren basit modellerden binlerce denklemi içeren karmaşık modellere kadar değişmektedir (Hoogenboom, 2000).

2.2. Ürün Simülasyon Modelinin Kısa Tarihi

Ulusal Arası biyolojik Programı (IBP) oluşturulması farklı ekolojik modellerin geliştirilmesi ve çayır alanlarının modellenmesi gibi pekçok tarımsal üretim ile ilgili araştırmaların yapılmasına neden olmuştur. Dinamik ekosistemlerin davranışları ve bunun çevresel koşullarla etkileşimini belirlemek için IBP, ileriye gören araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur (Worthington, 1975; Van Dyne ve Anway, 1976). IBP oluşturulmadan önce doğal sistemler ve mevcut bilimsel ve teknolojik altyapı ile ürün modellenmesi gibi sistemlerin modellenmesi yapılamamıştı. Ancak IBP programının oluşturulması kavramsal, düşünme ve matematiksel modelleme gibi yeni sistem yaklaşımın ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur (Coleman ve ark., 2004). Fiziksel ve biyolojik özelliklerin birleştirilmesi aracılığıyla tarımsal sistemlerin modellenebileceğine inanan C.T. de

Wit ve kanopi fotosentezi modellemesinin eseri olan ve birçok çalışmada bahsedilen W.G. Duncan tarımsal modellemenin öncüleridir.

1972 yılında ürün modellenmesi ABD devleti tarafından desteklenen DSSAT grubunun ürün modelleri olan CERES-Wheat, CERES-Maize, EPIC (Williams ve ark., 1983; Williams ve ark., 1989), Hollanda'da çeltik bitkisinin modelini geliştirmeyi amaçlanan ORYZA (Penning de Vries ve ark., 1991), 1990'lı yıllarda Avusturya'da multidisipliner çalışmanın ürünü olan APSIM (McCown ve ark., 1996) olmak üzere çeşitli ürün modelleri geliştirilmiştir (Ritchie ve Otter, 1984; Jones ve Kiniry, 1986). Bunlara ek olarak 1970'li yıllarda herbisit ve pestisit gibi tarımsal ilaçların kullanımını azaltmak için birçok devlet bir araya gelerek dinamik model tasarlanmıştır. Sonraki süreçte ise geliştirilen bu dinamik modelleme sistemine başta soya fasulyesi ve pamuk olmak üzere birçok model eklenmiştir (Wilkerson ve ark., 1983).

Ürün gelişim modelleri 1970'li yıllarda sadece tarımsal araştırma amaçlı kullanılmıştır (de Wit ve ark., 1970; Arkin ve ark., 1976). Tarımsal yönetime ve uygun amenajman yönteminin karar verilmesi amaçlanan ürün simülasyon modelleri 1980'li yılların başında görülmüştür (Swaney ve ark., 1983; Wilkerson ve ark., 1983). Bu yıllarda çiftlik bazında model kullanımında artış görülmektedir (Lindemann ve ark., 1987; Mckinion ve ark., 1988). SUCROS, 'School of de Wit' bağlı modeller (Bouman ve ark., 1996) ve CERES modeli, ürün modellerinin araştırmasında önemli bir rol oynadıkları için bu modeller öncü model olarak değerlendirilebilmektedir.

Environmental Policy Integrated Climate (EPIC) model (Williams, 1990), Decision Support System for Agro-Technology Transfer (DSSAT) model (Ritchie ve ark., 1985; Jones ve ark., 1998; Jones ve ark., 2003) ve CROPWAT modeli (Smith, 1992) örnek ürün modelleridir. Bazı spesifik ve birçok bitkiler için geliştirilmiş ürün modelleri ise EPIC, ALAMAC, CROPSYST, WOFOST, ADEL modeller olup, mısır bitkisinin gelişimi ve miktarını modelleyebilmektedir. Pamuk bitkisi için kullanılan model GOSSYM (Mckinion ve ark., 1989) ve COTTONS

modelleridir. Yer fıstığı, buğday, soy fasulyesi, fasulye, ay çiçeği ve bitkileri için sırasıyla PNUTGRO (Boote ve ark., 1989), WTGROWS, SOYGRO ve BEANGRO (Hogenboom ve ark., 1994) ve QSUN'dur. Darı bitkisinin modellemesinde ise CROPSYST, CERES ve PmModels kullanılmaktadır.

2.3. Ürün Simülasyonunun Önemleri

Ürün simülasyon modelleri çiftçi kazancı ve ürün fizyolojik süreçleri açısından tarımsal aktivitelerin etkisine farklı bir bakış açısı vermektedir. Bu kapsamda farklı kullanım amaçlı farklı pek çok ürün modelleri geliştirilmiştir.

Smith (1991) tarafından çeltik ve yüksek arazi ürünlerinin su isteğini belirlemek için CROPWAT geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem ile birlikte sulama programlarının geliştirilmesi için öneriler sunulmakta ve yağmur suyuyla beslenen koşullarda sulama noksanlığın belirlenmesine fırsat verilmektedir.

Environmental Policy Integrated Climate (EPIC) toprak koşulları ve iklim değişkenlerinin uzaysal değişkenliğinin bir bölgeden diğer başka bölgeye ürün üretiminde etkisini kontrol etmek için CBS ve biyofiziksel-tarımsal yönetim modeli ile bağlamaktadır. Bu model lokal alandan büyük bir alana kadar bütün alanlarda iklimin ürün üretimi üzerinde etkisini belirlenmek için kullanılabilir.

Basso ve ark. (2012) tarafından geliştirilen SALUS modeli internet temelli, basit ürün simülasyonudur. SALUS modeli çiftçiler ve tarım uzmanı tarafından, toprak ve iklim etkileşimin ürün ve çevre üzerindeki etkisini nitelendirerek kullanılması için tasarlanmıştır.

APSIM modeli çiftlikte özellikle biyofiziksel, ekolojik ve ekonomik problemlerin simüle edilmesi için geliştirilmiştir (Yunusa ve ark., 2004). APSIM farklı toprak, bitki, iklim ve yönetim modülleri kullanma imkanı sunmaktadır.

CropSyst modeli iklim, toprak yönetimi ve yetiştirme sisteminin verimlilik ve çevre üzerindeki etkisini görmek için geliştirilen analitik bir araç olarak hizmet eden uzun süreli ve günlük zamanlı aşamalara sahip bitki yetiştirme modelidir

(Stöckle ve ark., 2002). CropSyst toprak suyu bütçesi, toprak azot bütçesi, ürün fenolojisi, kanopi ve kök gelişimi, biyokütle üretimi, su kaynaklı toprak erozyonu, atık üretimi, ayrışma ve tuzluluğu çalışmasına uygundur. CropSyst modelinin ana unsurlar CropSyst parametre editörü, yetiştirme sistem simülatörü (CropSyst modeli), iklim jeneratörü (ClimGen), GIS-CropSyst simülasyon modülü (ArgCs), yağış alan aracı (CropSyst Watershed) ve diğer yararlı modüllerdir.

2.4. Ürün Modellerinin Kısıtları

Ürün modelleri gerçek dünyanın tahminidir. Bunun için otlar, hastalıklar, böcekler, toprak işleme ve fosfor gibi önemli etkenleri hesaplaması zordur. Bazı modeller kesin bölgeler için geliştirilmiş ve bunun dışındaki başka bir bölgede kullanımı uygun olmayabilmektedir (Uehara ve Tsuji, 1998; Adejuwon, 2005). Model çok hassas bir çalışmadır, kullanılan verinin elde edilecek sonucunun doğruluğunu etkilemektedir (Nonhebel, 1994). Araziye çıkmadan modelle arazide mevcut olan olay simülasyonu yapabilmekte, ancak ürün simülasyon modellerinin, deneysel veri toplamasının yerine alması mümkün olmayacaktır (Hoogenboom, 2000). Bitki gelişimini kontrol eden faktörlerine dışarıdan bakıldığında basit olabilir, ancak bitki gelişimini kontrol eden faktörler çok iç içe geçmiş karmaşık haldedir. Tarım ile ilgili biyolojik faktörlerin ve çevre ile etkileşiminin çoğu bilinmemekte (Hoogenboom, 2000) veya bu etkileşimi bulmak için yeni ve devam eden araştırma üzerinde yapılmaktadır. Toprak-bitki-atmosfer simülasyonu mümkün olabilir, ancak bu süreçleri simülasyon yapabilmek için simülasyona ihtiyaç duyulan girdinin elde edilmesi çok zordur (Hunt ve Boote, 1998). Ürün simülasyonunu yerine getirmek için uzun vadeli konum ve tarihli iklim, toprak ve yönetim uygulamaları bilgileri gerekmektedir (Whisler ve ark., 1986; Whisler ve ark., 1991; Hunt ve Boote, 1998).

2.5. Ürün Modellerinin Türleri

Ürün modelleri farklı kuramlar ile geliştirilmektedir. İstatistik modelleri verim veya verim unsuru-iklim parametreleri arasında ilişkileri açıklamaktadır. Buna göre ürün modelleri mekanistik modeller, belirleyici modeller ve stokastik modeller olmak üzere üçe ayrılır.

Mekanistik modellerinin önemli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri taklit yeteneği bulunmaktadır. Belirli reaksiyonun nasıl ve neden oluştuğunu açıklayabilmektedir. Ancak Basso ve ark. (2013) böyle bir modeli çalıştırmak için yüksek girdinin bilgisi gerektiğini ifade etmiştir.

Belirleyici modeller ürün miktarı ile ilgili olasılık dağılımı, varyans veya rasgele olay bakılmadan kesin ürün miktarının tahminlerini yapabilmektedir. Ayrıca Brockington (1979), tarımsal sistemlerin ve biyolojik sistemlerin varyasyon ve heterojenliğe sahip olduğunu belirlemiştir.

Stokastik modeller ise her bir çıktıya bağlanan bir olasılık unsuru modelidir. Her girdi parametrelerinden farklı çıktılara bağlanan varyans ve beklenen ortalama değer olasılıkları ile birlikte verilmektedir. Patricia Oteng-Darko ve ark. (2013) stokastik modeller teknik olarak zor olma eğiliminde ve hızlıca kompleks olabilme yeteneğinde olduğunu belirtmiştir (Nagamani ve Nethaji, 2017).

2.6. Bazı Ürün Modelleri İle İlgili Çalışmalar

Sarıyev ve Gülüt (1995) Seri-82 buğday çeşidinin fenolojik dönemlerini CropSyst modeliyle tahmin etmek için bir deneme kurmuşlardır. Çalışmada hasat indeksi, iklim faktörü gibi birçok verime etkileyen faktörleri ölçülerek bitkinin fenolojik dönemleri tahmin edilmiştir. Araştırma alanında toprak üstü biyokütle ve kök gelişimi gibi ölçülen parametreler CropSyst aracılığıyla tahmin edilen parametreler kıyaslandığında birbirine yakın olduğu rapor edilmiştir. Aksoy ve Sarıyev (1997) ise Çukurova bölgesinde Diyarbakır-81 buğday çeşidindeki potansiyel verimliliği ve aktif transpirasyon değerlerini belirlemek için CropSyst modelini kullanmıştır. Bu çalışmada kullandıkları hassas parametreleri potansiyel

verimlilik, yaprak alan indeksi, sap-yaprak oranı ve spesifik yaprak alanı ve solar radyasyonu içermektedir.

Pannkuk ve ark. (1997) batı Washington bölgelerinde farklı toprak işleme ve atık yönetim uygulamaları altında CropSyst'in son bahar ve kış buğdayı verimi ve evapotranspirasyon yeteneğini simülasyon yapmak için bir deneme kurmuştur. Bölgenin 6 yıllık geçmişteki buğday-nadas rotasyonundan elde edilen veri model ile ayarlanmıştır. Sonuca göre toprak profilinde kök ortalama kare hatası gözlenen ürün miktarı %7-14, evapotranspirasyon %5-9 arasında değişmekte ve toprak nemi %17'dir. Wilmott antlaşmasının indeksi 0.92-0.92 arasında değişmektedir. Yapılan arazi ve simülasyon araştırmalarının sonuçlarına göre benzer su üretim fonksiyonları tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuca göre CropSyst modeli, buğday-nadas yetiştirme sisteminde su korunması için yönetim uygulamalarının etkinliğine uygun bir analiz aracı olarak bulunmuştur.

Stöckle ve ark. (1997) geliştirilmiş darı kültür bitkisinin kısıtlı su gelişim çevresini belirlemek için Burkina Faso'da bir deneme kurmuştur. CropSyst modelini kullanarak, iklim ve coğrafi bilgi sistemi veri tabanına bağlanmış ve toprak tipi, uzun vadeli ürün yönetiminin toprak su bütçe unsuru ile darı üretim potansiyelini mekânsal ve geçici olarak modellenmiştir. Elde edilen sonuca göre tüm ülke boyunca darı bitkisinin kısıtlı su çevresi GIS yardımıyla belirlenmiş ve haritalanmıştır. Darı bitkisinin su ihtiyacına göre tarım iklimsel bölgelerin belirlenmesine fırsat verilmiştir. CropSyst, bitki su yönetimi ve geliştirilmiş ürün kültürünün analiz edilmesi için ana esasları sağlayabilmektedir.

Bechini ve ark. (2006) kışlık buğdayın alt-model unsurlar seviyesinde ürün gelişimi ve gelişim simülasyonunun parametrisasyonunun belirlenmesi için kuzey İtalya'da bir deneme kurmuştur. 1986 ve 2001 yılları arasında o bölgede kurulduğu denemeden elde edilen veriler CropSyst modeli ile kalibrasyonu yapıldıktan ve ayarlandıktan sonra yer üstü biyokütle, bitki azot konsantrasyonu ve alımı sırasıyla %9-30, %6-40 ve %9-24 olarak belirlenmiştir. Simülasyonların doğruluğu kısıtlı olmasına karşın ayarlanan ürün parametreleri yıllar ve gübre seviyeleri aralarında

farklılıklar modelin tarafından bulunduğu ve yer üstü biyokütle, bitki azot konsantrasyonu ve alım doğru olarak simülasyon yapıldığı için senaryo analizi için yeterli bulunmuştur.

Ashaeri ve ark. (2011) Varamin ovasında ilkbaharda buğday verimliliğini azaltmadan daha etkili su kullanımı ve korunması için yapılan araştırmadan elde edilen veri CropSyst modeliyle ayarlanmış ve kalibre edilmiştir. Ayarlanmış ve kalibre edilmiş modelle kuru, normal ve sulama yıllarında ürün miktarı belirlenmiştir. Ayarlanmış ve kalibre edilmiş model ile belirlenen ortalama potansiyel ürün miktarı normal ürün miktarından daha fazla olarak belirlenmiştir. Su verimliliği sulama, normal ve kuru yetiştirmede sırasıyla yağışa dayalı olarak 2.01, 1.5 ve 2.0 (kg m⁻³) belirlenmiştir.

Bechini ve Confalonieri (2003) Kuzey İtalya’da yoğun yem yetiştiriciliğinin model simülasyonu kurulmasının ihtiyacı nedeniyle bir deneme kurmuştur. Literatürden elde edilen veriler, lokal deneyim ve ilk 2 yıl ölçülen ve kalibre edilen verilerle 3. yıl veriler ayarlanmak için kullanılmıştır. Kök ortalama kare hatası gözlenen ve ölçülen toprak üstü biyokütle modelle kalibre edildikten sonra %3 ve %6 değişmekte ve ayarlandıktan sonra %3 ve %5 olarak bulunmuştur. Toprak nem eğrisinin kök ortalama kare hatasına göre gözlenen ve ölçülen toprak üstü biyokütle kalibre edildikten sonra %13-21 ve ayarlandıktan sonra %10 ve 20 belirlenmiştir. Bazı kısıtlamalarına karşın bu model araştırma amaçlı senaryo simülasyonları için kullanılabilir.

Donatelli ve ark. (1997) iki farklı lokasyonda İtalya’nın en büyük ova bölgelerinden birisinde CropSyst’in kapasitesini değerlendirmek için bir deneme kurmuştur. 1985-1991 yılında rotasyon denemelerinden elde edilen deneysel veri modelle kalibre edilmiş ve ayarlanmıştır. Simülasyon, rotasyon dizisinde bir sonraki rotasyona ait modeli yeniden başlatmadan önce birinci yılın ilk şartlarını dikkate alarak 6 yıllık rotasyon şeklinde yapılmıştır. Elde edilen veride büyük varyansa sahip olmasına karşın, bu varyansı (hastalık) hesaplama model değerlendirme yapılmıştır. Mısır soya fasulyesi, arpa, sorgum ve ay çiçeğinin

model simülasyonunun orta derecede doğru olduğu bulunmuştur. Ancak CropSyst'in ne soya fasulyesinin verimi ikinci ürün olarak ne de durum buğdayı verim değişkenliği tahmin etmediği rapor edilmiştir. CropSyst birkaç yetiştirme sisteminin orta derecede simüle edebilmesine karşın daha iyi sonucu elde etmek için daha kapsamlı veri tabanı oluşturulması gerektiği öneri olarak verilmiştir.

Çilek ve Berberoğlu (2019) Akdeniz tarımsal arazilerinde ürün modellemesiyle Biotope korumasına yönelik çalışmayı yapmışlardır. Geçmişteki yapılan araştırmadan elde edilen mısır, buğday ve pamuk verileri ile ayarlanan CropSyst modeli aracılığıyla fotoğraf sınıflandırmasından elde edilen ana 3 ürün kışlık buğday, mısır ve pamuğun ürün verimliliği mekânsal olarak ve geçici olarak modellenmiştir. Model sonucuna göre buğday, pamuk, birinci ve ikinci mısır bitkisi Seyhan ovasında toplam üretiminin verimliliği sırasıyla %21, %28, %47 ve %4'ü olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre Biotope ekosistemini korumak için Seyhan ovasında kullanılan gübrenin özellikle buğday ve ikinci mısır yetiştiriciliğinde azaltılması öneri olarak verilmiştir.

Sadece CropSyst modeli bitki modelinde kullanılmamakta olup, diğer modeller gibi deneysel araştırmada kullanılmakta ve bunun için de bazı araştırmalarda kullanılan modellere aşağıda yer verilmektedir.

Sezen (2000) Çukurova ve Harran bölgelerindeki buğday bitkisinde kullanılan azot su verim ilişkilerini tahmin etmek için bir deneme kurmuştur. O bölgelerden elde edilen çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk değerleri CERES-Wheat modelinin ki kıyaslandığında birbirine yakın olduğu rapor edilmiştir.

Pereira ve ark. (2014) noksan ve tam sulama ile Portekiz Ribatejo bölgesinde mısır verimliliğinin belirlemesi için birçok mısır arazi denemeleri kurmuştur. Elde edilen veriler AquaCrop modeliyle ayarlandıktan sonra mısır veriminin üzerinde etkisi değerlendirilmiştir. Yaprak alan indeksi, ürün evapotranspirasyonu, toprak nem içeriği, biyokütle, son verim gibi veriler model parametresi olarak elde edilmiştir. Yaprak alan indeksi verisiyle kanopi örtme eğrisi kalibre edilmiştir. Kanopi örtme düşük ürün evapotranspirasyonu ve onun dağılımı ile ilgili kök

ortalama kare hatası %7.4'dan düşük olması ve doğru olarak kalibre edilmesi taktirde daha iyi bir doğruluk elde edilebileceği rapor edilmiştir. Gözlenen biokütle ve verim tahminlerinin kök ortalama kare hatası sırasıyla %11 ve %9 dan düşük nedeniyle iyi bir performans elde edildiği rapor edilmiştir. Kısıtlı sulama koşullarında AquaCrop mısır biyokütlesi ve verimini tahmin etmek için iyi bir modeldir. Ancak AquaCrop modeli transpirasyonu fazla değer verme ve toprak evaporasyonu eksik değerlendirme eğilimindedir.

Dokoohaki ve ark. (2017) silaj mısırın farklı sulama düzeylerinde CSM-CERES-Maize'nin performansının değerlendirilmesi için 2003-2004 yıllarında bir deneme kurmuştur. Uygulamalar 4 sulama düzeyleri (tam sulama düzey TSD, 0.7TSD, 0.85TSD ve 1.13TSD). Günlük ölçülen toprak nemi simüle edilmiş, toprak nemiyle her toprak horizonu karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuca göre farklı uygulamalar derinliğe bağlı olarak model tarafından tahmin edilen toprak neminin kök ortalama kare hatası %0.8-13.6 değişmekte olduğu görülmüştür. En büyük hata toprak profilinin en üst uzaylarında olduğu belirlenmiş ve CSM-CERES-Maize modelinin toprak nem içeriğini geniş aralıkta değiştiğini ve toprak koşulları ve sulama rejimlerini simüle edebileceği vurgulanmıştır.

Wang, Li ve ark. (2017) sulama suyu, tahıl verimi, su kullanım etkinliği (SKE) ve çok yüksek verimli mısırın damla sulama ve plastik malç sisteminde Xinjiang'de optimize edilmesi için bir deneme kurmuştur. Dört damlama uygulaması 600mm, 540mm, 480mm ve 420mm ve altı yoğuna dayanıklı mısır hibritleri 2014-2015 yıllarında ekilmiştir. %10 normal sulama düşüşü olumlu ölçüde tahıl verimi ve ekonomik kazancı etkilemediği, evapotransirasyonu düşüğü ve SKE'yi arttığı görülmüştür. En uygun SKE ve ekonomik kazanç 540mm sulama uygulamasında görülmüş ve damlama sulama, plastik malçlama ve artan dikme yoğunluğunun verimi arttırdığı rapor edilmiştir.

Hammad ve ark. (2018) (GSM)-CERES-Maize yetiştirme sistem modelini toprak nem içeriği ile ilgili bitki gelişimi ve tahıl verimini uyarması için ve yarı-kurak koşullarda optimum sulama ve gübreleme girdisinin toprak yeteneği

üzerinde etkisini değerlendirmesi için bir araştırma yapmıştır. En iyi azot gübresi ve sulamanın kombinasyonunu belirlemek için 3 sulama rejimi ve 5 N oranı 100-300 kg N ha⁻¹ değişmekte olup, toplam 15 senaryo için 35 yıllık tarihsel günlük iklim verisi ile uyarılmıştır. Elde edilen sonucuna göre (GSM)-CERES-Maize simülasyonu toprak nemi içeriğinin tahminini başarılı bir yapmıştır. Yarı kurak koşullarında mısır üretimi için optimum su ve N istekleri bu araştırma sonucu ile belirlenebilmektedir.

CropSyst farklı ürün modeli ile test edilmiş ve aşağıda yapılan araştırmalar özetlenmiştir.

Singh ve ark. (2008) farklı azot ve su yönetim koşulları simülasyon yapmak için 2000-2001 New Delhi’de siltli killi tın toprağında elde edilen veri iki dinamik mekanistik modeller CERES-wheat ve CropSyst ile kalibre edilmiş ve ayarlanmıştır. Modeller 3 farklı sulama rejimi (S4*,S3*,S2*) ve 5 azot uygulamasını (N0, N60, N90, N120 ve N150) değerlendirmiştir. Modeller maksimum azot ve sulama rejimi modelleri ile kalibre edilmiştir. İki model çıkış, çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk tarihinin yeterli derecede tahmin etmiştir. CropSyst buğday biyokütlesi ve verimi CERES-Wheat’ten daha iyi tahmin ettiği rapor edilmiştir. Buna ek olarak CERES-Wheat tüm sulama rejimi ve N0 azot uygulamasının dışında azot uygulamasında biyokütle eksik değerlendirdiği beyan edilmiştir.

Bonfante ve ark. (2010) Richard denklemine dayalı 3 iyi bilinen modeller SWAP, MACRO ve CropSyst’in performansını belirlemek ve karşılaştırmak için bir araştırma yapmıştır. 10 farklı derinlikte 2 yıldan fazla TDR aleti ile ölçülen toprak nemi kullanılarak bu 3 model karşılaştırılmıştır. Araştırmada kullanılan modellerin performansı birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Yüzey infiltrasyonu ve genel su bütçesini en iyi tahmin eden model SWAP modeli olup, bunu sırasıyla CropSyst ve MACRO takip etmektedir. Bununla birlikte CropSyst modelinin iyi kalibrasyon yapılması gerektiği hususu vurgulanmıştır.

Bocchila ve ark. (2014) Persico Dosimo ve Livraga diye adlandırılan İtalya vadisinde mısır su kullanımı su ayak izi şeklinde belirlemek için deneme kurmuştur. O bölgede mısır ayak izi belirlemek için Polycrop modeli CropSyst modeliyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Polycrop modeline kıyasla CropSyst modeli ile tahmin edilen sonuçların gerçek verime daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Farklı sulama rejiminin mısırın verimliliğine etkisi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Genel olarak yetersiz sulama mısır verimliliğini olumsuz etkilediği rapor edilmektedir. Ancak son yıllarda sulamada kullanılan suyun korunması ve azaltılması sık sık vurgulanmaktadır. Aşağıdaki bazı araştırmada bu konu ile ilgili çalışmalar özetlenmektedir.

Stöckle ve James (1989) tam sulama ve 4 kısıtlı sulama rejimini bir bilgisayar simülasyonu kullanarak mısır verimini analiz etmiştir. Elde edilen sonuca göre hafif sulama tam sulamadan daha iyi net ürün elde edebilmektedir.

Çakır (2004) farklı geliştirme seviyelerindeki sulama ve su stresinin mısırın gelişimi ve tahıl verimi üzerinde etkisini belirlemek için 1995-1997 yıllarında bir deneme kurmuştur. Mısırın dört bilinen gelişim seviyeleri dikkate alınmış ve toplam 16 sulama rejimi uygulanmıştır. Sulama veya su stresinin bitki uzunluğu, yaprak alan indeksi, birim bitki başaklarının sayısı, koçan başına dane verimi ve 1000 dane ağırlığı üzerinde etkisi değerlendirilmiştir. 3 yıllık araştırma sonucuna göre tüm bitkisel ve ürün parametresi yetersiz toprak nemi nedeniyle önemli ölçüde hassas püskülleme ve mısır koçanı oluşumunu etkilemektedir. Tam sulanan arazi parselinde en yüksek ürün miktarı görülmüştür. Hassas gelişim seviyeleri sırasında bir sulama ihmal edilse bile %40 tahıl verim kaybına neden olmaktadır.

