

DSSAT Bitki Simülasyon Modelinin Kullanım Dinamikleri ve Tokat Tarımsal Üretimindeki Rolü: Çelikli Havzası Örneği

Ömer VANLI^{1*}, Saniye DEMİR²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, (İTÜ) 34469, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

² Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60240, Taşlıçiftlik, Tokat, Türkiye

*Sorumlu yazar: vanli@itu.edu.tr

Özet: Ülkemizde yapılan tarımsal üretimlerde verim ve rekolteyi etkileyen faktörlerin analizi ve bu ürünlerin erken verim tahmini büyük önem arz etmektedir. Çelikli havzasındaki çiftçiler buğday üretimini artırmak amacıyla bakım yöntemlerini genellikle geleneksel metot ve miktarlar kullanarak sürdürmektedirler. Fakat, Gelişen bilim ve teknoloji ile birlikte çevreye duyarlı yüksek ve kaliteli verim elde edebilmek için bitki simülasyon modelleri (BSM) ile analizi mümkün hale getirmiştir. Gerekli değerlendirmeler sonrasında ise bir takım uyum ve önlem alma uygulamaları yapılmalıdır. Çelikli havzasındaki tarlalarda yetiştirilen buğday çeşitlerinin verimliliği artırmak için farklı zaman ve miktarlarda uygulama yöntemleri de zaman zaman denenmiştir. Çalışmamızın amacı, Ekiz ekme buğday çeşidi ile 1+5 farklı Ekim Zamanı (EZ) uygulamalarına göre Kanopi yüksekliği, Bitki azot miktarı, Buharlaştırma ve terleme miktarları, Yaprak alan ve Hasat indeksleri, Biyokütle ve Hasat ağırlıkları değerlendirilmiştir. Çalışmada, (EZ1=7 Ekim (Gerçek Ekim), EZ2=21 Ekim (15 gün sonrası), EZ3=4 Kasım (30 gün sonrası), EZ4=18 Kasım (45 gün sonrası), EZ5=2 Aralık (60 gün sonrası), EZ6=16 Aralık (75 gün sonrası)) gibi farklı buğday ekim etkisinin ilgili verim ve diğer çıktılara etkisi değerlendirilmiştir. İç anadolu geçit bölgesinde yürütülen ve elde edilen bu sonuçlara göre, Farklı ekim tarihleri arasında en uygun ekim tarihi ürün çıktısına göre değişmekle birlikte Ekim olarak belirlenmiştir. Modelleme sonuçlarına uygun değerlendirmeler zaman, çevre ve maliyet gibi konularda önemli kazanımlar elde edileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: BSM, DSSAT, Çelikli, Ekiz, Ekim Zamanı (EZ)

Usage Dynamics of the DSSAT Crop Simulation Model and the Role of Tokat City in Agricultural Production: Celikli Basin Case

Abstract: In our country, the analysis of factors affecting yield and harvest in agricultural production and the early prediction of these products are of great importance. Farmers in the Celikli basin generally use traditional methods and quantities for wheat production to increase yield. However, with the advancement of science and technology, it is necessary to analyze agricultural input uses with crop simulation models (CSM) in order to achieve high and quality yields. After the necessary evaluations, a series of adaptation and precautionary measures should be implemented. Different application methods in various times and amounts have also been tried from time to time to increase the yield of the wheat varieties grown in the Celikli basin fields. The aim of our study was to evaluate canopy height, plant nitrogen content, evaporation and transpiration amounts, leaf area and harvest indices, biomass, and harvest weights according to 1+5 different sowing time (ST) applications with the Ekiz bread wheat variety. In the study, the effects of different wheat sowing dates (EZ1=October 7 (Actual Sowing), EZ2=October 21 (15 days later), EZ3=November 4 (30 days later), EZ4=November 18 (45 days later), EZ5=December 2 (60 days later), EZ6=December 16 (75 days later)) on relevant yields and other outputs were evaluated. According to the results obtained from the study conducted in the Central Anatolia transition zone, the most suitable planting date among different planting dates was determined to be October, although it varies based on the product output. It is predicted that significant gains will be achieved in areas such as time, environment, and cost based on the modeling results.

Keywords: CSM, DSSAT, Çelikli, Ekiz, Planting Date (EZ)

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Alıntı: Vanlı, O., Demir, S., (2025), DSSAT Bitki Simülasyon Modelinin Kullanım Dinamikleri ve Tokat Tarımsal Üretimindeki Rolü: Çelikli Havzası Örneği, Memba Su Bilimleri Dergisi, 11, (1) 62–72. DOI: 10.58626/memba.1636737

Başvuru Tarihi: 10 Şubat 2025, **Kabul Tarihi:** 26 Mart 2025, **Yayın Tarihi:** 27 Mart 2025

1. Giriş

Tarım, her aşamada olduğu gibi gübreleme ve sulama uygulamaları yönüyle de, iklim değişikliğinden gittikçe daha çok olumsuz etkilenecek sektörlerden biri olacağı öngörülmektedir. Tarımsal üretimde verimliliği arttırmak ve kayıpları azaltmak için üretim öncesi ve aşaması sırasında birtakım teknolojik karar destek uygulamalarına göre değerlendirmelerde bulunmak son derece önemlidir.

Ülkemiz tarımsal üretimde stratejik ürünlerden birisi de buğday bitkisidir. Hemen hemen tüm bölgelerimizdeki iklim ve toprak şartlarında yetişebilen buğday bitkisi, son yıllarda olumsuz çevre şartlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Ülkemizde 2022 yılındaki buğday üretimi, 6.6 milyon hektarlık tarımsal alandaki toplam rekolte önceki yıla oranla yüzde 11,9 oranında artarak ve 19.8 milyon ton'a ulaşmıştır (Ministry of Agriculture and Forestry 2022).

Buğday tüketiminin yarısından fazlası insanlara gıda amaçlı, geri kalan kısmı ise hayvan besleme ve farklı işleme sektörlerinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, gıda, tohum ve sanayi odaklı dahil olmak üzere buğday için küresel ölçekte büyük talepler baş göstermiştir (Pequeno et al. 2021).

Bitki Simülasyon Modelleri'nin (BSM), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve Yapay Zeka (YZ) gibi gelişmiş metod ve algoritmalar ile entegre çalışabilen karar destek sistemleri yoluyla da hızlı ve anlaşılır analizler yapılabilmektedir (Ahmed et al. 2022).

