

İklim değişiminin buğday verimine etkilerinin incelenmesi: Kırklareli örneği

Barış ÇALDAĞ*, Levent ŞAYLAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Atmosfer Bilimleri Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bitki-Toprak-Atmosfer arasındaki karmaşık süreç, bu süreci yöneten meteorolojik faktörlerin etkisi altında gerçekleşmektedir. Söz konusu etkinin olası sonuçlarının öngörülebilmesi, bitki gelişimi ve verimi açısından da önemlidir. Bu sebepten, tarım ve orman meteorolojisi alanındaki araştırmalar, son yıllarda özellikle iklim değişikliği üzerine yoğunlaşmaktadır. Dünyadaki uygulamaların izlenerek, karşılaşılan sorunların ve çözüm seçeneklerinin araştırılması, tarımın önem taşıdığı Türkiye için de gereklidir. Trakya, yüksek tarım potansiyeli ve sanayi bölgelerine yakınlığı nedeniyle fenolojisi ile kuraklık bakımından araştırılması gerekli bir bölgedir. Bu çalışmada, buğdayın olası iklim değişiminden etkilenme durumu, Trakya Bölgesi'nde kışlık buğday tarımının yapıldığı illerden Kırklareli'nde açıklamalı bir bitki-iklim simülasyon modeli (CERES-Wheat) kullanılarak incelenmiştir. Model 1975-2005 arası ortalama gelişme dönemleri için buğday dane verimini %3.1'lik bağıl hata ile tahmin etmiştir. Bunun ardından model girdi altyapısı, sırasıyla hassasiyet analizleri ve iklim değişimi senaryoları için düzenlenerek simülasyon sonuçları analiz edilmiştir. Yağışın %40 azalması durumunda verim %38.4 düşmektedir. Buğday, sıcaklık artışlarına da olumsuz verim tepkileri vermektedir. Karbondioksit (CO₂) konsantrasyonundaki artışların verimi artırıcı etkisi dikkat çekmektedir. CO₂x2 uygulamasının verimi %10.5 artıracığı öngörülmüştür. Birden fazla meteorolojik parametrenin birlikte değiştiği simülasyonların verime etkisi de fazlalaşmaktadır. 2071-2100 arası dönemin senaryo sonuçları, ortalama buğday veriminin Kırklareli'nde %9 oranında artış göstereceğine işaret etmiştir. Bu artış, ekstrem sıcak gelişme dönemi (2099-2100) için ortadan kalkmaktadır. Ekstrem kurak gelişme döneminin (2085-2086) verim değeri ise 1975-2005 ortalamasının %65'ini karşılayabilmektedir. Buğday genelde CO₂ artışlarına en olumlu verim tepkilerini vermiş, tersi durum ise yağış azalışı için belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişimi, bitki-iklim modeli, hassasiyet analizi, kışlık buğday, Trakya.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Barış ÇALDAĞ, caldagb@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 34 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Atmosfer Bilimleri Programı'nda tamamlanmış olan "Trakya Bölgesi'nin tarımsal meteorolojik özelliklerinin belirlenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 07.08.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.11.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.01.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Investigation of the climate change effects on wheat yield: Kırklareli Case

Extended abstract

The Thrace Region is located in The European part of the northwestern Turkey, which is responsible for a considerable portion of rice, sunflower and winter wheat productions of Turkey. Winter wheat (*Triticum Aestivum* L.) production rate in Thrace is generally higher than that in the rest of Turkey. However, there is not enough qualified study on the effects of drought and possible climate change on the region's agriculture. The dynamics and complex structure of the plant growth are under the influence of many factors which are out of human control. Meteorological parameters are the dominant ones among these factors. Hence, reliable research studies are to be conducted from the agricultural meteorological viewpoint. Using crop growth simulation models, possible effects of the variations in plant, soil and atmosphere on wheat development and yield can be estimated. In this study, the CERES-Wheat crop growth simulation model have been used for wheat during the years between 1975 and 2005 to take a first step for filling the gaps in the desired drought related research in the Kırklareli City, in which the winter wheat production is popular. At first, the average growing season have been determined by considering long term phenological data (3 November-22 July). Afterwards, the associated soil-and crop parameters have been supplied into the model database as well as the calculated daily average meteorological data (daily totals for precipitation). Average wheat grain yield was calculated as 2827 kg/ha by the model with an relative error of 3.1%. Model sensitivities to temperature, precipitation, global radiation and CO₂ have been done by considering single and combined variations. The (R_g30%; CO₂x4) combined application gave the highest yield increase response as 67.1%, where the opposite output was a 63.1% decrease for the (T+5;P-40%) application. Another step was the investigation of the development and yield reactions of the crop to the IPCC A2 scenarios from 2071 to 2100. To achieve this, model database used daily output from the RegCm3 Regional Climate Model by considering the associated field coordinates. The model showed a 9% increase in winter wheat grain yields during the mentioned time interval. It has been determined that the winter wheat yield was