Tong ve ark. (2012) su stresinin yaz mısırının gelişimi, biyokütle dağılımı ve su kullanım etkinliğini tüm gelişim dönemi üzerinde etkisini belirlemek için bir deneme kurmuştur. Tarla kapasitesinin %75'i düşük su stresi, %55'i orta su stresi ve %35'i yüksek su stresi olmak üzere 3 sulama rejimi uygulanmıştır. 2 yıllık araştırma sonucuna göre mısır gelişimi ve dane verimi yoğunluk ve süresini içeren

stresin şiddetine bağlı su stresine tepki vermiştir. Şiddetli su stresi (tarla kapasitesinin %35'i) farklı gelişim aşamalarındaki bütün vejetatif ve verim parametreleri üzerinde artan zararlı etkileri göstermiş ve olgunlaşma periyodunun gecikmesi ile sonuçlanmıştır. Şiddetli stres vejetatif ve üreme aşamalarındaki su kullanım etkinliğinde kayda değer azalmalara sebep olurken, orta dereceli stres erken ve orta aşamada su kullanım etkinliği artışı ile ve son aşamalarda önemli derecede azalan su kullanım etkinliği ile sonuçlanmıştır.

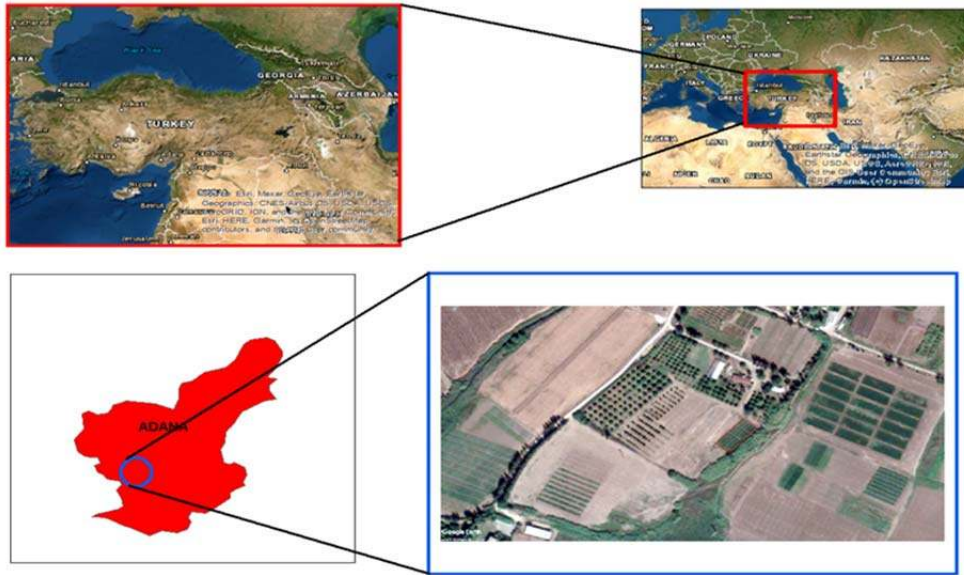
İki yıllık araştırma sonucunun su stresinin mısır gelişimi ve ürün verimliliğine tepkileri stresin derecesi, süresi ve bir de mısır gelişim seviyesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Orta su stresi on yedinci yaprak seviyesinden sonra tüm bitki fizyolojik seviyesine önemsiz derece etkilemiştir. % 55 TK ise V17 dışında tüm bitki fizyolojik seviyesine özellikle püsküllenmeye ve verim parametresini etkilemiştir. Yüksek derecede su stresi (%35 TK) farklı gelişim seviyelerinde artan yüksek ölümsüz derecede bütün bitkisel ve verim parametresine etkilemiş ve olgunlaşma süre gecikmesine neden olmuştur. Fazla stres SKE bitkisel ve üreme seviyelerinde önemli derecede düşüşü neden olmuş ancak orta stres erken, orta seviyelerde SKE artışı ve geç seviyelerde SKE düşüşünü neden olmuştur

Irmak ve ark. (2016) yeraltı sulama damla miktarı ve sıklığının mısır üretim ve su kullanım etkinliğine etkisini belirlemek, üretim fonksiyonu ve su kullanım etkinliğini geliştirmek, ürün verimlilik tepki faktörlerini geliştirmek için 2005-2008 yıllarında Nebraska-Lincoln Üniversitesinde bir arazi denemesi kurmuştur. Tam sulama uygulaması (TSU), %25 TSU, %50 TSU, %75 TSU, yağmurla beslenen ve fazla TSU (%125) olmak üzere 5 sulama rejimi uygulanmıştır. Maksimum tahıl verimi ile ilgili sulama sıklıkla olumlu ölçüde bulunmamıştır. Ancak düşük kısıtlı sulama rejimi ve orta sulama sıklığının düşük tahıl verimine neden olduğu belirlenmiştir. %75 TSU ve TSU istatistik olarak birbirine benzediği görülmüştür. Ancak %125 TSU düşük tahıl verimine neden olduğu rapor edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırma alanı

Araştırma alanı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü deneme alanındaki Menzilat-Arık Geçiş Bölgesi topraklarında kurulmuştur (Şekil 3.1). Bu topraklar Menzilat serisi ile Arık serisi arasında bir geçiş bölgesi olup, düz ve düze yakın eğimlidir. Geçiş bölgesi, A-C horizon dizilimine sahip genç topraklar olup, kil ve siltli kil tekstüre sahip topraklardır (Gülez ve Şenol, 2002). Araştırma alanı tipik Akdeniz İklim kuşağında bulunmakta olup, kış aylarında ılık ve yağışlı, yaz aylarında ise sıcak ve kuraktır. Araştırma alanından 3 km mesafede bulunan Adana İli Meteoroloji İstasyonu tarafından kaydedilen yıllık ortalama iklim verileri alınmıştır. Bu tez çalışmasında hem geçmiş hem de mısır bitkisinin gelişme süresine ait iklim verileri yağış miktarı (mm), maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), solar radyasyon (MJ/m^2), minimum ve maksimum nem ile rüzgâr hızını (m/s) içermektedir.



Şekil 3.1. Araştırma alanı görüntüsü

Çizelge 3.1. Adana iline ait uzun yıllar (1929-2019) iklim verileri (Anonim, 2019).

	Aylar												Yıllık
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Ortalama Sıcaklık (°C)	9.4	10.5	13.4	17.5	21.7	25.6	28.2	28.6	26.0	21.6	15.8	11.1	19.1
Maksimum Sıcaklık (°C)	14.7	16.1	19.4	23.7	28.2	31.7	33.8	34.6	33.1	29.0	22.5	16.7	25.3
Minimum Sıcaklık (°C)	5.1	5.9	8.2	11.8	15.7	19.7	22.9	23.3	20.0	15.6	10.6	6.8	13.8
Toplam Yağış Miktarı (mm)	111.6	89.7	65.4	51.9	48.8	22.0	10.2	9.8	19.6	43.6	71.4	127.3	671.3

Çizelge 3.1’de araştırma alanını içine alan Adana Bölgesine ait ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ile aylık toplam yağış ortalamasına ait veriler verilmiştir. Buna göre yıllık ortalama sıcaklık 19.1 °C, yıllık maksimum sıcaklık 25.3 °C’dir. Ortalama yıllık yağış 671.3 mm olup, bunun yaklaşık %75’i kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir. Denemenin kurulduğu 2019 yılının Temmuz ayından mısır bitkisinin hasat edildiği Ekim ayına kadar geçen sürede uzun yıllar (1929-2019) iklim verilerine kıyasla daha düşük yağış miktarı elde edilmiştir (Çizelge 3.2). Temmuz ve Ekim aylarında sırasıyla 28.8 mm ve 22.8 mm yağış elde edilirken, Ağustos ve Eylül aylarında hiç yağış olmamıştır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında kurulan denemede yağışın etkisi çok düşük olup, toprakta nemi tarla kapasitesine kadar getirecek yağış olmamıştır. Bu da denemede uygulanan sulama konularının etkisini ortaya çıkarmıştır.

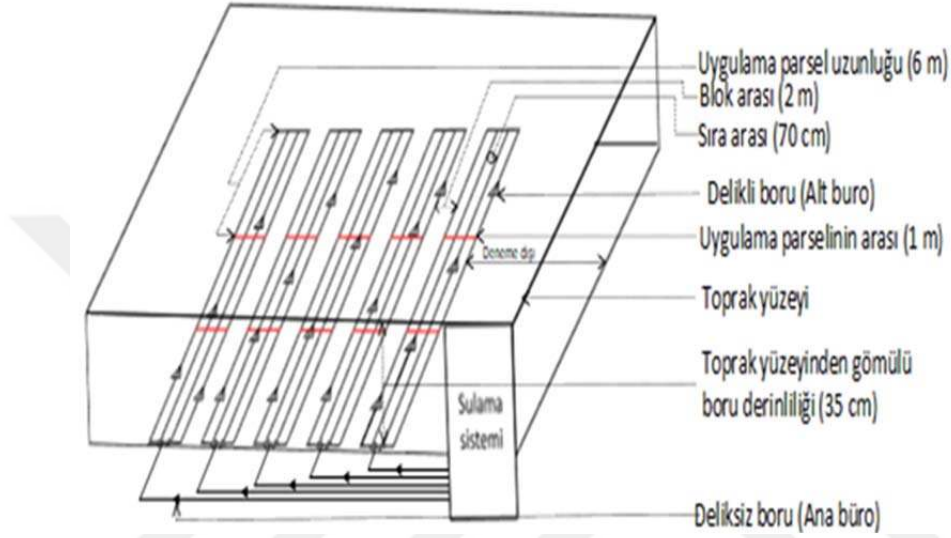
Çizelge 3.2. Deneme süresince düşen yağış (mm)

Gün	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Gün	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
1	0	0	0	0	17	0	0	0	7.4
2	0	0	0	0	18	0	0	0	2.8
3	0	0	0	0	19	7.4	0	0	0
4	0	0	0	0	20	12.6	0	0	0
5	0	0	0	0	21	0	0	0	0
6	0	0	0	0	22	0	0	0	0.2
7	0	0	0	0	23	0	0	0	0
8	0	0	0	2.2	24	0	0	0	0
9	0	0	0	2	25	0	0	0	0
10	0	0	0	0	26	0	0	0	0
11	0	0	0	0	27	0	0	0	0
12	0	0	0	0	28	0	0	0	5.4
13	0.2	0	0	0	29	0	0	0	2.6
14	4	0	0	0	30	0	0	0	0.2
15	3.8	0	0	0	31	0	0		0
16	0	0	0	0	Toplam	28.8	0	0	22.8
Genel toplam 2019 Temmuz – 2019 Ekim									51.6

3.2. Tarla denemesinin kurulması

Deneme atışı hibrid mısır çeşidi (P-2080) ile 70 cm sıra aralıklı 4 sıra halinde, 16 cm sıra üzeri aralıkla 6 m uzunluğundaki parsellere hassas ekim makinası ile ekilmiştir (Şekil 3.2). Denemede uygulama konuları üç blok halinde ayarlanmış olup, her bir blok arasında 140 cm boşluk bulunmaktadır. Tez çalışması bir yıl süreli olarak tasarlanmıştır. Denemede sulama uygulamaları toprakta 35 cm derinliğe gömülmüş sulama boruları ile damla sulama kullanılarak yüzeyaltı olarak uygulanmıştır. Sulama sisteminden çıkan 5 boru aracılığıyla her bir uygulama için sulama uygulanmış olup, ilk büro ve son büro araştırma alanını korumak için I100 uygulamasına sağlandığı koşullar uygulanmıştır. Sulama sisteminden çıkan ana

bürolar her uygulama parseline giren dört alt büroyu besleyerek her uygulama parsesindeki bitki sıralarına sulama yapılmıştır. Her bir uygulama belirli bir aralıkta bölünerek üç farklı tekrar elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Deneme deseni

Tez çalışmasına ait denemede üç farklı sulama düzeyi (I100, I75, I50) uygulanmıştır. Toprakta yarayışlı su düzeyi %60'a indiğinde sulama yapılmıştır. Yarayışlı su %60'da iken, tarla kapasitesine kadar uygulanan su I100 konusudur. Diğer kısıtlı sulama konularında ise I100 konusunda uygulanan su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde su uygulanmış olup, bunlar I75 ve I50 konularıdır. Denemede sulama uygulamaları 3 tekrarlamalı olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Sulama uygulamaları, sulama miktarı ve su düzeylerine göre programlanabilir/ayarlanabilir otomatik sulama sistemi tasarlanarak yapılmıştır. Tarla denemesinde agronomik uygulamalar, standart mısır yetiştiriciliği esas alınarak, gübreleme, yabancı ot mücadelesi ve zararlılarla mücadele yapılmıştır.

Tez çalışmasında üç farklı sulama düzeyi (I100, I75, I50) dikkate alınarak sulama konuları uygulanmıştır. Mısır için bölgelere göre genelde 8-10 sulama yapılmaktadır. Sulamanın sağlıklı izlenebilmesi için etkili kök bölgesinde TDR aleti ile toprak nem düzeyi izlenmiştir. Ayrıca buharlaşan su miktarı da hesaplanarak TDR sonucu ile uyumlu şekilde sulama düzeyinin saptanması sağlanmıştır. Çizelge 3.3’de deneme süresince uygulanan sulama düzeyleri verilmiştir.

Mısır tohumu ekildikten sonra bütün parsellere yağmurlama sulama yöntemiyle 60 dakikalık bir sulama yapılmış, bitkinin çıkışından sonra aynı uygulama 2 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Bitki tamamen çıktıktan sonra yeraltı sulama yöntemiyle tüm uygulama parseline aynı sulama düzeyi ile sulama (20 mm) yapılmıştır (Çizelge 3.3). 4 yaprak seviyesinden sonra farklı sulama düzeyleri uygulanmaya başlanmıştır. 4 yaprak seviyesinden 6 yaprak seviyesine kadar I100 uygulama parseline 20 mm’den 40 mm’ye kadar sulama verilmiştir. Tepe püskülü 27/08/2019 (39 mm), çiçeklenme dönemi (60 mm) ve dane sütlenme dönemleri 07/09/2019 (60 mm) dahil olmak üzere özellikle önemli bitki fizyolojik seviyelerinde de sulama yapılmıştır. Diğer uygulama konuları olan I75 ve I50 konularında ise I100 uygulamasında verilen suyun sırasıyla %75’i ve %50’si uygulama parsellerine uygulanmıştır. I100, I75 ve I50 uygulamaları için yer altı sulama yöntemiyle toplam uygulanmış su miktarı sırasıyla 489 mm, 372 mm ve 255 mm’dir.

Çizelge 3.3. Deneme süresince uygulanan sulama miktarı

Uygulanmış su şekli ve dozu				
Tarih	Yöntem	Uygulamalar		
		I100	I75	I50
	Yağmurlama	60 dakika		
31/07/2019	Yağmurlama	120 dakika		
06/08/2019	Yeraltı	20 mm		
12/08/2019	Yeraltı	20 mm	15 mm	10 mm
19/08/2019	Yeraltı	20 mm	15 mm	10 mm
23/08/2019	Yeraltı	29 mm	22 mm	15 mm
27/08/2019	Yeraltı	40 mm	30 mm	20 mm
30/08/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
07/09/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
12/09/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
18/09/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
23/09/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
30/09/2019	Yeraltı	60 mm	45 mm	30 mm
Toplam yeraltı sulama miktarı		489 mm	372 mm	255 mm

3.3. Denemede Kullanılan Mısır Bitkisinin Ekim, Bakım ve Hasat İşlemleri

Haziran ayında araştırma alanında mısır bitkisinin ekimi öncesinde toprak işleme gerçekleştirilmiştir. 35 cm toprak derinliğinde gömülü olan yeraltı sulama boruları bulunduğu için derin toprak işlemeden ziyade minimum toprak işleme yöntemi yapılmıştır. Toprak işleme uygulamaları olarak 15-20 cm derinlikte ağır diskli tırmıkla 2 kez işlenmiş ve tapan çekilmiştir. 05.07.2019 tarihinde uygulama parsellerine 50 kg/da 15-15-15 NPK ve 10 kg/da üre serpme yöntemiyle taban gübre olarak uygulanmıştır. 06.07.2019 tarihinde ise mısır bitkisinin ekimi

yapılmış, aynı gün yağmurlama sulama yöntemiyle sulama gerçekleştirilmiştir. Bitkinin sulama ihtiyaçlarına göre sulama verilmiş, ancak teze konu olan sulama uygulamalarına geçmeden önce yeraltı sulama yöntemi ile bitkiler 6 yapraklı dönemde iken ikinci gübrelemede 65 kg/da NH_4SO_4 ve 5 kg/da çinko sülfat uygulanmıştır. Denemede toplam olarak 25 kg/da saf azot uygulanmıştır. Bu arada ortaya çıkan yabancı otların mücadelesi için çapa çekilmiştir.

6 yaprak döneminde yabancı ot mücadelesinde herbisit kullanılmıştır. Bununla birlikte sap kurdu ve fare zararları görüldüğü için parsellere sap kurdu ilacı ve fare ilacı ayrı şekilde uygulanmıştır.

3.4. Bitki-Toprak Örneklemesi ve Ölçümleri

3.4.1. Toprak Örneklemesi ve Yapılan Analizler

Tez çalışmasında farklı sulama düzeyleri araştırıldığı için toprakta su tutma kapasitesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple deneme öncesinde parsellerde 0-30 cm derinlikte bozulmamış ve bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmamış toprak örnekleri için 100 cm³'lük çelik silindirler kullanılmıştır. Bozulmuş toprak örnekleri ise kürek yardımıyla alınmış ve ön hazırlık işlemlerine (kurutma ve eleme) tabii tutulmuştur. Alınan bozulmamış toprak örneklerinde tarla kapasitesi ve hacim ağırlığı belirlenmiştir. Bozulmuş toprak örneklerinde ise solma noktası gravimetrik olarak belirlenmiştir. Solma noktası hacimsel cinsinden ifade etmek için örneklem noktalarındaki hacim ağırlığı değerleri ile çarpılarak hacimsel solma noktası elde edilmiştir. Tarla kapasitesinden solma noktasının çıkarılması ile yarayıslı su içeriği belirlenmiş ve bu değer baz alınarak I100 uygulamasında ihtiyaç duyulan su düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca deneme alanının toprak tekstürü bozulmuş toprak örneklerinde Bouyoucos hidrometre yöntemiyle yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Mısır hasadını takiben uygulama parsellerinde bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklemesi yapılmıştır. Her uygulama parselinin iki farklı noktasının her birinde 6 adet bozulmamış toprak örneği ve 1 adet bozulmuş toprak örneği

alınmıştır. Bozulmamış toprak örneklerinin 3 adedi tarla kapasitesi, gözeneklilik ve hacim ağırlığı için kullanılmıştır. Geriye kalan 3 adet bozulmamış toprak örneği ise hidrolik iletkenlik analizinde kullanılmıştır. Bozulmuş toprak örneklerinde solma noktası, organik madde, kireç, pH, elektriksel iletkenlik, fosfor, potasyum ve mikro element analizleri yapılmıştır.

Alınan bozulmamış toprak örneklerinde makro, mikro ve toplam gözeneklilik dağılımı, Danielson ve Sutherland (1986)'e; tarla kapasitesi basınçlı plaka kullanılarak Klute (1986)'e; hacim ağırlığı değerleri Blake ve Hartge (1986)'ye göre belirlenmiştir. Hidrolik iletkenlik ise düşen yük yöntemine göre belirlenmiştir (Klute ve Dirksen, 1986). Bozulmuş toprak örneklerinde solma noktası basınçlı plakalar kullanılarak Klute (1986)'e belirlenmiştir. Yarayışlı su içeriği ise tarla kapasitesinden solma noktasının çıkarılmasıyla belirlenmiştir (Klute, 1986). Bozulmuş toprak örneklerinde organik madde modifiye edilmiş Walkey-Black metodu ile (Nelson ve Sommers, 1982), kireç Scheibler kalsimetresi ile (Kacar, 1994), pH ve elektriksel iletkenlik saturasyon çamurunda (Rhoades ve ark., 1999), yarayışlı fosfor sodyum bikarbonat metodu ile (Olsen ve ark., 1954), potasyum 1N amonyum asetat ile ekstraksiyon edilerek (Thomas, 1982) ve mikroelementler DTPA ile (Lindsay ve Norvell, 1978) belirlenmiştir.

3.4.2. Bitki Örneklenmesi ve Ölçümleri

Bitki fenolojik süreçlerinde önemli gelişme dönemleri için günlük hava sıcaklık tarihleri olarak bitki çıkışında (10.07.2019), çiçeklenmede (26.08.2019) ve fizyolojik olgunluk döneminde (16.10.2019) alınmıştır.

Bitkinin morfolojik süreçlerinde toplamda 5 farklı zamanda bitki örneklemesi yapılmıştır. Bunun için uygulamalara ait üç parsel bir bütün olarak dikkate alınmış, toplamda dört mısır bitkisi rastgele olarak seçilmiş ve bu dört bitki birleştirilerek uygulama bazında bir örnek oluşturulmuştur. Bu örneklerde LI-COR (model: Li-3100 area meter) aracılığıyla yaprak kısımlarında yaprak alan indeksi ölçümleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra spesifik yaprak alanı ve yaprakların yeşil

kalma süresi kayıt edilmiş ve örnekler 60°C derecede sabit bir ağırlık gelene kadar kurutularak yaprak/sap oranı ve toplam biyokütle elde edilmiştir. Son olarak bitkiler fizyolojik olgunlaşma dönemine geldiğinde her bir uygulama blokunda 5 metrede bir olmak üzere toplam 5 farklı örnekleme el yardımıyla hasat edilmiş ve dane verim analizleri yapılmıştır.

3.5. Model

CropSyst modeli farklı geçici ve uzaysal düzeylerde ürün rotasyonunun çevre üzerindeki etkisini ve verimliliğini analiz edebilen ve birbirleriyle ortak çalışan farklı modüllere sahip bir modeldir. CropSyst modülleri, tarla ürünleri sistemleri simülatörü (CropSyst) parametre editörü, iklim jeneratörü (ClimGen), CBS-CropSyst (ArcCs), havza analiz aracı (CropSyst Watershed) ve diğer birçok faydalı modülleri içermektedir. CropSyst parametre editörü, CropSyst'deki tüm modüllere ulaşabilmekte ve bu modüller aracılığıyla tüm model işlerini gerçekleştirebilmektedir.

3.5.1. CropSyst Modelinin Unsurları

CropSyst: Hava koşulları, toprak ve yönetime tepki olarak ürünün ve ürün rotasyonunun verimliliğini simüle etmesi gereken fonksiyon, nesne ve teknikler içermektedir. Bunlar aracılığıyla CropSyst tek bir arazi parçasını modellemektedir. Bir simülasyon kontrol dosyası tüm girdi dosyalarını belirlemekte ve bağlamakta, ilk koşullara sağlamakta, seçimli modülleri seçmekte ve simüle edilecek senaryoyu belirlemektedir (Stöckle ve ark., 2003).

ClimGen: WGEN gibi iklim jeneratörünün çalışma ilkelerine sahip olmakta, yağış, günlük maksimum ve minimum sıcaklık, solar radyasyonu, hava nemi ve rüzgâr hızını sağlamaktadır. İklim üzerinde etkisi olan sistemler için uzun vadeli iklim verisi gerekmektedir.

ArcCs: ArcCs aracılığıyla coğrafi bilgi sistemini veren haritalamaya fırsat vermektedir. Her bir poligon bir arazi parçasını temsil etmektedir. ArcCs her bir

özgün arazi parçasını belirlemek, oluşturmak ve bir simülasyon senaryosunu çalışmak için coğrafi bilgi sistemi tarafından yapılan poligon simge tablosunu kullanmaktadır.

CropSyst havzası: CropSyst havzası ArcCs eklenti gibi çalışmaktadır. Ancak poligon sistem yerine raster hücreleri bulunmakta ve onlar hidrolojik olarak bağlanmaktadır. Diğer işlemleri ArcCs'nin süreciyle izlemektedir.

Diğer faydalı yazılımlar: CropSyst toprak hidrolojik parametresi (Acutis ve Donatelli, 2003) ve yöresel radyasyonu tahmin etmek (Donatelli ve ark., 2003) ve ölçülen veri ve modellenen veri ile istatistik olarak karşılaştırmak için faydalı istatistik yazılımları bulunmaktadır.

3.5.2. CropSyst İçinde Bulunan Modeller

Su bütçesi: Modeldeki su bütçesi yağışı, sulamayı, yüzey akışını, infiltrasyonu, toprak profilindeki yeniden su dağıtımını, perkolasyonu, bitki terlemesini ve buharlaşmayı içermektedir. Topraktaki yeniden su dağıtımını basit bir akım yaklaşımı veya Richard'ın toprak akım denklemi sayısal çözümü (Campbell, 1985) aracılığıyla simüle edilebilmektedir. Referans ürün evapotranspirasyonunu (ET_0) hesaplamak için iki seçenek vermektedir. FAO tarafından önerilen ve günlük maksimum, minimum sıcaklık, solar radyasyonu, maksimum nispi nem ve rüzgar hızının gerekli olduğu Penman-Monteith modeli (Monteith, 1965) ve sıcaklık, radyasyon ve Priestley-Taylor katsayısının gerekli olduğu Priestly-Taylor modelidir (Allen ve ark., 1998). İki yıllık tam günlük sıcaklık veri sağlanması taktirde, ClimGen aracılığıyla sıcaklık, solar radyasyonu ve nemi elde edebilmektedir. Potansiyel ürün ET_0 bir bitki katsayısıyla çarpılarak hesaplanmaktadır.

