

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

*FORMICA PRATENSIS*'DE (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) RENKLİ GÖRME  
VE RENGE BAĞLI BESİN KAYNAĞI YÖNÜ SEÇİMİ

Neslihan ÜREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. YILMAZ ÇAMLITEPE

Y.B. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

2003

EDİRNE

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

*FORMICA PRATENSIS*'TE (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) RENKLİ GÖRME  
VE RENGE BAĞLI BESİN KAYNAĞI YÖNÜ SEÇİMİ

Neslihan ÜREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Bu tez 06.08.2003 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Danışman

Doç. Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE



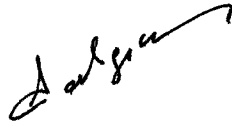
Üye

Prof. Dr. Cengiz KURTONUR



Üye

Prof. Dr. Serap DALGIÇ



## ÖZET

Karıncalarda spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın tespit edilmesi amacıyla *Formica pratensis* türüne ait işçiler, doğal ortam koşullarının sağlandığı kontrollü iklim odasında, total karanlıkta, 1 ay süre ile, dört farklı ışık uyarının (UV, mavi, yeşil ve kırmızı) kullanıldığı özdeş dört deney setinde ışık uyarınının geldiği, içine sulandırılmış bal konulan besin kutusuna ulaşmaları yönünde eğitilmişlerdir. Optik renk deneylerinde kullanılan standart halojen ışık kutuları ve bu ışık kutularının ön yüzüne yerleştirilen uluslar arası standartta ultraviyole, mavi, yeşil ve kırmızı renk filtrelerinin kullanılmasıyla elde edilen 4 farklı dalga boyunun, plastik borular aracılığıyla yuvalarla bağlantısı sağlanan 40 cm. çapındaki oriyantasyon platformlarına düşürüldüğü deney setlerinde eğitimi tamamlanan karıncaların renk duyarlılıkları test edilmiştir.

Eğitim aşaması ile test ve kontrol deneyleri boyunca karıncaların besine ulaşmak için kullanabilecekleri koku izi, çevresel objeler, manyetik alan, dönüş hafızası ve yerçekimi gibi diğer bütün oriyantasyon faktörleri baskılanmış, böylece karıncaların besin elde edimi için sadece ışık uyarımını kullanmaları sağlanmıştır. Olası koku izi kullanımı oriyantasyon platformuna yerleştirilen, 40 cm. çapındaki kurutma kağıdının (oriyantasyon diski) eğitim süresince belli sıklıklarla, test ve kontrol deneyleri süresince ise her bir karınca test edildikten sonra yenisiyle değiştirilmesiyle engellenmiştir. Deneyler total karanlıkta gerçekleştirildiği için *Formica pratensis*'in yön tayininde çevresel objelerden yararlanması olasılığı da ortadan kaldırılmıştır. Oriyantasyon platformunun daire şeklinde olmasından dolayı karıncaların dönüş hafızalarını kullanmaları da mümkün olmamıştır. Yerçekimi kullanımını engellemek amacıyla deney setinin bulunduğu zemin düz bir şekilde ayarlanmıştır. Test ve kontrol deneyleri sırasında karıncaların gösterdikleri yönsel açılar video kasetlerine kaydedilmiş ve karıncaların bu yönsel dağılım esnasında oluşturdukları izler de bu kayıtlar seyredilerek değerlendirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen veriler *Formica pratensis* türünün elektromanyetik spektrumun UV, mavi, yeşil ve kırmızı dalga boylarına duyarlılık gösterdiğini, dolayısıyla tetrakromatik bir renkli görme sergilediğini ortaya koymaktadır. Araştırmamızda kırmızı dalga boyuna duyarlılık ve tetrakromatik hem Formicidae familyası hem de Hymenoptera takımı için ilk defa gösterilmiş olup sonuçlar keşif niteliğindedir.

Renge bağlı besin kaynağı yönünü seçme deneylerinde, ana kol uzunluğu 34 cm., yan kol uzunlukları ise 15 cm. olan, ışık geçirmeyen, plastik bir Y-boru aracılığıyla karıncaların iki farklı dalga boyunun geldiği besin kutularına doğru geçişleri sağlanmıştır. Besin kutularından birine besin konulurken, diğeri boş bırakılmış ve karıncalar besinin olduğu kutudan gelen dalga boyuna ödüllendirme şeklinde yaklaşık 1 ay süre ile total karanlıkta eğitilmişlerdir. Ultraviyole-yeşil (ultraviyole seçicilik), yeşil-mavi (yeşil seçicilik), mavi-kırmızı (mavi seçicilik) ve kırmızı-ultraviyole (kırmızı seçicilik) kombinasyonlarıyla düzenlenen setler birbirlerinin kontrolü niteliğindedir. Test deneylerinde, eğitim aşamasında kullanılan her dalga boyunu içerecek şekilde 4 ayrı set üzerinde eğitimleri gerçekleştirilen karıncaların besinin bulunduğu kutunun yönünü seçmede ortamdaki diğer dalga boyundan ziyade eğitildikleri dalga boyunu kullanıp kullanmadıkları test edilmiştir. Test deneylerinde besine ulaşmada başarılı olan bireyler yuvaya geri bırakılmayıp ayrı bir kaba alınarak her bir bireyin sadece bir kez kullanılması sağlanmıştır. Eğitim ve test dönemlerinde karıncaların koku izi kullanımlarını engellemek amacıyla Y-boru saat başı alkolle temizlenmiştir. Yeşil-mavi ve mavi-kırmızı dalga boyları arasındaki tercihin test edildiği deney aşamalarında,

karıncaların gösterdikleri dağılım istatistiki olarak anlamsızdır, bu sonuçta *Formica pratensis* işçilerinin söz konusu dalga boyları arasında bir tercih yapmadıklarını göstermektedir. Aynı deneyde UV-yeşil dalga boyları arasındaki tercihin test edildiği sette karıncalar UV dalga boyuna eğitilmelerine rağmen yeşil dalga boyu yönünde, kırmızı-UV dalga boyları arasındaki tercihin test edildiği sette ise eğitilen kırmızı dalga boyu yönünde istatistiki olarak anlamlı bir dağılım göstermişlerdir.



**Anahtar Kelimeler:** Renkli Görme, Hymenoptera, *Formica pratensis*, fotoreseptör, tetrakromat.

**ABSTRACT**

In order to investigate the sensitivities of ants to different wavelengths of electromagnetic spectrum, workers of *Formica pratensis* were trained to reach feeding boxes containing diluted honey, from which light stimuli came in 4 identical experimental set-up each with a different light stimulus (UV, blue, green and red) for a 1 month period in total darkness in controlled laboratory which provided natural conditions. Colour sensitivities of ants were tested in set-ups in which 4 different wavelengths, which were obtained by using UV, blue, green and red coloured international standard filters attached in front of standard halogen light boxes, fell on orientation platforms (40 cm diameter) connected to the nests via plastic tubes.

During both training period and test and control experiments all other orientational cues such as odour trails, landmarks, magnetic field, turning memory and gravitation that ants could use to reach to the food source were suppressed so that they were forced to use only light stimulus. Possible effect of odour cues were prevented by replacing the filter paper (orientation disc) with new ones for certain intervals both during training and after each ant tested during test and control experiments. Since the experiments were performed in total darkness, landmark use by the ants was impossible. It was also impossible for the ants to use their turning memory due to the circular orientation platform. The base of the experimental set-up was placed to exclude the use of gravitation. Directional angles exhibited by the ants were video recorded during test and control experiments and their tracks were derived from these records. Results obtained shows that *Formica pratensis* is sensitive to UV, blue, green and red wavelengths and therefore have a tetrachromatic color vision. Red sensitivity and tetrachromacy found in our study are first records for both Formicidae and Hymenoptera and have discovery status.