sensitive especially to variations in T and CO₂. This study represents a part of the PhD named "Determination of the Agrometeorological Properties of the Thrace Region", in which additional cities (Edirne and Tekirdağ) have been investigated from the point of wheat production. 30% yield increase has been simulated for Edirne, while a 13% decrease was expected for Tekirdağ during the averaged 2071-2100 growing period. Rice production has been also estimated for Edirne with a decrease of 53%. RegCm3 data were also arranged and adapted into CERES meteorology files to enable model runs for the hottest and driest growing seasons for the 2071-2100 interval. Moreover; three drought indices, namely the percentage of normal, z score and standardized precipitation indices have been calculated and interpreted for seasonal field crops (wheat, rice and sunflower) and forests (pine, oak and beech) during the years between 1975 and 2005 to take a first step for filling the gaps in the desired drought related research in the region. In general, dry periods were determined with low severities and continuities. Growing Degree Day (GDD) and vernalization calculations for field crops have been also applied. Among the average growing seasons in Kırklareli, the winter wheat collected 2893 GDD's for 0°C base temperature. Same parameter was calculated as 2719 and 2639 for Tekirdağ and Edirne, successively. It has been calculated that the wheat needs 70 and more vernalization days to complete it's average growth. Variations in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on the agricultural and forest areas were also estimated using the satellite data. Furthermore, correlations of the drought indices with the GDD's and NDVI's were investigated. Highest average NDVI values were calculated for the flowering periods of wheat (NDVI=0.45) and rice (NDVI=0.50), consequently. June showed the highest mean NDVI's for pine (NDVI=0.4), oak and beech (NDVI=0.65) when the forest areas were considered. Some growing periods showed nearly linear correlations between SPI and NDVI, while this was not the case when the whole growing periods were considered. On the other hand, high nonlinear relationships between NDVI and BDG were estimated for both field crops and trees.

Keywords: Climate change, crop growth simulation model, sensitivity analysis, Winter wheat, Thrace.

Giriş

Canlı hayatını kontrol altında tutan çevresel etkenler arasında meteorolojik faktörler önemli rol oynamaktadır. Tarımsal üretim açısından bakıldığında, üretim girdilerinin optimizasyonundan, verim parametrelerinin niceliğine kadar tüm süreçlerin yine atmosfer koşullarının ortaya koyduğu sınırlamalar altında gerçekleştiği görülecektir. Gündelik hayatını yaşadığı bölgenin iklimine ve hava durumundaki anlık değişimlere göre ayarlayan tarım ile uğraşanlar, bir yandan da arazisine ektiği bitkiden maksimum verimi elde etmesini sağlayacak müdahalelere, yine atmosferik koşulların yönlendirmesi altında karar vermektedir (Çaldağ ve Şaylan, 2005). Söz konusu ilaçlama, sulama, ekim, hasat gibi faaliyetlerin niteliğindeki ve niceliğindeki ayarlamalar en başta meteorolojik faktörlere bağlıdır. Bu çalışmada buğday bitkisinin gelişimi, sulama yapılmayan kuru tarım koşulları altında, yani doğal yağışın yönlendirdiği şartlarda incelenmiştir. Sırasıyla buğday üretim potansiyeli yüksek bir ilin (Kırklareli) seçilmesi, ardından da ilgili bölgenin tarımsal meteorolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin seçilerek uygulanması üzerinde durulmuştur. Kırklareli'ni de kapsayan Trakya Bölgesi'nin toplam alanı yaklaşık 2.5 milyon ha'dır ve bu değer Türkiye yüzölçümünün %3.1'ini oluşturmaktadır. Bu arazinin %60'ı tarım arazisi %30'u orman, %5'i çayır-mera, kalanı yerleşim yerleri ve su yüzeyleridir. Sürülebilir arazilerin %88'inde (1.2 milyon ha) kuru tarım yapılmaktadır. İstanbul'un 3 ilçesi ile Kırklareli, Edirne, Tekirdağ ve Gelibolu'da tarım arazilerinin %48'i hububat (500.000 ha, ülke ekiliş alanının %0.4'ü, üretiminin %2'si), %26'sı ayçiçeği tarımı (375.000 ha, ülke ekiliş alanının %75'i ve üretiminin %80'i), %2.5'i çeltik (30.000 ha, ülke ekiliş alanının %45'i ve üretiminin %50'si) amacıyla işlenmektedir. Tekirdağ'da ilave olarak bağcılık (bağ ve bahçe arazileri yaklaşık 10.000 ha), şeker pancarı, mısır ve virjinya tütün (9.000 ha) tarımı da yapılmaktadır (Bakanoğulları, 1998).