Bitki modellerinin işleyişi ve değerlendirilmesinin üreticiler tarafından iyi anlaşılması, gelecekteki çevreyi duyarlı yüksek verim ve kalitelerde üretim ve tüketim açısından çok önemli iyileştirmeler sağlarlar (Gavasso-Rita et al. 2024). Ülkemizde de başta ege bölgesi (Özdemir et al. 2024) olmak üzere birçok bölge iklim değişikliğinden ciddi olumsuz etkiler yaşandığı yapılan çalışmalarla göstermektedir. Bu olumsuz etkilere karşı gerekli önlemler alınması ve uyumlaştırma çalışması için simülasyon çalışmaları devam etmektedir. Trakya bölgesinde (Özdoğan 2011) ve Güneydoğu anadolu bölgesinde (Vanli 2019) model bazlı akademik çalışmalar yapılmıştır. Bazı ülkelerde ise verim açığı çalışmalarında da bitki modellerinden yararlanılmaktadır (van Ittersum et al. 2013). Ayrıca topraktaki karbon azot (C/N) dengesinde önemli hesaplamalar yapılabildiği gibi (Yang et al. 2013), modellerde verim tahminlerinin heterojen özellikteki geniş bölgesel çalışmalar için hücre bazlı konumsal analizler üzerinde de çalışılmaktadır (Shelia et al. 2019). Toprak altyapısı olarak, modelleme uygulamaları için kullanılabilirlik ayrıntılı toprak bilgisine olan ihtiyaç artmıştır. Dolayısıyla, WISE 1.1 Toprak Profil Veri Seti'nin (Gijssman et al. 2007) analizi yeniden Uluslararası Tarımsal Sistemler Uygulama Konsorsiyumu'nun (ICASA) standart formatlarına göre DSSAT gibi dinamik tarım modellerine uyarlanarak gerçekleştirilmiştir (Romero et al. 2012). Ayrıca çeşit bazında deneysel metodlar sonucu belirlenen genetik katsayıları da kullanmak simülasyonda tahmin doğruluğunu arttırmaktadır (Bannayan and Hoogenboom 2009).

Bitki simülasyon modelleri genelinde ülkemizde bir kısım özel amaçlı akademik çalışmalarla sınırlı olduğu gibi DSSAT model sonuçlarının, çiftçiler tarafından gerçek verim sonuçları ile karşılaştırmalı bütünlük içerisinde ele alınması hakkında ciddi bir çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu durum aynı zamanda geniş tarımsal alanların sürdürülebilirlik ruhuna uygun üretiminde önemli bir faktör olarak verimliliği arttırmanın devamını sağlayabilmektedir.

Çalışma kapsamında, Çelikli bölgesinde 2022-2023 sezonunda yetiştirilen ekiz ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Ekiz, belirgin özellik olarak geçit bölgelerinde yetişen, soğuğa dayanıklı ve sulanması durumunda verimi 1.050 kg'a kadar çıkabilen kaliteli bir çeşittir. bu çeşidin genetik katsayısının tesbitine yönelik tarla deneme çalışmaları yapılmadığından dolayı DSSAT bitki modelinde kullanmak için çeşitlerin ıslahındaki atalarının genetik katsayıları kullanılmıştır. Ekiz çeşidi için, üçüncü kuşak babası olan (CIMMYT 2017) Bezostaya-1 çeşidinin genetik katsayısı kullanılmıştır (Gbegbelegbe et al. 2017).

Tarımsal üretimdeki artış ve kârlılık, fenolojinin büyüme ortamında endekslenmesi ile daha iyi sağlanabilir. Örnek olarak erken çiçek açma zamanlarda yetersiz biyokütle yada soğuk don hasarına neden olabiliyorken, geç çiçek açma zamanlarında ise ısı ve su stresi kaynaklı verim kayıplarını arttırabilmektedir. Son yıllarda, değişen iklim ve mevsim koşulları, tarla uygulamaları ve ekim-bakım ekipmanları, buğday için ekim tarihi önerilerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır. Yüksek verim elde etmek için, DSSAT bitki modeli ortamında mevcut iklim ve toprak koşullarında çiçeklenmeyi başlatma potansiyeline bağlı olarak farklı ekim tarihi kombinasyonları da denenebilmektedir. Buğdayın fenolojik gelişimi, hem termal zaman hem de vernalizasyon ve fotoperiyoda bağlı olarak çeşidin genetik katsayısı temelinde tepkiler vermektedir. Dolayısıyla farklı fenolojiye sahip her çeşit için ekim tarihi önerileri, ilgili bölgedeki iklim koşullarına göre de değişkenlik göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, DSSAT bitki büyüme modelinin farklı ekim tarihleri bazında kanopi yüksekliği, bitki azot miktarı, buharlaşma ve terleme miktarları, yaprak alan ve hasat indeksleri, biyokütle ve hasat Ağırlıkları gibi 8 farklı bitki gözlem ve ölçüm bileşen çıktılarını değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Araştırma, 2023-2024 yetiştirme dönemlerinde Tokat-Çelikli koşullarında yürütülmüştür. Bölge 40.08 enlem ve 36.37 boylam arasında yer almaktadır. Bölgenin denizden yüksekliği ise 1200 m civarındadır. Ekim işlemi 07.10.2023 tarihinde, sıra arası 15 cm, ekim derinliğinin 5 cm ve ekim sıklığının ise m² 'de 777 bitki

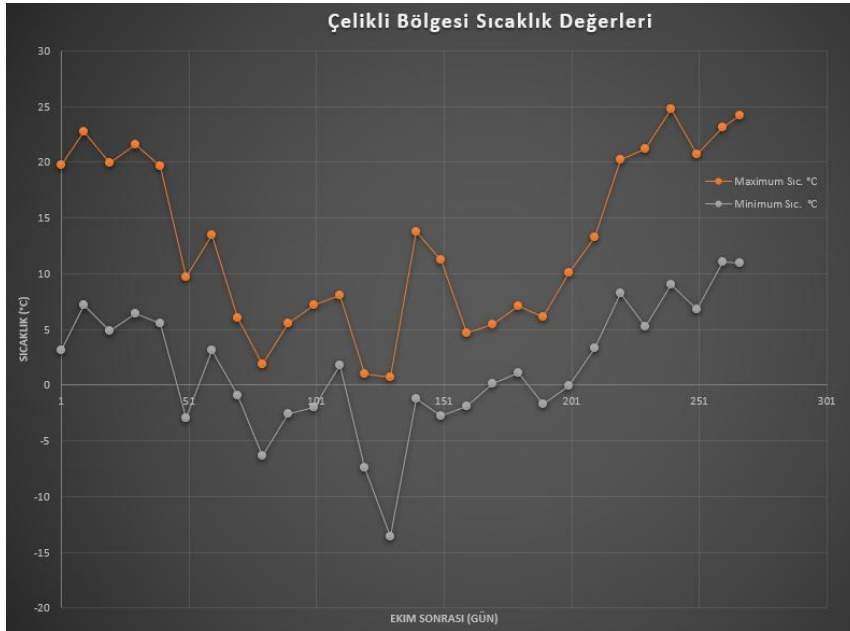
olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma alanının coğrafi konumu Şekil 1’de verilmiştir. Çelikli bölgesi, İç Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi arasında bulunan verimli ve yarı kurak karakterli geçit bölgesi özelliklerine sahiptir. Ortalama yıllık yağış 535 mm civarında olmakla birlikte ortalama sıcaklık ise yaklaşık 8,1 °C civarında olduğu tesbit edilmiştir. Tarım yapılan bu ilgili alan genellikle buğday–nadas şeklinde ekim nöbeti uygulanmakla birlikte, düşük oranlarda da mercimek ve yem bitkileri tarımı yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