In experiments performed to test the ability of colour dependent choice of direction of food source, ants were allowed to visit two feeding boxes, from each one of two different wavelengths came, via plastic light omitting Y-tube whose main arm was 34 cm. and side arms were 15 cm. While one of the boxes was left empty, the other one was food rewarded and the ants were trained to the wavelength corresponding to the food rewarded box in total darkness for 1 month. Sets designed in UV-green (UV choice), green-blue (green choice), blue-red (blue choice) and red-UV (red choice) combinations are controls of each other. In tests including all wavelengths used in training period, whether the ants that were trained in 4 different sets chose the trained wavelength or the alternative one to reach to the food rewarded box. Ants considered to be successful in reaching to the food were not replaced on the nest to use all individuals for only once. To prevent the use of odour cues Y-tube was washed with alcohol every hour during both training and test periods. In experiments performed for choice between green-blue and blue-red wavelengths, ants' distributions are statistically insignificant indicating that workers of *Formica pratensis* are unable to make a choice between these wavelengths. In the same choice experiments, ants showed a statistically significant distribution towards the green wavelength in UV-green choice although they were trained to UV wavelength, whereas their distribution was towards the trained red wavelength in red-UV choice.

**Key words:** Colour vision, Hymenoptera, *Formica pratensis*, photoreceptor, tetrachromacy.

ÖZET .....	I
ABSTRACT.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Görme; Görme Olayından Sorumlu Olan Fotoreseptörler.....	6
2.2. Görsel İletim .....	8
2.3 Böceklerdeki Görme Organları.....	11
2.5 Renk ve Renkli Görme.....	14
2.6 Böceklerde Renkli Görmenin Evrimi .....	16
3. MATERYAL VE METOD .....	17
3.1. Materyal (Karıncalar).....	17
3.2. Deneysel Düzenek .....	19
3.2.1. Diğer Oriyantasyon Faktörlerinin Baskılanması .....	20
3.3. Eğitim.....	21
3.4. Deney .....	22
3.5. Araştırmada Kullanılan İstatistiksel Metot: Dairesel İstatistik Metodu (Circular Statistics Methods).....	26
4. BULGULAR .....	32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	42
6. EKLER.....	46
7. KAYNAKLAR.....	52
8. TEŞEKKÜR.....	60
9. ÖZGEÇMİŞ .....	61

## 1. GİRİŞ

Böceklerin petek (bileşik) gözleri yapısal olarak omurgalıların yada kafadan bacaklıların (cephalopod) tek lensli kamera benzeri gözlerinden farklıdır. Ancak bu gözler aralarındaki yapısal farklılıklara rağmen benzer fonksiyonlar için özelleşmişlerdir ve renk algılanması ve renk ayırımı için benzer prensipler kullanmaktadırlar. Renk algılanması farklı ışık titreşimlerinin meydana getirdiği belirli bir duyu olarak kabul edilir (Pichaud vd. 1999).

Renkli görmenin orijini hala spekülatifdir. Primitif organizmalar neden ışığın dalga boyu içeriğini ayırt etmeye ihtiyaç duymuşlardır? Yapılan bazı yorumlar primitif renkli görme sisteminin UV ve orta dalga boylarına duyarlı iki pigment içerdiğini öne sürmektedir (Pichaud vd. 1999). Bu yorum primitif Arthropod'lardaki (örneğin Chelicerata) UV ve yeşil dalga boylarına duyarlılık gösteren pigmentlerin varlığıyla uyum göstermektedir. Bu iki pigmentli sistem opsin çeşitliliğinden dolayı daha geniş bir dalga boyu duyarlılığı alanı içinde gelişmiş olabilir.

Kanatlı böceklerin atalarının trikromatik renkli görme sergilemelerine rağmen günümüz kanatlı böceklerinin monokromasiden tetrakromasiye kadar değişik renk duyarlılıkları sergilemeleri (Briscoe ve Chittka 2001) onların evrimsel gelişimlerinin ve buna paralel olarak geliştirdikleri mekanizmalardaki çeşitliliklerin bir yansımasını göstermektedir.

Böceklerde şu ana kadar renkli görme üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında Odonata ordosunda *Aeschna tuberculifolia* (Chappell ve DeVoe 1975) türünün UV, yeşil dikromasi, *Libellula neeshami* (Horridge 1969) türünün ise mavi, yeşil dikromasi sergilediği, diğer araştırılan çoğu türün ise UV, mavi, yeşil trikromat oldukları (Autrum ve Kolb 1968, Chappell ve DeVoe 1975) ve *Sympetrum rubicundulum* (Meinerthazen vd. 1983) ve *Hemicordulia tau* (Yang ve Osorio 1991) türlerinin ise UV, mavi, yeşil, kırmızı tetrakromat oldukları görülmektedir. Dictyoptera ordosundan *Periplaneta americana* (Mote ve Goldsmith 1970, Paul vd. 1986) türünün UV, yeşil dikromat olduğu tespit edilmiştir. Orthoptera ordosunda araştırılan türlerin UV, mavi, yeşil trikromat (Zufall vd. 1989, Vishnevskaya ve Shura-Bura 1990) oldukları belirtilmiştir. Hemiptera ordosundaki türler UV, mavi, yeşil trikromasi (Bruckmoser 1968, Bennett ve Ruck 1970) sergilemektedirler. Neuroptera ordosundan *Ascalaphus macaronius*

(Gogala 1967, Paul vd. 1986) türünün UV, yeşil dikromat olduğu görülmektedir. Coleoptera ordosunda *Photinus pyralis*, *P. scintillans* ve *Photuris versicolor* (Cronin vd. 2000) türlerinin yeşil monokromat oldukları, *Coccinella septempunctata* (Lin ve Wu 1992) türünün mavi, yeşil dikromat olduğu, *Photuris lucicrescens* (Lall vd. 1982) türünün UV, mavi, yeşil trikromat olduğu ve *Carabus nemoralis* ve *C. auratus* (Hasselmann 1962) türlerinin UV, mavi, yeşil, kırmızı tetrakromat oldukları belirtilmiştir. Mecoptera ordosunda *Panorpa cognata* (Burkhart ve LaMotte 1972) türünün yeşil monokromat olduğu görülmektedir. Diptera ordosundan *Dimeocoenia spinosa*, *Toxomerus marginatus*, *Allograpta obliqua*, *Eeristalis arbustorum*, *Syrphus sp.* ve *Chlorops sp.* (Bernard ve Stavenga 1978) türlerinin mavi, *Bibio marci* (Burkhart ve De LaMotte 1972) ve *Haemotopata sp.* (Kirschfeld 1986) türlerinin yeşil monokromat, *Calliphora erythrocephala* (Paul vd. 1986) türünün UV, mavi dikromat, *Eristalis tenax* (Horridge vd. 1975), *Drosophila melanogaster* (Bernard ve Stavenga 1979, Salcedo vd. 1999) ve *Musca domestica* (Hardie 1986) türlerinin UV, mavi, yeşil trikromat oldukları belirtilmiştir. Lepidopter'lerin çoğunun UV, mavi, yeşil, kırmızı tetrakromat (Bernard 1979, Eguchi vd. 1982, Ichikawa vd. 1982, Matic, 1983), *Papilio bianor* (Eguchi vd. 1982), *Heliconius erato*, *H. numata*, *H. sara* (Struwe 1972), *Aglais urticae* (Steiner vd. 1987) türlerinin UV, mavi, yeşil trikromat, *Papilio protenor* (Eguchi vd. 1982) türünün mavi, yeşil dikromat olduğu görülmektedir. Hymenopterlerde *Lestrimelitta limao*, *Bombus affinis*, *B. hypnorum*, *Lasioglossum albipes*, *Cerceris rybynensis*, *Vespa crabro*, *Ichenumon stramentarius* (Peitsch vd. 1992) türlerinin yeşil monokromat, *Bombus impatiens* türünün UV, yeşil, *B. fervidus* türünün UV, mavi dikromat (Bernard ve Stavenga 1979), *Nomada albogutata*, *Lasioglossum malachurum* (Peitsch vd. 1992) türlerinin mavi, yeşil dikromat, incelenen pek çok Hymenopter'in ise UV, mavi, yeşil trikromat (Meyer-Rochow 1980, Peitsch vd. 1992, Chittka vd. 1997, Chittka vd. 2001) oldukları görülmektedir. Görüldüğü gibi her ne kadar atalarının trikromatik renkli görme sergiledikleri belirtilmiş olsa da (Briscoe ve Chittka 2001) günümüz kanatlı böcekleri monokromasiden tetrakromasiye kadar değişik renk duyarlılıkları sergilemektedirler.

