

**HAYAT TABLOSU VERİLERİ KULLANARAK ELDE
EDİLEN MATEMATİKSEL MODEL VE UYGULAMALARI**

**A MATHEMATICAL MODEL GENERATED BY USING
LIFE TABLE DATA AND ITS APPLICATIONS**

MURAT CAN DEMİROK

PROF. DR. NEVİN KESKİN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

HAYAT TABLOSU VERİLERİ KULLANARAK ELDE EDİLEN MATEMATİKSEL MODEL VE UYGULAMALARI

Murat Can DEMİROK

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nevin KESKİN

Eş Danışman: Dr. Kamil ERGÜLER

Şubat 2020, xi+87 sayfa

Sıcaklık sivrisinek popülasyon dinamiği üzerindeki en baskın faktördür. Sıcaklığın farklı evrelerdeki bireylerin gelişim süreleri ve mortalite oranlarına olan etkileri hayat tablolarıyla gösterilir. Hayat tabloları matematiksel modelleme çalışmaları için yeterince detaylı veriler sağlar. Bu tez çalışması kapsamında hayat tablosu verileri bilinen *Culex quinquefasciatus* türüne ait matematiksel popülasyon modeli (sPop) oluşturulmuştur. Bu popülasyon modeli kullanılarak, iklim verileri bilinen bölgelere ait popülasyon dinamiği tahminleri yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Ankara ilinde arazi çalışmaları yapılarak dört bölgede 15 farklı lokaliteden yaklaşık altı ay boyunca toplam 1178 adet sivrisinek toplanmış ve yedi farklı konumdan sıcaklık verisi alınmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda popülasyon modeli tahminlerinin ve popülasyon dinamiğinin en uyumlu olduğu lokalite İmrahor-1 olarak tespit edilmiş, Dodurga-1 lokalitesinde de kısmi uyum gözlenmiştir. İnternet tabanlı ERA5 sıcaklık verileri ile yapılan karşılaştırmalarda ise Karaoğlan, Dodurga ve İmrahor bölgelerinde popülasyon modeli ve

popülasyon dinamiğinin kısmi olarak uyumu gözlenmiştir. Tüm lokalitelerde ve bölgelerde yapılan karşılaştırmalarda, sıcaklık verilerinin çözünürlüğü arttıkça modelin daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı kullanılarak çalıştırılan bu modele yağış, bağıl nem, su sıcaklığı gibi daha fazla iklimsel parametrenin eklenmesi ve modelde daha yüksek çözünürlüklü veri kullanılması ile bu popülasyon modelinin tahminleme gücünün artacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: hayat tablosu, matematiksel model, mevsimsel popülasyon dinamikleri, *Culex quinquefasciatus*



ABSTRACT

A MATHEMATICAL MODEL GENERATED BY USING LIFE TABLE AND ITS APPLICATIONS

Murat Can DEMİROK

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Nevin KESKİN

Co- Supervisor: Dr. Kamil ERGÜLER

February 2020, xi+87 pages

Temperature is the most dominant factor affecting mosquito population dynamics. Life tables quantify the impact of temperature on development durations and mortality rates at different development stages. They provide a valuable source of information for developing accurate mathematical representations of temperature-driven population dynamics. In the scope of this thesis, by using available life table records of *Culex quinquefasciatus* obtained at a range of temperatures, a mathematical population dynamics model (sPop) was developed. The aim of this thesis is to assess the use of mathematical modelling in predicting the population dynamics of *Culex quinquefasciatus* over the regions with known temperature profiles. According to this, a monitoring study was conducted at 15 locations distributed over four different regions of Ankara. As a

result, a total of 1178 mosquitoes were sampled from all the locations, while temperature recordings were obtained from seven locations. The model was found in agreement with the observations made at İmrahor-1, while partial agreement was detected between the Dodurga-1 observations and corresponding model predictions. When used with the corresponding ERA5 temperature profiles, the model demonstrated partial agreement with the observations in Karaoğlan, Dodurga, and İmrahor regions. The agreement improved in all regions and localities upon increasing the time resolution of model iterations and temperature data. The author concludes that the inclusion of additional climatic variables such as precipitation, relative humidity, and water temperature in high temporal resolution might increase the predictive power of this ambient temperature-driven population dynamics model.

Keywords: life table, mathematical model, seasonal population dynamics, *Culex quinquefasciatus*

TEŞEKKÜR

Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans programı mülakat sınavı için bölüme geldiğim ilk günden itibaren bana yardımcı olan, bana olan desteğini ve inancını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nevin Keskin'e,

Yüksek lisans programına katıldıktan sonra Ekoloji dersinde tanıştığım ve sonrasında çalışma grubuna dahil olduğum, maddi manevi her konuda desteğini hissettiğim, bilgi ve deneyimiyle her zaman ışık tutan hocam Sayın Prof. Dr. S. Bülent Alten'e,

Bu tez çalışmasının başladığı günden bugüne kadar akademik bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, aynı ortamda çalışmıyor olmamıza rağmen her zaman ve her koşulda sanki aynı laboratuvarında çalışıyormuşuz gibi kendisini yanımda hissettiğim, tez süreci boyunca gösterdiği ilgi, alaka ve katkılardan dolayı tez eş danışmanım Sayın Dr. Kamil Ergüler'e,

Pek çok arazi ve laboratuvar çalışmasında yardımını esirgemeyen, önceki çalışmalarıyla bu tez çalışmasına kaynak sağlayan, maddi ve manevi destekleri için Sayın Dr. Filiz Günay'a,

Laboratuvarında ve arazi çalışmalarında daima yol gösteren ve destek olan hem bilimsel hem de manevi tüm katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Özge Erişöz Kasap'a,

Tez çalışmasının arazi kısımlarında dahi beni yalnız bırakmayan, bu çalışmaların daha kolay ve daha keyifli geçmesini sağlayan, her zaman yanımda olduklarını bana hissettiren değerli dostlarım Pınar Kurtoğlu ve Begüm Karaoğlu'na,

EBAL'deki tüm çalışmalarda birlikte yer aldığım, desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli ekip arkadaşlarım Gizem Oğuz, Ayda Yılmaz, Sevilay Karagül ve Kıvanç Sevim'e,

Her durumda ve her koşulda yanımda olan, ev arkadaşım ve 30 yıllık ablam İpek'e, evin gerçek sahibi Totik'e ve her zaman en büyük destekçilerim olan öncelikle anneme ve babama, sonra ise tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaçlar	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Ross'tan Günümüze Matematiksel Modeller	4
2.2. Yaşa Bağlılık Modeli ve Diğer Yaklaşımlar	6
2.3. sPop Modeli	7
2.4. Gamma Dağılımı	8
3. YÖNTEM VE GEREÇLER	11
3.1.1. Araziden Sivrisinek Örnekleri Toplanması	11
3.1.2. Sıcaklık Ölçümü	13
3.2.1. Modelin Çalışma Prensipleri ve Parametreler	14
3.3. Hayat Tablosu Parametrelerinin Tüm Sıcaklıklar için Tahmin ve Uyarlamaları	15
4. BULGULAR	18
4.1. Hayat Tablosu Parametrelerinin Tüm Sıcaklıklar için Tahmin ve Hesaplamaları	18
4.1.1. Ortalama Yumurta Gelişim Süresi ve Yumurta Gelişim Süresi Standart Sapması	18

4.1.2. Günlük Yumurta Ölüm Oranı.....	19
4.1.3. Larva, Pupa Gelişim Süreleri ve Hayatta Kalma Parametreleri.....	20
4.1.4. Ergin Ömür Uzunluğu.....	28
4.1.5. Dişi Başına Düşen Günlük Yumurta Sayısı (Günlük Fekondite)	31
4.1.6 Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis).....	36
4.2. Popülasyon Dinamiği Çalışmaları ve Sıcaklık Ölçümleri	38
4.3. Popülasyon Modeli Oluşturulması	42
4.3.1. Fonksiyon ve Verilerin Popülasyon Modeline Eklenmesi	42
4.3.2. Parametre Fonksiyonları	43
4.3.3. Zaman Birimi Tanımlanması	43
4.3.4. Birleştirme, İterasyon ve sPop	44
4.3.5. Popülasyon Dinamiği ve Sıcaklık Verilerinin Modele Girilmesi.....	46
4.4. Popülasyon Modeli ve Popülasyon Dinamiği Karşılaştırılması	46
4.4.1. Karaoğlan ve Dodurga Köyleri Karşılaştırmaları	47
4.4.2. İmrahor Kenarkenti ve Dikmen Şehir Merkezi Karşılaştırmaları	55
5. TARTIŞMA.....	61
5.1. Veri Çözünürlüğü, Su Sıcaklığı, Sivrisinek Aktifliği ve Sıcaklık Ölçümü..	61
5.2. Abiyotik faktörler: Su kaynakları, Yağış, Nem, Rüzgar ve Işık	64
5.3. Biyotik faktörler: Konak tercihi, Kuluçka süresi ve Günlük Fekondite	65
5.4. Hayat Tablosu Koloni Farklılıkları, Laboratuvar-Arazi Popülasyonları	66
5.5. Örneklem Büyüklüğü ve İnsan Etkisi	67
6. KAYNAKLAR.....	68
EKLER	73
EK 1- Arazi Çalışması Yapılan İstasyonlar ve İlgili Bilgiler	73
EK 2- Larva Pupa ve Ergin için Hayat Tablosu Verileri.....	74
EK 3- Kan Emmiş Dişi Ömür Uzunluğu	81
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Sivrisinek yaşam döngüsü	2
Şekil 2.4.1.	Gama dağılımı ve eksponansiyel dağılım karşılaştırması	10
Şekil 3.1.1.1.	Ankara ilindeki arazi çalışma bölgeleri	11
Şekil 3.1.2.	ERA5 sıcaklık verilerine ve tuzaklara ait konumlar	13
Şekil 3.3.1.	<i>Bactrocera dorsalis</i> yumurtalarının sıcaklığa bağlı gelişim oranı grafiği	16
Şekil 4.1.1.1.	Sıcaklığa bağlı yumurta gelişim süresi uyarlaması	18
Şekil 4.1.2.1.	Sıcaklığa bağlı günlük yumurta ölüm oranı uyarlaması.....	20
Şekil 4.1.3.1.	Larva ve pupa parametreleri için sPop modeli çalışma özeti	21
Şekil 4.1.3.2.	15°C sıcaklıkta kümülatif pupalaşma ve erginleşme gözlemleri ile model tahmini karşılaştırması	24
Şekil 4.1.3.3.	Sıcaklığa bağlı günlük larva ölüm oranı ve model tahmini	25
Şekil 4.1.3.4.	Sıcaklığa bağlı larva gelişim süresi ve model tahmini	26
Şekil 4.1.3.5.	Sıcaklığa bağlı günlük pupa ölüm oranı ve model tahmini	27
Şekil 4.1.3.6.	Sıcaklığa bağlı ortalama pupa gelişim süresi ve model tahmini.....	28
Şekil 4.1.4.1.	Nispi zamana göre hayatta kalan kan emmiş dişi sayısı, gözlem verileri ile gama dağılımı karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.1.4.2.	Sıcaklığa bağlı ergin ömür uzunluğu ve model tahmini.....	31
Şekil 4.1.5.1.	20°C sıcaklıkta dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı model tahmini	33
Şekil 4.1.5.2.	30°C sıcaklıktaki dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı gösterimi ...	34
Şekil 4.1.5.3.	Sıcaklığa bağlı dişi başına düşen günlük yumurta sayısı model tahmini	35
Şekil 4.2.1.	Karaoğlan köyünde 4 farklı tuzak ile toplanan <i>Culex pipiens s.l.</i> sayıları.....	38
Şekil 4.2.2.	Dodurga köyünde 6 farklı tuzak ile toplanan <i>Culex pipiens s.l.</i> sayıları	39
Şekil 4.2.3.	İmrahor kenar kentinde 2 farklı tuzak ile toplanan <i>Culex pipiens s.l.</i> sayıları.....	39
Şekil 4.2.4.	Dikmen şehir merkezinde 3 farklı tuzak ile toplanan <i>Culex pipiens s.l.</i> sayıları ...	40
Şekil 4.2.5.	12.04.2018 – 28.09.2018 tarihleri arasında ERA5 ve 7 farklı konumdaki data logger'lerden alınan günlük ortalama sıcaklık verileri karşılaştırması	41
Şekil 4.2.6.	Arazi çalışması boyunca 12.04.2018 – 28.09.2018 tarihleri arasında Kar1, Kar3 ve Kar6 konumlarından 6 saatte bir alınan sıcaklık verilerinin karşılaştırması	42
Şekil 4.3.4.1.	<i>Culex</i> cinsi sivrisineklerin yaşam döngüsü ve model parametreleri	45
Şekil 4.4.1.1.	Kar1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar1 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	47
Şekil 4.4.1.2.	Kar1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	48

Şekil 4.4.1.3. Kar3 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar3 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	49
Şekil 4.4.1.4. Kar3 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	49
Şekil 4.4.1.5. Kar6 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar6 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	50
Şekil 4.4.1.6. Kar6 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	50
Şekil 4.4.1.7. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	51
Şekil 4.4.1.8. Dod1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dod1 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	52
Şekil 4.4.1.9. Dod1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	53
Şekil 4.4.1.10. Dod2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dod2 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	54
Şekil 4.4.1.11. Dod2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	54
Şekil 4.4.1.12. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	55
Şekil 4.4.2.1. Im1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Im1 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	56
Şekil 4.4.2.2. Im1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve İmrahor bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	57
Şekil 4.4.2.3. Im2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Im2 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması	58
Şekil 4.4.2.4. Im2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve İmrahor bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	58
Şekil 4.4.2.5. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve İmrahor ve Dikmen bölgelerindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması	59
Şekil 4.4.2.6. ERA5 sıcaklık verilerinin çözünürlüğüne göre model tahmini	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.2.1.1.	Modelde kullanılan parametreler	15
Çizelge 3.3.1.	Lineer olmayan denklemler	17
Çizelge 3.3.2.	Hayatta kalma parametreleri için modelde kullanılan alt ve üst sınır sıcaklıkları	17
Çizelge 4.1.1.1.	Sıcaklığa bağlı yumurta gelişim süresi değerleri	18
Çizelge 4.1.2.1.	Sıcaklığa bağlı günlük ortalama yumurta ölüm oranı	20
Çizelge 4.1.3.1.	15°C sıcaklıkta model ile tahmini yapılan altı farklı parametre değeri	24
Çizelge 4.1.3.2.	Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen günlük ortalama larva ölüm oranı	25
Çizelge 4.1.3.3.	Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama larva gelişim süresi ve standart sapması	26
Çizelge 4.1.3.4.	Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen günlük ortalama pupa ölüm oranı	26
Çizelge 4.1.3.6.	Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama pupa gelişim süresi ve pupa gelişim süresi standart sapması	28
Çizelge 4.1.4.1.	Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama ergin ömür uzunluğu ve standart sapması	30
Çizelge 4.1.5.1.	Sıcaklığa bağlı model ile tahmin edilen dişi başına düşen günlük yumurta sayısı	35
Çizelge 4.1.5.2.	Modelde Kullanılan Tüm Parametreler ve Sıcaklığa Bağlı Değişimleri	36
Çizelge 4.1.6.1.	Modelde Kullanılan Parametrelerin Duyarlılık Analizi Sonuçları	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}$	Derece
σ	Standart sapma
μ	Ortalama
θ	Gamma ölçek parametresi
k	Gamma şekil parametresi

Kısaltmalar

CDC	Centers for Disease Control and Prevention
EBAL	Ekolojik Bilimler Araştırma Laboratuvarı
VERG	Vector Ecology Research Group
ERA5	Climate Reanalysis Dataset
sPop	Matematiksel popülasyon modeli

1. GİRİŞ

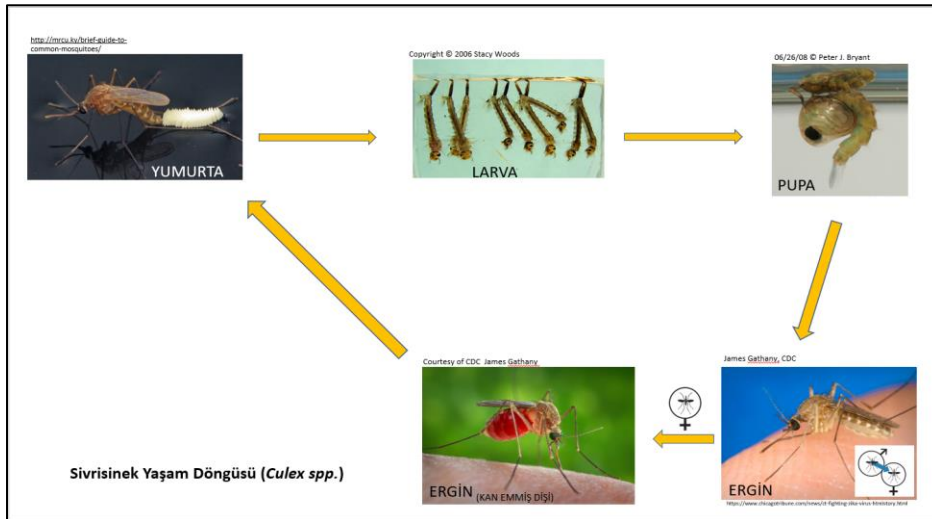
Sivrisinekler omurgasız hayvan gruplarından olan böcekler sınıfının Culicidae ailesinde bulunurlar. Soğukkanlı canlılar olmalarından dolayı, sivrisineklerin yaşam döngüsündeki en önemli dış etkenlerden birisi sıcaklıktır [1]. Sıcaklık, metabolizmanın ve gelişim hızının belirleyicisidir [2]. Bunun yanında yağış rejimi, bağıl nem, rüzgar, konak tercihi ve mikro iklim gibi değişkenlerin de sivrisineklerin yaşam döngüsü ve popülasyon dinamiği üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [3–5].

Sıcaklığın ve diğer değişkenlerin sivrisineklerin yaşam dinamiği üzerindeki etkilerini göstermeye yarayan araçlardan birisi hayat tablolarıdır [6]. Hayat tabloları yardımıyla bir kohorta ait mortalite, gelişim, fekondite gibi parametreler hesaplanabilmektedir. Öncelikle her evredeki kohort kendi içerisinde ve belirli zaman aralıkları ile takip edilir. Sonrasında ise kohortlara ait hayatta kalma durumları ve gelişim seviyeleri not edilerek hayat tablosu oluşturulur.

Sivrisineklerin yaşam döngüsü dört ana evreden oluşur (Şekil 1.1.). Bunlar yumurta, larva, pupa ve ergin evreleridir. *Culex* cinsi dişi sivrisinekler tüm yumurtalarını su yüzeyine paket halinde bırakırlar. Sıcaklığa ve diğer dış etkenlere bağlı olarak birkaç günde açılan yumurtalar larva evresine geçerler. Larva evresi sivrisinek yaşam döngüsünde en uzun süren sucul evredir. Beslenme, sıcaklık ve diğer dış etkenler en uygun durumdayken larvalar gelişimlerini 7-16 günde tamamlarlar [7]. Gelişimini tamamlayan larvalar, pupaya dönüşürler. Pupa evresindeki bireylerde beslenme görülmesi de pupalar diğer dış etkenlere de bağlı olarak tıpkı yumurta evresindeki gibi kısa sürede gelişimlerini tamamlarlar. Gelişen pupalar erginlere dönüşürler. Özellikle ergin bireylerin yaşam süreleri sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Bu konudaki genel kanı sıcaklık arttıkça ömür uzunluğunun azaldığı, sıcaklık azaldığında ise ömür uzunluğunun arttığı yönündedir [7,8].

Culex quinquefasciatus (Say, 1823) türü *Culex* cinsine ait olup, *Culex pipiens* tür kompleksinin üyesidir [9]. *Cx. quinquefasciatus*, Güneyli Ev Sivrisineği (Southern House Mosquito) dişileri kan emmek için genellikle geceleri aktif olurlar. Dünya üzerinde tropik ve subtropikal alanlarda geniş bir yayılım gösterirler. Bu tür deniz seviyesinin 2300 metre yukarılarında dahi gözlenebilir [1].

Cx. quinquefasciatus türü; Batı Nil Virüsü, St. Louis ensefaliti ve fil hastalığı gibi hastalıklara neden olan patojenlerin taşıyıcısıdır [1,9]. Buna ek olarak, 2015 yılında Brezilya'da ortaya çıkan salgınla birlikte, önceleri sadece *Aedes* cinsi sivrisineklerle taşındığı düşünülen Zika virüsünün (ZIKV) de, *Cx. quinquefasciatus* türü sivrisineklerle taşınabileceği laboratuvar koşullarında kanıtlanmıştır [10,11]. Ayrıca, Chikungunya virüsünün de *Cx. quinquefasciatus* tarafından taşınabildiği gösterilmiştir [9]. Bu açıdan *Cx. quinquefasciatus*, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için küresel çapta bir halk sağlığı tehdidi unsurudur [10]. Bu unsurla mücadele edebilmenin en etkili yolu öncelikle tehdidin büyüklüğü hakkında fikir sahibi olmaktır. Bu sebeple, arazi ve laboratuvar çalışmaları ile birlikte bu çalışmalardan elde edilen veriler yardımıyla oluşturulacak model ve modelleme tahminleri, bu mücadelenin nasıl ve ne boyutta yapılması gerektiği konusunda kritik rol oynayabilmektedir.



Şekil 1.1. Sivrisinek yaşam döngüsü

(Su yüzeyine bırakılan yumurtalardan hayatta kalanlar gelişimlerine larva evresinde devam ederler. Hayatta kalan ve gelişimlerini tamamlayabilen larvalar pupaya dönüşürler. Bu evrede hayatta kalan pupalar ise ergin evresine geçiş yaparlar. Ergin dişiler yumurtlayabilmek için çoğunlukla kan emmeye ihtiyaç duyarlar. Kan emdikten sonra hayatta kalan bireyler ise bir süre sonra tekrar su yüzeyine yumurta bırakarak döngünün sürdürülmesini sağlarlar.)

1.1. Amaçlar

Bu tez çalışması kapsamında hayat tablosu verileri [8] kullanılarak aşağıdaki amaç ve hedefler doğrultusunda çalışılmıştır:

- Hayat tablosu verilerinin uygun formlara dönüştürülerek matematiksel modelin parametrelerinin oluşturulması,
- Bu parametrelerin tezde kullanılan beş farklı sıcaklıkta aldığı değerlerin hesaplanmasıyla, literatürün de yardımıyla bu değerlere uygun fonksiyon ve eğrilerin tanımlanması; bu sayede tüm parametreler için her bir sıcaklık girdisine karşılık bir çıktı değeri elde edilmesi,
- Tüm parametrelerin uygun bir programlama dili (R, [12]) kullanılarak birleştirilmesi ve matematiksel modelin oluşturulması,
- Sivrisinek popülasyon dinamiğini ölçebilmek amacıyla Ankara sınırları içinde farklı lokasyonlarda periyodik olarak yapılan arazi çalışmaları kapsamında sivrisinek tuzakları kurulması ve sıcaklık ölçümü yapılması,
- Oluşturulan matematiksel modelin uygun sıcaklık verileri ile karşılaştırılması,
- Matematiksel model ile arazi çalışması sonucu elde edilen Ankara'daki sivrisinek popülasyon dinamiği verilerinin karşılaştırılması,
- Modelin sıcaklığa bağlı popülasyon dinamiği tahmininde kullanılmasının test edilmesi.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ross'tan Günümüze Matematiksel Modeller

Sivrisineklerin doğadaki yaşam döngüsünü tahmin etmede kullanılacak güçlü araçlardan birisi matematiksel modellerdir. Sivrisinekler ve sebep olduğu hastalıkları anlamaya ve bunlara önlem almaya yönelik ilk matematiksel modeller, 1900'lerin başında Ronald Ross'un çalışmaları ile şekillenmiştir [13–16].

Ross'un sivrisinekler ile yaptığı ilk matematiksel model, bir arada bulunan bir grup ergin sivrisineğin hareketini tahmin etmek amaçlıydı [14]. Ross daha sonra bir süre Mauritius adalarında sıtma salgını ve yayılması üzerine çalışmış, gözlemlerini ve bulgularını "Report on the Prevention of Malaria in Mauritius" adıyla 1908 yılında raporlamıştır. Aynı zamanda ilk dinamik sıtma modeli olan bu çalışmada Ross, bir aylık süre boyunca enfekte olacak insan sayısını tahmin etmeye çalışmıştır [16].

Bu sayede Ross, o zaman dilimindeki (bir ay) enfeksiyon sayısının sivrisinek sayısına ve enfekte olan insan sayısına bağlı olduğunu göstermiştir. Ross raporunda, kişi başına sivrisinek oranının 2, 1, 0.5 ve 0 olduğu durumları incelemiş ve sıtma vakalarının azaltılması için tüm sivrisinekleri yok etmenin hem maliyetli hem de gereksiz olduğunu göstermiştir [16].

Ross'un ilk dinamik sıtma modeliyle bu alanda başlayan çalışmalar sonraki yıllarda Waite, Lotka, Sharpe ve Macdonald tarafından geliştirilmeye devam edilmiştir [17]. Bunun üzerine Ross en küçük zaman dilimi için kullanılabilecek ikinci modelini yayınlamış ve bu modelinde diferansiyel denklemlere yer vermiştir [13,15]. Bu model, Lotka'nın detaylı matematiksel analizleriyle birleşerek aşağıdaki halini almıştır [17,18]:

$$\frac{dX}{dt} = m * a * z * (H - X) - rX \quad , \quad \frac{dZ}{dt} = a * c * x * (M - Z) - gZ$$

Eşitlik 2.1.1. Ross-Lotka modeli. Enfekte olan insan sayısının ve enfekte olan sivrisinek sayısının zamana göre değişimi (X : enfekte olan insan sayısı, t : birim zaman, m : kişi başına düşen sivrisinek sayısı, a : günlük insan kanıyla beslenen sivrisinek oranı, z : enfekte olan sivrisineklerin oranı, H : insan nüfus yoğunluğu, r : enfeksiyondan günlük iyileşme oranı, Z : enfekte sivrisinek sayısı, c : bir sivrisineğin enfekte bir insanı ısırıldıktan sonra enfeksiyon kapma ihtimali, x : enfekte insan oranı, M : sivrisinek popülasyonu, g : anlık sivrisinek ölüm oranı)

Eşitlik 2.1.1.'in birinci kısmında, birim zaman içinde değişen enfekte (sıtma) olan insan sayısı ($\frac{dX}{dt}$), sağlıklı insan sayısı ile ($H - X$), kişi başına düşen sivrisinek sayısının (m) günlük insan kanıyla beslenen sivrisinek oranı (a) ve enfekte olan sivrisinek oranı ile çarpımından (z), günlük iyileşen insan sayısının (rX) çıkarılması ile ifade edilir. Eşitlik 2.1.1.'in ikinci kısmında ise, birinci kısma benzer şekilde fakat bu kez birim zamanda enfekte olan sivrisinek sayısındaki değişim ($\frac{dZ}{dt}$) şeklinde ifade edilmiştir [17]. Sonraki yıllarda Ross'un dinamik sıtma modeli, parazitin hem sivrisinek hem de insan vücudundaki kuluçka süresi (parazite maruz kalma ile enfekte olma arasında geçen süre) dikkate alınarak Lotka ve Sharpe (1923) tarafından geliştirilmiştir [17,19].

1950'lerde Ross'un ayak izlerini takip eden Macdonald olmuştur. Macdonald, Ross'un dinamik sıtma modeline hem reeneksiyon (enfekte olan bir insanın aynı etkenle tekrar enfekte olması durumu) kavramını eklemiş hem de modelin matematiğini önemli ölçüde geliştirmiştir. Bununla birlikte Macdonald'ın yaptığı en önemli katkı, Ross'un kendi döneminde yapmaya çalıştığı entomolojik ve kantitatif kontrol teorilerini geliştirmek olmuştur. Macdonald'ın Ross modelleri üzerinde, sonradan bu modelleme yaklaşımlarının Ross-Macdonald olarak anılmasına sebep olacak kadar büyük etkisi vardır [17].

Ross-Macdonald modeli temelde net üreme oranı (basic reproductive number, R_0) ve vektör kapasitesini (vectorial capacity, V) baz alır. Net üreme oranı ve vektör kapasitesi ergin sivrisinek sayısı, ömür uzunluğu, sokma oranı-kan emme davranışı, zaman-mekan ve patojenin sivrisinek içindeki kuluçka süresi ile değişkenlik göstererek Eşitlik 2.1.2.'deki gibi ifade edilmiştir [17,20]:

$$R_0 = \frac{m \cdot a^2 \cdot b \cdot c}{g \cdot r} * e^{-g \cdot v} \quad , \quad V = \frac{m \cdot a^2}{g} * e^{-g \cdot v}$$

Eşitlik 2.1.2. Net üreme oranı ve vektoryal kapasite (R_0 : net üreme oranı, m : kişi başına düşen sivrisinek sayısı, a : günlük insan kanıyla beslenen sivrisinek oranı, b : insanı ısırarak enfekte eden sivrisineklerin oranı, c : bir sivrisineğin enfekte bir insanı ısırıldıktan sonra enfeksiyon kapma ihtimali, g : anlık sivrisinek ölüm oranı, r : enfeksiyondan günlük iyileşme oranı, $e^{-g \cdot v}$: bir sivrisineğin enfeksiyonu aldıktan sonra hastalığı bulaştıracak seviyeye gelene kadar hayatta kalma ihtimali (P), V : vektoryal kapasite)

2.2. Yaş Bağıllık Modeli ve Diğer Yaklaşımlar

Sivrisineklerle ilgili matematiksel modeller günümüzde de çoğunlukla Ross-Macdonald modeli baz alınarak yapılmaktadır. 1970 ile 2010 yılları arasında kapsayan bir çalışmada, sivrisinekler tarafından taşınan hastalıklar ile ilgili yapılan mekanistik modellerin çoğunun Ross-Macdonald modeliyle benzerlik taşıdığı gösterilmiştir [21]. Bununla birlikte, sivrisineklerin popülasyon dinamiğiyle ilgili çalışmalar için farklı yaklaşımlar ve modeller de geliştirilmiştir. Bu modeller canlının yaşam dönemlerine göre evre-yapısal (stage-structured) ve yaş-yapısal (age-structured) olarak sınıflandırılabilir. Sivrisineklerle ilgili 1940'larda Bernardelli, Lewis ve Leslie'nin ayrı ayrı geliştirdiği yaş-yapısal modelde gelişimin genellikle günlük olarak devam ettiği varsayılır [22–24]. İlk olarak Lefkovitch'in ortaya attığı [25] evre-yapısal modelde ise yaşları bilinmeyen ya da bilinmeyen popülasyonların daha kolay analiz edilebilmesi için, yumurta, larva, pupa ve ergin evrelerinin gelişimi ayrı ayrı ele alınır. Bu iki farklı yaklaşımın birlikte kullanıldığı çalışmalar da vardır [24].

Yaş bağıllık modelinde aynı evrede farklı yaşlarda bulunan bireylerin farklı hayatta kalma, farklı ortalama gelişim süresi ve farklı ölüm oranlarına sahip olduğu kabul edilir. Özellikle sivrisinekler için ergin dönem mortalite değerleri, sivrisineğin kaç yaşında (kaç günlük) olduğuna göre değişir. Örneğin, bir gün önce pupadan erginleşen sivrisinek ile, aynı koşullarda yaşayan ve diğerinden 10 gün önce erginleşmiş olan sivrisineğin o gün içerisinde ölme ihtimalleri birbirinden farklıdır. Yeni erginleşen sivrisineklerin mortalite oranı kendisinden yaşça büyük olan erginlere göre daha düşüktür [26,27].

