

# İklim Değişikliğinin Aydın Yöresinde Toprak Nemi Üzerindeki Etkileri ve SWAP Modeli ile Simülasyonu

Yıldırım KAYAM\*<sup>1</sup>

Gönül Bilgehan AYDIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>European Commission, Joint Research Center, Ispra, Italy

<sup>2</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Aydın, Türkiye

\*Sorumlu yazar e-posta (Corresponding author e-mail) : ykayam@gmail.com

DOI: 10.21657/topraksu.338304

## Öz

Bu çalışma, küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliğinin çevreye olan etkilerinden birisi olan tarımsal alanlardaki toprak nemi üzerine odaklanmıştır. IPCC'nin dördüncü Değerlendirme Raporunda, olası iklim değişikliği senaryoları arasında öncelikli olarak belirtilen A1B iklim projeksiyonuna dayalı olarak, Akdeniz havzasında oluşabilecek iklimsel değişiklikler, Aydın yöresindeki tarımsal alanlardaki toprak nemi ile ilişkilendirilmiştir. Yağış ve sıcaklık başta olmak üzere iklim rejiminin değişmesi, toprakta depolanan nemde ve yerüstü/yer altı su kaynaklarında önemli değişmelere neden olacaktır. Bu çalışmada, iklim senaryoları ve öngörüler ışığında Akdeniz havzasında oluşabilecek değişmelerin toprak nemi üzerindeki etkileri agrohidrolojik bir model ile simüle edilmiş, daha sonra gelecekte öngörülen olası değişmelere göre söz konusu model çalıştırılarak senaryo analizleri yapılmıştır. Çalışmada SWAP modeli kullanılmış ve modelin gerektirdiği toprak, iklim ve bitkiye ilişkin veri seti hazırlanarak, yazlık ürün yetiştirme dönemi boyunca Aydın yöresinde yer alan toprak tipi ve katmanlarına göre toprak nem değişimleri tahmin edilmiştir. Senaryo analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, sıcaklık artışı ile birlikte topraktan olan buharlaşma ve bitkiden olan terlemenin potansiyel olarak önemli oranda artacağı ve bu talebi karşılamak üzere, yüksek taban suyu olan yörede kapılar yükselme ile bitki kök bölgesine doğru hızlı bir su hareketi olacağı tahmin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aydın, iklim değişikliği, SWAP model, toprak nemi

## The Effects of Climate Change on Soil Moisture in Aydın Region and Simulation by SWAP Model

### Abstract

This study has focused on soil moisture in agricultural lands which affected by environmental effects of climate change due to global warming. Climatic changes that may occur in the Mediterranean basin based on the A1B climate projection of IPCC which is primarily indicated among possible climate change scenarios in AR4, have been associated with soil moisture in the agricultural areas of Aydın province. The change of climate regime which mainly deal with rainfall and temperature, will cause significant changes for moisture stored in the soil and also for surface and ground water resources. In this study, the effects of climate change on soil moisture were simulated by an agrohydrological model, and then some definitive scenario analysis performed by this model in the light of climate change projections for Mediterranean region. The SWAP model was used with a data set of soil-climate-plant, and the soil moisture was monitored according to soil properties of the layers in a selected area on an alluvial soil in the province of Aydın during the summer cultivation period of the year of 2012. According to the results from scenario analysis, it was estimated that the evaporation from soil and transpiration from plants will increase potentially and there will be a water movement upward from high water table to the root zone to meet this increasing demand.

**Key Words:** Aydın, climate change, SWAP model, soil moisture

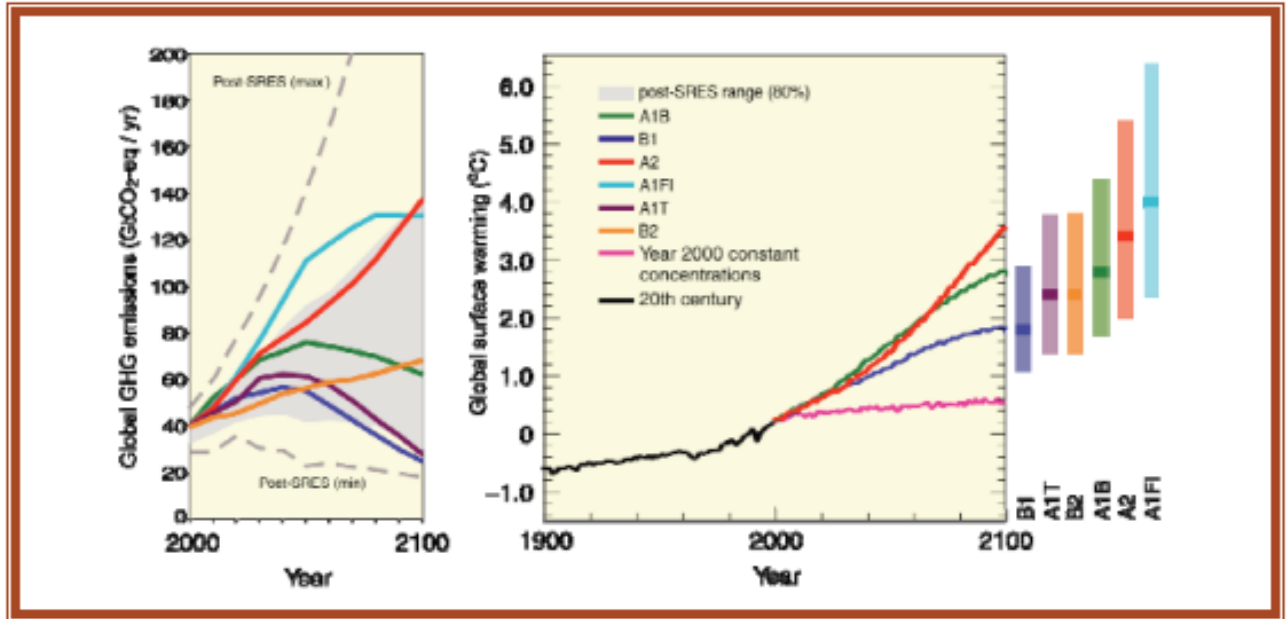
## GİRİŞ

Küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliğinin, başta yağış ve sıcaklık olmak üzere, küresel ve bölgesel düzeylerde bütün iklimsel parametreleri doğal değişkenliğin ötesinde etkileyeceği ve yeryüzünde binlerce yıldır hüküm süren iklimi ve dolayısıyla hayatı değiştireceği bilim insanları tarafından dile getirilmektedir (2007 yılında dördüncüsü yapılan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli bünyesinde yayınlanan Bölgesel İklim Projeksiyonları çerçevesinde (Şekil 1), Avrupa ve Akdeniz Bölgesi İklim Projeksiyonlarına ayrılan bölümde uzmanlar tarafından bazı öngörüler yapılmış ve yayınlanmıştır). Buna göre; Avrupa'da yıllık ortalama sıcaklıkların, küresel ortalamadan daha fazla artacağı, Kuzey Avrupa'da ısınmanın daha çok kış mevsiminde, Akdeniz bölgesinde ise yazın oluşacağı bildirilmiştir. Yapılan öngörüler dikkate alındığında, yıllık yağışların muhtemelen kuzey Avrupa'nın çoğu yerinde artacağı, Akdeniz bölgesinde ise azalacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, Akdeniz bölgesinde yağışlı günlerin sayısında da bir azalmanın olacağı ve yaz mevsiminde oluşacak kuraklık riskinin artacağı farklı senaryolarda dile getirilmiştir (IPCC, 2007a).

Büyük Menderes Havzasının da içerisinde yer aldığı Akdeniz iklim kuşağında oluşacak iklim değişiklikleri sonucunda, özellikle yaz aylarındaki sıcaklık artışı ile birlikte kış yağışlarındaki azalma

ve kuraklık riskinin, tarımsal üretimi doğrudan etkileyeceği tahmin edilmektedir. Bütün bu iklimsel değişimin öncelikle su kaynakları üzerindeki etkileri, farklı yöntem ve teknikler kullanılarak dünyada ve Türkiye'de tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ancak, iklim değişikliğinin topraktaki etkileri üzerinde yapılan çalışmaların nispeten daha az sayıda ve sera etkisini artıran CO<sub>2</sub> salınımı ile organik ve inorganik karbon döngüsüne yönelik olduğu dikkati çekmektedir. Buna karşın, gerek toprakta karbon döngüsünde birinci derecede etkisi olan organik maddenin parçalanması ile atmosfere taşınan CO<sub>2</sub> miktarı, gerekse bitkisel verimliliğe ve üretim desenine etkisinin oldukça fazla olduğu bilinen toprak nem konusu, hala üzerinde çalışılması gereken en önemli konular arasında yer almaktadır.

İklim değişiklikleri sonucunda gerçekleşmesi olası sıcaklık artışı ve yağış azalması, toprak nem içeriğini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bitki gelişim periyodu boyunca bitki için gerekli nemin toprakta yeterli miktarda bulunması, verim açısından çok önemlidir. Bu nedenle, ülkemizin yılda birden fazla ürün alınan ve yoğun tarım yapılan Büyük Menderes Havzasında yer alan Aydın yöresinde iklim değişikliğinin toprak nem rejimleri üzerine etkilerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1. GHG emisyonları için (iklim politikalarının uygulanmadığı durumda) 2000'den 2100'e senaryolar ve yüzey sıcaklıkları artışları için projeksiyonlar (IPCC, 2007a)

Figure 1. Scenarios for GHG emissions from 2000 to 2100 (in the absence of additional climate policies) and projections of surface temperatures increases (IPCC, 2007a)

Bu çalışmada, olası bölgesel iklim değişikliği senaryolarına dayalı olarak, Aydın yöresinde örnek bir alanda yağışlar ve sulama uygulamaları ile toprakta depolanan nemdeki değişimler fiziksel bir model kullanılarak incelenmiş ve önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu amaçla, olası iklim değişikliği senaryolarına göre toprak nem dengesi ve evapotranspirasyon, toprak ve bitki özellikleri kullanılarak noktasal düzeyde ve amaçlar doğrultusunda analiz edilmiştir.

Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar, iklim değişikliği ve toprak nemi modelleme çalışmaları olmak üzere ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Kömüşçü (1998), Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki toprak nemi için iklim değişiminin sonuçlarını incelemiştir. Çalışmada, Willmot (1997) tarafından orijinal Thorthwait su dengesi modelinin bilgisayar uygulamalı versiyonu kullanılmıştır. Senaryolar; +2 ve +4 °C sıcaklık artışı ile -%20, -%10, %0, +%10, +%20 yağış değişikliklerinin kombinasyonlarını içermiştir. Isınma senaryolarına dayanarak, % 20 daha fazla yağış durumunun bile toprak nemleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu, bir başka değişle öngörülen sıcaklık artışlarının evapotranspirasyonu önemli ölçüde artırdığı ve bunun da yaz aylarında toprakta nem açığını artırdığını bildirmiştir.

Robock vd., (2000) toprak neminin dünyadaki iklim sisteminin, özellikle su döngüsü açısından en önemli bileşenlerinden biri olduğunu belirtmişlerdir. Toprak neminin bu denli önemli olmasına karşın, dünyada çok az lokasyonda uzun dönemli ve düzenli olarak ölçüldüğünü bildirmişlerdir.

Kayam vd., (2002a) tarafından yürütülen istatistiksel bir çalışmada, Ege Bölgesinde 1970-1999 yıllarını kapsayan dönemdeki sıcaklık ve yağışlardaki değişimin buğday üretimi üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmada, aylık yağışlarda % 5 ve % 10'luk azalmalar ile aylık ortalama sıcaklıklarda +1 °C ve +2 °C'lik artışları içeren dört farklı iklim senaryosu hazırlanmış ve analiz edilmiştir. Buna göre, Nisan ve Mayıs aylarında yağın yağışlarda miktarsal olarak % 5 azalma olduğunda, buğday verimlerinde ortalama 13,1 kg ha<sup>-1</sup> ve %10'luk bir azalma olduğunda ise 22,9 kg ha<sup>-1</sup>'lık bir verim azalması meydana gelmiştir.

Kayam vd., (2006) tarafından yürütülen ve Ege Bölgesinde pamukta uzun dönemli istatistiksel

verilerin, araştırma sonuçları ile entegre edilerek yeniden analiz edildiği bir çalışmada, 4 farklı ilde 29 yıllık veriler ile bölgede yürütülen pamuk denemelerine ilişkin 1027 adet parsel sonuçları, iklimin ve toprak koşulları ile çeşit özellikleri de dikkate alınarak pamuk verimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Modelde, 1969-1970 ile 1989-1999 aralığında toprak nem dengesi zaman serileri ile simüle edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, bir pamuk tarlasındaki mevsimlik su dengesi, bir önceki kış yağışlarından etkilenmekte ve özellikle kurak bir yılı takip eden yağışlı bir yılda bu etki açık olarak görülmektedir.

Şen (2006), iklim değişiminin toprak nemi üzerindeki lokal etkilerinin, yalnızca iklim değişiminin derecesi ile değil, aynı zamanda toprak özellikleri ile de farklılık göstereceğini bildirmiştir.

IDKK (2006), iklim Değişikliğinin Etkilerinin Araştırılması Çalışma Grubu tarafından yazılan çalışma raporunda, "Duyarlılık analizleri, İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Önlemleri" değerlendirilmiştir. Özellikle sıcaklık ve yağıştaki değişimlerin Türkiye üzerindeki olası etkileri ele alınarak, yıllık ortalama sıcaklıkların 2050 yılına kadar, yalnız sera gazlarındaki artışlar dikkate alındığında, 1-3 °C arasında; sera gazlarındaki ve sülfat parçacıklarındaki değişimler birlikte dikkate alındığında ise 1-2 °C arasında bir artış olacağı öngörüldüğü bildirilmiştir.

IPCC (2007a), küresel ısınma kaynaklı iklim değişikliğinin Türkiye için en önemli etkisi, çoğu bölgelerde yağışın azalması ile ortaya çıkacak olan kuraklık ve su kaynaklarında azalma şeklinde olacağı bilim adamları tarafından bildirilmektedir. Dördüncüsü yapılan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin sonuçları 2007 Nisan ayı itibarıyla yayınlanmış bulunmaktadır. Buna göre, Güney Avrupa ve Akdeniz bölgesinde (SEM) önümüzdeki 25-30 yıl içerisinde yağışların mevsimlere göre % 6 ile % 53 arasında azalabileceği öngörülmektedir. Olası iklim değişikliği senaryoları arasında bölgemiz açısından da dikkate alınan A1B senaryosu altında simüle edilen Güney Avrupa ve Akdeniz alanı için ve 1980-1999 aralığından 2080-2099 aralığına kadar yıllık ortalama ısınmanın 2.0 °C'den 5.1 °C'ye kadar değişeceği öngörülmektedir. Bu durumun, en çok su kaynaklarını ve rezervlerini etkileyeceği tahmin edilmiştir.

Kanber vd., (2007) kurak alanlarda küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişiminin tarımsal üretim sistemleri üzerine etkilerini araştıran bir projeyi Seyhan havzasında yürütmüşlerdir. Bölgesel model sonuçlarına göre, söz konusu dönemde Seyhan havzasında aylık ortalama sıcaklıkların 3°C artacağı; yıllık yağış miktarında ise %25'lik bir azalma olacağı saptanmıştır. Potansiyel evapotranspirasyonda %14'lük bir artış, buna karşı gerçek evapotranspirasyonda ise, yağışın azalmasına bağlı olarak, %17'lik bir azalışın olacağı kestirilmiştir.

Aydın vd., (2008) Japonya'da geliştirilen bir bölgesel iklim modeli ile 2070'lerde Akdeniz bölgesinde % 46 civarındaki yağış azalmasına dayalı olarak çıplak topraktan olan buharlaşmanın 50 mm kadar düşmesi (% 16,5 azalma) ile gelecekte toprak neminin de azalacağı öngörülmüştür.

İklim değişikliğinin etkileri kapsamında, Türkiye'de tarım sektöründeki etkilere yönelik çalışmaların büyük bölümü yerel ölçekli olmakla birlikte, az sayıda makro ölçekli çalışmalar da yapılmıştır. Yerel düzeydeki çalışmalardan birinde, Trakya Bölgesi'nde (Kırklareli), Buğday bitkisinin karbondioksit ve meteorolojik faktörlerdeki değişimden nasıl etkilenebileceği araştırılmıştır (Çaldağ ve Şaylan, 2005). Araştırmada, bir bitki-iklim modeli kullanılarak iklim değişikliğinin buğday bitkisi üzerine etkileri çalışılmıştır. Kadioğlu ve arkadaşlarının çalışması (2004), iklim değişikliğinin Türkiye'nin su kaynaklarına potansiyel etkilerini içermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğüne hazırlanmış olan Türkiye'nin 1971-2000 ve 2007 kuraklık haritaları incelendiğinde sıcaklık artışlarına paralel olarak Türkiye'de ciddi anlamda bir kuraklık tehlikesinin bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Orta Anadolu ve Ege Bölgesinin de bu kuraklıktan belirgin olarak payını alacağı beklenmektedir (Uğurlu ve Örcen, 2007).

Bastiaansen vd., (1996) tarafından, Hindistan-Haryana bölgesinde son yirmi yıl içinde sulanan alanlarda meydana gelen hızlı artışın, bölgesel su ve tuz bilançosuna ilişkin dengeleri bozduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada su ve tuz dengesi, kısa süreli nem ve eriyik iletim modeli olan SWAP ile analiz edilmiş ve model simülasyonları, Haryana'daki bütün tarımsal iklim bölgeleri için gerçekleştirilmiştir.

Kite ve Droogers (2000) tarafından kaleme alınan bir derleme, gerçek buharlaşma ve

terlemeyi tahmin etmek için 8 farklı yöntemi içeren ve farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen araştırmaya genel bir bakış sağlamaktadır. Araştırma, nispeten daha geleneksel yöntemler ile yeni geliştirilen yöntemleri karşılaştırmak için 1998 yaz boyunca Türkiye'nin batısında (Menemen) yürütülmüştür. Denemede SWAP modeli, 1998 yılında 9 aylık bir periyotta bir pamuk tarlası için ve farklı ürünlerin bulunduğu bir vadi tabanı için çalıştırılmıştır.

Droogers (2000), farklı ölçeklerde suyun verimliliğini değerlendirmek amacıyla iki adet havza ölçekli model (WSBM-SLURP) ve bir adet ayrıntılı tarla ölçekli model (SWAP) olarak, Türkiye ve İran'dan iki farklı havzayı karşılaştırmıştır. Ele alınan iki havzanın, iklim ve su yönetimi açısından tamamen farklı yapıya sahip olduğu vurgulanmıştır. Havza ölçeğinde su verimlilik değerleri, İran için 0,45 kg m<sup>-3</sup> ve Türkiye için ise 0,17 kg m<sup>-3</sup> bulunmuştur.

Kayam vd., (2002b) tarafından Gediz Havzası Entegre Araştırma Projesi bünyesinde 1998 yılında yürütülen bir çalışmada, sulanan bir alanda topraktaki su dengesine ilişkin bütün bileşenleri analiz etmek amacıyla tek boyutlu bir model (SWAP) kullanılmıştır. Beş farklı ürün ve dört farklı toprak tipi bileşimini içeren alanın, toprak- su dengesi açısından incelendiği çalışmada, kuraklık öncesi dönemde aşırı sulamalar nedeniyle derine sızmaların ve alt akımların meydana geldiği; kurak dönemde ise bu akımın negatif yönde olduğu ve kılcal yükselmelerin bitki kök bölgesine katkıda bulunduğu ortaya konulmuştur.