Hymenopter'lerin renkli görme sistemine sahip oldukları (Peitsch vd. 1992) ve pek çok böcekte yaygın olan ışık şiddetine bağlı davranıştan öte, dalga boyuna bağlı gerçek renkli görme sergiledikleri bilinmektedir. Hymenopter'lerin renk ayırımı



yeteneğine sahip oldukları ve ödüllendirme ile ilişkili renkleri öğrenebildikleri de kanıtlanmıştır (Chittka vd. 1992, Briscoe ve Chittka 2001).

Hymenoptera ordosunda karıncaların en yakın akrabası olan bal arıları (*Apis mellifera*) üzerinde renkli görmeyle ilgili yapılan çok sayıda davranışsal, fizyolojik ve moleküler araştırmayla bal arılarının spektrumun UV, mavi ve yeşil bölgelerine duyarlı trikromasi sergiledikleri net bir şekilde ortaya konulmuştur (Daumer 1956, Autrum ve Zwehl 1964, Helversen 1972, Labhart 1974, Menzel ve Blakers 1975, Menzel ve Blakers 1976, Bernard ve Stavenga 1979, Meyer-Rochow 1980, Menzel vd. 1986, Peitsch vd. 1992, Bellingham vd. 1995, Brandt ve Vorobyev 1996, Giurfa vd. 1997, Giger ve Sirinivasan 1997, Hill vd. 1997, Brown vd. 1998, Dyer 1999, Giurfa vd. 1999, Lehrer 1999, Ibarra vd. 2000, Horridge 2000, Ibarra vd. 2001, Ibarra vd. 2002).

11.000'i aşkın türle (American Museums of Naturel History 2002, [www.research.amnh.org/entomology/social\\_insects](http://www.research.amnh.org/entomology/social_insects)) temsil edilen karıncaların bulunduğu familya'da (Formicidae) bugüne kadar sadece 6 tür üzerinde renkli görme çalışmaları yapılmış olup ilk çalışmalarda da yetersiz teknik ve gözlemlerden kaynaklanan çelişki ve belirsizlikler söz konusudur. Tsuneki (1953) *Camponotus herculeanus* var. *obscripes* Mayr ve *Leptothorax congruus* var. *spinosior* Forel üzerinde yaptığı davranışsal çalışmalarda karıncaların renkli görme sergilemelerinin olası olabileceğini, ancak renklerin karıncalara belirsiz ve bulanık görüldüğü için bunların renklerle bağlantılı bir davranış sergilemelerinin mümkün olamayacağını rapor etmektedir. Tsuneki tarafından elde edilen bu negatif sonuca rağmen, *Formica polyctena* (Kiepenheuer 1968) ve *Cataglyphis bicolor* (Wehner ve Toggweiler 1972) üzerine yapılan çalışmalarda bu türlerin spektral ışık uyarınının UV ve sarı-yeşil'e eğitilmesinde başarılı olduğu rapor edilmektedir. Ateş karıncası *Solenopsis saevissima* ile yapılan çalışmada (Marak ve Wolken 1965) bu türün spektrumun ultraviyole ışık kısmına (360 nm.) en fazla duyarlılığı gösterdiği ve yine çoğu böcek için olduğu gibi görünür spektrumdaki pik tepkiyi 505 nm.'de (mavi-yeşil) verdiği gösterilmiştir. Yine aynı araştırmada bu karınca türünün elektromanyetik spektrumun kırmızıya yakın bölgesine de (620 nm.) tepki gösterdiği belirtilmekte ise de bunun karıncaların kırmızı reseptör duyarlılığından mı yoksa retinula hücrelerini saran pigment granülleri veya ommokromların düşük frekanslardaki azalan absorpsiyonlarından mı kaynaklanmış olabileceği sorusunun cevabının bilinmediği rapor edilmektedir. Diğer

yandan bu çalışmada deneyin diğer dalga boylarını da içeren bütün aşamalarının karanlık bir odada loş kırmızı ışık altında gerçekleştirilmesi deney sonuçları hakkında kuşku doğurmaktadır. Karıncaların en yakın akrabaları olan bal arılarının (*Apis mellifera*) kırmızı ışığa duyarsız olmasının (Frisch 1967a, Wilson 1971, Hughes 2001, Briscoe ve Chittka 2001) yanı sıra karıncalarla ilgili renkli görme harici karanlık altında yapılan çok sayıda farklı davranışsal deneylerin karıncaların kırmızıya duyarlı olmadıkları belirtilerek (kaynakça verilmeden) kırmızı ışık altında yapılmış olması da ilginçtir. Orman karıncası *Formica polyctena* ile yapılan çalışmalarda (Menzel ve Lange 1971, Roth ve Menzel 1972, Menzel 1972 a,b, Menzel ve Knaut 1973) ve çöl karıncası *Cataglyphis bicolor* ile yapılan elektrofizyoloji ve elektroretinogram çalışmalarında (Mote ve Wehner 1980, Labhart 1986, Meyer ve Domanico 1999, Labhart 2000) bu iki karınca türünün ultraviyole ve yeşile duyarlı fotoreseptörlere sahip oldukları tespit edilmiştir. *Cataglyphis bicolor* ile ilgili başka bir çalışmada ise (Kretz 1979) bu türün spektrumun UV, mavi ve yeşil bölgelerine duyarlılık gösterdiği, yani trikromatik renkli görme sergilediği belirtilmiştir. Yine *Cataglyphis bicolor* ile yapılan farklı bir çalışmada (Herrling 1976) bu karınca türünün 3 retinula (bileşik gözün ommatidiumunun en iç tabakasında bulunan uzun fotoreseptör hücre tabakası) tipine sahip olduğu ve bunlardan üçüncü retinula tipinin ultraviyole ışığın algılanmasında rol oynadığı tespit edilmiştir. Ayrıca buldog karıncası *Myrmecia gulosa*'nın (Menzel ve Blakers 1975) UV ve yeşil reseptörlere sahip olduğu ve UV-yeşil dikromatlık gösterdiği tespit edilmiştir.

