

GÜN-DERECE MODELLEMELERİ VE BİTKİ KORUMADA KULLANIM OLANAKLARI

Ali Kemal BİRGÜCÜ

Yusuf KARSAVURAN

**Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Bitki Koruma Anabilim Dalı
İzmir/TURKEY**

ÖZ: Zararlılarla mücadelede en çok kullanılan yöntem olan kimyasal savaş, entegre mücadele kapsamında prensiplerine uygun bir şekilde kullanılmalıdır. Üreticiler genellikle kimyasal maddeleri kullanmakta sabırsız davranmakta ve yüksek verim ve kaliteye ulaşma amacıyla kullanılan kimyasal miktarının doğru orantılı olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle de çoğunlukla takvimsel ilaçlamalara başvurulmaktadır. Zararlılarla ile mücadelede kimyasal savaşa başvurulacaksa, ilaçlama zamanının belirlenmesi, gereksiz ve etkisiz ilaç kullanımını engellenmesi, ilaçların olumsuz etkilerini en aza indirmesi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle ilaçlama zamanının belirlenmesi amacıyla son yıllarda modelleme yöntemlerine başvurulmaktadır. Sıcaklık ile organizma gelişimi arasında sıkı bir ilişki olması nedeniyle modelleme yöntemlerinin en çok üzerinde durulanlarından bir tanesi de gün-derece modellemeleri olmuştur. Gün-derece modellemeleri, modellemeler arasında görülen farklılıklar ve kullanım olanakları bu çalışmada ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Gün-derece modeli, fizyolojik zaman, sıcaklık, bitki koruma..

DEGREE-DAYS MODELS AND POSSIBILITIES OF USAGE IN PLANT PROTECTION

ABSTRACT: Chemical control, the most commonly used method in pest management, should be used according to its principles. Farmers are usually tending to use pesticides impatiently, and they think that there is a positive correlation between high yield and amount of applied pesticides. Therefore, they mostly use pesticides according to calendar. Determination of chemical application timing for pesticides is extremely important in order to avoid unnecessary and inefficient chemical use, and to minimize negative effect of pesticides. Due to a strong relation between temperature and organism growth, "degree-days" is one of the most important modelings to determine spray timing. In this article, "degree-days modeling methods", comparison of methods and possibilities of their usages are emphasized.

Keywords: Degree-days model, physiologic time, temperature, plant protection.

GİRİŞ

İnsanlar yerleşik hayata geçtiğinden bu yana tarımsal faaliyetlere başlamış ve o zamandan bu yana zararlı olan hayvanlarla mücadele etmeye zorunlu kalmıştır. Günümüz koşullarına yaklaştıkça da birim alandan daha fazla verim almaya çalışılmış ve bunun için yeni çeşitler ıslah edilmiş, yeni yetiştirme teknikleri geliştirilmiştir. Böylece yeni teknolojiler ve girdiler kullanılarak tarımsal üretim yapılmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak kültür bitkilerinde zararlılara karşı hassasiyet de artmış ve zararlılarla mücadele daha bir önem kazanmaya başlamıştır.

Bugün dünyada zararlılar, hastalık etmenleri ve yabancı otlar nedeniyle tarımsal üretimde meydana gelen kayıp yaklaşık olarak % 35 dolayında olmaktadır. Bu kaybın yaklaşık % 14'ü böcekler tarafından gerçekleştirilmektedir. Eğer bu etmenlerle mücadele yapılmazsa bu kaybın iki katına çıkacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu etmenlerle mücadele yapmak son derece önem kazanmaktadır. Söz konusu etmenlere karşı kültürel önlemler, kanunsal savaş, mekaniksel savaş, fiziksel savaş, biyolojik savaş, biyoteknik savaş ve kimyasal savaş yöntemleri kullanılmaktadır. İlk başlarda bu yöntemlerin her biri ayrı ayrı kullanılmıştır. Fakat zamanla bu yöntemlerin tek başlarına ya yetersiz kalışı veya insan ve çevre sağlığına zararlı oluşu ya da uygulama zorlukları nedeniyle zararlılarla savaşta başarısızlık söz konusu olmuştur. Bilindiği gibi bu savaş yöntemleri içerisinde de en çok kullanılan kimyasal savaş yöntemi olmuş, İkinci Dünya Savaşı sonrasında geliştirilen sentetik organik insektisitler sayesinde de kullanımı son derece artmıştır. Daha sonraları bunların çevre ve insan sağlığı ile doğal dengeye olan olumsuz etkileri sonucu ilk başlarda biyolojik savaş ve kimyasal savaşın birbirlerini tamamlayıcı şekilde kullanılması gündeme gelmiştir. Sonra da bu yaklaşım geliştirilerek bütün savaşım yöntemlerinin gerekli olanlarının gerekli miktarda kullanımını içeren bir mücadele sistemi ortaya atılmıştır. 19. Yüzyılın sonlarında ortaya çıkan bu görüş ilk olarak 1954 yılında Entegre Mücadele Yönetimi olarak adlandırılmış ve 1965 yılında FAO tarafından kullanımı desteklenmiştir (FAO., 1966).

Daha önce de belirtildiği gibi en çok kullanılan yöntem olan kimyasal savaş, entegre mücadele içerisinde gerektiği zaman, entegre mücadele ilkelerine uygun bir şekilde kullanılmalıdır. Üreticiler genellikle kimyasal maddeleri kullanmakta sabırsız davranmakta ve ne yazık ki yüksek verim ve kaliteye ulaşmayla kullanılan kimyasal miktarının doğru orantılı olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle de genellikle takvimsel ilaçlamalara başvurulmaktadır. Elbette ki bir zararlı ile mücadelede eğer kimyasal savaş seçeneğine başvurulacaksa bunun zamanını belirlemek son derece önemlidir. Bu, gereksiz ve etkisiz ilaç kullanımını engellemek, ilaçların olumsuz etkilerini en aza indirmek için önemli bir yoldur. Bu nedenle ilaçlama zamanının

belirlenmesi amacıyla son yıllarda modelleme yöntemlerine başvurulmuş ve sıcaklık ile organizma gelişimi arasında sıkı bir ilişki olması nedeniyle modelleme yöntemlerinin en çok üzerinde durulanlarından bir tanesi de gün-derece modellemeleri olmuştur.

Gün-derece modellemeleri basit ve gelişmiş gün-derece modellemeleri olmak üzere iki grupta toplanabilir. Basit gün-derece modeli doğrusaldır ve ılıman iklim bölgelerinde kullanılabilir bir modellemedir. Gelişmiş gün-derece modellemeleri ise doğrusal olmayan modellemeleri kapsar.

Gün-derece modellemeleri gerek oluşturulması gerekse uygulanması ve yorumlanması esnasında bir takım zorluklar içermektedir. Yukarıda belirtilen nedenlerden bu çalışmada gün-derece modellemeleri, modellemeler arasında görülen farklılıklar ve bu konunun bitki korumada kullanım olanakları hakkında bilgi verilmiştir.

