

Çavdar bitkisinde (*Secale cereale* L.) bazı karakterlerin büyüme analizleri: Toprak üstü ve kök büyümesi *

Ufuk KARADAVUT^{a,*}

Abdurrahman TOZLUCA^b

^a Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

^b Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Konya, Türkiye

Growth analysis some characters in rye plants (*Secale cereale* L.) Growth of root and upper ground parts

SUMMARY

In this study, goodness of fit of different growth curves to different characters of rye plant was evaluated. This study was carried out in experimental station of Bahri Dağdaş International Agricultural Research Institute with Aslım-95 rye cultivar. Logistic, Gompertz, Richards and Weibull growth models were tested. Characters measured were total fresh and dry matter upper ground and root fresh and dry weight. Results show that root dry weight was modeled better by fitting Richards's model, however, for other characters by Weibull model.

KEY WORDS: Rye, growth analysis, growth curves

ÖZET

Bu çalışma ile farklı büyüme modelleri kullanarak çavdar bitkisinin çeşitli karakterlerine ait büyüme eğrilerini en iyi belirleyen modelin tespiti amaçlanmıştır. Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün deneme arazilerinde yürütülen bu çalışmada Aslım-95 çavdar çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Model olarak Lojistik, Gompertz, Richards ve Weibull büyüme modelleri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada çavdar bitkisine ait toprak üstü taze ve kuru ağırlıkları ile toprak altı taze ve kuru ağırlıkları belli aralıklarla belirlenerek bu kısımların büyümeleri incelenmiştir. Sonuç olarak, çavdar bitkisine ait karakterlerden toprak üstü taze ve kuru ağırlık ile toprak altı taze ağırlıklar Weibull modeli tarafından iyi tanımlanırken, toprak altı kuru ağırlığı ise Richards modeli tarafından daha iyi tanımlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Çavdar, büyüme analizleri, büyüme eğrileri

GİRİŞ

Büyüme, canlıların en önemli biyolojik özelliklerinden birisidir. Büyümenin standart bir tanımı olmamakla birlikte büyüme, genel anlamda tek hücreli basit mikroorganizmalardan çok hücreli yüksek organizmalara kadar bütün canlılarda boyut, ağırlık ve

sayı bakımından zamana bağlı olarak meydana gelen artışları ifade etmektedir. Genetik potansiyele bağlı olarak pek çok çevresel etmenin de etkisi altında değişen ve gelişen büyüme, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Canlı organizmalar ile temel besin ihtiyaçlarının temini arasında doğrudan ilişki olması nedeniyle, birçok araştırmacı canlılardaki büyüme

*E-posta: ukaradavut@yahoo.com

*

Bu çalışma doktora tezinin bir kısmının özetidir.

olaylarının bağlı olduğu mekanizmaları izah edebilmek için çalışmalar yapmışlardır.

Bitki büyüme analizleri, 1920'lerde bitki fizyolojisinin temel bir metodolojisini geliştirmeye çalışan Blackman tarafından kullanılmaya başlanmış ve bu yeni bir dönüm noktası olarak değerlendirilmiştir. Evans (1972), büyümenin matematiksel analizlerinin yapılışındaki zorluklar üzerinde çalışmış ve büyüme fizyolojisinin oldukça karmaşık bir yapıda olması nedeniyle büyümeyi matematiksel modeller yardımıyla açıklamanın çevre ve genetik faktörlerin etkileri nedeniyle oldukça zor olduğunu ifade etmiştir.

Bitkilerde büyümenin matematiksel modellerle tanımlanması konusunda pek çok alanda çalışmalar yapılmıştır. Meşe ağaçlarında (Zhang 1997), soya fasulyesinde (Zur ve ark. 1983), mısır bitkisinde (Dwyer ve Stewart 1986; Cerrato ve Blackmer 1990), marul, karnabahar, pırasa ve kerevizde (Scaifa ve ark. 1987), domuz ayrığı ve çok yıllık çimde (Joliffe ve ark. 1988), yeraltı üçgülünde (Mustears 1989), ladin ağaçlarının büyümesi (Fekeduleng ve ark. 1999), çam ağaçlarında (Fleming 2001), bakteri popülasyonunun büyümesinde (Schepers ve ark. 2000, Lopez ve ark. 2004), sirken bitkisinde (Damgaard ve ark. 2002) ve buğday bitkisinde (Villegas ve ark., 2001, Zahedi ve Jenner 2003) büyümenin matematiksel modellerle modellenmesi yapılmıştır. Ancak yaptığımız literatür çalışmasında çavdar konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye içerisinde de bu konuda herhangi bir çalışmanın yapılmamış olması çavdar bitkisinin geniş adaptasyon yeteneğinden dolayı böyle bir çalışmanın yapılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde bu konudaki çalışmalar bitkilerden çok hayvanların büyümelerinin belirlenmesine yönelik olmuştur ve bu konuda pek çok çalışma bulunmaktadır.

Bitkiler üzerinde yapılacak büyüme çalışmalarında elde edilen büyüme eğrileri ile

a) Bitkilerin herhangi bir özelliğine ait ölçümlerin zamana göre nasıl değiştiği görsel olarak özetlenebilir,

b) Üzerinde çalışılan bitkilerin özellikleri bakımından farklı olup olmadıkları tespit edilebilir,

c) Bitkilerde verimi artırıcı denemelerde farklı muamele sonuçları birbirleri ile karşılaştırılabilir,

d) Elde edilen verilerden değişkenlere ilişkin daha sonraki ağırlıkları tahminleyerek bitkinin en uygun olgunlaşma ve hasat zamanı belirlenebilir,

e) Büyüme ve gelişme aşamalarında ortaya çıkabilecek sorunları ortaya koymak ve bunların neden olduğu ekonomik sonuçları kontrol etme imkânımız olabilmektedir.