11.000'i aşan tür sayısıyla temsil edilen karıncalarda (Formicidae) renkli görme ile ilgili çalışmaların çok az sayıda sadece 6 tür üzerinde olması ve bu çalışmalara göre bazı türlerin dikromatlık, bazı türlerin ise trikromatlık sergilemeleri, diğer yandan özellikle ilk çalışmalarda yetersiz teknik ve gözlemlerden kaynaklanan belirsizlik ve çelişkilerin olması bu alandaki eksikliklerin giderilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kırmızı orman karıncaları *Formica rufa* grubuna ait *Formica polyctena* türünde yapılan fizyolojik çalışmada bu türün dikromat olup UV ve yeşil renge duyarlı olması (Menzel ve Lange 1971, Roth ve Menzel 1972, Menzel 1972a,b, Menzel ve Knaut 1973) aynı grubun bir üyesi olan *Formica pratensis*'in de renkli görmeye sahip olabileceği olasılığını güçlendirmektedir. Yapılan deneylerde spektrumun UV, mavi, yeşil, kırmızı dalga boylarına sahip standart renk filtrelerinin kullanılması ile de var olan çelişkilere net yanıtlar getirilmesi ve bu karınca türünün UV

de dahil mavi, yeşil ve kırmızı ana renklerine olan duyarlılıklarının tespit edilmesiyle monokromat, dikromat, trikromat ya da tetrakromat olup olmadığının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Diğer yandan renge bağlı olarak besin yönü seçimiyle ilgili karıncaların yakın akrabaları olan bal arılarıyla (*Apis mellifera*) yapılan çalışmalarda (Hill vd. 1997, Giurfa vd. 1997, Brown vd. 1998, Ibarra vd. 2001, 2002) bal arılarının renkli disklerle bağlı olarak eğitildikleri ve besinin bulunduğu renkli disklerin yönünü tayin edebildikleri, yani renge bağlı olarak besin yönünü ayırt edebildikleri ortaya konmuştur. Benzer sonuçlar Parazitoid Hymenopterlerden *Microplitis croceipes* hakkında da rapor edilmektedir (Wackers ve Lewis 1999). Karıncalarla ilgili olarak böyle bir çalışmanın literatürde olmaması büyük eksiklik olup yapılan renge bağlı besin yönü seçimi deneyleriyle renk seçimi duyarlılıklarının da ortaya konması amaçlanmıştır.

Dolayısıyla bu tür çalışmaların devamı ve tekrarı karıncalarda renkli görme sisteminin ve mekanizmasının açıklanabilmesi, bilim dünyasında iyi bir şekilde yerleşmesi ve türler arasındaki yaygınlığının ve filogenetik ilişkilerinin (örneğin yaşadıkları ortama, beslenme sistemlerine-nokturnal yada diurnal olup olmadıklarına ve buna benzer olarak karıncaların davranış ekolojisinde önemli olabilecek stratejilerin ne yönde ve hangi etmenlerle birlikte evrimsel olarak geliştiği gibi) tespiti için önemli görülmektedir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Görme; Görme Olayından Sorumlu Olan Fotoreseptörler

Görme; hayvanlar aleminde evrensel bir olaydır, fakat farklı hayvan türlerinde çeşitlilik göstermektedir. Kuşlar ve insanın da içinde bulunduğu omurgalı hayvanlar ve pek çok omurgasız hayvan renkleri görebilme yeteneğine sahiptir. Diğer taraftan, mağaralar gibi ortamlarda, yani total karanlıkta yaşayan bazı hayvan türleri bu yaşama karşı geliştirdikleri adaptasyon sonucunda görme yeteneklerini kaybetmişlerdir, ancak parlak bir ortamda bazı değişiklikleri algılayabilirler.

Görme; gözün retinası üzerindeki fotoreseptör hücreleri tarafından ışığın absorbe edilmesiyle gerçekleşir. Retinada ışığa duyarlı olan nöronlar fotoreseptörler olarak adlandırılırlar. Retinada koni hücreleri ve çubuk hücreleri olmak üzere iki tip fotoreseptör vardır.

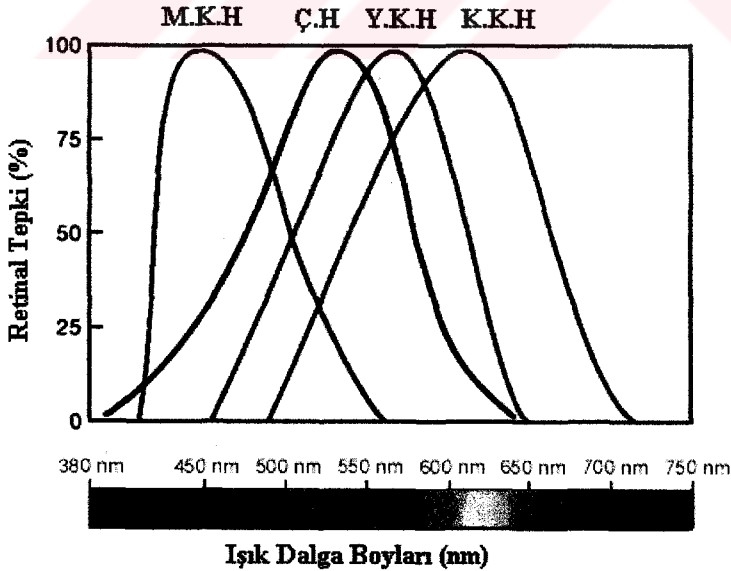
Çubuk hücreleri düşük ışık şiddetinde görev yapabilirler. Çünkü bu fotoreseptörler tek bir ışık fotonunu yakalayabilme yeteneğine sahiptirler, yani ışığa çok duyarlıdırlar. Bununla birlikte, çubuk hücreleri rengi algılayamazlar. Bu hücreler “skotopik görüş” olarak adlandırılan gece görüşünden sorumlu olan fotoreseptör hücreleridir.

Koni hücrelerinin uyarılabilmesi için yüksek ışık şiddetine ihtiyaç vardır. Bu, koni hücrelerinin çubuk hücrelerine oranla ışığa daha az duyarlı oldukları anlamına gelmektedir. Bu yüzden koni hücreleri sadece gün ışığında fonksiyoneldirler. Bu hücreler “fotopik görüş” olarak adlandırılan gündüz görüşünün yanı sıra renkli görmeden de sorumlu olan fotoreseptör hücreleridir (Birch 1993, Martini vd. 1995, Tortora ve Grabowski 1996). Koni hücreleri elektromanyetik spektrumun duyarlı oldukları bölgelerine göre S-konileri (kısa dalga boylarına duyarlı koni hücreleri), M-konileri (orta dalga boylarına duyarlı koni hücreleri) ve L-konileri (uzun dalga boylarına duyarlı koni hücreleri) olarak 3 sınıfa ayrılırlar. Bu hücreler duyarlı oldukları dalga boylarına göre mavi, yeşil, kırmızı koni hücreleri olarak ta sınıflandırılabilirler. Koni hücrelerinin bu şekilde sınıflandırılması mor, sarı, turuncu gibi ara renkler olarak