BASİT GÜN-DERECE MODELİ

Basit gün-derece modeli, organizmanın gelişme hızı ve sıcaklık arasındaki doğrusal fonksiyon üzerine kurulmuş bir modellemedir.

A. Basit gün-derece modelinin yapısı

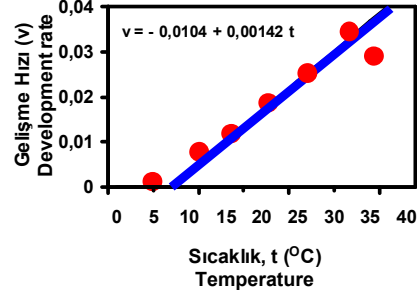
Bilindiği gibi canlılar; vücut sıcaklık derecelerinin, çevrenin sıcaklık derecesi ile olan ilişkilerine göre poikilothermal (heterothermal) ve homothermal olarak iki gruba ayrılmaktadır (Şişli, 1996). Memeliler, kuşlar gibi tüm omurgasızlar, bitkiler, balıklar, kurbağalar, sürüngenler gibi. Homothermal organizmalar sıcakkanlıdır. Poikilothermal organizmalar soğukkanlıdır. Yani homothermal organizmaların vücut sıcaklığı hemen hemen sabittir, poikilothermal organizmaların vücut sıcaklığı ise sabit olmayıp az veya çok ortamın etkisi altındadır ve bu organizmaların gelişimi de ortam sıcaklığına bağlıdır. Diğer bir ifadeyle gelişme hızı sıcaklığın doğrusal bir fonksiyonudur (Geldiay ve Kocataş, 1975).

Omurgasızlar alt aleminde yer alan böceklerin, bir poikilotherm organizma olarak, düşük sıcaklığa göre sıcak ortamda gelişmelerini daha hızlı bir şekilde tamamladığı bilinmektedir. Gelişme hızının, gün, ölçümünde saat gibi gelişmenin tamamlanması için gerekli birçok zaman birimi kullanılabilir. Gelişme hızları tam bir birey olma veya spesifik bir dönem için tahmin edilebilir (Sharov, 2008). Örneğin, bir böceğin yumurtadan çıkışından pupa oluncaya kadar 15 gün geçiyorsa, larva gelişiminin hızı $v = 1/15 = 0,0667$ 'dir. Şekil 1'de sıcaklık ve gelişme zamanının

kullanılarak gelişme hızının bulunması ve sıcaklığa bağlı gelişme hızının regresyon doğrusu verilmiştir (Sharov, 2008).

Sıcaklık Temperatür e (°C)	Gelişme zamanı Development time T	Gelişme hızı Development rate $v = 1/T$
5	-	-
10	200	0,005
15	100	0,010
20	60	0,017
25	40	0,025
30	30	0,033
35	35	0,028

A



B

Şekil 1. A) Sıcaklık ve gelişme zamanının kullanılarak gelişme hızının bulunması, B) Sıcaklığa bağlı gelişme hızının regresyon doğrusu (Sharov, 2008).

Figure 1. A) Determination of development rate by using temperature and development time, B) Regression line of development rate depending on temperature (Sharov, 2008).

Gelişme hızı 10 °C ile 30 °C sıcaklıkları arasında, sıcaklık ile hemen hemen doğrusal olarak değişir. Çok düşük sıcaklıkta gelişme yoktur ve oldukça yüksek sıcaklıkta gelişme gecikmektedir.

Basit gün-derece modeli, doğrusal bir sıcaklık fonksiyonu olan gelişme hızı tahminine dayanmaktadır. Birçok durumda, gerçek gelişme hızı 15-25 °C arası sıcaklıklara sahip ılıman iklim bölgesinde gerçek doğrusal fonksiyondur. Çok düşük veya çok yüksek sıcaklıklardaki sapma noktaları göz ardı edilebilir. Örneğin Şekil 2'de regresyon çizgisi 10 ile 30 °C arasındaki noktalar için çizilmiştir. 5 °C'de bütün organizmalar ölmüştür ve gelişme yoktur. 35 °C'de organizmalar yüksek sıcaklıktan ölmüşlerdir. Sağ kalanların ise gelişme hızı azalmıştır. Eğer ılımlı sıcaklık aralığında organizma gelişimini modelleyecek olursak, o zaman gün-derece modeli en iyi seçim olacaktır. Çünkü gün-derece sıcaklığa bağımlı değildir, değişken sıcaklıklarla yapılan denemelerde gelişme zamanını önceden tahmin etmek için onları kullanmak mümkündür. Bu durumda etkili sıcaklıklar gün gün toplanır ve toplam gün-dereceye ulaştığında gelişme bitmiştir.

B. Toplam gün-derecenin hesaplanması

Sıcaklıklar genellikle bir büyüme sezonu boyunca yıldan yıla alışlagelmiş değerlerde olsa da, genellikle gelişme sezonunun önemli dönemleri esnasında normal zamanlardan daha düşük veya daha yüksektir. Bilindiği gibi eksterm sıcaklık değerlerinin ortalaması ılıman havadır. Normal günlerden daha sıcak hava bitki ve böcek gelişimini hızlandırırken, daha soğuk bir hava bu gelişimi yavaşlatır (Miller et al., 2001). “Gün-derece” her bir gün için bir sıcaklık değeri belirleme yoludur. Değerler böceğin gelişme dönemi içerisinde bir tahmin vermek için birbirine eklenir. Gün-derece toplamını bulmak için günlük ortalama sıcaklıktan gelişme eşiği çıkarılır ve gelişme sezonu içerisindeki gün sayısı ile çarpılır. Günlük ortalama sıcaklığın hesaplanmasında ise farklı araştırmacılar farklı değişik formüller kullanırlar (Önder, 2004). Bu formüllerden en çok kullanılan üç tanesi aşağıdaki verilmiştir.

Birincisi, günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar toplanır ve ikiye bölünür;

$$\text{Günlük ortalama sıcaklık} = \frac{\text{Min.} + \text{Maks.}}{2}$$

İkincisinde ise, günlük minimum sıcaklık 2 ile çarpılır ve maksimum sıcaklık ile toplanarak üçe bölünür;

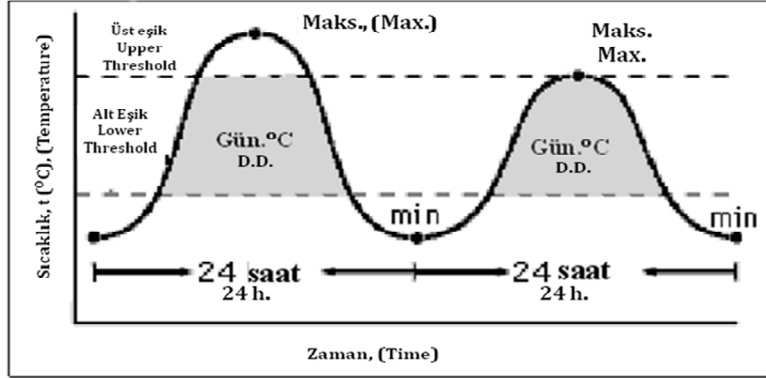
$$\text{Günlük ortalama sıcaklık} = \frac{2\text{Min.} + \text{Maks.}}{3}$$