Bu çalışmada, bitki büyümesini tanımlayan büyüme eğrileri ile ilgili veri tipleri incelenmiş ve uygulamada kullanılabilecek modeller üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Öncelikle bu veri tiplerine uydurulacak olan asimptotik büyüme fonksiyonlarının matematiksel bağıntıları, bunların parametreleri ve biyolojik yorumları verilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bitkiler üzerinde çalışan ve aynı fertler üzerinde zaman içerisinde birden fazla ölçüm

alan araştırmacıların, bu verileri en iyi şekilde değerlendirebilmesine imkân tanıyan bir kaynak oluşturmak ve literatürde bu konuda görülen eksikliği tamamlamaktır. Ayrıca, asimptotik fonksiyonların bu çalışmada yer alan teorik eğrilerine göre ve önceki bilgilerden yararlanarak elde edilen verilere ne tip bir model uydurulabileceğinin tespitinde araştırmacılara yardımcı olunması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada, materyal olarak Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilen, 1995 yılında Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Kurumu tarafından tescil edilen Aslım-95 çavdar çeşidi kullanılmıştır.

Çalışmada Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün arazilerinde tohumluk üretimi amacı ile 2002–2003 yıllarında yetiştirilen çavdar bitkilerinde, çıkıştan itibaren çavdar taneleri fizyolojik olumlarını tamamladıkları döneme kadar 4 gün aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Bitkiler tamamen doğal şartlarda büyütülmüş gübre ve ilaç verilmemiş, sulama yapılmamıştır. Ölçümler, her iki yılda da tekerrür oluşturabilmek amacıyla tarlanın tesadüfen belirlenen üç farklı noktasından her ölçümde 5 bitki alınarak yapılmıştır. Bitkiler topraktan mümkün olduğunca dikkatli bir şekilde çıkarılmış ve laboratuvar koşullarında musluk suyu ile temizlendikten sonra aşağıdaki ölçümler yapılmıştır. Bitkilerde yapılan ölçümler şu şekildedir;

Toprak üstü taze ağırlığı: Toprak yüzeyinden itibaren bitkinin toprak üstündeki tüm kısımlarının taze olarak 0.001 hassasiyetindeki terazide tartılması ile elde edilmiştir.

Toprak üstü kuru ağırlığı: Toprak üstü kısımların fırında 105 °C 'de 24 saat kurutulmasından sonra 0.001 hassasiyetindeki terazide tartılması ile elde edilmiştir.

Kök taze ağırlığı: Toprak yüzeyinden itibaren bitkinin toprak altında kalan tüm kısımlarının yıkanıp temizlendikten sonra 0.001 hassasiyetindeki terazide tartılması ile elde edilmiştir.

Kök kuru ağırlığı: Kök taze ağırlığının fırında 105 °C'de 24 saat kurutulmasından sonra 0.001 hassasiyetindeki terazide tartılması ile elde edilmiştir.

Çalışmada şu matematiksel modeller kullanılmıştır (Seber ve Wild, 1989);

1. Lojistik Büyüme Modeli:

$$Y = a / (1 - be^{-ct})$$

2. Richards Büyüme Modeli:

$$Y = a(1 \pm be^{-ct})^d$$

3. Gompertz Büyüme Modeli:

$$Y = ae^{-be^{-ct}}$$

4. Weibull Büyüme Modeli:

$$Y = a - be^{-ct^d}$$

Modellerin parametreleri şu şekilde açıklanabilmektedir;

- Büyüküğün asimptot değeridir,
- Bitkilerin büyümeye başladıkları dönemdeki büyüklük değerlerini ifade etmektedir,
- Net büyüme oranını ifade etmektedir,
- Büküm noktasındaki anlık büyüme hızını ifade etmektedir.

Modellerin büküm noktaları şu eşitlikler yardımı ile belirlenmiştir;

1. Lojistik Büyüme Modeli:

$$BN_L = \frac{a}{2}$$

2. Richards Büyüme Modeli:

$$BN_R = \frac{a}{d^{1/(d-1)}}$$

3. Gompertz Büyüme Modeli:

$$BN_G = \frac{a}{e}$$

4. Weibull Büyüme Modeli:

$$BN_W = \left(\frac{1}{c}\right)\left(\frac{d-1}{d}\right)^{(1/d)}$$

Model Karşılaştırma Kriterleri şu şekildedir;

- Belirtme katsayısı (R^2),
- Hata kareler ortalaması (HKO),
- Modelin hatası (S),
- Model etkinliği (ME);

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (O_i - \bar{O})^2}$$

Model etkinliği değerinin % 90'ın üzerinde olması durumunda etkin olarak kabul edilmektedir (Mohanty and Painuli 2004).

5) Temel Hata Kareler Ortalaması (THKO);

$$THKO = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - O_i)^2}{n}}$$

Temel hata kareler ortalaması değerinin sıfır'a yakın olması durumu tercih edilmektedir (Mohanty ve Painuli 2004).

6) Hata Kümesinin Katsayısı (HKK);

$$HKK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} O_i - \sum_{i=1}^{i=n} P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} O_i}$$

Hata kümesinin katsayısı -1 ile +1 arasında değişmektedir. Ancak sıfıra en yakın olan değer tercih edilmektedir (Mohanty ve Painuli 2004).