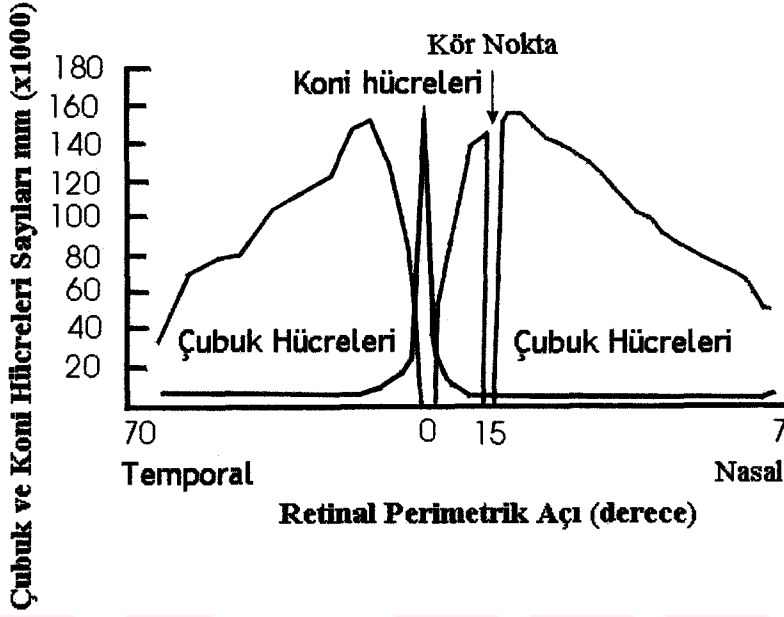
adlandırdığımız renk tonlarının algılanmadığı anlamına gelmez. Koni hücrelerinin duyarlı oldukları spektral alanların birbiriyle çakışmasından dolayı tüm renk tonları algılanabilmektedir (Şekil 2.1).

Çubuk hücreleri ve koni hücreleri retina boyunca dağılımları bakımından da farklılık gösterirler. Çubuk hücreleri retinada düzenli bir dağılım gösterirler, ancak daha çok periferal bölgede yoğunlaşırlar, bu yüzden periferal görüşten sorumludurlar. Oysa koni hücreleri daha çok retinanın merkezi bölgesi olan “fovea”da yoğunlaşmışlardır, bu yüzden sadece retinanın merkezindeki objeleri algılayabilirler (Şekil 2.2).

Çubuk hücreleri ve koni hücreleri yapısal olarak ta bazı farklılıklar sergilerler. Her 2 hücre de bir iç segmentten ve bir dış segmentten meydana gelirler. İki hücre arasındaki temel fark görsel pigmentin bulunduğu dış segmenttedir. Çubuk hücrelerinde görsel pigment yassı internal diskler üzerinde bulunurken, koni hücrelerinde görsel pigment dış segmentte membranın katlanmış bölgesi üzerinde bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, çubuk hücreleri , koni hücrelerinden daha fazla sayıda ve ışığa duyarlılığı daha yüksek olan görsel pigmentler içermektedirler (Asenjo vd. 1994, Tortora ve Grabowski 1996, Kochendoerfer vd. 1999, Mollon 1999, Lennie 2000, Hughes 2001).



**Şekil 2.1** Fotoreseptörlerin elektromanyetik spektrum üzerinde duyarlı oldukları spektral alanların gösterildiği grafik (M.K.H: Mavi Koni Hücre, Y.K.H: Yeşil Koni Hücre, K.K.H: Kırmızı Koni Hücre, Ç.H: Çubuk Hücre) ([www.lsvl.la.asu.edu/askabiologist/](http://www.lsvl.la.asu.edu/askabiologist/) dan alınmıştır).

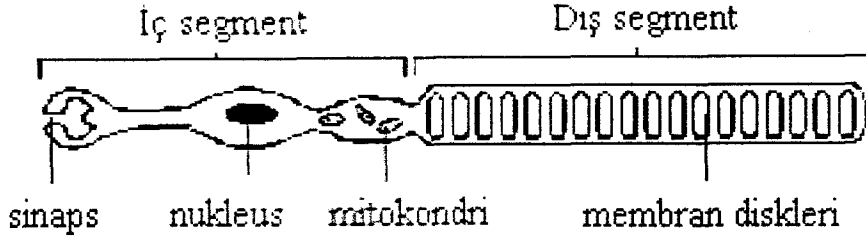


Şekil 2.2 Çubuk ve koni hücrelerinin retinadaki dağılımları ([www.yorku.ca/eye/](http://www.yorku.ca/eye/)' dan alınmıştır ).

## 2.2. Görsel İletim

Görsel iletim; ışığın fotoreseptörler tarafından absorbe edilmesi sonucunda bir sinir impulsunun başlatıldığı ve görsel bilginin beyne aktarıldığı elektrofizyolojik bir süreçtir. Bu süreç, hem çubuk hücrelerinde hem de koni hücrelerinde aynı şekilde gerçekleşir.

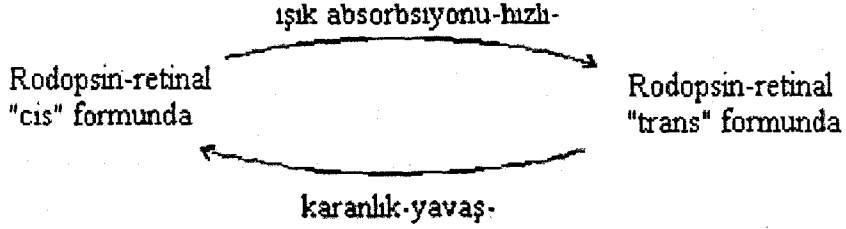
Işığın algılanması fotoreseptörlerin dış segmentlerindeki membran diskleri üzerinde gerçekleşir (Şekil 2.3). Bu diskler bir fotoreseptör molekülü olan “rhodopsin” molekülü içerirler. Rhodopsin molekülü 2 kısımdan meydana gelir. Bunlardan biri “opsin” adı verilen membrana bağlı bir protein, diğeri ise bir vitamin A türevi olan ve “retinal” adı verilen prostetik gruptur. Retinal rhodopsin molekülünün ışığa duyarlı olan kısmıdır. Bu prostetik grup “cis” ve “trans” olmak üzere 2 formda bulunmaktadır.



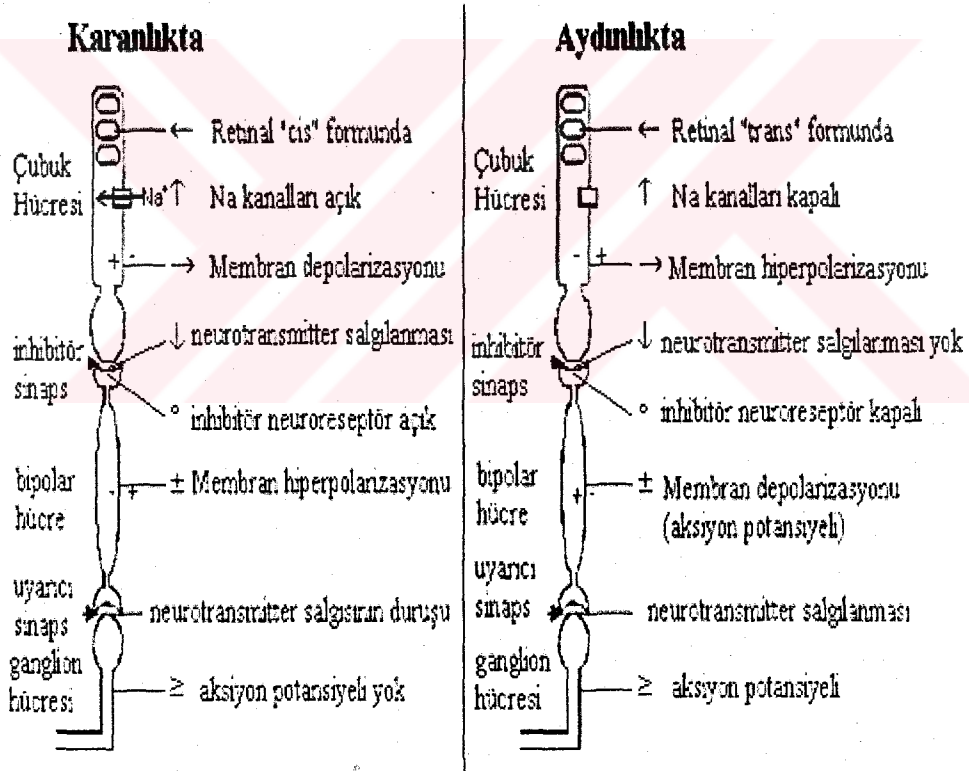
Şekil 2.3 Bir çubuk hücreninin yapısı ([www.mrothery.co.uk/vision](http://www.mrothery.co.uk/vision)'dan alınmıştır).