Üçüncüsü ve bunlar içerisinde en çok kullanılan formülde ise, gün içerisinde sabah saat 7:00, 14:00 ve 21:00'deki sıcaklıklar ölçülür. Saat 21.00'deki sıcaklık 2 ile çarpılarak saat 7.00 ve 14.00'deki sıcaklıklarla toplanır. Daha sonra da toplam dörde bölünür;

$$\text{Günlük ortalama sıcaklık} = \frac{7 + 14 + 2(21)}{4}$$

Bir dölün gelişmesini tamamlaması için gerekli olan etkili sıcaklıklar toplamına termal konstant denilmektedir. Termal konstant'a ulaşıncaya kadar geçen süre ise termal zaman olarak adlandırılmaktadır. Bir arada toplanıldığı zaman, bu termal zamanlar bir termal takvim olarak isimlendirilir. “Termal zaman” belirli bir biyolojik dönemin ne zaman meydana geleceğini daha dinamik bir şekilde tahmin eder. Sonuç olarak takvimsel zamana göre daha doğru bir tahmin verir. Şekil 2’de

zaman, sıcaklık ve gün-derece toplamları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Ortalama günlük sıcaklık gelişme eşiğine eşit olduğu zaman, bir gün-derece bir güne denk gelmektedir. Örneğin, günün minimum sıcaklığı 13 °C ve maksimum sıcaklığı 47 °C ise günün ortalama sıcaklığı 30°C'dir. Eğer bir böceğin gelişme eşiği 12 °C ise gün 18 gd olarak hesaplanır $\left[\frac{(47 + 13)}{2}\right] - 12 = 18$ (Miller ve ark., 2001).



Şekil 2. Böceklerin aktif olduğu sıcaklık aralığı eşikleri ve gün-dereceler (Miller ve ark., 2001).

Figure 2. Thresholds and degree-days in which insects are active (Miller et. al., 2001).

Böcekler gelişme eşiği üzerinde fizyolojik faaliyetlerine başlamakla birlikte bazı faaliyetleri için belirli sıcaklık koşullarının bulunması gerekir. İşte böceklere karşı savaşta önceden tahmin ve erken uyarı çalışmalarında bu ilişkilerden de yararlanır. Örneğin Elma içkurdu, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) erginleri akşam üzeri sıcaklıklarının 15 °C ve üzerindeki sıcaklıklara ulaşmasıyla yumurta bırakırlar. Bu nedenle önceden tahmin ve uyarı çalışmalarında 1 Ocak tarihinden itibaren etkili sıcaklık toplamının 100 gün-dereceye ulaşması yanında, akşam üzeri sıcaklıklarının da 15 °C veya üzerinde olmasıyla ilaçlamalara başlanır. Benzer bir durum Salkım güvesi, *Lobesia botrana* Den. & Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) için de söz konusudur. Bu zararlı için etkili sıcaklıklar toplamının 120 gün-dereceye ulaşmasının yanında, akşam üzeri sıcaklıklarının da 15°C veya üzerinde olması halinde ilaçlamalara başlanabilir (Öncüler, 2004).

Aynı şekilde Karsavuran (1986), gelişme eşiği 11,1 °C olan *Dolycoris baccarum* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae)'un İzmir ilinde günlük ortalama sıcaklığın 14 °C ve günlük en yüksek sıcaklığın 20 °C'ye ulaşması halinde ovalarda görülmeye

başladığını belirtmiştir. Kamenkova (1958), aynı böceğin, Rusya'da günlük ortalama sıcaklığın 12,5 °C ve günlük en yüksek sıcaklığın da 25 °C'ye ulaşmasıyla kışlağtan çıktığını belirtmiştir. Ayrıca Karsavuran (1986), böceğin aktif olarak görülmesi için bulunmuş olan bu iki sıcaklığın herhangi birisinin tek başına yeterli olmadığını, zararlıların bazı faaliyetlerinin gerçekleşmesi için gerekli sıcaklık şartlarının da gerçekleşmiş olması gerektiğini belirtmiştir.

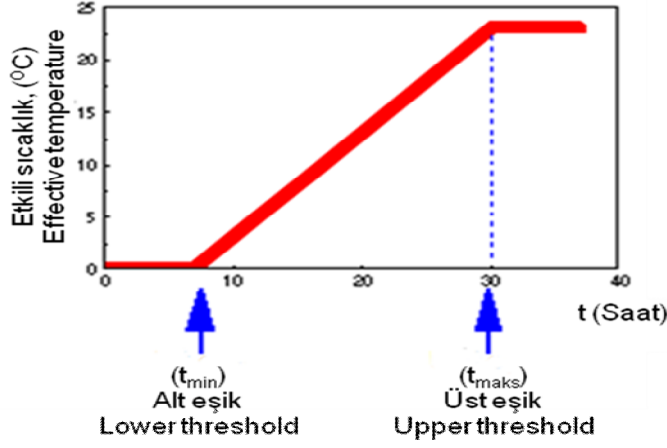
Bir organizmanın her gelişme dönemi kendine ait bir toplam sıcaklık gereksinimine sahiptir. Gelişme, böceğin tüm gelişme dönemi boyunca yüksek ve düşük sıcaklık eşikleri arasındaki gün-derecelerin toplanması ile tahmin edilebilir. Gün-derecelerin toplanmaya başladığı tarih biyofiks tarihi olarak bilinir. Böceğin biyolojisinin başlangıç tarihi olarak Türkçe ifade edebileceğimiz biyofiks tarihi genellikle bir zararlıın ilk olayı gibi belirli biyolojik olaylara bağlıdır (Miller et al., 2001). Böcekler için genellikle biyofiks, baharda ergin bir zararlı türünün uçmaya başlaması gibi böceğin biyolojik bir döneminin başlangıç tarihidir (Knight and Light, 2005). Gün-derecelerin toplanması düzenli olarak yapılmalıdır, özellikle de karar verme aşamalarının yaklaştığı zamanlarda daha hassas davranılmalıdır (Miller et al., 2001).