7) Etkinlik İndeksi (EI);

$$EI = \frac{\bar{O} - \bar{P}}{1 - \bar{P}}$$

Etkinlik indeksi kapa istatistiği olarak ta bilinmektedir. -1 ile +1 arasında değişmektedir. Genel olarak 0.00-0.40 arasında olan değerler zayıf, 0.40-0.60 arası orta derecede, 0.60-0.80 arası iyi ve 0.80 üzeri ise mükemmel olarak tanımlanmaktadır. Ancak sıfırın altında bir değer alınması durumunda değerlendirme yapılamamaktadır (Lundell ve ark. 1999, Tooth ve Ottebacher 2004).

Elde edilen veriler Statistica 6.0 paket programında analiz edilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Toprak üstü taze ve kuru ağırlıkları

Toprak üstü taze ağırlığına ilişkin ortalama ölçüm değerleri ve bunlara ait standart sapmalar Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 1 incelendiğinde toprak üstü kısmın ilk günlerden itibaren sürekli olarak arttığı görülmektedir.

Toprak üstü taze ağırlığının tanımlanması amacı ile denenen matematiksel modeller, modellerin parametre değerleri, modelin hatası, modelin belirtme katsayıları ve karşılaştırma kriterleri Çizelge 2'de, büyüme grafiği ise Şekil 1'de gösterilmektedir. Belirtme katsayısı, bütün modellerde %99'un üzerinde çıkmıştır. En yüksek belirtme katsayısı %99.68 ile Weibull modelinde olmuştur.

Ortalamasının ve 3.330 ile model hatasının düşük olması nedeni ile Gompertz modelinin Hata Kareler Ortalamasının düşüklüğüne rağmen diğer kriterler bakımından Weibull modelinin geride kalması nedeniyle, toprak üstü taze ağırlığını en iyi tanımlayan modelin Weibull olduğu söylenebilir.

Modellerin büküm noktaları ise Richards'da 88.23, Weibull'da 104.98, Lojistik'de 71.52 ve Gompertz'de ise 72.78 olarak tespit edilmiştir. Gompertz ve Lojistik modelin büküm noktaları birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Weibull modelinde büküm ileriki devrelerde olmaktadır. Özellikle gübreleme ve sulama işlemleri yapılırken bu noktaların dikkate alınması etkinlik açısından önem arz etmektedir.

Çizelge 1. Toprak üstü taze ağırlığına ait ortalama (g) ve standart sapmaları

Ö. A.* (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$
4	0.11±0.000007	44	1.206±0.0002	84	24.410±8.561	124	74.66±1.300
8	0.13±0.000019	48	1.975±0.0006	88	29.707±5.840	128	80.01±6.020
12	0.15±0.000046	52	2.645±0.0016	92	36.426±7.640	132	91.01±8.040
16	0.17±0.000044	56	4.306±0.0250	96	39.967±4.890	136	97.06±1.400
20	0.29±0.000042	60	6.655±0.0530	100	45.176±2.040	140	107.36±6.340
24	0.26±0.000019	64	8.209±0.7960	104	49.176±1.750	144	115.02±1.530
28	0.37±0.000019	68	13.059±0.073	108	53.023±1.500	148	122.82±6.830
32	0.43±0.000871	72	15.354±1.910	112	56.065±2.180	152	121.69±5.670
36	0.59±0.000393	76	17.260±1.8910	116	61.637±7.370	156	118.73±1.130
40	0.87±0.000144	80	21.784±1.360	120	68.046±4.440	160	114.83±3.100

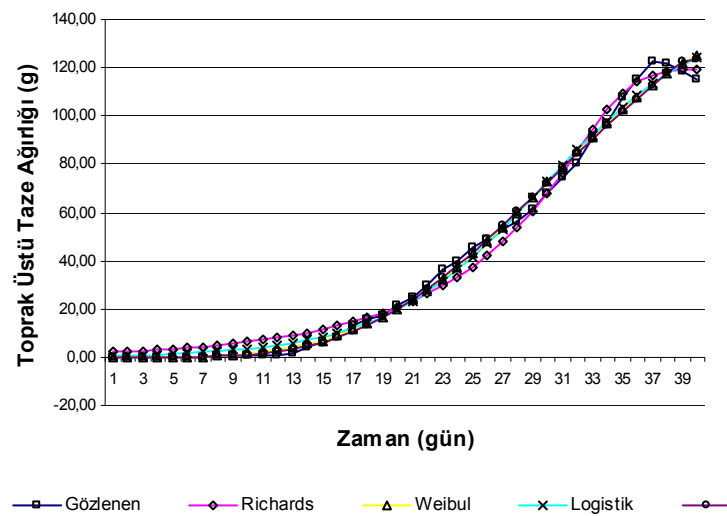
*Ö.A: Ölçüm aralığı

Çizelge 2. Toprak üstü taze ağırlığına ilişkin model parametreleri, büküm noktaları ve model karşılaştırma kriterleri

Modeller	Model parametreleri			
	A	b	c	d
Lojistik	143.05 ± 5.715	0.046 ± 0.00250	119.3800 ± 2.2670	-
Gompertz	197.83 ± 9.845	12.063 ± 1.35600	0.0206 ± 0.0040	-
Richards	119.61 ± 8.215	27.789 ± 3.26500	0.2000 ± 0.0024	6.710 ± 0.694
Weibull	108.05 ± 4.184	1.879 ± 2.24970	0.0090 ± 0.0002	4.469 ± 0.387