Retinal karanlıkta cis formundadır, ancak ışığı basorbe ettiğinde hızla trans formuna dönüşür. Bu reaksiyonun ters reaksiyonu, yani retinalin trans formundan cis formuna geri dönüşümü enzimatik bir reaksiyon gerektirir, bu sebepten dolayı bu dönüşüm daha yavaş gerçekleşir. Aydınlik bir ortamdan karanlık bir odaya girildiğinde gözlerimizin kararmasının nedeni de budur (Şekil 2.4).

Fotoreseptör hücrelerinin membranlarında rhodopsin tarafından kontrol edilen sodyum (Na) ve potasyum (K) kanalları vardır. Retinal cis formundayken yani karanlıkta sodyum kanalları açıktır, böylece hücre içine sodyum iyonları girer ve bu hücrenin depolarize olarak neurotransmitter bir madde salgılamasına neden olur. Ancak fotoreseptör hücrelerinin bipolar nöronla yaptıkları sinaps inhibitör niteliğinde olduğu için görsel bilgi beyne gönderilmez. Retinal ışığı absorbe edip trans formuna dönüştüğü zaman sodyum kanalları kapanır, bu fotoreseptör hücrelerinin hiperpolarize olmasına neden olur ve görsel bilgi sırasıyla bipolar nöron, ganglion hücresi ve optik sinir aracılığıyla beyne iletilir. Beyin fotoreseptörlerden gelen bu bilgiyi değerlendirerek görüntüyü ve rengi algılar (Martin 1998) (Şekil 2.5).



**Şekil 2.4** Retinal molekülünün ışığı absorbe ederek cis formundan trans formuna dönüşümü ([www.mrothery.co.uk/vision](http://www.mrothery.co.uk/vision)'dan alınmıştır).



**Şekil 2.5** Çubuk hücresinde gerçekleşen görsel iletim süreci ([www.mrothery.co.uk/vision](http://www.mrothery.co.uk/vision)'dan alınmıştır).



### 2.3 Böceklerdeki Görme Organları

Böceklerde görme organları ergin ve ergin öncesi dönem göz önüne alınarak 4'e ayrılabilir.

- 1) Dermal reseptörler
- 2) Dorsal oselluslar (Tepegözler)
- 3) Lateral oselluslar (Stemmata)
- 4) Bileşik (petek) gözler

Bazı böceklerde örneğin kelebek tırtıllarında sadece gözler değil, bütün vücut yüzeyi ışığa karşı duyarlılık gösterir. Kelebek tırtıllarında gözler kapatılsa dahi, ışığa tepki gözlenmektedir. Hamamböceklerinde ve un kurtlarında gözler çıkarıldıktan yada kapatıldıktan sonra da ışıktan kaçma davranışı gözlenmiştir. Bu canlılar derilerindeki dermal reseptörler aracılığıyla ışık yoğunluk farkını algılamakta ve tepki göstermektedirler.

Dorsal oselluslar genellikle erginlerde ve çok sayıda hemimetabol böcek türünün nymfal dönemlerinde görülür. Dorsal oselluslar görme organlarından bağımsız değildir ve asla bileşik gözleri olmayan türlerde bulunmazlar. Bu görme organları başın facial yada dorsal bölgeleri üzerinde iki yada üç küçük, konveks şişkinlikler şeklinde bulunurlar. Dorsal oselluslar çubuk hücreleri benzeri birkaç düzine rbdom sırasını çevreleyen tek bir korneal lense sahip olmalarıyla bileşik gözlerden farklıdır. Bu basit gözler bir imaj oluşturmazlar yada çevredeki objeleri algılamazlar, fakat geniş bir dalga boyu aralığına duyarlıdır, polarize ışığa ve ışık şiddetindeki değişikliklere hızlı bir şekilde tepki gösterirler. Dorsal osellusların fonksiyonları kesin bir şekilde kanıtlanmamıştır, ancak pek çok fizyolog dorsal osellusların bir "iris mekanizması-bileşik gözlerin farklı ışık şiddeti seviyelerine uyumlu duyarlılığı" olarak görev yaptıklarına inanır (Şekil 2.6).

Lateral oselluslar (stemmata) holometabol böceklerin larvalarına ve belirli erginlere özgü (örneğin; Collembola, Thysanura, Siphonoptera ve Strepsiptera) görsel organlardır. Lateral oselluslar daima başın lateral bölgesi üzerinde bulunurlar ve sayıları her bir tarafta 1-6 arasında çeşitlilik gösterir. Yapısal olarak, dorsal oselluslara benzerdirler, fakat dorsal oselluslardan farklı olarak kornea altında bir "kristal koni"

hücresine ve daha az sayıda duysal çubuk hücresine sahiptirler. Larvalar ışık şiddetini, yakındaki objelerin ana hatlarını ve predatörlerin yada avların hareketlerini algılayabilmek için bu basit gözleri kullanırlar. Lateral osellusların metamorfoz sırasında kaybolması genel bir durumdur (Şekil 2.7).

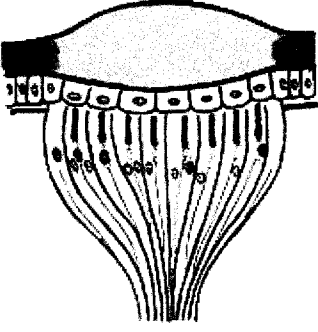
Ergin dönemde görmeden sorumlu yapı bileşik gözlerdir. Bileşik gözler her biri birbirinden bağımsız olan ve “ommatidium” yada “facet” adı verilen alt ünitelerden meydana gelmişlerdir. Her bir ommatidium kendi özel optik sistemine sahiptir. Bileşik gözlerdeki ommatidium sayısı da türlere göre değişiklik gösterebilmektedir (Demirsoy 1999).

Bir ommatidium 6 bölgeden meydana gelir (Şekil 2.8).