GELİŞMİŞ GÜN-DERECE MODELİ

A. Gelişmiş gün-derece modelinin yapısı

Basit gün-derece modelini geliştirmedeki amaç; geniş bir sıcaklık aralığı için modeli kullanabilmektir. Ortam sıcaklığı belirli bir değere ulaştıktan sonra böcekte gelişmenin başladığı (t_{min}), sıcaklığın artmasıyla gelişmenin hızlandığı, belirli bir noktadan (t_{maks}) sonrada azaldığı, hatta durduğu bilinmektedir. Kısacası her bir böcek için belirli bir değerden sonraki ortam sıcaklığı o böceğin gelişmesinde aktif rol oynamaktadır (Önder ve Karsavuran, 1985). Böcek gelişimine aktif olarak etkisi bulunan bu sıcaklık aralığına etkili sıcaklık denmektedir. Etkili sıcaklık aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$ET = \begin{cases} t \leq t_{min} & \text{ise, } 0 \\ t_{min} < t < t_{maks} & \text{ise, } t - t_{min} \\ t \geq t_{maks} & \text{ise, } t_{maks} - t_{min} \end{cases}$$



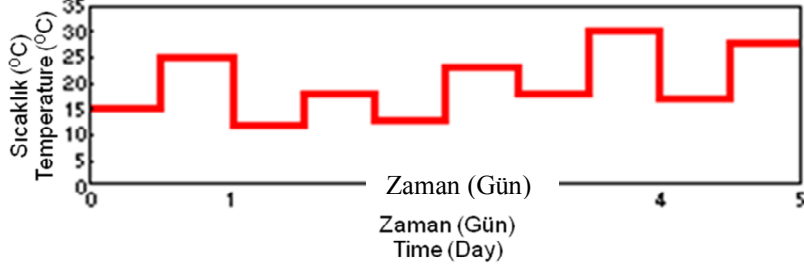
Şekil 3. Gelişmiş gün-derece modelinde etkili sıcaklık aralığının belirlenmesi (Sharov, 2008).

Figure 3. Determination effective temperature in improved degree-days model (Sharov, 2008).

Gelişmiş gün-derece modellemesinde sıcaklık eğrisi doğrusal değildir. Bu yüzden sıcaklığın ortalaması alınamaz. Özellikle ortalama günlük sıcaklıklar kullanılamaz. Bunun yerine, güncel sıcaklık dinamiklerine gereksinim vardır.

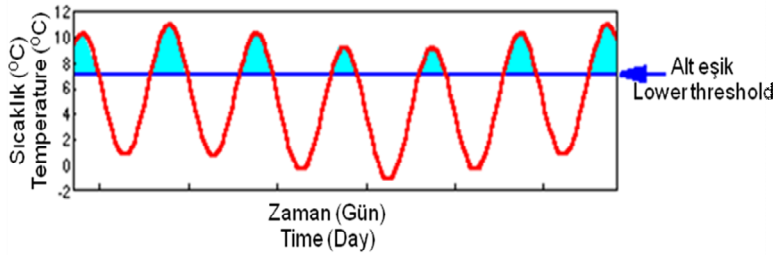
Doğrusal olmayan gelişme hızı modelleri bu nedenle gündüz sıcaklık değişimlerinin modellenmesine ihtiyaç duyarlar. Birçok durumda sadece günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar bilinir. Sıcaklık değişiminin taklidi için oldukça sık kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan “dikdörtgen” modelde sıcaklığın günün ilk yarısı için maksimumda kaldığını diğer yarısı için minimumda kaldığını farz eder.

Dikdörtgen modeli çok doğru değil, fakat basit ve hızlıdır. Allen (1976) bu model yerine “Sine-wave” yöntemi diye adlandırdığı sinüs dalgası yöntemi olarak ifade edebileceğimiz yöntemi geliştirmiştir. Şekil 6’da görüldüğü gibi bu model düz sıcaklık değişimlerini oluşturur. Çoğu gün-derece modelinde gün içerisindeki sıcaklığı en iyi şekilde göstermek amacıyla sine-wave yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 4. Dikdörtgen modelde sıcaklık değişiminin gösterimi (Sharov, 2008).
Figure 4. Simulation of temperature change in rectangular model (Sharov, 2008).

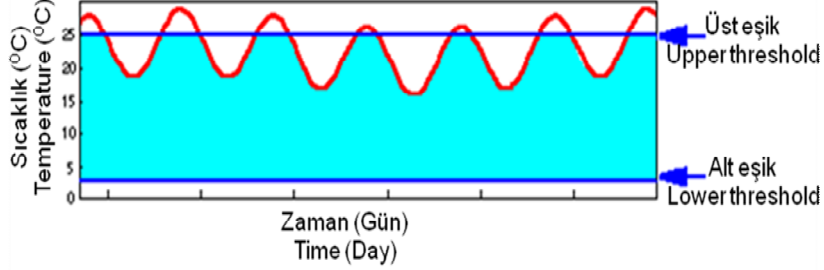
Bu modellemede toplam gün-derece'ler alt ve üst eşik arasındaki sıcaklık aralığı ile sınırlanmış sıcaklık eğrisi altındaki alana eşittir.



Şekil 5. “Sine-wave” yönteminde ortalama sıcaklığın alt eşik altında olması (Sharov, 2008).
Figure 5. Average temperature is below lower threshold in sine-wave method (Sharov, 2008).

Şekil 5’de görüldüğü gibi koyu renkli alan toplam gün-dereceye eşittir. Buradaki ortalama sıcaklık alt eşik altında, fakat organizmalar biraz gün-derece toplayabilirler. Çünkü gün içerisinde sıcaklık bazı zamanlarda alt eşik üstündedir. Bir diğer örnekte ise ortalama sıcaklığın alt ve üst eşik arasında olması durumu görülmektedir.

Koyu renkli alan yine gün-derece toplamına eşittir. Günlük maksimum sıcaklıklar üst eşik aşar. Bununla birlikte bu fazlalık gün-derece’nin toplamında sayılmaz.

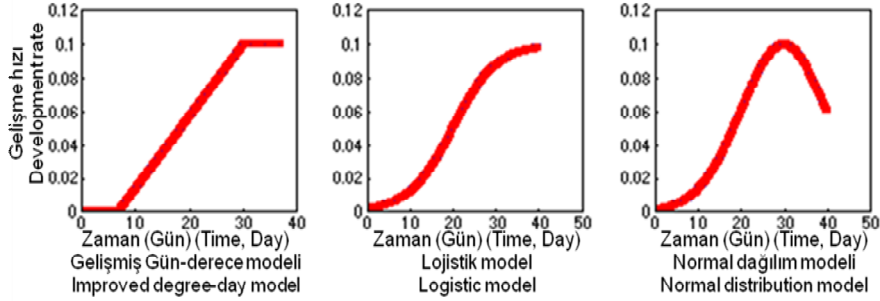


Şekil 6. “Sine-wave” yönteminde ortalama sıcaklığın alt ve üst eşik arasında olması (Sharov, 2008).

Figure 6. Average temperature is between lower and upper threshold in sine-wave method (Sharov, 2008).

B. Diğer Doğrusal Olmayan Gelişme Modelleri

Gelişmiş gün-derece modeli basit gün-derece modelindeki sıcaklık (iki sıcaklık limiti arasından: t_{min} ve t_{maks}) ve gelişme hızı arasındaki doğrusal bir ilişkiden türetilmiştir. Şimdi bir sonraki lojistik adımı atma zamanıdır: hiç birinde doğrusal ilişkiler kullanılmaz. Aşağıdaki gelişmiş gün-derece modeline alternatif olan iki model, lojistik model ve normal dağılım modelini göstermektedir.