Büküm noktası	Model karşılaştırma kriterleri						
	R ²	HKO	S	ME	THKO	HKK	Eİ
71.52	99.63	13.385	3.670	99.25	1.446	-0.0123	0.0124
72.78	99.63	11.091	3.360	99.39	1.317	0.0066	-0.0068
88.23	99.47	18.996	4.270	98.94	1.723	-0.0279	0.0278
104.98	99.68	11.500	3.330	99.36	0.036	0.00003	-0.00002

R²: Belirtme katsayısı, HKO: Hata kareler ortalaması, S: Modelin hatası, ME: Model etkinliği, THKO: Temel hata kareler ort., HKK: Hata kümesi katsayısı, Eİ: Etkinlik indeksi



Şekil 1. Toprak üstü taze ağırlığına ait tahmin edilen ve ölçülen değerlerin durumu

Çizelge 3. Toprak üstü kuru ağırlığına ait ortalama değerler ve standart sapmaları

Ö. A.* (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$
4	0.03±0.000123	44	0.315±0.00001	84	7.967±0.00137	124	21.30±0.084
8	0.03±0.000001	48	0.429±0.00001	88	9.111±0.00038	128	22.36±0.027
12	0.05±0.000002	52	0.769±0.00001	92	10.377±0.0004	132	24.412±0.07
16	0.07±0.000001	56	0.957±0.00001	96	11.366±0.0007	136	24.988±0.01
20	0.08±0.000001	60	1.235±0.00002	100	13.3±0.00031	140	25.345±0.01
24	0.09±0.000002	64	2.368±0.00011	104	14.152±0.0004	144	27.363±0.78
28	0.11±0.000002	68	4.368±0.00022	108	15.612±0.0008	148	28.999±0.51
32	0.14±0.000002	72	5.621±0.00015	112	16.787±0.0005	152	24.631±0.57
36	0.19±0.000003	76	6.457±0.00087	116	18.331±0.0006	156	22.158±0.66
40	0.24±0.000006	80	7.332±0.00106	120	19.502±0.0170	160	20.326±0.40

*Ö.A: Ölçüm aralığı

Toprak üstü kuru ağırlığına ilişkin ortalama ölçüm değerleri ve bunlara ait standart sapmalar Çizelge 3'de verilmektedir. Çizelge 3 incelendiğinde toprak üstü kuru ağırlığının ilk günlerden itibaren önceleri yavaş daha sonra ise hızlanarak sürekli olarak arttığı görülmektedir. Toprak üstü kuru ağırlığının tanımlanması amacı ile denenen matematiksel modeller, modellerin parametre değerleri, hataları,

belirtme katsayıları ve karşılaştırma kriterleri Çizelge 4'de ve büyüme grafiği ise Şekil 2'de gösterilmektedir. Belirtme katsayısı en yüksek %99.37 ile Weibull modelinde olmuştur. Bunu %99.33 ile Richards modeli izlemiştir. Model etkinliği konusunda tüm modeller %90.00'ın üzerinde değere sahip olmaları nedeniyle modellerin bu konuda benzer oldukları düşüncesiyle herhangi bir seçim değerlendirmesi yapılamamıştır.

Çizelge 4. Toprak üstü kuru ağırlığına ilişkin model parametreleri, büküm noktaları ve model karşılaştırma kriterleri

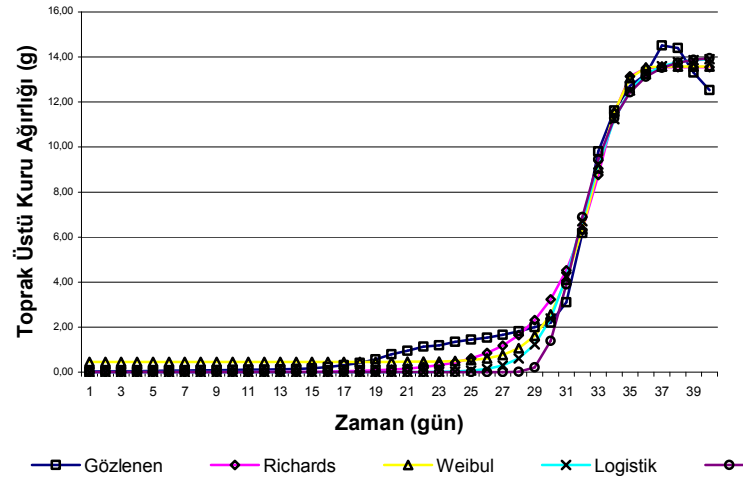
Modeller	Model parametreleri			
	A	b	c	d
Lojistik	13.9387 ± 0.4139	0.18789 ± 0.0310	128.41600 ± 7.171	-
Gompertz	14.0450 ± 1.7271	107538 ± 3.5407	0.14771 ± 0.005	-
Richards	13.5531 ± 0.9451	72.6057 ± 2.6891	0.52960 ± 0.0015	6.31084 ± 0.985
Weibull	13.5834 ± 0.2647	0.4559 ± 0.1153	0.00700 ± 0.00004	18.91560 ± 2.195

Büküm noktası	Model karşılaştırma kriterleri						
	R ²	HKO	S	ME	THKO	HKK	Eİ
6.97	98.97	0.498	0.630	97.94	3.485	0.10123	-0.1711
5.17	98.63	0.657	0.710	97.28	3.936	0.12633	-0.2229
9.89	99.33	0.322	0.560	98.67	2.754	0.05338	-0.0834
10.45	99.37	0.302	0.550	98.75	0.007	-0.00007	0.0001

R²: Belirtme katsayısı, HKO: Hata kareler ortalaması, S: Modelin hatası, ME: Model etkinliği, THKO: Temel hata kareler ort., HKK: Hata kümesi katsayısı, Eİ: Etkinlik indeksi