Azot bütçesi: CropSyst'teki mineral azot bütçesi nitrat ve amonyum için farklı bütçeyi içermektedir. Model içindeki süreçler azot dönüştürmelerini, amonyumun absorpsiyonunu, simbiyotik azot tutulmasını, bitki azot isteğini ve bitki azot alımını içermektedir. Azot dönüşümü için Stöckle ve Campbell (1989)

tarafından önerilen yaklaşım izlenmekteyken, simbiyotik azot tutulması ise Bouniols ve ark. (1991) yaklaşımına dayanmaktadır.

Nitrat ve amonyumu modele eklemek için azot dönüştürülmesi Stöckle ve Campbell (1989) yöntemiyle, amonyumun absorpsiyonu, simbiyotik azot fiksasyonu Bouniols ve ark. (1991) yöntemiyle, ürünün azot alımı ise Godwin ve Jones (1991) yöntemiyle hesaplanmaktadır.

Ürün fenolojisi: Ürün gelişim simülasyonu verilen gelişim aşamalarına ulaşmak için bir taban sıcaklığın üzerinde ve bir kesme sıcaklığın altındaki ortalama hava sıcaklığının günlük birikimine ihtiyaç duyulan termal zamana bağlıdır.

Biyokütle biriktirmesi: Bu model bitkinin potansiyel terlemesine ve ürün tarafından tutulan fotosentetik olarak aktif radyasyona (PAR) bağlı olarak stressiz biyokütle gelişimi olarak hesaplanmaktadır. Potansiyel günlük biyokütle için aşağıdaki verilen denklemlerle belirlenebilmektedir (Tanner ve Sinclair, 1983).

$$B_{PT} = \frac{K_{BT} T_P}{VPD}$$

Burada B_{PT} : ürün potansiyel transpirasyonuna bağlı biyokütle üretimi ($\text{kg m}^{-1} \text{gün}^{-1}$), T_P : ürün potansiyel buharlaşması ($\text{kg m}^{-1} \text{gün}^{-1}$), VPD : günlük ortalama atmosferik buhar basıncı (kPa), ve K_{BT} : biyokütle-buharlaşma katsayısıdır (kPa). Düşük VPD değerinde Tanner-Sinclair katsayısı dengesiz olmaktadır. Bu sıkıntıyı ortadan kaldırmak için ikincil hesaplamak gerekmektedir (Monteith 1977);

$$B_{IPAR} = eIPAR$$

Burada B_{IPAR} : tutulan PAR'a bağlı biyokütle üretimi ($\text{kg m}^{-1} \text{gün}^{-1}$), e : radyasyon kullanım etkinliği (kg MJ^{-1}) ve $IPAR$ ürün tarafından tutulan fotosentez aracılığıyla aktif radyasyonun günlük miktarıdır ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$).

Her simülasyon gününde o günün potansiyel biyokütle üretimi (B_P) B_{PT} 'nin ve B_{IPAR} 'in minimumu olarak kayıt edilmektedir. Kısıtlı su ve azot biyokütle gelişimini tahmin etmek için günlük potansiyel biyokütle B_{PT} ve B_{IPAR} 'in minimumu olarak alınmaktadır.

$$r_{cNS} = \frac{r_c}{\left[1 - \frac{N_{crit} - N_c}{N_{crit} - N_{min}}\right]}$$

Burada r_{cNS} : N stresli kanopi dayanıklılığı (gün m^{-1}), N_c : güncel bitki azot konsantrasyonu, maksimum (N_{max}), kritik (N_{crit}) ve minimum (N_{min}) bitki azot konsantrasyonu, N_{max} maksimum ulaşabilir bitki N konsantrasyonudur ($Kg\ Kg^{-1}$) ve daha ayrıntılı olarak Stöckle ve ark. (1997) tarafından verilmektedir. O zaman kısıtlı azot ürün transpirasyonu, r_c 'deki değişime karşılık olarak potansiyel transpirasyonu azaltarak hesaplanmaktadır.

$$T_N = T_p \frac{+\gamma(1 + r_c/r_a)}{\Delta + \gamma(1 + r_{cNS}/r_a)}$$

Burada Δ : sıcaklığın saturasyon buhar basınç fonksiyonu ($kPa\ C^{-1}$), γ : psikometri katsayısı ($kPa\ C^{-1}$), r_a : buhar akmasına aerodinamik dayanıklı (gün m^{-1}) Allen ve ark. (1998) araştırmadan daha fazla bilgi alabilmektedir. Sınırlı su veya fiili ürün terlemesi (TA) ürünün T_N tarafından belirlenen şartlara uyacak şekilde toprak suyunu alma kabiliyeti ile belirlenir. T_A Stöckle ve Jara (1998) tarafından belirlenen yöntem ile belirlenmektedir.

$$B_T = B_P \left[\frac{T}{T_p} \frac{A}{A} \right]$$

Burada B_T : biyokütle transpirasyonu ($\text{kg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$), B_p : gün için potansiyel biyokütle gelişimi ($\text{kg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) ve T_A/T_p gerçeğin potansiyel transpirasyonuna oranıdır.

$$B_N = B_T \left[1 - \frac{N_{\text{crit}} - N_c}{N_{\text{crit}} - N_{\text{min}}} \right]$$

Burada ise B_N : Kısıtlı azot biyokütle gelişimi ($\text{kg m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$).

Yaprak alan geliştirmesi: Birim yaprak alanı başına toprak alanı olarak ifade edilir. Bitkisel süreçte iken yaprak alanının artışı biyokütle birikmesi olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{LAI} = \frac{\text{SLAB}}{1 + pB}$$

Burada LAI: yaprak alan indeksi ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), B: biriktirilen yüzey üstü biyokütle (kg m^{-2}), SLA: spesifik yaprak alanı ($\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$) ve P: bölme katsayısı ($\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$)'dır.

Kök gelişimi: CropSyst modelinde kök derinliğı ve kök yoğunluğı olarak hesaplanmaktadır.

Verim: Verim simülasyonu fizyolojik olgunlaşmada biriktirilen toplam biyokütle (B_{PM}) ve hasat indeksine (hasat edebilen/yer yüzey biyokütle) bağılı olmaktadır.

$$Y = B_{PM}HI$$

Burada Y: verim ve B_{PM} (kg m^{-2}) hasat indeksi stres görülmeyen hasat indeksi (modifiye edilen) olarak belirlenmektedir.

3.5.3. CropSyst'in Veri İstekleri

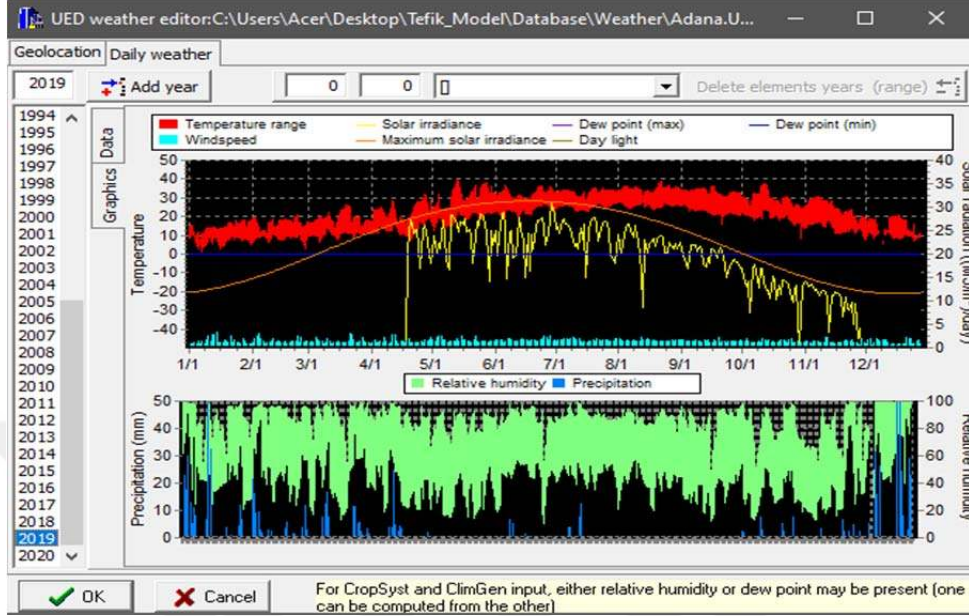
CropSyst'i çalıştırmak için girdi olarak simülasyon kontrolü, konum, toprak, ürün ve yönetim dosyaları olmak üzere toplamda beş veri gerekmektedir (Şekil 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7).

Simülasyon kontrol dosyası: Spesifik simülasyon çalışmalarını oluşturmak için girdi olarak modele verilen farklı dosya türleri bu işlem aracılığıyla istendiği gibi birleştirilmektedir. Simüle edilecek simülasyon ve ürün rotasyonunun başlangıç ve bitiş gününü belirlemekte ve tüm başlatma için gereken parametre oluşturulmaktadır.

Lokasyon dosyası: Enlem, hava durumu, dosya ismi ve dizinleri, yağmur yoğunluğu parametresi, evapotranspirasyon modelinin seçilmesi ve bağlı parametreleri ve genel rüzgâr bilgisini içermektedir.

Day	Date	Precipitation (mm)	Max temperature (°C)	Min temperature (°C)	Solar irradiance (MJ/m²)	Max relative humidity (%)	Min relative humidity (%)	Max dew point (°C)	Min dew point (°C)	Avg dew point (°C)	Wind speed (m/s)
21	Jan/21	0.00	14.60	6.50	0.00	78.00	37.00	0.00	0.00	0.00	1.60
22	Jan/22	0.00	16.50	6.80	0.00	83.00	37.00	0.00	0.00	0.00	1.30
23	Jan/23	0.00	17.00	7.00	0.00	81.00	39.00	0.00	0.00	0.00	1.00
24	Jan/24	0.00	16.90	9.90	0.00	61.00	40.00	0.00	0.00	0.00	2.40
25	Jan/25	4.00	14.90	6.90	0.00	97.00	55.00	0.00	0.00	0.00	1.10
26	Jan/26	0.60	18.90	8.10	0.00	96.00	42.00	0.00	0.00	0.00	1.60
27	Jan/27	1.00	16.00	8.70	0.00	97.00	53.00	0.00	0.00	0.00	1.20
28	Jan/28	0.40	16.90	8.20	0.00	93.00	45.00	0.00	0.00	0.00	1.10
29	Jan/29	0.00	18.20	6.20	0.00	97.00	47.00	0.00	0.00	0.00	0.90
30	Jan/30	0.00	18.80	8.60	0.00	95.00	42.00	0.00	0.00	0.00	2.00
31	Jan/31	4.20	14.70	7.00	0.00	98.00	68.00	0.00	0.00	0.00	1.40
32	Feb/01	12.00	17.30	7.90	0.00	99.00	52.00	0.00	0.00	0.00	0.80
33	Feb/02	6.60	18.20	4.50	0.00	90.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.70
34	Feb/03	0.00	19.50	5.50	0.00	87.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.80
35	Feb/04	0.00	19.80	6.30	0.00	86.00	27.00	0.00	0.00	0.00	1.20
36	Feb/05	0.00	19.50	7.90	0.00	73.00	27.00	0.00	0.00	0.00	1.90
37	Feb/06	0.00	15.30	9.30	0.00	92.00	29.00	0.00	0.00	0.00	2.50
38	Feb/07	21.20	12.00	8.10	0.00	96.00	66.00	0.00	0.00	0.00	3.00
39	Feb/08	16.20	12.40	9.30	0.00	95.00	61.00	0.00	0.00	0.00	1.90
40	Feb/09	9.20	12.90	8.80	0.00	96.00	76.00	0.00	0.00	0.00	1.50
41	Feb/10	9.60	11.30	8.30	0.00	98.00	87.00	0.00	0.00	0.00	0.70
42	Feb/11	2.80	16.80	5.40	0.00	99.00	44.00	0.00	0.00	0.00	1.00
43	Feb/12	2.00	17.60	7.80	0.00	96.00	50.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Şekil 3.3. CropSyst modelinde iklim verilerinin girişi



Şekil 3.4. CropSyst modelinde iklim verilerine ait grafiklerin görünümü

Toprak dosyası: Amonyak buharlaşmasının tahmin edilmesi için pH ve yüzey katyon değişim kapasitesini, Toprak Koruma Servisi (SCS) eğri sayı yaklaşımının parametrelerini (US Soil Conservation Service, 1972) ve erozyonun hesaplanması için revize edilmiş toprak kaybı denkleminin parametrelerini (Renard ve ark., 1997) içermektedir. Her toprak katmanı için kalınlık ve tekstür belirlenmelidir.

Bu bilgilere dayanarak pedotrasfer fonksiyonları (Saxton ve ark., 1986) hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki hacimsel nem içeriği, hava giriş potansiyeli ve hacimsel nem içeriği ile su potansiyeli arasındaki ilişki için Campbell b değerini (Campbell, 1985) hesaplanmasında kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Taofeek Samuel WAHAB

File Edit View Options Help

C:\Users\Acer\Desktop\Tefik_Model\Database\Soil\menzilat-arik.sil

Description

Documentation

Details: [Icons]

Profile Surface Runoff Erosion Other

Texture Hydraulic properties Chemistry <-- Focus to column

Layers	Thickness m	Sand %	Clay %	Silt %	Layer bypass 0-1	Permanent wilt point m ³ /m ³	Field capacity y	Bulk density y	Water pot at FC kPa	Saturated hydr. conc. m/day	Air entry potential J/kg	Campbell b	Saturation m ³ /m ³ (Computed)	Cation exchange	pH
1	0.310	27.380	30.792	41.82	0.000	0.172	0.323	1.320	-37.053	0.095	-2.272	6.049	0.502	20.500	7.57
2	0.280	35.860	34.270	29.87	0.000	0.191	0.322	1.320	-38.534	0.064	-1.302	7.283	0.502	17.870	7.95
3	0.350	13.600	44.770	41.63	0.000	0.255	0.415	1.238	-42.231	0.061	-4.587	7.878	0.533	24.900	7.80
4	0.310	11.570	44.620	43.81	0.000	0.255	0.417	1.235	-42.184	0.065	-4.805	7.768	0.534	18.400	7.81
5	0.250	17.990	42.410	39.60	0.000	0.239	0.395	1.254	-41.492	0.060	-3.712	7.611	0.527	19.990	7.90
6	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
7	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
8	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
9	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
10	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
11	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
12	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
13	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
14	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
15	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
16	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
17	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
18	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
19	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00
20	0.000	60.000	20.000	20.00	0.000	0.129	0.232	1.446	-31.084	0.173	-0.403	6.536	0.455	20.000	7.00

Evaporative layer thickness (meter) 0.050

Cascade infiltration model 0.020

Finite different infiltration model

Default Computed from entered values User specified Estimated from texture

Click here to install the Hydraulic Properties Calculator tool

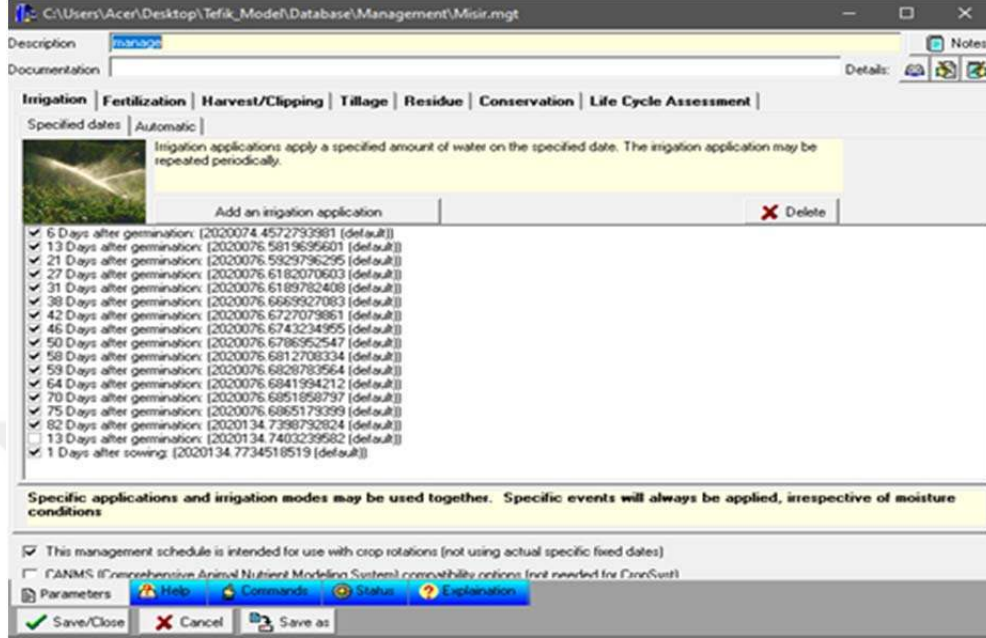
It is recommended to use the estimated Air entry potential and Campbell b values

Parameters Help Commands Status Explanation Translation

Save/Close Cancel Save as

Şekil 3.5. CropSyst modelinde toprak verilerinin girişi

Yönetim dosyası: Belirlenen ve otomatik yönetim olaylarını içermektedir. Yönetim olayları gerçek tarih, nispi tarih ve fenolojik olaylarla senkronizasyonu olabilmektedir.

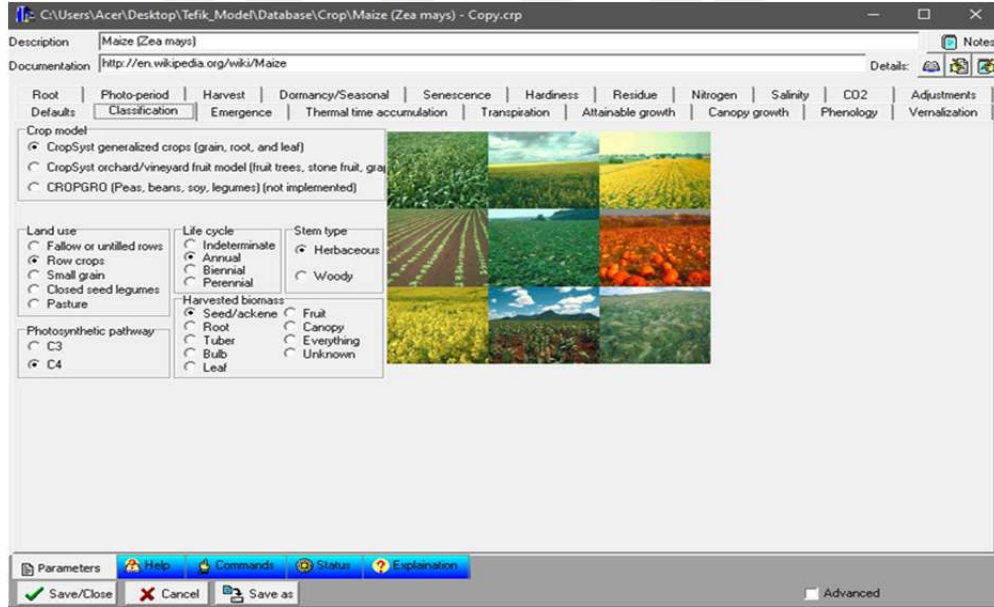


Şekil 3.6. CropSyst modelinde toprak yönetim uygulamalarının girişi

Ürün dosyası: Farklı bitki ve bitki çeşidini temsil etmek için yaygın bir parametre dizisine kullanıcı erişim fırsatı vermektedir. Bu dosya fenoloji (spesifik gelişim seviyesine ulaşmak için termal zaman gereksinimleri), morfoloji (Maksimum yaprak alan indeksi, kök derinliği, spesifik yaprak alanı, yaprak alan süresi ve kanopi ve kök karakteristiklerini belirleyen diğer parametreler), gelişim (transpirasyon-biyokütle katsayısı, radyasyon kullanım etkenliği, strese tepki parametreleri v.s.), artık (ürün artıkları için ayrışma ve gölgeleme parametreleri), Azot (ürün azotunun belirlenmesi ve kök alımı), hasat indeksi (stressiz hasat indeksi ve stres duyarlılık parametreleri), tuzluluk toleransı ve CO₂-yükseklik tepkisini içermektedir. Sadece ürün parametresinin dar bir kalibre ihtiyacı gerekmektedir. Ancak transpirasyon-biyokütle katsayısı (Tanner ve Sinclair, 1983), radyasyon kullanım etkinliği (Monteith, 1977), spesifik yaprak alanı, sap/yaprak ayırma katsayısı ve yaprak alan süresi gibi parametreler çevre ve yönetime en büyük ürün tepkisini arazide deneme aracılığıyla belirlenebilmektedir. Temel deneysel veri seti biyokütlenin mevsimsel gelişimini (yapraklar ve gövde), yaprak alan indeksi,

yakalanmış PAR'ı, toprak nemini, sezonsal günlük iklim verisini, hasat zamanında toplam biyokütleyi ve verimi içermelidir.

Kalibrasyon, ürün modelleme konusunda belirli bir denklemin ayarlanması olarak tanımlanmaktadır (Merriam-Webster, 1998). Genel olarak modele bir bitkinin hibrit özelliklerinin veya toprak özelliklerinin adapte edilmesi için yapılmaktadır (Sinclair ve Seligman, 2000). Bu tez çalışmasında kalibrasyon aşamasında ürün dosyasında bulunan kalibrasyon modülü kullanılmıştır. Araziden elden edilen stressiz koşullardaki bitki unsurları (I100 uygulaması) ile yapılmış kalibrasyonda iklim verileri, ekim tarihi, hasat tarihi, önemli fizyolojik gelişme tarihi, yaprak alan indeksi, biyokütle ve verim dahil olmak üzere bitki ve iklim verileri ile kalibre edilmiştir.



Şekil 3.7. CropSyst modelinde ürün bilgilerinin girişi

3.6. CropSyst Model Analizi ve İstatistiksel Analizler

Denemede farklı sulama uygulamalarının belirlenen toprak özellikleri ve ölçülen mısır bitkisinin verim unsurları üzerine etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile R istatistik programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. LSD testi kullanılarak uygulamalara ait ortalamalar arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte sulama uygulamaları ile elde edilen mısır bitkisinin dane verimi, validasyon amacıyla model sonucu ile karşılaştırılmıştır.

Validasyon aşamasında yayınlanabilir bir model, “temeli sağlam veya gerekçelendirilebilir” anlamında “geçerli” olmalıdır. Aynı zamanda model alt bileşenlerinin gözlemlere göre en azından niteliksel olarak davranıp davranmadığını gösteren bir “davranış testi” ile de karşılaşmalıdır (Sinclair ve Seligman, 2000). İkinci aşamada ise validasyonu sağlanmış modelin, farklı nem düzeylerine göre mısır bitkisinin verim ilişkileri simülasyon teknikleri ile araştırılmıştır. Özellikle;

- Modelin katkısı ile fiziki deneme yapmadan, simülasyon teknikleri uygulayarak potansiyel verim düzeyi araştırılmıştır.
- Ekim tarihi, sıcaklık ve farklı sulama düzeyleri gibi amenajmanların uygulanması ile simülasyonlar yapılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Sulama Düzeyinin Kimyasal Toprak Özelliklerine Etkisi

Mısır hasadı sonrası farklı sulama uygulamaların topraktaki pH, elektriksel iletkenlik ve kireç üzerine etkileri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Sulama uygulamalarının toprak pH’sı üzerindeki etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ancak değerler incelendiğinde pH 7.32 ile 7.60 gibi dar bir aralıkta değişmekle birlikte, deneme topraklarının alkali karakterde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Farklı sulama uygulamalarının toprak pH’sı, elektriksel iletkenlik ve kireç içeriği üzerine etkisi

Uygulama	pH	Elektriksel iletkenlik (dS/m)	Kireç (%)
I100	7.60 [#] ± 0.03 [†] a ^{&}	661.83 ± 22.76	30.05 ± 0.73
I75	7.52 ± 0.08 a	588.50 ± 53.65	30.46 ± 1.10
I50	7.32 ± 0.06 b	598.67 ± 94.93	29.90 ± 1.02
LSD _{uygulama}	0.141***	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75’i ve %50’si düzeylerinde uygulanan sudur. #: üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulama arasındaki fark ***: P<0.001 seviyesinde önemli; Ö.D. önemli değildir.

Toprakta tuzluluğun göstergesi olan elektriksel iletkenlik incelendiğinde uygulamaların etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Deneme topraklarında mısır bitkisinin gelişimini engelleyecek düzeyde tuzluluk bulunmamakla birlikte topraktaki tuzluluğun oldukça düşük olarak tuzsuz sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte topraktaki kireç içeriğinin de uygulamalardan istatistiksel olarak etkilenmediği belirlenmiştir. Kireç içeriği her üç uygulama altındaki topraklarda birbirine oldukça yakın bulunmuş ve çok kireçli sınıfında yer almıştır. Gerek Çukurova bölgesi (Dinç ve ark., 1995) gerekse

deneme alanı topraklarının kireç içeriği (Gülez ve Şenol, 2002) çok kireçli olarak tanımlanmış ve yapılan analizler sonucunda da aynı şekilde geçen zaman içinde yıkanma olmadan çok kireçli olarak devam ettiği görülmüştür.

Farklı sulama uygulamaları altındaki toprakların organik karbon, fosfor ve potasyum içerikleri verilmiştir (Çizelge 4.2). Organik karbon dışında diğer makro besin elementlerinden olan yarıyıllı fosfor ve potasyum içerikleri üzerine sulama uygulamalarının istatistiksel olarak önemli derecede etkisi bulunmamıştır (Çizelge 4.2). Topraktaki fosfor içeriği çok düşük düzeyde bulunmakla birlikte I50 uygulaması diğer uygulamalara kıyasla nispeten de olsa bir adım öne çıkmaktadır. Farklı sulama uygulamaları altındaki topraklarda mısır hasadı sonrası elde edilen potasyum içerikleri Çukurova bölgesine benzer şekilde yeterli düzeyde bulunmuştur.