Şekil 7. Gelişme hızı fonksiyonunun gelişmiş gün-derece, lojistik ve normal dağılım modeliyle gösterilmesi (Sharov, 2008).

Figure 7. Showing development rate by using improved degree-days model, the logistic model and the normal distribution model (Sharov, 2008).

Lojistik model veya normal dağılım modeli gibi doğrusal olmayan modeller ile sabit sıcaklıkla yapılan denemeleri açıklamak kolaydır. Bu durumda, gelişme hızı, gelişme zamanının ters orantılı bir karşılığı gibi tanımlanabilir ($V= 1/T$). Fakat eğer sıcaklık değişirse, gelişme hızı nedir? Artık gün-dereceleri toplayamayız çünkü model doğrusal değildir. Bu soruyu cevaplamayı amaçlayarak fizyolojik zaman olarak adlandırılan yeni bir kavram gelişmiştir.

Fizyolojik Zaman

Zaman nedir? Bu bilimdeki en temel sorudur. Zaman, St. Augustin'den Einstein'a kadar insanlık tarihindeki en iyi beyinleri cezbetmiştir. Zaman ve dinamikler arasındaki ilişki nedir? Dinamiklerin zamanla olan ilişkisini ölçebilir miyiz? veya belki de zaman dinamiklerle ölçülmelidir. Newton fiziği doğaüstü olan evrensel zamanı ve mükemmeli dikkate almıştır. Buna alternatif bir bakış açısı olarak, her bir sistem birkaç olayla ölçülen kendine ait bireysel zamana sahiptir. Örneğin, insan hayatında zaman, birkaç karar verme ile ölçülebilmektedir. Pasif bir şekilde yaşayan ve karar almaktan kaçınan bir insan, biyolojik olarak yetişkin olsa bile psikolojik olarak çocuk kalır (Sharov, 1995).

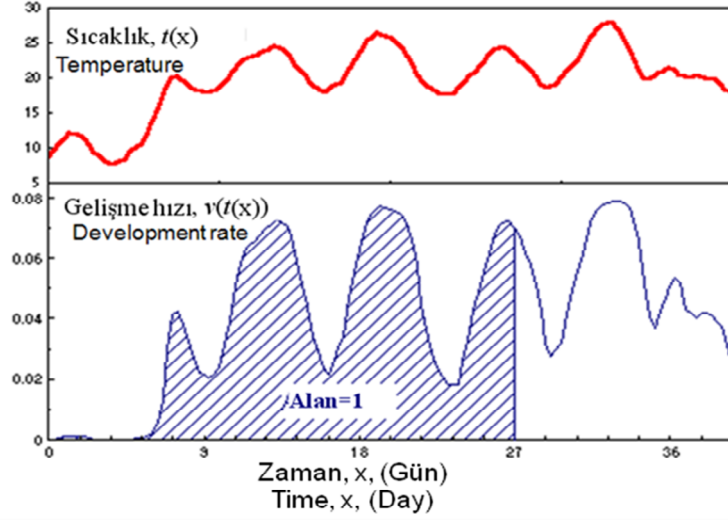
Poikilothermal organizmaların gelişimlerine biyolojik zaman kavramı uygulanabilir. Organizmaların gelişme basamakları fizyolojik zamanı ölçen biyolojik bir saat olarak düşünülebilir. Fizyolojik zaman hava sıcak olduğunda hızlı, soğuk olduğunda yavaş ilerler. Bu durumda gelişme hızı, takvimsel zamandaki her birim başına düşen fizyolojik zamanın ilerlemesi olarak tanımlanabilir. Örneğin; eğer bir böcek larvasının gelişme hızı günlük 0,07 ise o zaman larva evresinin tüm fizyolojik zamanı %100 olarak alınır, bir günde, böcek fizyolojik zamanını %7 oranında artıracaktır.

Gelişme süresini belirlemek için, etkili sıcaklıklardan daha çok gelişme hızları toplanır. Toplam gelişme hızı 1 (= % 100)'e ulaştığında, o günde gelişme tamamlanmış olur. Örneğin; aşağıdaki denklemde olduğu gibi;

$$\int_0^T v(t(x)) dx = 1$$

Burada $v(t)$ sıcaklığın (t) fonksiyonu olarak gelişme hızıdır; $t(x)$ bir zaman (x) fonksiyonu olarak sıcaklıktır ve T ise gelişme zamanıdır. Eğer sıcaklık bir zaman fonksiyonu olarak tanımlanırsa, aşağıdaki grafikte olduğu gibi, bir zamanda, gelişme hızı doğrusal olmayan bir zaman fonksiyonu olarak tahmin edilir. Sonuç olarak, 0'dan T 'ye kadar fonksiyonun integrali $v(t(x))$ 1'e eşit olabilir. Grafikte gelişme hızı eğrisi

ve zamanı ifade eden apsisin x noktasından çıkarılan doğrunun sınırladığı alan 1'e eşittir.



Şekil 8. Gelişme hızının bir zaman fonksiyonu olarak gösterilmesi (Sharov, 2008).
Figure 8. Development rate as a time function (Sharov, 2008).

Fizyolojik zamanın ölçülmesi

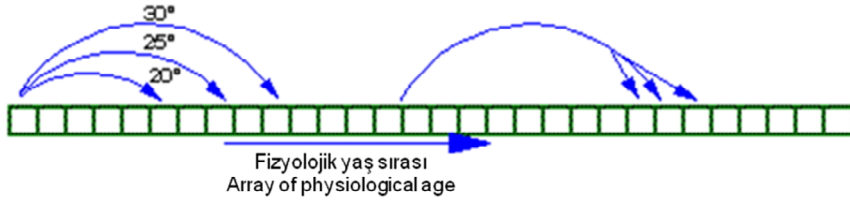
Fizyolojik zamanı ölçen mekanik bir saat yoktur. Böceklerin fizyolojik yaşını öğrenmek için saat kullanımı da mümkün değildir. Bu durumda, bu organizmaların fizyolojik yaşını ölçebilmek için bazı ölçütler gerekmektedir. Bazı durumlarda, fizyolojik zamanın göstergelerini bulmak mümkündür. Örneğin hormonların veya metabolitlerin konsantrasyonu, CO₂ emülsiyon hızı vs. Fakat bu göstergeler genellikle tam olarak doğru sonuç vermeyebilirler. Örneğin, solunum hızı Kırtırtılı *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) yumurtalarında yüksektir. Ovipozisyondan 2 hafta sonra solunum hızı azalır ve düşük seviyede kalır. Böylece yumurta gelişimine ait bu 2 periyot arasındaki farkı görmek mümkündür.