Etkinlik indeksi (Eİ) ise yalnızca Weibull modelinde sıfırın üzerinde çıkmış ve düşük etkinlik gözlenirken, Gompertz, Lojistik ve Richards modellerinde negatif değer bulunmuştur. Ancak Weibull modelindeki etkinlik indeksi katsayısının sıfıra oldukça yakın bir değer olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar model seçimi yapmamıza yetecek bir sonuç olarak değerlendirilememiştir. 0.302 Hata Kareler ortalaması, 0.550 model hatası, 0.007 Temel hata kareler ortalaması ve -0.00007 ile Hata Kümesinin Katsayısının diğer modellere göre düşük olması

nedeni ile toprak üstü kuru ağırlığını en iyi tanımlayan modelin Weibull olduğu söylenebilir. Modellerin büküm noktaları ise Richards'da 9.89, Weibull'da 10.45, Lojistik'de 6.97 ve Gompertz'de ise 5.17 olarak tespit edilmiştir. Toprak üstü taze ağırlığında olduğu gibi özellikle gübreleme ve sulama işlemleri yapılırken bu noktaların dikkate alınması etkinlik açısından önem arz etmektedir. Çünkü büküm noktasını geçtikten sonra artık büyüme hızı azalmaya başlamakta ve yapılan gübreleme ve sulamadan faydalanma miktarı zamanla azalmaktadır.



Şekil 2. Toprak üstü kuru ağırlık için tahmin edilen ve ölçülen değerlerin durumu

Kardeşlenmeye kadarki dönemde toprak üstü taze ağırlığın artması oldukça yavaş olmaktadır. Daha sonra havaların ısınması ile hızlı bir gelişme göstermişlerdir. Sapa kalkma dönemi olarak belirlenen bu dönemde bitkiler hızlı bir şekilde büyüme devresine girmektedirler. Bu bir anlamda ikinci bir büyüme devresidir. Başaklanma ile büyüme yavaşlamaya başlamış ve olgunlaşma ile büyüme durmuş ve daha sonra bir miktar azalma görülmüştür. Bu azalma bitkilerin olgunlaşma ile birlikte bünyelerinden kaybettikleri suyun fazla olması nedeni ile oluşan kurumadan kaynaklanmaktadır. Bitkilerin iyi bir gelişme gösterebilmeleri ve genetik yapılarında var olan potansiyel büyümeyi gerçekleştirebilmeleri bütün çevre faktörlerinin en iyi olduğunda mümkün olabilecektir.

Kök taze ve kuru ağırlıkları

Kök taze ağırlığına ilişkin ortalama ölçüm değerleri ve bunlara ait standart sapmalar Çizelge 5'de

verilmektedir. Çizelge 5 incelendiğinde kök taze ağırlığının ilk günlerden itibaren önceleri yavaş daha sonra ise hızlanarak sürekli olarak arttığı görülmektedir.

Kök taze ağırlığının tanımlanması amacı ile denenen matematiksel modeller, modellerin parametre değerleri ve model karşılaştırma kriterleri Çizelge 6'da, büyüme grafiği ise Şekil 3'de gösterilmektedir.

Kök taze ağırlığına ilişkin incelenen modeller içinde en yüksek belirtme katsayısı değeri 99.87 ile Richards modelinde olmuştur. Bunu 99.20 ile Weibull modeli izlemiştir. Model etkinliği konusunda tüm modeller %90.00'ın üzerinde değere sahip olmaları nedeniyle modellerin bu konuda benzer oldukları düşüncesiyle herhangi bir seçim değerlendirmesi yapılamamıştır. Etkinlik indeksi ise bütün modellerde negatif çıkmıştır. Etkinlik indeksinin sıfırın üzerinde olması gerektiğinden etkinlik indeksi konusunda değerlendirme yapılamamıştır.

Çizelge 5. Kök taze ağırlığına. ait ortalama (g) ve standart sapmalar

Ö. A.* (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$
4	0.054±0.00002	44	0.183±0.0006	84	1.53±0.0008	124	5.18±0.005
8	0.064±0.00002	48	0.212±0.0006	88	1.72±0.0011	128	5.95±0.003
12	0.075±0.00003	52	0.267±0.0002	92	1.95±0.0006	132	6.89±0.017
16	0.083±0.00004	56	0.321±0.0003	96	2.19±0.0017	136	8.43±0.054
20	0.101±0.00813	60	0.468±0.0002	100	2.46±0.0004	140	9.20±0.012
24	0.115±0.00005	64	0.704±0.0009	104	2.74±0.0021	144	9.39±0.015
28	0.122±0.00003	68	0.893±0.0012	108	3.07±0.0033	148	9.35±0.017
32	0.131±0.00006	72	1.007±0.0022	112	3.34±0.0034	152	9.23±0.023
36	0.155±0.00001	76	1.203±0.0009	116	3.90±0.0045	156	9.03±0.026
40	0.173±0.00001	80	1.371±0.0011	120	4.52±0.0064	160	8.65±0.008

*Ö.A: Ölçüm aralığı

Çizelge 6. Kök taze ağırlığına ilişkin model parametreleri, büküm noktaları ve model karşılaştırma kriterleri