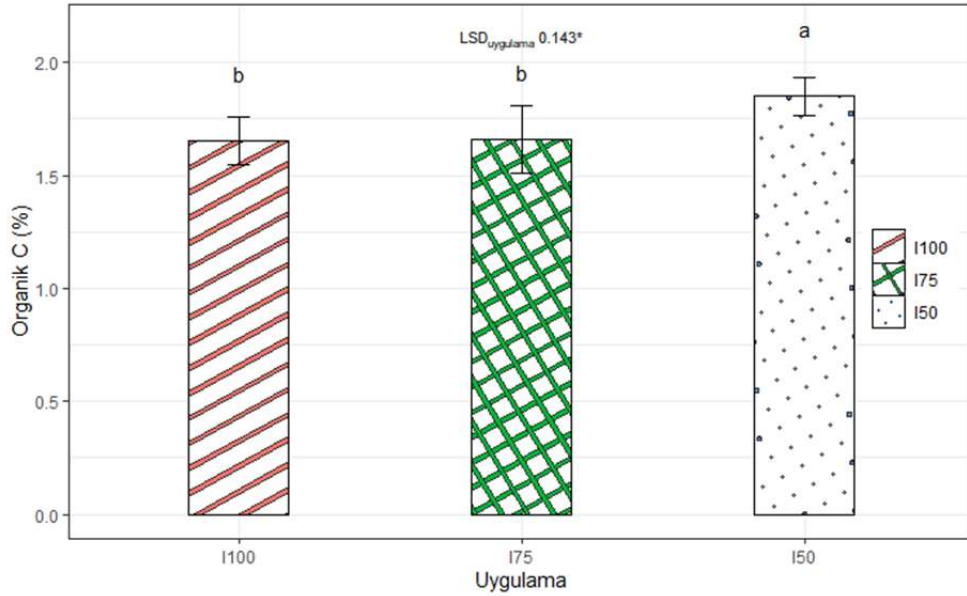
Çizelge 4.2. Farklı sulama uygulamalarının toprağın organik karbon, fosfor ve potasyum içerikleri üzerine etkisi

Uygulama	Organik karbon (%)	Fosfor (ppm)	Potasyum (ppm)
I100	1.65 [#] ± 0.11 [†] b ^{&}	2.33 ± 0.47	414.07 ± 30.37
I75	1.66 ± 0.15 b	2.58 ± 0.70	362.07 ± 51.52
I50	1.85 ± 0.09 a	3.69 ± 1.73	406.45 ± 87.47
LSD _{uygulama}	0.143*	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulama arasındaki fark *: P<0.05 seviyesinde önemli; Ö.D önemli değildir.

Farklı sulama uygulamalarının topraktaki organik karbon içeriğine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4.1 ve Çizelge 4.2). Mısır yetiştiriciliğinde kullanılan su miktarı azaldıkça organik karbonun az da olsa artış gösterdiği görülmüştür. Genel olarak çalışma alanında organik karbon değerleri

Türkiye topraklarına benzer şekilde düşük olarak elde edilmiştir. %100 ve %75 sulama düzeyleri aynı grupta yer alırken, %50 sulama düzeyi daha yüksek organik karbon değeri ile ayrı bir sınıfta yer almıştır. Lin ve ark. (2010) tarafından yapılan araştırmaya göre farklı sulama yöntemleri uygulanarak topraktaki karbon içeriği belirlenmiştir. Çalışmada yeraltı sulama yöntemi ile 0-30 cm derinliğinde %1.7-%2.5 organik karbon bulunurken, bu değerlerin mevcut denemede elde edilen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Valeria ve ark. (1983) tarafından yapılan bir araştırmada toprak neminin artırılması ile mikrobiyal faaliyette artış görülmüştür. Bu çalışmada da az da olsa artan sulama düzeyi ile birlikte toprakta organik karbonun mikrobiyal faaliyet sonucu azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı sulama uygulamalarında topraktaki organik karbon içeriğine etkisi (Organik karbona ait ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle belirtilmiştir. LSD testinde *: $P < 0.05$ seviyesinde önemlidir.)

2019 yılında kurulan deneme alanında mısır hasadı sonrası topraktaki mikro elementlerden mangan ve çinko üzerine sulama uygulamalarının etkisi istatistiksel

olarak önemli çıkmıştır (Çizelge 4.3). Oysa sulama uygulamalarının bakır ve demir üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Mısır hasadı sonrası topraktaki kalan bakır (Follet, 1969) ve demir (Linsday ve Norwell, 1978) konsantrasyonları yeterli düzeyde bulunmasına karşın uygulamalar arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir. Uygulamalar atlında elde edilen ortalama bakır konsantrasyonu birbirine yakın iken, demir konsantrasyonunda optimum su düzeyinden az su düzeyine doğru hafif bir azalış görülmüştür.

Çizelge 4.3. Farklı sulama uygulamalarının topraktaki mikro besin elementleri üzerine etkisi

Uygulama	Bakır	Çinko	Demir	Mangan
	(ppm)			
I100	1.30 [#] ± 0.09 [†]	1.01 ± 0.10 b ^{&}	7.5 ± 1.35	7.27 ± 0.52 a
I75	1.31 ± 0.13	1.20 ± 0.17 ab	7.32 ± 1.04	7.54 ± 0.55 a
I50	1.28 ± 0.17	1.37 ± 0.09 a	7.24 ± 2.26	6.38 ± 0.71 b
LSD _{uygulama}	Ö.D.	0.369***	Ö.D.	0.739*

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulamalar arasındaki fark *: P<0.05 ve ***: P<0.001 seviyesinde önemli; Ö.D. önemli değildir.

Topraktaki mangan içeriği üzerine uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak (P < 0.05) önemli bulunmuştur (Çizelge 4.3). I100 ve I75 uygulamaları istatistiksel olarak aynı sınıfta yer alırken, I50 uygulaması farklı bir sınıfta yer almıştır. En yüksek suyun uygulandığı I100 ve I75 uygulamaları en yüksek mangan içeriğine sahip olup, en düşük suyun uygulandığı I50 uygulamasında ise en düşük mangan konsantrasyonu görülmüştür. Çinko konsantrasyonu mangan gibi toprakta yeterli düzeyde bulunmuştur (Sillanpaa, 1990). Sulama düzeyi düştükçe toprakta çinko konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Diğer mikro elementlerin dışında deneme öncesinde gübrelemeye sadece çinko elementi dahil edilmiştir. Topraktaki çinko konsantrasyonuna göre ya fazla sulama nedeniyle çinko yıkanması meydana geldi ya da kısıtlı sulama nedeniyle bitkiler topraktan çinko alım kabiliyetini

azaltmıştır. Bitkideki çinko konsantrasyonu analiz edilmediği için kesin bir cevap verilememektedir.

4.2. Farklı Sulama Düzeyinin Fiziksel Toprak Özelliklerine Etkisi

Mısır hasadı sonrası tam ve kısıtlı sulamadan oluşan farklı sulama uygulamalarının fiziksel özelliklere etkisi Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Yapılan istatistiksel analize göre fiziksel özellikler üzerine sulama uygulamaları arasında herhangi önemli bir etki bulunmamıştır (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5). Genel olarak hacim ağırlığı çalışma kapsamında uygulamalar arasında büyük değişkenlik göstermemiştir. Hacim ağırlığı toprakta sıkışmanın en önemli göstergelerinden birisi olarak kabul edilmektedir (Abu-Hamdeh, 2003). Hacim ağırlığı rakamsal olarak incelendiğinde sulama düzeyi azaldıkça küçük de olsa artış gösterdiği belirlenmiştir. Deneme alanında belirlenen hacim ağırlıklarının USDA (1987) tarafından killi tın topraklarda belirtilen standart hacim ağırlığı değerini ($<1.4 \text{ g.cm}^{-3}$) aşmadığı ve toprakta sıkışma probleminin yaşanmadığını göstermiştir. Suyun tutulmasından sorumlu mikro gözeneklilik, suyun iletimi ve havalanmadan sorumlu makro gözeneklilik ve toplam gözeneklilik değerleri tüm uygulamalarda birbirine oldukça yakın olup, mineral topraklarda beklenen aralıklarda bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Farklı sulama uygulamalarının hacim ağırlığı ve gözeneklilik üzerine etkisi

Uygulama	Hacim Ağırlığı (g.cm^{-3})	Gözeneklilik		
		Makro	Mikro	Toplam
		($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)		
I100	$1.20^{\#} \pm 0.04^{\dagger}$	0.29 ± 0.03	0.29 ± 0.03	0.58 ± 0.02
I75	1.21 ± 0.06	0.30 ± 0.02	0.27 ± 0.00	0.58 ± 0.02
I50	1.25 ± 0.03	0.29 ± 0.03	0.28 ± 0.01	0.57 ± 0.02
LSD _{uygulama}	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75’i ve %50’si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptamasıdır. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta Ö.D.: önemli değildir.

Farklı sulama düzeylerinin hidrolik üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.5). En düşük hidrolik iletkenlik 0.38 cm.sa^{-1} ile I100 uygulamasında bulunurken, en yüksek hidrolik 0.57 cm.sa^{-1} ile I75 uygulamasında elde edilmiştir. Meek (1992)'e göre hidrolik iletkenliği etkileyen faktörlerden biri hacim ağırlığıdır. Hacim ağırlığındaki değişkenlik toprakta gözenekliliğin değişmesine ve bu da hidrolik iletkenlikte değişimlere sebep olduğu bilinen bir durumdur. Bu kapsamda sulama yöntemlerinin hacim ağırlığı ve gözeneklilik üzerindeki etkilerinin önemsiz olması hidrolik iletkenliğinde istatistiksel olarak değişmemesine sebep olmuştur.

Çizelge 4.5. Farklı sulama uygulamalarının hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi üzerine etkisi

Uygulama	Hidrolik iletkenliği (cm.sa^{-1})	Tarla kapasitesi	Solma Noktası	Yarayışlı su
		(Hacimsel, %)		
I100	$0.38^{\#} \pm 0.11^{\dagger}$	27.68 ± 0.95	19.58 ± 0.88	8.09 ± 0.57
I75	0.57 ± 0.20	27.37 ± 0.35	19.51 ± 1.86	7.86 ± 2.10
I50	0.49 ± 0.05	28.17 ± 1.00	19.21 ± 1.04	8.96 ± 1.58
LSD _{uygulama}	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptamasıdır. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta Ö.D.: önemli değildir.

Farklı sulama düzeylerinin toprakta tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.5). Rakamsal olarak incelendiğinde de uygulamalar arasında çok ciddi bir farkın olmadığı görülmektedir. Toprakta su tutma kapasitesi kısa süre içerisinde değişmeyen özelliklerden birisi olup, bu da kısa süreli deneme kapsamında sonuçlara yansımıştır.

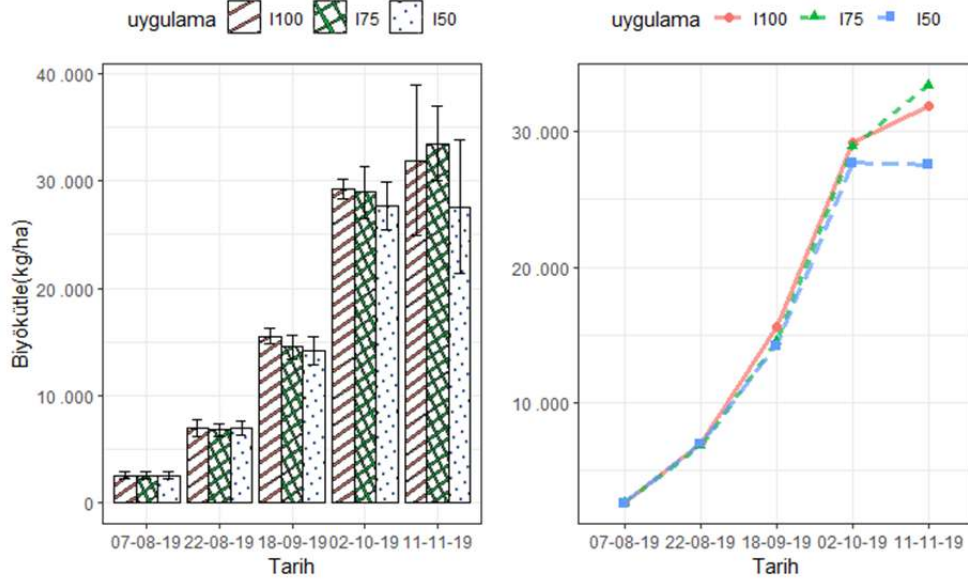
4.3. Farklı Sulama Düzeyinin Biyokütle ve Verim Üzerine Etkisi

Beş farklı tarihte yapılan biyokütle ölçümlerinde sulama düzeyinin istatistiksel olarak önemli etkileri olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.6). 07.08.2019 tarihinde 2019-08-22 tarihinde araştırma alanında uygulamalar tam olarak ayrılmadığı için bu tarihte uygulamaların hepsi aynı biyokütleyle sahip olmuştur. Bu tarihten itibaren bütün uygulamalar altında mısır bitkisine ait biyokütle beklenildiği gibi artış göstermiştir. Ancak bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Uygulama parselleri tam oluşturulduktan sonraki ilk ölçümde de (22.08.2019 tarihinde) uygulamalar arasında ciddi farklılıklar olmamıştır. Bu tarihten itibaren bitki gelişimine devam ettikçe 18.09.2019 ve 02.10.2019 tarihlerinde rakamsal olarak en yüksek biyokütle en çok suyun uygulandığı I100 uygulamasında elde edilmiştir. Son örnekleme tarihinde ise (11.11.2019) I75 uygulaması diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek biyokütleyle sahip olmuştur.

Çizelge 4.6. Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen biyokütleyle etkisi

Uygulama	Biyokütle ölçüm tarihleri (kg/ha) (2019)				
	07.08.19	22.08.19	18.09.19	02.10.19	11.11.19
I100	2570 [#] ± 370 [†]	6965 ± 764	15548 ± 677	29244 ± 955	31928 ± 7028
I75	2570 ± 370	6794 ± 567	14517 ± 1061	28933 ± 2448	33480 ± 3488
I50	2570 ± 370	6968 ± 656	14207 ± 1300	27733 ± 2234	27593 ± 6225
LSD _{uygulama}	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptamasıdır. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta Ö.D.: önemli değildir.



Şekil 4.2. Farklı sulama uygulamalarında biyokütlenin gelişimine ait grafik

Sulama uygulama etkisinin açık bir şekilde 18.09.2019 tarihinde görülmesine başlamış ancak bu etkiler istatistiksel olarak anlamlı olmamıştır. Genel olarak biyokütle miktarına bakıldığında ise beklenildiği üzere sulama yapıldıkça artış göstermiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde 07.08.2019 tarihinden 02.10.2019 tarihine kadar çizgi grafiğinde keskin bir biyokütle artışı görülmektedir. 11.11.2019 tarihine kadar I100 ve I75 uygulamalarında biyokütle artışı devam ederken denemenin sonuna yaklaşıldıkça I50 uygulamasında diğer uygulamalara kıyasla daha az biyokütle elde edildiği görülmüştür.

Yer altı sulama yöntemi nedeniyle su buharlaşması ve yüzey akışı kaynaklı su kaybı en az düzeye indirilmiştir (Lamm ve ark., 2006). Bunun için farklı bitki gelişme döneminde uygulamalar arasında fark görülmemiştir. Ancak bitki dane dolma süreçlerinde I50 uygulamasında yüksek suya ihtiyaç olduğu için 02.10.2019 ve 11.11.2019 tarihlerinde farklılık birbirine oldukça yakın olup, -140 kg olarak bulunmuştur. Buna karşın I50 uygulamasına kıyasla daha fazla suyun verildiği I100 ve I75 uygulamalarında ise sırasıyla 2.684 kg ve 4.547 kg daha fazla

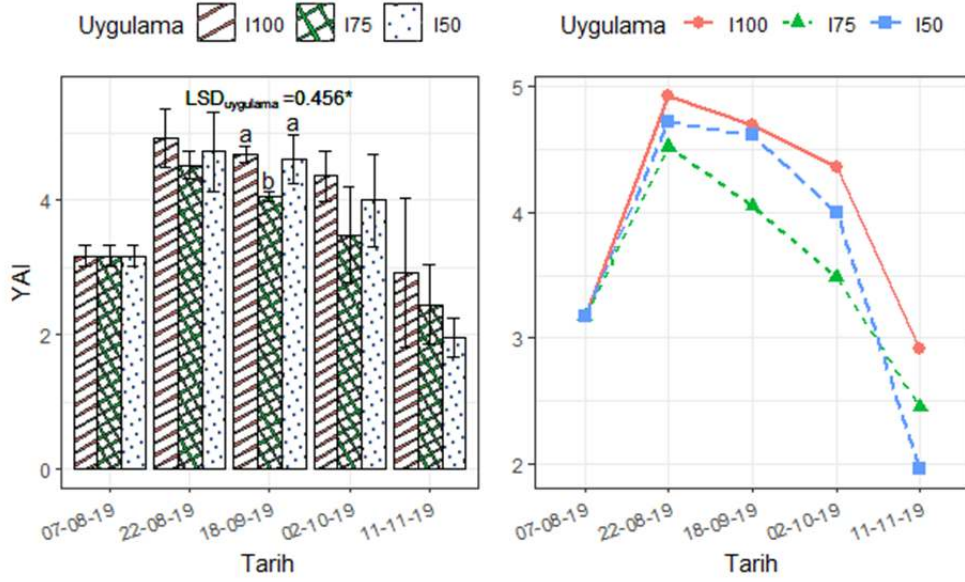
biyokütle bulunmuştur. Çalışmamıza benzer şekilde Ge ve ark. (2012) su stresinin mısır bitkisinde farklı gelişim dönemlerinde etkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada orta su stresinin (%55 TK) V13 bitki gelişim seviyesine kadar istatistiki olarak herhangi bir farklılık oluşturmadığını, buna karşın bu dönemden sonra özellikle üretim döneminde uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli derecede farklılıklar olduğunu rapor etmiştir.

Sulama uygulamalarının yaprak alan indeksi üzerine etkileri Çizelge 4.7 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. 18.09.2019 tarihinde yapılan ölçüm dışında diğer tarihlerde yapılan ölçümlerde sulama uygulamalarının yaprak alan indeksi üzerine önemli etkileri olmamıştır.

Çizelge 4.7. Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen yaprak alan indeksine etkisi

Uygulama	Yaprak alan indeksi (m ² .m ⁻²) ölçüm tarihleri (2019)				
	07.08.19	22.08.19	18.09.19	02.10.19	11.11.19
I100	3.17 [#] ± 0.16 [†]	4.93 ± 0.43	4.69 ± 0.12 a [*]	4.36 ± 0.37	2.92 ± 1.10
I75	3.17 ± 0.16	4.52 ± 0.20	4.05 ± 0.07 b [*]	3.48 ± 0.71	2.45 ± 0.59
I50	3.17 ± 0.16	4.72 ± 0.59	4.61 ± 0.37 a [*]	4.00 ± 0.69	1.96 ± 0.28
LSD _{uygulama}	Ö.D.	Ö.D.	0.456*	Ö.D.	Ö.D.

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta *: P<0.05 seviyesinde önemli; Ö.D.: önemli değildir.



Şekil 4.3. Farklı sulama uygulamalarında yaprak alan indeksine ait grafik

Deneme süresince alınan yaprak alan indeksi en yüksek olarak I100 uygulamasında elde edilirken, bunu sırasıyla 11.11.2019 tarih dışında I50 ve I75 uygulamaları takip etmiştir. Denemede tüm uygulamada en yüksek yaprak alan indeksi 22.08.2019 tarihinde görülmüştür. 22.08.2019, 18.09.2019 ve 02.10.2019 tarihlerinde uygulama arasında istatistiksel olarak fark görülmezken, sadece 18.09.2019 tarihinde istatistik olarak önemli derecede fark görülmüştür. Damla sulama, yağmurlama sulama gibi diğer sulama yöntemlerinde yapılan denemelerde çalışmamıza benzer şekilde gelişme dönemlerinde yaprak alanı indeksinde tam sulama ve kısıtlı sulama uygulamaları arasında önemli derecede farklılık bulunmamıştır (Djaman ve ark., 2012).

Ge ve ark. (2012) tarafından yapılan araştırmaya göre V17 (tepe püskülü) döneminden sonra orta (I50) ve düşük (I75) stresli sulama uygulamaları yaprak alanını etkilemiştir. Bu tez çalışmasında ise I50 uygulamasına göre I75 uygulamasında görülen düşük yaprak alan indeksinin nedeni diğer uygulama parsellerine göre I75 parselinde daha yüksek bitki yoğunluğunun elde edilmesidir.

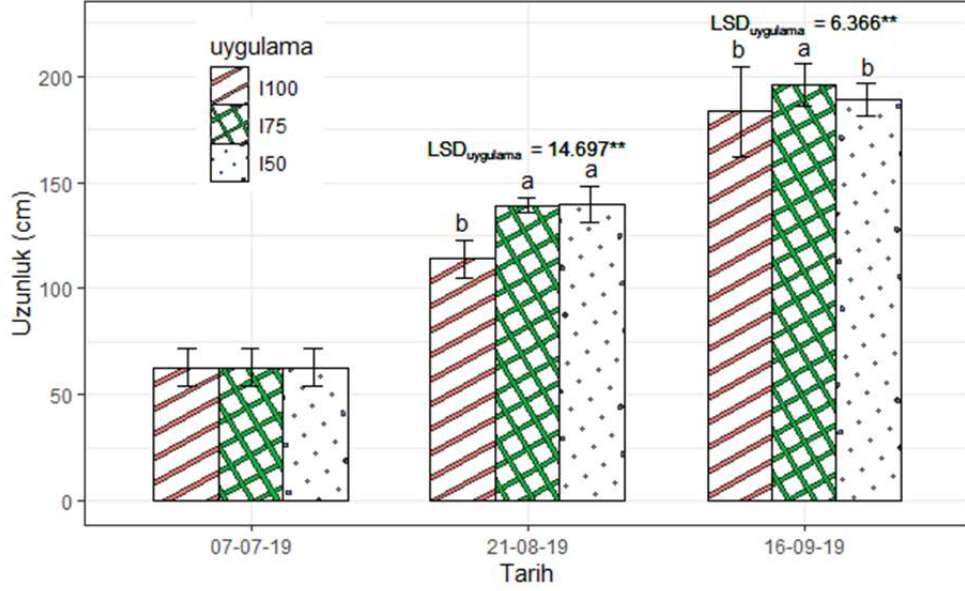
Amanullah ve ark. (2007) tarafından yapılan araştırmaya göre bitki yoğunluğu yaprak alan indeksini etkilediği görülmüş, bitki yoğunluk artışı ile yaprak alan indeksinin düştüğünü belirlemiştir.

Bitki uzunluğu biyokütle ve yaprak alan indeksinin aksine 6 yapraklı seviyede (07.07.2019), tepe püskül (21.08.2019) ve üretim dönemi olmak üzere (16.09.2019) üç farklı tarihte ölçülmüştür. V6 döneminde uygulama başlanmadığı için tüm parsellerden rasgele olarak bitki uzunluğu alınmış ve bu sebeple uygulamalar arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir. Buna karşın diğer dönemler incelendiğinde istatistiksel olarak önemli derecede farklar bulunmuştur (Şekil 4.4 ve Çizelge 4.8). Tepe püskülü ve üretim döneminde en çok suyun verildiği I100 uygulaması en düşük bitki uzunluğuna sahip olmuştur. Buna karşın en yüksek bitki uzunluğu tepe püskülü döneminde I50 uygulamasında ve üretim döneminde ise I75 uygulamasında kaydedilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı sulama uygulamalarının farklı tarihlerde ölçülen bitki uzunluğuna etkisi

Uygulama	Bitki uzunluğu (cm)		
	07.07.2019	21.08.2019	16.09.2019
I100	63.00 [#] ± 8.83 [†]	114.00 ± 8.89 b ^{&}	183.25 ± 21.02 b
I75	63.00 ± 8.83	139.00 ± 3.61 a	195.83 ± 9.79 a
I50	63.00 ± 8.83	139.67 ± 8.39 a	188.75 ± 7.66 b
LSD _{uygulama}	Ö.D.	14.697**	6.366**

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta **: P<0.01 seviyesinde önemli; Ö.D.: önemli değildir.



Şekil 4.4. Farklı sulama uygulamalarının bitki uzunluğuna etkisi (Bitki uzunluğuna ait ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle belirtilmiştir. LSD testinde **: P < 0.01 seviyesinde önemlidir.)

Denemede mısır bitkisine ait köklerin çoğu 20 cm ve 50 cm arasında bulunduğu yapılan arazi gözlemleri ile belirlenmiştir. Bitkiler kök yardımı ile ihtiyaç duydukları su, besin elementleri ve havayı topraktan almaktadır. Toprak altı sulama sisteminde buharlaşma ve diğer su kayıpları en düşük düzeye indirilmektedir. Buna ek olarak bitki kökünün çoğu ilgili sulama borusunun derinliğinde bulunmaktadır. Toprak altı sulama yapıldığında toprak hidrolik iletkenliği optimum düzeyde olsa da, özellikle en çok suyun verildiği I100 uygulamasında toprak kapasitesini aşmış olabilmekte ve bu nedenle ya yıkanma ya da havasız bir durum meydana gelmiş olabilmektedir. Bunun da en yüksek suyun verildiği I100 uygulamasında en düşük bitki uzunluğunun elde edilmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra mısır bitkisi hasat edildiğinde parsellerde 5m deki bitki sayısına bakıldığında I75 uygulamasında en yüksek bitki yoğunluğu görülmüştür. Khan ve ark. (2017) tarafından yapılan araştırmaya göre mısır bitkisinin yoğunluğu artınca uzunluğunun da arttığını belirlemiştir. Bitki yoğunluğu nedeniyle oluşan yaprak alanı indeksi ve bitki uzunluğunun sulama

uygulamalarına bağlı olup olmadığı hakkında bilgi söylenememektedir. Buna karşın püskül döneminde uygulama düzeyinin bitki yoğunluğu üzerinde etkisi görülmüş iken, üretim döneminde sadece bitki yoğunluğunun daha belirgin olduğu bulunmuştur.