Culex quinquefasciatus türü kullanılarak daha farklı modelleme çalışmaları da yapılmıştır. Örneğin; küresel iklim değişikliğinin türün dağılımı üzerindeki etkisi, türün bulunma verisi ve iklim verileri kullanılarak niş modellemesi ile incelenmiştir [28]. Yağış, sıcaklık ve yükseklik verileri kullanılan bir çalışmada ise modelleme, gün-derece yaklaşımı ile yapılmıştır [29]. Hayat tablosu verileri kullanılarak oluşturulan matematiksel bir modelin uygulandığı diğer bir çalışmada ise, sıcaklığın *Culex quinquefasciatus* türü üzerindeki gelişim ve hayatta kalma oranlarına etkisi incelenmiştir [30].

Zamana bağlılık kapsamında değerlendirildiğinde ise yakın geçmişte matematiksel modelleme çalışmalarında yaygın olarak yaşam süresi analizi, gün derece yöntemi ve yaş/evre yapısal popülasyon dinamiği yaklaşımları tercih edilmiştir [31–33]. Farklı fizyolojik evrelere sahip -başkalaşım geçiren- sivrisinek gibi holometabol canlılarda, her evrede çevre koşullarına (sıcaklık vb.) verilen tepkiler farklı olabilir [34]. Yukarıda bahsedilen yaşa bağlı mortalite değişimleri göz önüne alındığında, sivrisinekleri önce evrelerine göre, sonra da yaşlarına göre incelemek doğadaki durumu daha iyi modelleyebilmek anlamına gelir. Kurt sineği (blow fly) ile yapılan bir çalışmada, bu konudaki diğer bir alternatif olan evre yapısal model kullanılmıştır [35]. Bu tez çalışması kapsamında, yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak, yaş yapısal ve ayrık zamanlı (age-structured discrete-time) bir model olan Ergüler sPop modeli kullanılmıştır [34].

2.3. sPop Modeli

Bir canlı türüne ait popülasyonlarda yer alan bireylerin özellikleri ne kadar birbirine benzese de belirli ölçüde heterojenlik barındırırlar [34]. Böceklerde gelişim, farklı fizyolojik evrelerde farklı hızlarda görülür. Gelişim hızı genelde, sıcaklık ve diğer çevresel etkenlere bağlı olabileceği gibi kalıtsal farklılıklara bağlı olarak da değişim gösterir.

Matematiksel modellerde yaşa bağıllık (age dependency) ile çalışmak her bireyin yaşını bilmeyi gerektirdiği için zorlayıcı olabilir. Bunu aşmak için kullanılan yaygın yaklaşımlardan birisi, her evrenin farklı özelliklerini ve bir evreden diğerine geçmek için gereken süreyi hesaba katmaktır. Bu yaklaşım, hayvanların gelişim modellemesinde, yaşam döngülerinde ve hastalık yayılması gibi konularda geniş ölçüde kullanılır [34].

Ergüler sPop çalışmasında [34], popülasyonu farklı yaş ve gelişim gruplarına göre otomatik olarak sınıflayan ve bir sonraki durumu tahmin eden bir yaklaşım geliştirmiştir. Buna göre popülasyonda aynı evrede bulunan bireylerin heterojen olduğu kabul edilir ve her evredeki bireyler, yaş ve gelişim düzeylerine göre benzer gruplarda toplanır. Bireylerin o evrede ne kadar bulunacağına karar veren iki faktör bulunur. Bunlardan birincisi hayatta kalma (survival), ikincisi ise gelişim düzeyidir (development). Gelişimin sağlanabilmesi için hayatta kalma şarttır [34]. Hayatta kalma ve gelişim, sPop modelinde verilen zaman dilimi içerisinde sabit bir hızda, belirli bir süre bekledikten sonra, Gamma veya Negatif Binom olasılık dağılımlarını takip ederek ilerleyebilir. Bu çalışma kapsamında, deneysel verilere uygunluğundan yola çıkılarak gamma dağılımı tercih edilmiştir.

2.4. Gamma Dağılımı

Gamma dağılımı, asimetric dağılımı analiz etmek için en sık kullanılan modeldir [36]. Gamma dağılımının yaygın olarak kullanılan formlarından birisi shape (şekil) ve scale (ölçek) parametreleri ile ifade edilen iki parametrelidir (Eşitlik 2.4.1.).

$$k = \frac{\mu}{\theta} \quad , \quad \theta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

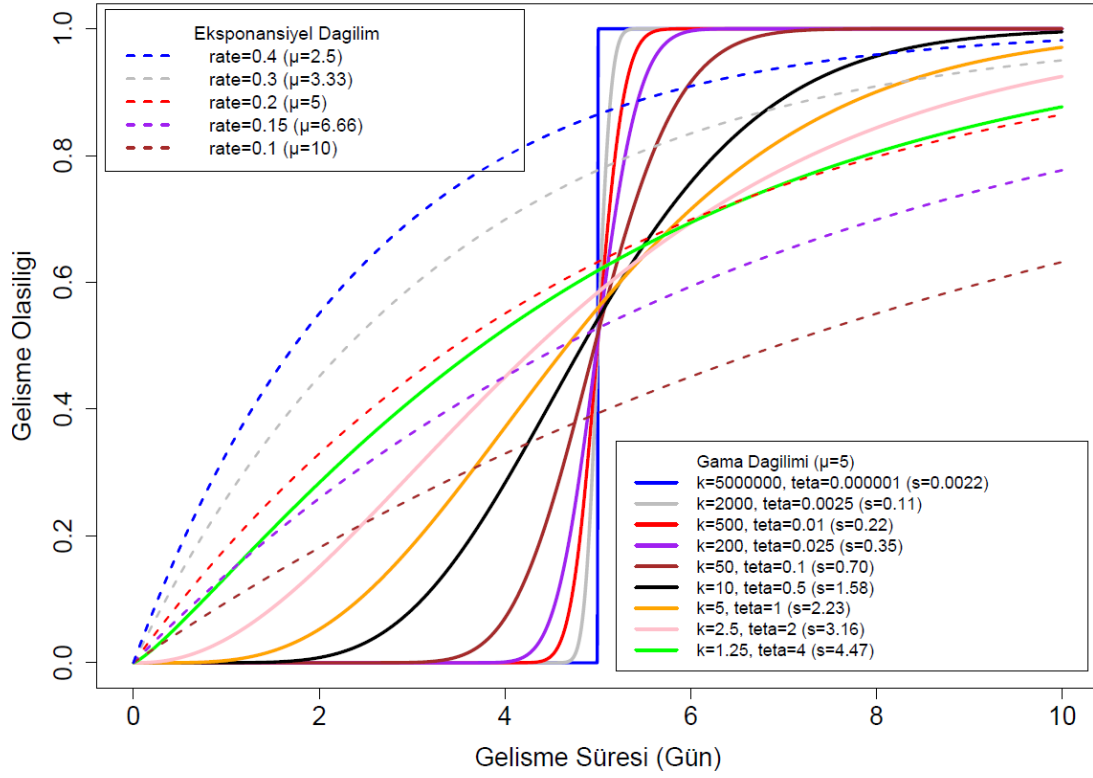
Eşitlik 2.4.1. Gamma dağılımı parametreleri (μ : ortalama, σ : standart sapma, θ : teta, scale (ölçek), k: shape (şekil))

Eşitlik 2.4.1.'deki gibi şekil ve ölçek parametreleri kullanılarak o gruba ait ortalama ve standart sapma değerleri bulunabilir, ya da tam tersi ortalaması ve standart sapması bilinen gruba ait gamma dağılımı eğrileri çizilebilir.

Böceklerde özellikle gelişim sürelerini ifade etmede yaygın olarak eksponansiyel eğriler kullanılmaktadır. Şekil 2.4.1.'de, kümülatif gama eğrileri ile eksponansiyel eğrilerin kıyaslaması gösterilmiştir. Eksponansiyel eğrinin gelişim süresi ortalamasının 5 gün olduğu kırmızı kesikli eğri ile k (shape) değeri 1.25 olan kesiksiz yeşil gamma eğrisinin birbirine çok benzediği görülmektedir. Buradan da görülebileceği gibi eksponansiyel dağılım, gamma dağılımının özel bir formudur [37]. Eksponansiyel dağılım ile çizilebilecek tüm eğriler gama dağılımı ile de çizilebilir fakat bunun tam tersi doğru değildir. Hem bu sebeple hem de sivrisineklerin farklı evrelerde gelişimi tamamlama eğilimine daha iyi uyacağı için, bu tez çalışmasında gamma dağılımı kullanılmıştır [38,39].

Gamma dağılımı ile aynı zamanda sadece ortalaması olan ve standart sapma değeri olmayan eğriler de çizilebilir. Şekil 2.4.1.'de gösterilen kesiksiz mavi eğri buna örnek verilebilir. Ortalama değeri sabit tutulurken standart sapma değeri arttıkça, dağılımdaki keskin ve köşeli eğriler yerini "S" şekilli ve doğal popülasyonlara daha uygun eğrilere bırakır. Belli bir eşik değerinin altında ise gamma dağılımı eksponansiyel dağılıma benzemeye başlar.

Modelin oluşturulabilmesi için temelde iki tip uyarlamaya (fitting) ihtiyaç duyulmuştur. İlk olarak belirli bir sıcaklıkta deneye tabi tutulan bir grup bireyin tepkisini ifade edebilmek için yukarıda belirtilen sebepler doğrultusunda gamma dağılımı kullanılmıştır. İkinci olarak ise beş farklı sıcaklıkta verilen tüm tepkileri kapsayabilen ve ekstrem sıcaklıklar için de açıklayıcı olabilecek olan uyarlamalar için (ekstrapolasyon), hem eksponansiyel dağılım hem de Bölüm 3.3.'te belirtildiği gibi doğrusal olmayan bazı fonksiyonlar kullanılmıştır.



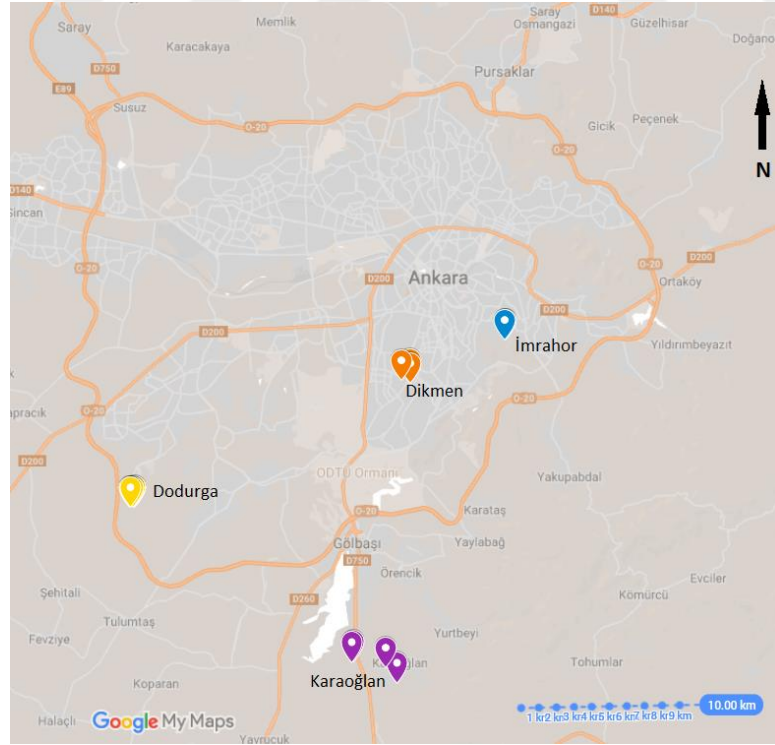
Şekil 2.4.1. Gama dağılımı ve eksponansiyel dağılım karşılaştırması

(Gama dağılımı parametreleri; k=şekil, teta=ölçek, μ =ortalama, s=standart sapma. Eksponansiyel dağılım parametreleri; rate= k/teta)

3. YÖNTEM VE GEREÇLER

3.1.1. Araziden Sivrisinek Örnekleri Toplanması

Araziden *Culex pipiens s.l.* örnekleme 12.04.2018 tarihinden 28.09.2018 tarihine kadar Ankara il sınırları içinde yapılmıştır. Çalışma başlangıç tarihi, daha önce Hacettepe VERG (Vektör Ekolojisi Araştırma Grubu) ekologları tarafından pek çok kez tecrübe edildiğinden ve seçilen tarihten önce Ankara'da *Culex pipiens s.l.* erginleri bulunamayacağı düşünülerek belirlenmiştir (12.04.2018 çalışmasında *Culex pipiens s.l.* örneklememiştir). Çalışma bitiş tarihi ise, ergin sayısının azaldığı ve bitme noktasına geldiği (28.09.2018 tarihinde bir tuzakta dokuz adet *Culex pipiens s.l.* örneklemiş, diğer tuzaklarda örneklememiştir) 28.09.2018 tarihi olarak seçilmiştir. Kent (Dikmen), kenarkent (İmrahor) ve köy (Dodurga ve Karaoğlan) örnekleme yapabilmek adına Ankara içinde dört bölge belirlenmiştir (Şekil 3.1.1.1.). Dikmen'de üç, İmrahor'da iki, Dodurga'da altı ve Karaoğlan'da dört olmak üzere, işgücü ve zaman kısıtlamasının da hesaba katılmasıyla toplam 15 farklı istasyon çalışma alanı olarak seçilmiştir (EK 1).



Şekil 3.1.1.1. Ankara ilindeki arazi çalışma bölgeleri

(Sarı: Dodurga, mor: Karaoğlan, turuncu: Dikmen, mavi: İmrahor bölgesi, 10 km ölçeğinde gösterilmiştir)

Örnekleme çalışmaları kümes, güvercin kümesi, ahır, ağıl, at çiftliği, bahçe, ev yakını gibi insanların ve çiftlik hayvanların yoğun olarak yaşadığı yerlerde yapılmıştır. Seçilmiş olan tuzak noktaları, arazi çalışması boyunca değiştirilmemiştir. İki haftalık periyotlar halinde (13 kez) ve daha çok örnek elde edebilmek adına ardışık iki gün boyunca arazi çalışması yapılmıştır. Toplamda her istasyon için 26 günlük arazi verisi elde edilmiştir.

Örnekleme aracı olarak CDC ışık tuzakları kullanılmıştır. Bu tuzaklar temelde dört farklı parçadan oluşmaktadır. Bunlar tuzak şapkası, ışıklı tuzak motoru, toplama tülü ve pil kutusudur. Tuzak şapkası, tuzağın uygun noktaya asılması ve tuzağın olası yağmurdan, kirden ve tozdan korunması için kullanılır. Tuzağın ana parçası olan ışıklı tuzak motoru, tuzak şapkasının altına vidalanarak sabitlenir. Işıklı tuzak motorunun üst ucunda bulunan ampul geceleri aktif olan sivrisinekler için hem ısı hem de ışık kaynağı olarak bu canlıları kendisine çeker [40].

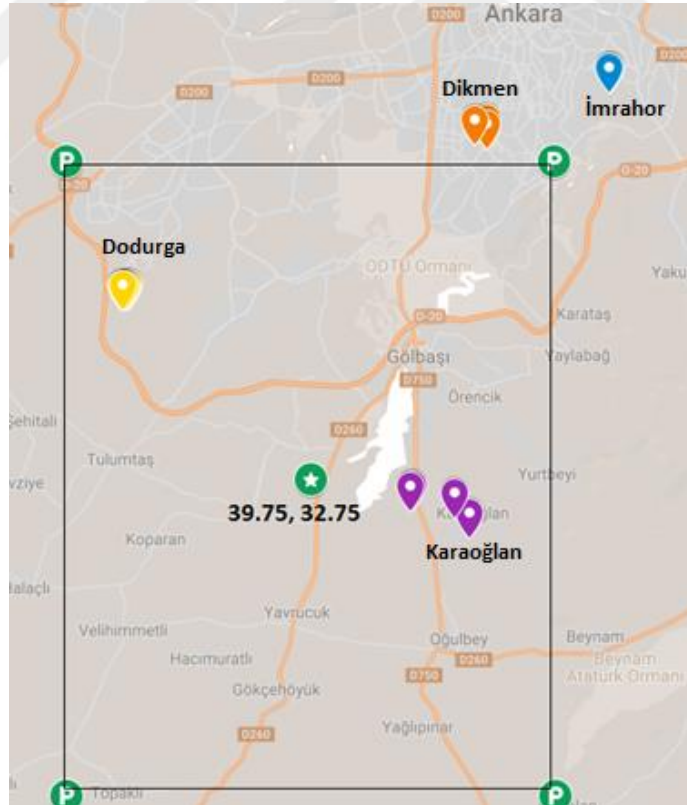
Isı ve ışığa gelen sivrisinekler motor fanının emiş gücü ile toplama tülüne gönderilir. Toplama tülü, motor fanının hemen alt kısmına kendi ipleriyle bağlanan, fandan geçen sivrisineklerin toplandığı ve gece boyunca kaldıkları haznedir. Tül, yüksekliği 20 santimetre, yarıçapı ise 15 santimetre olan bir silindirik şeklindedir. Pil kutusu ise kablolar ile ışıklı tuzak motoruna bağlanan ve motora güç sağlayan pillerin koyulduğu aparatır. Arazi çalışmalarında her pil kutusu için dört tane büyük boy (D tipi) Duracell 1.5 Volt pil kullanılmıştır. Bu piller 48 saat boyunca ışıklı tuzak motoruna güç sağlayabildikleri için arka arkaya iki gün yapılan arazi çalışmalarında değiştirilmemişlerdir.

Culex pipiens s.l. türü sivrisinekler gece aktif olduklarından dolayı, arazi çalışmaları erginleri gece yakalayacak şekilde organize edilmiştir. Tuzaklar genellikle öğlen ve öğleden sonra asılmış, ertesi gün sabah erken saatlerde toplanmaya başlanmış ve toplama en geç öğleden sonra bitirilmiştir. Tuzak tülünde sivrisinek olması durumunda, ağız aspiratörü yardımıyla bu sivrisinekler toplanmış, önceden hazırlanan, açık kısmı delikli tül ve pamuk ile kapatılmış olan kağıt bardaklara alınmıştır. Bu kağıt bardaklar, içinde buz aküleri bulunan buz

kutularına alınarak içinde bulunan sivrisineklerin ölmeleri ve dokularının korunmaları sağlanmış, daha sonra bu şekilde laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen sivrisineklerin teşhisi, Hacettepe VERG ekibinin yardımıyla MosKeyTool kullanılarak tarafımdan yapılmıştır [41].

3.1.2. Sıcaklık Ölçümü

Örnekleme noktalarının sıcaklık verilerini ölçebilmek için, iButton® DS1923 ölçüm cihazları (data logger) kullanılmıştır. Bu ölçüm cihazları tuzaklara çok yakın (en fazla 7 metre) olacak şekilde asılmıştır. Bu sıcaklık verilerine ek olarak ERA5 verileri de kullanılmıştır. ERA5 verileri, meteorolojik gözlem verilerine bağlı, iklim modelleri kullanılarak elde edilen ve 0.25 derecelik enlem-boylam seviyesindeki sıcaklıkları saatlik olarak gösterir. Şekil 3.1.2.1.'de data loggerların konumu ile ERA5 verilerinin alındığı konum (haritada yeşil yıldız olarak gösterilmiştir) birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.1.2. ERA5 sıcaklık verilerine ve tuzaklara ait konumlar

(Mavi, turuncu, sarı ve mor pinler sırasıyla, İmrahor, Dikmen, Dodurga ve Karaoğlan bölgelerini gösterir. 39.75 enlem ve 32.75 boylamı (39°45'00.0"N 32°45'00.0"E) ERA5 verilerinin alındığı noktayı gösterir. O noktadaki ERA5 verileri, köşeleri yeşil P işaretli olan konumlar arasında kalan yaklaşık 600km²lik alanın ortalama değerini temsil eder.)

3.2.1. Modelin Çalışma Prensipleri ve Parametreler

Ergüler sPop modeli, yukarıda da belirtildiği iki temel parametre tipine dayanır. Bunlar günlük hayatta kalma oranı ve gelişim süresidir (günlük gelişim oranı). Modelde yumurta, larva ve pupanın dahil olduğu sucul evreler için öncelikle günlük hayatta kalma oranına bakılır. Hayatta kaldığı varsayılan grubun, günlük gelişim oranı ölçüsünde gelişimlerine devam etmeleri sağlanır. Ergin dişiler için model, ömür uzunluğu parametrelerini kullanarak popülasyondaki bireylerin ne zamana kadar yaşayacakları hakkında bilgi verir. Son olarak fekondite parametresi ile dişi başına düşen günlük yumurta sayısı hesaplanarak döngünün devam etmesini sağlar.

Bu kapsamda, modelde kullanılan tüm parametreler Çizelge 3.2.1.1.'de gösterilmiş, hesaplanmaları ise sonuçlar bölümünde sırasıyla incelenmiştir.

3.2.1.1. Gelişim Parametreleri

Sucul evreler için gelişim süresinin popülasyon içinde farklılık gösterdiği ve yaklaşık olarak ortalaması ve standart sapması bilinen bir gama dağılımını takip ettiği varsayılmıştır [38,39]. Buna göre, bireylerin buldukları evreden ortalama ne kadar sürede bir sonraki evreye geçeceğini ve bu sürenin standart sapmasının ne olacağını belirlemede laboratuvar deneyleri ile hesaplanan hayat tablosu verileri kullanılmıştır.

3.2.1.2. Hayatta Kalma Parametreleri

Sucul evredeki her birey için o bireyin hangi evre veya gelişim düzeyinde olduğuna bakılmaksızın günlük sabit (standart sapması yok kabul edilir) hayatta kalma oranına (veya ölüm oranı) sahip olduğu varsayılmıştır. Bu oranlar her zaman 0 ile 1 arasındadır. Ergin evreye ulaşıldıktan sonra ise, ölüm oranının yaş ilerledikçe arttığı ve bunun yaklaşık olarak gama dağılımı ile ifade edilebileceği farz edilmiştir [38,39]. Bu dağılımın ortalama ve standart sapma parametreleri ise deneysel veriler kullanılarak tahmin edilmiştir.

3.2.1.3. Günlük Fekondite

Fekondite, bir üreme periyodunda bırakılan toplam yumurta miktarı olarak ifade edilir. Model ise çoğunlukla günlük çalıştığı için günlük fekondite değeri hesaplanmıştır. Günlük fekondite, bir dişinin günlük ortalama bıraktığı yumurta sayısını ifade eder.

Çizelge 3.2.1.1. Modelde kullanılan parametreler

Gelişim Parametreleri
Ortalama yumurta gelişim süresi (gün)
Yumurta gelişim süresi standart sapması (gün)
Ortalama larva gelişim süresi (gün)
Larva gelişim süresi standart sapması (gün)
Pupa gelişim süresi (gün)
Hayatta Kalma Parametreleri
Ortalama ergin ömür uzunluğu (gün)
Ergin ömür uzunluğu standart sapması (gün)
Günlük ortalama yumurta ölüm oranı
Günlük ortalama larva ölüm oranı
Günlük ortalama pupa ölüm oranı
Fekondite
Dişi başına düşen günlük yumurta sayısı

3.3. Hayat Tablosu Parametrelerinin Tüm Sıcaklıklar için Tahmin ve Uyarlamaları

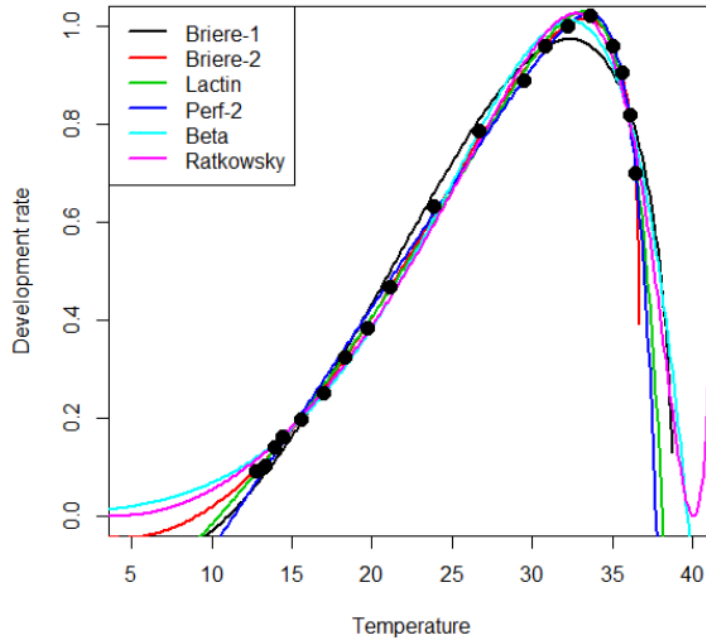
Modelde kullanılan tüm parametrelerin, deneyin [8] yapıldığı beş farklı sıcaklıktaki (15°C, 20°C, 23°C, 27°C, 30°C) değerleri bir sonraki bölümde anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Modelin tüm sıcaklıklarda çıktı verebilmesi adına bu beş değeri kapsayabilecek ve dışarda kalan sıcaklıklardaki (15°C'den küçük, 30°C'den büyük) değerleri tahmin edebilecek fonksiyonlara ihtiyaç duyulmuştur (ekstrapolasyon). Bu fonksiyonlar, olabilecek en basit şekilde ifade edilmeye çalışılmış ve kullanılan parametrelere uygun eğriler uyarlanmıştır (fitting).

Sucul evrelerde gelişim süresinin düşük sıcaklıklarda arttığı ve yüksek sıcaklıklarda azaldığı gözlenmiştir. Ekspansiyonel eğrinin bu ilişkiyi uygun şekilde

ifade ettiği görüldüğünden, sıcaklığa bağlı tüm gelişim süreleri bu eğri kullanılarak tarif edilmiş ve modellenmiştir.

Hayatta kalma ve fekondite parametrelerinde ise eğilim belli bir yönde gözlenmemiştir. Ayrıca hem çok düşük hem de çok yüksek sıcaklıklarda tahminler benzer sonuçları (%100 ölüm oranı gibi) verebilmektedir. Bu sebeple bu parametreler için lineer olmayan bazı model tahminleri uyarlanmıştır. Şekil 3.3.1.'de, Rebaudo'nun, Shi'nin *Bactrocera dorsalis* (oryantal meyve sineği) verilerini kullanarak yaptığı lineer olmayan model tahminleri gösterilmiştir [42,43]. Bu modellerde kullanılan denklemler de Çizelge 3.3.1.'de gösterilmiştir. Bu modeller çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda düşük değerler verirler ve simetrik değildirler. Bu sebeple hayat tablosu parametrelerinin tüm sıcaklıklarda çalışabilmesi için, lineer olmayan bu modellerden uygun olanları seçilmiştir.

Buna göre; günlük yumurta ölüm oranı ve ergin ömür uzunluğu için Ratkovsky-1, günlük larva ölüm oranı için Beta-1, günlük pupa ölüm oranı için çift sınırlı s-biçimli (sigmoidal) ve günlük fekondite parametresi için ise Briere-2 modeli uyarlanmıştır.



Şekil 3.3.1. *Bactrocera dorsalis* yumurtalarının sıcaklığa bağlı gelişim oranı grafiği

(Altı farklı model uyarlaması Figür [43]'dan doğrudan alınmıştır.)

Çizelge 3.3.1. Doğrusal olmayan denklemler (r: gelişim oranı, T₁ ve T₂: gelişim oranının sıfır kabul edildiği sınırlar, b: eğri uyarlamayı daha esnek yapan değer, T_u: ölüm oranı üst limit sıcaklığı, r_m: T_m sıcaklığındaki maksimum gelişim oranı, a, λ, ρ, δ, c, K: sabit değerler)[42]

Briere- 1	$r = aT (T - T_1) * (T_2 - T)^{1/2}$
Briere- 2	$r = aT (T - T_1) * (T_2 - T)^{1/b}$
Lactin	$r = \lambda + e^{\rho T} - e^{\rho T_u - (T_u - T)/\delta}$
Performance- 2	$r = c(T - T_1)(1 - e^{K(T - T_2)})$
Beta	$r = r_m \left(\frac{T_2 - T}{T_2 - T_m} \right) \left(\frac{T - T_1}{T_m - T_1} \right)^{\frac{T_m - T_1}{T_2 - T_m}}$
Ratkovsky-1	$\sqrt{r} = c(T - T_1)(1 - e^{K(T - T_2)})$
Double sigmoidal	$r = m_x / ((1 + e^{(T_1 - T)}) * (1 + e^{(T - T_2)}))$

Ayrıca, hayatta kalma parametreleri için literatürden (Çizelge 3.3.2.) yararlanılarak, ekstrem değerler eğri uyarlamalarına dahil edilmiştir.

Çizelge 3.3.2. Hayatta kalma parametreleri için modelde kullanılan alt ve üst sınır sıcaklıkları

Parametre	Alt sınır (°C)	Çalışma	Üst sınır (°C)	Çalışma
Günlük yumurta ölüm oranı	5	Tate ve Vincent[44]	34	Kirkpatrick[45]
Günlük ortalama larva ölüm oranı	NA	NA	32	Shelton[46]
Günlük ortalama pupa ölüm oranı	10	Hafez[47]	32	Shelton[46]
Ortalama ergin ömür uzunluğu	-12	Maslow[48]	39	Mellanby[49]

4. BULGULAR

Sunulan tez çalışması dört temel başlıkta özetlenmiştir. Bu bağlamda i) hayat tablosu parametrelerinin tüm sıcaklıklar için tahmin ve hesaplamaları, ii) popülasyon dinamiği çalışması ve sıcaklık ölçümleri, iii) popülasyon modeli oluşturulması ve iv) popülasyon modeli ile popülasyon dinamiği karşılaştırmasına ait sonuçlar incelenmiştir.

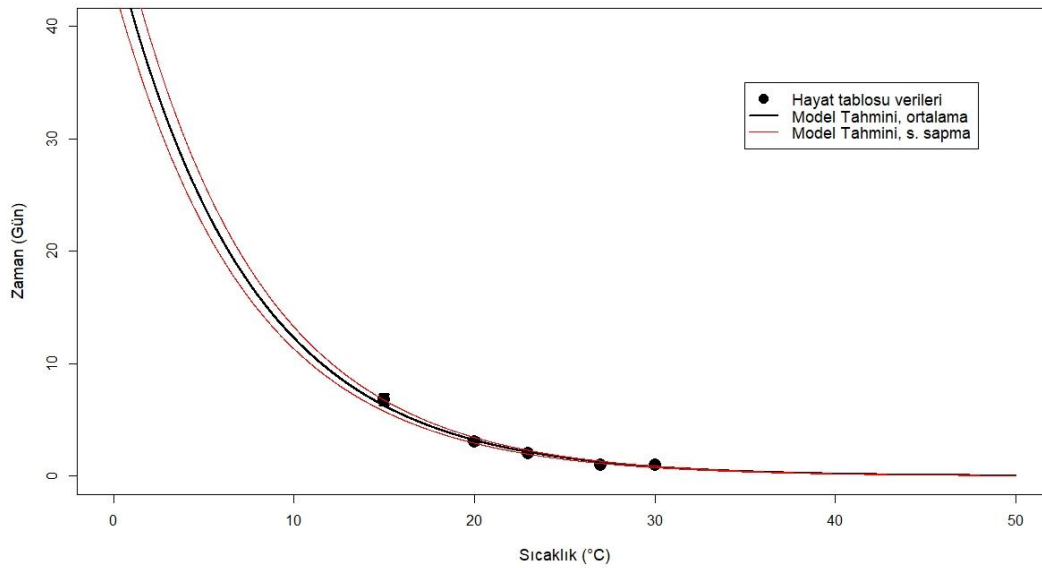
4.1. Hayat Tablosu Parametrelerinin Tüm Sıcaklıklar için Tahmin ve Hesaplamaları

4.1.1. Ortalama Yumurta Gelişim Süresi ve Yumurta Gelişim Süresi Standart Sapması

Ham veriler mevcut olmadığı için, ortalama yumurta gelişim süresi ve standart sapması Günay 2009'da [8] belirtildiği haliyle kullanılmıştır (Çizelge 4.1.1.1.).