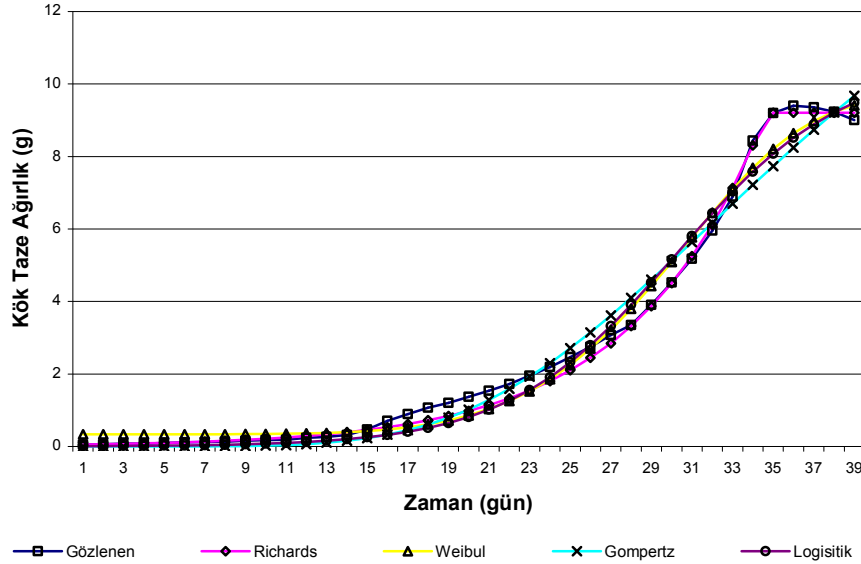
Modeller	Model parametreleri			
	a	b	c	d
Lojistik	10.590 ± 0.5440	0.060 ± 0.006	120.8200 ± 2.320	-
Gompertz	16.712 ± 1.7210	15.590 ± 1.540	0.0215 ± 0.005	-
Richards	9.211 ± 0.8654	730.800 ± 10.26	5.2689 ± 0.241	137.6100 ± 1.02
Weibull	9.644 ± 0.3429	0.337 ± 0.115	0.0079 ± 0.001	6.2337 ± 0.60

Büküm noktası	Model karşılaştırma kriterleri						
	R ²	HKO	S	ME	THKO	HKK	Eİ
5.30	99.04	0.2850	0.535	97.40	2.471	0.03599	-0.05790
6.15	98.67	0.2007	0.449	98.08	2.890	0.02516	-0.03980
8.89	99.87	0.0490	0.210	99.55	1.197	0.02599	-0.04120
9.08	99.20	0.1740	0.422	98.39	2.262	0.00001	-0.00002

R²: Belirtme katsayısı, HKO: Hata kareler ortalaması, S: Modelin hatası, ME: Model etkinliği, THKO: Temel hata kareler ort., HKK: Hata kümesi katsayısı, Eİ: Etkinlik indeksi

Ancak, 0.000001 ile hata kümesinin katsayısının Weibull modelinde düşük olmasına rağmen, Richards modelinde 0.049 hata kareler ortalaması, 0.210 modelin hatası ve 1.197

temel hata kareler ortalaması değerlerinin düşük olması nedeniyle bitki boyunu en iyi Richards modelinin tanımladığı görülmüştür.



Şekil 3. Kök taze ağırlığı için tahmin edilen ve ölçülen değerler

Modellerin büküm noktaları ise Richards'da 8.89, Weibull'da 9.08, Lojistik'de 5.30 ve Gompertz'de ise 6.15 olarak tespit edilmiştir. Lojistik ve Gompertz modellerinde büküm noktaları erken dönemlerde olurken Richards ve Weibull modellerinde daha geç dönemlerde olmuştur. Büküm noktası büyümenin en

hızlı olduğu dönem olduğundan yapılacak agronomik çalışmalarda bu konuya dikkat edilmesi gerekmektedir. Kök taze ağırlığının zamana göre değişimi toprak bünyesi ve iklim şartları gibi çeşitli faktörler tarafından belirlenmektedir. Yağış miktarı ve sıcaklık toprak mikroorganizmalarının yaşamasını ve

topraktaki besin maddelerinin bitki tarafından kullanılabilirliğini etkilemektedir. Kök taze ağırlığın artışında süreklilik görülmemekte ve belli bir noktadan sonra bitki için ağırlık artışı azaldığı gibi kök ağırlığı da azalmaktadır. Özellikle çiçeklenme ile kök gelişmesi yavaşlamaya başlamaktadır. Daha sonra ise durmakta ve toprak neminin iklime bağlı olarak azalması ve bitkilerin dane olgunlaştırmaya ağırlık vermeleri nedeniyle kök gelişimini durdurmaktadırlar.

Kök kuru ağırlığına ilişkin ortalama ölçüm değerleri ve bunlara ait standart sapmalar Çizelge 7'de verilmektedir. Çizelge 7 incelendiğinde kök kuru ağırlığının ilk günlerden itibaren önceleri yavaş daha sonra ise hızlanarak sürekli olarak arttığı görülmektedir.

Kök kuru ağırlığının tanımlanması amacı ile denenen matematiksel modeller, modellerin parametre değerleri ve model karşılaştırma kriterleri Çizelge 8'de büyüme grafiği ise Şekil 4'de

gösterilmektedir. Kök taze ağırlığına ilişkin incelenen modeller içinde en yüksek belirtme katsayısı değeri 99.98 ile Weibull modelinde olmuştur. Bunu 99.65 ile Richards modeli izlemiştir. Model etkinliği konusunda tüm modeller %90.00'ın üzerinde değere sahip olmaları nedeniyle modellerin bu konuda herhangi bir seçim değerlendirmesi yapılamamıştır.