Üretim döneminde (16.09.2019) yaprak yaprak alan indeksi en düşük suyun verildiği I50 uygulamasında en yüksek suyun verildiği I100 uygulamasından rakamsal olarak daha yüksek, ancak aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir (Çizelge 4.8). I75 uygulamasında ise I50 ve I100 uygulamalarından daha yüksek yeşil yaprak alan indeksi bulunmuştur. Üretim döneminde bitkinin su ihtiyacı yüksek olduğu için topraktan alınan suyun çoğu üretime ayrılmıştır. En çok suyun verildiği I100 uygulamasında bitkinin ihtiyacından fazla suyun verildiği düşünülmekle birlikte, I100 uygulamasına kıyasla daha az suyun verildiği I75 uygulaması yeşil yaprak alan indeksi açısından ön plana çıkmıştır.

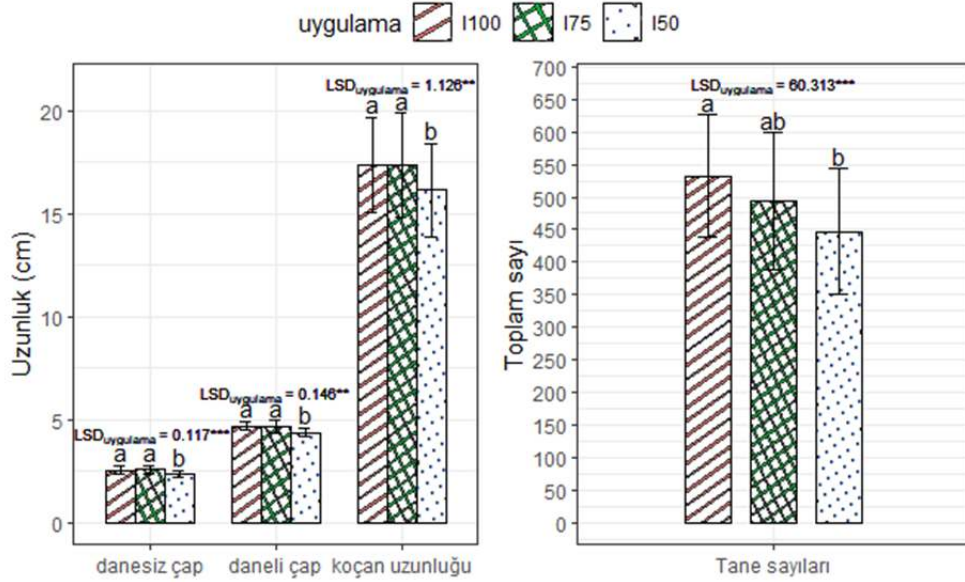
Sulama uygulamalarının mısır bitkisinde koçan uzunluğu ve dane sayısına etkileri Çizelge 4.9 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Sulama uygulamalarının dane sayısı, daneli çap, danesiz çap ve koçan uzunluğu üzerine etkilerinde istatistiksel olarak farklılık görülmüştür.

Çizelge 4.9. Farklı sulama uygulamalarının koçan ölçümü ve dane sayısına etkisi

Uygulama	DDane sayısı	Danesiz çap	Daneli çap	Koçan uzunluğu
		(cm)		
I100	532.42 [#] ± 94.91 [†] a ^{&}	2.56 ± 0.23 a	4.67 ± 0.21 a	17.36 ± 2.51 a
I75	493.65 ± 104.59 ab	2.56 ± 0.18 a	4.66 ± 0.29 a	17.41 ± 2.30 a
I50	446.87 ± 96.37 b	2.37 ± 0.15 b	4.38 ± 0.21 b	16.15 ± 2.29 b
LSD _{uygulama}	60.313***	0.117***	0.146**	1.126**

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta **: P<0.01, ***: P<0.001 seviyelerinde önemlidir.

Mısır bitkisinde daneli ve danesiz çap genişliğine bakıldığında I100 ve I75 uygulamaları en düşük suyun verildiği I50 uygulamasına kıyasla daha yüksek değerler almıştır. Benzer şekilde Ertek ve ark. (2013) damla sulama yöntemi ile kısıtlı sulamanın mısır üzerindeki etkisini iki yıl süreyle belirlemek için yapılan araştırmada birinci yılda daneli ve danesiz çap genişliğinin tam ve hafif kısıtlı sulama yöntemleri orta kısıtlı sulama yöntemine kıyasla daha yüksek, ikinci yılda ise hafif kısıtlı ve orta kısıtlı sulamaya kıyasla tam sulamada önemli derecede yüksek daneli ve danesiz çap genişliği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Farklı sulama uygulamalarının koçan ölçümü ve dane sayısına etkisi (Koçan ölçümleri ve dane sayısına ait ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle belirtilmiştir. LSD testinde **: P <0.01 ***: P <0.001 seviyelerinde önemlidir.)

Mısır bitkisinde daneli ve danesiz çapa benzer şekilde koçan uzunluğu da I50 uygulamasına kıyasla I100 ve I75 uygulamalarında daha yüksek olarak bulunmuştur. Bunun aksine koçan uzunluğu ile ilgili damla sulama yöntemi ile yapılan araştırmalara göre tam sulama ve hafif kısıtlı sulama arasında önemli

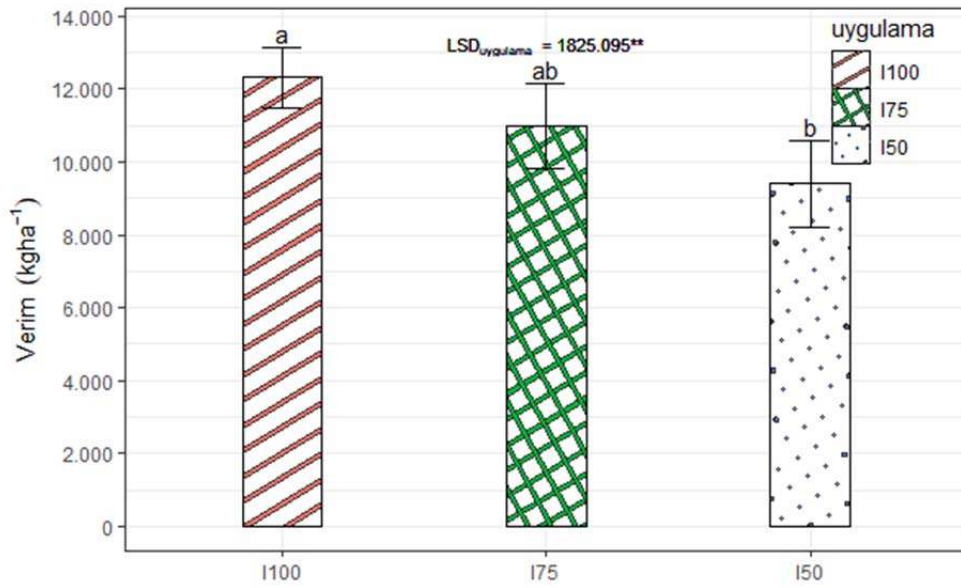
derecede farklılıklar bulunmuştur (Ertek ve ark., 2013; Karasu ve ark., 2015). Bu durum damla sulama ve yeraltı sulama sistemlerinin koçan uzunluğu üzerindeki etkisini göstermektedir. Dane sayısı koçan ölçümlerine benzer şekilde sonuçlar vermiştir. Dane sayısı 532.42 ile I100 uygulamasında en yüksek değer elde edilirken, bunu I75 ve I50 uygulamaları sırasıyla 493.65 ve 446.87 takip etmiştir. Koçandaki dane sayısı ve damla sulama ile ilgili yapılan bir araştırmada tam sulama ile hafif kısıtlı sulama ve orta kısıtlı sulama ile hafif kısıtlı sulama arasında önemli derecede fark bulunmamış iken orta sulamaya kıyasla tam sulamada daha yüksek dane sayısı elde edilmiştir (Etek ve ark., 2013). Bir başka çalışmada ise, Karasu ve ark. (2015) sulama düzeyinin farklı verim unsuru üzerindeki etkisini belirlemek için yaptıkları bir araştırmada kısıtlı sulamaya kıyasla tam sulamada verim unsurlarının daha iyi olduğu bulmuştur. Bu iki çalışmaya bakılınca damla sulama ve toprak altı sulamanın mısır bitkisine etkisi ya aynı düzeyde ya da yer altı sulama yönteminin daha üstün bir sonuç verdiği görülmüştür.

Tam ve kısıtlı sulamadan oluşan 3 farklı sulama uygulamasının mısır bitkisinde verime etkileri istatistiksel olarak önemli derecede farklılaşmıştır (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.6). Artan sulama düzeyine bağlı olarak mısır bitkisinin verimi de artış göstermiştir. I100 ve I75 uygulamaları arasında verim açısından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır. 12322 kg.ha⁻¹ ile I100 uygulaması en yüksek değeri elde ederken, 10994 kg.ha⁻¹ ile I75 uygulaması I100 uygulaması ile istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük mısır verimi ise 9414 kg.ha⁻¹ ile en düşük suyun verildiği I50 uygulamasında elde edilmiştir. Kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanımı dikkate alındığında kısıtlı sulama uygulamalarından olan I75 uygulamasının ön plana çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.10. Farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisinde verime etkisi

Uygulama	Verim (kg.ha ⁻¹)
I100	12322.07 [#] ± 830.12 [†] a ^{&}
I75	10994.52 ± 1162.63 ab
I50	9414.09 ± 1188.17 b
LSD _{uygulama}	1825.095 ^{**}

I100: Tarla kapasitesine kadar uygulanan su, I75 ve I50: I100 konusunda verilen su miktarlarının sırası ile %75'i ve %50'si düzeylerinde uygulanan sudur. #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart saptaması, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir. LSD testinde uygulamalar arasındaki farkta **: P<0.01 seviyesinde önemlidir.



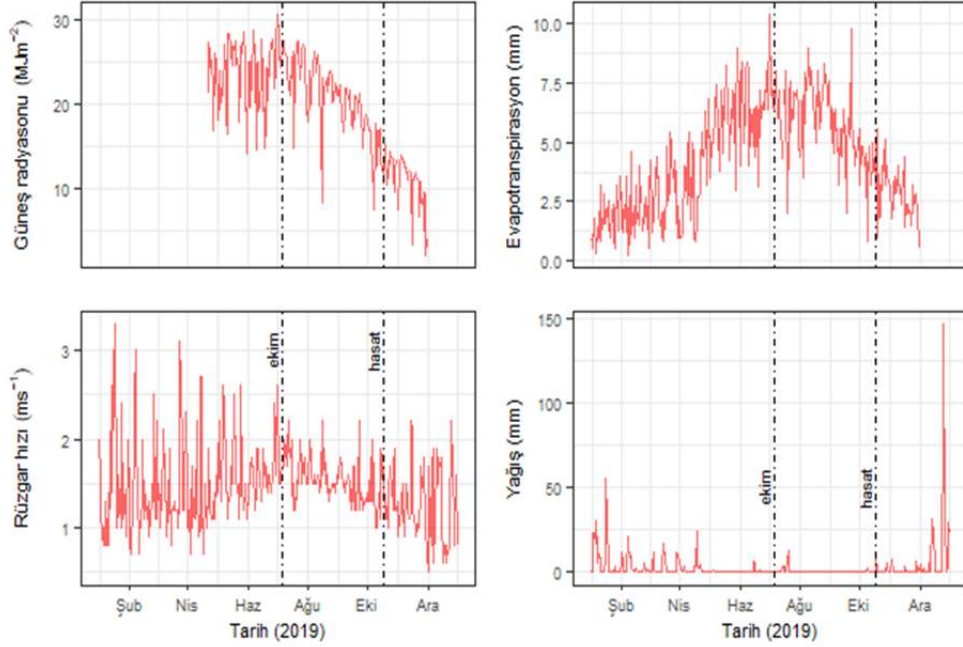
Şekil 4.6. Farklı sulama uygulamalarının mısır bitkisinin verimine etkisi (Verime ait ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle belirtilmiştir. LSD testinde **: P < 0.01 seviyesinde önemlidir.)

İrmak ve ark. (2016)'nın yeraltı sulama yöntemi ile sulama aralığı ve düzeyinin mısır bitkisi üzerindeki etkisini belirlemek için yaptıkları araştırmada, tüm deneme süresinde sulama aralığının verim üzerine önemli bir etkisi

bulunmamıştır. Ayrıca çalışmada tam sulamaya kıyasla hafif sulama düzeyinin dane verimini azalttığı rapor edilmiştir. Yer altı sulama sisteminin kullanıldığı bir başka çalışmada ise Lamm ve ark. (1995) kuzey-batı Kansas'ta 3 yıl süreyle evapotranspirasyon dikkate alınarak mısır bitkisinin su gereksinimi hesaplamıştır. Araştırma sonucuna göre sulamanın yapılmadığı uygulamadan sırasıyla evapotranspirasyonun %25'i, %50'si, %75'i ve %100'ü düzeyinde sulama uygulandığında dane veriminin de istatistiksel olarak önemli bir şekilde kademeli olarak artış gösterdiği belirlenmiştir.

4.4. Deneme Alanına ait İklim Verileri ve Hareketleri

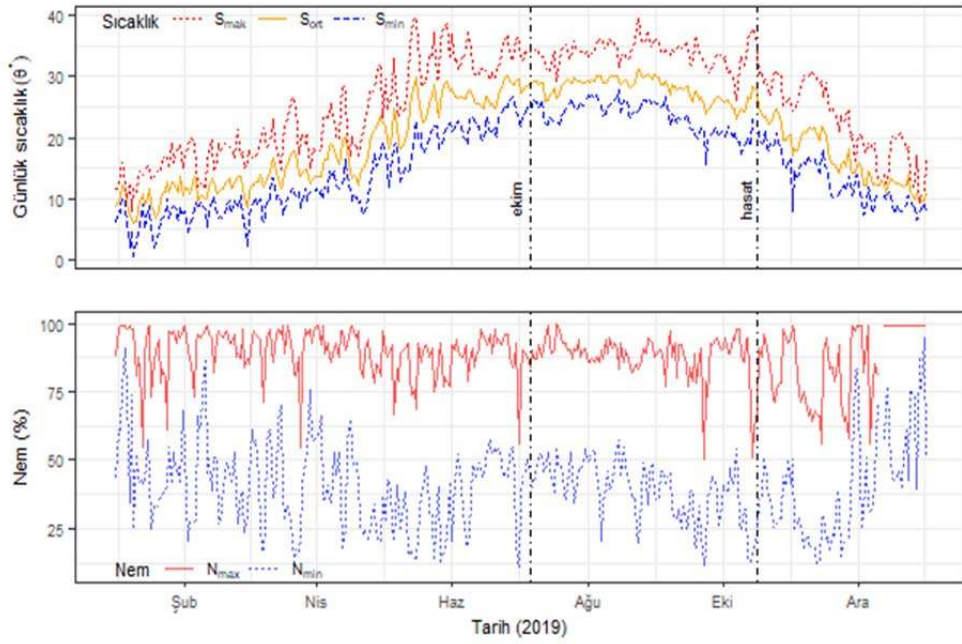
İklim verilerinden güneş radyasyonu, evapotranspirasyon, rüzgar hızı ve yağışa ait veriler Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir. 2019 yılında en çok yağışlar aralık ve ocak aylarında görülmüştür. Mısır bitki çeşidine bağlı olarak mısır bitkisinin su gereksinimi 500-800 mm arasında değişmekte olduğu belirtilmiştir (Critchley ve ark., 1991). Denemenin yürütüldüğü aylarda ise toplam 50.80 mm yağış tespit edilmiş olup, meydana gelen yağış miktarının deneme konusu olan sulama uygulamalarına etki edecek düzeyde olmadığı ve denemenin sağlıklı bir şekilde yürütüldüğü görülmektedir. Genel olarak denemenin yürütüldüğü aylarda yağış yüksek miktarda yağmadığı için ikinci ürün olarak bu aylar seçilmiştir. Genellikle denemenin yürütüldüğü aylardan sadece eylül ayı ve ekim ayında yağış yağmış diğer aylarda ise herhangi bir yağış kaydedilmemiştir.



Şekil 4.7. 2019 yılında güneş radyasyonu, evapotranspirasyon, rüzgâr hızı ve yağış verileri

Evapotranspirasyon grafiğine bakıldığında genel olarak ocak ayından artış başlayarak eylül ve ağustos aylarında sırasıyla 6.56 mm ve 6.86 mm ortalamasıyla pik noktaya gelmiş ve sonrasında düşmeye başlamıştır. Bitki ekimi referans evapotranspirasyon en yüksek seviyede yapılmış olduğu için mısır bitkisi tam referans evapotranspirasyonuna kadar kullanamamıştır (Allen ve ark., 1998). Zira bitki evapotranspirasyonunu etkileyen unsurlardan biri bitki seviyesidir. Bu tarihte bitki gelişiminin erken seviyede olması mısır bitkisi referans evapotranspirasyonuna kadar yapmamış ve sadece mısır bitkisinin toprak yüzeyi tamamen yaprakları ile kapatınca referans evapotranspirasyonuna kadar ulaşmış ancak bu seviyede referans evapotranspirasyon düşmeye başlamıştır. Solar radyasyonu mısır bitkisinin ekim tarihinde 25 Jm^{-2} iken, hasada doğru gidildikçe düzenli bir şekilde azalış göstermiştir. Mısır bitkisinin gelişimi güneş radyasyonunun düşüşü nedeniyle özellikle biyokütle birikimi, yaprak alan indeksi

ve verimi olumsuz olarak etkileyeceği görülmüştür. Yang ve ark. (2019) tarafından yapılan araştırma sonucuna göre belirli bir seviyeye kadar güneş radyasyonu düşünce mısır bitkisinin biyokütle, yaprak alanı ve veriminin önemli derecede düştüğünü görülmüştür.



Şekil 4.8. 2019 yılında sıcaklık ve nem verileri

Günlük sıcaklık ve nem oranı Şekil 4.8 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. Aylara göre sıcaklık_{min} ortalaması ocak ayından itibaren başlayarak Temmuz ve Ağustos ayında 24 °C – 25 °C ile pik noktaya gelmiştir. Sıcaklık_{min} ortalamasına ait en düşük değer 6.29 °C ve 7.93 °C ile sırasıyla ocak ve şubat aylarında kaydedilmiştir. Tüm günlük sıcaklık verilerine göre en düşük sıcaklık şubat ayında 0.40 °C olarak görülmüş ve deneme sırasında en düşük günlük sıcaklık 14.90 °C’nin altına düşmemiştir. Deneme süresince S_{max} , S_{ort} ve S_{min} değerleri sırasıyla 40 °C ile 30 °C, 31 °C ile 24 °C ve 25 °C ile 16 °C arasında dar bir aralıkta değişmiştir. Sıcaklık bitki gelişiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Tüm mısır

bitkisinin gelişmesinde sıcaklığın 32 °C'nin altına düşmemesi ve 32 °C'nin üzerine çıktığında ise nişasta üretimini aksatmış olup, böylece dane doldurma hızını düşürmektedir (Singletary ve ark., 1994). Başka araştırmalarda ise mısırın çiçeklenmesi için sıcaklığın üst sınırı 29 °C – 37 °C olması gerektiği bildirilmiştir (Cicchino ve ark., 2010; Sánchez ve ark., 2014). Bu denemede ortalama sıcaklık göz önünde bulundurulursa araştırmalarda optimum verimin alınması için üst sıcaklığı geçmediği ve düşmediği görülmüştür.

Nem oranı_{min} aylara göre ortalaması deneme sırasında %32 ile %44 arasında değişmiş ve günlük nem oranı_{min} olarak %10 ve nem oranı_{maks} olarak %54 bulunmuştur. Nem oranı_{maks} aylara göre ortalaması %85 ile %90 arasında bulunmuş ve günlük olarak en yüksek değeri %100 ve en düşük değeri %51 olarak kaydedilmiştir. Nem oranı ve sıcaklık yüksek olunca bitkiler transpirasyon düzeyini düşürmektedir. Buna karşılık yapılan bir çalışmada bitki biyokütle ve verimin olumsuz yönde etkilendiği buna karşın su kullanımının ise azaldığı rapor edilmiştir. (Moussa ve ark., 2019).

Çizelge 4.11. 2019 yılı iklim verileri

Ay	Yağış ortalaması	Yağış toplamı	Evapotranspirasyon	Evapotranspirasyon toplamı	Güneş radyasyonu	Rüzgar hızı	Nem _{min}	Nem _{mak}	Sıcaklık _{min}	Sıcaklık _{mak}
	mm				Mjm ⁻²	ms ⁻¹	%		°C	
1	7.7	237.4	1.58	49.1	-	1.48	48.1	90.0	6.29	14.31
2	3.5	97.8	1.90	51.3	-	1.42	42.8	92.4	7.93	17.09
3	3.0	93.0	2.82	87.5	-	1.45	41.6	90.8	9.59	19.57
4	2.1	61.4	3.38	101.4	24.0	1.36	38.6	90.9	12.08	23.06
5	0.1	2.6	5.98	185.4	23.8	1.64	29.0	84.8	18.25	31.13
6	0.5	13.8	6.36	190.9	23.6	1.63	43.2	91.0	22.47	32.84
7	0.9	28.0	6.56	196.7	24.9	1.69	44.5	89.6	24.33	33.57
8	0.0	0.0	6.82	211.4	22.1	1.58	42.1	88.5	25.50	35.06
9	0.0	0.0	5.21	156.2	19.6	1.48	32.6	86.1	22.27	33.73
10	0.7	22.8	3.77	113.0	13.9	1.40	34.3	85.8	19.35	30.78
11	0.8	22.6	2.63	78.8	10.2	1.27	28.5	78.9	13.58	25.52
12	13.4	414.0	-	-	-	1.23	54.5	94.9	9.17	16.64

*Renklendirilmiş sütunlar deneme süresince elde edilen iklim verileridir.

4.5. Model Kalibrasyonu ve Senaryo Sonuçları

4.5.1. Model Kalibrasyonu

CropSyst modelinde kullanılan katsayılar Çizelge 4.12’de verilmektedir. Bazı model katsayıları CropSyst uygulamasında daha önceden tanımlanan değerleri kullanırken, bazı katsayılar CropSyst kalibrasyon modülü ile kalibre edilmiştir. Arazi denemelerinden elde edilen değerler ise tekerrür ortalamaları alınarak kullanılmıştır. sıcaklık toplanmasının genel olarak önceki çalışmalar ile uyumlu

olduğu görülmüştür. Bellocchi ve ark. (2002) sürekli mısır denemesi üzerine kurulan araştırma sonucuna göre çıkış ısı toplanması, çiçeklenme sıcaklık toplanması, dane dolum sıcaklık toplama başlangıcı ve fizyolojik olgunlaşma sıcaklık toplanmasını sırasıyla 100, 900, 950, 1200 ve 1650 derece/gün olarak belirlemiştir. Taban ve kesme sıcaklık için Stöckle ve ark. (1990) mısır bitkisi için belirlediği katsayılar sırasıyla 6 ve 23 °C olarak seçilmiştir. Modelde su stresine fenolojik duyarlılık katsayısı tepki vermediğinden varsayılan model katsayı kullanılmıştır. Özgül yaprak alanı ve sap/yaprak ayrışma katsayısı araziden düzenli aralıklarla alınan yaprak alan indeksi ve biyokütle verileri kalibre edilerek modellenen verim ve biyokütle değerlerinin gerçek veriye yakın olması sağlanmıştır. Fizyolojik olgunlaşmada maksimum yaprak alan fraksiyonu, maksimum kök derinliği, tam gölgelikteki evapotranspirasyon bitki katsayısı, maksimum su alımı, gözeneklilik kapatmasında yaprak su potansiyeli, yaprak suyu solma potansiyeli, yaprak su potansiyelini azaltmaya başlayan gölgelik büyümesi, yaprak su potansiyelini durduran gölgelik büyümesi modelde varsayılan olarak kabul edilmiştir. Modelde kullanılan değerlere Çizelge 4.12’de yer verilmiştir.

Maksimum yaprak alanı gözlem verileri 5.0 m²m² olarak belirlenmiştir. Bazı yapılan araştırmalarda (Stockle ve ark., 1990; Bellocchi ve ark., 2002) bu rakamdan yüksek bulunmuş ancak Donatelli ve ark. (1997) aynı düzeyde bulmuştur. Yaprak kalma süresi, güneş radyasyonunun sönüm katsayısı, terleme kullanım etkinliği ve fotosentetik olarak etkin radyasyon istenen yaprak alanına ve biyokütleye kadar kalibre edilmiş, ancak modeldeki belirlenmiş katsayı sınır değerleri arasında belirlenmiştir. Yaprak kalma süresine bakıldığında varsayılan değeri üzerine genel olarak 800 derece/gün çıkmıştır. Bellocchi ve ark. (2002) CropSyst çalışmasında aynı değer kullanmış ancak Stockle ve ark. (1997) tarafından yapılan araştırmada ise yaprak kalma süre değeri 1200 derece/gün bulunmuştur. Bu çalışmada ise yaprak kalma süresi 1000 gün/derece olarak kullanılmıştır. Güneş radyasyonunun sönüm katsayısı kullanımında CropSyst kılavuzunda 0.45 olarak belirlenmiştir. Bazı çalışmalarda benzer değerler kullanılırken (Stockle ve ark., 1979; Donatelli ve ark., 1997), diğer çalışmalarda ise bu değeri Çilek ve Berberoğlu (2019) 0.6 ve Bellocchi ve ark. (2002) 0.4 olarak

kullanmıştır. Bu çalışmada ise güneş radyasyonunun sönüm katsayısı 0.5 olarak kalibre edilmiştir.