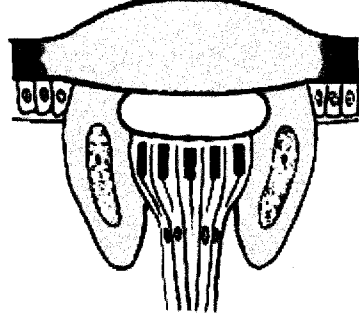
- 1) **Kornea:** Ommatidium üzerindeki kutikulanın kalınlaşmış, şeffaflaşmış kısmıdır. Bileşik gözler için bir özellik olarak korneanın her 2 yüzeyi az-çok konvektir. Kornea göz merceği olarak görev yapmaktadır.
- 2) **Korneagen tabaka:** Bu tabaka korneayı salgılar. Korneagen tabakanın olmaması durumunda kornea kristal koni hücreleri tarafından salgılanmaktadır.
- 3) **Kristal koni hücreleri:** Korneanın altındaki hücrelerdir. Korneayı salgıladıkları için aynı zamanda “semperik hücreler” adını da alırlar.
- 4) **Primer pigment hücreleri (Primer İris):** Korneagen tabakayı ve kristal koni hücrelerini çevreleyen bir çift hücredir. Bu hücreler kornea aracılığıyla göze giren ışığın direkt olarak rabdom (görme çubuğu) üzerine düşmesini sağlarlar.
- 5) **Retina:** Ommatidiumun kaide kısmını oluşturur. Retina hücreleri grup halinde uzamış hücrelerdir ve sayıları 7-12 arasında değişmektedir. Retina hücreleri geniş yüzeylerindeki mikrovilluslar karşılıklı gelecek şekilde dizilerek “rabdom” adı verilen görme çubuğunu meydana getirirler.
- 6) **Sekonder pigment hücreleri:** Primer iris ve retinayı çevreleyerek bir ommatidiumu kendisine komşu olan ommatidiumdan ayırır ve böylece her bir ommatidiumun birbirinden bağımsız olmasını sağlarlar.

Bileşik gözlerin net bir görüntü için mi, yoksa daha fazla ışıktan yararlanmak için mi oluştuğu sorusu kesin bir şekilde cevaplandırılmamıştır, ama gece aktif olan türlerde ve suda yaşayan türlerde net bir algılamadan önce, ışık şiddetlerinin ayırımı çok daha önemlidir. Bu nedenle gündüz aktif böceklerde apozisyon göz (gündüz gözleri), gece aktif böceklerde ise süperpozisyon göz (gece gözleri) evrimleşmiştir. Bu iki göz

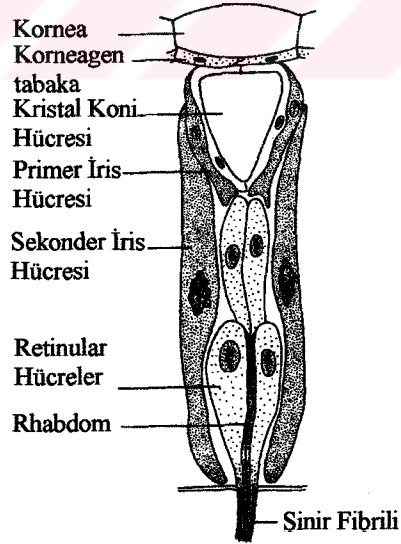
tipi birbirlerinden pigment dağılımları ve rabdom uzunlukları bakımından ayrılırlar. Apoziyon gözlerde rabdom uzundur ve rabdomun ucu kristal koni hücrelerinin kaidelerine kadar uzanmaktadır. Süperpozisyon gözlerde ise rabdom kısadır, bu yüzden kristal koni hücrelerine kadar uzanmazlar (Demirsoy 1999).



**Şekil 2.6** Dorsal osellusun anatomik yapısı ([www.cals.ncsu.edu](http://www.cals.ncsu.edu)'dan alınmıştır).



**Şekil 2.7** Lateral osellusun (stemmata) anatomik yapısı ([www.cals.ncsu.edu](http://www.cals.ncsu.edu)'dan alınmıştır).



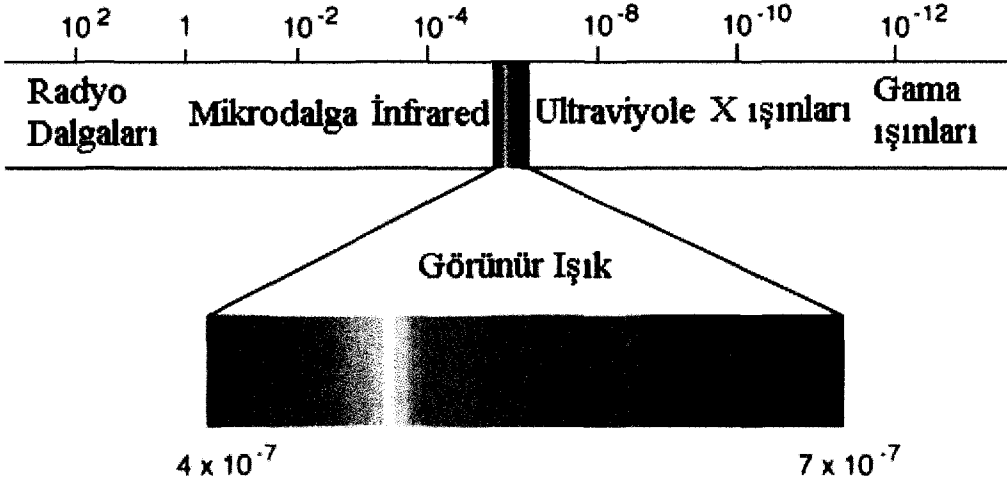
**Şekil 2.8** Böcek ommatidiumunun anatomik yapısı (Demirsoy 1999'dan alınmıştır).

Bileşik gözde oluşan hayal, birbiri yanısıra duran noktaların alınımı şeklinde gerçekleşir ve her nokta, bir ommatidium tarafından algılandığı için oluşturan hayal mozaik şeklindedir.

Omurgasızların, omurgalıların çubuk hücrelerine ve koni hücrelerine benzer olan fotoreseptör hücreleri, fotopigment moleküllerinin paketlenildiği, “rbdomer” adı verilen özelleşmiş membran tabakalarına sahiptirler. Fotokimyasal işlemlerde impuls oluşturan görme pigmentleri rbdomerin mikrovillus taşıyan zar kısmında bulunurlar. Omurgasızlardaki görme pigmentleri yapısal olarak omurgalıların rhodopsin molekülüne benzerler, ancak absorpsiyon yeteneklerinde farklılık gösterebilirler. Omurgasız fotopigmenti “retinin” adı verilen prostetik bir grup taşır. Yani omurgasızlardaki retinin grubu omurgalıların retinal molekülüne karşılık gelmektedir.

## 2.5 Renk ve Renkli Görme

Renk; insanlar için elektromanyetik spektrumun görünür bölgesini oluşturan yaklaşık 380-780 nm.'ler arasındaki dalga boylarının retina üzerine düşmesiyle oluşan algısal bir sonuçtur. Elektromanyetik spektrum çeşitli dalga boylarından meydana gelir ve renk tonunun yada rengin algılanması ışığın dalga boyuyla ilgilidir. Spektrumun en yüksek enerjili kısmını <250 nm. arası gamma ve x-ışınları oluşturmaktadır. 250-380 nm. dalga boyları arası ultraviyole, 380-450 nm. dalga boyları arası mor, 450-500 nm. dalga boyları arası mavi, 500-520 nm. dalga boyları arası mavi-yeşil, 520-550 nm. dalga boyları arası yeşil, 550-570 nm. dalga boyları arası yeşil-sarı, 570-600 nm. dalga boyları arası sarı, 600-630 nm. dalga boyları arası turuncu ve 630-780 nm. dalga boyları arası kırmızı rengi oluşturmaktadır. Spektrumun en düşük enerjili kısmını meydana getiren >750 nm.'den yukarı değerler ise infrared, mikrodalga ve radyo dalgalarından oluşmaktadır (Şekil 2.9) (Campbell 1993, Goldstein 1999).



Şekil 2.9 Elektromanyetik spektrum ([www.sencore.com](http://www.sencore.com)'dan alınmıştır).