İzlenen yolda, bitki gelişiminin potansiyel iklim değişiminden etkilenme durumunun takibinde güncel seçeneklerden olan bir Bitki-İklim Modeli kullanılmıştır. Uzun yıllar süren araştırmalar boyunca geliştirilen ve çok sayıda simulas-

yon uygulamasının ardından ortaya çıkan bitki-iklim model çalışmaları, geçimini tarımsal ürün ticaretinden sağlayan üreticiler ile karar vericileri yönlendirici bilgi altyapısının kurulması amacıyla hizmet etmektedir. Böylece, ekim, sulama, ilaçlama vb. müdahalelerin yüksek verimde ve ekonomik olarak yapılacağı zamanların öngörülmesi mümkün olacaktır. Kısa dönemde sezonluk bitki verimine olumlu yansiyabilecek bu tecrübe, orta ve uzun vadede ise eldeki araziye ekilecek uygun kültür tiplerine yönelinmesi ve bununla birlikte gelecek nitel, nicel başlangıç parametrelerinin belirlenmesine yarayacaktır. Bilgisayar yazılımcılarının birer eseri olarak ortaya çıkan bitki-iklim modelleri, gerçekte alt alanları ile birlikte tarım, meteoroloji, biyoloji gibi alanlarda uzmanlaşmış araştırmacıların ortak ürünleri olup, yukarıda belirtilen üretim tedbirleri için tarımcılara yönlendirici hizmet sunmaktadır. Modeller, temel algoritmalarından yola çıkarak gerçekte meydana gelen süreçlerin benzerlerini ortaya koyar ve amaç "eğer olursa, ne olur?" sorusuna yanıt bulmaktır (Pennig de Vries vd., 1989). Günümüzdeki model geliştirme çalışmaları, bitki fenolojik aşamalarının ve veriminin tahmini kadar, verim değerlerinin yükseltilmesi üzerine de yoğunlaşmaktadır. Çıkış noktası, tarımda giderek sınırlanan araziler ve buna ters hareket eden küresel nüfus değişimidir.

Çalışmada kullanılan CERES-Wheat Modeli'nin ihtiyaç duyduğu toprak ve bitki girdileri için bölgede yapılan araştırma sonuçlarından yararlanılmıştır. Günlük meteorolojik verinin de birlikte kullanımıyla modelin bitki gelişim ve verim parametrelerini temsil yeteneği test edilmiş; kabul edilebilir miktarda bağlı hata değerlerine ulaşıldığının saptanmasının ardından bitki gelişimine meteorolojik faktörlerdeki (T, P, R_g, CO₂) değişimlerin etkileri araştırılmıştır. Söz konusu araştırmayı temsil eden hassasiyet analizlerine ek olarak, 2071-2100 arası hesaplanan ortalama gelişme dönemi için iklim değişimi senaryoları kullanılarak buğday gelişimine gelecekte olası iklim değişimi etkileri ele alınmıştır.