Etkinlik indeksi ise Richards, Gompertz ve Lojistik modelde negatif çıkmış, Weibull modelinde ise düşük etkinlik görülmüştür. Etkinlik indeksinin sıfırın üzerinde olması gerektiğinden etkinlik indeksi değerlendirmeye alınmıştır. Weibull modelinin 0.002 Hata Kareler Ortalaması, 0.00005 Model Hatası, 0.072 Temel Hata Kareler Ortalaması, -0.0025 Hata Kümesinin Katsayısı değerlerine sahip olması ve ayrıca diğer modellere göre etkinlik indeksinin yüksek olması nedeniyle kök kuru ağırlığının en iyi Weibull modelinin tanımladığı görülmüştür.

Çizelge 7. Kök kuru ağırlığına ait ortalamalar (g) ve standart sapmalar

Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$	Ö. A. (Gün)	$\bar{X} \pm S_x$
4	0.013±0.00002	44	0.15±0.0001	84	2.50±0.011	124	6.27±0.016
8	0.014±0.00003	48	0.22±0.0008	88	3.99±0.021	128	6.37±0.137
12	0.018±0.00005	52	0.29±0.0005	92	4.49±0.022	132	6.38±0.013
16	0.022±0.00008	56	0.35±0.0004	96	4.95±0.009	136	6.36±0.152
20	0.035±0.00006	60	0.43±0.0001	100	5.34±0.010	140	6.28±0.016
24	0.045±0.00002	64	0.57±0.0008	104	5.53±0.005	144	6.23±0.017
28	0.065±0.00007	68	0.65±0.0003	108	5.70±0.003	148	5.97±0.030
32	0.076±0.00007	72	0.89±0.0006	112	5.87±0.007	152	5.60±0.020
36	0.097±0.00014	76	1.14±0.0071	116	6.07±0.016	156	5.51±0.023
40	0.124±0.00011	80	2.09±0.0071	120	6.14±0.017	160	5.35±0.025

*Ö.A: Ölçüm aralığı

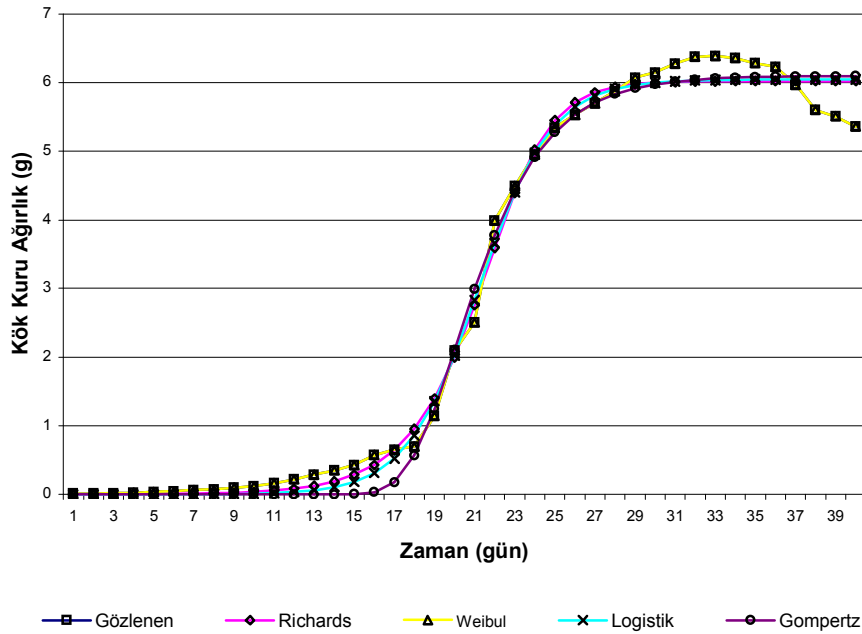
Çizelge 8. Kök kuru ağırlığına ilişkin model parametreleri, büküm noktaları ve model karşılaştırma kriterleri

Modeller	Model parametreleri						
	a	b	c	d			
Lojistik	6.0466 ± 0.0688	0.13906 ± 0.011	84.92870 ± 0.5767	-			
Gompertz	6.0933 ± 0.0568	3171.78000 ± 12.365	0.10000 ± 0.0001	-			
Richards	6.0219 ± 0.0489	15.15710 ± 1.2630	0.16880 ± 0.0233	1.6562 ± 0.367			
Weibull	5.3610 ± 0.0236	0.20810 ± 0.0012	0.21230 ± 0.0145	0.1094 ± 0.003			
Büküm noktası	Model karşılaştırma kriterleri						
	R ²	HKO	S	ME	THKO	HKK	Eİ
3.01	99.63	0.0540	0.23200	99.25	1.245	0.0134	-0.0207
2.24	99.49	0.0740	0.26500	98.98	1.456	0.0245	-0.0383
3.34	99.65	0.0510	0.22900	99.29	1.215	0.0076	-0.0117
4.55	99.98	0.0002	0.00005	99.99	0.072	-0.0025	0.0037

R²: Belirtme katsayısı, HKO: Hata kareler ortalaması, S: Modelin hatası, ME: Model etkinliği, THKO: Temel hata kareler ort., HKK: Hata kümesi katsayısı, Eİ: Etkinlik indeksi