Denemelerin kurulması aşamasında spesifik bir fizyolojik yaşa ait organizmaları hazırlarken ölçme sorunundan kaçınılabilir. Bu, momentumunu değiştirmeksizin elektronların tam yerini ölçmenin mümkün olduğu kuantum mekaniğinin analogudur. Yani elektronun aldığı mesafeyi belirli koşullar altında doğru olarak tahmin etmek ile benzer bir yapı göstermektedir. Böylece belirli koşullar

altında spesifik karakterli elektronlar hazırlamak mümkün olduğu gibi spesifik fizyolojik yaşta bir organizma hazırlamak da mümkündür. Spesifik fizyolojik yaşta organizmalar hazırlamak için, onları belirli bir zaman için standart koşullarda tutmamız yeterli olacaktır. Örneğin; bir böceğin pupa evresi 25 °C'de 10 gün ise, 5 günden sonra bu sıcaklıkta pupa, pupal evrenin tam ortasında olacaktır.

Leslie'nin modeli ile fizyolojik zaman nasıl birleştirilir?

Leslie modeli olarak da adlandırılan Leslie Matris Modeli, yaş sınıflarındaki yaşam oranı ve doğurganlık değerlerini kullanarak yaş yapısına ait çeşitli tahminlerde bulunmak için kullanılan bir yöntemdir. Leslie Matris Modeli, gelecekteki populasyon büyüklüğünün tahmin edilmesinde, üretkenlik değerinin hesaplanmasında, duyarlılık ve esneklik analizlerinde sıkça kullanılmaktadır (Zırhloğlu et al., 2004). Leslie modeli, fizyolojik zamana dâhil edebilmek için kolaylıkla değiştirilebilir. Yaş ve zaman orijinal model içinde eşdeğerdir. Çünkü her zaman basamağında organizmalar bir sonraki yaş sınıfına geçmişlerdir. Artık yaş fizyolojik zaman birimlerinde ölçülecektir. Matristeki her bir satır ve sütun belirli bir fizyolojik yaşa karşılık gelmektedir (Sharov, 2008).



Şekil 9. Leslie'nin matris modeli (Sharov, 2008).

Figure 9. Leslie matrix model (Sharov, 2008).

Bir zaman adımıdaki fizyolojik yaşta ilerleme sıcaklığa bağlı olabilir. Şekil 10'da bu 20, 25 ve 30 °C'yi temsil eden oklarla gösterilmektedir.

Ayrıca, gelişme hızındaki bireysel değişim, bir diğer ifadeyle dağılım gecikmeleri hesaba katılabilir. O zaman da yine Şekil 10'da dallanmış oklarla gösterildiği gibi fizyolojik yaşın ilerlemesi belli bir zamana kadar aynı ölçüde ilerlerken bu noktadan sonra farklı olabilir.

Simülasyonun başlangıcında bütün organizmalar ilk yaş sınıfına yerleştirilebilirler. Diğer bir seçenek ise, gelişimin başlangıç tarihindeki değişkenliği eklemektir. Örneğin; eğer larva gelişimi modellenecek olursa, bir gün içersindeki eş

zamanlı yumurta açılımını varsaymak gerçek dışı olur. Yumurta açılımını farklı zamanlarda varsaymak daha uygundur. Bunun için çok sık kullanılan 3 dağılım tipi normal, lojistik ve weibull fonksiyonlarıdır (Sharov, 2008).

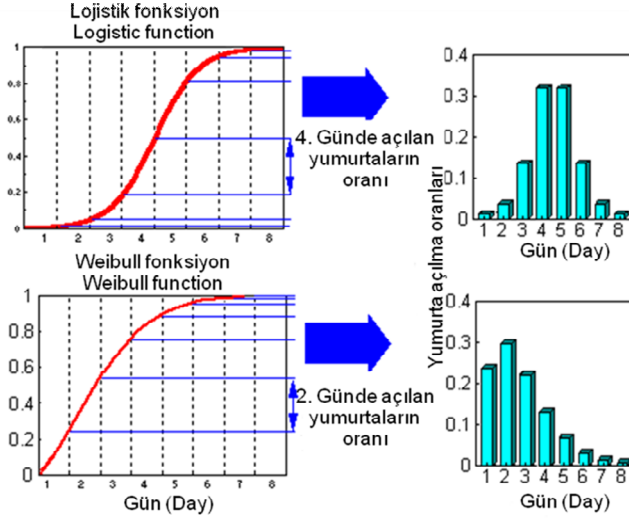
Eklemeli dağılımlar şu denklemlerle tanımlanır:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(z-M)^2}{2s^2}\right) dz \quad \text{Normal dağılım}$$

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-b(x-a))} \quad \text{Lojistik fonksiyon}$$

$$P = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad \text{Weibull fonksiyon}$$

Şekil 10'daki iki grafik yumurta açılma zamanı fonksiyonunun her bir günde açılan yumurtaların oranına nasıl çevrildiğini gösterir; lojistik ve weibull dağılımları:



Şekil 10. Normal ve Weibull dağılımlar ile yumurta açılım oranlarının belirlenmesi (Sharov, 2008).

Figure 10. Determination of proportion of eggs hatched by Normal distribution and Weibull distribution (Sharov, 2008).

Normal ve lojistik dağılımlar hem simetrik hem de çok benzerdir. Fakat Weibull dağılım asimetriktir. Yumurta açılma zamanının gerçek dağılımı genellikle asimetriktir. Böylece, weibull dağılım genellikle normal ve lojistik dağılımlardan daha iyidir (Sharov, 2008).

MODELLEMELER ARASINDA GÖRÜLEN FARKLILIKLAR

Gün-derece modeli yalnızca ılıman iklim bölgelerinde kullanılabilir. Eğer çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda kullanılırsa yanlış yönlendirebilir.

Basit gün-derece modeli için günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları bilmek yeterlidir. Bunun için meteoroloji bilgilerinden yararlanılabilir ama her organizma için bu verilerden yararlanmak doğru olmaz. Örneğin yaprakbitleri çevredeki sıcaklıktan birkaç derece daha düşük sıcaklıkta olan yaprakların alt yüzeyinde yaşarlar. Bu durumda sıcaklık yaprak altında ölçülmelidir. Toprak altında yaşayan bir organizma için (örneğin, tel kurdu (Elateridae)), o zaman sıcaklık toprak yüzeyinin 5-10 cm altında ölçülmelidir. Gelişmiş gün-derece modelinde ise bahsettiğimiz gibi sıcaklık doğrusal bir fonksiyon olarak ele alınmaz. Bu yüzden günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları elde etmek yeterli değildir. Gün içerisinde birçok kez sıcaklık ölçümleri yapmak ve bunları kaydetmek gerekir.

Analizden önce sıcaklığın ortalamasını almak her zaman mümkün değildir. Eğer gelişme hızı doğrusal bir sıcaklık fonksiyonuysa, o zaman sıcaklığın analizden önce ortalaması alınabilir. Fakat bu fonksiyon doğrusal değilse (örneğin, gelişmiş gün-derece modeli), o zaman sıcaklık ortalaması önemli hatalarla sonuçlanabilir.