Materyal ve yöntem

CERES (Crop Environment Resource Synthesis) Modeller gurubu içinde yer alan CERES-

Wheat Modeli, 1982 yılında başlayan ve sürekli güncellenen IBSNAT (International Benchmark Sites for Agrotechnology Transfer) Projesi'nin alt birimlerindedir (Tsuji vd., 1994, Hoogenboom vd., 1994).

Modelin girdileri ve çıktıları

Toprak profilleri boyunca bitki gelişimini ilgilendiren su, azot, fosfor, kök gelişimi vb. etkenlere yönelik hesaplar için daha önce kısaca tanımlanan toprak girdi dosyasına bazı başlangıç verilerinin verilmesi gerekmektedir. Model, analiz edilecek bitkilere yönelik hesaplanan ve ayrıntılı arazi ölçüm sonuçlarını gerektiren bir bitki girdi dosyasına sahiptir. Meteorolojik girdiler, toprak ve bitki ile ilgili olanlardan farklı şekilde, gelişme döneminin tamamı için günlük girilmektedir (Çaldağ ve Şaylan, 2005).

Uygulama ve sonuçlar

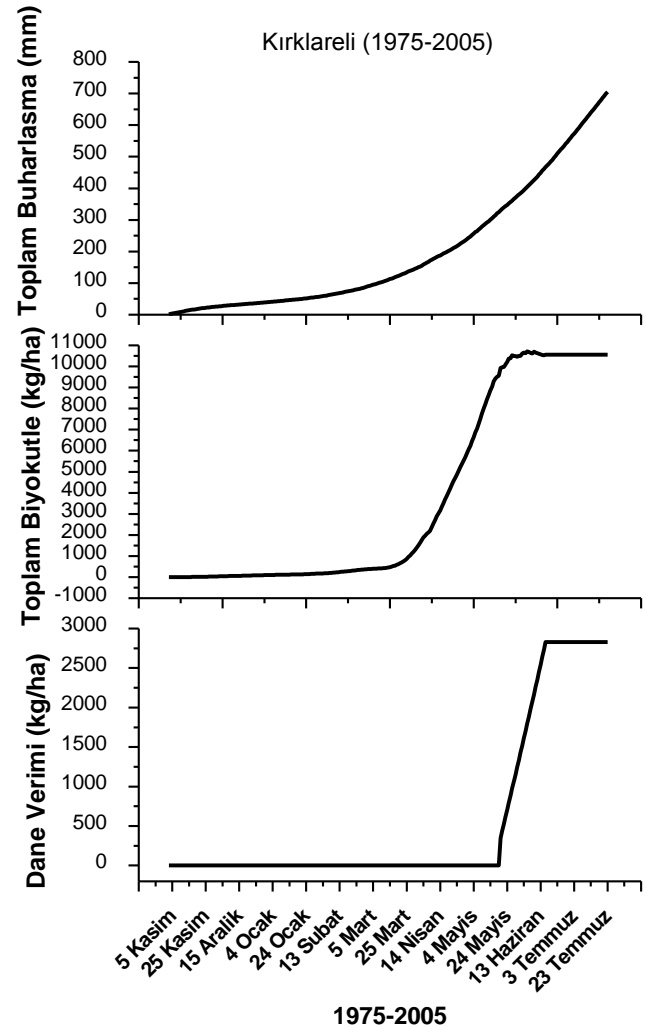
1975-2005 arası ortalama gelişme dönemi, fenolojik kayıtlar kullanılarak hesaplanmış (3 Kasım-22 Temmuz), Tablo 1'deki meteorolojik verilerin günlük ortalamaları belirlenerek modelin hassasiyet analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. CERES-Wheat Modeli ile gerçekleştirilen analizler

Analiz	Tanım
T, R _g , P, CO ₂	Hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, yağış, karbondioksit
T	Hava sıcaklığı
T+1	Hava sıcaklığında 1°C artma
T+2	Hava sıcaklığında 2°C artma
T+3	Hava sıcaklığında 3°C artma
T+4	Hava sıcaklığında 4°C artma
T+5	Hava sıcaklığında 5°C artma
T-1	Hava sıcaklığında 1°C azalma
P-%10	Yağışta %10 azalma
P-%20	Yağışta %20 azalma
P-%30	Yağışta %30 azalma
P-%40	Yağışta %40 azalma
R _g +%10	Toplam güneş radyasyonunda %10 artma
R _g +%20	Toplam güneş radyasyonunda %20 artma
R _g +%30	Toplam güneş radyasyonunda %30 artma
CO ₂ x1.5	Karbondioksit'in 1.5 katına çıkması
CO ₂ x2	Karbondioksit'in 2 katına çıkması
CO ₂ x3	Karbondioksit'in 3 katına çıkması
CO ₂ x4	Karbondioksit'in 4 katına çıkması