Droogers ve Van Dam (2002), California, Sacramento havzasında yürütülen ve su kaynakları, gıda ve çevrenin iklim değişikliğine adaptasyonu konulu çalışmada, tarla ölçeğinde SWAP modeli ile analizler ve öngörüler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, çeltik verimlerinde A2 iklim senaryosuna göre %50 artış ve B2 senaryosuna göre ise %20 artış beklenebileceğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu artışların atmosferdeki CO<sub>2</sub> düzeylerinin artmasından ileri gelebileceğini belirtmişlerdir.

Korkmaz vd., (2009) Ege bölgesinde Menemen Sol Sahil Sulama Sisteminin sekonder ve tersiyer kanal düzeyinde su dağıtım performansını ve agro-hidrolojik su dengesini 2005-2006 yılları için değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, tarla düzeyinde su dengesine ilişkin bütün bileşenlerin

analiz edilmesi amacıyla tek boyutlu fiziksel bir model olan SWAP benzeşim modeli uygulanmıştır. Bu amaçla belirlenen alanlardaki örnek parsellerde ekimden-hasada kadar olan üretim dönemi boyunca, giren ve çıkan akımlar simüle edilmiş ve toprakta dönemsel su dengesi bileşenleri elde edilmiştir.

### MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Alanında kurulan pamuk ekili deneme parselinde yürütülmüştür. Deneme alanı Büyük Menderes Nehrinin aktivitesi sonucu oluşmuş alüviyal topraklar üzerinde yer almakta olup, ova topraklarının genel özelliklerini temsil etmektedir.

İklim özellikleri ve toprak profili dikkate alındığında Xerofluent büyük grubunda yer alan deneme alanı toprakları, 0-90 cm toprak profili boyunca horizon esasına göre dört farklı katman içermekte olup, hafif ve orta hafif bir bünyeye sahiptir. 0-90 cm'de toplam yarayıslı nem, 170,6 mm olarak bulunmuştur. Hacim ağırlığı değerleri ise, 1,47 ile 1,65 gr cm<sup>-3</sup> arasında değişmektedir. Çalışmada oluşturulan gözlem ve test parselinde, verim potansiyeli yüksek ve çirçir randımanı nispeten yüksek olan ve olumsuz çevre koşullarına dayanıklı olan Claudia çeşidi pamuk tohumu kullanılmıştır (Anonim, 2013). Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Aydın ilinde, Akdeniz iklimi

hakimdir. Alt bölgeler arasında belirgin bir farklılık görülmeyen ilde, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlıdır. İlde en yüksek sıcaklık Temmuz, en düşük sıcaklık ise Ocak aylarında görülmektedir. Yıllık sıcaklık ortalaması 17,6 °C'dir. Araştırma alanının çok yıllık yağış ortalaması 619,8 mm olup, en fazla yağış verisi Aralık ayında ölçülmüştür. (DMI, 2012).

Çalışmada, ülkelerin ekonomik gelişmelerine dayalı sera gazı emisyonlarına bağlı olarak oluşturulan iklim değişimi senaryoları çerçevesinde, IPCC 2007 raporlarında öncelikli olarak belirtilen A1B'e dayalı bölgesel iklim projeksiyonu temel alınmıştır. Buna göre projeksiyonlar, 1980-1999 aralığından 2080-2099 aralığına kadar Güney Avrupa - Akdeniz bölgesi (SEM) için bir Çoklu Model Veri Seti (MMD) içerisindeki 21 adet küresel modeli kapsayan öngörülere dayanılarak oluşturulmuştur. Çizelge 1'de gösterildiği gibi bu set içerisindeki modellerin küresel ısınmaya verdikleri tepkiler, sıcaklık ve yağıştaki olası değişimler olarak maksimum, minimum, medyan ile %25'lik ve %75'lik çeyrekler şeklinde gösterilmiştir. Buna göre, Güney Avrupa ve Akdeniz bölgesi için sıcaklık öngörülere yıllık ortalama olarak 2,2 C°'den 5,1 C°'ye ve yağıştaki azalmalar ise %4'ten %27'ye kadar bir değişiklik göstermiştir. Negatif işaretli değerler % azalma olarak ifade edilmiş, ekstrem sezonların oranı ise, 21 modelin en az 14'ü önemli çıktığında yüzdesel

**Çizelge 1.** A1B senaryosu için 21 küresel modelden gelen sıcaklık ve yağış öngörülerinin Kuzey Avrupa ve Güney Avrupa / Akdeniz bölgeleri düzeyinde mevsimlik ortalamaları (IPCC, 2007b)

**Table 1.** Regional averages of temperature and precipitation projections for North Europe and South Europe/Mediterranean from a set of 21 global models for the A1B scenario (IPCC, 2007b)

Bölge	Ay Mevsim	Sıcaklık Tepkileri (C°)						Yağış Tepkileri (C°)						Ekstrem sezonlar (%)		
		Min	25	50	75	Maks	Tyil	Min	25	50	75	Maks	Tyil	İllik	Nemli	Kuru
AVRUPA																
Kuzey Av. 40N, 10W ve 75N, 40E arasında	AOŞ	2,6	3,6	4,3	5,5	8,2	40	9	13	15	22	25	50	82	43	0
	MNM	2,1	2,4	3,1	4,3	5,3	35	0	8	12	15	21	60	79	28	2
	HTA	1,4	1,9	2,7	3,3	5,0	25	-21	-5	2	7	16		88	11	
	EEK	1,9	2,6	2,9	4,2	5,4	30	-5	4	8	11	13	80	87	20	2
	Yıllık	2,3	2,7	3,2	4,5	5,3	25	0	6	9	11	16	45	96	48	2
Güney Av. ve Akdeniz 30N, 10W ve 48N, 40E arasında	AOŞ	1,7	2,5	2,6	3,3	4,6	25	-16	-10	-6	-1	6	>100	93	3	12
	MNM	2,0	3,0	3,2	3,5	4,5	20	-24	-17	-16	-8	-2	60	98	1	31
	HTA	2,7	3,7	4,1	5,0	6,5	15	-53	-35	-24	-14	-3	55	100	1	42
	EEK	2,3	2,8	3,3	4,0	5,2	15	-29	-15	-12	-9	-2	90	100	1	21
	Yıllık	2,2	3,0	3,5	4,0	5,1	15	-27	-16	-12	-9	-4	45	100	0	46

bir değer almıştır (IPCC, 2007b).

Bu çalışmada, Çizelge 2, 3 ve 4'te gösterildiği şekliyle 3 adet senaryo Aydın bölgesi için yukarıdaki çizelgeye dayanılarak oluşturulmuştur. Buna göre, bölgedeki mevsimsel sıcaklık ve yağış değişimleri, (ekstrem sezonlar da dikkate alınarak ve bağımsız olarak) en çok, en az ve orta düzeyli tepkiler olarak senaryo analizine girmiş, dağılımda %25'lik ve %75'lik çeyreklere ilişkin değerler ise senaryo oluşumuna dahil edilmemiştir. Söz konusu iklim değişimi senaryoları çerçevesinde yağış ve sıcaklık öngörülerini, yöre için henüz ölçek küçültücü bir model bulunmaması nedeniyle aylık bazda mevsimsel olarak çalışılmıştır. Yalnızca Senaryo 3 için iki varsayım dikkate alınmıştır; mevcut iklimsel öngörüler ışığında taban suyunun yörede öngörülen düzeyde var olduğu (Senaryo 3a) ve taban suyunun olmadığı (veya çok derinde) serbest drenajın söz konusu olduğu (Senaryo 3b) duruma göre analiz yapılmıştır.

Deneme alanı topraklarından horizon esasına göre alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak

örneklerinde toprak bünyesi, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası gibi analizler (Tüzüner, 1990) yapılmıştır. Ayrıca, doymun ve doymun olmayan koşullarda hidrolik iletkenlik ve farklı hidrolik yüklerde toprak nem düzeyleri gibi hidrolik özellikler pedotransfer fonksiyonları kullanılarak modelleme yolu ile tahmin edilmiştir (Van Genuchten, 1980). Deneme parselinde her sulama öncesi ve yaklaşık on günlük aralıklarla nem izlemesi ve taban suyu gözlemleri yapılmıştır. Toprak nem düzeyleri; araziden horizon esasına göre alınan toprak örneklerinde nemli toprak ağırlığından 105°C'de etüvde kurutulmuş toprak ağırlığının çıkarılmasından, gravimetrik olarak saptanmıştır. Taban suyu düzeyleri ise, gözlem alanının yakınına çakılmış olan bir taban suyu gözlem kuyusu (piyozometre) ile elde edilmiştir. Bitki veri seti ile ilgili olarak yetiştirme dönemi uzunluğu; pamukta ekim tarihinden ilk hasat tarihine kadar olan uzunluk (gün), bitki boyu; ilk kotiledon yaprak boğumundan büyüme noktasına kadar olan yükseklik (m) olarak ve toprağı kaplama oranı; pamuk gelişme dönemlerine

**Çizelge 2.** Projede Senaryo 1 için temel alınan Çoklu Model Veri Setine göre en az etki olasılıklı öngörüler

**Table 2.** The projections for Scenario 1 based on the minimum responses according to Multi Model Dataset

Mevsimler ve Aylar	Sıcaklıkta değişimler (°C)	Yağışta değişimler (%)
Kış (Aralık-Ocak-Şubat)	1,7	6
İlkbahar (Mart-Nisan-Mayıs)	2,0	-2
Yaz (Haziran-Temmuz-Ağustos)	2,7	-3
Sonbahar (Eylül-Ekim-Kasım)	2,3	-2

**Çizelge 3.** Projede Senaryo 2 için temel alınan ve A1B için oluşturulan Çoklu Model Veri Setine göre orta derecede etki olasılıklı öngörüler

**Table 3.** The projections for Scenario 2 based on the medium responses according to Multi Model Dataset for A1B

Mevsimler ve Aylar	Sıcaklıkta değişimler (°C)	Yağışta değişimler (%)
Kış (Aralık-Ocak-Şubat)	2,6	-6
İlkbahar (Mart-Nisan-Mayıs)	3,2	-16
Yaz (Haziran-Tem.-Ağustos)	4,1	-24
Sonbahar (Eylül-Ekim-Kasım)	3,3	-12

**Çizelge 4.** Projede Senaryo 3 için temel alınan ve A1B için oluşturulan Çoklu Model Veri Setine göre en fazla etki olasılıklı öngörüler

**Table 4.** The projections for Scenario 3 based on the maximum responses according to Multi Model Dataset for A1B

Mevsimler ve Aylar	Sıcaklıkta değişimler (°C)	Yağışta değişimler (%)
Kış (Aralık-Ocak-Şubat)	4,6	-16
İlkbahar (Mart-Nisan-Mayıs)	4,5	-24
Yaz (Haziran-Tem.-Ağustos)	6,5	-53
Sonbahar (Eylül-Ekim-Kasım)	5,2	-29

(FAO, 1998) göre toprağı gölgeleme oranı esas alınarak belirlenmiştir. Bitki kök gelişimi, deneme alanından seçilen örnek bitkilerin kök gelişimi kesit alınarak gözlenmiştir.