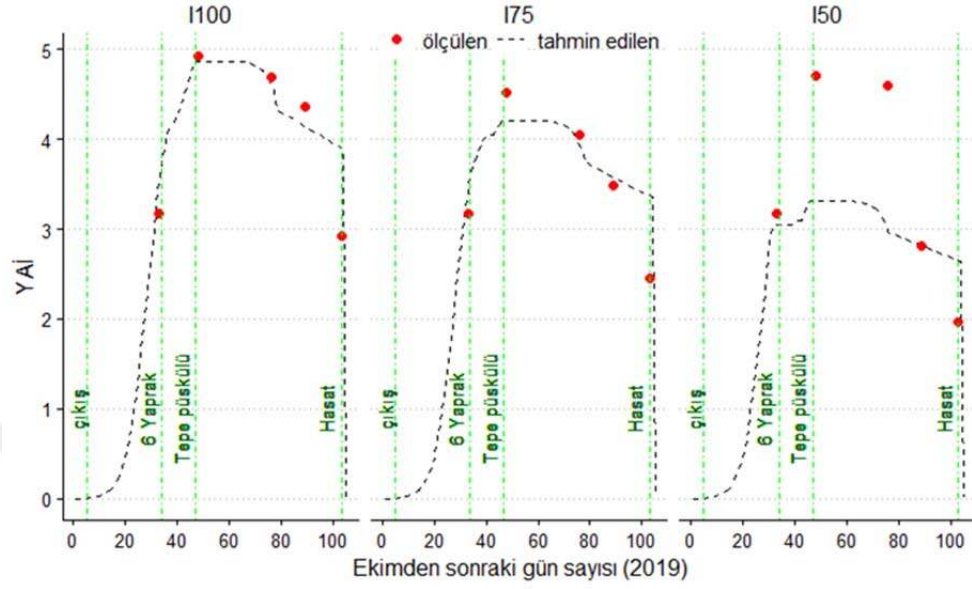
Çizelge 4.12. CropSyst modelinde kullanılan katsayılar

Parametre	Değer	Yöntem	Birim
Isıl zaman toplanması			
Çıkiş sıcak toplanması	93	G	°C gün
YAI sıcak toplanması	807	G	°C gün
Çiçeklenme sıcak toplanması	892	G	°C gün
Dane doldurma sıcaklık toplama başlangıcı	1079	G	°C gün
Fizyolojik olgunlaşma sıcaklık toplanması	1759	G	°C gün
Taban sıcaklık	6.0	R	°C
Kesme sıcaklığı	23.0	R	°C
Su stresine fenolojik duyarlılık	1.0	V	-
Morfoloji			
Özgöl yaprak alanı	24.0	K	m ² kg ⁻¹
Fizyolojik olgunlaşmada YAI _{maks} 'nın fraksiyonu	0.8	V	-
Maksimum YAI	5.0	G	m ² /m ²
Maksimum kok derinliği	1.5	V	m
Sap/yaprak ayrışma katsayısı	3.5	K	m ² kg ⁻¹
Yaprak kalma süresi	1000	K	°C gün
Güneş radyasyonunun sönüm katsayısı	0.5	K	-
Tam gölgelikteki ET bitki katsayısı	1.3	V	-
Gelişim			
Foto sentetik yol	C4	-	-
VPD 1KPa'da transpirasyon etkinliği	8.5	K	g BM/kgH ₂ O
Gelişime optimum günlük sıcaklık	18	V	°C
Fotosentetik olarak etkin radyasyon	4.5	K	g/MJ
Maksimum su alımı	14.0	V	mm/gün
Gözeneklilik kapatmasında yaprak su potansiyeli	-12000	V	-j/kg
Yaprak suyu solma potansiyel	-1800	V	-j/kg
Yaprak su potansiyelini azaltmaya başlayan gölgelik büyümesi	-800	V	j/kg
Yaprak su potansiyelini durduran gölgelik büyümesi	-1200	V	j/kg

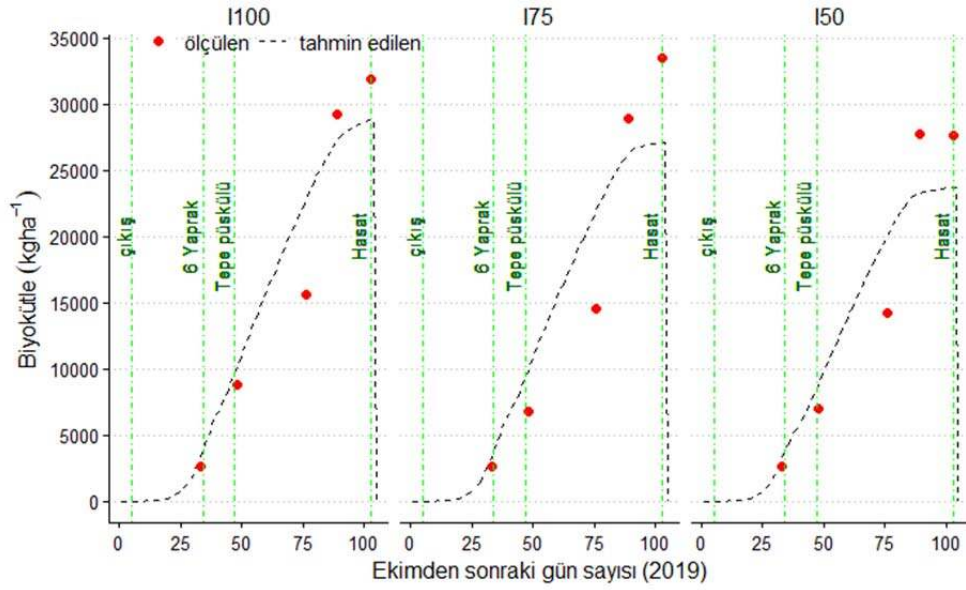
G- gözlem, R-referans, K-kalibrasyon, V-varsayılan

Model edilen yaprak alanının üzerine konulan gerçek yaprak alanı Şekil 4.9'da verilmiştir. I100 uygulamasında bir nokta dışında modellenen yaprak alanı ve ölçülen yaprak alanı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. I75 uygulaması da I100 uygulamasına benzer şekilde sonuçlar vermiştir. I75 uygulamasında özellikle tepe püsküllü döneminde modellenen yaprak alanı dışında kalan ölçülen yaprak alanları modellenen yaprak alanları ile birbirine yakın olarak belirlenmiştir. I50 uygulamasında ise tepe püsküllü dönem değeri ve bir sonraki rakamın modellenen yaprak alanına uzak olduğu görülmüştür (Şekil 4.9). CropSyst'te yapılmış kalibrasyonda I50 uygulaması ile ilgili diğer uygulamalara göre yer altı sulamada iyi bir modelleme sağlanmamıştır. I50 uygulamasında en yüksek tahmin edilen yaprak alanı $3.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olarak bulunmuştur. Buna karşın gerçek yaprak alanı ise 5'e yakın bir değer bulunmuştur. Bunun sebebi uygulanan sulama yönteminin sağladığı avantajlar nedeniyle CropSyst iyi bir tahmin yapamamıştır.

Model edilen biyokütlenin üzerine konulan gerçek biyokütle Şekil 4.10'da verilmiştir. Genel olarak sadece iki gerçek model edilen ve ölçülen biyokütle değerinin denk geldiği görülmüştür. Özellikle 6 yapraklı ve tepe püsküllü dönemlerinde bu yakınlık fark edilmiştir. Diğer örnekleme dönemlerinde ise hafif sapma görülmüştür. Tüm uygulamada hasat döneminde bu sapma en yüksek düzeye çıkmıştır. Tepe püsküllü döneminden sonra gerçek biyokütle değerleri modellenen biyokütle değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi model sonuçlarında su stresinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Ölçülen biyokütle değeri ve modellenen biyokütle değeri arasındaki hafif bir sapmanın bulunmasına karşın, CropSyst modelinin yer altı sulama yöntemi ile sulanan mısır bitkisinin biyokütlesinin yaklaşık doğrulukta başarılı bir şekilde tahmin edebileceği belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Modellenen ve ölçülen yaprak alanı indeksi grafiği



Şekil 4.10. Modellenen ve ölçülen biyokütle grafiği

4.5.2. Model Validasyonu

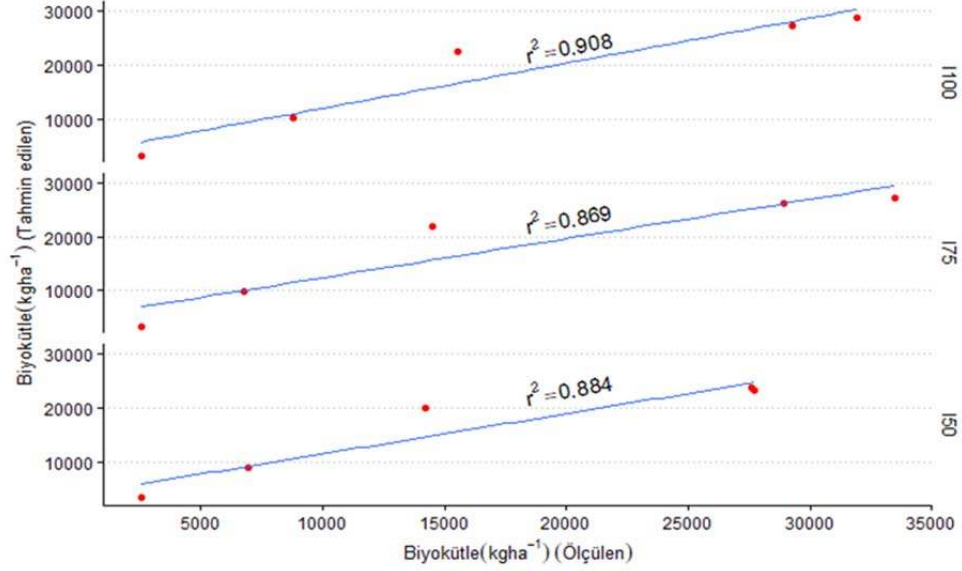
Model performansının belirlenmesi için istatistiksel analizler yapılmış ve farklı üç tip sulama rejimine göre sonuçlar Çizelge 4.13 ve Şekil 4.11’de yer verilmiştir. Biyokütle için tüm regresyon katsayısı önemli derecede bulunmuştur. I100 uygulaması en yüksek r^2 ile en uyumlu sonuçları sağlayan uygulama olmuştur. Bunu sırasıyla I50 ve I75 uygulamaları takip etmiştir. Tüm uygulamalarda r^2 değerinin 0.70’in üstünde olduğu için iyi bir uyumluluğun sağlandığı belirlenmiştir. Yapılan araştırmalara da bakıldığında gerçek ve modellenen mısır biyokütlesinde benzer şekilde yüksek r^2 değerleri bulunmuştur (Stockle ve ark., 1997; Çilek ve Berberoğlu, 2019).

Çizelge 4.13. Yer altı sulama yöntemiyle sulanan mısır bitkisinin biyokütlesinin CropSyst’in aracılığıyla modellenmesi, performansının değerlendirilmesi için kullanan istatistiksel indeksler

Uygulama	r^2	KOKH	p	sh
I100	0.91	4505.11	0.01*	13072
I75	0.87	5659.16	0.02*	13530
I50	0.88	4558.04	0.02*	11587

r^2 regresyon gerçek rakam x modellenen rakam, KOKH kare ortalama kök hatası olasılık değeri, sh- standart hatası

Kare ortalama kök hatası (KOKH) standart hatanın altında olduğunda sağlanan uyumluluk rasgele bir olay olarak sayılmamakta, standart hatadan düşük olduğu için model daha doğru olarak sayılmaktadır (Ritter ve Munoz, 2013) Çizelge 4.13’de verilen KOKH ve standart hatasına göre yer altı sulama yöntemiyle sulanan mısır bitkisinin biyokütlesi CropSyst uygulaması ile tahmin edilebilmektedir.



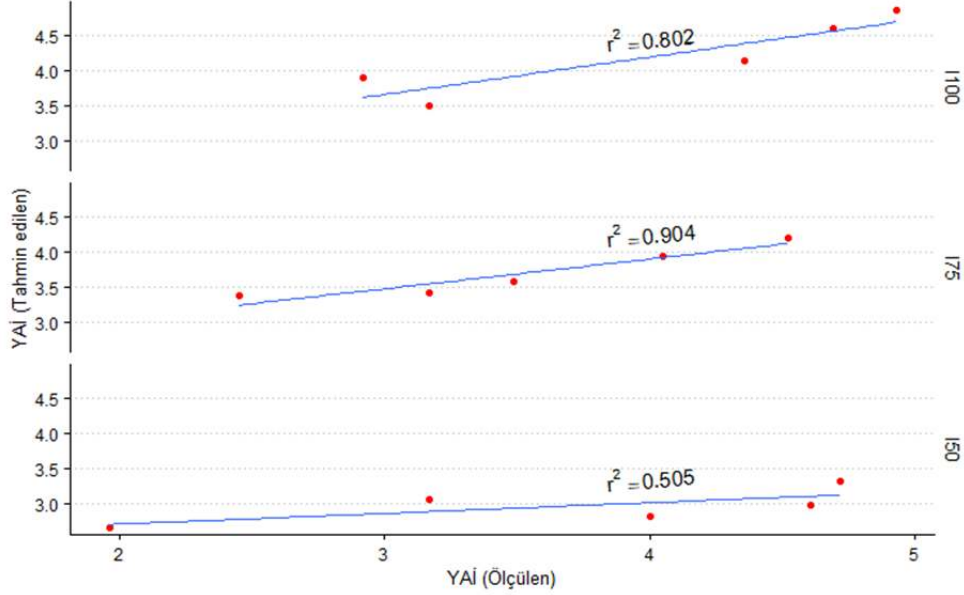
Şekil 4.11. Uygulamaya göre ölçülen ve tahmin edilen biyokütle grafiği

Biyokütle dışında model validasyonu için kullanılan bitki unsuru yaprak alan indeksidir. Belirlenen istatistiksel aşamadan geçirildikten sonra istatistiksel yöntemlere göre yüksek veya düşük çıkınca model performansının belirlenmesi için iyi bir göstergedir. Bu nedenle bu model performansının belirlenmesi için genel olarak I50 uygulaması dışında r^2 genel olarak kabul edilen değerlerin (0.70) üzerinde olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14 ve Şekil 4.12). I50 uygulaması yaprak alanı indeksi ile ilgili model validasyonunda en düşük uyumluluğu sağlayan bir uygulama olmuştur.

Çizelge 4.14. Yer altı sulama yöntemiyle sulanan mısır bitkisinin yaprak alan indeksinin CropSyst'ın aracılığıyla modellenmesi, performansının değerlendirilmesi için kullanan istatistiksel indeksler

Uygulama	r^2	KOKH	p	sh
I100	0.80	0.47	0.04*	0.91
I75	0.90	0.28	0.01*	0.80
I50	0.51	0.93	0.18 ^{ns}	1.15

r^2 regresyon gerçek rakam x modellen rakam, KOKH kare ortalama kök hatası olasılık değeri, sh- standart hatası ns: önemli değildir.



Şekil 4.12. Uygulamaya göre yaprak alan indeksinin r^2 'sini gösteren bir grafik

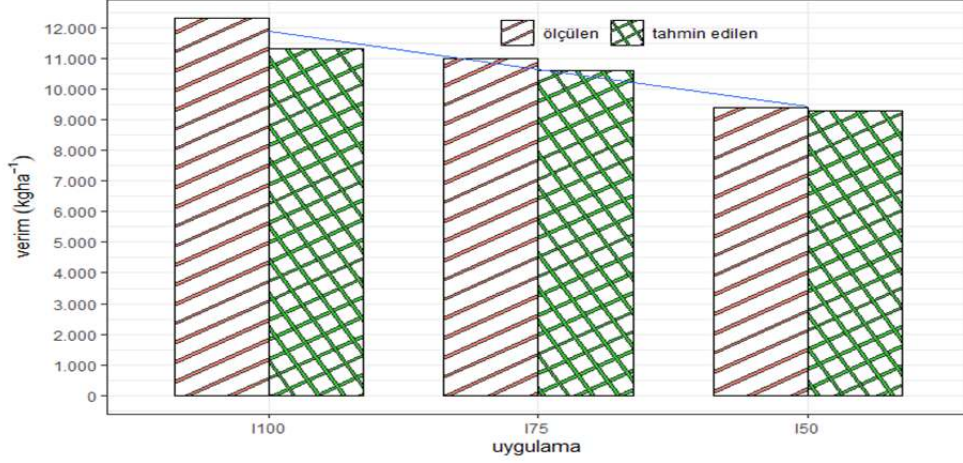
CropSyst'in I50 uygulamasını düşük r^2 ile tahmin etmesi uygulanan sulama sisteminin sağladığı tasarruf sebep olabilmektedir, çünkü başka bir CropSyst çalışmasında farklı bir sulama yöntemi ve kısıtlı sulama kullanıldığında yaprak alanı indeksi yüksek r^2 ile tespit edilmiştir. Çilek ve Berberoğlu (2019) CropSyst çalışmaları tam sulamanın % 40'ını bir CropSyst modellemesi yapmışlardır. Çalışmada regresyon analizi yapılmamasına karşın genel olarak ölçülen ve tahmin edilen noktaların arasında çok iyi bir yakınlık bulunmuştur. Model kalibrasyon aşamasında I100 uygulaması veri olarak kullanılmasına karşın I75 uygulaması en yüksek r^2 değerini elde etmiştir. CropSyst I50 uygulamasında düşük bir r^2 'nin olmasına karşın standart hatası KOKH üstüne bulunduğu için kabul edilebilmektedir. Diğer uygulamalara kıyasla en yüksek KOKH I50 uygulamasında elde edilmiştir. I50 uygulamasının yüksek KOKH olması ölçülen ve modellenen arasındaki hatanın yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu da yapılan kalibrasyonda yer altı sulaması için I100 ve I75 uygulamaları dışında bitki

yaprak alanı indeksinin tahmin edilebilmesinin yüksek bir hata ile yapılabilceği anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.15. Ölçülen ve modellenen verim arasındaki farklılığı gösteren bir tablo

Uygulama	Ölçülen	Modellenen	%fark
I100	12322	11311	-8.21
I75	10995	10628	-3.33
I50	9414	9310	-1.11

Kalibrasyon ve validasyon yapıldıktan sonra modellenen verim ve ölçülen verim arasındaki farklılıklar belirlenmiş ve Çizelge 4.15 ve Şekil 4.13’de verilmiştir. Genel olarak hem ölçülen hem de modellenen verim aynı eğriyi göstermektedir. I100 uygulamasından başlayarak hafif bir şekilde azalırken, ölçülen veriyi takip etmektedir. Ancak ölçülenin farklılığından modellenen değer daha düşük bulmuştur. Ölçülen verimler incelendiğinde I100 ve I75 uygulamaları arasındaki fark 1327 kg/ha, I100 ve I50 için 2908 kg/ha ve I75 ve I50 için 1581 kg/ha olmuştur. Modellenen ise sırasıyla 683 kg/ha, 2001 kg/ha ve 1318 kg/ha olmuştur. Verim açısından ölçülen ve modellenen arasında farklılığa bakınca CropSyst genel olarak ölçülen verim değerlerinin altında tahmin etmiştir. CropSyst %-8.21 ile en fazla farkla tahmin ettiği uygulama I100 olarak belirlenmiştir. En yakın tahmin ettiği uygulama %-1.11 fark ile I50 olarak tespit edilmiştir. Ancak değerler incelendiğinde ölçülen ile CropSyst’in tahmin ettiği arasında çok ciddi bir farklılık olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.13. Uygulamaya göre ölçülen ve modellenen verim arasındaki farklılık

4.5.3. Senaryo Oluşturulması

Modelin kalibrasyon ve validasyon aşaması tamamlandıktan sonra farklı senaryolar oluşturulmuştur. İlk senaryoda mısır ekim tarihi değiştirilerek sonuçların verim üzerinde etkili olup olmadığına bakılmıştır. Model sonuçları Şekil 4.14 ve Çizelge 4.16'da yer verilmiştir. Genel olarak CropSyst model sonucuna bakıldığında ekim tarihi değişince verim etkilenmiştir. I100 uygulamasından başlayarak 06.07.2019 tarihinde yapılan ekime bakıldığında diğer tarih veriminden düşük bulunmuştur. Bu tarihte model edilen verim 11311 kg/ha olarak bulunurken, bir ay önce yapılan tahmin 12237 kg/ha olarak bulunmuş olup, %11 civarında bir artış göstermiştir. Ekim tarihi 8 hafta daha önce olsaydı, verimin %15 civarında bir artış ile 13341 kg/ha olacağı tahmin edilmiştir. CropSyst uygulaması ile yapılan modelleme sonucuna göre I100 uygulaması en uygun ekim tarihi 11.05.2019 olarak belirlenmiştir. Bunun modellenen verim artışı %16 olarak hesaplanmıştır. Bu tarihten sonra I100 uygulaması ekim tarihinde düşüş başladığı görülmüştür.

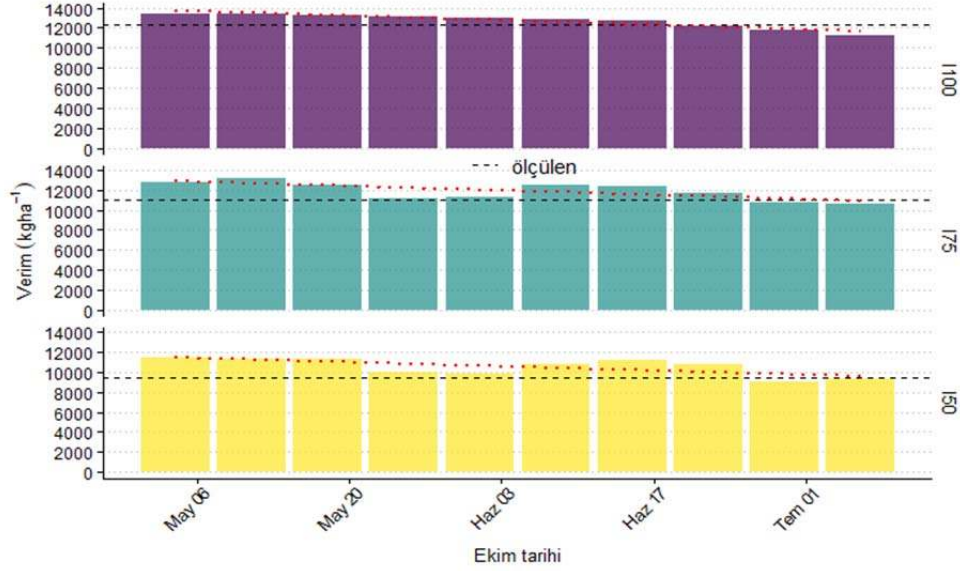
I75 ve I50 uygulamaları incelendiğinde I100 uygulamasından farklı bir yol izlediği görülmüştür. I75 uygulamasında ekim işlemi gerçek ekim tarihinden daha önce yapılırdı, verimlerin daha yüksek olarak tahmin edildiği görülmüştür (Çizelge 4.16). Gerçek ekim tarihinden 8 hafta önce ekim yapılırdı I75

uygulamasında en yüksek verim elde edilmiş olacaktı. 8 hafta önce ekimin yapıldığı takdirde verimin %15’lik bir artış ile 13158 kg/ha olarak tahmin edildiği görülmüştür. I50 uygulamasında sadece ekim tarihinden 1 hafta önce ekim yapılsaydı, verimde bir azalışın yaşanacağı tahmin edilmiştir. Bu tarih dışında daha önceki ekimlerde ise verimlerde artışların olduğu görülmüştür. Gerçek ekimden 9 hafta önce 4.05.2019 tarihinde ekim yapılsaydı, %19’luk bir verim artışı ile 11502 kg/ha verim alınacaktı. Bu sebeple 4.05.2019 tarihi I50 uygulaması için en uygun ekim tarihi olarak belirlenmiştir.

Ekim tarihinin değiştirilmesinde en etkili sonuçlar veren uygulamalar I50 ve I75 uygulamalarıdır. Bunun sebebi günlük sıcaklığın en yüksek olarak gerçek ekim tarihi civarında bulunduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tarihten geriye doğru gidildikçe düşük günlük sıcaklık sebebiyle evapotranspirasyonun azaldığı görülmüştür. Genel olarak su uygulama düzeyine göre ekim tarihi değiştirildiğinde verim artışı görülmüştür. Ölçülen verim ve tüm modellenen verime bakıldığında genel olarak I100 uygulamasında 4 haftadan sonra ölçülen ve modellenen verimler hemen hemen herhangi bir farklılık görülmemiş iken I75 ve I50 uygulamasında belirgin bir farklılık görülmüştür. Bu sonuçlara güneş radyasyonu yüksek olmayan aylarda kısıtlı sulama ile mısır üretimi uygun görülmüş, yapılan tahmine göre mayıs ayında tüm uygulama verimi birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. Ekim tarihine göre yapılan modelleme sonuçları

Uygulama	Ekim tarihi	Biyokütle (kg ha ⁻¹)	Verim (kg ha ⁻¹)
I100	6.07.2019	28840	11311
	29.06.2019	30060	11789
	22.06.2019	31202	12237
	15.06.2019	32328	12679
	8.06.2019	32748	12844
	1.06.2019	33097	12981
	25.05.2019	33519	13146
	18.05.2019	34140	13341
	11.05.2019	34345	13470
	4.05.2019	34110	13378
I75	6.07.2019	27099	10628
	29.06.2019	27294	10705
	22.06.2019	29906	11729
	15.06.2019	31645	12411
	8.06.2019	31787	12467
	1.06.2019	28928	11346
	25.05.2019	28577	11208
	18.05.2019	31865	12497
	11.05.2019	33549	13158
	4.05.2019	32724	12834
I50	6.07.2019	23737	9310
	29.06.2019	22973	9010
	22.06.2019	27465	10772
	15.06.2019	28490	11174
	8.06.2019	27488	10781
	1.06.2019	25150	9864
	25.05.2019	25569	10028
	18.05.2019	28871	11323
	11.05.2019	28914	11340
	4.05.2019	29326	11502



Şekil 4.14. Ekim tarihine göre yapılan modelleme sonuçları

Tüm deneme boyunca aynı sıcaklık düzeyinde mısır bitkisinin tahmin edilen verim değerleri Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Çizelge 4.17 ve 4.18’de yer verilmiştir. Genel olarak düşük sıcaklıkta tüm uygulamada hafif bir verim düşüşü görülmüş, aşırı sıcaklıkta ise I100 uygulaması dışında düşük sıcaklığa göre daha düşük bir verim düşüşü kayıt edilmiştir. I100 uygulaması, tüm senaryo boyunca modellenen verim ölçülen verimin altında bulunmuş, ancak regresyon çizgisine bakıldığında genel olarak sıcaklık arttıkça verimin arttığı görülmüştür.