2.2. İklim Değerleri

Tarımsal uygulamalarda iklim oldukça önemli bir faktör olmaktadır. Fakat iklim değişikliği ve çeşitliliği gibi istenmeyen çevresel şartlar, zararlı ve hastalık faktörleri ve olası politika değişiklikleri gibi birçok öngörülme riskine yol açabilmektedir. İklimin temel elemanları sıcaklık, yağış, oransal nem, güneşlenme süresi ve şiddeti, basınç, rüzgâr hızı ve yönü, buharlaşma gibi parametrelerdir. Ekiz çeşidi olan buğday bitkisinin ekildiği tarlaların yıllara ait sıcaklık iklim verileri Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Çelikli bölgesi maksimum ve minimum sıcaklık değerleri grafiği

2.3. Toprak Değerleri

Analizler, Bünye sınıfı olarak silt ve kil, hacim ağırlığı gibi toprağın fiziksel özellikleri ile potasyum (K), fosfor (P), azot (N), kation değişim kapasitesi (KDK), Kireç (CaCO₃), pH ve organik karbon (OC) gibi kimyasal özelliklerden oluşan parametreler için yapıldı. Tarlanın toprak numunesi analizinde SBUILD (DSSAT V 4.8.2) programında toprak dosyası olarak oluşturulmuştur. Drenaj üst ve alt sınırı, doymunluk, kütle yoğunluğu, doymuş hidrolik iletkenlik ve kök büyüme faktörü gibi diğer parametreler de modelde otomatik olarak

hesaplandı İlgili buğday tarlasından alınan toprak örneklerine ait toprak temel değerleri ve ilgili alanın toprak fiziksel ve kimyasal değerlerine ait analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

LAT	LONG	SCS FAMILY	SALB	SLU1	SLDR	SLRO	SLNF	SLPF
40,11	36,35	Kumlu, Tınlı, Alüvyal	0,13	9,3	0,6	76	1	1

Çizelge 1. DSSAT modelindeki Çelikli bölgesi ana toprak parametreleri

LAT: Enlem (Derece); **LONG:** Boylam (Derece); **SCSFAM:** ABD NRCS sistemi; **SALB:** Albedo (Oran); **SLU1:** Aşama 1 buharlaşma limiti (mm); **SLDR:** Drenaj oranı, (oran/gün); **SLRO:** Akış eğrisi no. (Toprak Koruma Servisi/NRCS); **SLNF:** Mineralizasyon faktörü (0 - 1); **SLPF:** Toprak verimliliği faktörü (0 – 1).

SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLHW	SCEC
5	AP	0.092	0.189	0.327	1	1.45	0.71	19.2	17.6	6.9	7.6
10	B1	0.129	0.238	0.335	0.75	1.61	0.54	22	14	5.7	3.1
15	B2	0.18	0.293	0.347	0.75	1.52	0.24	33.1	16	5.9	3.9
20	B2	0.192	0.307	0.351	0.75	1.48	0.27	35.6	17.7	5.7	4.4
25	B2	0.245	0.364	0.379	0.35	1.39	0.15	47.6	24.9	5.1	6.4
30	B2	0.283	0.4	0.415	0.2	1.38	0.19	55.6	18.9	4.6	15
40	B3	0.336	0.455	0.47	0.15	1.26	0.11	67.6	21.2	4.6	36.8

Çizelge 2. DSSAT modelindeki Çelikli bölgesi toprak fiziksel ve kimyasal parametreleri

SLB: Derinlik, katman tabanı (cm); **SLMH:** Ana Horizon, **SLLL:** Bitki tarafından çıkarılabilir toprak suyu alt sınırı (cm³/cm³); **SDUL:** Drenaj üst sınırı (cm³/cm³); **SSAT:** Doymuş üst sınır (cm³/cm³); **SRGF:** Kök büyüme faktörü, sadece toprak (0 – 1); **SBDM:** Toprak yoğunluğu, nemli (g /cm³); **SLOC:** Organik karbon (%); **SLCL:** Kil (%); **SLSI:** Silt (%); **SLHW:** Sudaki pH; **SCEC:** Katyon değişim kapasitesi (cmol/kg).

2.4. DSSAT Bitki Büyüme Modeli

Bitki büyüme modelleri, bitkilerin gelişim sürecini nicel olarak analiz etmeye ve öngörmeye yarayan matematiksel çerçevelerdir. Bu modeller genellikle, bitkilerin genetik yapısı, çevresel koşullar (ışık, sıcaklık, su, besin vb.) ve fizyolojik faktörler (fotosentez, solunum, hormonlar) arasındaki ilişkileri dikkate alır (van Ittersum and Donatelli 2003).

DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), tarımsal araştırma ve planlama alanında sıkça kullanılan, farklı ürünlerin büyüme, gelişme ve verimlerini simüle eden kapsamlı bir yazılım paketidir. Modelleme yaklaşımı, bitkilerin büyüme süreçlerini ayrıntılı şekilde ele alırken aynı zamanda toprak, iklim koşulları ve yönetim uygulamaları (ekim zamanı, gübreleme, sulama) gibi çoklu değişkenleri de hesaba katar. Bu sayede, araştırmacılar ve tarım uzmanları farklı senaryolar üzerinde çalışarak en verimli yönetim stratejilerini belirleyebilir, ürün deseni optimizasyonu ve iklim değişikliğine uyum gibi konularda öngörülerde bulunabilmektedir. DSSAT'ın bileşenlerinde kullanılan modeller, bitki büyümesini sadece tek bir formüle dayalı olarak değil, fizyolojik süreçleri kapsayan karmaşık algoritmalar aracılığıyla incelenmektedir. DSSAT Modeli, Tahıllar, Baklagiller, Yağlı Tohumlar, Yumru Bitkiler, Lifli Bitkiler, Yem Bitkileri, Şeker Bitkileri, Meyveler, Sebzeler verim tahmini için kullanılır. DSSAT bitki simülasyon ailesinin birçok diğer modelden ayıran en önemli yönü, çok sayıda bitki üzerinde çalışma imkânı sunmasıdır. DSSAT bitki simülasyon ailesi, CERES, NWHEAT, CROPGRO, CANEGRO, CASUPRO ve SUBSTOR gibi farklı bitkiler için özelleştirilmiş modelleri içerir (Jones et al. 2003). CROPGRO modeli, fotosentez sırasında yapraklarda gerçekleştirilen karbon asimilasyonuna dayanan bir modelken, CERES modeli, güneş ışığı ile elde edilen birim biyokütle hesaplaması ile tanımlanan radyasyon tabanlı bir modeldir. Bu sistemde ayrıca genetik katsayılar (genetic coefficients), belirli bir bitki türü veya çeşidinin fenolojik, fizyolojik ve morfolojik özelliklerini tanımlayan kritik parametrelerdir. Bu katsayılar, farklı çevresel koşullarda bitkinin gelişimini ve verimini tahmin etmek için kullanılır. Genetik katsayılar, genellikle saha denemeleri ve model optimizasyon teknikleri kullanılarak belirlenir. Bu süreçte, farklı ekim tarihleri, su ve azot seviyeleri gibi değişkenler altında gerçekleştirilen gözlemler, model çıktıları ile karşılaştırılarak bitkiye özgü parametrelerin en iyi şekilde kalibre edilmesi sağlanır. Özellikle, ısı birikimi gereksinimi, yaprak alan indeksi, büyüme oranı ve tane doldurma süresi gibi özellikler, modelin tahmin doğruluğunu artırmada önemli rol oynar. Genetik katsayıların doğru bir şekilde belirlenmesi hem bölgesel hem de küresel ölçekte iklim değişikliğinin bitki verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek açısından büyük önem taşır. Bu