Araştırmanın yürütüldüğü alana ait 2012 yılı iklim verileri (maksimum ve minimum sıcaklık, solar radyasyon, nispi nem, rüzgar hızı ve yağış), pamuk gelişme dönemi olan Mayıs-Ekim ayları arasındaki dönem için Adnan Menderes Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde yer alan meteoroloji istasyonundan günlük olarak elde edilmiştir. Deneme parseline 1 Mayıs 2012 tarihi itibarıyla pamuk ekimi yapılmış ve gübreleme, çapalama ve sulama uygulamaları yörede yaygın teknikler kullanılarak yürütülmüştür. Sulamalar, yüzey sulama yöntemi ile çiftçi uygulamaları ve bitki gözlemleri dikkate alınarak, toprak nem durumuna göre farklı miktarlarda uygulanmıştır. Pamuk kozalarının %50'si açığında hasat işlemleri gerçekleştirilmiştir. 2012 yılında yürütülen denemeye ilişkin sulamalar, yörede bulunan çiftçilerin uygulama zamanları dikkate alınarak ve sulama miktarları, topraktaki eksik nemin tarla kapasitesine getirilmesi yoluyla yapılmıştır. Senaryo analizlerinde ise, sulamalar yine elverişli nem düzeyleri temel alınarak ve yürütülen denemeye uygun olarak simüle edilmiştir.

Çalışma alanında toprak neminin simülasyonu ve olası iklim değişikliğinin toprak nemi üzerindeki etkilerini inceleyecek olan agrohidrolojik analizler, SWAP modeli kullanılarak yapılmıştır. Model, toprak-bitki-atmosfer bileşik sisteminde su döngüsünü simüle etmek amacıyla kullanılmıştır. Burada bulunan yaklaşımlar, bu çalışmanın esasını oluşturmuş ve elde edilen sonuçlar olası

iklim değişikliğinin toprak nem değişimi ve rejimi üzerindeki etkilerini yorumlama da kullanılmıştır. SWAP modelinde, toprak profilindeki su hareketini tanımlamak için, yer alan Richards denklemi kullanılmaktadır. Richards denkleminin sayısal çözümü, Belmans (1983) tarafından tanımlandığı şekliyle farklı durumlara uyarlanmıştır. SWAP modelinde, tarla düzeyinde toprak heterojenliği ele alınmaktadır. Kullanıcı, model içerisinde çok sayıda ölçüt faktörleri sağlayabilme olanağına sahiptir. Bu faktörler; buharlaşma, toprak profilinin geometrisi, toprağın fiziksel parametreleri, köklenme derinliği, histeresis, sulama programı, toprak yarıklarından geçen akım ve başlangıç nem durumu gibi faktörlerdir. SWAP modelinde yer alan iki farklı bitki modülünden biri olan "Basit Bitki Modülü" kullanılmıştır. Bitki ile ilgili birçok veri, 0 – 2 arasında değişen bitki gelişme dönemlerinin bir fonksiyonu olarak belirtilmiştir (Çizelge 5). Bitki verim tepki etmeni katsayıları, bölgede yürütülen bir çalışma olmaması nedeniyle pamuk için FAO 33 numaralı yayından alınarak, deneme süresince bitki gelişme dönemlerine göre uyarlanmıştır.

SWAP modeli, doymun koşullara sahip sığ toprak katmanı ile derin yeraltı suyu varlığı arasında farklı seçenekler sunmaktadır. Bu seçenekler, alt katmanlarda basınç yükünü ve akım yönü ile birlikte miktarlarını da tahmin etmede kullanılmaktadır. Ayrıca, önceden tanımlanmış yeraltı su düzeyleri, serbest drenaj ve serbest yanak akımlar gibi farklı seçenekleri de sunmaktadır. Araştırmada, ölçülen taban su düzeyleri -100 cm ile -140 cm arasında değişiklik göstermiş ve modele veri olarak girilmiştir. Çalışmada serbest drenaj seçeneği, yalnızca Senaryo 3 için uygulanmıştır.

**Çizelge 5.** Pamuk gelişme dönemlerine dayalı gözlemler, ölçümler ve veriler

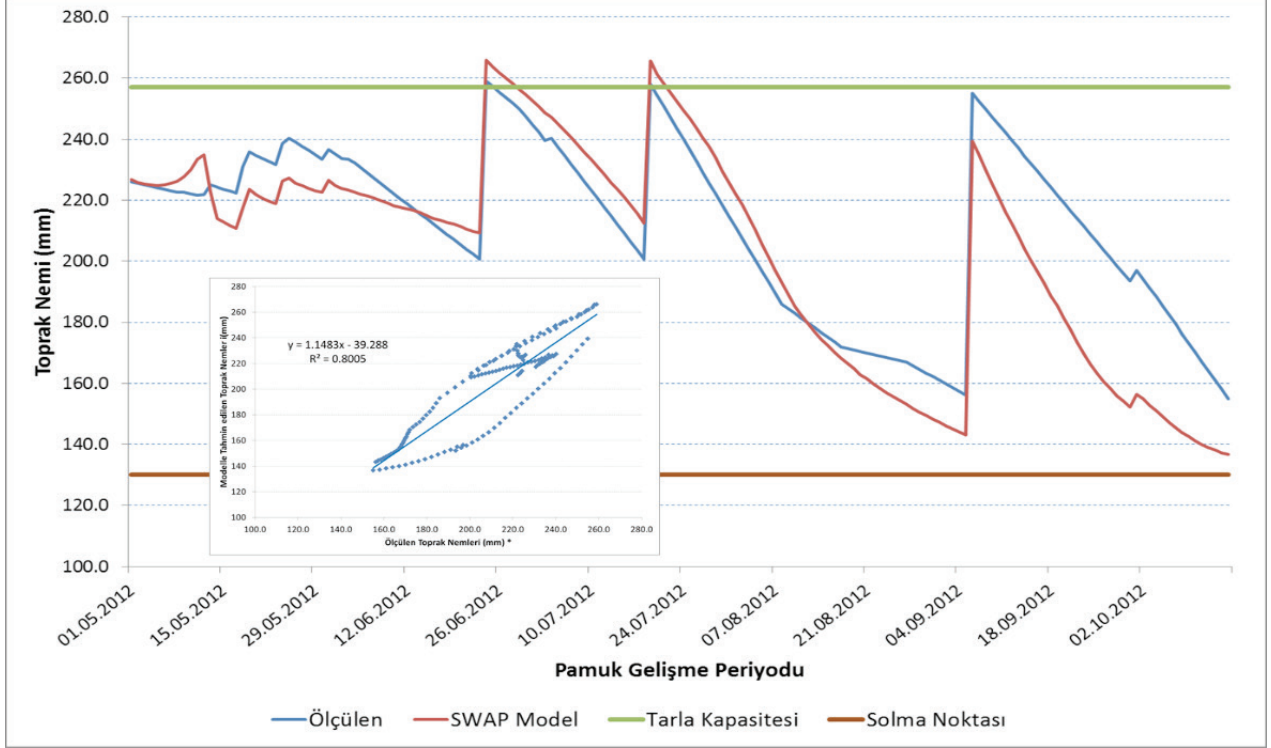
**Table 5.** The observations, measurements and data based on the growing periods of cotton

Tarih	Bitki Gelişme Dönemleri (0 – 2.0)	Kaplama Oranı (%)	Bitki Yüksekliği (cm)	Kök Gelişimi (cm)	Verim tepki etmeni (ky)
01.05.2012	0,00	0,00	0,00	0,00	-
19.06.2012	0,60	0,10	10,00	8,00	0,20
16.07.2012	0,90	0,35	50,00	10,00	0,20
08.08.2012	1,20	0,65	86,00	20,00	0,50
27.08.2012	1,40	0,90	96,00	25,00	0,75
13.09.2012	1,60	0,97	101,00	45,00	0,75
15.10.2012	2,00	0,93	105,00	60,00	0,25