Çizelge 4.1.1.1. Sıcaklığa bağlı yumurta gelişim süresi değerleri

Gelişim Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Ortalama yumurta gelişim süresi (gün)	6,82	3,08	2,03	1,03	1
Yumurta gelişim süresi standart sapması (gün)	0,5	0,28	0,18	0,12	0,18



Şekil 4.1.1.1. Sıcaklığa bağlı yumurta gelişim süresi uyarlaması

(Siyah noktalar hayat tablosu çalışmasından alınmıştır, eğri ise modelin tahminini gösterir)

15°C , 20°C, 23°C, 27°C ve 30°C sıcaklıkları dışında kalan yumurta gelişim süreleri, [50]'da olduğu gibi üstel (eksponansiyel) eğri modeli kullanılarak tahmin edilmiştir (Şekil 4.1.1.1.).

4.1.2. Günlük Yumurta Ölüm Oranı

Yumurtaların hayatta olup olmadığını gelişme süresi tamamlanmadan ölçmek mümkün olmadığı için, yumurta için sabit gelişim ve sabit ölüm oranları kabul edilerek bunlar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır [51].

Günlük yumurta ölüm oranı, sabit sıcaklığa maruz bırakılan yumurtaların bir günün sonunda ne kadarının ölmüş olduğudur. Örneğin; 0,1 günlük ölüm oranına sahip 100 yumurta ile başlatılan deneyde birinci gün 10 yumurta ölecek ve geride canlı 90 yumurta kalacaktır (gelişmesini tamamlayan yumurta olmadığı varsayılırsa). İkinci gün ise kalan 90 yumurtanın 9 (90*0,1) tanesi ölecek ve geriye 81 tane gelişimini sürdürebilecek canlı yumurta kalacaktır. Günlük yumurta ölüm oranı (d) 15°C için aşağıda verilen Eşitlik 4.1.2.1.'deki gibi hesaplanır:

$$s = \sqrt[e_d]{e_h} \quad , \quad d = 1 - s$$

Eşitlik 4.1.2.1. (e_h : yumurta açılma oranı, e_d : ortalama yumurta gelişim süresi, s: yumurta hayatta kalma oranı, d: günlük yumurta ölüm oranı)

e_h : Hayat tablosu deneyinden [8] F0 ve F1 jenerasyonları için hesaplanmış olan değerlerin ortalaması olarak alınmıştır. 15°C sıcaklıkta yumurta açılma oranı 0,5212 ve 0,5962 değerlerinin ortalaması olan 0,5587 olarak kabul edilmiştir.

e_d : Hayat tablosu deneyinden [8] direkt olarak alınmıştır. 15°C sıcaklıkta 6,82 gün olarak kabul edilir.

s: Eşitlik 4.1.2.1. " e_h " ve " e_d " değerleri yerine koyulduğunda 0,91818 olarak hesaplanır.

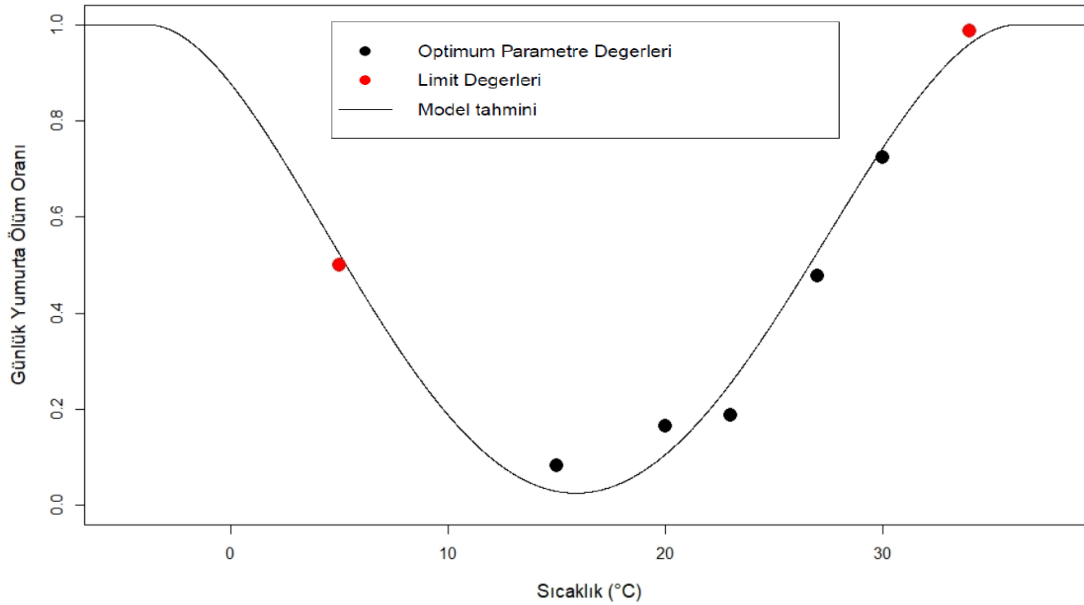
d: "s" değerinin 1'den farkıdır. 0,08181 olarak hesaplanır.

20°C, 23°C, 27°C ve 30°C sıcaklıklar için günlük ortalama yumurta ölüm oranları yukardaki eşitlik yardımıyla tek tek hesaplanmış ve Çizelge 4.1.2.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.2.1. Sıcaklığa bağlı günlük ortalama yumurta ölüm oranı

Hayatta Kalma Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Günlük ortalama yumurta ölüm oranı	0,0818	0,1648	0,1872	0,4773	0,7247

Bununla birlikte yumurta ölüm oranlarına dair alt ve üst sıcaklık limitleri literatürden edinilmiştir (Çizelge 3.1.2.). Tate ve Vincent, 5°C'de bir gün sonunda yumurtaların yarısının hayatta kaldığını göstermiş [44], Kirkpatrick ise 34°C embrioların bir kısmının hayatta kalabildiğini, 35°C ise tamamen öldüklerini kaydetmiştir [45]. Bu sınır değerleri ile birlikte en uygun eğri olan dört parametrelili Ratkovsky-1 modeli, günlük yumurta ölüm oranı için uyarlanmıştır (Şekil 4.1.2.1.).



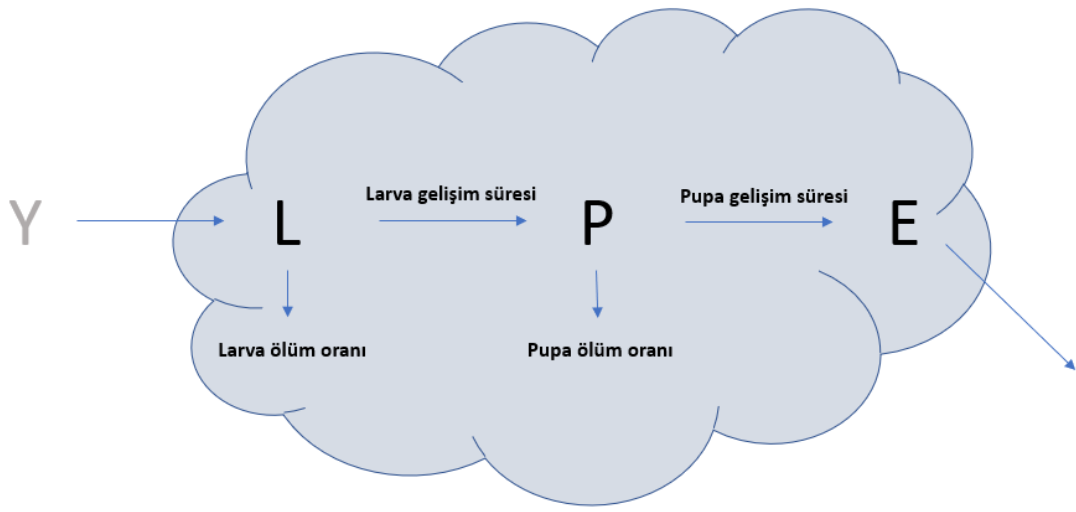
Şekil 4.1.2.1. Sıcaklığa bağlı günlük yumurta ölüm oranı uyarlaması

(Optimum parametre değerleri hayat tablosundaki veriler kullanılarak hesaplanan değerleri, kırmızı noktalar literatürden uyarlanan sınır değerlerini, siyah eğri ise model tahminini gösterir. Noktaların tümünü ifade edebilmek için en uygun model olarak Ratkovsky-1 modeli seçilmiştir.)

4.1.3. Larva, Pupa Gelişim Süreleri ve Hayatta Kalma Parametreleri

Hayat tablosu çalışması [8] yapılırken, farklı sabit sıcaklık koşullarına belirli sayıda (750 adet) L1 evresinde olan larva koyularak deney başlatılmıştır (EK 2). L1 evresindeki larvaların kaplara koyulduğu gün birinci gün olarak kabul edilmiş, deneyler kap içerisinden son ergin çıkana kadar devam ettirilmiştir. Deney süresince günlük pupa-ergin sayısı takip edilmiştir. Elde olan veriler ile bireysel

olarak hangi larvanın hangi gün pupaya dönüştüğü, ölen larvaların tek tek hangi gün öldükleri, aynı şekilde hangi pupanın hangi gün ergine dönüştüğü ve ölen pupaların tek tek hangi gün öldükleri bilinemediğinden, larva, pupa gelişim süreleri ve hayatta kalma parametreleri birlikte modellenerek değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda; ham veriler ışığında, yaş ve gelişim takip edilerek deneyi daha doğru bir şekilde temsil edebilen sPop [34] modeli kullanılmıştır (Şekil 4.1.3.1.).



Şekil 4.1.3.1. Larva ve pupa parametreleri için sPop modeli çalışma özeti

(Y: yumurta, L: larva, P: pupa, E: ergin. sPop modeli gelişim süresi ve günlük ölüm oranına bağlı olarak çalışır. Başlangıçtaki larva sayısına bağlı olarak, her gün oluşan toplam pupa ve ergin sayıları kullanılarak bu evrelere ait parametreler tahmin edilir.)

sPop modeli, R programında `albopictus` ve `optimx` kütüphaneleri ile birlikte kullanılmıştır dolayısıyla öncelikle o kütüphaneler yüklenir. Modelin tahminde bulunabilmesi için `fun` fonksiyonu ile larva veri matrisi, pupa veri matrisi, modelin tekrar sayısı (modelin kaç gün çalıştırılacağı=100) ve deneyin başlatıldığı larva sayısı (750) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

```
> library(albopictus)
> library(optimx)
> fun <- function(dframeL,dframeP, fT=100, init=750)
```

Larva ve pupa gruplarının deterministik, sabit günlük mortalite değerine sahip ve gama dağılımı ile yaşa bağlı gelişim gösterdiği varsayılmıştır. Bu, sPop modelinde aşağıdaki gibi gösterilebilir:

```
{
+   popL <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
+   popP <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
```

Larva popülasyonuna başlangıç larva sayısı eklenir:

```
+   add(popL) <- data.frame(number=init)
```

Zamanla gelişimini tamamlayan pupa popülasyonu erginlere, gelişimini tamamlayan larva popülasyonu ise pupa popülasyonuna eklenir. Bu işlem `for` döngüsü ile 100 tekrar boyunca günlük olarak değişen larva, pupa, yeni pupa ve yeni ergin sayıları `ret` matrisine kayıt edilir:

```
+   ret <- c()
+   for (n in 1:fT) {
+     iterate(popP) <- dframeP
+     iterate(popL) <- dframeL
+     adult <- developed(popP)
+     pupa <- developed(popL)
+     add(popP) <- data.frame(number=pupa)
+     ret <- rbind(ret, c(size(popL), size(popP), pupa, adult))
+   }
+   colnames(ret) <- c("larva", "pupa", "pupa.new", "adult.new")
+   return(data.frame(ret))
+ }
```

Modelin temel yapısı oluşturulduktan sonra `fit` fonksiyonu ile hayat tablosu çalışmasında elde edilen değerlerin `fun` fonksiyonunun karşılaştırılması sağlanacaktır. Bu sebeple, bu kez `fun` fonksiyonunun içine sırasıyla; günlük larva ölüm oranı, ortalama larva gelişim süresi, larva gelişim süresi standart sapması, günlük pupa ölüm oranı, ortalama pupa gelişim süresi parametreleri, verilerin son günü ve başlangıç larva sayısı parametreleri eklenir ve `tmp` altına kaydedilir:

```
> fit<-function(p) {
+   tmp <- fun(data.frame(death=p[1],dev_mean=p[2],dev_sd=p[3]),
+     data.frame(death=p[4],dev_mean=p[5],dev_sd=p[6]),
+     fT=max(data$day)+1,
+     init=750)
```

Ardından yeni oluşan pupalar ve yeni oluşan erginler ayrı ayrı tanımlanarak her tekrar kendi içinde değerlendirilir:

```
+   val<-0
+   for (r in 1:max(data$rep)) {
+     yP <- tmp$pupa.new
+     yA <- tmp$adult.new
+     d<-data[data$rep==r,]
```

Oluşan toplam pupa sayısı, toplam ergin sayısı ve bunların model tahminleri, farkların karesi toplamı (sum of squares) metriği ile karşılaştırılır. Bu yapı `for` döngüsü ile verinin son alındığı güne kadar devam eder ve kullanılan altı parametre için bir uygunluk (yakınlık) indisi bulunmuş olur:

```
+       a<-b<-d$pupa
+       v<-!is.na(a)
+       b[!v]<-0
+       val<-val+sum((cumsum(b)[v]-cumsum(yP)[v])^2)
+       a<-b<-d$adult
+       v<-!is.na(a)
+       b[!v]<-0
+       val<-val+sum((cumsum(b)[v]-cumsum(yA)[v])^2)
+     }
+     return(val)
+ }
```

Bu aşamadan sonra gözlem verileri modele girilir ve sırasıyla her deney tekrarının modele girişi sağlanır:

```
> data <- read.csv("larva_pupa_adult.csv",header=TRUE)
> data <- data[data$temp==15,]
```

Sonrasında `optimx` fonksiyonu ile, rutin olarak kullanılan bir dizi optimizasyon algoritması ile skor endeksini minimum yapan parametre değerleri bulmaya çalışılır. Optimizasyonun çalışabilmesi için ise modele başlangıç parametre girdileri (`par`) verilmelidir. Bu doğrultuda pek çok değer kümesi denenmiş ve bahsedilen altı parametre için sonuca en yakın olan aşağıdaki değerler (0.01, 20, 5, 0.01, 3, 0) sırasıyla kullanılmış ve sonrasında optimizasyon tamamlanmıştır:

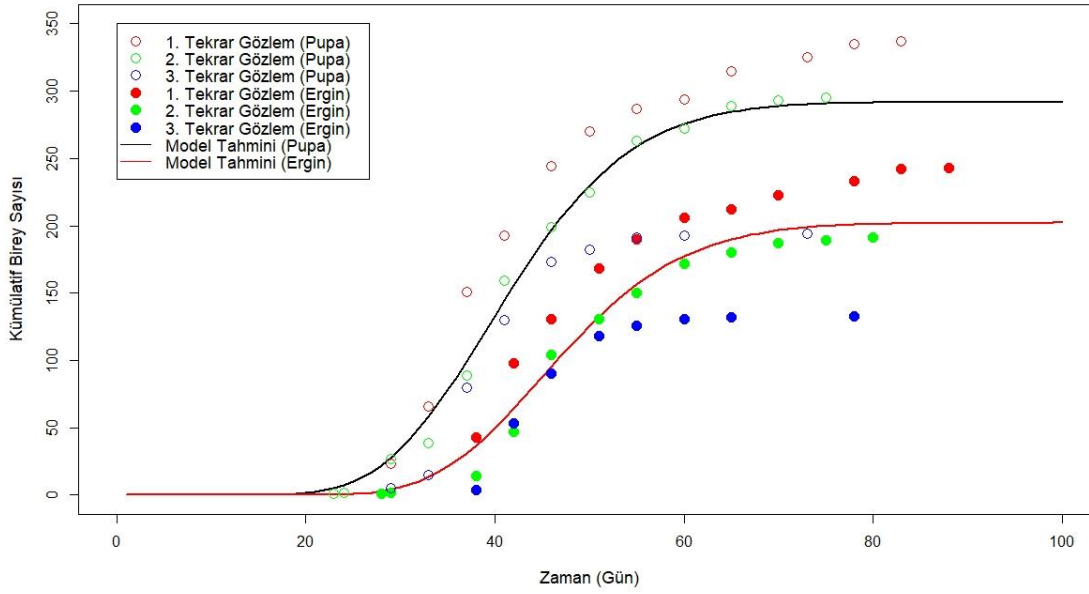
```
> par <- c(0.01, 20, 5, 0.01, 3, 0)
> ans <- optimx(par, fn=fit, gr=NULL, hess=NULL, lower=c(0,0,0,0,0,0),
upper=c(1,100,100,1,50,50),
+       control=list(all.methods=TRUE, save.failures=TRUE, trace=0))
> print(ans[ans$value==min(ans$value),])
> est <- as.numeric(ans[ans$value==min(ans$value),1:length(par)][1,])
> print(est)
> tmp <- fun(data.frame(death=est[1], dev_mean=est[2], dev_sd=est[3]),
+       data.frame(death=est[4], dev_mean=est[5], dev_sd=est[6]))
```

Burada yapılan, popülasyon modeline bağlı, gözlem/deney verilerini doğrusal olmayan optimizasyon algoritmaları ile çıkarsamadır. Bu çıkarımlar sonucunda model altı farklı parametre ile tahmin yapmış olur. 15°C sıcaklıkta yapılan deney için sırasıyla elde edilen parametre değerleri Çizelge 4.1.3.1.'de gösterilmiş, Şekil 4.1.3.2.'de ise gözlem verileri ve model tahmini karşılaştırılması yapılmıştır:

Çizelge 4.1.3.1.

15°C sıcaklıkta model ile tahmini yapılan altı farklı parametre değeri

Hayatta Kalma & Gelişim Parametreleri	15°C
Günlük ortalama larva ölüm oranı	0,02134
Günlük ortalama pupa ölüm oranı	0,0636
Ortalama larva gelişim süresi (gün)	44,5358
Larva gelişim süresi standart sapması (gün)	11,1413
Ortalama pupa gelişim süresi (gün)	5,04674
Pupa gelişim süresi standart sapması (gün)	0,1818



Şekil 4.1.3.2. 15°C sıcaklıkta kümülatif pupalaşma ve erginleşme gözlemleri ile model tahmini karşılaştırması

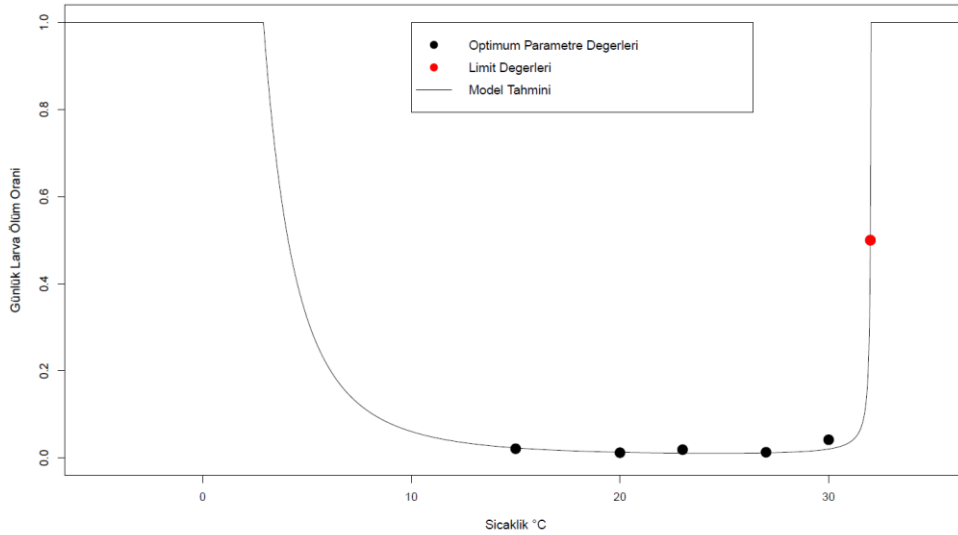
(İçi boş noktalar pupalaşma gözlem verilerini, içi dolu noktalar erginleşme gözlem verilerini ifade eder. Siyah ve kırmızı eğriler ise sırasıyla pupalaşma ve erginleşme model tahminlerinin gama dağılımıyla ifadesidir.)

Her sıcaklık değeri için yukarıda yapılan çıkarımlar tek tek uygulanmıştır. Böylece günlük ortalama larva ölüm oranı, ortalama larva gelişim süresi, larva gelişim süresi standart sapması, günlük ortalama pupa ölüm oranı, ortalama pupa gelişim süresi ve pupa gelişim süresi standart sapması parametrelerinin beş farklı sıcaklıktaki değerleri model yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1.3.2. Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen günlük ortalama larva ölüm oranı

Hayatta Kalma ve Gelişim Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Günlük ortalama larva ölüm oranı	0,02134	0,01223	0,01922	0,01325	0,04190

Çizelge 4.1.3.2. değerlerine ek olarak, ölüm oranının çok yüksek olduğu ekstrem sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Çizelge 3.1.2.'de gösterildiği gibi Shelton, 32°C'de *Culex quinquefasciatus* larvalarının yarısından çoğunun hayatta kalamadığını gözlemlemiş, bu değer modele üst sıcaklık sınır değeri olarak eklenmiştir [46]. Bunun sonucunda günlük larva ölüm oranı için Şekil 4.1.3.3.'deki eğri elde edilmiştir. Alt sıcaklık sınır ile ilgili literatür bilgisi bulunamamış fakat yöntem ve gereçler kısmında da anlatıldığı gibi uygulanan Beta-1 modeli, bu değeri 2,9°C olarak tahmin etmiştir.



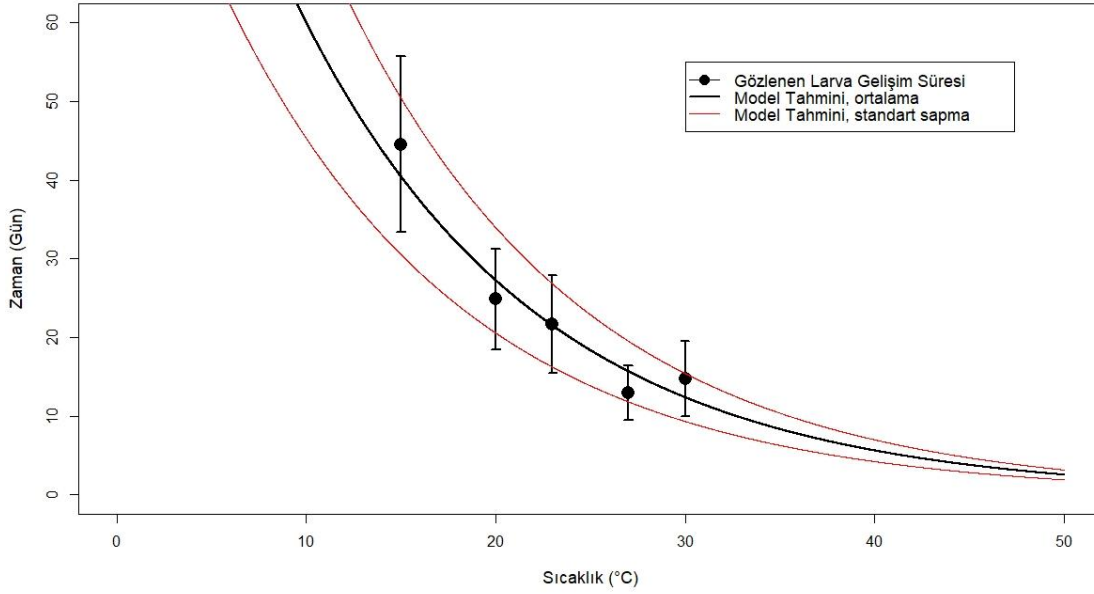
Şekil 4.1.3.3. Sıcaklığa bağlı günlük larva ölüm oranı ve model tahmini

(Optimum parametre değerleri hayat tablosundaki veriler kullanılarak model ile hesaplanan değerleri, kırmızı noktalar literatürden uyarlanan sınır değerlerini, siyah eğri ise model tahminini gösterir. Noktaların tümünü ifade edebilmek için en uygun model olarak Beta-1 modeli seçilmiştir.)

Her sıcaklık için ortalama larva gelişim süresi ve standart sapma değerleri model ile tahmin edildikten sonra (Çizelge 4.1.3.3.), bu değerlere göre [50]'da olduğu gibi üssel yani eksponansiyel bir eğri uyarlanmıştır. Uyarlamada standart sapma değerleri, ortalama değerlerin yaklaşık dörtte biri ile (%24,56'sı) korelasyon göstermiş ve model tahmini bu değerler üzerinden yapılmıştır. Böylece tüm sıcaklıklar için modelde bir değer elde edilmiş olur (Şekil 4.1.3.4.).

Çizelge 4.1.3.3. Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama larva gelişim süresi ve standart sapması

Gelişim Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Ortalama larva gelişim süresi (gün)	44,5358	24,8792	21,7045	12,9867	14,7977
Larva gelişim süresi standart sapması (gün)	10,9379	6,1103	5,3306	3,1895	3,6343



Şekil 4.1.3.4. Sıcaklığa bağlı larva gelişim süresi ve model tahmini

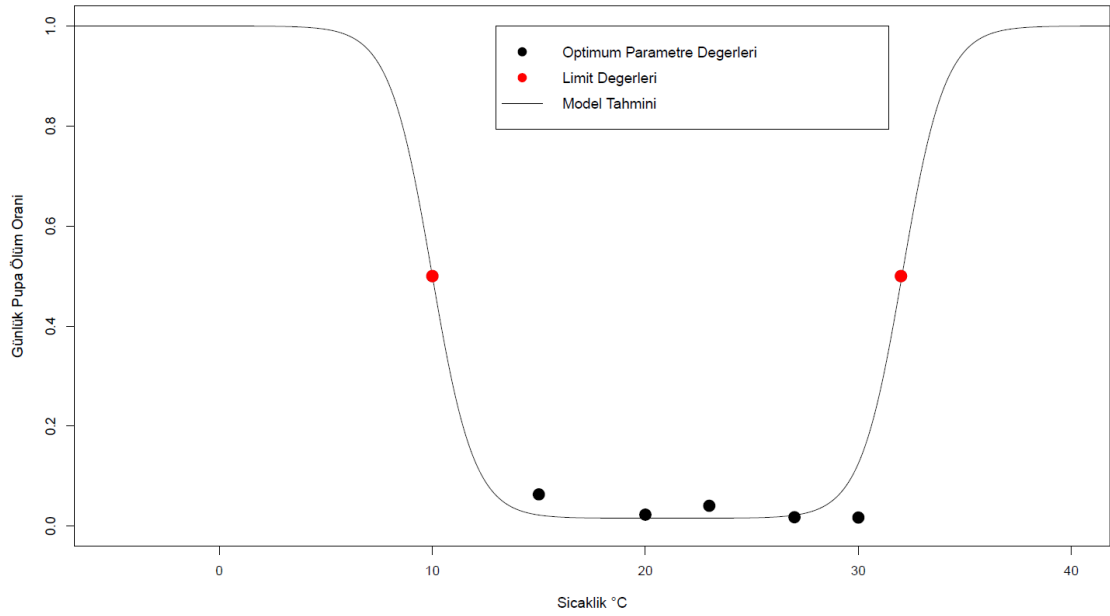
(Gözlenen Larva Gelişim Süresi: Model kullanarak her sıcaklık için hesaplanan değerler, Model Tahmini: Ortalama larva gelişim süresi ve ilişkili (correlated) standart sapma değerleri kullanılarak oluşturulan üstel fonksiyona ait eğri)

Her sıcaklık değeri için yukarıda yapılan çıkarım değerlerine göre günlük ortalama pupa ölüm oranının beş farklı sıcaklık için değeri bulunmuştur (Çizelge 4.1.3.4.).

Çizelge 4.1.3.4. Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen günlük ortalama pupa ölüm oranı

Hayatta Kalma Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Günlük ortalama pupa ölüm oranı	0,06360	0,02313	0,04085	0,01798	0,01731

Bununla birlikte larva ölüm oranında olduğu gibi, ölüm oranının çok yüksek olduğu ekstrem sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Çizelge 3.1.2.'de de gösterildiği gibi 10°C sıcaklıkta *Culex quinquefasciatus* pupalarının bir gün içinde yarısının öldüğü [47], 32°C ise pupaların yarısından azının erginleşebildiği gösterilmiştir [46]. Bu değerler alt ve üst sıcaklık sınırları olarak belirlenmiş ve model tahmini bu değerleri de dikkate alacak şekilde çift sınırlı s-biçimli (double sigmoidal) eğri ile yapılmıştır. Bu veriler ışığında 5°C'nin altındaki ve 37°C'nin üstündeki sıcaklıklarda günlük ortalama pupa ölüm oranı %100'e çok yaklaşır (Şekil 4.1.3.5.).



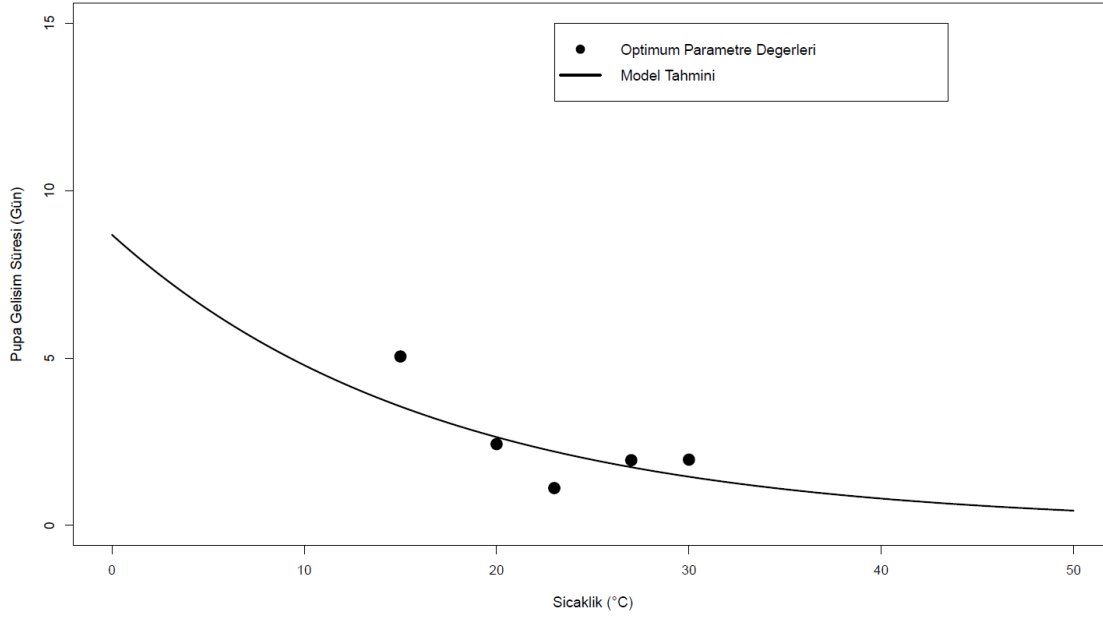
Şekil 4.1.3.5. Sıcaklığa bağlı günlük pupa ölüm oranı ve model tahmini

(Optimum parametre değerleri hayat tablosundaki veriler kullanılarak model ile hesaplanan değerleri, kırmızı noktalar literatürden uyarlanan sınır değerleri, siyah eğri ise model tahminini gösterir. Noktaların tümünü ifade edebilmek için en uygun model olarak çift sınırlı s-biçimli (sigmoidal) model seçilmiştir.)

Her sıcaklık için yukarıda yapılan model tahminlerine göre ortalama pupa gelişim süresi ve pupa gelişim süresi standart sapması hesaplanmıştır (Çizelge 4.1.3.5.). Bu değerlere larva gelişim süresi için olduğu gibi üssel yani eksponansiyel bir eğri olarak uyarlanmıştır (Şekil 4.1.3.5.).