1975-2005 arası dönem için Kırklareli'nde ortalama buğday verimi 2741 kg/ha olurken,

CERES-Wheat tarafından 2827 kg/ha olarak simule edilmiştir (mutlak hata: 86 kg/ha, bağıl hata %3.14). Aşağıdaki Şekil 1, CERES-Wheat'in Kırklareli'nde dane verimi, toplam biyokütle ve buharlaşma için verdiği simülasyon sonuçlarını göstermektedir.



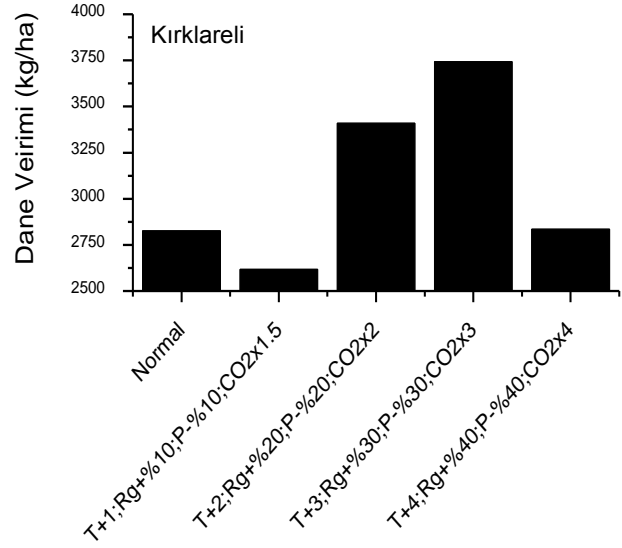
Şekil 1. Kırklareli'nde buğdayın uzun yıllık gelişme ve buharlaşma seyirleri

Hassasiyet analizleri

Bir sonraki adım, Tablo 1'de belirtilen hassasiyet analizlerinin uygulanması olmuştur. Buna göre model, bitkinin ele alınan arazide ve dönemde ortalama optimum değerlere yakın ortalama sıcaklığa sahip olduğunu göstermiştir. Dane verimi azalışı T+1 uygulaması için %3.9 olmaktadır. Tüm sıcaklık artış senaryoları ile birlikte artan dane için %22'yi bulmaktadır. Bitki, yağış azalmalarına belirgin ve sürekli dane ve-