katsayılar, farklı genotiplerin çevresel streslere verdiği yanıtları anlamaya ve yeni tarımsal stratejiler geliştirmeye yardımcı olur. Aynı zamanda, sürdürülebilir tarım uygulamaları için en uygun çeşitlerin seçilmesi ve genetik ıslah programlarının yönlendirilmesi açısından da kritik bir bileşendir. Aşağıda genetik katsayı tesbiti için tarla deneme çalışmaları yapılmadığından dolayı ekiz çeşidinin üçüncü kuşak babası olan (CIMMYT 2017) Bezostaya-1 çeşidinin genetik katsayısı bulunmaktadır.

Çeşit	P1V ^a	P1D ^b	P5 ^c	G1 ^d	G2 ^e	G3 ^f	PHINT ^g
Ekiz (Bezostaya-1)	60	110	600	22	40	0.5	135

Çizelge 3. Ekiz çeşidinin CERES-Buğday modülü kapsamında genetik katsayıları.

^aP1V vernalizasyon için optimum günler (gün)

^bP1D fotoperiyodik cevap (% oranında azalma/fotoperiyod'daki 10 saatlik düşüş)

^cP5 tane doldurma süresi (°C/gün)

^dG1 kernel sayısı/çiçeklenmede kanopi ağırlığı (#/g)

^eG2 optimum koşullarda tane büyüklüğü (mg)

^fG3 stressiz kök filiz ağırlığı (gr kuru ağırlık)

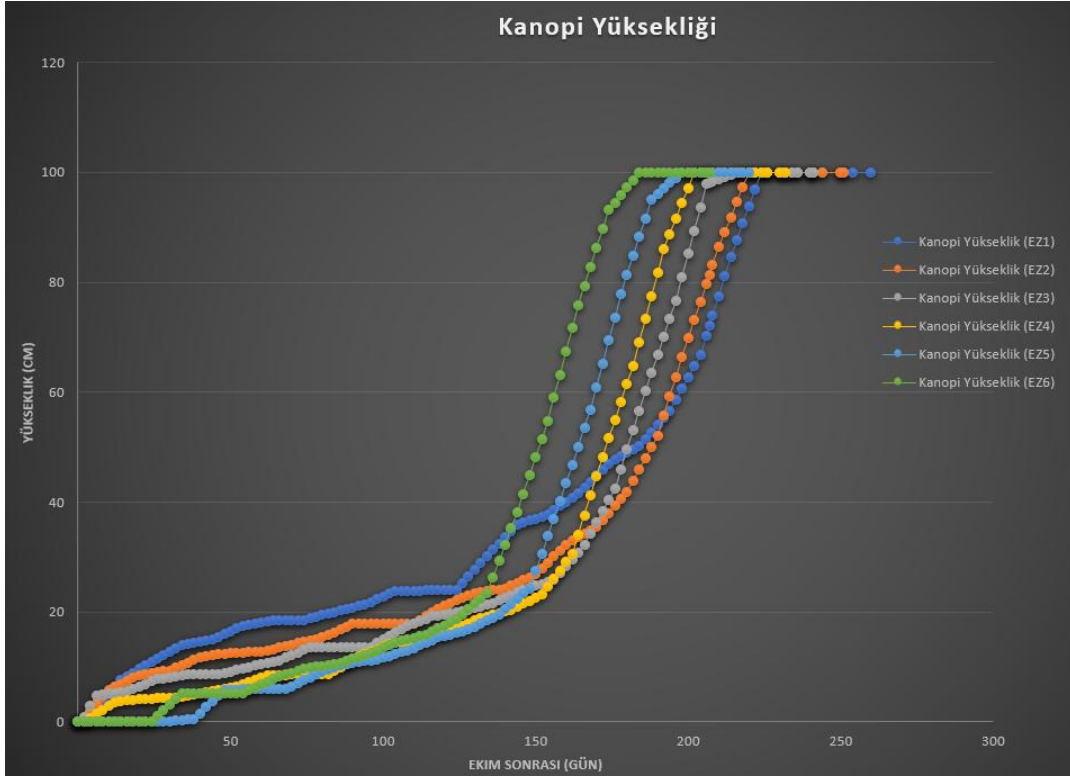
^gPHINT ardışık yaprak ucu görünüm aralığı (°C/gün).

3. Bulgular

Toplanan yönetim, toprak, iklim ve bitki katsayı verileri DSSAT Modelindeki seasonal uygulamasında açılan dosyada işlenmiştir. Modelin 7 Ekim tarihinde gerçek ekim (EZ1) ile başlayan treatment özelliği 15 gün sonrası olan 21 Ekim (EZ2), 30 gün sonrası olan 4 Kasım (EZ3), 45 gün sonrası olan 18 Kasım (EZ4), 60 gün sonrası olan 2 Aralık (EZ5) en son 75 gün sonrası olan 16 Aralık (EZ6) tarihi ile tamamlanmıştır. Tüm bu farklı tarihlerin simülasyonu ile Aşağıda bulunan 8 farklı model çıktısının performans karşılaştırması yapılmıştır.