Çizelge 4.1.3.6. Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama pupa gelişim süresi ve pupa gelişim süresi standart sapması

Gelişim Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
ortalama pupa gelişim süresi (gün)	5,04674	2,42896	1,11462	1,94801	1,96351
pupa gelişim süresi standart sapması (gün)	0,1818	0,04646	0,13277	0,00069	0,00014



Şekil 4.1.3.6. Sıcaklığa bağlı ortalama pupa gelişim süresi ve model tahmini

Pupa gelişim süresi standart sapma değerleri Çizelge 4.1.3.6. görüldüğü gibi 1'den küçük değerler olarak bulunmuştur. Bu sebeple pupa gelişim süresi standart sapma değerleri 0 kabul edilerek pupa gelişim süresi sadece ortalama değerler kullanılarak, sabit sıcaklıkta sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

4.1.4. Ergin Ömür Uzunluğu

Hayat tablosu çalışmasında [8] çiftleşen dişi sivrisineklere kan emdirilmiş ve bu dişilerin hangi gün öldükleri takip edilmiştir. Oluşturulan takip çizelgesine göre (EK 3) 15°C sıcaklıkta toplam 150 dişiden ilki dördüncü gün, sonuncusu ise 197. gün ölmüştür. Bu çizelge, sivrisineklerin tek tek öldüğü günleri gösterecek şekilde tekrar düzenlenmiştir. Yani çizelge "(0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 2, 2...)" kümesinden, "(4, 6, 7, 10, 13, 14, 15, 15, 16, 16...)" kümesine dönüştürülmüştür.

Yeni oluşturulan kümede sivrisineklerin öldükleri günler belirtilmiştir. Buradaki örneğe göre 15. ve 16. günlerde ikişer dişi sivrisinek ölmüş demektir. Bu yeni kümenin ortalama ve standart sapma değerleri bize sivrisineklerin ortalama olarak ne zaman öldüğünü (ömür uzunluğu) ve bunun standart sapmasını vermiştir. Bu değerler R' da mean ve sd fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır. 15°C sıcaklıkta ortalama ergin dişi ömür uzunluğu ve standart sapma değeri sırasıyla 103,44 ve 44,66 gün olarak hesaplanmıştır. Diğer sıcaklıklar için de aynı yöntem izlenerek ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Ergin ömür uzunluğu, modelde gama dağılımı ile ifade edilir ve gözlem verileriyle modeli kıyaslayabilmek için öncelikle Eşitlik 4.1.4.1.'deki gama dağılımı parametrelerini bulmak gerekir.

$$k = \frac{\mu}{\theta} \quad , \quad \theta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

Eşitlik 4.1.4.1. Gama dağılımı parametreleri (μ : ortalama, σ : standart sapma, θ : scale, teta (ölçek), k : shape (şekil))

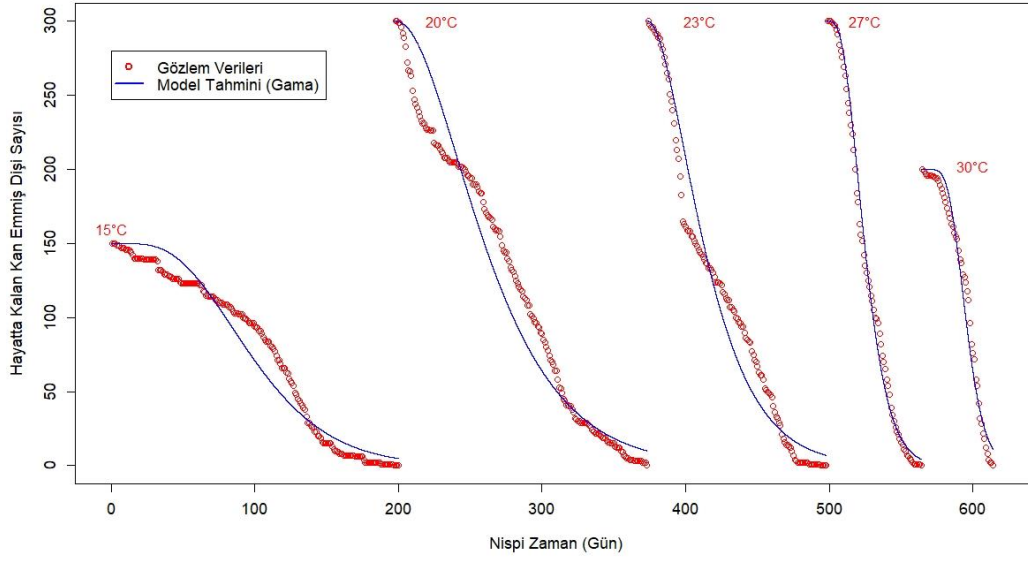
μ : R programında mean fonksiyonuyla hesaplanmıştır. 15°C için 103,44 gündür.

σ : R programında sd fonksiyonuyla hesaplanmıştır. 15°C için 44,66 gündür.

θ : $44,66^2 / 103,44$ işleminden 19.28 olarak hesaplanır.

k : $103,44 / 19,28$ işleminden 5,36 olarak hesaplanır.

Gamma parametreleri (k ve θ) hesaplandıktan sonra gama dağılımı bu parametrelere göre çizdirilmiş ve Şekil 4.1.4.1.'deki gibi gözlem verileriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1.4.1. Nispi zamana göre hayatta kalan kan emmiş dişi sayısı, gözlem verileri ile gama dağılımı karşılaştırılması

(Sırasıyla 15°C, 20°C, 23°C, 27°C ve 30°C sıcaklıklarda hayatta kalan dişilerin sayısı gösterilmiştir. Bir sıcaklık grubundaki tüm bireyler öldükten sonra bir sonraki sıcaklık grubundaki bireyler gösterilmiştir.)

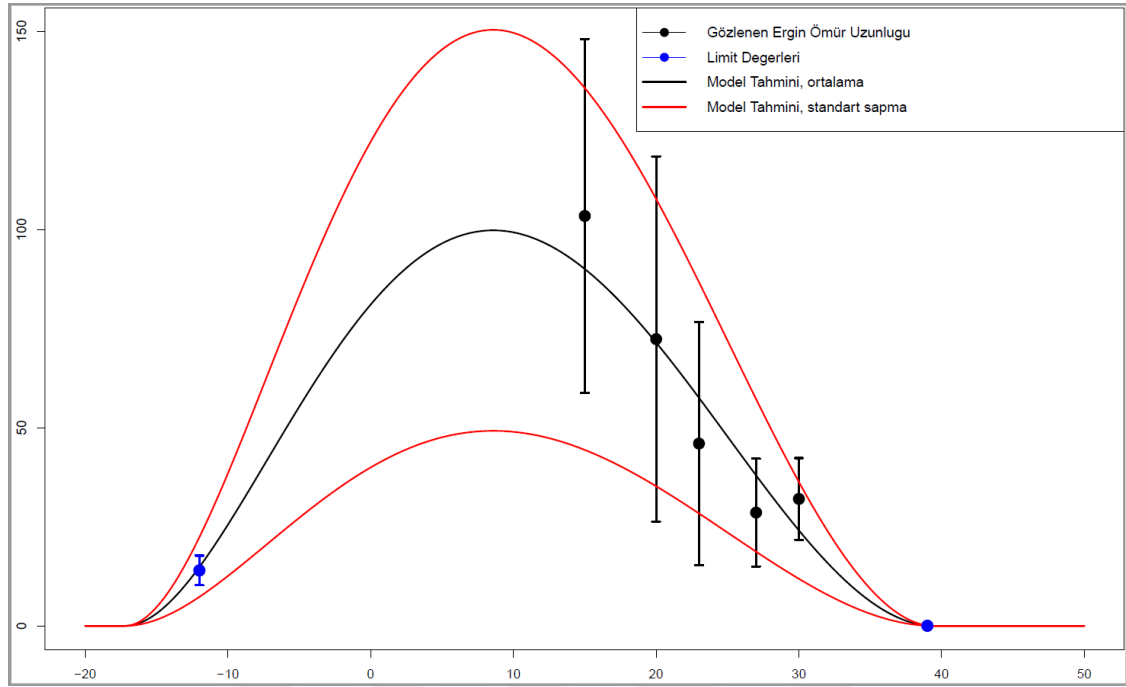
Deneyde kullanılan sıcaklık değerleri için hesaplanan ortalama ergin ömür uzunluğu ve standart sapmaları Çizelge 4.1.4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.4.1. Tüm sıcaklıklarda model kullanarak tahmin edilen ortalama ergin ömür uzunluğu ve standart sapması

Hayatta Kalma Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Ortalama ergin ömür uzunluğu (gün)	103,44	72,36	46,01	28,59	32,04
Ergin ömür uzunluğu standart sapması (gün)	52,43	36,67	23,32	14,49	16,24

Bununla birlikte, ergin ömür uzunluğunun çok kısaldığı düşünülen ekstrem sıcaklık değerleri literatürden sağlanmıştır (Çizelge 3.1.2). Mellanby, kan emmiş *Culex quinquefascatus* dişilerinin 39°C sıcaklıkta bir saat hayatta kalabildiklerini [49], Maslow ise, en düşük sıcaklık ortalaması -12°C olan koşullarda *Culex pipiens pipiens* dişilerinin yarısının iki hafta boyunca hayatta kaldıklarını göstermiştir[48]. Çizelge 4.1.4.1.'deki değerler ile limit değerleri Ratkovsky-1 modeline uygulandığında Şekil 4.1.4.2.'deki eğriler elde edilmiştir. Uyarlamada

standart sapma değerleri, ortalama değerlerin yaklaşık yarısı olarak (%50,69'u) seçilmiştir.



Şekil 4.1.4.2. Sıcaklığa bağlı ergin ömür uzunluğu ve model tahmini

(Gözlenen Ergin Ömür Uzunluğu: Hayat tablosundaki veriler kullanılarak hesaplanan ömür uzunluğu verilerini gösterir. Limit Değerleri: Literatürden uyarlanan sınır değerleri gösterir. Model Tahmini: Ortalama ergin ömür uzunluğu ve ilişkili (correlated) standart sapma değerleri kullanılarak oluşturulan Ratkovsky-1 modeline ait eğri)

4.1.5. Dişi Başına Düşen Günlük Yumurta Sayısı (Günlük Fekondite)

Dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı, deneyde [8] izlenen yol model ile eşleştirilerek hesaplanmıştır. Hesaplama; dişilere ilk kan emdirilen gün başlatılmış ve kafeste son yumurta alınana kadar devam etmiştir. Kafeste bir yandan bırakılan toplam yumurta sayısı artarken diğer yandan dişi sayısı azalmaktadır. Dişi sayısındaki azalma Şekil 4.1.4.1.'de gösterilen gama dağılımına göre tahmin edilmiştir.

Fekondite hesabı için modele 20°C'de önce *albopictus* paketi yüklenmiştir. Sonrasında yumurta ve ergin popülasyonları deterministik olarak ayarlanmış ve başlangıç ergin sayısı (300) modele girilmiştir:

```
> library(albopictus)
> egg<-spop(stochastic=FALSE)
```

```
> adult<-spop(stochastic = FALSE)
> add(adult)<-data.frame(number=300)
Sonrasında yumurta ve ergin verilerini kaydetmek amacıyla total matrisi oluşturulmuştur.
```

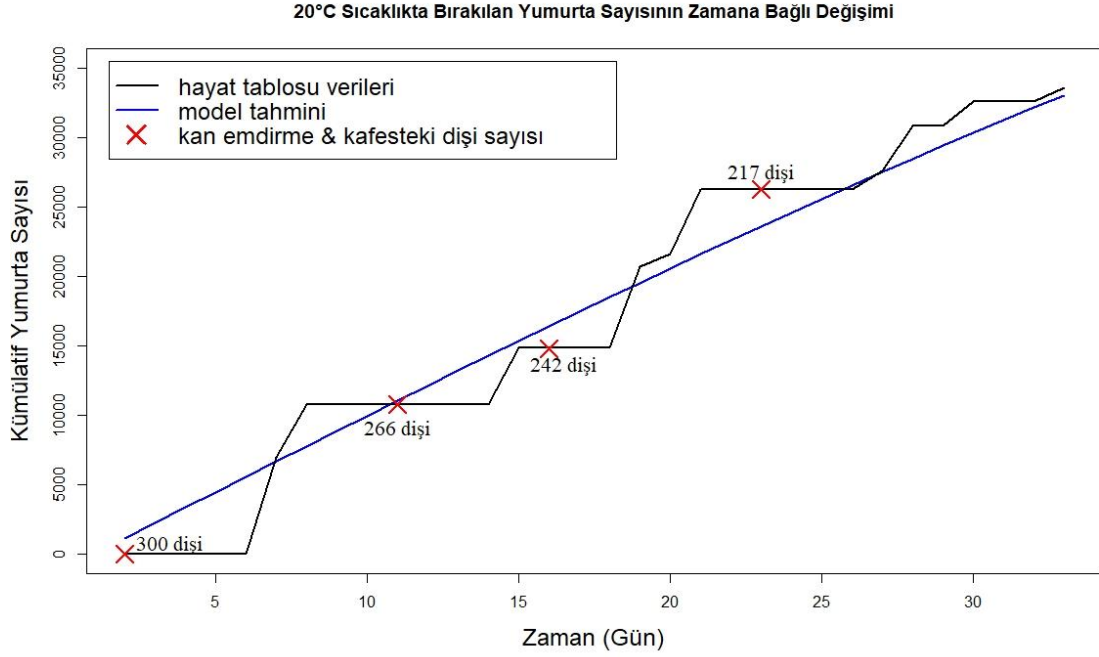
```
> total<-rbind(total, c(0,size(egg), size(adult)))
```

Daha sonra `for` döngüsü kullanılarak 20°C'de yumurtaların son alındığı gün olan 34. güne kadar model çalıştırılmıştır. Burada işlem kolaylığı olması açısından günlük yumurta ölüm oranı 1 (%100) kabul edilmiştir. Bu sayede her gün erginler tarafından belirli oranda yumurta üretilecek, bir sonraki gün o yumurtaların hepsi ölecek ve yalnızca yeni üretilen yumurtalar kaydedilecektir. Bir önceki bölümde hesaplanan ergin ömür uzunluğu parametreleri de ergin ölüm parametreleri olarak modele girilmiştir. Buradaki kilit değer, dişi başına düşen yumurta sayısıdır ($(\text{number}=\text{size}(\text{adult}) * 3.71)$). 3.71 değeri, hayatta kalan dişi sayısı ile çarpılarak bir gün sonra üretilecek yumurta miktarını modele söyler. Son olarak `total` matrisi çalıştırılarak günlük yumurta ve ergin sayısı değişimi gözlenmiştir:

```
> for(i in 1:34) {
+   iterate(egg)<-data.frame(dev_mean=egg.mean,dev_sd=egg.sd, death=1)
+   iterate(adult)<-data.frame(death_mean=72.36, death_sd=46.08, dev=0)
+   add(egg)<-data.frame(number=size(adult)* 3.71)
+   total<-rbind(total, c(i,size(egg), size(adult)))
+ }
> total
```

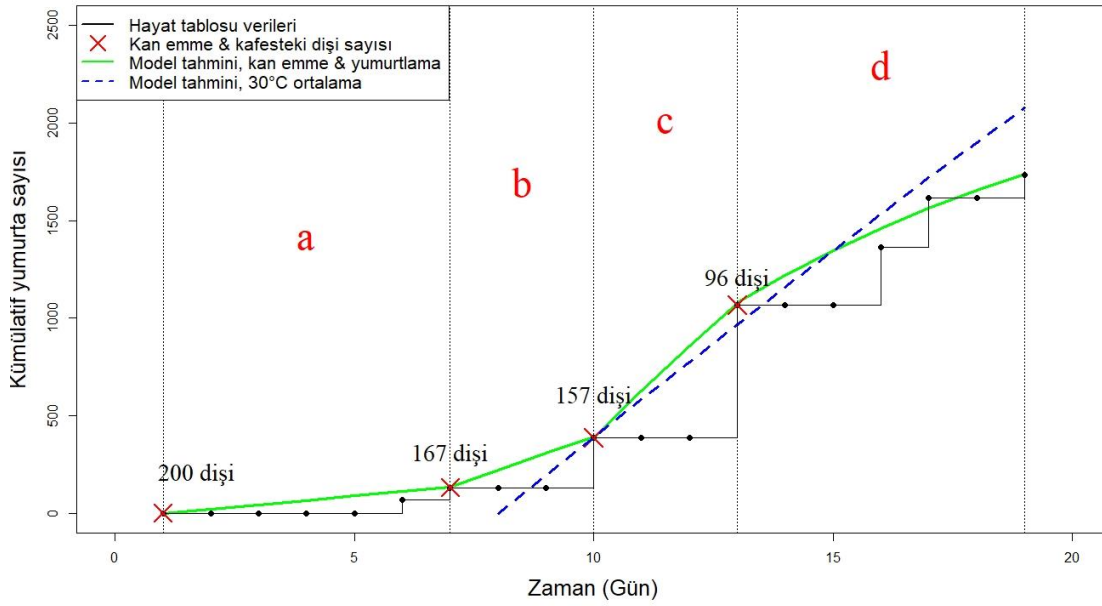
3.71 değeri dişi başına bırakılan günlük ortalama yumurta sayısını ifade eder. Bu değer pek çok denemenin sonucunda, eğrinin altında ve üstünde kalan alanların eşit olma prensibine göre yaklaşık olarak tahmin edilmiştir. Şekil 4.1.5.1.'de 20°C için kümülatif yumurta sayısının zamanla değişimi ve modelin tahmini gösterilmiştir.

Bu işlemler 15°C, 23°C ve 27°C sıcaklıklarda aynı şekilde tekrar edilmiş ve günlük fekondite değerleri sırasıyla, 1.56, 4.78 ve 5.46 olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.1.5.1.).



Şekil 4.1.5.1. 20°C sıcaklıkta dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı model tahmini

30°C sıcaklıkta ise dişilerin kan emmediği uzun aralıklar gözlenmiştir. Bunun sebeplerinden birisi de bu sıcaklıkta sivrisineklerin yumurtalarının erken olgunlaşmasıdır. Birinci gün kan emdirilen bireyler son yumurtalarını yedinci gün, 20.gün kan emdirilen bireyler son yumurtalarını 23.gün, 23.gün kan emdirilen bireyler son yumurtalarını 26.gün ve 34.gün kan emdirilen bireyler ise son yumurtalarını 40.gün bırakmışlardır. Diğer bir ifadeyle, dişiler yedinci gün ile 20.gün arasında ve 26.gün ile 34.gün arasında deney süresince toplam 21 gün kan emme fırsatı bulamayıp yumurtlayamamışlardır. Dolayısıyla 30°C sıcaklıkta dişilerin kana maruz kalmadıkları 21 günlük süre model tahmininden çıkarılarak, günlük fekondite değeri tahmini geri kalan 19 günlük kan emme ve yumurtlama verilerinin (Şekil.4.1.5.2.) birleştirilerek hesaplanmasıyla yapılmıştır (Eşitlik 4.1.5.1.). Her bir kan emme ve o kan emmeye ait yumurta bırakma verileri kendi içinde değerlendirilerek ilgili kısma ait hesaplama (Örneğin Şekil.4.1.5.2./a bölümü için Eşitlik 4.1.5.1.'deki a_1 değeri) bir önceki sayfadaki 20°C örneğindeki gibi yapılmıştır.



Şekil 4.1.5.2. 30°C sıcaklıktaki dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı gösterimi

(30° C sıcaklıkta, sivrisineklerin kafeste geçirdiği toplam zaman dört zaman dilimine ayrılmıştır (a, b, c, d bölümleri). Kafese her kan emdirme uygulaması ilk gün olarak ve o kan emdirmeye ait son yumurtaların alındığı zaman ise son gün olarak belirlenmiştir. (Siyah renk ile gösterilen çizgiler gözlem verilerini, kırmızı çarpı işareti kan emdirilen günleri, grafikte belirtilen dişi sayıları (örneğin b bölümü için 167 dişi) kan emdirildiğinde kafesteki hayatta kalan dişi sayısını gösterir. Yeşil eğri her bölümün kendi içindeki model tahminini, mavi eğri ise tüm bölümlerdeki tahminlerin ortalaması olan dişi başına günlük ortalama yumurta sayısını (0.971) ifade eder.)

Bu dört farklı zaman dilimindeki dişi başına düşen günlük ortalama yumurta verilerinin ağırlıklı gün ortalaması alınarak 30° C sıcaklık için dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı Y_m , Eşitlik 4.1.5.1.'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Y_m = (a_1 \cdot a_2 + b_1 \cdot b_2 + c_1 \cdot c_2 + d_1 \cdot d_2) / (a_2 + b_2 + c_2 + d_2)$$

Eşitlik 4.1.5.1.

$a_1 = 1$ ve 7. günler arası bir dişinin, bir kez kan emdikten sonra bir günde bıraktığı ortalama yumurta sayısı,

$b_1 = 20$ ve 23. günler arası bir dişinin, bir kez kan emdikten sonra bir günde bıraktığı ortalama yumurta sayısı,

$c_1 = 23$ ve 26. günler arası bir dişinin, bir kez kan emdikten sonra bir günde bıraktığı ortalama yumurta sayısı,

$d_1 = 34$ ve 40. günler arası bir dişinin, bir kez kan emdikten sonra bir günde bıraktığı ortalama yumurta sayısı,

$a_2 =$ ilk kan emdirme ve ona ait son yumurtayı alma arasında geçen gün sayısı

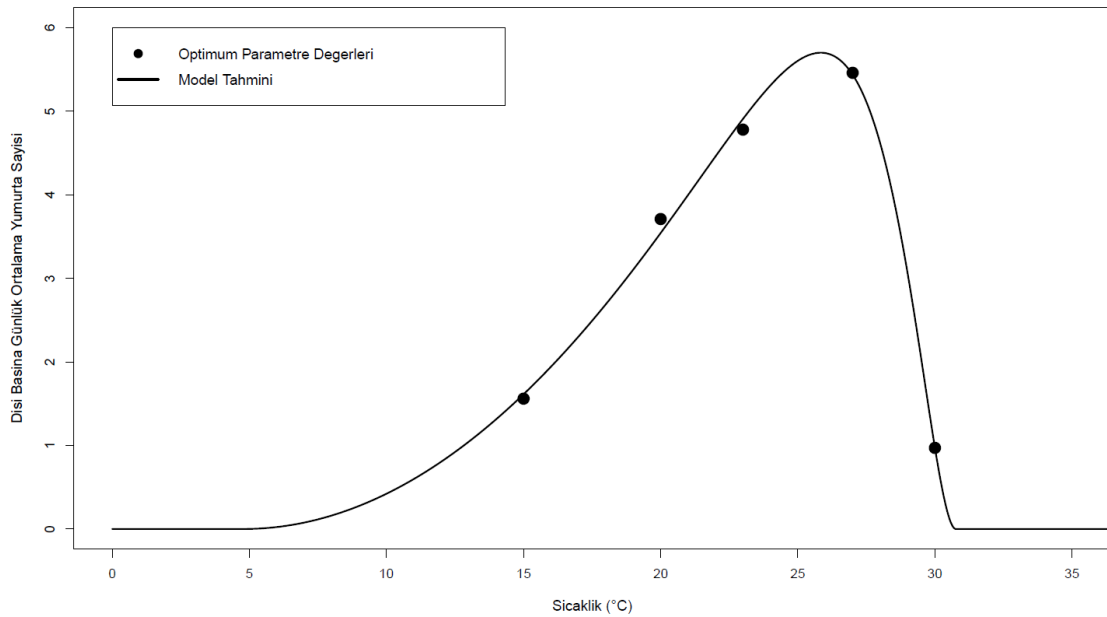
b_2 = ikinci kan emdirme ve ona ait son yumurtayı alma arasında geçen gün sayısı
 c_2 = üçüncü kan emdirme ve ona ait son yumurtayı alma arasında geçen gün sayısı
 d_2 = dördüncü kan emdirme ve ona ait son yumurtayı alma arasında geçen gün sayısı
 $Y_m = 30^\circ \text{C}$ için dişi başına düşen günlük ortalama yumurta sayısı

$$Y_m = (0,11 * 6 + 0,5 * 3 + 1,5 * 3 + 1,8 * 6) / 18 = 0,971$$

Çizelge 4.1.5.1. Sıcaklığa bağlı model ile tahmin edilen dişi başına düşen günlük yumurta sayısı

Fekondite	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Dişi başına düşen günlük yumurta sayısı	1,56	3,71	4,78	5,46	0,971

Beş farklı sıcaklık için elde edilen tüm günlük fekondite değerleri Ratkovsky-1 modeline uyarlandığında Şekil.4.1.5.3. elde edilir. Günlük fekondite verileri için literatürden sınır değerleri bulunamamıştır. Modele göre sıcaklık 5.5°C 'den düşük ve 30.8°C 'den fazla iken günlük ortalama dişi başına düşen yumurta sayısı 0 olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 4.1.5.3. Sıcaklığa bağlı dişi başına düşen günlük yumurta sayısı model tahmini

(Optimum parametre değerleri hayat tablosundaki veriler kullanılarak elde edilen model sonuçlarını, siyah eğri ise bu sonuçların Ratkovsky-1 modeli ile uyarlanmasını gösterir.)

Tüm parametrelerin birleştirilmesiyle modelde kullanılan parametreler çizelgesi elde edilir (Çizelge 4.1.5.2.).

Çizelge 4.1.5.2. Modelde Kullanılan Tüm Parametreler ve Sıcaklığa Bağlı Değişimleri

Modelde Kullanılan Parametreler ve Sıcaklığa Bağlı Değişimleri					
Gelişim Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Ortalama yumurta gelişim süresi (gün)	6,82	3,08	2,03	1,03	1
Yumurta gelişim süresi standart sapması (gün)	0,5	0,28	0,18	0,12	0,18
Ortalama larva gelişim süresi (gün)	44,5358	24,8792	21,7045	12,9867	14,7977
Larva gelişim süresi standart sapması (gün)	10,9379	6,1103	5,3306	3,1895	3,6343
Pupa gelişim süresi (gün)	5,04674	2,42896	1,11462	1,94801	1,96351
Hayatta Kalma Parametreleri	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Ortalama ergin ömür uzunluğu (gün)	103,44	72,36	46,01	28,59	32,04
Ergin ömür uzunluğu standart sapması (gün)	52,43	36,67	23,32	14,49	16,24
Günlük ortalama yumurta ölüm oranı	0,0818	0,1648	0,1872	0,4773	0,7247
Günlük ortalama larva ölüm oranı	0,02134	0,01223	0,01922	0,01325	0,04190
Günlük ortalama pupa ölüm oranı	0,06360	0,02313	0,04085	0,01798	0,01731
Fekondite	15°C	20°C	23°C	27°C	30°C
Dişi başına düşen günlük yumurta sayısı	1,56	3,71	4,78	5,46	0,971

4.1.6 Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Duyarlılık analizi, modelleme çalışmalarında hangi parametrenin model çıktısını ne oranda etkilediğini belirlemede kullanılır [52]. Bölüm 3.3.'te anlatıldığı gibi, beş farklı sıcaklıktaki beş farklı değer kullanılarak tüm sıcaklıkları kapsayacak uyarlamalar yapılmıştır. Bu uyarlamalar sonucunda hayatta kalma ve fekondite parametreleri için doğrusal olmayan fonksiyonlar, gelişim süresi parametreleri için de üssel fonksiyonlar kullanılmıştır (Bölüm 3.3.). Bu fonksiyonların kendilerine ait parametrelerinin ise (doğrusal olmayan fonksiyonlar için dört, üssel fonksiyonlar için iki parametre) hangilerinin modeli daha çok etkilediği Eşitlik 4.1.6.1.1. kullanılarak R'da hesaplanmış ve duyarlılık analizi sonuçları Çizelge 4.1.6.1. ile ortaya konmuştur.

$$S = [\partial x/x] / [\partial P/P]$$

Eşitlik 4.1.6.1.1. Duyarlılık Eşitliliği (S: duyarlılık, x: değişken, P: parametre)

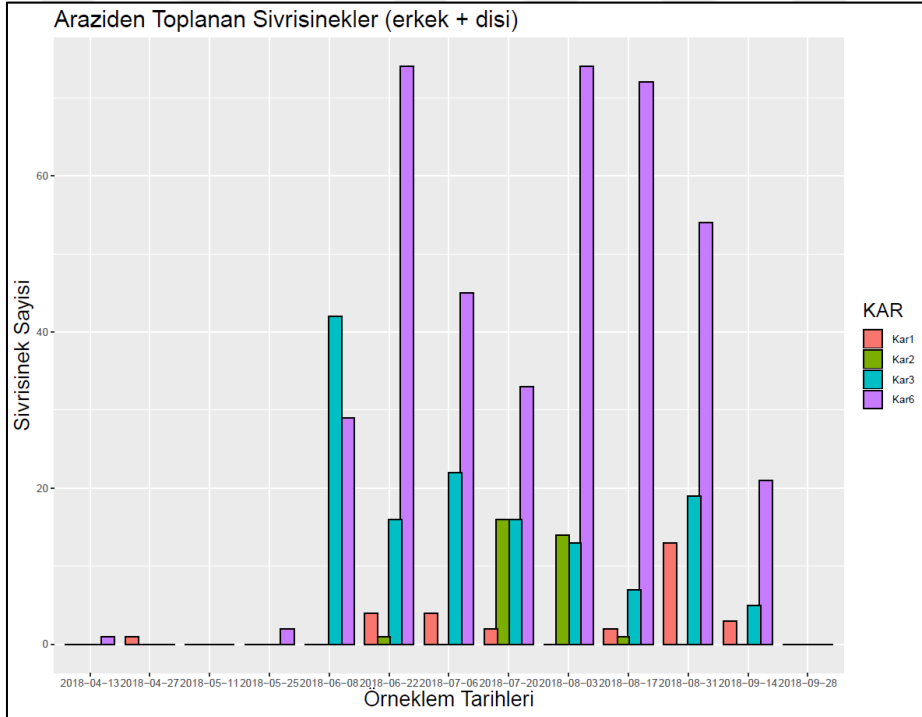
Çizelge 4.1.6.1. Modelde Kullanılan Parametrelerin Duyarlılık Analizi Sonuçları

Gelişim Parametreleri	Parametre		Fonksiyon		
	P1	P2			
Ortalama yumurta gelişim süresi	246.58	83.42	Üssel		
Ortalama larva gelişim süresi	332.07	22.63	Üssel		
Pupa gelişim süresi	0.149	2.390	Üssel		
Hayatta Kalma Parametreleri	p1	p2	p3	p4	Fonksiyon
Ortalama ergin ömür uzunluğu	2.42	57.57	4.62	2.97	
Günlük ortalama yumurta ölüm oranı	1.13	91.57	7.01	6.64	Ratkovsky-1
Günlük ortalama larva ölüm oranı	60.52	25.39	1.76	1.83	Beta.1
Günlük ortalama pupa ölüm oranı	28.94	40.18	6.10	0.909	D.sigmoidal
Fekondite					
Dişi başına düşen günlük yumurta sayısı	573	1106	2.68	2.15	Briere.2

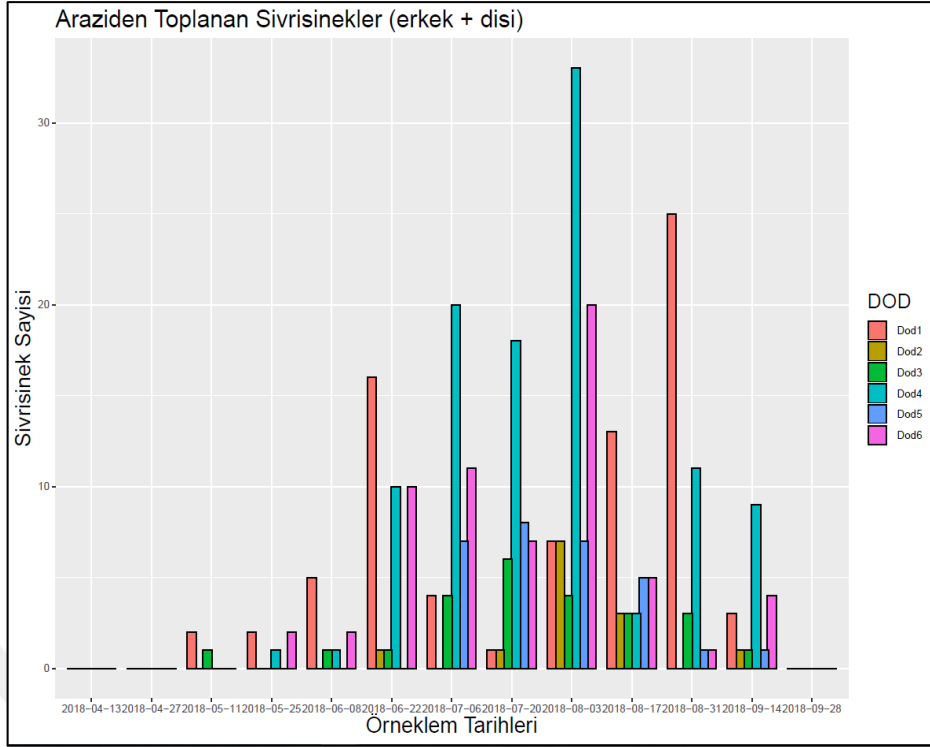
Çizelge 4.1.6.1.'de duyarlılık değeri 10'dan yüksek olan parametreler gösterilmiştir. Buna göre günlük ortalama larva ölüm oranı, günlük ortalama pupa ölüm oranı ve günlük dişi başına düşen günlük yumurta sayısı için en düşük ve en yüksek sıcaklıklar (p1 ve p2), en etkili parametre değerleri olarak bulunmuştur. Ergin ömür uzunluğu ve günlük yumurta ölüm oranında en düşük sıcaklık görece etkili bulunmamıştır. Ortalama yumurta gelişim süresi ve ortalama larva gelişim süresi için iki parametrenin de etkili olduğu görülmektedir. Pupa gelişim süresi parametreleri diğerlerine göre daha az etkili bulunmuştur. Bu da pupa gelişim süresi parametrelerinin diğerlerine göre daha az bir kesinlikle belirlenebildiğine işaret etmektedir [53].