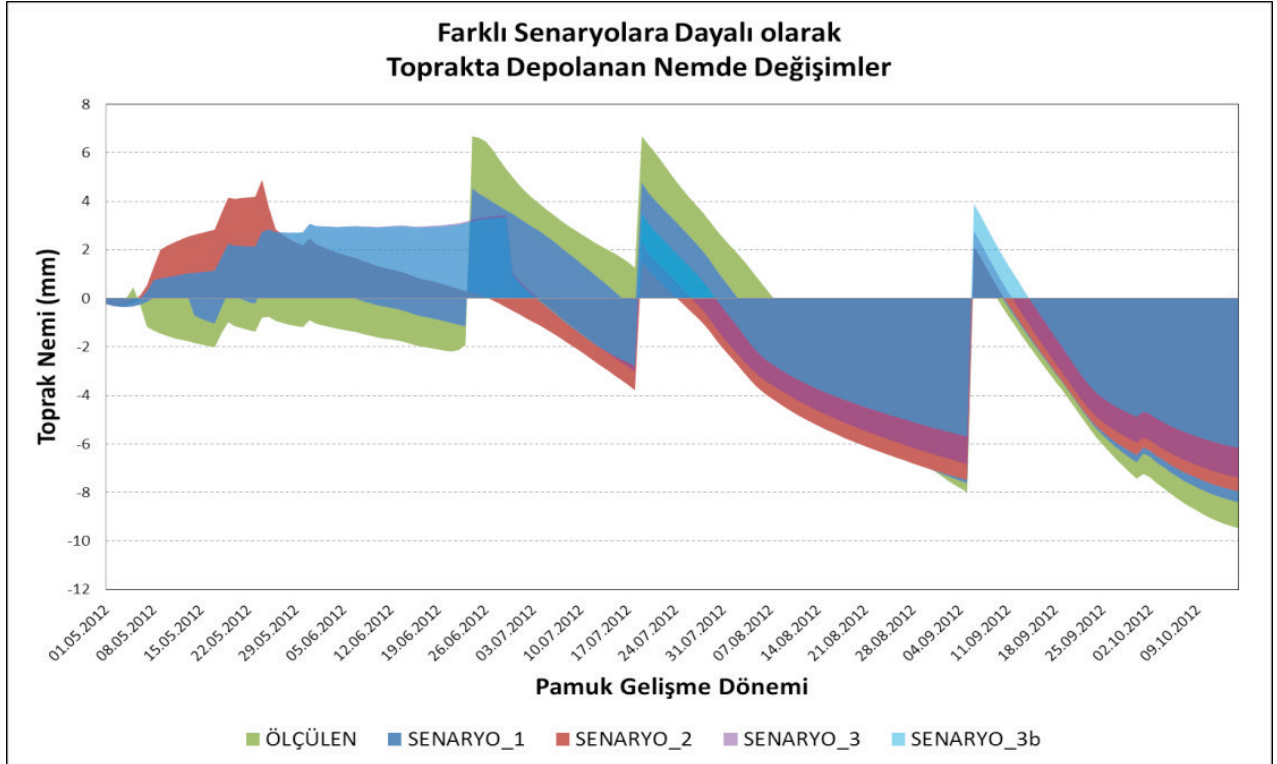
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Aydın iklim ve toprak koşullarında 2012 yılı pamuk yetiştirme döneminde yürütülen denemede,

toprak nemleri düzenli aralıklarla ve sulamalar öncesi gravimetrik olarak ölçülmüş, nem bütçesi



Şekil 2. Yetiştirme sezonu boyunca ölçülen ve SWAP modeli ile elde edilen toprak nem değerleri  
Figure 2. The soil moisture values measured and modelled by SWAP during growing period



Şekil 3. Ölçülen ve senaryolara dayalı modellenmiş toprak nem değişimleri  
Figure 3. Soil moisture changes measured and according to modeled scenarios



tekniki ile günlük olarak hesaplanarak Şekil 2'de görüldüğü gibi grafiklendirilmiştir. Deneme parseline ilişkin toprak özellikleri, bitki gelişimi ve iklimsel parametrelere ilişkin veriler kullanılarak çalıştırılan ve temel senaryo olarak adlandırılan model çıktısına dayalı toprak nem grafiği de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Bu iki eğri incelendiğinde, ölçülerek hesaplanmış toprak nem değerleri ile modelin tahmin ettiği toprak nem değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Yapılan ilişki analizinde regresyon eşitliği;  $y = 1,1483x - 39,288$  olarak bulunmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında % 80 oranında bir uyum olduğu, korelasyon katsayısının ( $r=0,90$ ) yüksek olması ise, sözü edilen değerler arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bu sonuca göre, Aydın iklim ve toprak koşullarında farklı senaryo analizleri yapabilmek ve iklimsel değişimin toprak nemi üzerindeki etkilerini öngörebilmek amacıyla SWAP modelinin kullanılabileceği anlaşılmıştır. Model, öngörülen iklim senaryoları çerçevesinde çalıştırılmış ve toprak nem değişimleri Şekil 3'te ve toprak nemi bileşenlerine ilişkin değerler Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Elde edilen bilgilere göre 2012 yılında pamuk yetiştirme dönemi boyunca, yağış ve sulamalarla 0-90 cm toprak profiline 275 mm su girişi olmuş ve sezon içerisinde toplam 47 mm su kök

bölgesinden uzaklaşmış olduğu belirlenmiştir. Yüzey akımın olmadığı deneme parselinde bitki yapraklarının engellemesinden ötürü 1,2 mm su toprağa ulaşamamış, ancak buna karşın buharlaşma ve terleme yoluyla 334,5 mm nem tüketilmiş, bir başka deyişle atmosfere buhar halinde transfer olmuştur. Sezon sonu itibarıyla toprak profiline depolanan nemde 107,1 mm'lik bir azalmanın olduğu model çıktılarından anlaşılmaktadır. Yürütülen denemeye ve diğer senaryolara ilişkin su dengesi bileşenleri, Çizelge 6'da dönemsel olarak sunulmuştur. Model çıktıları incelendiğinde; Senaryo 1'de iklim öngörülerine uygun olarak bir miktar azalma olmuş, sulama miktarı değişmemiş ve kök bölgesinden ise 40,2 mm su uzaklaşmıştır. Toprak profiline giren su miktarındaki azalma oranında evapotranspirasyon miktarı da azalmıştır. Senaryo 2 ve Senaryo 3'te sulama sayısının azalması ve yağıştaki öngörülen azalmaya bağlı olarak, giren su miktarı değişmiş, bu durum kök bölgesinden çıkan yani derine süzülen su miktarında da azalmaya neden olmuştur. Model çıktıları incelendiğinde, senaryolara göre giren akımlar arasındaki farklar 6 mm ile 22 mm arasında iken, temel senaryoya göre çıkan akımlarda bu farklar 8 mm ile 55 mm arasında oluşmuştur. Bu durum, toprakta depolanan nemdeki değişimlere de yansımıştır. Sezon başında 100 cm toprak profiline toprak nemi değeri 226 mm olarak hesaplanmış ve diğer senaryo analizlerinde de bu başlangıç değeri esas alınmıştır.

**Çizelge 6.** Farklı senaryolar için SWAP modeli su dengesi bileşenleri

**Table 6.** The water balance components from SWAP model for different scenarios

	Senaryo 0	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3a	Senaryo 3b
<b>Giren Akımlar (mm)</b>					
Yağış	55,6	54,4	46,5	40,3	40,3
Sulama	220,0	220,0	160,0	170,0	230,1
Alt Akım	-47,0	-40,2	-6,8	-1,4	-64,0
Toplam	228,6	234,2	200,8	208,9	206,4
<b>Çıkan Akımlar (mm)</b>					
Kesilme	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
Yüzey Akış	0	0	0	0	0
Transpirasyon	260,1	250,3	225,0	214,3	237,2
Evaporasyon	74,4	76,3	68,2	65,9	74,8
Toplam	335,7	327,8	294,4	281,3	313,0
Depolanan nemde değişimler (mm)	-107,1	-93,6	-93,6	-72,4	-106,6

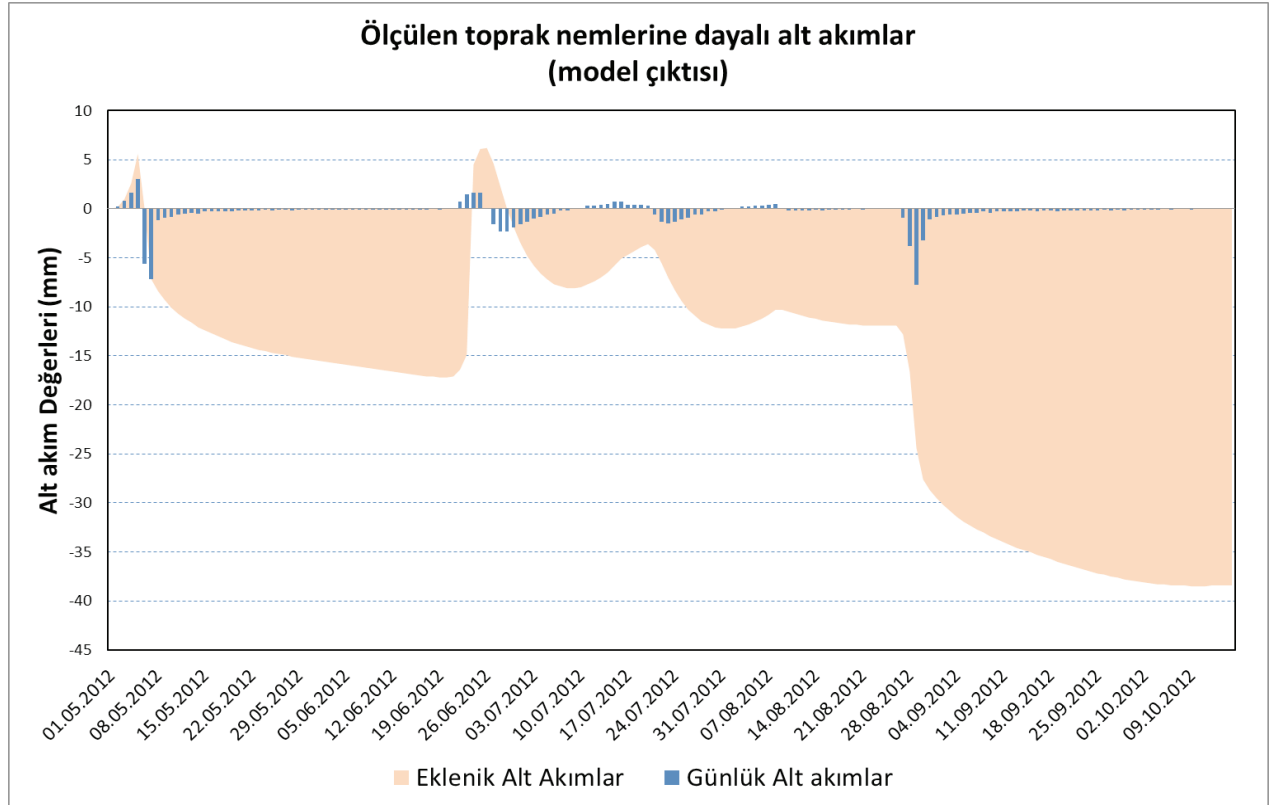
Pamuk bitkisinin sulanan bir ürün olması nedeniyle toprak nemi, profilde depolanan nem ile birlikte büyük oranda sulama uygulamalarına bağlı olarak değişmiştir. Ancak, yörede taban suyunun yüksek olması (-120 cm civarında) nedeniyle taban suyundan olan kapilar yükselme de bitki kök bölgesine sezon boyunca önemli derecede (20 ile 64 mm arasında) katkıda bulunduğu model çıktılarından anlaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, iklimsel senaryolara göre yağıştaki azalmaya bağlı olarak, taban suyu düzeylerinin sırasıyla %20, %40 ve %60 oranında azalması öngörülmüştür. Ölçüm günleri dışındaki değerler, SWAP modeli tarafından tahmin edilmiştir. Senaryo 1, 2 ve 3 için taban suyu düzeylerinin alt ve üst sınırları sırasıyla 120-168 cm; 140-196 cm ve 160-224 cm olarak model tarafından hesaplanmıştır. Senaryolara göre azalan taban suyu düzeyleri dışında, Senaryo 3 için taban suyunun olmadığı (veya çok derinlerde olduğu) ve serbest drenajın gerçekleştiği bir diğer varsayım da Senaryo 3b olarak adlandırılarak incelenmiştir.