3.1. Kanopi Yüksekliği

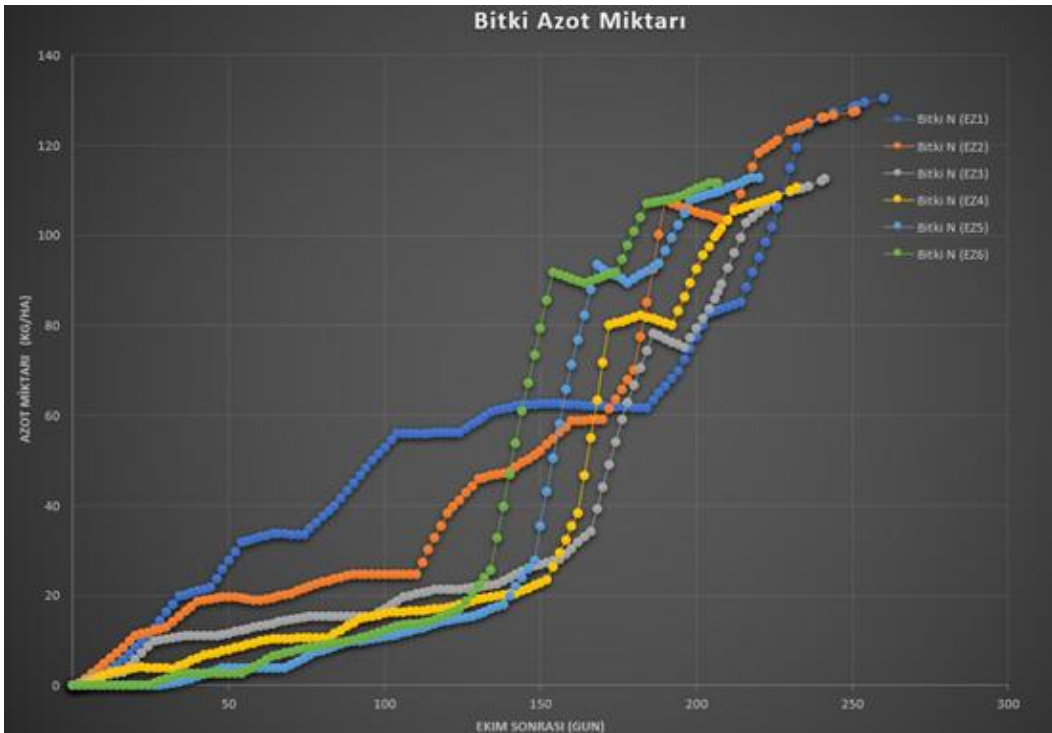
Diğer bitkilerde de olduğu gibi buğday bitkilerinde de bitki biyokütlesi ve fenotipik gelişimleri sulama ve özellikle uygun miktarda sağlanan Azot gübrelemesine dayanmaktadır. Ekiz buğday çeşidinin farklı tarihlere verdiği kanopi yükseklikleri performansları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte 150 günden sonra bazı tarihlerin erken boylanmaya başladığını göstermiştir. Aşağıdaki Şekil 3 de farklı tarihler bazında kanopi yükseklikleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Çelikli bölgesi buğday bitkisi kanopi yüksekliği grafiği

3.2. Bitki Azot Miktarı

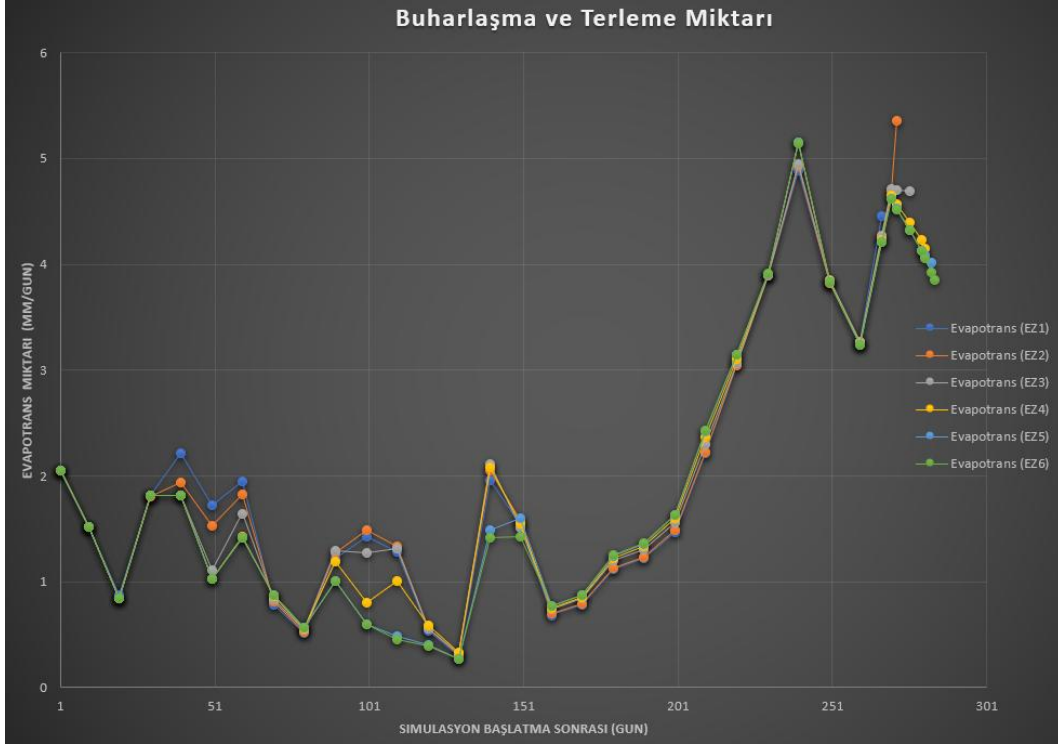
Toprağa verilen taban ve üst gübre miktarlarına göre bitkide gözlenen azot miktarları da ekim tarihine göre farklılık gösterdiği görülmüştür. EZ1 ve EZ2 gibi tarihli ekimlerde ilk 140 günlere kadar diğerlerinden iyi performans göstermiştir. Aşağıdaki Şekil 4 de görülen 150 günden sonraki günlerde geç ekim yapılanlar da en iyi azot miktarını kullanmaya başlamıştır.



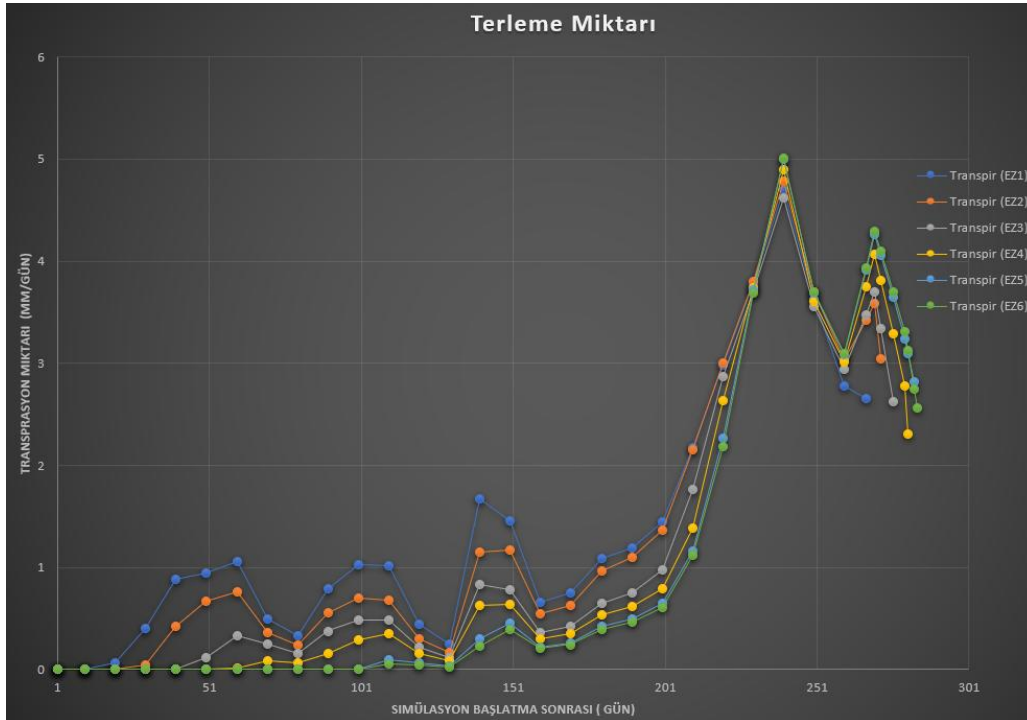
Şekil 4. Çelikli bölgesi buğday bitkisi kanopi yüksekliği grafiği