4.2. Popülasyon Dinamiği Çalışmaları ve Sıcaklık Ölçümleri

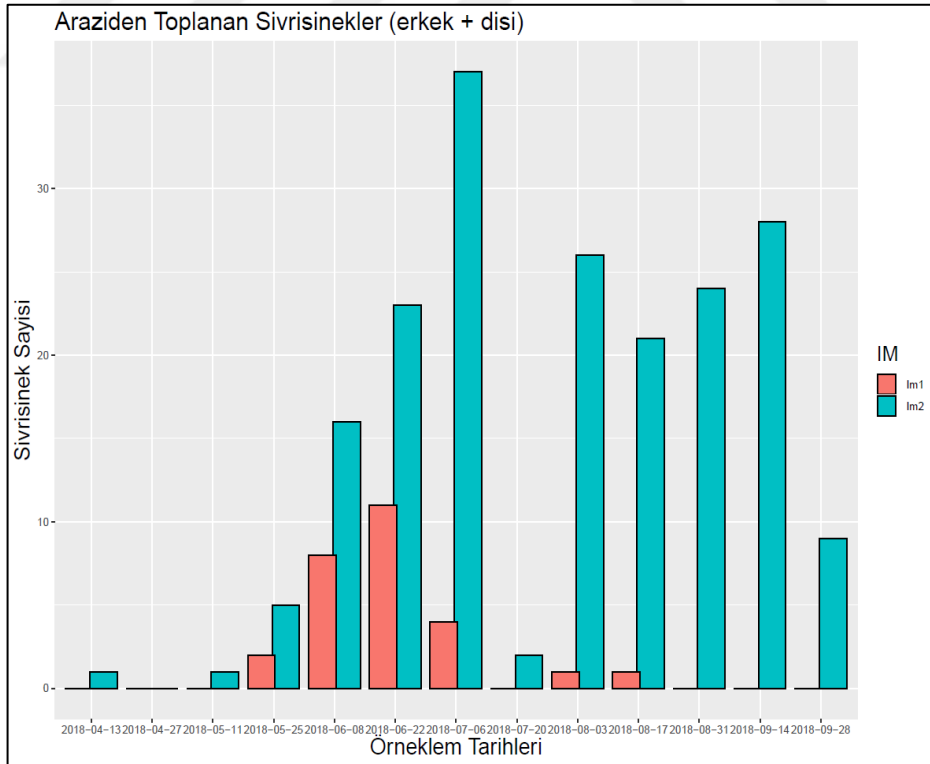
Yaklaşık altı aylık arazi çalışmaları sonucunda, çalışma yapılan bölgelere göre toplanan sivrisinekler aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.2.1.'den Şekil 4.2.4.'e kadar) gösterilmiştir. Bu süre boyunca en fazla dişi sivrisinek Karaoğlan köyünde (567) örneklenmiştir. Dodurga köyünde 216, kenarkent İmrahor'da 173, şehir merkezi Dikmen'de ise 19 dişi sivrisinek örneklenmiştir. Erkek sivrisineklerle birlikte değerlendirildiğinde ise toplamda Karaoğlan'da 606, Dodurga'da 312, İmrahor'da 220 ve Dikmen'de 40 sivrisinek yakalanmıştır. Tüm çalışma süresi değerlendirildiğinde, en fazla *Culex pipiens s.l.* örneği 03.08.2018 tarihinde toplanmıştır.



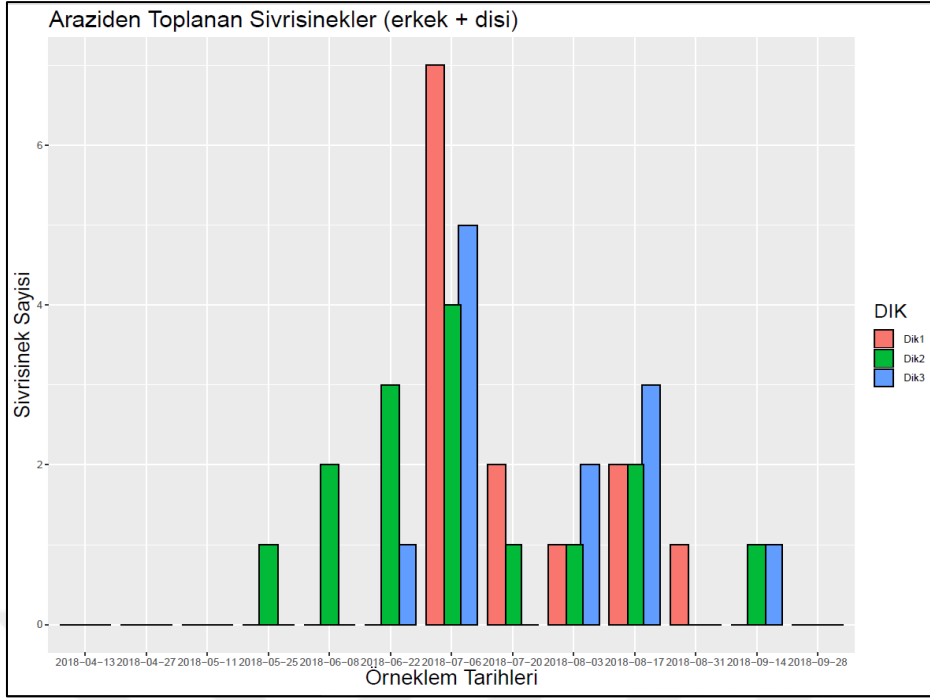
Şekil 4.2.1. Karaoğlan köyünde 4 farklı tuzak ile toplanan *Culex pipiens s.l.* sayıları



Şekil 4.2.2. Dodurga köyünde 6 farklı tuzak ile toplanan *Culex pipiens s.l.* sayıları

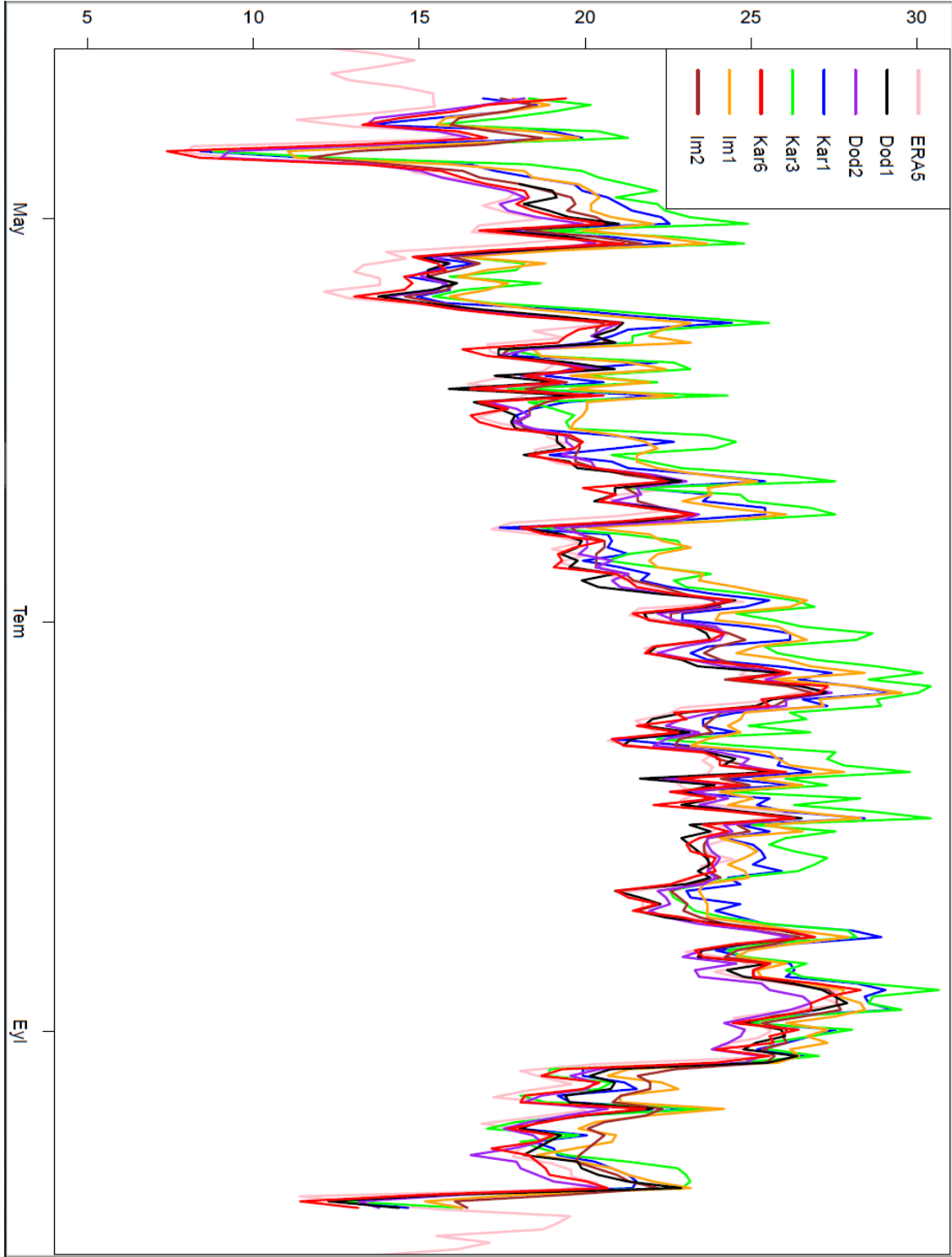


Şekil 4.2.3. İmrakor kenar kentinde 2 farklı tuzak ile toplanan *Culex pipiens s.l.* sayıları

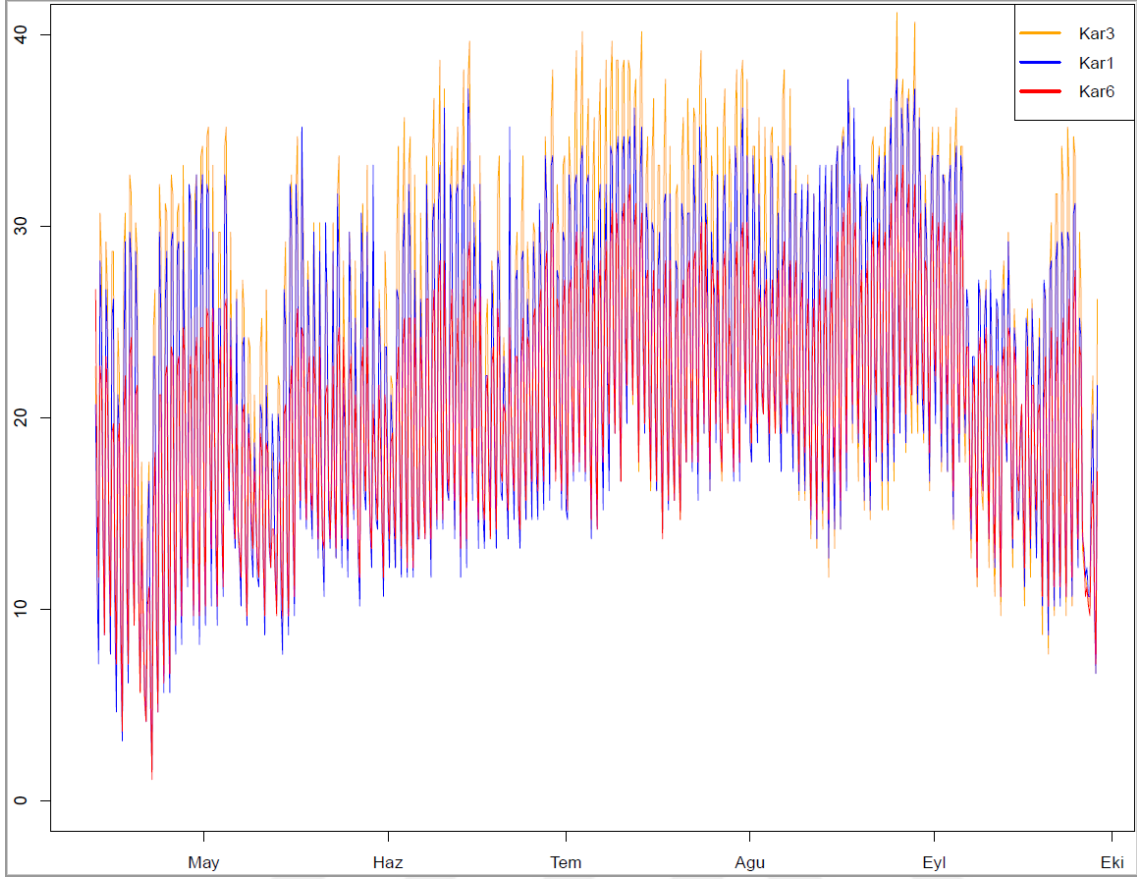


Şekil 4.2.4. Dikmen şehir merkezinde 3 farklı tuzak ile toplanan *Culex pipiens s.l.* sayıları

Örnekleme kısmında da bahsedildiği gibi, tuzakların bırakıldığı yerlerde sıcaklık ölçümü data logger'lar kullanılarak yapılmıştır. Arazi çalışmalarının sonunda toplam 7 data logger'dan 6 saatte bir (ilk ölçüm saat 12:00'de olacak şekilde) sağlıklı veri alınabilmektedir. Data logger verilerinin ve saatlik ölçüm yapan ERA5 verilerinin günlük ortalamaları Şekil 4.2.5.'te gösterilmiştir. Ayrıca, beklenen değerlerden yüksek değerlerin elde edildiği Karaoğlan köyündeki Kar1 ve Kar3 noktaları ile Kar6 noktasındaki sıcaklık ölçümleri karşılaştırılması Şekil 4.2.6.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.5. 12.04.2018 – 28.09.2018 tarihleri arasında ERA5 ve 7 farklı konumdaki data logger'lerden alınan günlük ortalama sıcaklık (°C) verileri karşılaştırması



Şekil 4.2.6. Arazi çalışması boyunca 12.04.2018 – 28.09.2018 tarihleri arasında Kar1, Kar3 ve Kar6 konumlarından 6 saatte bir alınan sıcaklık verilerinin (°C) karşılaştırması

4.3. Popülasyon Modeli Oluşturulması

4.3.1. Fonksiyon ve Verilerin Popülasyon Modeline Eklenmesi

Bölüm 4.1.'deki tüm model parametreleri hesaplandıktan sonra bu parametreler kullanılarak 4 aşamalı bir *Culex quinquefasciatus* popülasyon modeli oluşturulmuştur. Bu model, Bölüm 4.1.5.'te detaylı olarak anlatılmış olan günlük fekondite parametresi hesaplanırken oluşturulan modelin daha kapsamlı halidir. O modele ek olarak, larva ve pupa popülasyonları eklenmiş ve sıcaklık verisi kullanılmıştır.

4.3.2. Parametre Fonksiyonları

İlk olarak Bölüm 4.1.'de bahsedilen parametre eğrilerinin, sıcaklığa bağlı fonksiyonları tanımlanmıştır. Aşağıda bu 11 parametreden birisi olan günlük yumurta ölüm oranı örneği gösterilmiştir:

```
> fun.Egg.surv <- function(temp) {
+   par <- c(4.783275, 30.11748+4.783275, 1.576938e-05, 5.136795e-01)
+   tmp <- briere.2(temp, par[1], par[2], par[3], par[4])
+   tmp[tmp<par[1] | tmp>par[2]] <- 0
+   return(data.frame(
+     egg.death = 1-tmp
+   ))
+ }
```

Geri kalan tüm parametrelerin yukardaki gibi sıcaklığa bağlı fonksiyon tanımları yapılmış ve bu fonksiyonlar modele eklenmiştir.

4.3.3. Zaman Birimi Tanımlanması

Data logger'lerden gelen 6 saatlik, ERA5'ten alınan saatlik sıcaklık verilerini kullanabilmek için zaman birimi "timeU" tanımlanmıştır. Buna göre örneğin ERA5 için zaman birimi değeri 24 iken her saat başı ölçülen sıcaklık değeri kullanılmıştır. Bunun karşılığında tüm parametre değerleri günlük değerlerden saatlik değerlere aşağıdaki gibi dönüştürülür:

```
> fun.envir <- function(temp, timeU=1) {
+   deltaT <- 0.0
+   return(cbind(
+     fun.Fecundity(temp) / timeU,
+     fun.Egg.dev(temp+deltaT) * timeU,
+     fun.Larva.dev(temp+deltaT) * timeU,
+     fun.Pupa.dev(temp+deltaT) * timeU,
+     fun.Adult.surv(temp) * timeU,
+     1-(1-fun.Pupa.surv(temp+deltaT))^(1/timeU),
+     1-(1-fun.Larva.surv(temp+deltaT))^(1/timeU),
+     1-(1-fun.Egg.surv(temp+deltaT))^(1/timeU)
+   ))
+ }
```

Örneğin, ERA5 için zaman birimi değeri 4 seçilirse, model 6 saatte 6 kez yapılan ölçümün ortalamasını alarak bir değer oluşturur ve 6 saatte bir sıcaklık ölçümü

yapılmış gibi (çeyrek günlük) çıktı üretilebilir. Dolayısıyla kullanılacak olan parametreler de günlük değerlerden çeyrek günlük değerlere çevrilmelidir. Örneğin, belirli sıcaklıkta ortalama larva gelişim süresi 10 gün ise, zaman birimi yardımı ile 40 çeyrek güne dönüştürülmüş olur.

4.3.4. Birleştirme, İterasyon ve sPop

`fun.model` fonksiyonu ile tüm model birleştirilmiştir. Bu fonksiyon ile zaman birimi, sıcaklık ve başlangıç birey sayıları tanımlanmıştır:

```
> fun.model <- function(days,temp,timeU=1,init.egg=0,init.larva=0,init.pupa=0,init.adult=1) {
+   if (!require(albopictus)) {return(FALSE)}
+   #---
+   egg <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
+   larva <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
+   pupa <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
+   adult <- spop(stochastic=FALSE,prob='gamma')
+   #---
+   if (init.egg>0) {add(egg) <- data.frame(number=init.egg)}
+   if (init.larva>0) {add(larva) <- data.frame(number=init.larva)}
+   if (init.pupa>0) {add(pupa) <- data.frame(number=init.pupa)}
+   if (init.adult>0) {add(adult) <- data.frame(number=init.adult)}
```

Ardından tüm evreler için modelin çalıştığı süre boyunca değişen sıcaklık ile iterasyonu (tekrarlama) sağlanmıştır:

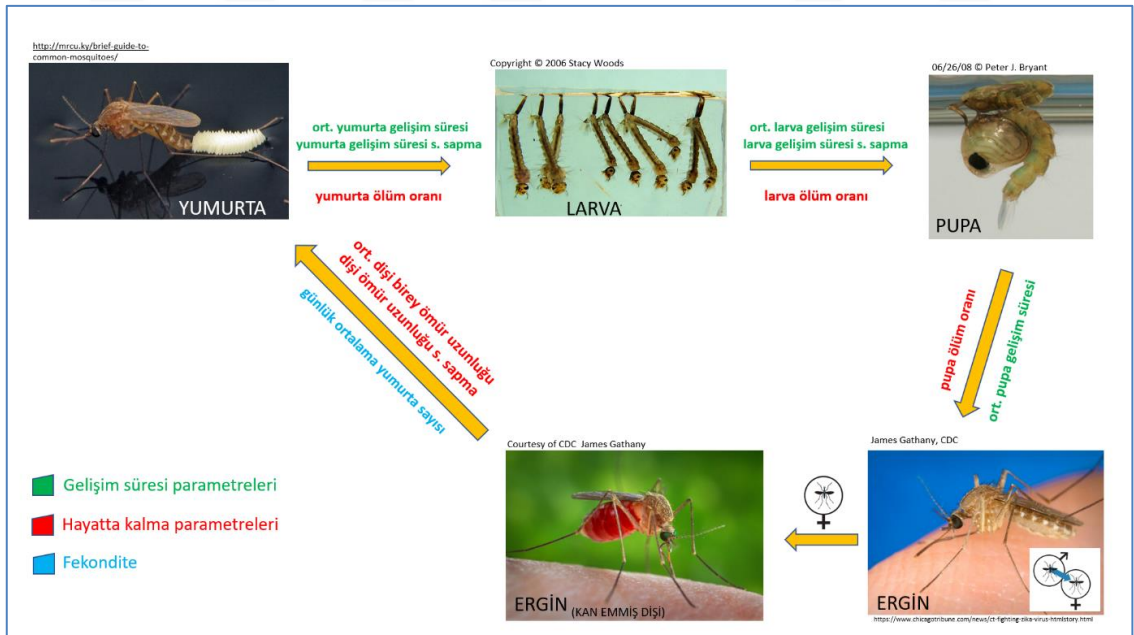
```
+ ret <- NULL
+   for (n in 1:length(days)) {
+     clim <- fun.envir(temp[n],timeU=timeU)
+     #---
+     iterate(adult) <- data.frame(dev      = 0,
+                                  death_mean = clim$adult.mean,
+                                  death_sd   = clim$adult.sd)
+     iterate(pupa) <- data.frame(dev_mean  = clim$pupa.mean,
+                                  dev_sd    = clim$pupa.sd,
+                                  death     = clim$pupa.death)
+     iterate(larva) <- data.frame(dev_mean = clim$larva.mean,
+                                  dev_sd   = clim$larva.sd,
+                                  death    = clim$larva.death)
+     iterate(egg) <- data.frame(dev_mean  = clim$egg.mean,
+                                  dev_sd    = clim$egg.sd,
+                                  death     = clim$egg.death)
```

Son olarak Şekil 4.3.4.1.'deki gibi gelişen yumurtaların larvaya, larvaların pupaya, pupaların erginlere (pupalardan dişi ergin çıkma oranının 0.5 olduğu varsayılmıştır) dönüşmesi, erginlerin ise günlük belirli oranlarda yumurta vererek döngüyü tamamlaması sağlanmıştır.

```

+       new.larva <- developed(egg)
+       new.pupa <- developed(larva)
+       new.adult <- developed(pupa)*0.5
+       num.adult <- size(adult)
+       new.egg <- as.numeric(num.adult*clim$fecundity)
+       #---
+       add(adult) <- data.frame(number=new.adult)
+       add(pupa) <- data.frame(number=new.pupa)
+       add(larva) <- data.frame(number=new.larva)
+       add(egg) <- data.frame(number=new.egg)
+       #---
+       ret <- rbind(ret,c(n,size(egg),size(larva),size(pupa),size(ad
ult)))
+     }
+     #---
+     colnames(ret)<-c("day","egg","larva","pupa","adult")
+     ret <- data.frame(ret)
+     #---
+     return(ret)
+ }

```



Şekil 4.3.4.1. *Culex* cinsi sivrisineklerin yaşam döngüsü ve model parametreleri

4.3.5. Popülasyon Dinamiği ve Sıcaklık Verilerinin Modele Girilmesi

Yukardaki belirtilen kodlar ile birlikte tüm parametre fonksiyonları ve modelin çalışma düzeni oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra ise önce karşılaştırma yapabilmek adına arazi çalışmaları sonucu elde edilen popülasyon dinamiği verileri (buradaki örnekte tümü) modele eklenmiştir:

```
> library(albopictus)
> source("model_funQ.R")
>
> obs <- read.csv("data/2days_total_fm_m.txt", sep="\t", head=TRUE)
> obs$date <- as.POSIXct(obs$date)
>
> obsm <- unique(obs$date)
> obsm <- data.frame("date"=obsm,
+                   "mean"=sapply(obsm, function(o) mean(obs$cx_pipiens
+ _fm[obs$date==o])),
+                   "sem"=sapply(obsm, function(o) sd(obs$cx_pipiens_fm
+ [obs$date==o])/sum(obs$date==o)))
```

Sonrasında ise modelin çalışması için ihtiyaç duyulan sıcaklık verileri (buradaki örnekte ERA5) modele girilmiştir:

```
> timeU <- 4
> dat <- read.csv("data/clim_ERA5_t2m_32.75_39.75.csv")
> days <- as.POSIXct(dat$time[seq(1, nrow(dat), 24/timeU)])
> temp <- rowMeans(matrix(dat$temp, ncol=24/timeU, byrow=TRUE))
```

Böylece modelle ilgili tüm parametreler, fonksiyonlar, veriler girilmiş ve ilgili tüm dönüşümler yapılmış olur.

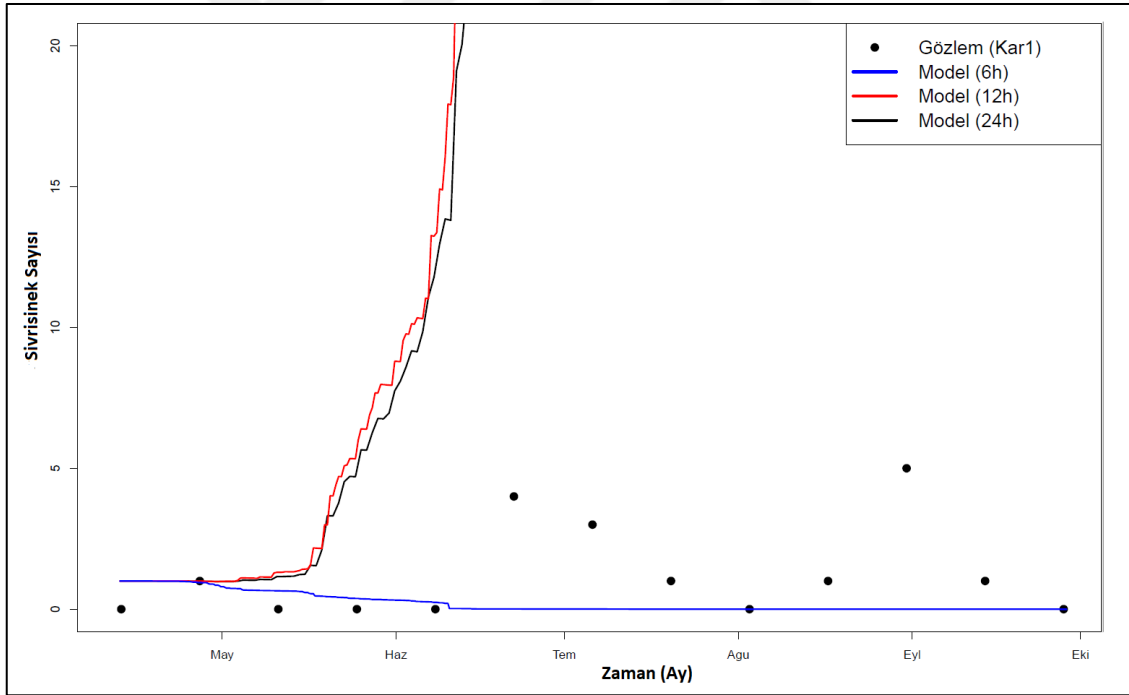
4.4. Popülasyon Modeli ve Popülasyon Dinamiği Karşılaştırılması

Modelle ilgili tüm parametreler, fonksiyonlar, veriler girildikten sonra popülasyon dinamiği verileri ve popülasyon modeli karşılaştırmaları yapılmıştır. Öncelikle data logger sıcaklık ölçümüne sahip olan tuzaklardaki popülasyon dinamiği 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik sıcaklık verileriyle çalıştırılan model ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında, bu modeller tuzağın bulunduğu bölgedeki tüm popülasyon dinamiği verileriyle karşılaştırılmıştır. Son olarak ise, ERA5 sıcaklık

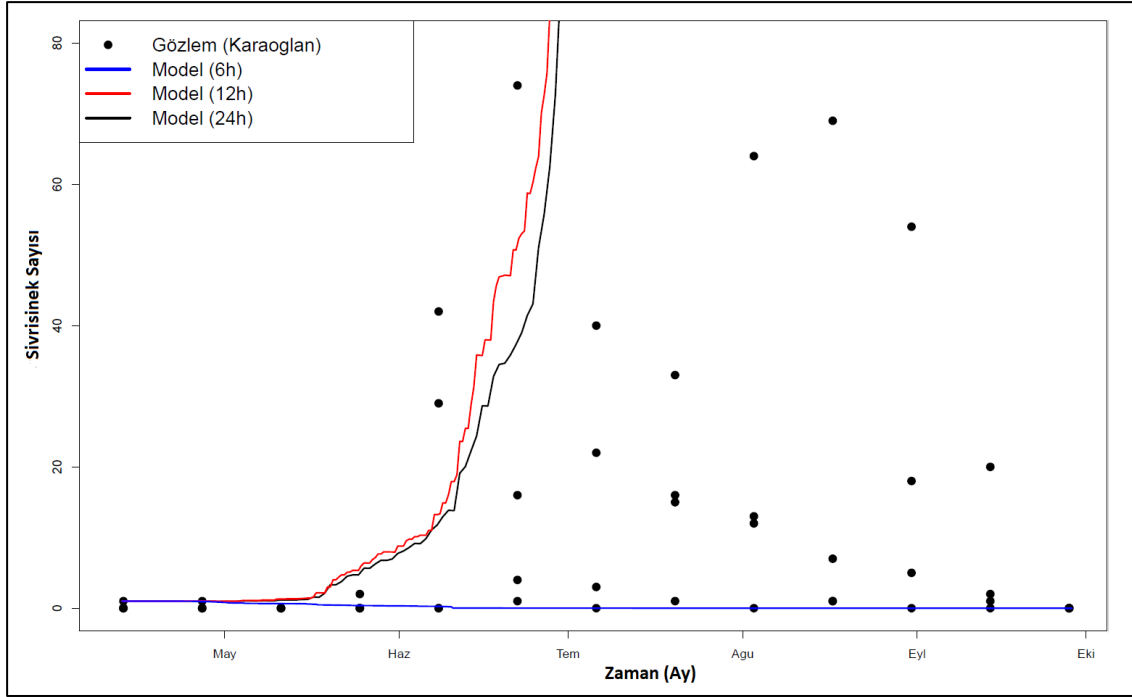
verileri kullanılarak çalıştırılan model ile, bölgesel popülasyon dinamikleri karşılaştırılmıştır.