Aydın Ovası iklim ve toprak koşullarında yer alan deneme alanında topraktaki su yüküne ve taban suyu düzeyine bağlı olarak alt akımlar dikey

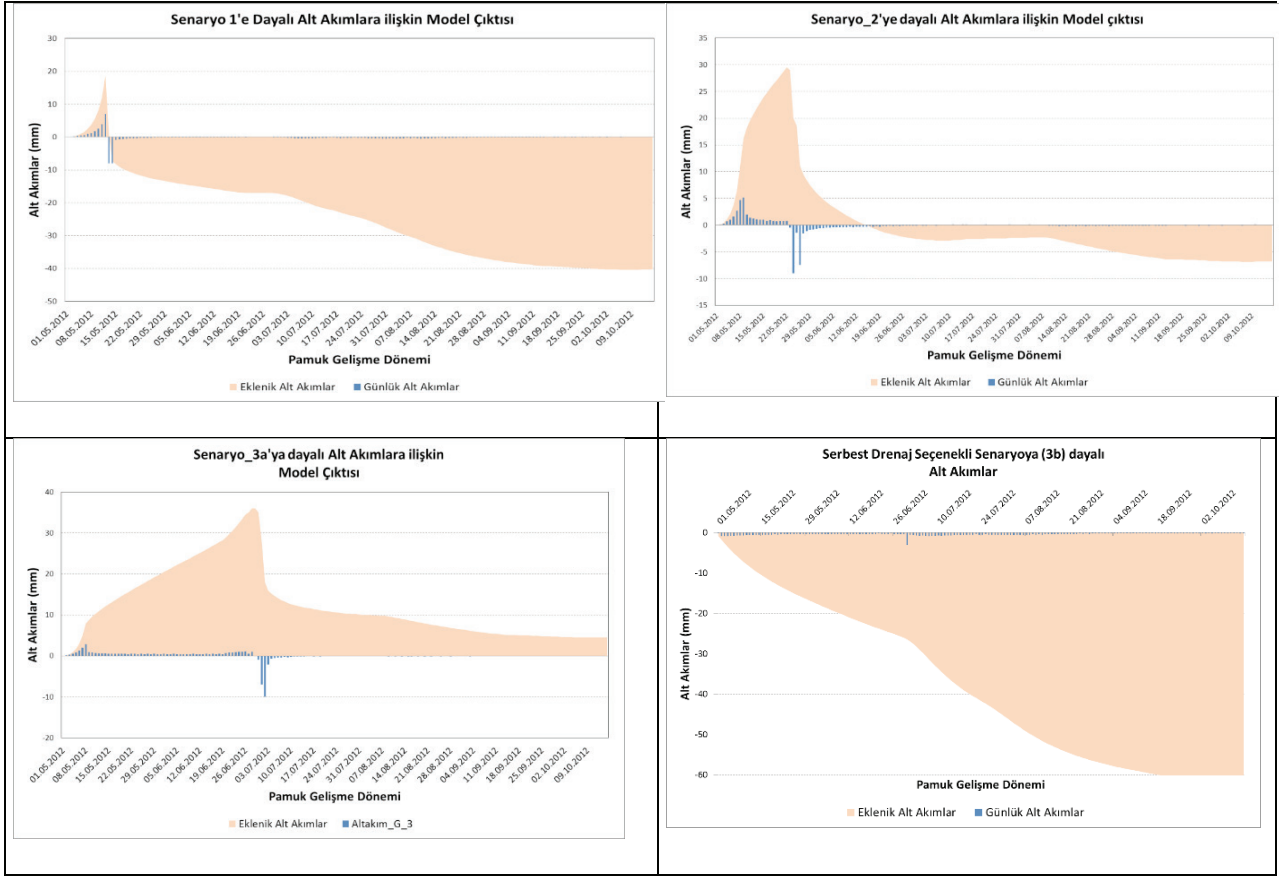
yönde yukarı ve aşağı hareket etme eğiliminde olmuşlardır. Buna göre alt akımlardaki değişmelere ilişkin model çıktıları, sezon boyunca ve birikimli olarak Şekil 4'te grafiksel biçimde gösterilmiştir.

Ölçülen ve Temel Senaryoya ilişkin alt akımlar incelendiğinde, yağışlar ve sulamalardan sonra oluşan su yükü nedeniyle aşağı doğru bir akımın olduğu, diğer günlerde ise taban suyundan kapilar yükselmenin etkisi ile yukarı doğru bir akımın mevcudiyeti Şekil 4'teki model çıktısından görülmektedir. Senaryo 1'e dayalı model çıktısında, yağışlı günler öncesi dışında toprak su hareketinde bir denge durumu olduğu dikkati çekmektedir. Senaryo 2'de ise, artan atmosferik buharlaşma talebinin etkisi ile özellikle sulamalar öncesinde önemli bir kapilar yükselme olması öngörülmektedir. Senaryo 3a'da yine sıcaklık artışından kaynaklanan buharlaşma talebi nedeniyle Temmuz ayının başına kadar, yukarı doğru bir akım tahmin edilmiştir. Bu ise, kök bölgesinde oluşan nemlilik nedeniyle ilk sulamanın gecikmesi sonucunu doğurmuştur. Genel olarak bakıldığında, temel senaryo için kapilar yükselme ile kök bölgesine yaklaşık 18 mm nem sağlandığı hesaplanmıştır. Bu katkı Senaryo 1

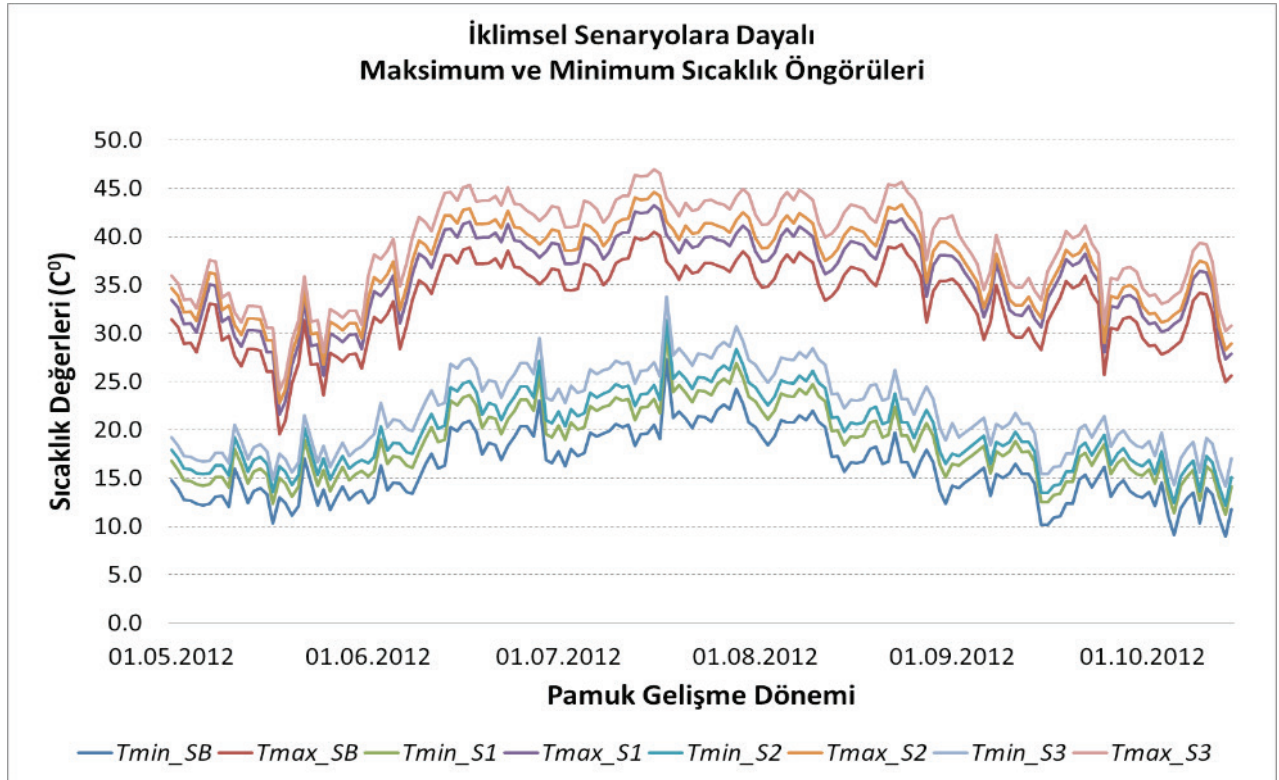


Şekil 4. SWAP modelinde ölçülen toprak nemlerine dayalı günlük ve birikimli akımlar

Figure 4. Daily and cumulative flows based on measured soil moistures by SWAP model



Şekil 5. SWAP modelinde senaryolara dayalı günlük ve birikimli akımlar  
Figure 5. Daily and cumulative flows relating to the scenarios by SWAP model



Şekil 6. Aydın yöresinde pamuk bitkisi gelişme dönemi boyunca sıcaklık öngörülleri  
Figure 6. The temperature projections during ther cotton growing period in Aydın region

için 20 mm, Senaryo 2 için 49 mm ve Senaryo 3a için ise yaklaşık 64 mm civarında olmuştur. Serbest Drenaj seçeneği senaryoda (3b) ise alt akımların yönü aşağı doğru olmuştur.