Fizyolojik zaman kavramını gün-derece modeliyle karşılaştırdığımızda fizyolojik zaman kavramı aşağıdaki avantajlara sahiptir: Gelişme hızı fonksiyonunun şekli üzerinde keyfi tahmin yapmaz. Bu fonksiyon doğrusal, lojistik, normal dağılım vb. olabilir. Gelişme hızına sıcaklıktan başka diğer faktörlerin de etkisini kabul eder. Gelişme hızı, besin kalitesine ve miktarına, fotoperiyoda ve diğer faktörlere bağlı olabilir. Fizyolojik zaman kavramı geliştirilmeden önce, sıcaklıktan başka faktörlerin etkileri de gün-derece modeline dâhil edilmeye çalışılmıştır. Ek faktörlerin gelişmenin tamamlanması için gereken gün-derece miktarını değiştirdiği varsayılmaktadır. Örneğin, *L. dispar* larvası tercih ettiği meşe gibi tercih ettiği ağaç türleri üzerinde akçaağaç gibi tercih etmediği ağaç türleri ile karşılaştırıldığında daha hızlı gelişir. Pupa olmak için *L. dispar* larvası akçaağaç üzerinde olduğunda, meşe ağacı üzerinde olduğuna göre, daha fazla gün-derece toplamalıdır. Ağaçlar arasındaki larva göçleri dikkate alındığında bu model çalışmaz. Çünkü gün-derece toplamları farklı ağaç türlerinde karşılaştırılamaz. Örneğin, eğer larvalar bir meşe ağacından bir Akçaağaç'a taşınırsa daha "genç" olurlar. Eğer, göç etmeden önce meşe ağacında pupa olmak için

hazır olsalardı, o zaman akçaağaçta göçten sonra hala pupa olmak için ek gün-derece toplamak zorunda olacaktı.

BITKİ KORUMADA KULLANIM OLANAKLARI

Konumuz gereği bitki koruma açısından baktığımızda Dünya’da 1972 ve 2004 yılları arasında 512 böcek türü için gün-derece verileri rapor edilmiştir (Nietschkea ve ark., 2007). Bu türler yaklaşık olarak dünyada tanımlanmış 788.681 türün % 0,06’sını oluşturmaktadır (Vasquez ve Simberloff, 2001). Bu türler 11 takıma ait olup, 89 familyaya bağlı bulunmaktadır. Yaklaşık olarak bu verilerin yarısı Hymenoptera ve Lepidoptera takımı içerisindeki türlere aittir. Ayrıca Coleoptera, Diptera ve Heteroptera takımına ait türlerle de ilgili oldukça çok çalışma vardır. Bu türlerin 109 tanesi Lepidoptera, 91 tanesi Hymenoptera, 67 tanesi Heteroptera, 55 tanesi Coleoptera ve 45 tanesi Diptera takımına bağlıdır (Nietschkea ve ark., 2007).

Gün-derece çalışmalarının en yoğun olarak ele alındığı Amerika Birleşik Devletlerinde 9 ayrı merkezde (Yeni İngiltere, Orta Atlantik, Kuzey-Batı, Kuzey Merkezi, Büyük Göller Merkezi, Kuzey-Doğu, Güney-Batı, Güney Merkezi, Güney-Doğu) günlük olarak gün-derece hesaplamaları yapılmakta ve bunlar bir veri tabanında toplanmaktadır. Bu veri tabanından elde edilen bilgiler ışığında da tahminler gerçekleştirilmekte ve bunlar üreticilere duyurulmaktadır.

Avrupa ülkelerinde ABD’de olduğu gibi yaygın bir şekilde böcekler için gün-derece modeli kullanımı yoktur. Bu ülkelerde genellikle gün-derece hesaplaması üzerine çalışılmıştır.

Türkiye’de de gün-derece modellemesinden ziyade daha çok gün-derece hesaplanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların çoğu da Lepidoptera takımına ait türler üzerinedir. Ayrıca Coleoptera, Hymenoptera, Homoptera ve Diptera takımlarına bağlı türler ile kırmızıörümcekler üzerine de çalışmalar yapılmıştır (Satar ve ark., 2005; Kovancı ve Kovancı, 2006; Kumral ve ark., 2005; Kumral ve ark., 2008). Bu çalışmalarda zararlının sıcaklığa bağlı gelişmeleri izlenmiş ve toplam gün-derece istekleri belirlenmiştir. Hymenoptera takımına bağlı türlerle yapılan çalışmalarda araştırmacılar zararlı ve doğal düşmanlarının biyolojilerinin izlenmesi üzerine yönelmiştir (Kıvan ve Kılıç, 2006). Bu çalışmada yumurta parazititleri *Trissolcus rufiventris* (Mayr) ve *Trissolcus simoni* Mayr (Hym.: Scelionidae)’nin sıcaklığa bağlı gelişmeleri karşılaştırılmış ve her iki türün toplam gün-derece istekleri belirlenmiştir.

Gün-derece modellemesi olarak *C. pomonella* üzerine de çalışılmıştır. Bu çalışmalarda gün-derece modellemesi kullanılarak erken uyarı sistemleri geliştirilmeye çalışılmıştır (Çevik ve Kılınçer, 1997).

Ayrıca gün-derece hesaplamasının kullanıldığı bir başka alan da adli entomolojidir. ABD'de olduğu gibi Avrupa ülkelerinde de adli entomoloji açısından gün-derece çalışmaları yapıldığı görülmüştür (Grassberger ve Reiter, 2002; Kontodimas ve ark., 2004; Nabity ve ark., 2006). Bu araştırmacılar cesetler üzerinde buldukları böceklerin gün-derece isteklerinden yararlanarak cesedin ne zamandan beri o bölgede olduğunu tahmin etmektedirler.

SONUÇ

Bitki koruma açısından gün-derece modellemelerinin amacı bir erken uyarı sistemi geliştirerek ilaçlama zamanının belirlenmesi ve ilaçlama sıklığının ve masrafının mümkün olan en düşük düzeye çekilmesidir. Herhangi bir zararlıya karşı savaşın başarısı her şeyden önce zamanının doğru saptanmasına bağlıdır. Savaş zamanı eğer önceden tahmin edilebilirse hazırlıkların zamanında yapılabilmesi nedeniyle bu başarı daha da artmış olacaktır. Buna bir de zararlı yoğunluğunun tahmini eklenecek olursa zararlıya karşı savaşın rasyonelliği de sağlanmış olur. Bunlara göre önceden tahmin ve uyarı; zararlı popülasyonunun değişmesinde etkili olan tüm faktörleri değerlendirerek zararlılığın ekonomik zarar eşiğine ulaşip ulaşamayacağını, eğer ulaşacaksa bunun zamanını tahmin ederek üreticileri önceden uyarmaktır. Böylece zamanında ve doğru uygulanacak yöntemlerle, örneğin ilaçlamalarla doğal denge ve çevre sağlığı yüksek oranda korunmuş olacaktır (Öncüer, 2004).