I100 uygulamasında sıcaklık 23 °C’de iken modellenen verim 9852 kg/ha olarak tahmin edilmiştir. Sıcaklık kademeli olarak arttırılınca veriminde artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.17). Sıcaklık 23 °C’den sırasıyla 25 °C, 28 °C, 31 °C, 34 °C, 37 °C ve 40 °C’ye kadar arttırıldığında, verim de sırasıyla %5 artış ile 10374 kg/ha, %11 artış ile 11068 kg/ha, %13 artış ile 11429 kg/ha, %14 artış ile 11480 kg/ha, %12 artış ile 11147 kg/ha ve %7 artış ile 10625 kg/ha’a kadar artmıştır. I100 uygulamasında sıcaklık ile ilgili yapılan tahmine göre bitki dönemine bakılmaksızın en uygun sıcaklık 31 °C ve 34 °C arası olduğu bulunmuştur. I100 uygulaması için en yüksek verim ise 33 °C’de görülmüştür.

Çizelge 4.17. Farklı sıcaklık rejiminde modelleme sonucu tablosu (1)

Sıcaklık °C	Uygulama	Biyokütle	Verim	Biyokütle	Verim
		Kg/ha			
		Tüm deneme boyunca		Tepe püskülü döneminde	
23	I100	25119	9852	-	-
23	I75	25115	9850	-	-
23	I50	24964	9791	-	-
24	I100	25796	10117	-	-
24	I75	25767	10106	-	-
24	I50	25459	9985	-	-
25	I100	26542	10374	28412	11143
25	I75	26380	10346	26507	10396
25	I50	25833	10132	22855	8964
26	I100	27087	10623	28510	11182
26	I75	26901	10551	26610	10436
26	I50	25941	10174	22957	9004
27	I100	27694	10862	28606	11219
27	I75	27329	10718	26704	10473
27	I50	25745	10097	23060	9044
28	I100	28220	11068	28674	11246
28	I75	27608	10828	26796	10509
28	I50	25578	10032	23150	9079
29	I100	28643	11234	28714	11262
29	I75	27742	10880	26858	10534
29	I50	25195	9881	23234	9112
30	I100	28938	11349	28724	11266
30	I75	27666	10851	26894	10548
30	I50	24327	9541	23313	9143
31	I100	29140	11429	28724	11266
31	I75	27391	10743	26903	10551
31	I50	23791	9331	23337	9162
32	I100	29274	11481	28724	11266
32	I75	26997	10588	26903	10551
32	I50	22955	9019	23386	9172

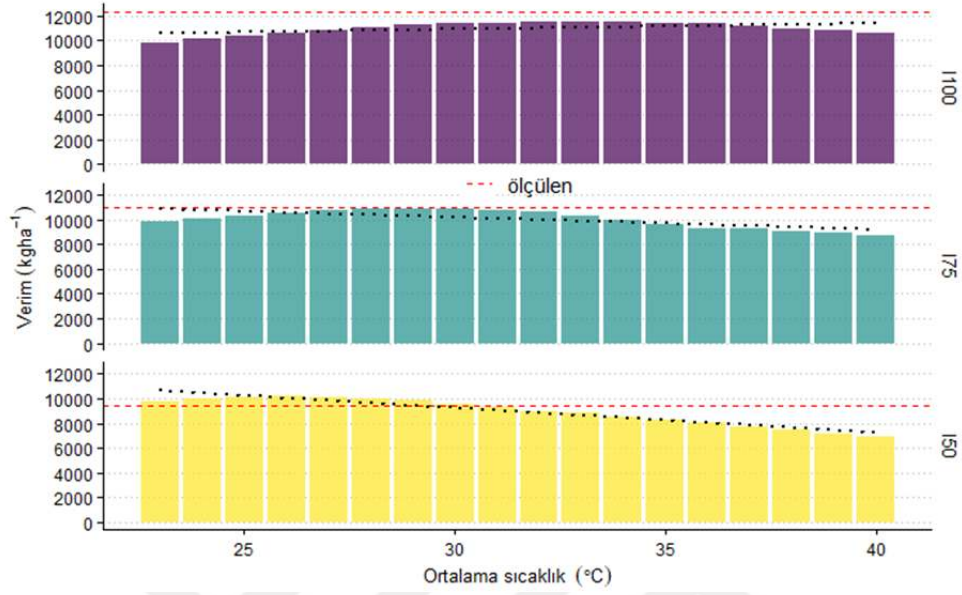
Çizelge 4.18. Farklı sıcaklık rejiminde modelleme sonucu tablosu (2)

Sıcaklık °C	Uygulama	Biyokütle	Verim	Biyokütle	Verim
		Tüm deneme boyunca		Tepe püskülü döneminde	
33	I100	29317	11498	28724	11266
33	I75	26143	10253	26903	10551
33	I50	22572	8853	23380	9170
34	I100	29271	11480	28724	11266
34	I75	25382	9955	26903	10551
34	I50	21794	8548	23367	9165
35	I100	29156	11435	28724	11266
35	I75	24561	9633	26903	10551
35	I50	21093	8273	23344	9155
36	I100	28966	11361	28724	11266
36	I75	23763	9322	26903	10551
36	I50	20553	8061	23314	9144
37	I100	28421	11147	28724	11266
37	I75	23623	9265	26903	10551
37	I50	19812	7770	23280	9130
38	I100	28005	10983	28724	11266
38	I75	23059	9044	26903	10551
38	I50	19029	7463	23228	9110
39	I100	27574	10815	28724	11266
39	I75	22818	8949	26903	10551
39	I50	18310	7181	22884	8975
40	I100	27090	10625	28724	11266
40	I75	22153	8688	26903	10551
40	I50	17603	6904	22819	8949

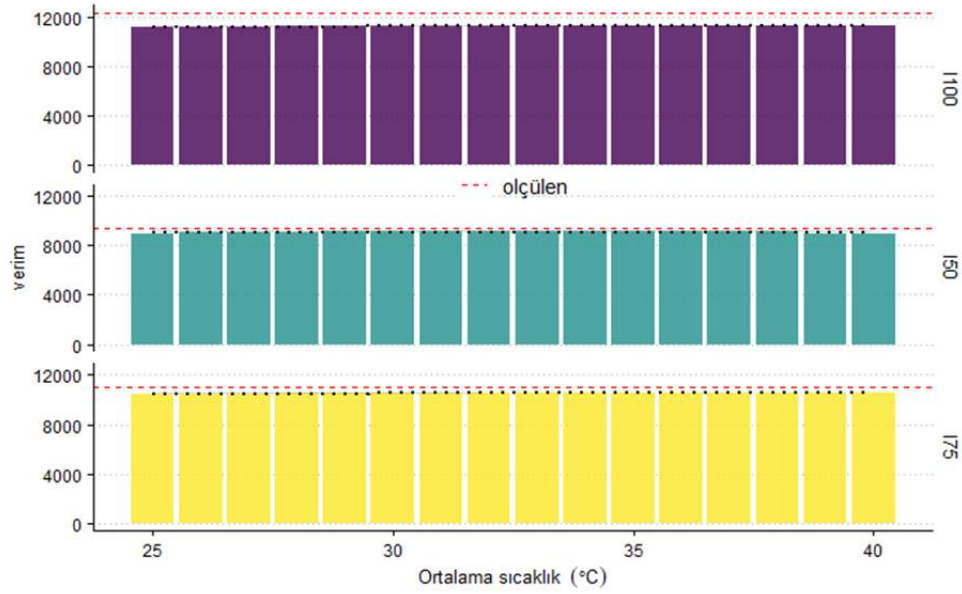
I75 uygulamasında tüm dememe boyunca en düşük günlük sıcaklık ortalamasında tahmin edilen verim esas alınarak diğer sıcaklıkta tahmin edilen verim ile kıyaslanmıştır. En düşük sıcaklık 23 °C kullanılarak bu sıcaklıkta verim 9850 kg/ha olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.17). Diğer sıcaklık ise 28 °C, 31 °C, 34 °C, 37 °C ve 40 °C de sırasıyla verimleri 10828 kg/ha, 10743 kg/ha, 9955 kg/ha, 9265 kg/ha, 8688 kg/ha ve onların verim artışı %5, % 9, %8, %10 ve düşüşü %-6

ve %-13 olarak hesaplanmıştır. Bu farklı sıcaklıkta en iyi verim 28 °C ve 31 °C sıcaklıkta olup, maksimum verim 29 °C’de bulunmuştur. I100 ve I75 uygulamalarındaki kullanılan sıcaklık tabanı esas alınarak I50 uygulamasında da sıcaklığa bağlı verim değişimleri tahmin edilmiştir. I50 uygulamasında en düşük sıcaklıkta 9791 kg/ha olarak tahmin edilmiştir. Bu sıcaklıktaki verim diğer sıcaklıklar ile kıyaslandığında, 28 °C, 31 °C, 34 °C, 37 °C ve 40 °C de sırasıyla verim 10132 kg/ha, 10032 kg/ha, 9331 kg/ha, 8548 kg/ha, 7770 kg/ha ve 6904 kg/ha bulunmuştur. Verimdeki artış veya düşüş ise sırasıyla %3, %2, %-4, %-16, %-26 ve %-42 olarak hesaplanmıştır. I50 uygulamasında verim için en iyi sıcaklık 25 °C ve 28 °C arası bulunmuşken, en yüksek verim 27 °C’de elde edilmiştir.

Tepe püskülü dönemi ile ilgili yapılan tahmin sonuçları Çizelge 4.17 ve Şekil 4.16’da yer verilmiştir. Tepe püskülü dönemi, verime bakış açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu dönemde aşırı sıcaklık, yağış gibi dışsal etkiler verimi olumsuz bir yönde etkilemektedir. Bu dönemde verimi etkileyen faktörlerden biri ise sıcaklıktır. Bunun için bu dönemde sıcaklık değişikliğinin verim üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla sıcaklık aynı düzeyde tutulmuş, kademeli olarak 1°C arttırılarak bu dönemdeki en düşük sıcaklık 40 °C sıcaklığa kadar çıkartılmıştır. Tüm deneme boyunca aynı sıcaklık düzeyinde tutulan bitkinin verimine bakıldığında çok hafif verim bir düşüş tahmin edilmiştir (Çizelge 4.17). I100 uygulamasının tahmin sonuçlarına göre ya arazideki ölçülen ya da en düşük sıcaklıkta CropSyst aracılığıyla ilk tahmin edilen verim arasında önemli miktarda fark görülmemiştir. Ancak tüm bu dönem boyunca modellenen verimin gerçek ölçülen verimin altında olduğu tespit edilmiştir. I75 ve I50 uygulamalarında bu konuda farklılık bulunmamış olup, ölçülen verime göre tahmin edilen verimin daha yakın olduğu belirlenmiştir. Tüm tepe püsküllü dönemde farklı bir sıcaklık düzeyinde yapılan senaryo çalışmasına karşı olarak Lizaso ve ark. (2018) yaptıkları araştırmada yüksek sıcaklıkta mısır bitkisi üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmacılar arazide 42.9 °C ve serada 52.5 °C sıcaklıkta tutulan mısır bitkisinin sıcaklık, tepe püskülü çıkmasını geciktirmediğini belirtmiştir. Isıl stresi atında mısır bitki verim kaybının nedeni olarak dane sayısını etkileyen çiçektozu canlılığından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.



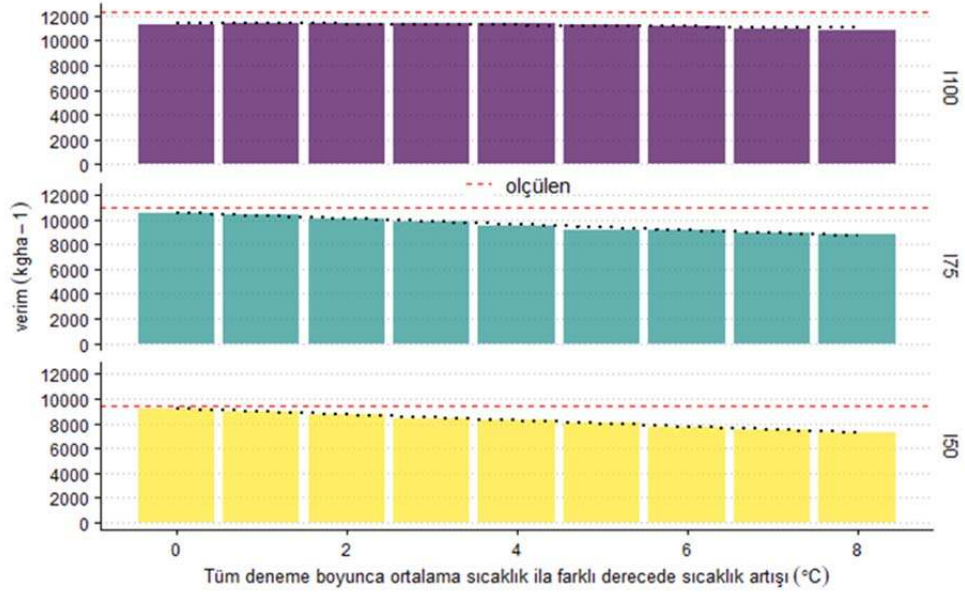
Şekil 4.15. Deneme boyunca aynı düzeyde tutulan sıcaklık seviyesindeki verimler



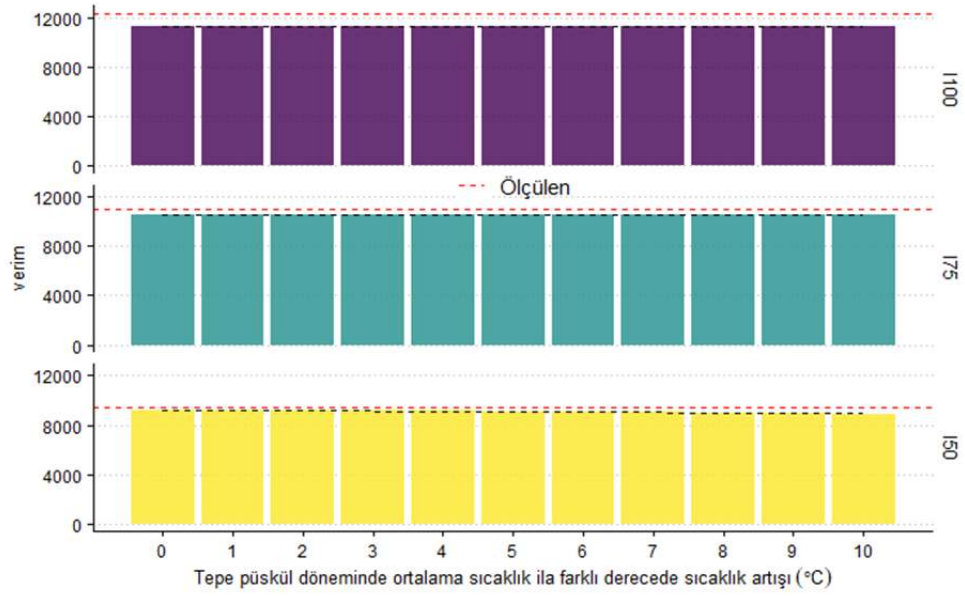
Şekil 4.16. Tepe püskülü döneminde aynı düzeyde tutulan sıcaklık seviyesindeki verimler

Çizelge 4.18. Deneme süresince en düşük sıcaklığın kademeli olarak 1 °C arttırılması sonucu verim değişimleri

Denemede süresince günlük ortalama sıcaklık +	Uygulama	Biyokütle	Verim	Biyokütle	Verim
		Tüm dönemde		Tepe püskülü	
0	I100	28724	11266	28724	11266
	I75	26897	10549	26898	10549
	I50	23353	9159	23353	9159
1	I100	28941	11351	28724	11266
	I75	26591	10429	26903	10551
	I50	22889	8977	23367	9164
2	I100	29047	11392	28724	11266
	I75	25786	10113	26903	10551
	I50	22252	8727	23362	9163
3	I100	29057	11396	28724	11266
	I75	25053	9826	26903	10551
	I50	21495	8430	23342	9155
4	I100	28981	11366	28724	11266
	I75	24249	9510	26903	10551
	I50	21141	8292	23318	9145
5	I100	28837	11310	28724	11266
	I75	23436	9191	26903	10551
	I50	20445	8019	23287	9133
6	I100	28603	11218	28724	11266
	I75	23235	9113	26903	10551
	I50	19740	7742	23247	9117
7	I100	28000	10982	28724	11266
	I75	22729	8914	26903	10551
	I50	19068	7479	23192	9096
8	I100	27633	10838	28724	11266
	I75	22533	8838	26903	10551
	I50	18438	7231	22846	8960
9	I100	-	-	28724	11266
	I75	-	-	26903	10551
	I50	-	-	22784	8936
10	I100	-	-	28724	11266
	I75	-	-	26903	10551
	I50	-	-	22686	8897



Şekil 4.17. Deneme süresince en düşük sıcaklığın kademeli olarak 1 °C arttırılması sonucu verim değişimleri



Şekil 4.18. Tepe püskül döneminde en düşük sıcaklığın kademeli olarak 1 °C arttırılması sonucu verim değişimleri

Denemede süresince günlük ortalama sıcaklık kademeli olarak 1 °C sıcaklık artırılması, CropSyst ile modelleme sonuçları Çizelge 4.18, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de yer verilmektedir. Çizelge 4.18 ve Şekil 4.17 incelendiğinde I100 uygulaması dışında diğer uygulamalarda keskin bir verim düşüşü olup, I75 ve I50 uygulamalarında sırasıyla verim azalması görülmüştür. Uygulamaya göre bakılırsa I100 uygulamasında tüm deneme boyunca en düşük ortalama sıcaklık 2 °C, 5 °C ve 8 °C ile artırıldığında sırasıyla verim %1 artış ile 11392 kg/ha, %0.3 artış ile 1310 kg/ha ve %3 azalış ile 10838 kg/ha olarak tahmin edilmiştir. Sıcaklık 1 °C ve 5 °C arasında olduğunda verim artışı olup, bundan sonraki sıcaklık artışlarında verim düşüşüne başlandığı görülmüştür.

I75 uygulamasında tüm deneme boyunca en düşük ortalama sıcaklık I100 uygulamasında olduğu gibi artırıldığında sırasıyla verim %4 azalış ile 10113 kg/ha, %4 azalış ile 9191 kg/ha ve %12 azalış ile 9191 kg/ha olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.18). Tüm deneme boyunca herhangi bir verim artışı tahmin edilmemiştir. Tüm deneme boyunca aynı sıcaklık düzeyinde tutulan mısır bitkisinin tahmin sonuçlarına bakıldığında, tüm deneme boyunca ortalama sıcaklığın kademeli olarak 28 °C ve 30 °C arasına düşürüldüğünde verimde artışların olabileceği söylenebilmektedir.

I50 uygulamasında tüm deneme boyunca en düşük ortalama sıcaklık I100 ve I75 uygulamalarında olduğu gibi artırıldığında sırasıyla verim %5 azalış ile 8727 kg/ha, %12 azalış ile 8019 kg/ha ve %27 azalış ile 7231 kg/ha olarak tahmin edilmiştir. Bu uygulamada tıpkı I75 uygulamasında olduğu gibi herhangi bir verim artışı görülmemiştir. Tüm deneme boyunca aynı düzeyde tutulan sıcaklık ile ilgili CropSyst'te yapılan tahmine göre kademeli olarak sıcaklık 23 °C ve 25 °C arasına düşürüldüğünde verimde artışların olabileceği söylenebilmektedir.

Tepe püskülü döneminde CropSyst aracılığıyla kademeli olarak en düşük sıcaklığın artırılması sonucu tahmin edilen verimler Çizelge 4.18 ve Şekil 4.18'de yer verilmiştir. Tepe püskülü döneminin ortalama sıcaklığı kademeli olarak 1 °C artırıldığında tüm senaryo boyunca ya çok hafif bir verim düşüşü olmuş ya da

hiçbir verim değişikliği görülmemiştir. Tıpkı tüm tepe püskülü dönemi boyunca aynı sıcaklık düzeyinde tutulan mısır bitkisi CropSyst aracılığıyla modellenen verim üzerindeki etkisi görülmemiştir.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya ölçeğinde artan nüfusa bağlı olarak tarım ürünlerine karşı talep de artmakta ve bu da toprak, su ve diğer doğal kaynaklar üzerinde baskıyı arttırması sebebiyle tarımsal kararların verilmesinde sistemli yaklaşımların ortaya konulması konusunda önem arz etmektedir. Eskiden oturmuş geleneksel tarımsal araştırma yöntemleri günümüzde artan ihtiyaçları karşılamada yeterli gelmemektedir. Geleneksel agronomik denemelerde, değişen her faktörün incelenmesi hem pahalı hem de zaman ve ağır fiziksel işlemler ve süreçler gerektirmektedir. Eğer veriler sistemli şekilde biçimlendirilirse (meteorolojik, toprak, bitki ve amenajman uygulamaları), günümüzde bilgisayar teknolojileri ile çeşitli simülasyonlar yapılarak, potansiyel verimlilik için doğruluğu yüksek tahminler yapılabilmektedir. Kuramsal temele oturturulan simülasyon modelleri, bloklar prensibi, bütçe ve dinamiklik ilkeleri ile temel bilimlere dayalı deterministik bir model, giderek artan şekilde çiftçiler ve araştırmacılar tarafından kabul görmektedir. Birçok çeşidin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için benzetim modelleri maliyeti düşürücü yönde etken araçlar olarak dikkati çekmektedir. Bitki büyüme modelleri, meteorolojik, toprak koşulları ile bitki fizyolojisine ve amenajmanlara ilişkin dinamik olayları matematiksel ilişkilerden yararlanarak tahmin yapan araçlardır. Çeşitli varyasyonların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan modeller, belirli sınırlar içerisinde çalışmakta ve belirli varsayımlara dayanmaktadır. Bitki büyüme modeli bitkinin hasatta biyokütle ya da dane verimini tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda tüm organlarının (yaprak, sap, kök, dane) gelişimini de tahmin etmektedir.

Gıda güvenliğinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında tarımda kullanılan su kaynaklarının büyük bir önemi vardır. Günümüzde karşılaşılan su kıtlığı gibi problemler iklim değişiminin hissedildiği bu zamanlarda şiddetini arttırabilmekte veya azaltabilmektedir. Bu etkilerin derecesinin bilinmesi gıda güvenliğinin sürdürülebilir bir şekilde korunmasında yardımcı olacaktır. Bu kapsamda gelişen

bilgisayar teknolojisi ile modellerin kullanılması bu etkilerin bilinmesini doğruya yakın bir şekilde tahmin edebilmektedir. Bu düşünce ile suyun bitki gelişimini sınırlayan en önemli faktör olduğunu göz önünde bulundurarak, kısıtlı sulama ve verim ilişkilerinin araştırılması ve model yardımı ile senaryolar üretilmesi bu açıdan önem arz etmektedir. Bu kapsamda Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde Menzilat serisi ile Arık serisi arasında bir geçiş bölgesinde yeraltı damlama sulama sistemi kurulmuştur. Deneme alanında sulama borusu 5 sulama hattı üzerinde 35 cm toprak derinliğine gömülmüştür. Bu sulama hattına göre sulama düzeyi seçilmiş, ilk ve son sulama hattı deneme dışı bırakılmıştır. Arada kalan sulama hatları ise I100 (tam sulama), I75 (tam sulamanın %75'i) ve I50 (tam sulamanın %50'si) olmak üzere üç sulama uygulamasına tahsis edilmiştir.

Deneme süresince ve sonrasında toprak ve bitkide çeşitli ölçümler ve analizler yapılmıştır. Bunlar arasında farklı tarihlerde yapılan örneklemede bitki biyokütle ve yaprak alan indeksi üzerinde sulama uygulamalarının etkisi bulunmamıştır. Denemede mısır bitkisi hasat edildikten sonra yapılan biyokütle örneklemede en düşük biyokütle en az suyun kullanıldığı I50 uygulamasında görülmüştür. Sulama uygulamalarının sadece tepe püskülü döneminde yapılan örneklemede yaprak alan indeksi üzerinde önemli etkileri bulunmuş ve I100 uygulaması ön plana çıkmıştır. Bitki uzunluğunda uygulama başlamadan önce yapılan örnekleme dışında uygulamalar arasında fark bulunmuştur. Genel olarak en düşük bitki uzunluğu tam sulamanın yapıldığı I100 uygulamasında bulunmuştur. Verim analizinde daneli çap, danesiz çap, koçan uzunluğu, dane sayıları ve verimde önemli derecede fark bulunmuştur. Genel olarak verim unsurlarından koçan uzunluğu ve genişliği, daneli ve danesiz çap, dane sayısı ve verimde tam sulamanın yapıldığı I100 ile tam sulamanın %75'inin uygulandığı kısıtlı sulama uygulamalarından biri olan I75 uygulamaları arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık olmamakla birlikte en yüksek değerler bu iki uygulamada elde edilmiştir. Bu sonuç da tam sulamaya kıyasla daha az yapılan sulama ile su

kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından oldukça önemlidir.