### İklimsel Analizler

Pamuk yetiştirme sezonu için öngörülen sıcaklıklar, denemenin yürütüldüğü 2012 yılına ait sıcaklık değerleri baz alınarak tahmin edilmiştir. İklimsel senaryolara dayalı günlük maksimum ve minimum sıcaklık öngörülmesi Şekil 6'da gösterilmiştir.

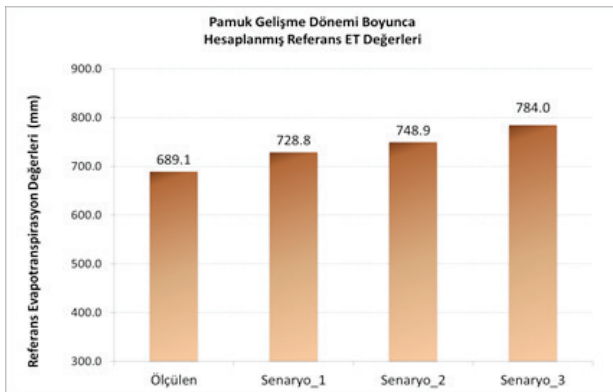
A1B İklim Projeksiyonlarına göre sıcaklıktaki değişim öngörülmesi temel alınarak mevsimsel olarak tahmin edilmiş ve ilkbahar döneminde Mayıs ayı, yaz döneminde Haziran-Temmuz-Ağustos ayları ile sonbahar dönemindeki Eylül-Ekim aylarına ilişkin sıcaklık tahminleri farklı olarak hesaplanmıştır. Şüphesiz iklim parametreleri açısından her yıl kendine özgü olup, ayrı olarak değerlendirilmesi gereklidir. Ancak çalışmada 2012 yılı günlük iklim değerlerinin uzun yılları temsil ettiği varsayılarak diğer iklim öngörülmesi bu yıla dayandırılmıştır.

### Referans Evapotranspirasyon

Referans Evapotranspirasyonu tahmin etmede dünyada en çok kabul gören ve FAO tarafından modifiye edilmiş olan Penman-Monteith ETo eşitliği kullanılmıştır. Referans ET'nin günlük olarak tahmini, genel olarak iklimsel parametrelerin buharlaşma ve terlemeyi ne ölçüde etkilediği konusunda bir fikir vermekte ve ayrıca bitki katsayılarının kullanılması yoluyla farklı bitkilerin gerçekleştirdiği potansiyel evapotranspirasyonun tahmin edilmesinde araştırmacılara yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, Referans ET'nin hesaplanmasında kullanılan iklimsel parametrelerden yalnızca maksimum ve

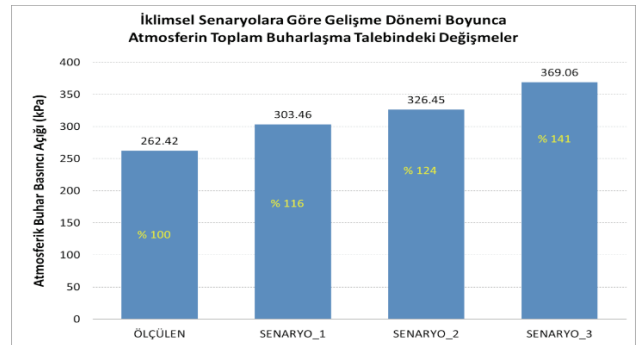
minimum sıcaklıkların senaryolar temel alınarak değiştiği, diğer parametrelerin ise değişmediği varsayılmıştır. Ancak sıcaklık değişimleri, yalnızca buharlaşmayı ve terlemeyi etkileyen bir parametre olmayıp, aynı zamanda atmosferin taşıyabileceği nem miktarını ve dolayısıyla buhar basıncını da etkileyen bir parametre olması nedeniyle önem arz etmektedir. Pamuk gelişme dönemi boyunca hesaplanmış toplam Referans ET değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Senaryolara göre hesaplanmış olan Ref ET değerlerinin, 2012 yılına göre oldukça farklı değerler aldığı görülmektedir. Buna göre, Senaryo 1 için 39,7 mm, Senaryo 2 için 59,8 ve Senaryo 3 için ise 94,9 mm kadar farklılaşma göstermesi, potansiyel tüketimin artış oranı hakkında bize bir fikir vermektedir.

Baz yıl olan 2012 yılı ile kıyaslandığında oluşturulan farklı senaryolara göre, atmosferin toplam buhar basıncı açığının sırasıyla %16, %24 ve %41 oranında artacağı tahmin edilmiştir. Bu ise doğrudan atmosferin buharlaşma talebi anlamına gelmekte ve gelecekte oluşacak su talebi hakkında bilgi vermektedir. Gelecekte, topraktan olan buharlaşma ve bitkiden olan terlemenin yüksek oranda artacağı, bitki kök bölgesinde bulunan toprak neminin kısa sürede önemli miktarda azalacağı öngörülmektedir. Taban suyunun var olduğu ve düzeyinin de yüksek olduğu koşullarda ise, bitki kök bölgesine doğru hızlı bir su hareketi olacağı tahmin edilmektedir. Öngörülen bu iklim koşulları, şüphesiz taban suyu düzeyinin düşmesine de neden olacaktır. Taban suyunun yüksek olduğu koşullarda, kapılar yükselme oranının yüksek olmasının, beraberinde tuzlulaşma riskini de getireceği de unutulmamalıdır. Buna karşın, yüksek taban suyunun bulunmadığı koşullarda,



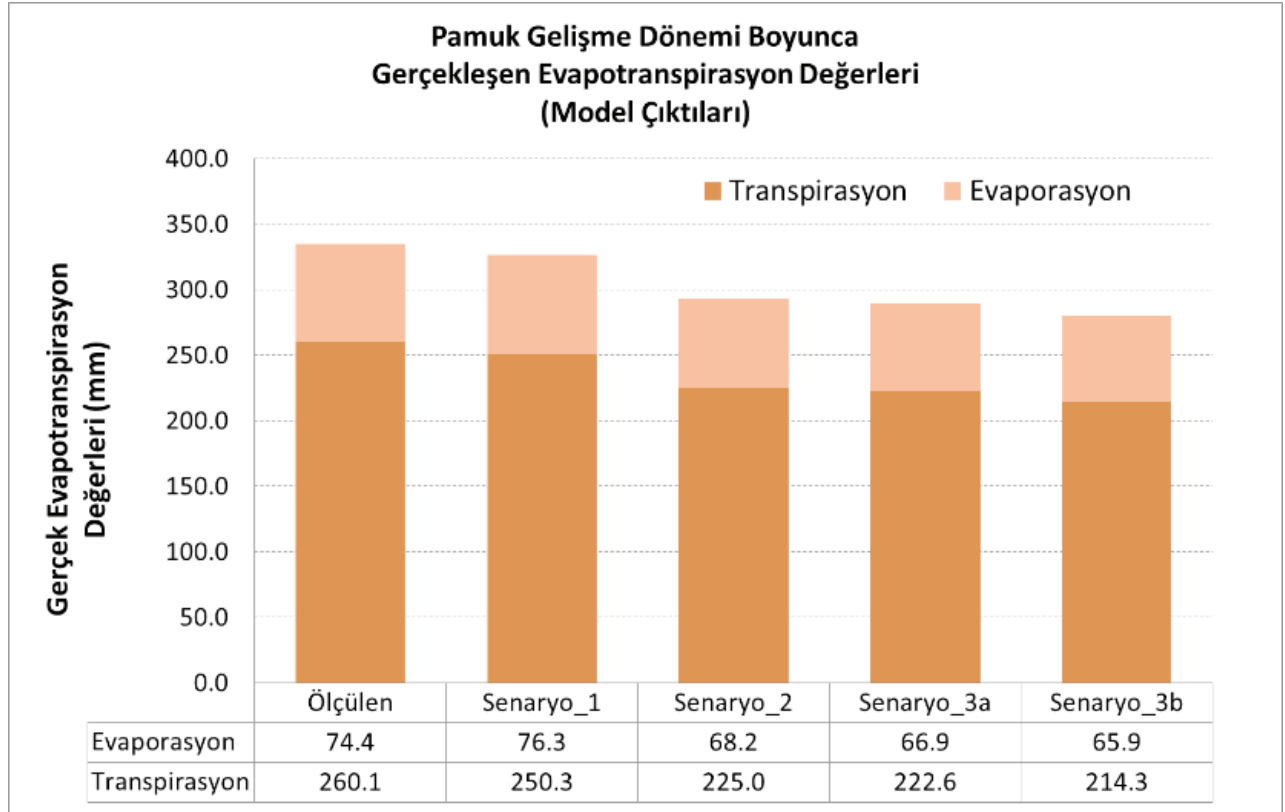
Şekil 7. Pamuk gelişme döneminde senaryolara göre hesaplanmış referans ET değerleri

Figure 7. The values of Reference ET for the scenarios during the cotton growing period



Şekil 8. İklimsel Senaryolara göre gelişme dönemi boyunca atmosferin toplam buharlaşma talebindeki değişimler

Figure 8. The total evaporation demand of atmosphere for the scenarios during the cotton growing period



**Şekil 9.** Pamuk gelişme dönemi boyunca SWAP modeli tarafından tahmin edilen gerçek buharlaşma ve terleme değerleri  
**Figure 9.** Actual evaporation and transpiration amounts estimated by the SWAP model during the cotton growing period

bitkilerin gelişebilmesi için sulama suyu sağlama olanaklarının geliştirilmesi ve daha çok sulama suyu sağlanması bir zorunluluk olduğu açık olarak görülmektedir.