4.4.1. Karaoğlan ve Dodurga Köyleri Karşılaştırmaları

Karaoğlan 1 data logger sıcaklık verisi ile çalıştırılan model ile Karaoğlan 1 tuzağından elde edilen sivrisinek popülasyonu karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.4.1.1.). Kar1 sıcaklık verileri beklenen değerden yüksek çıktığından dolayı 6 saatlik sıcaklık verisi ile çalıştırılan model, yüksek sıcaklık sebebiyle haziran ayı ortalarında popülasyonun çökeceğini tahmin etmiştir. Bununla ilgili detaylar tartışma kısmında değerlendirilmiştir. 12 saatlik ve 24 saatlik sıcaklık verilerinde ise yüksek sıcaklık değerleri maskelendiği için popülasyon artışının çok hızlanacağı model tarafından tahmin edilmiştir.



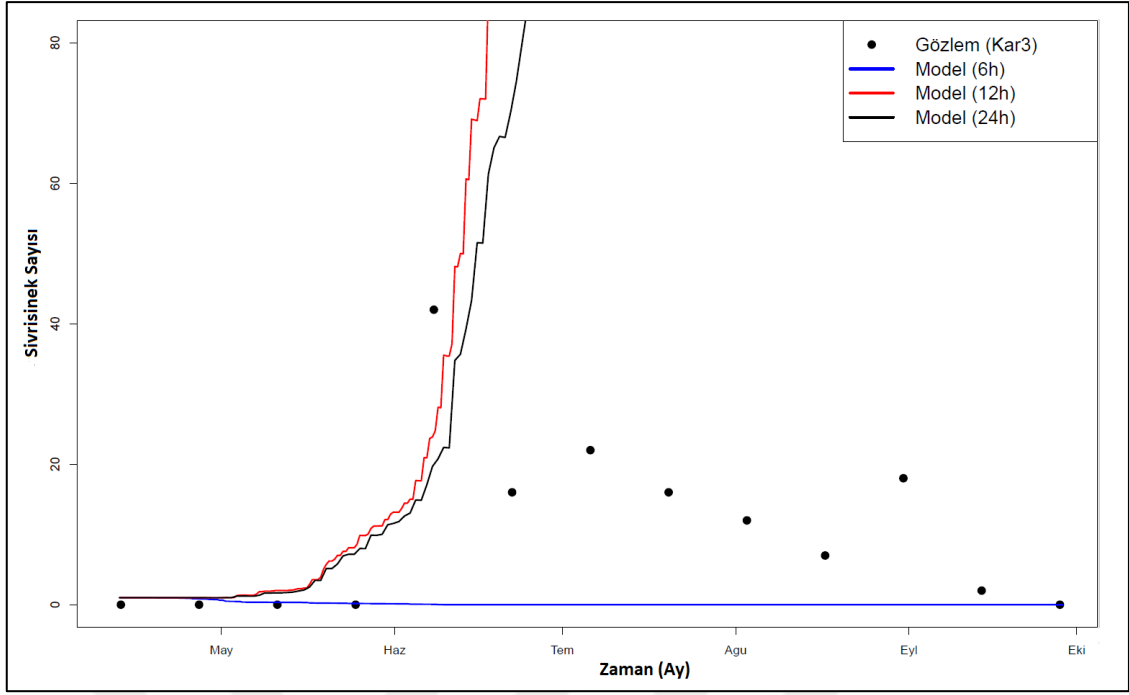
Şekil 4.4.1.1. Kar1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar1 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması



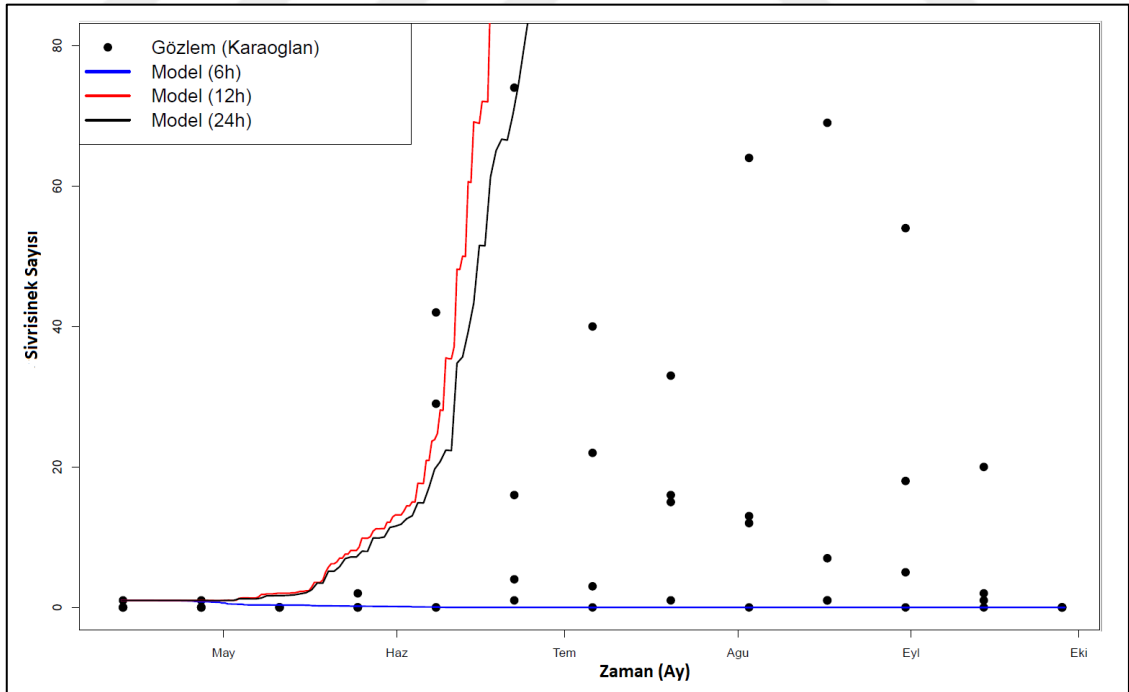
Şekil 4.4.1.2. Kar1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

Tüm tuzaklardaki veriler değerlendirildiğinde (Şekil 4.4.1.2.), 12 saatlik ve 24 saatlik model tahminlerinin popülasyonun bölgede ilk arttığı dönemi yansıtabildiğini fakat popülasyon artışını engelleyebilecek sıcaklık limitleriyle karşılaşmadığını göstermektedir.

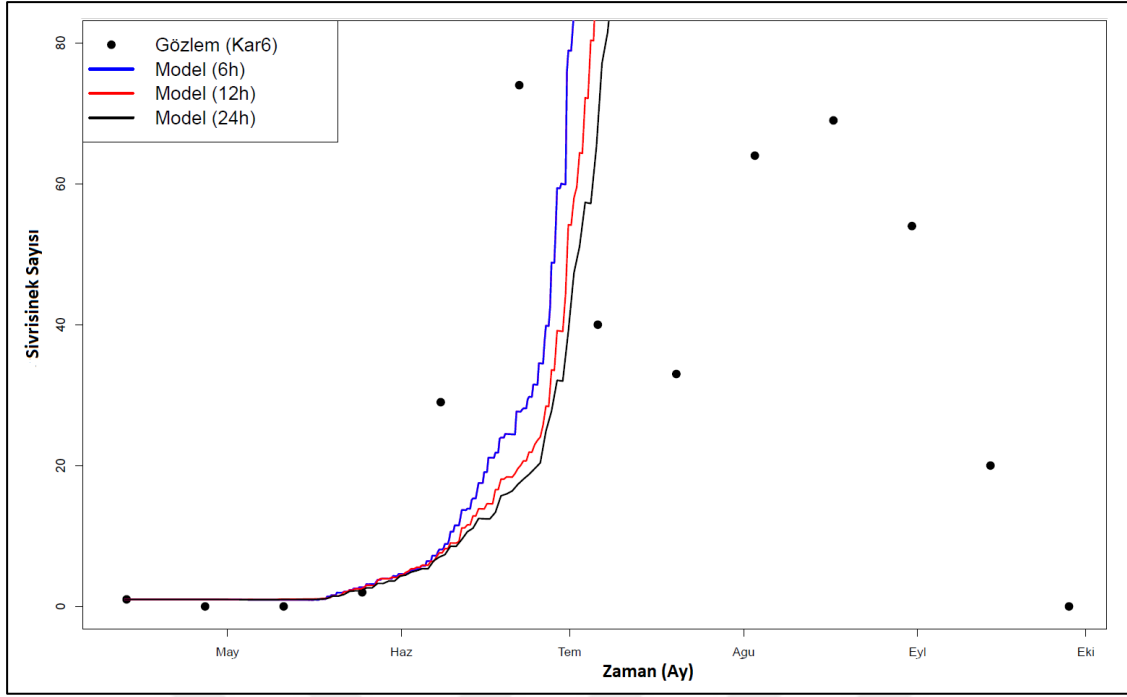
Karaoğlan 3 data logger sıcaklık verisi ile çalışılan model ile Karaoğlan 3 tuzaktan elde edilen sivrisinek popülasyonu karşılaştırılması Şekil 4.4.1.3.'de gösterilmiştir. Kar 3 sıcaklık verisi Kar 1'de olduğu gibi beklenenden yüksek çıktığından dolayı, 6 saatlik model simülasyonunda haziran ayında popülasyonun çökeceği tahmin edilmiştir. İlgili detaylar tartışma kısmında verilmiştir. 12 saatlik ve 24 saatlik sıcaklık verilerinde ise yüksek sıcaklık değerleri maskelendiği için popülasyon artışının çok hızlanacağı model tarafından tahmin edilmiştir. Karaoğlan bölgesi değerlendirildiğinde ise (Şekil 4.4.1.4.), 12 ve 24 saatlik model tahminlerinin popülasyonun bölgede ilk arttığı dönemi yansıtabildiğini fakat yavaşlatıcı herhangi bir sıcaklık engeliyle karşılaşmadığını göstermektedir.



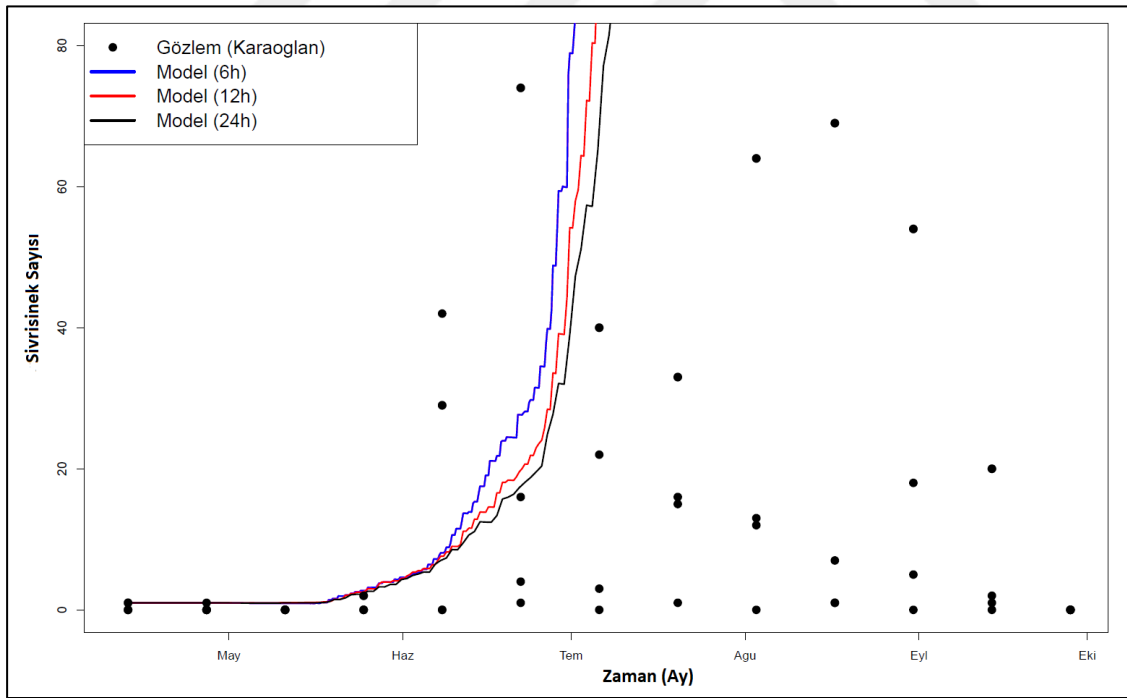
Şekil 4.4.1.3. Kar3 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar3 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması



Şekil 4.4.1.4. Kar3 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması



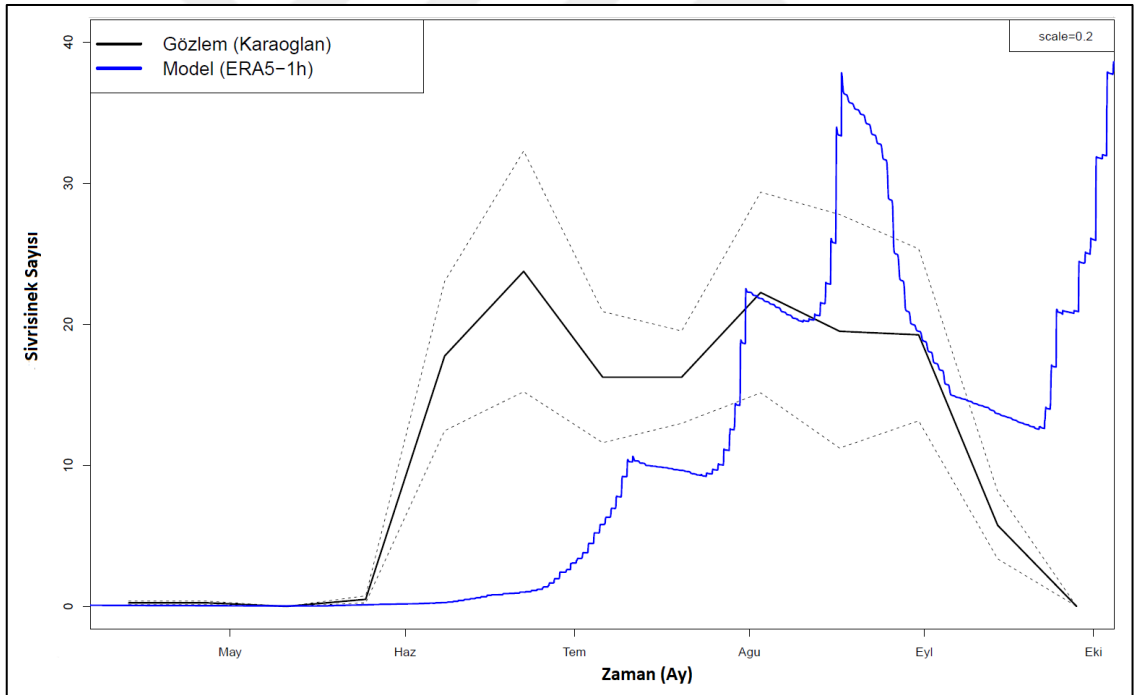
Şekil 4.4.1.5. Kar6 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Kar6 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması



Şekil 4.4.1.6. Kar6 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Karaoglan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

Karaoğlan 6 data logger verisi ile çalıştırılan modeller ile Karaoğlan 6 tuzak popülasyon dinamiği verileri ve tüm Karaoğlan bölgesindeki popülasyon dinamiği karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.4.1.5. ve Şekil 4.4.1.6.'da gösterilmiştir. Karaoğlan 6 data logger verilerinin 6 saatlik, 12 saatlik ya da 24 saatlik olarak seçilmesi modeli çok değiştirmemiş, model ve popülasyon dinamiğinin çok uyumlu olduğu tespit edilmemiştir.

Şekil 4.4.1.7.'de Karaoğlan bölgesi popülasyon dinamiği verileri ERA5 saatlik sıcaklık verileriyle çalıştırılan model ile karşılaştırılmıştır. Model, popülasyonun bölgede ilk artış dönemini biraz gecikmeli olarak takip ediyor olsa da ikinci pik noktasında ve son pikten sonraki popülasyondaki düşüş kısımlarında uyum gözlenmiştir.

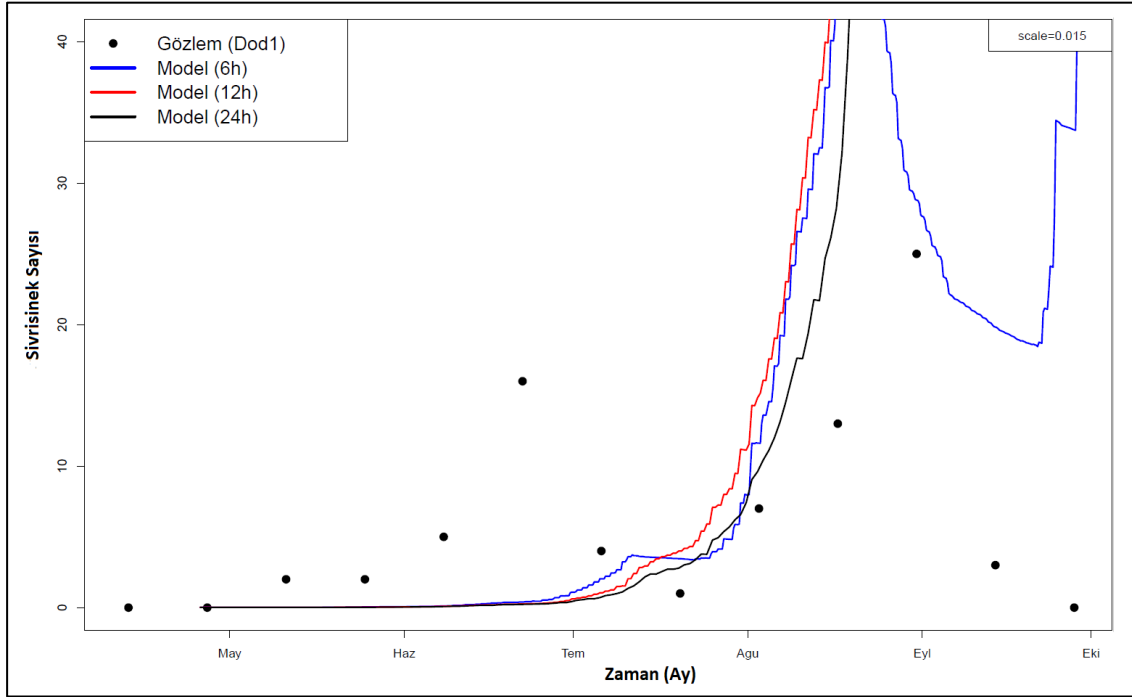


Şekil 4.4.1.7. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve Karaoğlan bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

(Model 0.4 oranında ölçeklendirilmiştir)

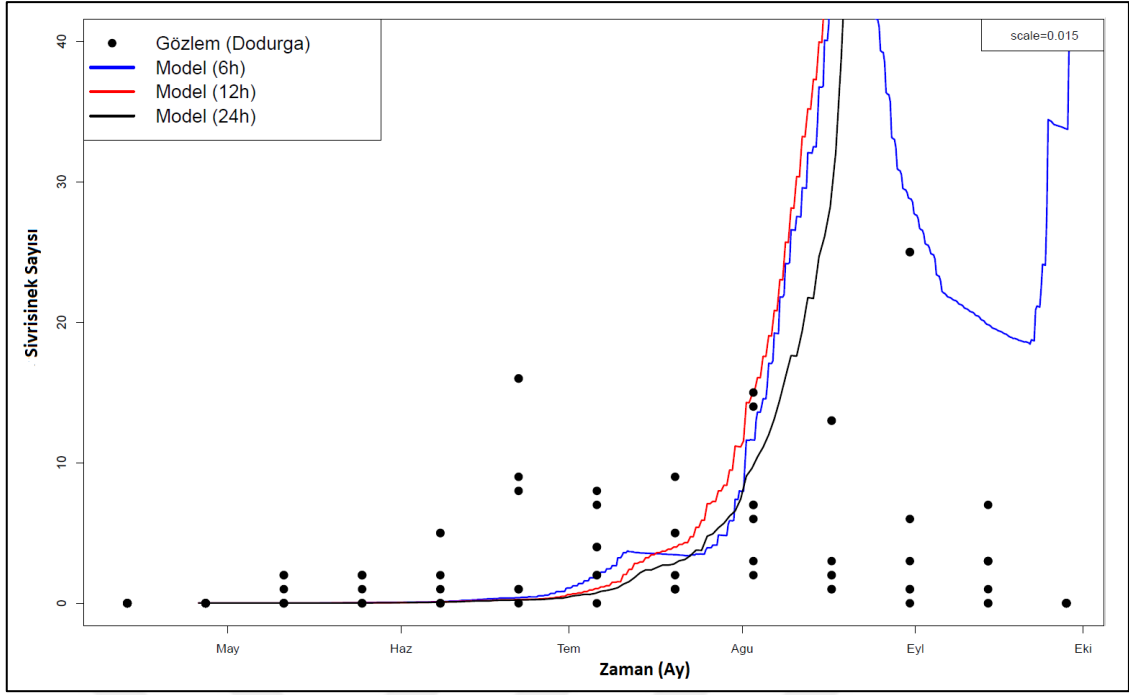
Dodurga 1 data logger sıcaklık verisi ile çalıştırılan modeller ile Dodurga 1 tuzağından elde edilen popülasyon dinamiği verileri Şekil 4.4.1.8.'de

gösterilmiştir. Model 6 saatlik veri ile çalıştırıldığında popülasyonun ilk artış dönemini gecikmeli olarak takip etse de, ardından pik yaptığı ve son olarak düşüşe geçtiği dönemlerde kısmen uyumlu olduğu tespit edilmiştir. 12 saatlik ve 24 saatlik verilerle çalışan modellerde ise uyum gözlenmemiştir. Benzer durum Şekil.4.4.1.9.'de, Dodurga 1 data logger sıcaklık verileriyle çalıştırılan modellerin tüm Dodurga popülasyon dinamiği karşılaştırmasında da gözlemlendiği söylenebilir.



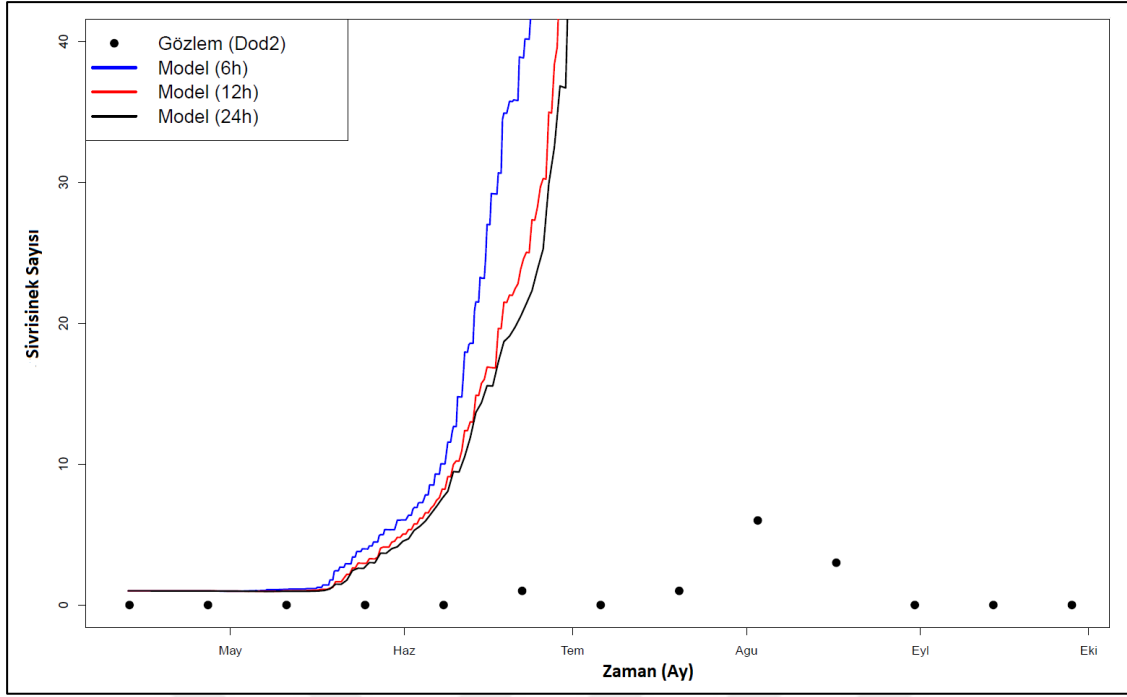
Şekil 4.4.1.8. Dod1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dod1 tuzakçı popülasyon dinamiği karşılaştırması

(Modeller 0.015 oranında ölçeklendirilmiştir)

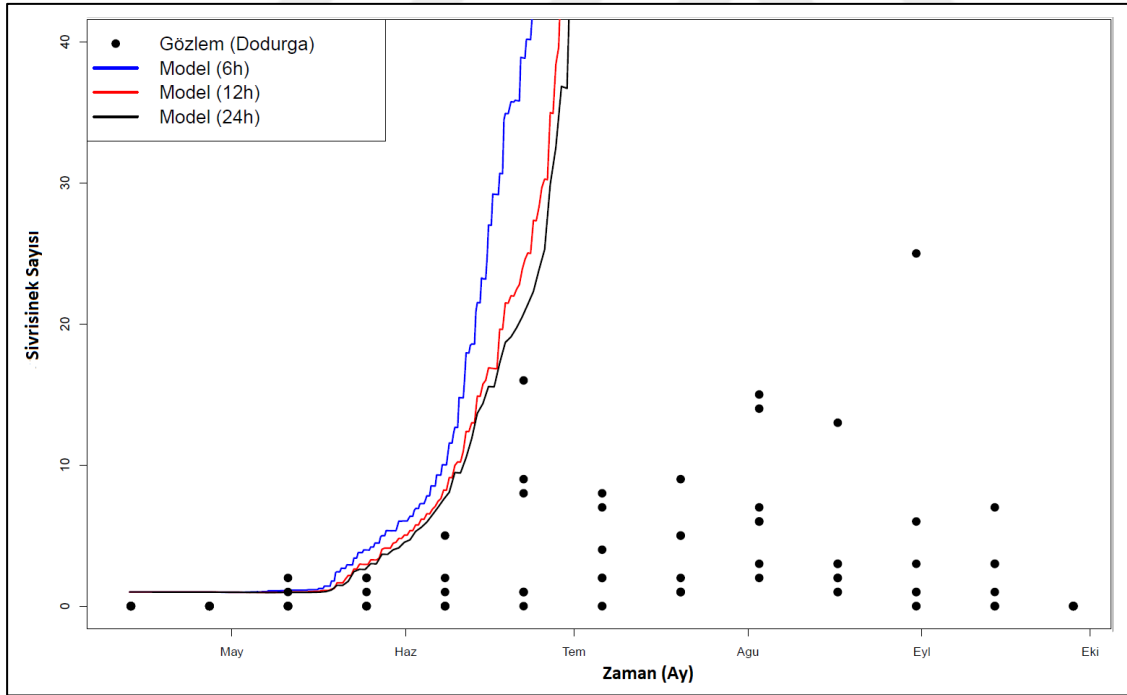


Şekil 4.4.1.9. Dod1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

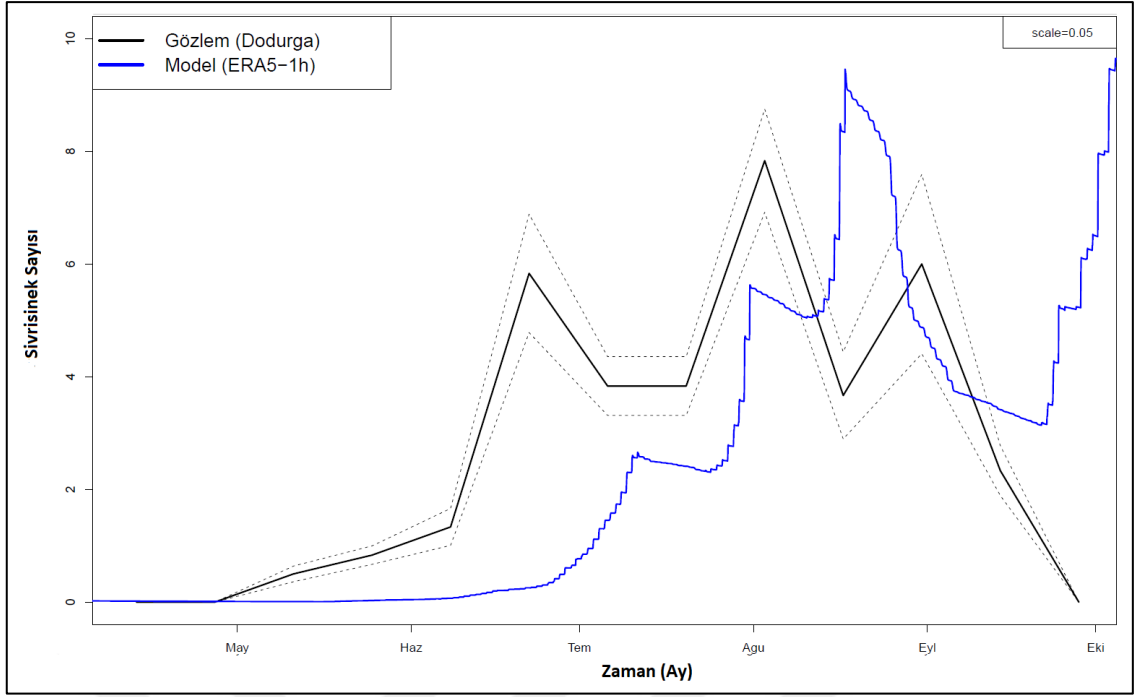
Şekil 4.4.1.10. ve Şekil 4.4.1.11.'de sırasıyla Dodurga 2 data logger sıcaklık verileri ile çalıştırılan modeller ile Dodurga 2 tuzağı ve tüm Dodurga bölgesi popülasyon dinamiği verileri karşılaştırılmıştır. 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik modellerde Şekil 4.4.1.10.'da uyum gözlenmese de, Şekil 4.4.1.11.'de tüm sıcaklıklarda popülasyonun ilk artış döneminin tahmin edildiği söylenebilir. Ancak sıcaklık olarak modelin önüne engel çıkmamış ve popülasyon artışının devam edebileceği öngörülmüştür.