Bu amaçla zararlı böceklerin belirli bir biyolojik döneme geçiş tarihlerini en doğru şekilde tahmin etmek ilk hedefi oluşturmaktadır. Ancak takvimsel ilaçlama yöntemine göre daha başarılı bulunan bu modelleme yöntemi modellemelerde görülen farklılıklar kısmında belirtilen nedenlerden ötürü tam olarak isteneni verememekte ve daha çok entegre mücadele yönetiminin bir parçası olarak görülmesine rağmen agroekosistem içerisindeki tüm elementler modelleme içerisinde sağlıklı bir şekilde kullanılmadığı için entegre mücadele açısından istenilen hedefe ulaşamamaktadır. Gün derece modellemelerinin bugüne kadar gözden kaçırılan en büyük eksikliği belki de farklı besinler üzerinde böceklerin farklı gün-derece isteklerinin olmasıdır. Ayrıca aynı böcek türünün dişi ve erkek bireylerinin gün-derece istekleri de farklı olabilir. Kıvan ve Kılıç (2006), *T. rufiventris* dişisi için 15,5 °C'lik gelişme eşiği üzerinde 125,0 gd, erkeği için 15,3 °C'nin üzerinde 111,1 gd'ye gereksinimi olduğunu belirtmiştir. Bu konu gün derece modellemeleri üzerine çalışmış araştırmacılar tarafından göz ardı edilmiştir. Gün-derece modellemeleri bu açıdan bir yönetim aracı

olmaktan ziyade ancak bir yardımcı eleman olarak entegre zararlı yönetimi içerisinde yer alabilmektedir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Allen, J. C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. Environ. Entomol. 5: 338-396.
- Çevik, T. ve N. Kılınçer. 1997. Orta Anadolu Bölgesinde Elma içkurdu (*Cydia pomonella* L., Lep., Tortricidae)'nın Yumurta Açılımının Tahmininde Kaliforniya Tahmin Modeli Bugoff 2'nin Kullanılması ve Bölgeye Uyarlanması Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi. 221 sayfa.
- FAO. 1966. Proc. FAO Symp. Integrated Pest Control. Rome, Oct. 11-15, 1965. Rome, Italy: FAO-UN. Part 1, 91 pp.; Part 2, 186 pp.; Part 3, 129 pp.
- Geldiay, R. ve A. Kocataş. 1975. Genel ekoloji. Ege üniversitesi fen fakültesi kitaplar serisi No: 65.
- Grassberger, M. and C. Reiter. 2002. Effect of temperature on development of the forensically important holarctic blow fly *Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Calliphoridae). Forensic Sci Int 128:177-182.
- Karsavuran, Y. 1986. Bornova (İzmir) koşullarında çeşitli kültür bitkilerinde zarar yapan *Dolycoris baccarum* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae)'un biyolojisi ve ekolojisi üzerinde araştırmalar. Türk. bitki kor. derg., 10 (4): 213-230.
- Kamenkova, K. V. 1958. Biology and ecology of *Dolicorus baccarum* L.. Zool. Rev. d'Ent.de l'URSS, 37 (3): 563-579.
- Kıvan, M. and N. Kılıç. 2006. A Comparison of the Development Times of *Trissolcus rufiventris* (Mayr) and *Trissolcus simoni* Mayr (Hym.: Scelionidae) at Three Constant Temperatures. Turk. J. Agric. For., 30, (2006), 383-386.
- Knight, A. L. and D. M. Light. 2005. Timing of egg hatch by early-season codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) predicted by moth catch in pear ester and codlemone-baited traps. Can. Entomol. 137 (6):728-738.

- Kontodimas, D. C., P. A. Eliopoulos, G. J. Stathas, and L. P. Economou. 2004. Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* (Kirsch) and *Nephus bisignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): evaluation of a linear and various nonlinear models using specific criteria. *Environ. Entomol.* 33 (1): 1-11.
- Kovancı, O. B. and B. Kovancı. 2006. Reduced-risk management of *Rhagoletis cerasi* flies (host race *Prunus*) in combination with a preliminary phenological model. *Journal of Insect Science* 6:34.
- Kumral, N. A., B. Kovancı and B. Akbudak. 2005. Pheromone trap catches of the olive moth, *Prays oleae* (Bern.) (Lep., Plutellidae) in relation to olive phenology and degree-day models. *J Appl Entomol* 129 (7):375–381.
- Kumral, N. A., B. Kovancı and B. Akbudak. 2008. Using degree-day accumulations and host phenology for predicting larval emergence patterns of the olive psyllid, *Euphyllura phillyreae*. *J Pest Sci*, 81: DOI: 10.1007/s10340-007-0185-6.
- Miller, P., W. Lanier and S. Brandt. 2001. Using Growing Degree Days to predict plant stages. *Field Crops E-5 (Cropping Practices)*. Mountana University publications.
- Nabity, P. D., L. G. Higley and T. M. Heng-Moss. 2006. Effects of Temperature on Development of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae) and Use of Developmental Data in Determining Time Intervals in Forensic Entomology. *Journal of Medical Entomology*, 43 (6):1276-1286.
- Nietschke, B. S., R. D. Magarey, D. M. Borchert, D. D. Calvin, E. Jones. 2007. A developmental database to support insect phenology models. *Crop Protection* 26: 1444–1448.
- Öncüer, C. 2004. Tarımsal Zararlılarla Savaş Yöntemleri ve İlaçlar. Adnan Menderes Üniversitesi Yayınları No. 19, 5. baskı, 424 s.
- Önder, F. ve Y. Karsavuran. 1985. Böcek Ekolojisi Dersi Uygulama Kılavuzu. Ege Ü. Z. F. Yay. No. 482, 89 s.
- Önder, F. 2004. Bitki Zararlılarının Ekolojisi ve Epidemiyolojisi. META Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova, İzmir, s. 81.

- Satar, S., U. Kersting and M. R. Ulusoy. 2005. Temperature Dependent Life History Traits of *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hom., Aphididae) on White Cabbage. Turk. J. Agric. For. 29: 341-346.
- Sharov, A. A. 1995. Analysis of Meyen's typological concept of time. in: A. P. Levich (ed.) On the way to understanding the time phenomenon: The constructions of time in natural sciences. Part 1. Interdisciplinary time studies. World Scientific, Singapore, pp. 57-67.
- Sharov, A. 2008. Development of poikilothermous organisms, degree-days. *Course: Quantitative Population Ecology* (www.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/).
- Şişli, M. N. 1996. Çevre Bilim, Ekoloji. Yeni Fersa Matbaacılık, Ankara, 492 s.
- Vasquez, D. P. and D. Simberloff. 2001. Taxonomic selectivity in surviving introduced insect pests. In: Lockwood, J., McKinney, M. (Eds.), Biotic Homogenization. Kluwer Academic, NY, USA, pp. 103-124.
- Zırhloğlu, G., A. Durmuş ve M. Taşkesen. 2004. Leslie Matris Modeli Kullanılarak Populasyon Büyüklüğünün Tahmin Edilmesi. 4. Ulusal Zootečni Bilim Kongresi, 01-03 Eylül 2004 sf 647-650. Isparta.