Yürütülen çalışmada, ölçülen verilere dayalı model sonucuna göre mevsimlik evapotranspirasyon değeri, 334,4 mm olarak hesaplanmış ve topraktan olan buharlaşma miktarı 74.4 mm; bitkiden olan terleme miktarı ise 260,0 mm olarak bulunmuştur (Şekil 9). Diğer senaryolar için toplam Evapotranspirasyon değerleri; Senaryo 1 için 326,6 mm; Senaryo 2 için 293,2 mm; Senaryo 3a için 289,5 mm ve Senaryo 3b için ise 280,2 mm olarak tahmin edilmiştir. Atmosferin buharlaşma talebinin ve buna dayalı olarak potansiyel (referans) evapotranspirasyonun da artmasına karşın, toprak koşulları ve sulama uygulamaları dikkate alındığında topraktaki nem miktarının azalacağı ve böylece bitkiden olan terleme ile topraktan olan buharlaşmanın da azalacağı görülmektedir. Ayrıca, bu durumun oransal verimlere yansıtacağı ve diğer biyolojik parametrelerin değişmediği varsayıldığında verimlerde de azalmaların olacağı tahmin edilmektedir.

## SONUÇLAR

Küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişiminin, en çok tarım sektörünü etkileyeceği yadsınamaz bir gerçektir. Sıcaklık artışı ve yağış azalmasının öngörüldüğü Ege Bölgesinde, tarımsal verimliliğin doğrudan etkileneceği düşünüldüğünde, iklim değişikliğinin toprak nemi üzerindeki etkilerini inceleyen proje sonuçlarının, gerek bölgesel ekonomiye ve gerekse kırsal kesimdeki sosyal refaha etkilerinin büyük olacağı tahmin edilmektedir. Kısa sürede değiştiremeyeceğimiz ve dünyanın büyük bir bölümünü etkileyecek olan olası iklim değişiminin sonuçları ile başa çıkabilmemiz, ancak onu, izleyebilmemiz ve eğer varsa alınabilecek önlemleri alabilmemize bağlı olacaktır.

Bu çalışmada, iklim değişikliğinden en çok etkilenecek yörelerden birisi olan Aydın ili ve çevresinde toprak nem dengesini dikkate alan bir model (SWAP) gerçek zamanlı olarak yürütülmüş ve geçerliliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modelin Aydın yöresi iklim ve toprak koşulları için toprak nem dengesini simüle etmede başarılı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Toprak nem dengesini oluşturan toprak ve bitki özellikleri ile atmosfere ilişkin parametreler kullanıldığında, geleceğe ilişkin olası iklim değişikliğinin toprak nem dengesi üzerindeki etkileri ve değişiminin kestirilebileceği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, Aydın yöresinde özellikle sıcaklık artışı ile atmosferin buharlaşma talebinde önemli artışlar olacağı ve bu durumun buharlaşma ve terlemeyi içeren bitki su tüketimlerini oldukça artıracağı görülmüştür. Bitkiden olan terlemenin artması yanında, topraktan olan buharlaşmanın da artması, özellikle yüksek taban suyu olan yörede kapılar yükselme ile bitki kök bölgesine daha fazla nem akışının olacağı model çıktıları ile anlaşılmıştır. Topraktaki nem dengesinin, bitki gelişme dönemi boyunca topraktaki dikey su hareketine veya akımlara bağlı olduğu, ancak, bu durumun su sağlama olanakları ile uyumlu olmaması durumunda toprakta depolanan nemde ve tarımsal verimlilikte önemli azalmaların olacağı tahmin edilmektedir.

Bundan sonraki çalışmalar, farklı toprak tiplerini ve farklı ürünleri içeren geniş alanlarda bu tür model çalışmalarının yapılmasına yönelmelidir. Geleceğe dönük iklimsel öngörüler ışığında toprak nem durumu, bitki su gereksinimi ve olası ürün desenlerinin belirlenmesine yönelik araştırma faaliyetleri, olası iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirebilmemize ve tarımsal açıdan hazırlıklı olmamıza olanak sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Anonim (2013) <http://www.karadastarim.com/bayer-bitki-koruma/pamuk-tohumlari/Claudia> .
- Aydın M, Yano T, Evrendilek F, Uygur V (2008). Implications of Climate Change for Evaporation from Bare Soils in a Mediterranean Environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 140, Numbers 1-3, 123-130, DOI: 10.1007/s10661-007-9854-4,
- Bastiaansen W G M, Singh R, Kumar S, Schakel J K, Jhorar R K (1996). Analysis and Recommendations for Integrated on-farm Water Management in Haryana, India: A Model Approach, 118, DLO Winand Staring Centre for Integrated Land. Soil and Water Research, Wageningen, Netherlands.
- Belmans C, Wesseling J G, Feddes R A (1983). Simulation of the Water Balance of Acropped Soil: SWATRE. *Journal of Hydrology*, 63, 271-286.
- Çaldağ B, Şaylan L (2005). Sensitivity Analysis of the CERES-Wheat model for Variations in CO<sub>2</sub> and Meteorological Factors in Northwest of Turkey. *Int. J. Environ. Poll.* 23, 3, 300-313.
- Droogers P (2000). Simulation Models to Assess Water Productivity at Different Scales, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Droogers P, Van Dam J C (2002). Field Scale Adaptation Strategies to Climate Change to Sustain Food Security: A Modeling Approach Across Seven Contrasting Basins, IWMI Working Paper, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- FAO (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- IPCC (2007a). Climate Change, Synthesis Report, Valencia, Spain.
- IPCC (2007b). Regional Climate Projections, Europe and Mediterranean Region (Chapter 11): Fourth assessment Report, pages 848-940.
- Kanber R, Kapur B, Ünlü M, Tekin S, Koç D (2007). İklim Değişiminin Tarımsal Üretim Sistemleri Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım: ICCAP Projesi, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara, sayfa 83-94.
- Kayam Y, Ozsoy Ü, Lomas J, Öden O, Mandel M, Gurbuz M (2002a). The Impact of Climatic Change on Wheat Production of Aegean Region in Turkey: The Effect of Reduction of Rainfall and the Increase of Temperature on Wheat Yields. CLIMAGRImed Workshop, [www.fao.org/sd/climagrimed](http://www.fao.org/sd/climagrimed), FAO, Rome, Italy.
- Kayam Y, Beyazgül M, Droogers P (2002b). A Model Approach to Evaluate Irrigation System Water Balance; An Example from Gediz Basin. *International Journal of Water*, Volume 2, No. 2/3, Oxford, UK.
- Kayam Y, Mandel M, Lomas J (2006). The interpretation of the Simulated Soil Moisture Balance; The Impact of Climate, Agrotechnology, Soil and Socio-economic Factors on Cotton Yields - Turkish-Israel Joint Research Project Final Report, Menemen-İzmir, Chapter pages 58-61.
- Kite G, Droogers P (2000). Comparing Estimates of Actual Evapotranspiration from Satellites, Hydrological Models, and Field Data: A Case Study from Western Turkey. *International Water Management Institute, Research Report 42*. Colombo, Sri Lanka.
- Korkmaz N, Kayam Y, Gündüz M, Acar C O, Şen S, Bilir Z L, Avcı M, Aşık Ş, Ünal B (2009). Menemen Sol Sahil Sulamasında Tersiyer Kanal ve Tarla Düzeyinde Su Dağıtım Performansının Değerlendirilmesi, Menemen Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Yayınları, Sonuç Raporu, Yayın No: 246.
- Kömüçü A Ü (1998). Implications of Climate Change for Soil Moisture Availability in Turkey's Southeastern Anatolia Project Region, Drought Network News, University of Nebraska – Lincoln DigitalCommons@University of Nebraska – Lincoln.
- Robock A, Vinnikov K Y, Srinivasan G, Entin J K, Hollinger S E, Speranskaya N A, Liu S, Namkhai A (2000). The Global Soil Moisture Data Bank. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 81, 1281-1299.
- Uğurlu Ö, Örcen İ (2007). Küresel Isınmanın Türkiye'nin Enerji Kaynaklarına Olası Etkileri, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu- Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği, Ankara.

Van Dam J C, Feddes RA (2000). Simulation of infiltration, evaporation and shallow groundwater levels with the Richards' equation. *J. of Hydrol.*, 233, 72-85.

Van Dam J C, Huygen J, Wesseling J G, Feddes R A, Kabat P, van Walsum P E V, Groenendijk P, van Diepen C A (1997). Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment.

Van Genuchten, M Th, (1980). A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.

Wösten J H M, Veerman G J, de Groot W J M, Stolte J (2001). Water retention and hydraulic conductivity functions of top- and subsoils in The Netherlands: The Staring series. Alterra report 153, Wageningen, The Netherlands, 86 p. (in Dutch).