3.3. Buharlaşma ve Terleme Miktarları

Bitkinin yetiştirme performanslarını anlatan göstergelerden biri de sıcaklığa tepki olarak bitki fizyolojisinde oluşan evapotranspirasyon denilen topraktan buharlaşma ve bitkiden Terleme yoluyla çıkan nem miktarlarıdır. Aşağıdaki Şekil 5'te de genel itibariyle birbirine yakın oranlarda buharlaşma ve terleme olduğu görülmüştür. Fakat Şekil 6 da bitkiden terleme yoluyla çıkan nem miktarında ilk 200 günde az da olsa farklı ekim zamanına göre farklı tepkiler verilmiştir.



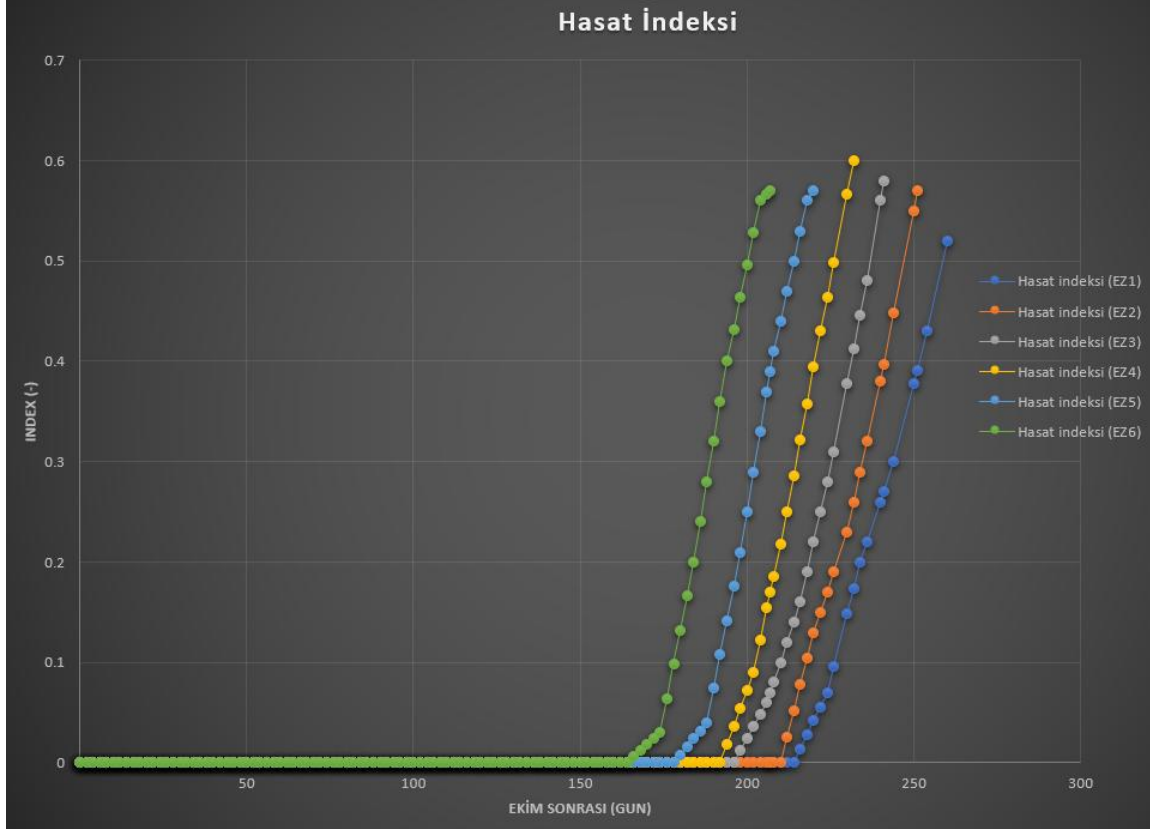
Şekil 5. Çelikli bölgesi buğday bitkisi buharlaşma ve Terleme miktarı grafiği



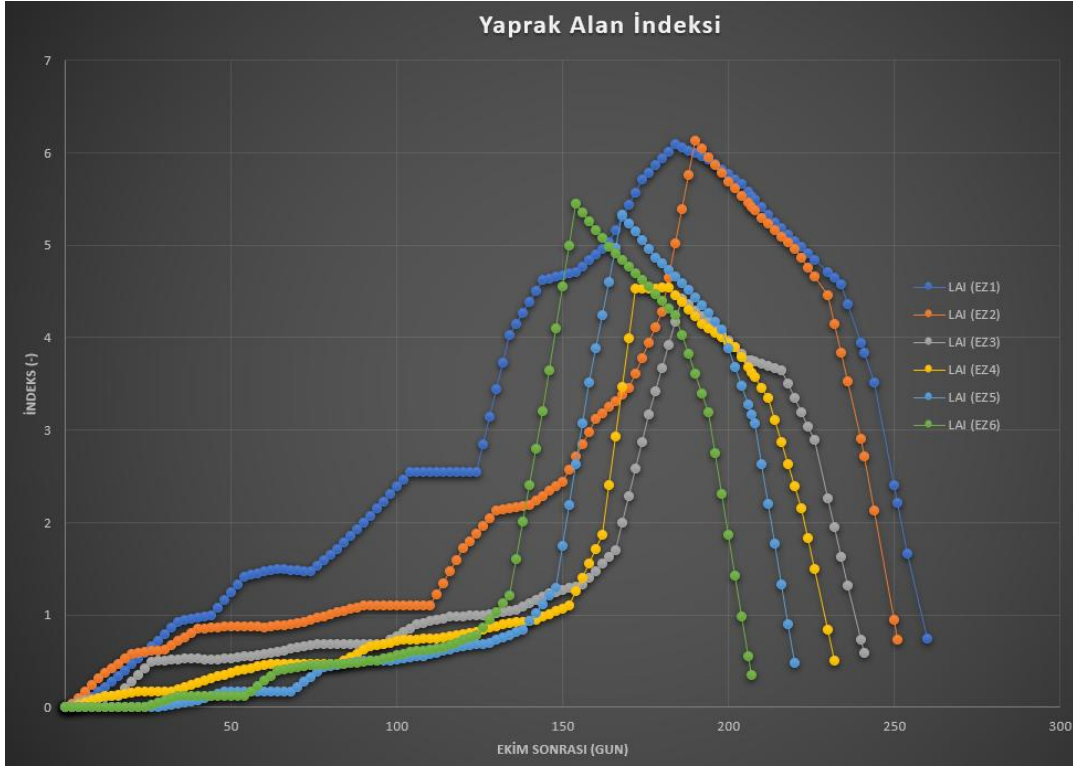
Şekil 6. Çelikli bölgesi buğday bitkisi Terleme miktarı grafiği