Şekil 4.4.1.10. Dod2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dod2 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması



Şekil 4.4.1.11. Dod2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması



Şekil 4.4.1.12. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve Dodurga bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

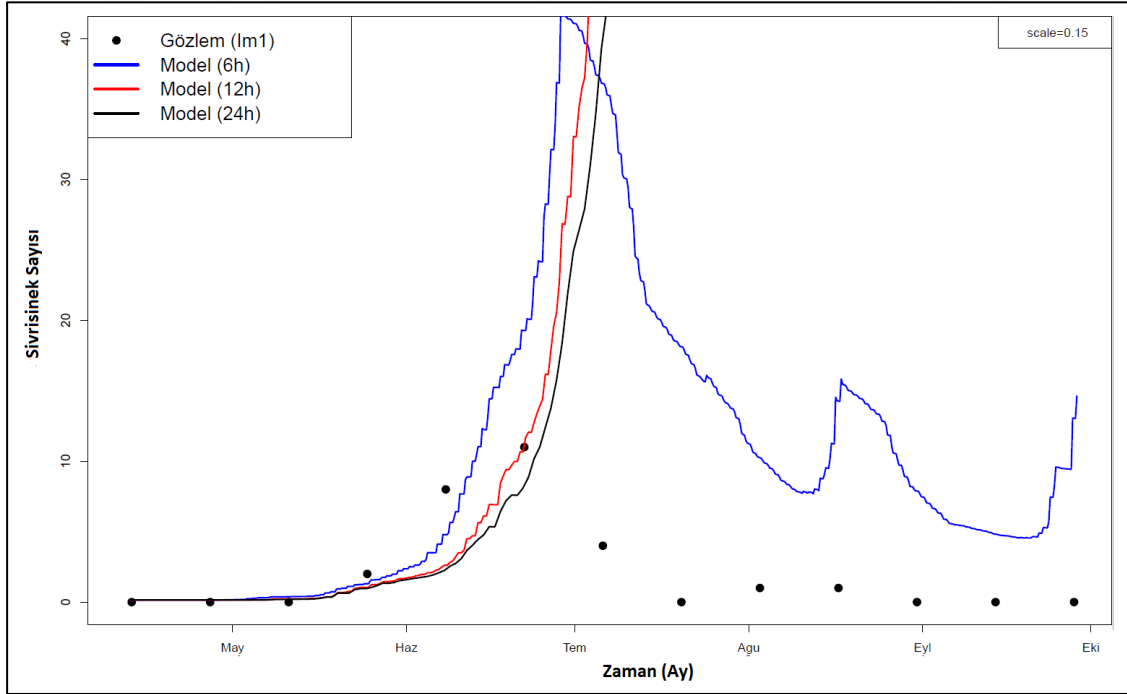
(Model 0.05 oranında ölçeklendirilmiştir)

Şekil 4.4.1.12.'de Dodurga bölgesi popülasyon dinamiği verileri ERA5 saatlik sıcaklık verileriyle çalıştırılan model ile karşılaştırılmıştır. Model, popülasyonun bölgede ilk artış dönemini biraz gecikmeli olarak takip etmiştir. İkinci pik noktasının tahmini ve son pikten sonraki popülasyon düşüşü konularında modelin uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. İmrahor Kenarkenti ve Dikmen Şehir Merkezi Karşılaştırmaları

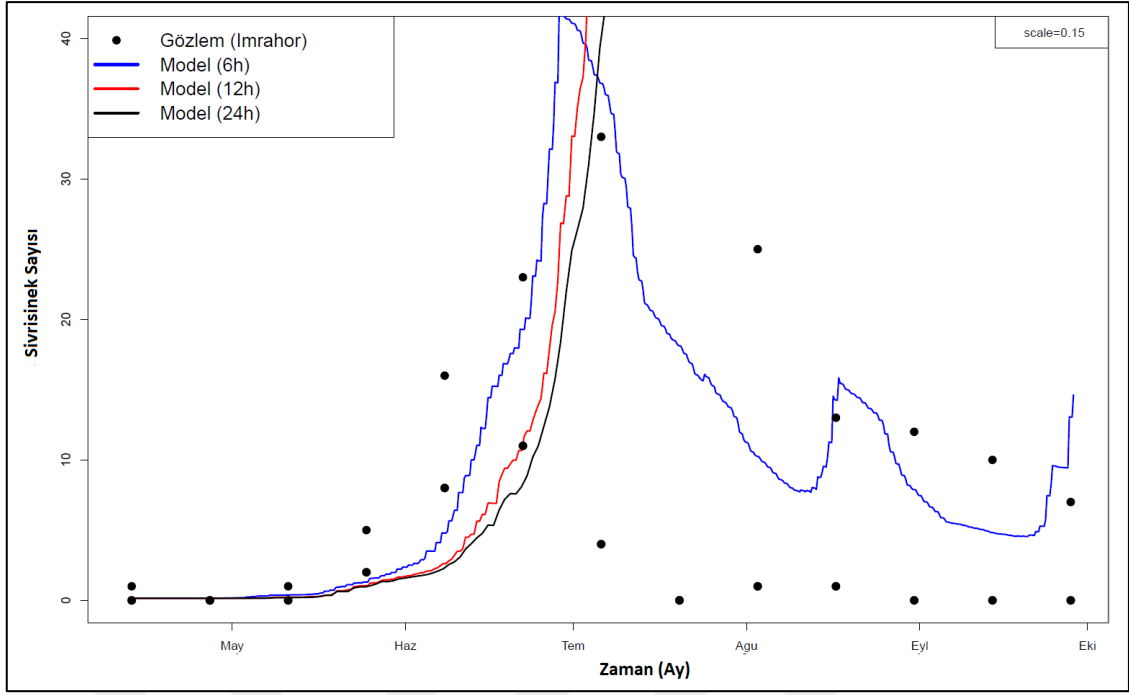
İmrahor 1 data logger sıcaklık verisi ile çalıştırılan modeller ile İmrahor 1 tuzağından elde edilen sivrisinek popülasyonu ve İmrahor bölgesinden elde edilen popülasyon dinamiği karşılaştırmaları Şekil 4.4.2.1. ve Şekil 4.4.2.2.'de gösterilmiştir. 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik modeller İmrahor 1 tuzağının popülasyonun ilk artışını doğru tahmin etmişlerdir. 6 saatlik çalışan model olası pik noktasının hangi zaman diliminde olabileceğine ilişkin bilgi vermiştir; fakat az sayıda örnek olduğundan dolayı popülasyonun düşüşü hakkında kanıya varmak zordur.

Şekil 4.4.2.2.'de tüm İmrahor bölgesine bakıldığında ise, 6 saatlik verilerle çalıştırılan modelin en uygun modellerden birisi olduğu tespit edilmiştir. Popülasyonun artmaya başladığı ve pik yaptığı dönemin çok uyumlu olduğu belirlenmiştir. Popülasyonun azalmaya başladığı ve ikinci kez pik yapılan dönemin de yine uyumlu olduğu tespit edilmiştir. 12 saatlik ve 24 saatlik çalıştırılan modeller ise popülasyonun artmaya başladığı dönemi tahmin edebilmiş fakat popülasyon hızını azaltıcı sıcaklık limitleri olmadığı için model tarafından artışın devam edeceği tahmin edilmiştir.



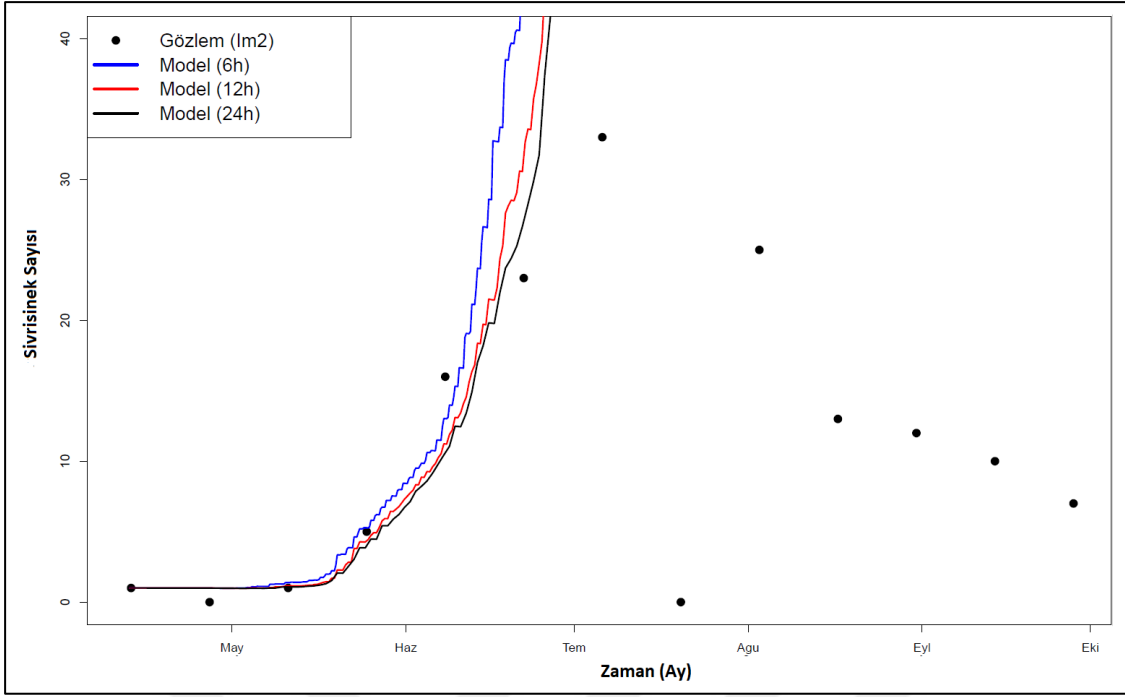
Şekil 4.4.2.1. İm1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve İm1 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması

(Modeller 0.15 oranında ölçeklendirilmiştir)

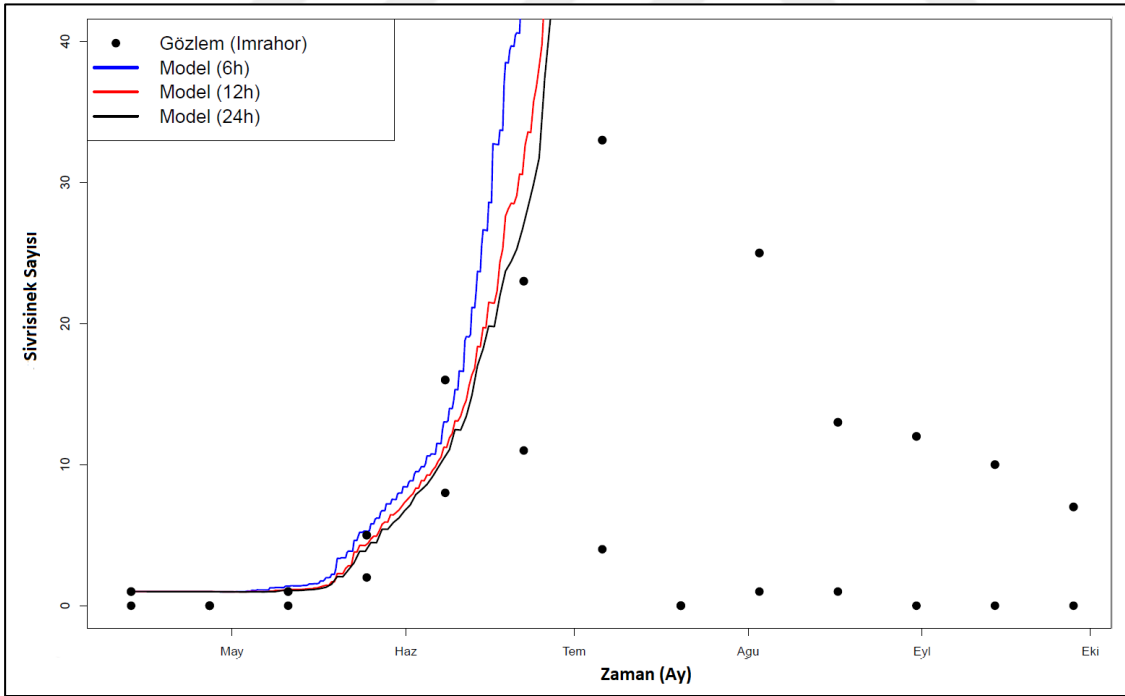


Şekil 4.4.2.2. Im1 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve İmrahor bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

Şekil 4.4.2.3. ve Şekil 4.4.2.4.'te sırasıyla İmrahor 2 data logger sıcaklık verileriyle çalıştırılan modeller ile İmrahor 2 tuzağına ait popülasyon dinamiği verileri ve tüm İmrahor bölgesindeki popülasyona dinamiği karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik modeller popülasyonun artış dönemini iyi tahmin etmiştir. Bunun yanında kısıtlayıcı sıcaklık etkeni bulunmadığı için popülasyonun düşüşü hakkında bilgi vermemektedirler.

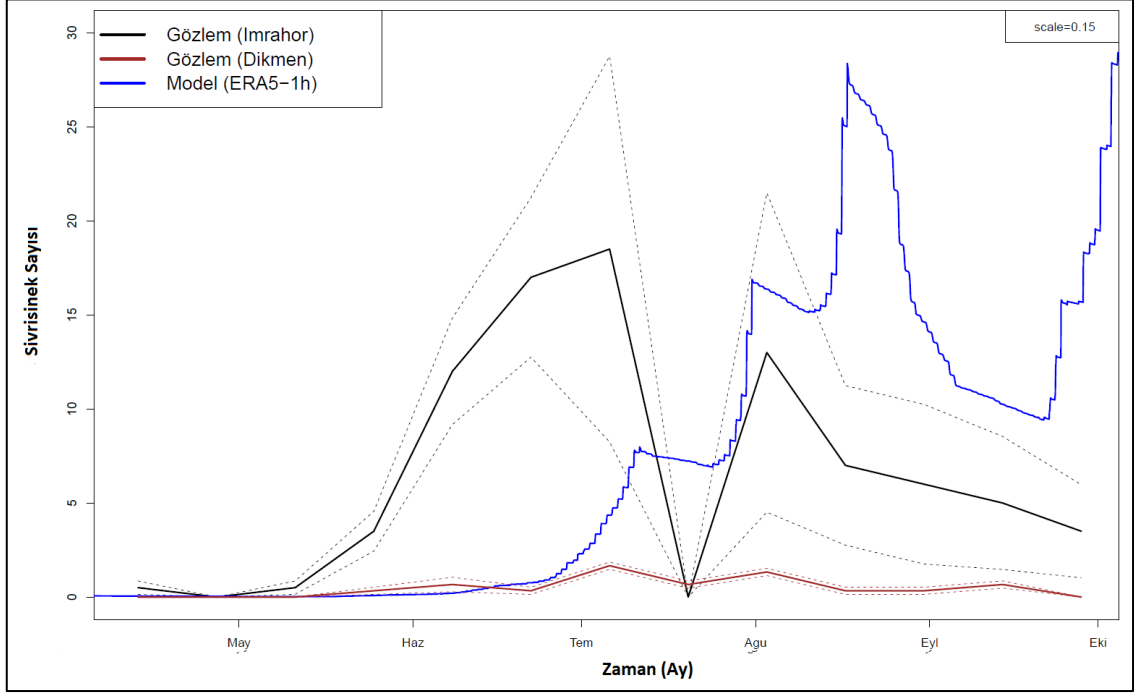


Şekil 4.4.2.3. Im2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Im2 tuzağı popülasyon dinamiği karşılaştırması



Şekil 4.4.2.4. Im2 data logger sıcaklığı ile çalıştırılan model ve Imrahor bölgesindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

Şekil 4.4.2.5.'te İmrahor ve Dikmen bölgesi popülasyon dinamiği verileri ERA5 saatlik sıcaklık verileriyle çalıştırılan model ile karşılaştırılmıştır. Model, İmrahor popülasyonunun bölgede ilk artış dönemini biraz gecikmeli olarak takip etmiştir. İkinci pik noktasının tahmini konusunda modelin uyumlu olduğu ve hatta son pikten sonraki popülasyon düşüşünde ise uyumlu olduğu söylenebilir.



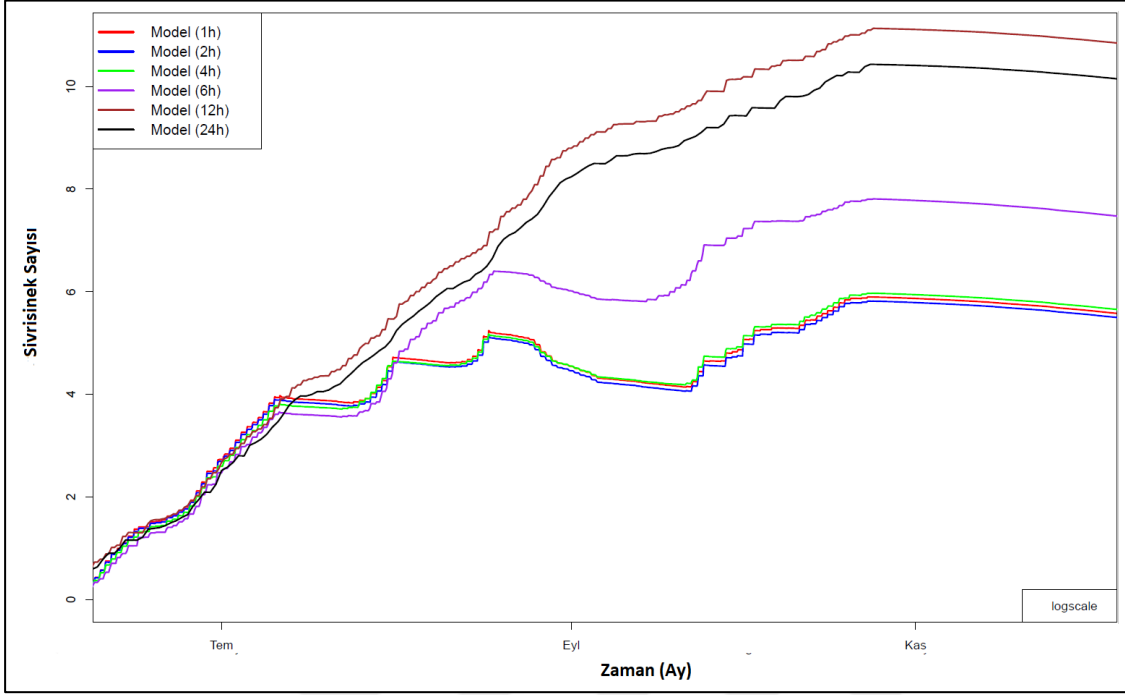
Şekil 4.4.2.5. ERA5 saatlik sıcaklık verileri ile çalıştırılan model ve İmrahor ve Dikmen bölgelerindeki tüm tuzaklardaki popülasyon dinamiği karşılaştırması

(Model 0.15 oranında ölçeklendirilmiştir)

Dikmen bölgesinden çok az örnek edildiği için değerlendirme yapmak pek mümkün olmamıştır. Ayrıca Dikmen bölgesinde sağlıklı çalışan bir data logger verisi de elde edilemediği için karşılaştırma yapılamamıştır.

ERA5 verileri ile çalıştırılan modellerde çözünürlüğün en yüksek olduğu saatlik sıcaklık verileri kullanılmış ve karşılaştırmalar buna göre yapılmıştır. Buna ek olarak 2 saatlik, 4 saatlik, 6 saatlik, 12 saatlik ve 24 saatlik sıcaklık verileri ile yapılan model karşılaştırmaları Şekil 4.4.2.6.'da gösterilmiştir. Sıcaklık verilerinin sıklığı arttığı zaman (veri çözünürlüğü arttığında), uç sıcaklık değerlerinin

popülasyonu olumsuz yönde etkilediği görülmüş ve modelin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.



Şekil 4.4.2.6. ERA5 sıcaklık verilerinin çözünürlüğüne göre model tahmini

(1h: saatte bir, 2h: 2 saatte bir, 4h: 4 saatte bir, 6h: 6 saatte bir, 12h: 12 saatte bir, 24h: 24 saatte bir. Grafik logaritmik olarak ölçeklenmiştir)

5. TARTIŞMA

Popülasyon dinamiği ile model karşılaştırması bölümünde de vurgulandığı gibi model bazı çalışma bölgelerinde uyum göstermiş, bazılarında kısmen uyum göstermiş, bazı bölgelerde ise düşük uyum göstermiştir. Modelin bazı çalışma bölgelerinde ise uyum göstermediği tespit edilmiştir. Elde edilen farklı uyum seviyelerinin sebepleri olarak aşağıdaki ortak başlıklar gösterilebilir:

- Sıcaklık ölçümü ve veri çözünürlüğü,
- Su sıcaklığı,
- Sivrisinek aktivitesi,
- Abiyotik faktörler; su kaynakları, yağış, nem, rüzgar ve ışık,
- Biyotik faktörler; konak tercihi, kuluçka süresi ve günlük fekondite,
- Hayat tablosu verileri, koloni farklılıkları, laboratuvar ve arazi popülasyonları arasındaki farklılık,
- Örneklem büyüklüğü,
- İnsan etkileri.

5.1. Veri Çözünürlüğü, Su Sıcaklığı, Sivrisinek Aktifliği ve Sıcaklık Ölçümü

Bulgular kısmında da gösterildiği gibi, modelde 2 tip sıcaklık verisi kullanılmıştır. Birisi data logger'lar ile sağlanan 6 saatlik ölçüm verileri, diğeri ise arazi çalışmalarının yapıldığı bölgeleri en kapsayıcı konum olan 39.75 K, 32.75 D koordinatı ortalamasına ait saatlik ölçüm sağlayan ERA5 verilerdir.

Şekil 4.4.2.6.'da da görüldüğü üzere, saatte bir, 2 saatte bir ve 4 saatte bir alınan veri ile çalıştırılan model sonuçları birbirine çok yakın görünmektedir. 6 saatte bir alınan sıcaklık verileri ile çalışan modelde ise -önceki modellerde gözlenen- ağustos ayı başındaki popülasyona ait yerel maksimum değeri ortadan kalkmış ve popülasyon ağustos ayı ortalarında yerel maksimum değerine, ekim sonunda ise genel maksimum değerine ulaşmıştır. 12 ve 24 saatte bir alınan veriler ile çalışan modelde ise popülasyona ait yerel maksimum değerleri tamamen elimine

olmuş ve ekim ayı sonunda genel maksimum değerlerine ulaşılmıştır. Bunun sebebi ise temel olarak; saatte bir alınan verilerin çözünürlüğü düştükçe, diğer bir ifadeyle ortalama alınarak soğuk ve sıcak ekstrem sıcaklık verileri dışarda bırakıldığında, popülasyonu baskılayacak değerlerin ortadan kalkması ve modelin sivrisinekler için daha uygun olan sıcaklık aralıklarında çalışması olarak söylenebilir.

Buna ek olarak, Şekil 4.4.2.2. 'de görülen Imrahor1 (Im1) modeli dışında diğer data logger sıcaklık verileriyle oluşturulan 6 saatlik modellerde görülmesi muhtemel - ERA5 tahminlerinde olduğu gibi (Şekil 4.4.2.6.)- popülasyona ait yerel maksimumların görülmediği gözlenmiştir. Çözünürlük düştükçe, görülebilecek maksimumların sayısı azalmakta ve model eğrileri üstel fonksiyon eğrileri gibi davranmaktadır.

ERA5 verileri ile yapılan model tahminlerinde ekim ayının sonunda maksimum popülasyon değerine ulaşması ise dikkate değerdir. Ankara'da 2018 yılı sıcaklık verileri göz önüne alındığında bu bulgu ilk bakışta mantıklı gibi görünmese de model üzerinden açıklanabilir. Öncelikle su sıcaklığının burada rol oynadığı düşünülmektedir. Verilerin alındığı hayat tablosu deneyinde [8], diğer pek çok hayat tablosu çalışmasında olduğu gibi sucul evreler için oluşturulan su kapları ve ergin sivrisinek kafesleri aynı sıcaklıkta (ortamda) tutulmuştur. Fakat doğada durum böyle değildir. Ergin öncesi dönem sivrisineklerin yaşadığı su kaynakları, öz ısıları daha yüksek olduğundan dolayı havadan daha yavaş ısınır ve daha yavaş soğur. Üstelik su kaynaklarının boyutu/hacmi de bu ısınıp soğuma hızının belirleyicisidir. Ayrıca su sıcaklığı zemin (toprak) sıcaklığı, güneşi görme açısı ve süresi gibi hava sıcaklığı dışındaki etkenlere de bağlıdır.

Dolayısıyla modelde ekim ayının sonuna kadar olan süreçte popülasyonu baskılayıcı faktör olan yüksek sıcaklık ortadan kalktığından, daha düşük sıcaklıklar için adım adım popülasyon artışı gözlenmiştir. Bununla birlikte, ekim ayının sonunda maksimum seviyesine ulaşan popülasyon, pürüzsüz bir eğri şeklinde azalma eğilimine girmiştir. Bunun sebebinin ise havanın daha da

soğumasıyla ergin öncesi dönemden popülasyona ergin katkısının olmayışı, bunun yanında özellikle 0°C ve 20°C sıcaklıkları arasında ergin ömür uzunluğunun çok uzun olması nedeniyle (Şekil 4.1.4.2.) hayatta kalan erginlerin yavaş yavaş ölüyor olduğu düşünülebilir. Gerçekte ise, çoğunlukla su sıcaklık değerleri hava sıcaklığından düşük olacağından dolayı, ergin öncesi dönemde hayatta kalma oranları daha düşük beklenir ve bu artış hiç gözlenmeyebilir.

Bunun yanında, su sıcaklığının hava sıcaklığından çok farklı olmadığı, ekim ayındaki popülasyon artışının gerçeği yansıttığı bir senaryoda ise hem sıcaklığın düşmesiyle hem de gün uzunluğunun kısalmasıyla sivrisineklerin aktivitesinin azaldığı ve bu sebeple yakalanma ihtimallerinin daha az olabileceği söylenebilir. Bunu test edebilmek için ilerleyen çalışmalarda tüm yıl boyunca popülasyon dinamiği ölçümlerinin yapılması, bu konuda daha net bir yargıya varılmasını sağlayacaktır.

Sıcaklık ölçümü ile ilgili bir diğer gözlem, Karaoğlan3 (Kar3), Karaoğlan1 (Kar1) sıcaklık verileri ile oluşturulan modellerde (Şekil 4.4.1.1. ve Şekil 4.4.1.3.), ergin sayısının haziran ayı ortalarında sıfıra düşmesidir. Öncelikle Karaoğlan bölgesindeki 3 farklı data logger'dan alınan sıcaklıklar karşılaştırılmış (Şekil 4.2.6.) ve Kar1 ve Kar3 sıcaklık verilerinin Kar6 verilerine göre çok yüksek ve tüm evrelerdeki sivrisinekleri öldürebilecek seviyede (yaklaşık 40°C) olduğu görülmüştür. Birbirine çok uzak olmayan bu konumlardaki sıcaklık farklılıklarının sebepleri incelenmiştir.

Buna göre; Kar1 data logger cihazının bir ev önündeki metal çatı levhasının hemen altına koyulmuş olması ile gün içinde çok fazla ısı alan levhanın sıcaklık ölçümlerini arttırmış olabileceği tespit edilmiştir. Kar3 data logger cihazı ise etrafı kısmen naylon ile örtülü bir güvercin kümesinin içine koyulmuş ve bu küçük yaşam alanında (yaklaşık 1m³) sıcaklığın olması gerekenden daha fazla ölçülmüş olabileceği tespit edilmiştir. Kar6 tuzağı ve data logger cihazı ise, direkt güneş almayan, üç tarafı ve üstü ahşap kaplı bir at ahırının üst katında ideal bir

ölçüm noktasında konumlanmış ve sıcaklık değerleri diğer iki cihaza göre daha normal seviyelerde ölçülmüştür.

5.2. Abiyotik faktörler: Su kaynakları, Yağış, Nem, Rüzgar ve Işık

Sıcaklık dışında kalan ve sivrisineklerin yaşam döngüsünde önemli yer tutan diğer önemli abiyotik faktörler su (yağış), nem, rüzgar ve ışık olarak sıralanabilir. Arazi çalışması kapsamında örnekleme yapılacak ev, ahır, kümes gibi alanlarda, tuzaklar rüzgara ve ışığa (gün ışığı ve o noktadaki sokak lambası vd. kaynaklar) direkt olarak maruz kalmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Bazı tuzaklar kapalı mekana, bazıları ise üstü kapalı dış mekanlara asılmıştır. Dolayısıyla kapalı mekanda bulunan tuzaklara evsel ışık kaynaklarının etkisi ve dış mekanda bulunan tuzaklara rüzgar etkisi hem tahmin edilememiş hem de ölçülememiştir.

Bununla birlikte, arazi çalışmasının yapılacağı bölgelerde su kaynakları tespiti ya da internet kaynaklı Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) gibi platformlar kullanılarak bir ön çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla örnekleme lokasyonları civarındaki su kaynakları, hava ve su sıcaklıkları arasındaki farklar gibi veriler kullanılmamıştır. Ayrıca larval yoğunluğa bağlı hayatta kalma oranların çok önemli olduğu bu türlerde [54] yağış verileri de kritik rol oynamaktadır. Modelin gelişimi adına ilerleyen çalışmalarda bu gibi verilerin dikkate alınması model gelişimine katkı sağlayacaktır.

Diğer bir önemli abiyotik faktör ise bağıl nemdir. Nem sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu için de önemlidir. Fakat aynı sebeple nem etkisinin ölçülmesi ise zordur. Ayrıca nem değerleri gün içinde dahi çok değişken olabilmektedir. Tüm bu sebeplerle, neme ait alt limit, üst limit ve ortalama değerler kullanılarak yapılacak deneyler yardımıyla hayatta kalma parametreleri için yeni sınır değerleri oluşturulabilir ve bu değerler ilerleyen çalışmalar için kullanılabilir. Hayat tablosu deneyinde [8] nem sabit tutulup sıcaklık değerlerine göre sonuçlar elde edildiğinden, bu tez çalışmasında nem değerlerine göre karşılaştırma yapılmamıştır.

5.3. Biyotik faktörler: Konak tercihi, Kuluçka süresi ve Günlük Fekondite

Arazi çalışmasında örnekleme noktaları belirlenirken, sivrisineklerin yoğun olarak tercih edeceği düşünülen sığır, koyun ve at ahırları, tavuk, ördek ve güvercin kümeleri, insanların yaşadığı evlere yakın konumlar ve yaban hayvanlarının yaşayabileceği bahçeler seçilmiştir. Bu seçimler yapılırken türe özgü konak tercihi dikkate alınmamış ve her konumdan *Culex pipiens s.l.* örneklenebileceği tahmin edilmiştir. Bazı tuzaklarda *Culex pipiens s.l.* dışında en fazla 1 farklı tür bulunurken, bazı tuzaklarda ise *Culex pipiens s.l.* harici 7 farklı sivrisinek türü tespit edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda konak tercihi ve eğer varsa türler arası rekabet durumu da dikkate alınmalıdır.

Öte yandan, model oluşturulurken sivrisineklerin erginleştikleri andan itibaren sıcaklığa bağlı olarak günlük belirli oranda yumurta bıraktığı (günlük fekondite) varsayılmıştır. Gerçekte ise durum biraz daha farklıdır. Dişi sivrisinekler kan emme öncesinde ya da sonrasında çiftleşirler. Daha sonra belli bir kuluçka süresi geçirirler ve ardından yığın halde (50-250 civarı) yumurta bırakırlar[1].

Sivrisineklerde özellikle düşük sıcaklıklarda kuluçka süresinin (kan emme ve yumurtlama arasında geçen süre) uzun olabileceği tahmin edilmiştir. Ancak modeldeki karmaşıklığı azaltmak adına günlük kuluçka süresi ve yığınla yumurtlama davranışı ihmal edilmiştir. Herhangi bir zaman diliminde bazı sivrisinekler kuluçka dönemindeyken bazıları yumurtlama döneminde. Dolayısıyla eğer ergin sayısı yeterince fazla ise, bu ihmalin popülasyon dinamiğini çok etkilemeyeceği söylenebilir. Bununla birlikte, ilerleyen çalışmalarda dikkat edilmesi gereken durum, popülasyonun bahar aylarında artış gösterdiği dönemler olabilir. Çünkü o dönemlerde aktif ergin sayısının az oluşu ve kuluçka süresinin uzun olmasıyla, popülasyon dinamiğindeki beklenen artış dönemi gecikebilir.

5.4. Hayat Tablosu Koloni Farklılıkları, Laboratuvar-Arazi Popülasyonları

Bu tez çalışmasında *Culex quinquefasciatus* türüne ait (Kaliforniya soyları) hayat tablosu verileri [8] kullanılmıştır. Literatürde bu türe ait 2 farklı hayat tablosu çalışması daha vardır. Bu çalışmalarda ortak olan sıcaklıkların yanında farklı sıcaklıklar da kullanılmıştır. Örneğin 15°C sıcaklıkta hesaplanan L1 larva evresinden ergin evresine kadar geçen süre bu tez çalışması kapsamında 49,57 gün olarak hesaplanmıştır. Kuzey Carolina soylarıyla yapılan çalışmada 31,35 gün [30], Louisiana soylarıyla yapılan çalışmada ise 11,5 gün [46] olarak verilmiştir. Aynı kıta içinde dahi bu çeşitliğin görülmesi, kökeni Kaliforniya olan ve laboratuvarında kaldığı yıllar ve kuşaklar boyunca konvergens nedeniyle homojen hale gelen koloninin Ankara'daki popülasyon dinamiğini tam olarak yansıtamamasına sebep olmuş olabilir. Bu sebeple, eldeki model parametreleri ile çalıştırılan model, California bölgesindeki (eğer varsa) popülasyon dinamiği verileri ile de karşılaştırılabilir.