rimi azalışı tepkileri vermiştir. Bu durum, P-%10 analizinden başlayarak yağıştaki her %10'luk azalmaya dane veriminde de yaklaşık olarak %10'luk azalmalar şeklinde görülmektedir. P-%30 ile P-%40 arasında ise dane verimi azalışı %15.7'den %38.4'e önemli bir sıçramaya sahip olmuştur. Bu durum Kırklareli'nde buğday gelişimi ile veriminin yağışa bağımlılığının, gelecekteki olası kuraklıklar nedeniyle olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabileceğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Buğdayın Kırklareli'nde toplam güneş radyasyonu artışı durumlarında da (yağış azalmalarındaki gibi) verim düşmesi göstereceği anlaşılmıştır. Toplam güneş radyasyonunda meydana gelmesi olası her %10'luk artış, dane verimine yaklaşık %8 azalma olarak yansımakta olup, Rg+%30 uygulamasının sonucunda dane verimi azalışının %27'yi aşacağı görülmektedir. Bitki, incelenen öteki arazilerde olduğu gibi Kırklareli'nde de CO₂ artışlarına en olumlu tepkiyi göstermiştir. Ortalama CO₂ değerinin (330 ppm) 2 katından 3 katına çıkarılması durumunda verim artışı çarpıcı biçimde %10.5'ten %62.9'a sıçramaktadır. CO₂x3 ve CO₂x4 analizlerinin verdiği sonuçlar karşılaştırıldığında, bitkinin CO₂x3 durumunda artık CO₂ açısından doğunluk seviyesine çıktığı görülecektir. Bu durum bitkinin fotosentezi ve CO₂ arasındaki ilişkinin normal bir göstergesidir. CO₂ artışları belirli bir seviyeye kadar fotosentezi olumlu etkilerken, bu eşiğin aşılması durumunda fotosentez olumsuz etkilenmektedir. T+5; P-%40 kombine senaryosu, %63.1'e varan azalma oranıyla Kırklareli'nde buğday dane verimi için en olumsuz durumu öngörmüştür. Sıcaklık artışı ile gelişme döneminde meydana gelmesi beklenen kısılmanın bitkinin suya ihtiyaç duyduğu yağışlı dönemin de kısılması ile birlikte düşük su toplamı edinebilmesi, bu olumsuz manzaranın temel sebebidir. T-1 uygulaması için simule edilen %5.3 oranında verim artışı, yukarıda da belirtildiği gibi buğdayın Kırklareli'nde seçilen arazide ihtiyaç duyduğu ortalama sıcaklıkların biraz aşağısına sahip olduğunu göstermektedir. CO₂ geri beslemesinin verime olumlu etkisi; tek başına arttığında dane verimini azaltıcı etkiye sahip olan Rg+%30 uygulamasının CO₂x4 ile birlikte dikkate alındığı simulasyondan elde eden maksimum dane verimi yükselişi (%67.1) ile kesinleşmektedir. Aşağı-

daki Şekil 2, incelenen 4 meteorolojik parametrenin de birlikte değiştiği, seçilmiş varyasyonların sonuçlarını içeren grafiği göstermektedir.



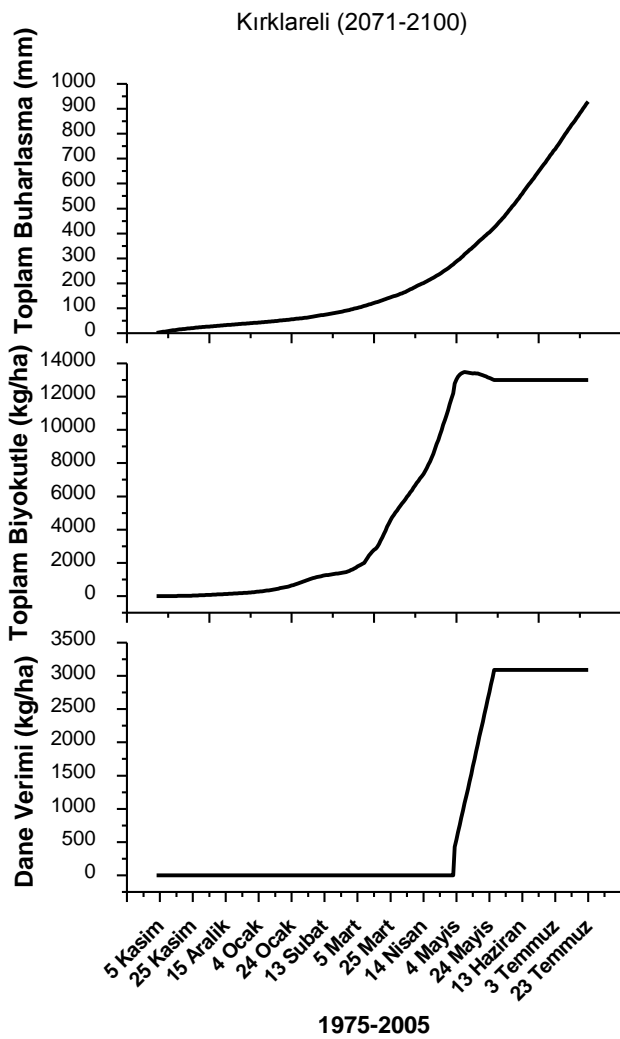
Şekil 2. Kırklareli-Buğday için gerçekteştirilen kombine simülasyon sonuçları

İkiden fazla meteorolojik parametrenin değişimlerinin dikkate alındığı kombine simülasyonun ilk adımında 2618 kg/ha ve buna karşılık gelen yaklaşık %7'lik dane verimi azalışı, bir sonraki adımda (T+2;Rg+%20;P-%20;CO₂x2) özellikle CO₂ artışının etkisiyle yerini verim artışına bırakmaktadır (Şekil 2). Kırklareli'nde dane verimi için en uygun kombinasyonun (T+3;Rg+%30;P-%30;CO₂x3) olacağı, son aşama olan (T+4;Rg+%40;P-%40;CO₂x4) için ise uzun 1975-2005 arası uzun yıllık ortalamaya çok yakın bir değere inileceği (2835 kg/ha), yine Şekil 2'den anlaşılmaktadır.