CropSyst'te bulunan mısır modülünde mısır bitkisine ait veriler ve deneme alanına yakın bulunan iklim istasyonundan alınan veriler kullanılarak kalibre edilmiş, kalibrasyon sonucuna göre ölçülen veri ile validasyon sağlanmıştır. Validasyon sonucuna göre CropSyst'in mısır biyokütlesinde tüm uygulamalara ait r^2 değeri 0.70'den daha yüksek olarak iyi bir tahmin sağlayabileceği görülmüştür. I100 ve I75 uygulamalarında yaprak alanı indeksine ait r^2 değerlerinin 0.70'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna karşın I50 uygulamasında ise r^2 değeri 0.70'den daha düşük değerler elde etmiştir. Bu sebeple yaprak alan indeksinin tahmininde I100 ve I75 uygulamaları altında CropSyst ile iyi bir şekilde tahmin edilebileceği görülmüştür. Ölçülen verim ve modellenen verim kıyasladığında en yakın tahmin I50 uygulamasında bulunmuştur. I100, I75 ve I50 uygulamalarında ölçülen verimler sırasıyla %-8.21, %-3.33 ve %-1.11 farkla CropSyst uygulamasında modellenen verim tahmin edilmiştir.

Simülasyon çalışmaları incelendiğinde denemede elde edilen sonuçlarla modelin tahmin ettiği verim parametreleri uyumlu bulunmuştur. Ancak model bazı durumlarda çeşitli parametrelerin sınırlar ölçüsünde değişmesine duyarlı olmamıştır. Sonuç olarak, modelin bölgede kullanılabilirliğini artırmak için, iklim ve toprak verilerinin çok hassas belirlenmesi ve aynı zamanda verim unsurlarını tahmin eden ilişkilerin yöreye modelin yazılımında uygun olarak düzeltilmesi gerektiği de anlaşılmıştır. CropSyst modelinin kalibrasyonunu ve yöreye uygun düzeltilmesi yapıldıktan sonra gözlenen değerlere yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bunları ilgili parametrelere göre yapılan simülasyonlarla incelersek, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kalibrasyon ve validasyon yapıldıktan sonra farklı senaryolar kurulmuştur. Gerçek ekim tarihinden daha önce ekim yapıldı daha yüksek verim elde edebilirdi. Bu durum özellikle kısıtlı sulama uygulamaları olan I75 ve I50 uygulamalarında daha belirgin olarak görülmüştür. Yeraltı sulama sistemiyle

yapılan mısır yetiştiriciliğinde çalışma sonucuna göre mayıs ayının sonunda en geç ekilmesi gerektiğini tavsiye etmektedir. Sıcaklık senaryosunda ise iki farklı yöntem denenmiştir. Bunlardan ilki deneme süresince aynı sıcaklık altında tutulan mısır bitkisinin verimini I100, I75 ve I50 uygulamalarında belirli bir seviyeye kadar yükseltmiştir. I100, I75 ve I50 uygulamalarında sırasıyla 32-35 °C, 26-30 °C, ve 23-25 °C sıcaklık düzeylerinde en yüksek verim elde edildiği görülmüştür. İkinci sıcaklık yönteminde ise günlük en düşük sıcaklık kademeli olarak 1 °C artırıldığında I100 uygulamasının verimi aynı düzeyde kalırken, I75 ve I50 uygulamaları sıcaklık arttıkça verimin düştüğü CropSyst ile tahmin edilmiştir. Tepe püskülü döneminde iki sıcaklık yöntemi uygulandığında verimde herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Ancak çalışmalarda sıcaklık tepe püskülü döneminde dölleme için belirli bir seviyeden sonra düşerse veya artarsa verimin olumsuz bir şekilde etkilendiği bilinmektedir. Mısır bitkisi yoğunluğu ile ilgili bir senaryo kurulmaya çalışıldığında 1 m²'deki bitki yoğunluğu değiştirildiğinde herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Ancak farklı çalışmalarda bitki yoğunluğu değiştirildiğinde verim, biyokütle ve diğer mısır bitkisine ait verim unsurları belirli bir düzeyde değişmektedir. Bunun için CropSyst modelinde bu konu üzerinde gelişim göstermesinin çok yararlı olacağı düşünülmektedir.

Modelin çalışmasını daha detaylı inceleyerek, gerçek zaman diliminde bazı temel bileşenlerin bütçesini, özellikle toprakta su rejiminin dinamiğini belli periyotlarla kestirim yaparak, sulama ihtiyacı ve su miktarının da doğru tespit edilmesi incelenmeli ve uygulamalarda bu konuya önem verilmelidir. Önerilerden en önemlisi, dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi uzun süreli denemelerle ve çeşitli bitki desenleri ile validasyonu sağlanmış CropSyst bitki büyüme modeli ve diğer modeller kullanılarak ürün gelişimi ve veriminin tahmin edilmesidir. Bununla birlikte iklim koşulları dikkate alınarak başta toprağın bileşenleri, su bütçesi ve tekstürü, toprak yapısı gibi fiziksel toprak özelliklerine göre yetiştiricilik yapılacak bölgeye uygun ürün seçiminin model çalışmalarında kullanılmasıdır. Bu sayede doğru gübreleme ve sulama programları gibi tarımsal uygulamaların daha iyi planlanması ve ürün veriminin hasattan önce tahmin edilmesi ile pazarlama stratejilerinin daha doğru yönlendirilmesi sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abu-Hamdeh, N. H., 2003. Compaction and subsoiling effects on corn growth and soil bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 67(4), 1213-1219.
- Acutis, M., & Donatelli, M., 2003. SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 373-377.
- Adejuwon, J. (2005). Assessing the suitability of the EPIC crop model for use in the study of impacts of climate variability and climate change in West Africa. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 26(1), 44-60.
- Aksoy, H., ve Sarıyev., A. 1997. Çukurova bölgesinde Arık ve Menzilat toprak serilerinde CropSyst modeli aracılığıyla Diyarbakır-81 buğday çeşidinde potansiyel verimliliğin hesaplanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* (8):151-158. Adana.
- Allen Richard, G., Raes, D. C., & Pereira, L. S. C., 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements (No. Li 56). FAO,.
- Amanullah, M. J. H., Nawab, K., & Ali, A., 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Sciences Journal*, 2(3), 235-243.
- Arkin, G. F., Vanderlip, R. L., & Ritchie, J. T. (1976). A dynamic grain sorghum growth model. *Transactions of the ASAE*, 19(4), 622-0626.
- Ashaeri samira, Kazemi Ahmad, Montazar Aliasghar and Tali Ghohrods Manijeh, 2011 Assessment of wheat water use efficiency in different deficit irrigation senarios and under climate change condition ICID International Congress on Irrigation and Drainage, Congress, Tehran.

- Basso, B., Chou, T. Y., Chen, C., & Yeh, M. (2012). i-Salus: new web based spatial systems for simulating crop yield and environmental impact. In Proc. Inter. Conf. Precision Agriculture Indianapolis.
- Bechini, L., Bocchi, S., Maggiore, T., & Confalonieri, R. (2006). Parameterization of a crop growth and development simulation model at sub-model components level. An example for winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Modelling & Software*, 21(7), 1042-1054.
- Belhouchette, H., Donatelli, M., Braudeau, E., Wery, J., 2001. Test of the cropping systems model CropSyst in Tunisian conditions. *Proceedings Second International Symposium Modelling Cropping Systems*, 16-18 July, Florence, Italy, 48.
- Bellocchi, G., Silvestri, N., Mazzoncini, M., & Meini, S. (2002). Using the CropSyst model in continuous rainfed maize (*Zea mays* L.) under alternative management options.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H., 1986. Bulk density. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 363-375.
- Bocchi, S., Confalonieri, R., Bechini, L., 2001. CropSyst for rice in Northern Italy. *Proceedings Second Modelling Cropping Systems International Symposium*, Florence, Italy, 16-18 July 2001, pp. 51-52.
- Bocciola, D., Corbari, C., Nana, E., 2014. A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley Agricultural systems 127, 139-149.
- Bonfante .A., Basile .A., Acutis .M., De Mascellis .R., Manna .P., and Terribile .F. 2010 SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy *Agricultural Water Management* 97 1051–1062

- Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Wilkerson, G.G., Jagtap, S.S., 1989. PNTGRO VI.0, Peanut crop growth simulation model, user's guide. Florida Agric. Exp. Station J., 8420, 1-83. University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Bouman, B. A. M., Van Keulen, H., Van Laar, H. H., & Rabbinge, R., 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems*, 52(2-3), 171-198.
- Bouniols, A., Cabelguenne, M., Jones, C. A., Chalamet, A., Charpentreau, J. L., & Marty, J. R., 1991. Simulation of soybean nitrogen nutrition for a silty clay soil in southern France. *Field Crops Research*, 26(1), 19-34.
- Bozkurt, Y., Yazar, A., Gencel, B., Sezen, M.S., 2006. Optimum lateral spacing for drip irrigated corn in the Mediterranean region of Turkey. *Agric. Water Manage.* 85, 113–120
- Brockington, N. R. (1979). *Computer modelling in agriculture*. Oxford University Press..
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1), 1-16.
- Campbell, G. S. 1985., *Soil physics with BASIC: transport models for soil-plant systems*. Elsevier.
- Cicchino, M., Edreira, J. R., Uribealarea, M., & Otegui, M. E. (2010). Heat stress in field-grown maize: Response of physiological determinants of grain yield. *Crop science*, 50(4), 1438-1448.
- Cilek, A., & Berberoglu, S., 2019. Biotope conservation in a Mediterranean agricultural land by incorporating crop modelling. *Ecological Modelling*, 392, 52-66.
- Coleman, D.C., Swift, D.M., Mitchell, J.E., 2004. From the frontier to the biosphere: a brief history of the USIBP grasslands biome program and its impact on scientific research in North America. *Rangelands* 26 (4), 8–15.

- Critchley, W., Siegert, K., Chapman, C., & Finket, M., 2013. Water harvesting: A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Scientific Publishers.
- Danielson, R. E., & Sutherland, P. L., 1986. Porosity. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 443-461.
- de Wit, C. D., Brouwer, R., & De Vries, F. P., 1970. The simulation of photosynthetic systems. In *Proceedings of the IBP/PP technical meeting, Trebon, 14-21 September 1969* (pp. 47-70).
- Dinç, U., Sarı, M., Şenol, S., Kapur, S., Sayın, M., Derici, M., ... & Ağca, N. (1995). Çukurova Bölgesi Toprakları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Kitabı, (26).
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W. R., Martin, D. L., & Eisenhauer, D. E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Transactions of the ASABE*, 56(2), 373-393.
- Dokoohakii Hamze, Gheysari Mahdi, Mousavi sayed-Farad and Hoogenboom Gerrit 2017 Effects of different irrigation regimes on soil moisture availability evaluated by CSM-CERES-Maize model under semi-arid condition *Ecohydrology & Hydrobiology* 17 207–216
- Donatelli M., Stöckle C., Ceotto E., and Rinaldi M. 1997 Evaluation of CropSyst for cropping systems at two locations of northern and southern Italy *European Journal of Agronomy* 6 35-45
- Donatelli, M., Bellocchi, G., & Fontana, F. 2003., RadEst3. 00: software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 363-367.
- Dzotsi, K. A., Basso, B., & Jones, J. W. (2013). Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecological Modelling*, 260, 62-76.

- Ertek, A., & Kara, B., 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 129, 138–144. doi:10.1016/j.agwat.2013.07.012
- Ferrer-Alegre, F., & Stockle, C. O. (1999). A model for assessing crop response to salinity. *Irrigation Science*, 19(1), 15-23.
- Follett, R. H., & Lindsay, W. L., 1971. Changes in DTPA-extractable zinc, iron, manganese, and copper in soils following fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 35(4), 600-602.
- Ge, Tida, et al. "Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle." *Acta Physiologiae Plantarum* 34.3 (2012): 1043-1053.
- Gee, G. W., Bauder, J. W., & Klute, A., 1986. Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Godwin, D. C., & Allan Jones, C., 1991. Nitrogen Dynamics in Soi-Plant Systems. *Modeling plant and soil systems*, 31, 287-321.
- Graves, A. R., Hess, T., Matthews, R. B., Stephens, W., & Middleton, T. (2002). Crop Simulation Models as Tools in Computer Laboratory and Classroom-Based Education. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 31(1), 48-54.
- Gülez, M., & Şenol, S., 2002. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü deneme alanının detaylı toprak etüd ve haritalaması. *ÇÜ ZF Dergisi*, 17(3), 103-110.
- Hammad .H.M., Ababas .F., Ahmad .A., Farhad .W., Anothai .J. & Hoogenboom .G. 2018. Predicting water and nitrogen requirements for maize under semi-arid conditions using the CSM-CERES-Maize model. *European Journal of Agronomy* vol 100, 56–66

- Hoogenboom, G., 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and forest meteorology*, 103(1-2), 137-157.
- Hoogenboom, G., White, J.W., Jones, J.W., Boote, K.J., 1994. BEANGRO: A process oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agron. J.* 86, 182-190.
- Hunt, L.A., Boote, K.J., 1998. Data for model operation, calibration, and evaluation. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 9–39.
- Irmak Suat, Djaman Koffi and Rudnick R. Daran .2016 Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield, water use efficiency and yield response factors. *Irrig Sci* 34:271–286
- Jara, J., Stockle, C. O., & Kjølgaard, J. (1998). Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea Mays* L.) field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92(2), 131-145.
- Jones, C. A., Ritchie, J. T., Kiniry, J. R., & Godwin, D. C., 1986. Subroutine structure. *CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development*/edited by CA Jones and JR Kiniry with contributions by PT Dyke...[et al.].
- Jones, C.A., Kiniry, J.R. (Eds.), 1986. *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M University Press, College Station, Texas, p. 208.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., ... & Ritchie, J. T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 235-265.

- Jones, J. W., Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Thornton, P. K., Wilkens, P. W., ... & Singh, U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In *Understanding options for agricultural production* (pp. 157-177). Springer, Dordrecht.
- Kacar, B., 1994. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı.
- Klute, A., & Dirksen, C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 687-734.
- Klute, A., 1986. Water retention: laboratory methods. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 635-662.
- Lamm, F. R., Ayars, J. E., & Nakayama, F. S. (2006). *Microirrigation for crop production: design, operation, and management*. Elsevier.
- Lamm, F. R., Manges, H. L., Stone, L. R., Khan, A. H., & Rogers, D. H. (1995). Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. *Transactions of the ASAE*, 38(2), 441-448.
- Lin, H. A. N., Zhang, Y. L., Shuo, J. I. N., Jiao, W. A. N. G., Wei, Y. Y., Ning, C. U. I., & Wei, W. E. I. (2010). Effect of different irrigation methods on dissolved organic carbon and microbial biomass carbon in the greenhouse soil. *Agricultural Sciences in China*, 9(8), 1175-1182.
- Lindemann, E.R., Stöckle, C.O., Redell, D., 1987. Field testing a computer-assisted on-farm irrigation scheduling program. ASAE Paper No. 87-2560, St. Joseph, MI.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- Lizaso, J. I., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon-Leal, C., Oliveira, J. A., Lorite, I. J., ... & Rodríguez, A. (2018). Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field crops research*, 216, 129-140.

- Luca Bechini and Roberto Confalonieri. 2003 A preliminary evaluation of the simulation model CropSyst for alfalfa Europ. J. Agronomy 21 223-237
- McCown, R. L., Hammer, G. L., Hargreaves, J. N. G., Holzworth, D. P., & Freebairn, D. M. (1996). APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural systems*, 50(3), 255-272.
- McKinion, J.M., Baker, D.N., Whisler, F.D., Lambert, J.R., 1988. Application of the GOSSYM/COMAX system to cotton crop management. ASAE Paper No. 88-7532, St. Joseph, MI.
- Meek, B. D., Rechel, E. R., Carter, L. M., DeTar, W. R., & Urie, A. L., 1992. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 908-913.
- Merriam-Webster, 1998. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary, 10th Edition. Merriam-Webster, Springfield, MA.
- Mize, J.H., Cox, J.G., 1968. Essentials of simulation. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Monteith, J. L., 1965. Evaporation and environment. In *Symposia of the society for experimental biology* (Vol. 19, pp. 205-234). Cambridge University Press (CUP) Cambridge.
- Monteith, J. L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 277-294.
- Moussa, O. A., Boureima, S., Issoufou, H. B. A., Bakasso, Y., Mahamane, A., Saadou, M., & Zaman-Allah, M., 2019. Response of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Diurnal Variation of Vapor Pressure Deficit (VPD) and Progressive Soil Moisture Depletion. *Journal of Plant Sciences*, 7(1), 1-7.
- Nagamani, K., & Mariappan, V. N. (2017). Biosciences and Plant Biology. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol*, 4(8), 80-92.

- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Methods of soil analysis. Part, 2, 539-579.
- Nonhebel, S., 1994. The effects of use of average instead of daily weather data in crop growth simulation models. *Agric. Systems* 44, 377–396.
- Olsen, S. R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
- Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S. N. T., Amponsah, S., & Danquah, E. O., 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research–A. J. *Agricultural Res. Develop.*, 2(1), 001-006.
- Pannuuk .C. D., Stöckle .C .O., and Papendick .R .I 1998. Evaluating CropSyst Simulations of Wheat Management in a Wheat-Fallow Region of the US Pacific Northwest *Agricultural systems* vol. 57, No. 2 pp 121-134.
- Paredes, P., de Melo-Abreu, J. P., Alves, I., & Pereira, L. S., 2014. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. *Agricultural water management*, 144, 81-97.
- Penning de Vries, F.W.T., van Laar, H.H., Kropff, M.J. (Eds.), 1991. Simulation and systems analysis for rice production (SARP) 1991. PUDOC, Waneningen, The Netherlands, p. 369.
- Piper, E.L., Weiss, A., 1990. Evaluating CERES-Maize for reduction in plant population or leaf area during the growing season. *Agric. Syst.* 33, 199–213.
- Recep Çakır., 2014. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn *Field Crops Research* 89 1–16.
- Renard, K. G., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing.
- Resilience, B. (2017). *The State Of Food Security And Nutrition In The World. Rome: Building resilience for peace and food security.*

- Rhoades J.D, Chanduvi. F, Lesch 1999. S. Soil Salinity Assessment: Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements FAO Irrigation and Drainage paper 57
- Ritchie, J.T., Otter, S., 1984. Description and performance of CERES-wheat: a user-oriented wheat yield model. In: Wheat Yield Project, A.R.S. (Ed.), ARS-38. National Technical Information Service, Springfield, Missouri, pp. 159–175.
- Ritter, A., & Muñoz-Carpena,, R. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33-45.
- Rosegrant, M.W., Ringler, C., Zhu, T.J., 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Environ. Resour.* 34, 205–222.
- Sánchez, B., Rasmussen, A., & Porter, J. R. (2014). Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global change biology*, 20(2), 408-417.
- Sarıyev, L.A., ve Gülüt, K., 1995. Agroekosistemde bitki gelişiminin matematiksel modelleri ve bunların temel prensipleri. *Ç.Ü., Ziraat fakültesi Dergisi*, 10(4):61-66.
- Saxton, K. E., Rawls, W., Romberger, J. S., & Papendick, R. I., 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil science society of America Journal*, 50(4), 1031-1036.
- Sezen, M., 2000. Çukurova ve Harran Ovası Koşullarında Buğdayda Azot-Su Verim İlişkilerinin Belirlenmesi ve Ceres-Wheat V.3 Modelinin Test Edilmesi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Sher, A., Khan, A., Cai, L. J., Ahmad, M. I., Asharf, U., & Jamoro, S. A., 2017. Response of maize grown under high plant density; performance, issues and management-a critical review. *Adv. Crop Sci. Tech*, 5(275), 10-4172.

- Sillanpaa, M., 1990. Micronutrient assessment at the country level: an international study.
- Sinclair, T. R., & Seligman, N. A., 2000 Criteria for publishing papers on crop modeling. *Field Crops Research*, 68(3), 165-172.
- Singh Kumar Anil, Tripathy Rojalin and Chopra Kiran Usha 2008 Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop agricultural water management 95 776–786
- Smith, M., 1991. CROPWAT: Manual and Guidelines. FAO of UN, Rome.
- Soil, U. S., 1972. Conservation Service. Soil Survey of Islands of Kauai, Oahu, Maui, Molokai, and Lanai, State of Hawaii.
- Stockle, C. O., & Campbell, G. S., 1989. Simulation of crop response to water and nitrogen: an example using spring wheat. *Transactions of the ASAE*, 32(1), 66-0074.
- Stockle, C. O., & Kiniry, J. R., 1990. Variability in crop radiation-use efficiency associated with vapor-pressure deficit. *Field Crops Research*, 25(3-4), 171-181.
- Stockle, C. O., Cabelguenne, M., & Debaeke, P. (1997). Comparison of CropSyst performance for water management in southwestern France using submodels of different levels of complexity. *European journal of agronomy*, 7(1-3), 89-98.
- Stockle, C.O., James, L.G., 1989. Analysis of deficit irrigation strategies for corn using crop growth simulation. *Irrig. Sci.* 10, 85–98
- Stöckle, Claudio O, Marcello Donatelli, Roger Nelson. 2002 CropSyst, a cropping systems simulation model. *Europ. J Agronomy* 18 289-307
- Swaney, D. P., Mishoe, J. W., Jones, J. W., & Boggess, W. G., 1983. Using crop models for management: Impact of weather characteristics on irrigation decisions in soybeans. *Transactions of the ASAE*, 26(6), 1808-1814.

- Tanner, C. B., & Sinclair, T. R., 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search?. Limitations to efficient water use in crop production, 1-27.
- Tao, Z.Q., Li, C.F., Li, J.J., Ding, Z.S., Xu, J., Sun, X.F., Zhou, P.L., Zhao, M., 2015. Tillage and straw mulching impacts on grain yield and water use efficiency of spring maize in Northern Huang-Huai-Hai Valley. *Crop J.* 3, 445–450
- Tong Chengli, Ge Tida, Sui Fanggong, Bai Liping and Sun Ningno . 2012 Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiol Plant* 34:1043–1053
- Uehara, G., & Tsuji, G. Y., 1998. Overview of IBSNAT. In *Understanding options for agricultural production* (pp. 1-7). Springer, Dordrecht.
- USDA 1987. Soil Mechanics Level I. Module 3 – USDA Textural Soil Classification. Study Guide. USDA, Soil Conservation Service. Stillwater, OK, USA.
- Valerie A. Orchard, F.J. Cook, 1983, Relationship between soil respiration and soil moisture, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 15, Issue 4, Pages 447-453,
- Van Dyne, G. M., & Anway, J. C., 1976. A research program for and the process of building and testing grassland ecosystem models. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 29(2), 114-122.
- Wallace, J.S., 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82, 105–119.
- Wang Keru, Li Shaokun. Zhang Guoqiang, Liu Chaowei, Xiao Chunhua, Xie Ruizhi, Ming Bo, Hou Peng, Liu Guangzhou, Xu Wenjuan, Shen Dongping., 2017 Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. *Field Crops Research* 211, 137-146

- Whisler, F. D., Acock, B., Baker, D. N., Fye, R. E., Hodges, H. F., Lambert, J. R., ... & Reddy, V. R., 1986. Crop simulation models in agronomic systems. In *Advances in agronomy* (Vol. 40, pp. 141-208). Academic Press.
- Wilkerson, G.G., Jones, J.W., Boote, K.J., Ingram, K.T., Mishoe, J.W., 1983. Modeling soybean growth for crop management. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 26, 63–73.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., Spanel, D.A., 1989. The EPIC crop growth model. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 32 (2), 497–511
- Williams, J.R., Renard, K.G., Dyke, P.T., 1983. EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity. *J. Soil Water Conserv.* 38 (5), 381–383.
- Worthington, E.B. (Ed.), 1975. *The Evolution of IBP*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Yang, Y., Xu, W., Hou, P., Liu, G., Liu, W., Wang, Y., ... & Li, S., 2019. Improving maize grain yield by matching maize growth and solar radiation. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Yunusa, I.A.M., Bellotti, W.D., Moore, A.D., Probert, M.E., Baldock, J.A., Miyan, S.M., 2004. An exploratory evaluation of APSIM to simulate growth and yield processes for winter cereals in rotation systems in South Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 44(8), 787-800.
- Zhang Guoqiang, Liu Chaowei, Xiao Chunhua, Xie Ruizhi, Ming Bo, Hou Peng, Liu Guangzhou, Xu Wenjuan, Shen Dongping, Wang Keru, Li Shaokun 2017 Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China *Field Crops Research* 211 137–146



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Nijerya’da Ogun eyaletine bağlı Ilishan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilçede tamamladı. 2009 yılında başladığı Devlet Ziraat Üniversitesi, Bitki Bilimi ve Ürün Üretimi Fakültesi, Toprak Bilimi ve Arazi Koruma Bölümünden 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında bir yıllık zorunlu askerliğini tamamladı. 2015 – 2016 yılına kadar biyoloji ve tarım öğretmeni olarak özel sektörde çalıştı. 2017 yılında kauçuk üreten “Rubber Estate” adlı şirkette kalite amiri olarak çalıştı. 2017 Eylül ayında Türkiye Cumhuriyeti Kültür ve Turizm Bakanlığı, Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı tarafından verilen lisansüstü eğitim bursunu kazandı ve 2017 yılında Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.