3.4. Yaprak Alan ve Hasat İndeksleri

Bitki İndeksleri bitkideki ürün performanslarını oranlar metodu ile gösteren en iyi analizlerdendir. Çalışmamız kapsamında bitkide en yaygın uygulanan indekslerden olan yaprak alan ve hasat İndekslerinin modeldeki yansımaları Aşağıdaki Şekil 7 ve Şekil 8 de gösterilmiştir. Hasat indeksinde geç ekimden başlayarak en erken tarihte ekim yapılan uygulamaya doğru bitki dane veriminin yükselmeye başladığı görülmüştür. Fakat yaprak alan indeksinde ilk ekim olan EZ1 en iyi performansı göstermiştir.



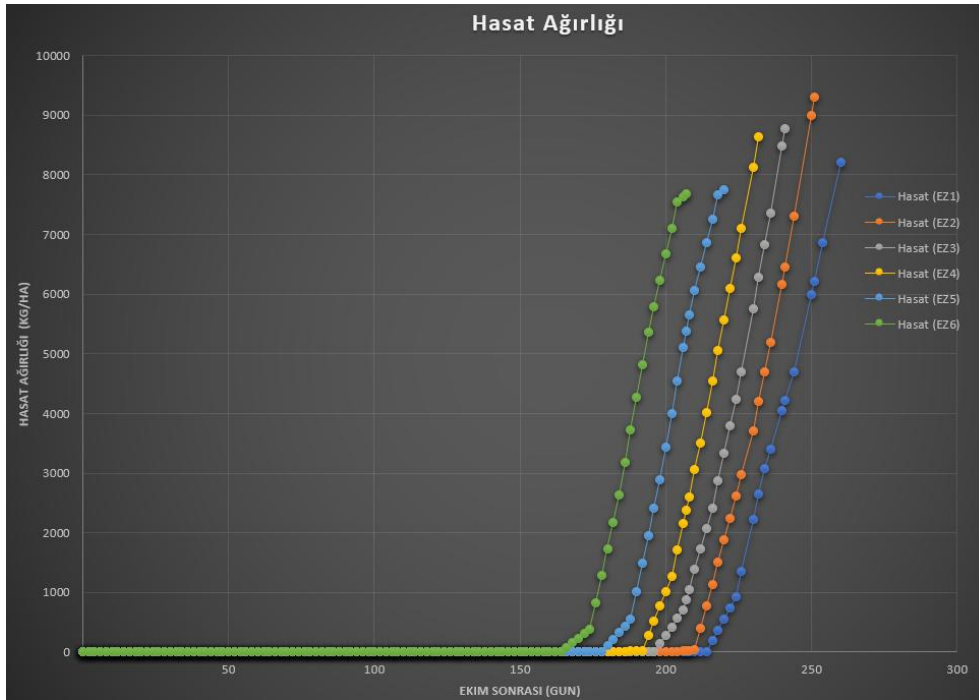
Şekil 7. Çelikli bölgesi buğday bitkisi hasat indeksi grafiği



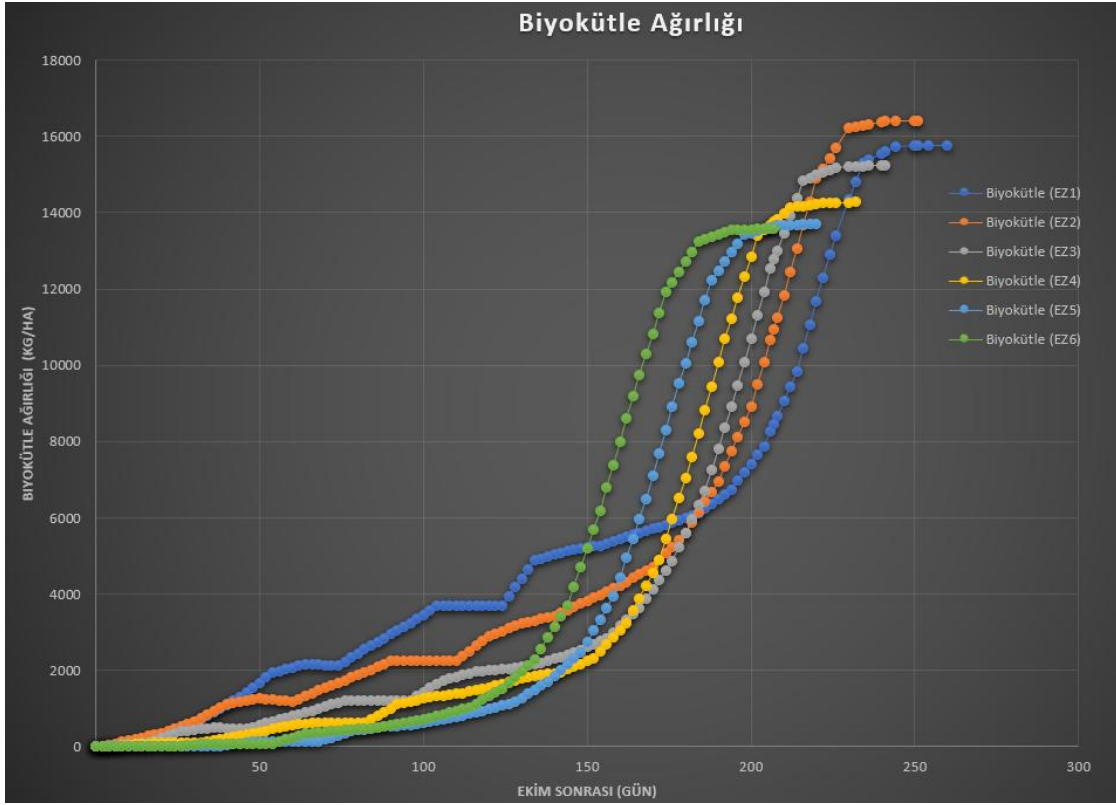
Şekil 8. Çelikli bölgesi buğday bitkisi yaprak alan indeksi grafiği

3.5. Biyokütle ve Hasat Ağırlıkları

Bitki modelinde ortaya çıkan son simülasyon performansı bitkinin biyokütle ve hasat ağırlıkları olmuştur. Verim miktarı olarak da bilinen hasat ağırlıklarında son ekim tarihlerinin en erken performans göstermeye başladıkları görülmüştür. Bitkinin yeşil aksamının yoğunluğu anlamındaki biyokütle ağırlığı ise tüm ekim tarihleri bazında küçük farklılıklarla birlikte birbirine paralel performans göstermişlerdir. Aşağıdaki Şekil 9 da hasat ağırlıklarını Şekil 10 da ise biyokütle ağırlıkları sergilenmiştir.