Modellerin büküm noktaları ise Richards'da 3.34, Weibull'da 4.55, Lojistik'de 3.01 ve Gompertz'de ise 2.24 olarak tespit edilmiştir. Kök taze ağırlığının zamana göre değişimi toprak bünyesi ve iklim şartları gibi çeşitli faktörler tarafından belirlenmektedir. Yağış miktarı ve sıcaklık toprak mikroorganizmalarının yaşamasını ve topraktaki besin maddelerinin bitki tarafından kullanılabilirliğini etkilemektedir. Kök taze ağırlığı artışında süreklilik görülmemekte ve belli bir noktadan sonra bitki için ağırlık artışı azaldığı gibi kök ağırlığı da azalmaktadır. Özellikle çiçeklenme ile kök gelişmesi yavaşlamaya başlamaktadır. Bu dönemde bitkiler enerjilerini toprak altından ziyade toprak üstü kısmını geliştirmek için harcamaktadırlar. Daha sonra ise durmakta ve toprak neminin iklime bağlı olarak azalması ve bitkilerin dane olgunlaştırmaya ağırlık

vermeleri nedeniyle kök gelişimini durdurmaktadırlar. Bitkiler toprak yüzüne çıkmaları ile birlikte kışa daha kuvvetli girebilmek için toprak üstü kısımlarından ziyade toprak altı organlarını geliştirmeye çalışırlar. Bu nedenle kardeşlenmeye kadarki dönemde toprak üstü ağırlığın artması oldukça yavaş olmaktadır. Buna karşın toprak altı kısımları hızlı bir şekilde artmaya başlar. Başaklanma ve çiçek oluşumu ile kök büyümesi durma noktasına gelmektedir. Bu nedenle kök kuru ağırlığı da belli bir noktadan sonra durmakta ve bitkinin olgunlaşmasına bağlı olarak bir miktar azalma görülmektedir. Bu azalma bitkilerin olgunlaşma ile birlikte bünyelerinden kaybettikleri suyun fazla olması ve yine bu dönemde topraktaki nem miktarının da iklime bağlı olarak azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Kök kuru ağırlığı için tahmin edilen ve ölçülen değerler

SONUÇ

Araştırma sonuçlarına göre çavdar bitkisine ait karakterlerden toprak üstü taze ve kuru ağırlık ile toprak altı taze ağırlıklar Weibull modeli tarafından iyi tanımlanırken, toprak altı kuru ağırlığı ise Richards modeli tarafından daha iyi tanımlanmıştır. Lojistik modelin bu modellere yakın değerler alması bu modelinde kullanılabilirliğini göstermektedir. Gompertz modeli ise genel olarak bütün karakterleri tanımlamada yetersiz kalmıştır. Bu çalışma ile elde edilen verilerin ışığı altında bitkilerde yaş-gelişme ilişkilerini daha iyi tanımlayabilmek için asimptotik fonksiyonların yanında çok fazlı fonksiyonlarında büyüme eğrilerini ne ölçüde tanımladıklarının incelenmesine ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Cerrato ME, Blackmer AM (1990) Comparison of model for comparison yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82.138–143.
- Damgaard C, Weiner J, Nagashima H (2002) Modelling individual growth and competition in plant populations: growth curves of *Chenopodium album* at two densities. *Journal of Ecology* 90.666–671.
- Dwyer LM, Stewart, DW (1986) Leaf area development in field-grown maize. *Agronomy Journal*. 78.334–343.
- Evans GC (1972) *The Quantitative Analysis of Plant Growth*. Blackwell scientific publications. Oxford.

- Fekeduleng D, Mac Siurtain MP, Colbert JJ (1999) Parameter estimation of nonlinear growth models in forestry. *Silva Fennica* 33(4): 327–336.
- Fleming RA (2001) The Weibull model and an ecological application: describing the dynamics of foliage biomass on Scots pine. *Ecological Modelling*. 138: 309–319.
- Joliffe PA, Eaton GW, Potdar MV(1988) Plant growth analysis: allometry, growth and interference in orchardgrass and timothy. *Annals of Botany*. 62:31–42.
- Lopez S, Prieto M, Dijkstra J, Dhanoa MS, France J (2004) Statistical evaluation of mathematical models for microbial growth. *International Journal of Food Microbiology* 96:289–300.
- Lundell LR, Dent J, Blum AL, Armstrong D, Galmiche, JP, Johnson F, Hongo M, Richter JE, Spechler SJ, Tytgat, GNJ, Wallin L (1999) Endoscopic assessment of oesphagitis: clinical and functional correlates and further of the Los Angeles classification. *Gut*:45:172–180.
- Mohanty M, Painuli DK (2004) Modelling rice seedling emergence and growth under tillage and residue management in a rice–wheat system on a vertisol in central india. *Soil and Tillage Res.* 76:167–174.
- Mustears HJW (1989) A dynamic equation for plant interaction and application to yield–density–time relations. *Annals of Botany*. 64:521–531.
- Scaifa A, Cox EF, Morris GEL (1987) The relationships between shoot weight, plant density and time during the propagation of four vegetable species. *Annals of Botany*. 59:325–334.
- Schepers AW, Thibault J, Lacroix C (2000) Comparison of simple neural network and nonlinear regression models for description modelling of *Lactobacillus helveticus* growth in pH–controlled batch cultures. *Enzyme Microb. Technol.* 26:431–445.
- Tooth LR, Ottenbacher KJ (2004) The kappa statistic in rehabilitation research: An examination. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 85:1371–1376.
- Villegas D, Aparicio N, Blanco R, Royo C (2001) Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under mediterranean conditions. *Ann. Of Bot.* 88:617–627.
- Zahedi M, Jenner, CF (2003) Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *Journal of Agric. Sci.* 141: 203–212.
- Zhang L (1997) Cross–validation of non–linear growth function for modelling tree height–diameter relationships. *Annals of Botany* 79:251–257.
- Zur B, Jones JW, Boote KJ (1983) Field evaluation of a water relation model for soybean. I. Validation of some basic assumptions. *Agronomy Journal* 75:272–280.