Buna ek olarak, laboratuvarında kuşaklar boyunca yetiştirilen kolonilerde kendileşme görüldüğünden, ekstrem koşullara olan dayanıklılık azalır ve fenotipik plastisitenin sınırları daralır [55]. Ancak doğal popülasyonlarda hem birey sayısı hem de çeşitlilik fazla olduğu için fenotipik plastisitenin sınırları genişir ve bu durum, türün bazı bireylerinin zor koşullarda hayatta kalabilmesiyle sonuçlanır. Dolayısıyla laboratuvarında yapılan deneylerde hayatta kalmayacağı öngörülen bireyler doğal koşullarda hayatta kalabilirler.

Son olarak, sivrisinek ergin davranışının etkisinin de önemli olduğunu düşünüyoruz. Sivrisineklerde çok sıcak ya da çok soğuk ortamlardan kaçma eğilimi gözlenir. Sivrisinekler havanın çok sıcak olduğu zamanlarda nemli, serin kuytulara yönelirken, soğuk havalarda ise iç mekanlara ve sıcak kaynaklara doğru yönelerek ekstrem koşullardan kurtulabilirler.

5.5. Örneklem Büyüklüğü ve İnsan Etkisi

Bu tez çalışması kapsamında yöntem kısmında da belirtildiği gibi, 12.04.2018 ile 28.09.2018 tarihleri arasında iki hafta aralıklarla ikişer gün örnekleme yapılmıştır. İlerleyen çalışmalarda daha verimli zaman ve kaynak kullanımıyla, CO₂ tuzakları çalışmaya dahil edilebilir, örnekleme çalışmaları daha sık ve uzun süre boyunca daha fazla akülü tuzak kullanılarak yapılabilir ve bu sayede çözünürlüğü daha yüksek popülasyon dinamiği verileri elde edilebilir. Ayrıca ışıklı tuzaklara ek olarak yumurta tuzakları (ovitrap) da kullanılarak popülasyon dinamiği hakkında ek veri elde edilebilir [56].

Arazi çalışması yapılan bölgelerde insanların yaşam alanına yakın bölgelerdeki hayvan sulakları, saksı, su konteynerleri gibi durgun su kaynaklarına olan etkileri bilinmemektedir. Bu durumda ilerleyen çalışmalarda, çalışmanın en başında tuzak bırakılacak olan bölgelerdeki insanlara, kaplarda bulunan durgun suyun tehlikesi anlatılmalı ve insanların bu kaynakları düzenli olarak yenilemeleri gerektiği belirtilmelidir.

Bu çalışma ile, çözünürlüğü yüksek verilerin kullanılması durumunda popülasyon dinamiği modelinin doğru tahminler vereceği gösterilmiştir. Daha fazla popülasyon dinamiği verisi ve yapılacak yeni modelleme çalışmalarıyla Türkiye ve Dünya ölçeğinde kullanılabilir bir veri bankası oluşturulabilir. Bu veri bankası ile ilgili kurum ve kuruluşlar bilgilendirilerek, küresel iklim değişikliğinin daha yoğun hissedileceği kısa ve orta vadede erken uyarı sistemleri kurulabilir. Bu sayede sivrisineklerle ilgili mücadelenin daha uygun zamanlarda ve daha etkin bir şekilde yapılması sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] N. Becker, D. Petric, M. Zgomba, C. Boase, M. Madon, C. Dahl, A. Kaiser, Biology of Mosquitoes, in: Mosquitoes Their Control, Second Edi, Springer, Berlin, Heidelberg, Chapter 2, **2010**.
- [2] Carl B. Huffaker, The Temperature Relations Of The Immature Stages Of The Malarial Mosquito, *Anopheles quadrimaculatus* Say, With A Comparison Of The Developmental Power Of Constant And Variable Temperatures In Insect Metabolism, Ann. Entomol. Soc. Am. 37 (**1944**).
- [3] A. Farajollahi, D.M. Fonseca, L.D. Kramer, A. Marm Kilpatrick, "Bird biting" mosquitoes and human disease: A review of the role of *Culex pipiens* complex mosquitoes in epidemiology, Infect. Genet. Evol. 11 (**2011**) 1577–1585.
- [4] M. Carrieri, P. Fariselli, B. Maccagnani, P. Angelini, M. Calzolari, R. Bellini, Weather Factors Influencing the Population Dynamics of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) in the Po Plain Valley, Italy (1997-2011), Environ. Entomol. 43 (**2014**) 482–490.
- [5] A. Tran, G. L'Ambert, G. Lacour, R. Benoît, M. Demarchi, M. Cros, P. Cailly, M. Aubry-Kientz, T. Balenghien, P. Ezanno, A rainfall- and Temperature-Driven Abundance Model for *Aedes albopictus* Populations, Int. J. Environ. Res. Public Health. 10 (**2013**) 1698–1719.
- [6] A.M. Kakde, K.G. Patel, S. Tayade, Role of Life Table in Insect Pest Management--A Review, J. Agric. Vet. Sci. 7 (**2014**) 40–43.
- [7] B. Alten, S.S. Caglar, Vektör Ekolojisi ve Mücadelesi, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, **1998**.
- [8] F. Gunay, Farklı Sabit Sıcaklıklarda *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae)'un Reaksiyon Normu ve Kalıtsallığı, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2009**.
- [9] R. Subra, Biology and Control of *Culex pipiens quinquefasciatus* Say, 1823 (Diptera, Culicidae) with Special Reference to Africa, Int. J. Trop. Insect Sci. 1 (**1981**) 319–338.
- [10] X.X. Guo, C.X. Li, Y.Q. Deng, D. Xing, Q.M. Liu, Q. Wu, A.J. Sun, Y. De Dong, W.C. Cao, C.F. Qin, T.Y. Zhao, *Culex pipiens quinquefasciatus*: A potential vector to transmit Zika virus, Emerg. Microbes Infect. 5 (**2016**).
- [11] D.R.D. Guedes, M.H.S. Paiva, M.M.A. Donato, P.P. Barbosa, L. Krokovsky, S.W.S. Rocha, K.L.A. Saraiva, M.M. Crespo, T.M.T. Rezende, G.L. Wallau, R.M.R. Barbosa, C.M.F. Oliveira, M.A.V. Melo-Santos, L. Pena, M.T. Cordeiro, R.F.D.O. Franca, A.L.S. De Oliveira, C.A. Peixoto,

- W.S. Leal, C.F.J. Ayres, Zika virus replication in the mosquito *Culex quinquefasciatus* in Brazil, *Emerg. Microbes Infect.* 6 (2017).
- [12] {R Core Team}, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., <https://www.r-project.org/> (2018).
- [13] R. Ross, The prevention of malaria, 2th ed., John Murray, London, 1911.
- [14] R. Ross, The Logical Basis of the Sanitary Policy of Mosquito Reduction, *Br. Med. J.* (1905) 1025–1029.
- [15] R. Ross, Some quantitative studies in epidemiology, *Nature.* 87 (1911) 466–467.
- [16] R. Ross, Report on the prevention of Malaria in Mauritius, London, 1908.
- [17] D.L. Smith, K.E. Battle, S.I. Hay, C.M. Barker, T.W. Scott, F.E. McKenzie, Ross, Macdonald, and a Theory for the Dynamics and Control of Mosquito-Transmitted Pathogens, *PLoS Pathog.* 8 (2012).
- [18] A.J. Lotka, Contribution to the analysis of malaria epidemiology I, 1923, in: *Lect. Notes Biomath. Golden Age Theor. Ecol. 1923-1940*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1978.
- [19] Lotka A. J., Sharpe F. R., Contribution to the analysis of malaria epidemiology IV, 1923, in: *Lect. Notes Biomath. Golden Age Theor. Ecol. 1923-1940*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1978.
- [20] C. Garrett-Jones, The Human Blood Index of Malaria Vectors in Relation To Epidemiological Assessment., *Bull. World Health Organ.* 30 (1964) 241–261.
- [21] R.C.R. Jr, T.A. Perkins, C.M. Barker, T. Niu, L.F. Chaves, A.M. Ellis, D.B. George, A. Le Menach, J.R.C. Pulliam, D. Bisanzio, C. Buckee, C. Chiyaka, D.A.T. Cummings, J. Garcia, M.L. Gatton, P.W. Gething, D.M. Hartley, G. Johnston, E.Y. Klein, E. Michael, S.W. Lindsay, A.L. Lloyd, D.M. Pigott, W.K. Reisen, N. Ruktanonchai, B.K. Singh, A.J. Tatem, U. Kitron, S.I. Hay, T.W. Scott, D.L. Smith, U. Nacional, C. Rica, A systematic review of mathematical models of mosquito-borne pathogen transmission : 1970 – 2010, *J. R. Soc. Interface.* 10 (2013).
- [22] P.H. Leslie, On the Use of Matrices in Certain Population Mathematics, *Biometrika.* 33 (1945) 183–212.
- [23] P.H. Leslie, Some Further Notes on the Use of Matrices in Population Mathematics, *Biometrika.* 35 (1948) 213–245.
- [24] Ž. Lončarić, B.K. Hackenberger, Stage and age structured *Aedes vexans* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) climate-dependent matrix population model, *Theor. Popul. Biol.* 83 (2013) 82–94.

- [25] L.P. Lefkovich, The Study of Population Growth in Organisms Grouped by Stages, *Biometrics*. 21 (1965) 1–18.
- [26] L.M. Styer, C.J. R., T.W. Scott, J.-L. Wang, Mosquitoes Do Senesce: Departure From the Paradigm of Constant Mortality, *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 76 (2007) 111–117.
- [27] S.E. Bellan, The Importance of Age Dependent Mortality and the Extrinsic Incubation Period in Models of Mosquito-Borne Disease Transmission and Control, *PLoS One*. 5 (2010).
- [28] A.M. Samy, A.H. Elaagip, M.A. Kenawy, C.F.J. Ayres, A.T. Peterson, D.E. Soliman, Climate Change Influences on the Global Potential Distribution of the Mosquito *Culex quinquefasciatus*, Vector of West Nile virus and Lymphatic Filariasis, *PLoS One*. 11 (2016).
- [29] J.A. Ahumada, D. Lapointe, M.D. Samuel, Modeling the Population Dynamics of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae), along an Elevational Gradient in Hawaii, *J. Med. Entomol.* 41 (2004) 1157–1170.
- [30] L.M. Rueda, J. Patel, K., R.C. Axtell, R.E. Stinner, Temperature-Dependent Development and Survival Rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), *J. Med. Entomol.* 27 (1990) 892–898.
- [31] M. Iannelli, F. Milner, The Basic Approach to Age-structured Population Dynamics. Models, Methods and Numerics, Springer, Dordrecht, 2017.
- [32] J.F. Lawless, Statistical Models and Methods for Lifetime Data, Second Edi, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003.
- [33] R. Bonhomme, Bases and limits to using “degree.day” units, *Eur. J. Agron.* 13 (2000) 1–10.
- [34] K. Erguler, sPop: Age-structured discrete-time population dynamics model in C, Python, and R [version 2; peer review: 2 approved], *F1000Research*. 7:1220 (2018).
- [35] H. Kettle, D. Nutter, StagePop: Modelling stage-structured populations in R, *Methods Ecol. Evol.* 6 (2015) 1484–1490.
- [36] A.R. Marcelino, de Pascoa, E.M.M. Ortega, G.M. Cordeiro, The Kumaraswamy generalized gamma distribution with application in survival analysis, *Stat. Methodol.* 8 (2011) 411–433.
- [37] S.P. Otto, T. Day, A Biologist’s Guide to Mathematical Modeling in Ecology and Evolution, Princeton University Press, Princeton, 2007.
- [38] H.J. Wearing, P. Rohani, M.J. Keeling, Appropriate Models for the Management of Infectious Diseases, *Plos Med.* 2 (2005).
- [39] C. Christiansen-jucht, P.E. Parham, A. Saddler, J.C. Koella, M. Basáñez,

- Temperature during larval development and adult maintenance influences the survival of *Anopheles gambiae* s. s., Parasit. Vectors. 7 (2014) 1–10.
- [40] Y.K. Gunduz, A. Aldemir, B. Alten, Seasonal dynamics and nocturnal activities of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in the Aras Valley, Turkey, Turkish J. Zool. 33 (2009)
- [41] F. Gunay, M. Picard, V. Robert, MosKeyTool, an interactive identification key for mosquitoes of Euro-Mediterranean. Version 1.1. in English available at www.medilabsecure.com/moskeytool, (2017).
- [42] P. Shi, G.V.P. Reddy, L. Chen, F. Ge, Comparison of Thermal Performance Equations in Describing Temperature-Dependent Developmental Rates of Insects : (I) Empirical Models, Ann. Entomol. Soc. Am. 0 (2015) 1–5.
- [43] F. Rebaudo, Model evaluation, (2019). <https://cran.r-project.org/web/packages/devRate/vignettes/modelEvaluation.html> (Erişim tarihi: 1 Ekim 2019)
- [44] B.Y.P. Tate, M. Vincent, The Biology of Autogenous and Anautogenous Races of *Culex pipiens* L. (Diptera : Culicidae), Parasitology. 28 (1936) 115–145.
- [45] T.W. Kirkpatrick, The Mosquitoes of Egypt: Egyptian Government. Anti-Malaria Commission., Cairo Government Press, 1925.
- [46] R.M. Shelton, The effect of temperatures on development of eight mosquito species, Mosq. News. 33 (1973) 1–12.
- [47] M. Hafez, A.M. Abdel-Rahman, A.Z. Osman, A.M. Wakıd, M.K. Hafez, The Influence of Oxygen, Partial Vacuum, Temperature, Relative Humidity Combined with Gamma Radiation on the Mosquito, *Culex pipiens* Complex L. I. Effect of Exposure to Temperature and Relative Humidity Alone., 13 (1993) 85–87.
- [48] A. N. Clements, The Physiology of Mosquitoes, PERGAMON PRESS LTD., Stevenage, 1963.
- [49] K. Mellanby, The Influence of Starvation on the Thermal Death-Point on Insects, J. Exp. Biol. 11 (1934) 48–53.
- [50] M.N. Bayoh, S.W. Lindsay, Effect of temperature on the development of the aquatic stages of *Anopheles gambiae* sensu stricto (Diptera: Culicidae) , Bull. Entomol. Res. 93 (2003) 375–381.
- [51] D.T. Crouse, L.B. Crowder, H. Caswell, A Stage-Based Population Model for Loggerhead Sea Turtles and Implications for Conservation, Ecol. Soc. Am. 68 (1987) 1412–1423.
- [52] S. Jorgensen, B. Fath, “Concepts of Modelling” Developments in Environmental Modelling, Elsevier, Vol.23, (2011) 19-93.

- [53] R. Gutenkunst, J. Waterfall, F. Casey, K. Brown, C. Myers, J. Sethna, Universally Sloppy Parameter Sensitivities in Systems Biology Models, *PLOS Computational Biology*, 3, **2007**
- [54] P. Agnew, C. Haussy, Effects of Density and Larval Competition on Selected Life History Traits of *Culex pipiens quinquefasciatus* (Diptera : Culicidae), *J. Med. Entomol.* (**2000**) 732–735.
- [55] J. Clobert, M. Baguette, T.G. Benton, J.M. Bullock, *Dispersal Ecology and Evolution*, Oxford University Press, Croydon, **2012**.
- [56] B.T. Jackson, S.L. Paulson, Seasonal abundance of *Culex restuans* and *Culex pipiens* in southwestern Virginia through ovitrapping., *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 22 (**2006**) 206–212.



EKLER

EK 1- Arazi Çalışması Yapılan İstasyonlar ve İlgili Bilgiler

İstasyon Adı	Kırsal / Kentsel	İç / Dış Mekan	Çevre	Muhtemel Konaklar	Yükseklik (m)	Koordinat
Dikmen1	Kentsel	Dış Mekan	Eve yakın bahçe	İnsan	1055	39.8816567520051,32.8402960393884
Dikmen2	Kentsel	Dış Mekan	Eve yakın bahçe	İnsan	1065	39.879741696678,32.8401515353777
Dikmen3	Kentsel	Dış Mekan	Eve yakın bahçe	İnsan	1039	39.8814026546105,32.8337640222468
Dodurga1	Kırsal	İç Mekan	Kümes içi	Tavuk	1028	39.816433810666,32.6540246699309
Dodurga2	Kırsal	İç Mekan	Ahır içi	Koyun	1031	39.8163015861435,32.6535987854308
Dodurga3	Kırsal	Dış Mekan	Kümes yakını	Tavuk, Köpek, Yabani Hayvanlar	1022	39.8162606405465,32.6553280558741
Dodurga4	Kırsal	Dış Mekan	Çay kenarı, çayır	Kaz, Tavuk, Köpek, Yabani Hayvanlar	1020	39.8164841020851,32.6553358510441
Dodurga5	Kırsal	Dış Mekan	Meyve bahçesi	Kedi, Yabani Hayvanlar	1030	39.8168114573134,32.6571781095421
Dodurga6	Kırsal	Dış Mekan	Eve yakın bahçe	İnsan, Köpek, Tavuk	1030	39.816337293051,32.6571779419041
İmrahor1	Kenarkent	İç Mekan	Ahır yanı	İnsan, Sığır, Kedi, Köpek	903	39.9016425200178,32.9029547889092
İmrahor2	Kenarkent	Dış Mekan	Eve yakın bahçe	İnsan, Köpek, Kedi, Sığır, Tavşan, Yabani Hayvanlar	910	39.9017529515921,32.9030977003583
Karaoğlan1	Kırsal	Dış Mekan	Ev önü	İnsan, Köpek, Tavuk, Yabani Hayvanlar	1005	39.7376725450528,32.8021080047198
Karaoğlan2	Kırsal	İç Mekan	Yarı açık ahır	Tavuk, Yabani Hayvanlar, İnsan, Keçi, Sığır	1004	39.7372945631293,32.8016109578617
Karaoğlan3	Kırsal	İç Mekan	Güvercin kümesi	Güvercin, Kaz, Ördek, Hindi, Köpek, Kedi, Sığır, Tavşan	1060	39.7348700138179,32.8235597256877
Karaoğlan6	Kırsal	Dış Mekan	At çiftliği	At, İnsan	1057	39.7265919205171,32.8314118925788

EK 2- Larva Pupa ve Ergin için Hayat Tablosu Verileri

Hayat tablosu deneyleri [8], L1 (larva) evresindeki bireyler kullanılarak başlatılmıştır (1.gün).

15°C	1. TEKRAR			2. TEKRAR			3. TEKRAR		
GÜN	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23				1					
24				1					
25									
26									
27									
28					1	0			
29	23			25	1	0	5		
30									
31									
32									
33	43			12			10		
34									

35									
36									
37	85			50			65		
38		31	12		6	6		2	2
39									
40									
41	42			70			50		
42		12	43		16	17		26	23
43									
44									
45									
46	51	17	16	40	18	39	43	10	27
47									
48									
49									
50	26			26			9		
51		16	21		14	13		14	14
52									
53									
54									
55	17	12	10	38	13	6	9	6	2
56									
57									
58									
59									
60	7	7	9	9	11	11	2	1	4
61									
62									
63									
64									
65	21	4	2	17	5	3		0	1
66									
67									
68									
69									
70		4	7	4	5	2			
71									
72									
73	10						1		
74									
75				2	0	2			
76									
77									

78	10	6	4					1	0
79									
80					1	1			
81									
82									
83	2	3	6						
84									
85									
86									
87									
88		1	0						

20°C 1. TEKRAR 2. TEKRAR 3. TEKRAR

GÜN	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14				1					
15				14					
16				41					
17	2			24	1	0	20		
18	6			56	11	3	30		
19	10			32	30	10	79		
20	37	2	0	29	14	9	45	17	3
21	22	5	1	29	22	26	43	22	8
22	77	8	1	47	21	9	28	30	25
23	40	26	10		20	9	72	20	25
24	39	9	13	39	17	11		18	25
25	25	34	36	19	22	23	56	13	15
26	68	14	26	23			21	25	45
27		15	22	9	13	25	30		

28	64	13	12	25	6	13	16	16	40
29	21	30	35		12	10	25	8	13
30	19			30	4	5		16	13
31	16	34	29		9	11	36	6	8
32	19	8	12	32				5	11
33		7	10		15	11	25		
34	15	7	5	20				19	16
35		7	9	16	11	17	16		
36	9						5	18	4
37		9	3	16	7	12			
38	5			10	9	5	17	7	8
39	2	5	3	5			8	5	0
40				5	11	4	15		
41	4	2	3		3	5	2	12	5
42		2	0	9	1	3		5	3
43					4	0	9	8	6
44		2	1					2	0
45				3	5	3			
46							3	7	1
47				10					
48				1	2	1	7		
49				2				1	2
50					4	5	1		
51				1	1	0		5	0
52				1	1	1			
53								1	0
54					1	0			
55					1	0			

23°C	1. TEKRAR			2. TEKRAR			3. TEKRAR		
GÜN	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

11									
12	38			2					
13	21			2			4		
14	43	26	12	25	1	1	14		
15	18	18	3	10	1	2	17	4	0
16	43	29	13	46	14	5	20	12	2
17	24	9	9	42	8	2	71	13	4
18	14	21	22	25	32	10	43	12	8
19	23	11	12	16	19	19	46	31	38
20	33	6	7	36	14	10	21	19	21
21	30	18	5	26	5	10	42	24	17
22	31	24	8	16	16	18	30	9	12
23	20	10	18	24	11	16	43	18	23
24	21	13	17	43	9	9	12	14	14
25	12	7	10	44	11	13	40	15	21
26	8	5	13	44	22	16	28	7	4
27		1	9		21	22	20	16	22
28	12	4	4	37	18	19		10	17
29							18	8	10
30	16	10	2	18	2	3			
31							21	8	7
32	13	6	9	6	6	13			
33	10			2			25	12	7
34	5	1	12	0	3	2	7		
35	2	4	6	2	1	1	4	12	11
36	3	0	5	3			1	5	2
37	5	0	2	7	0	2	4	1	2
38	4	1	2	6	1	2	1	0	1
39		2	3		5	2	1	2	2
40	9	1	3	3	2	2		0	1
41	2						2	1	0
42		3	6		0	3			
43	2	2	0					2	0
44							1		
45		2	2						
46							1	0	0
47									
48								0	1

27 °C			1. TEKRAR			2. TEKRAR			3. TEKRAR		
GÜN	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7				10							
8	5			41	10	0	6				
9	28	5	0	38	32	9	25	6	0		
10	16	27	0	96	26	10	19	16	4		
11	121	15	1	80	34	62	62	11	8		
12	126	78	32	28	25	52	70	33	18		
13	48	44	69	30	6	21	58	37	31		
14	86	16	30	48	12	16	95	27	30		
15	91	39	41	48	22	14	65	41	45		
16	52	38	50	80	29	18	59	31	30		
17	50	17	33	70	29	35	61	24	15		
18	47	15	28	23	18	26	50	27	23		
19	9	13	30	23	3	15	18	20	28		
20	4	1	5	11	12	9	8	9	7		
21		3	1	4	3	4	3	4	3		
22				6	3	1	1	1	2		
23				2	1	4	1				
24				7				0	1		
25				1	2	1					
26					1	0					

30°C			1. TEKRAR			2. TEKRAR			3. TEKRAR		
GÜN	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ	PUPA	ERKEK	DİŞİ		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7				1			3				
8	2			15	1	0	7	2	1		
9		2	0		11	3		3	4		

10	31			48			10		
11	49	24	5	44	30	15	5	5	4
12	35	28	20	41	23	20	8	3	2
13	66	23	12	30	24	14	77	5	1
14	46	30	35	37	22	6	27	40	34
15	25	25	17	20	22	9	24	13	11
16	17	15	9	15	10	8	7	7	15
17	28	4	10	38	6	7	24	0	6
18	24	6	19	33	14	18	10	9	14
19	28	11	7	17	15	14	3	6	3
20	22	8	17	16	5	9	10	2	0
21	12	13	7	17	5	11	9	4	5
22	5	5	6	7	3	9	6	5	2
23	8	1	4	8	2	4	4	3	3
24		2	2	0	3	4	0	1	3
25	4			13	0	0	1	0	0
26	0	1	2	0	6	4		0	1
27	2	0	0	1	0	0			
28		1	1		0	1			
29	2								
30		1	0						

EK 3- Kan Emmiş Dişi Ömür Uzunluğu

Kan emdirilen dişilerin beş farklı sıcaklıkta günlük olarak takibi yapılmış ve hangi gün kaç diş öldüğü not edilmiştir. Buna göre sağ kalan dişiler hesaplanmıştır.

GÜN	15 °C		20 °C		23 °C		27 °C		30 °C	
	ÖLEN	SAĞ KALAN	ÖLEN	SAĞ KALAN	ÖLEN	SAĞ KALAN	ÖLEN	SAĞ KALAN	ÖLEN	SAĞ KALAN
1	0	150	0	300	0	300	0	300	0	200
2	0	150	0	300	2	298	0	300	1	199
3	0	150	1	299	2	296	0	300	2	197
4	1	149	0	299	0	296	1	299	1	196
5	0	149	3	296	2	294	1	298	0	196
6	1	148	4	292	2	292	1	297	0	196
7	1	147	3	289	1	291	3	294	0	196
8	0	147	6	283	2	289	3	291	1	195
9	0	147	11	272	1	288	7	284	0	195
10	1	146	5	267	4	284	4	280	1	194
11	0	146	1	266	3	281	4	276	0	194
12	0	146	3	263	5	276	7	269	2	192
13	1	145	10	253	5	271	6	263	3	189
14	1	144	6	247	6	265	9	254	2	187
15	2	142	3	244	4	261	9	245	3	184
16	2	140	2	242	10	251	7	238	3	181
17	0	140	3	239	5	246	8	230	3	178
18	0	140	3	236	6	240	6	224	4	174
19	0	140	3	233	9	231	11	213	4	170
20	0	140	2	231	11	220	13	200	3	167
21	0	140	0	231	7	213	16	184	4	163
22	0	140	3	228	6	207	6	178	2	161
23	1	139	1	227	12	195	15	163	4	157
24	0	139	0	227	12	183	7	156	2	155
25	0	139	1	226	18	165	4	152	2	153
26	0	139	0	226	2	163	10	142	8	145
27	0	139	0	226	2	161	7	135	6	139
28	0	139	8	218	2	159	5	130	2	137
29	0	139	1	217	1	158	5	125	8	129
30	0	139	1	216	0	158	4	121	2	127
31	0	139	0	216	3	155	6	115	3	124
32	1	138	2	214	0	155	4	111	6	118
33	6	132	2	212	3	152	6	105	6	112
34	0	132	1	211	2	150	5	100	16	96
35	0	132	3	208	2	148	1	99	14	82
36	1	131	0	208	2	146	3	96	6	76

37	2	129	0	208	2	144	7	89	4	72
38	0	129	2	206	1	143	7	82	14	58
39	0	129	1	205	2	141	8	74	4	54
40	1	128	0	205	2	139	4	70	12	42
41	0	128	0	205	2	137	5	65	10	32
42	1	127	0	205	1	136	7	58	4	28
43	1	126	0	205	3	133	4	54	6	22
44	0	126	1	204	0	133	6	48	4	18
45	0	126	2	202	1	132	9	39	6	12
46	0	126	0	202	2	130	5	34	4	8
47	0	126	0	202	3	127	4	30	4	4
48	2	124	1	201	3	124	4	26	2	2
49	1	123	1	200	0	124	3	23	0	2
50	0	123	2	198	0	124	2	21	2	0
51	0	123	2	196	1	123	3	18		
52	0	123	0	196	1	122	2	16		
53	0	123	2	194	5	117	2	14		
54	0	123	0	194	1	116	3	11		
55	0	123	4	190	3	113	1	10		
56	0	123	0	190	1	112	3	7		
57	0	123	0	190	0	112	1	6		
58	0	123	2	188	5	107	1	5		
59	0	123	3	185	0	107	1	4		
60	0	123	1	184	2	105	2	2		
61	0	123	0	184	1	104	1	1		
62	1	122	6	178	4	100	0	1		
63	0	122	5	173	1	99	0	1		
64	4	118	2	171	2	97	0	1		
65	1	117	2	169	1	96	0	1		
66	2	115	1	168	2	94	1	0		
67	0	115	1	167	0	94				
68	1	114	1	166	4	90				
69	0	114	5	161	4	86				
70	0	114	1	160	1	85				
71	0	114	1	159	1	84				
72	1	113	0	159	1	83				
73	1	112	1	158	6	77				
74	0	112	3	155	2	75				
75	2	110	6	149	4	71				
76	0	110	4	145	1	70				
77	0	110	1	144	3	67				
78	1	109	0	144	4	63				
79	0	109	4	140	2	61				
80	0	109	2	138	0	61				
81	0	109	4	134	3	58				

82	2	107	2	132	6	52				
83	0	107	1	131	1	51				
84	1	106	3	128	1	50				
85	2	104	3	125	1	49				
86	1	103	2	123	1	48				
87	0	103	2	121	2	46				
88	0	103	2	119	6	40				
89	1	102	1	118	4	36				
90	0	102	4	114	3	33				
91	0	102	1	113	1	32				
92	2	100	1	112	3	29				
93	1	99	4	108	2	27				
94	0	99	0	108	6	21				
95	1	98	6	102	3	18				
96	2	96	1	101	2	16				
97	0	96	2	99	2	14				
98	0	96	2	97	0	14				
99	0	96	1	96	1	13				
100	2	94	2	94	1	12				
101	1	93	1	93	2	10				
102	0	93	3	90	3	7				
103	2	91	1	89	3	4				
104	0	91	4	85	1	3				
105	2	89	2	83	1	2				
106	2	87	3	80	0	2				
107	2	85	2	78	0	2				
108	1	84	4	74	0	2				
109	0	84	3	71	0	2				
110	0	84	1	70	0	2				
111	3	81	2	68	0	2				
112	1	80	4	64	0	2				
113	1	79	0	64	1	1				
114	2	77	6	58	0	1				
115	3	74	5	53	0	1				
116	3	71	1	52	0	1				
117	0	71	3	49	0	1				
118	2	69	4	45	0	1				
119	3	66	1	44	0	1				
120	0	66	3	41	0	1				
121	0	66	0	41	1	0				
122	3	63	1	40						
123	1	62	0	40						
124	3	59	2	38						
125	2	57	2	36						
126	1	56	4	32						

127	2	54	1	31						
128	5	49	1	30						
129	1	48	0	30						
130	3	45	1	29						
131	1	44	0	29						
132	2	42	0	29						
133	1	41	0	29						
134	2	39	0	29						
135	1	38	1	28						
136	5	33	1	27						
137	4	29	1	26						
138	0	29	2	24						
139	2	27	1	23						
140	1	26	1	22						
141	0	26	0	22						
142	3	23	0	22						
143	0	23	1	21						
144	3	20	1	20						
145	0	20	1	19						
146	1	19	0	19						
147	3	16	0	19						
148	1	15	2	17						
149	0	15	1	16						
150	0	15	0	16						
151	0	15	1	15						
152	0	15	0	15						
153	0	15	0	15						
154	2	13	2	13						
155	2	11	1	12						
156	1	10	0	12						
157	0	10	0	12						
158	1	9	2	10						
159	1	8	1	9						
160	0	8	2	7						
161	0	8	1	6						
162	1	7	1	5						
163	0	7	0	5						
164	0	7	1	4						
165	0	7	0	4						
166	0	7	0	4						
167	0	7	1	3						
168	0	7	0	3						
169	0	7	0	3						
170	1	6	0	3						
171	0	6	0	3						

172	0	6	0	3						
173	0	6	1	2						
174	0	6	0	2						
175	0	6	0	2						
176	2	4	2	0						
177	2	2								
178	0	2								
179	0	2								
180	0	2								
181	0	2								
182	0	2								
183	0	2								
184	0	2								
185	0	2								
186	0	2								
187	0	2								
188	1	1								
189	0	1								
190	0	1								
191	0	1								
192	0	1								
193	0	1								
194	0	1								
195	0	1								
196	0	1								
197	1	0								