İklim değişimi senaryoları

Çalışmanın son adımını iklim değişiminden kışlık buğdayın etkilenme durumunun daha net ortaya konması amacıyla Önel (2007) çalışmasından elde edilen bölgesel iklim modelinin çıktılarının kullanılması oluşturmuştur. Söz konusu modelin (RegCm3) ele alınan arazilerin koordinatları için verdiği çıktılar 2071-2100 (gelecek projeksiyonu) arası dönem için günlük olarak temin edilmiştir. Bunu, RegCm3'nin geçmiş kontrol dönemi simülasyon sonuçlarının, aynı döneme ait gerçek veriler ile karşılaştırılması ve

elde edilen katsayıların CERES-Wheat'e uygulanacak 2071-2100 simülasyonlarında dikkate alınması izlemiştir. Gerekli öteki hesaplamalarla (birim ve format dönüşümleri, her gelişme dönemi için günlük ortalama değerlerin elde edilmesi vs.) birlikte bölgesel iklim modelinin verileri, CERES-Wheat modelinin meteoroloji girdi dosyalarını temsil edecek biçimde düzenlenmiştir. Buna göre Kırklareli'nde yetiştirilen kışlık buğday için gelecekte ($R_g \times 1.05; P \times 0.63; T + 2.9; CO_2 \times 2.1$) Senaryosu söz konusu olacaktır. Günlük verilerin kullanımı ile yapılan simülasyonların sonuçları, aşağıdaki Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Kırklareli-buğday için gelecekteki verim ve buharlaşma değerleri

Kırklareli buğday veriminin %24 oranında artış göstereceği ve 4011 kg/ha olarak gerçekleşeceği simüle edilmiştir. Ayrıca toplam biyokütle miktarı da artış göstermekte, bu artış %32'lik oranla 13342 kg/ha olmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon çıktısına bakıldığında, Kırklareli'nin 943.3 mm'lik (%31'lik) artış göstereceği anlaşılmıştır.

Teşekkür

Çalışmayı proje kapsamında destekleyen İTÜ BAP Başkanlığı ile veri, arazi, bilgi altyapısı desteği sağlayan kişilere ve kurumlara teşekkür ederiz. Prof. Dr. Nüzhet DALFES'e, Doç. Dr. Yurdanur S. ÜNAL'a, Doç. Dr. Kasım KOÇAK'a ve Prof. Dr. Zerefşan KAYMAZ'a katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- Bakanoğulları, F., (1998). 1997 Su yılı Kırklareli hidrometeorolojik rasat verileri, *T. C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Kırklareli Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları*, No: 57, APHA.
- Çaldağ, B. ve Şaylan, L., (2005). Sensitivity analysis of the CERES-Wheat model for variations in CO₂ and meteorological factors in northwest Turkey, *International Journal of Environment and Pollution*, **23**, 3, 300-313.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Batchelor, W.D., Bowen, W.T., Hunt, L.A., Pickering, N.B., Singh, U. Godwin, D.C., Baer, B., Boote, K.J., Ritchie, J.T. ve White, J.W., (1994). *Crop models in: Tsuji, G.Y., Uehara, G. ve Balas, S., eds, DSSATv3. Vol. 2-2*, Uni. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.
- Önol, B., (2007). Downscaling climate change scenario using regional climate model over Eastern Mediterranean, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., ten Berge, H.F.M. ve Bakema, A., (1989). *Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops*, Simulation Monographs 29, Pudoc-DLO, Wageningen, The Netherlands, 308.
- Tsuji, G.Y., Uehara, G. ve Balas, S., (1994). *DSSAT Version 3*, IBSNAT Uni. of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.