Şekil 9. Çelikli bölgesi buğday bitkisi Hasat ağırlığı grafiği



Şekil 10. Çelikli bölgesi buğday bitkisi biyokütle ağırlığı grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Dünyada ve ülkemizde en önemli temel besin kaynaklarından olan buğday, son zamanlarda global çevre problemleri ile birlikte verim ve kalitede azalma meydana gelmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkisine karşı tarımsal alanlarda uyumlaştırma uygulamaları da çözümler arasındadır. Bunlardan biri de ekim tarihini doğru belirlemektir. Çalışmamızda buğday bitkisinin Ekiz çeşidi olarak DSSAT bitki büyüme modelinde 15 gün aralıklı farklı ekim tarihleri uygulanmıştır. 6 farklı tarihler çerçevesinde bitki ürün yan çıktılarının simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucuna göre nihai hasat zamanında kanopi yüksekliğinde farklılık görülmemiştir. Bitki azot miktarındaki kısmi artışlar, gübreleme uygulamaları sonucu ve toprağın da fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre bitkiye yararlı nitrat ve amonyum geçişlerinin olduğu farkedilmiştir. Yine yaprak alan ve hasat İndeksleri de bitki fizyolojisindeki olumlu değişimlerin önemli birer göstergesi durumundadır. Çalışmalarımızda ayrıca biyokütle ağırlıklarında da yüksek miktarların ekim tarihlerinden bağımsız ortaya çıkması bitki besin maddelerinin toprak ve iklim şartları ile uyum içinde gelişme gösterdiği de anlaşılmıştır. Sonuç olarak, bu konuda farklı çeşitler bazında ekim zamanı, ekim aralık ve derinliği, ekim miktarı ve gübreleme ve sulama miktarları yönünden daha fazla simülasyon ve denemeler yapılması gerekmektedir.

5. Teşekkür

Çalışmamız için Gaziaosmanpaşa Üniversitesi zırat fakültesi toprak bölümü ile işbirliği yapan çelikli bölgesi buğday üreticilerine anket ve bilgi paylaşımları için teşekkür ederiz.

6. Kaynakça

Ahmed, Zeeshan; Gui, Dongwei; Qi, Zhiming; Liu, Yi; Liu, Yunfei; Azmat, Muhammad (2022): Agricultural system modeling: current achievements, innovations, and future roadmap. In *Arabian Journal of Geosciences* 2022 15:4 15 (4), pp. 1–13. DOI: 10.1007/S12517-022-09654-

7.

Bannayan, Mohammad; Hoogenboom, Gerrit (2009): Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. In *Field Crops Research* 111 (3), pp. 290–302. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.01.007.

Gavasso-Rita, Yohanne Larissa; Papalexidou, Simon Michael; Li, Yanping; Elshorbagy, Amin; Li, Zhenhua; Schuster-Wallace, Corinne (2024): Crop models and their use in assessing crop production and food security: A review. In *Food and Energy Security* 13 (1), Article e503. DOI: 10.1002/fes3.503.

Gijsman, A. J.; Thornton, Philip K.; Hoogenboom, Gerrit (2007): Using the WISE database to parameterize soil inputs for crop simulation models. In *Computers and Electronics in Agriculture* 56 (2), pp. 85–100. DOI: 10.1016/j.compag.2007.01.001.

Jones, J. W.; Hoogenboom, G.; Porter, C. H.; Boote, K. J.; Batchelor, W. D.; Hunt, L. A. et al. (2003): The DSSAT cropping system model. In *European Journal of Agronomy* 18 (3-4), pp. 235–265. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7.

Ministry of Agriculture and Forestry (2022): Crop Production Statistics. TurkStat. Ankara.

Özdemir, Ayfer; Volk, Martin; Strauch, Michael; Witing, Felix (2024): The Effects of Climate Change on Streamflow, Nitrogen Loads, and Crop Yields in the Gordes Dam Basin, Turkey. In *Water* 16 (10), p. 1371. DOI: 10.3390/w16101371.

Özdoğan, Mutlu (2011): Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. In *Agriculture Ecosystems & Environment* 141 (1-2), pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.001.

Pequeno, Diego N. L.; Hernández-Ochoa, Ixchel M.; Reynolds, Matthew; Sonder, Kai; MoleroMilan, Anabel; Robertson, Richard D. et al. (2021): Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. In *Environ. Res. Lett.* 16 (5), p. 54070. DOI: 10.1088/1748-9326/abd970.

Romero, Consuelo C.; Hoogenboom, Gerrit; Baigorria, Guillermo A.; Koo, Jawoo; Gijsman, A. J.; Wood, Stanley (2012): Reanalysis of a global soil database for crop and environmental modeling. In *Environmental Modelling & Software* 35, pp. 163–170. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2012.02.018.

Shelia, Vakhtang; Hansen, James; Sharda, Vaishali; Porter, Cheryl; Aggarwal, Pramod; Wilkerson, Carol J.; Hoogenboom, Gerrit (2019): A Multi-scale and Multi-model Gridded Framework for Forecasting Crop Production, Risk Analysis, and Climate Change Impact Studies. In *Environmental Modelling & Software* 115 (February), pp. 144–154. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2019.02.006.

van Ittersum, M. K.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittone, P.; Hochman, Z. (2013): Yield gap analysis with local to global relevance-A review. In *Field Crops Research* 143, pp. 4–17.

van Ittersum, M. K.; Donatelli, M. (2003): Modelling cropping systems - Highlights of the symposium and preface to the special issues. In *European Journal of Agronomy* 18 (3-4), pp. 187–197. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00095-3.

Vanli, O. (2019): DSSAT Bitki Simülasyon Modeli ve Uzaktan Algılama Verilerinden Elde Edilen İndisler Kullanılarak Buğday Verim Tahmini: İslahiye Ve Nurdağı Örneği. *Bilişim Uygulamaları*

Anabilim Dalı Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı. Doktora Tezi. İTÜ, İstanbul. Bilişim Enstitüsü.

Yang, J. M.; Yang, J. Y.; Dou, S.; Yang, X. M.; Hoogenboom, G. (2013): Simulating the effect of long-term fertilization on maize yield and soil C/N dynamics in northeastern China using DSSAT and CENTURY-based soil model. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 95 (3), pp. 287–303. DOI: 10.1007/s10705-013-9563-z.