Renkli görme; dalga boyu duyarlılıklarında farklılık gösteren retinal fotoreseptör nöronlarından gelen bilgilerin karşılaştırılmasıyla gerçekleşir. Canlılar farklı dalga boylarına duyarlı koni tipi sayılarına ve sahip oldukları bu koni hücrelerinin fonksiyonel olup olmamasına göre sınıflandırılırlar. Trikrmatlık; farklı dalga boylarına duyarlı 3 tip koni hücrelerine sahip olmaktır. Dikrmatlıkta ise bu 3 koni tipinden biri fonksiyonel değildir, dolayısıyla dikrmatlık geriye kalan 2 koni hücreleri tipine sahip olmaktır. Monokrmatlıkta fonksiyonel olan sadece 1 tip koni hücreleri vardır. Ancak elektromanyetik spektrumun ana renkleri olarak bilinen mavi, yeşil ve kırmızı dalga boylarının yanında ultraviyole bölgeye duyarlılık gösteren canlılarda vardır ki, böyle canlılar 4 farklı dalga boyu duyarlılığı gösteren 4 tip koni hücrelerine sahip olmalarından ötürü tetrakromat olarak adlandırılırlar. Akromat olarak tanımlanan bir canlıda ise fonksiyonel hiçbir koni hücreleri yoktur (Hilbert 1992, Cavalleri vd. 1995).

## 2.6 Böceklerde Renkli Görmenin Evrimi

Böceklerde renkli görmenin orijini hakkında ileri sürülen görüşler hala netlik kazanmamıştır. Bu konuda ileri sürülen ve en çok destek gören teorilerden biri “ikili sistem” adını almaktadır. Bu teoriye göre primitif Arthropod’lar UV ve yeşile duyarlı fotoreseptörlere sahiptirler. Bu iki pigmentli sistem opsinlerin çeşitliliklerinden dolayı daha geniş bir dalgaboyu duyarlılık alanı içinde gelişmiş olabilir (Pichaud vd. 1999). Böcek renkli görüşünün evrimi incelenirken filogeni ve moleküler biyoloji çerçevesinde adaptasyonda göz önünde bulundurulmalıdır.

Bir fotopigmentin spektral duyarlılığı büyük ölçüde opsin proteini tarafından belirlenir. Hem fizyolojik hem de moleküler veriler opsinlerin absorpsiyon spektrumlarına göre UV, mavi, yeşil ve kırmızı olmak üzere 4 büyük sınıfa ayrıldığını gösterir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan bütün kanatlı böceklerin Devonien devrindeki atalarının UV, mavi ve yeşil trikromat oldukları sonucu çıkarılabilir. Bu sonuç moleküler biyoloji tarafından da desteklenen bir yorumdur (Briscoe ve Chittka 2001). Ancak günümüz kanatlı böceklerinin monokromasiden tetrakromasiye kadar değişik renk duyarlılıkları sergilemeleri onların evrimsel gelişimlerinin bir yansımasını göstermektedir.

İncelenen böcek türleri arasında Hymenoptera’lar ilginç bir konuma sahiptirler. Çünkü çalışılan pek çok tür farklı yaşam şekilleri ve beslenme alışkanlıklarına sahip ve geniş çeşitlilik gösteren habitatlardan gelen türlerdir. Bununla birlikte spektral duyarlılıklarında şaşırtıcı bir şekilde çok az varyasyon vardır, çalışılan pek çok türün elektromanyetik spektrumun UV, mavi ve yeşil bölgelerine duyarlı trikromatik renkli görme sergilediği belirtilmiş ve varyasyon gösteren durumlar için henüz adaptif bir açıklama yapılamamıştır (Briscoe ve Chittka 2001).

### 3. MATERYAL VE METOD

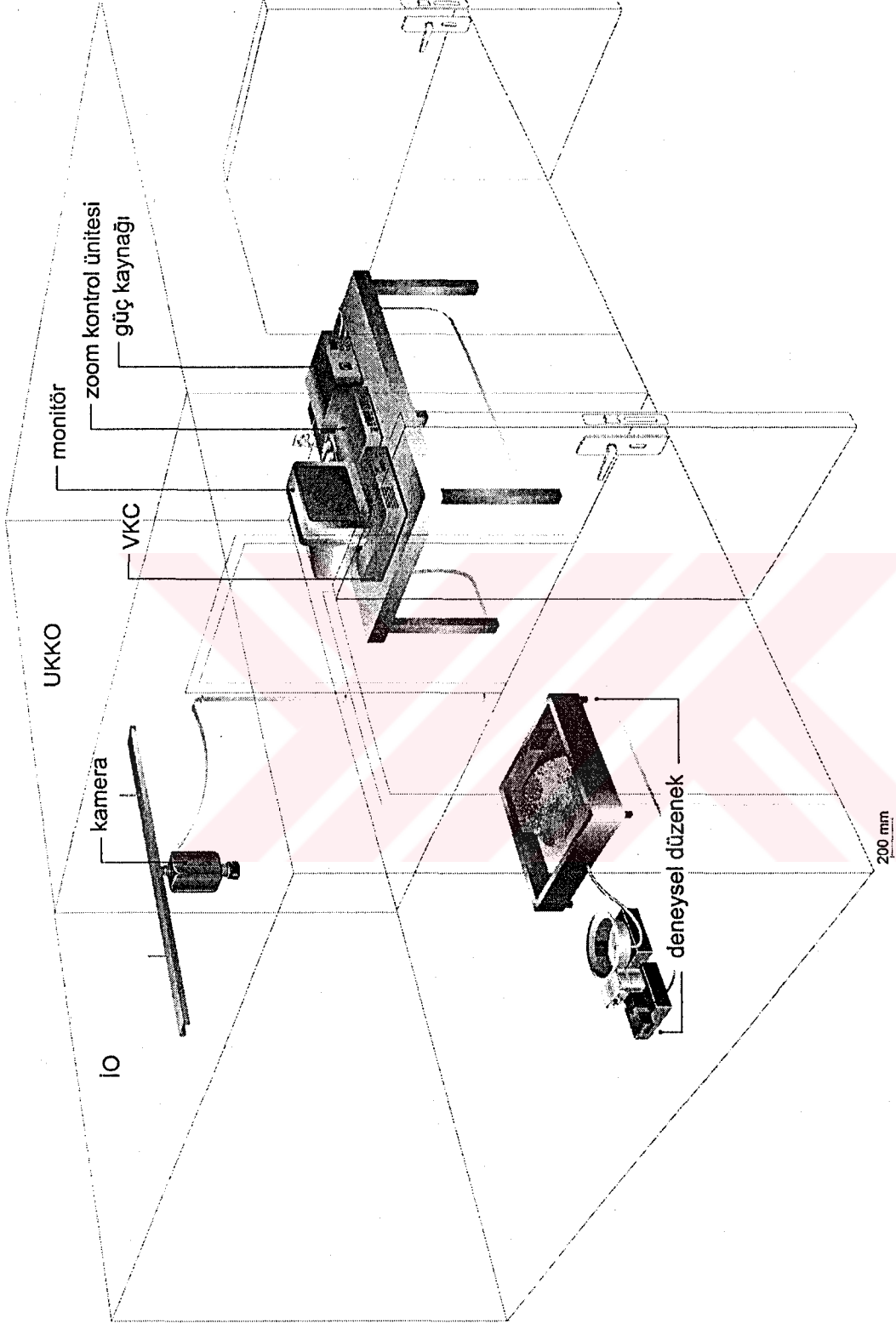
#### 3.1. Materyal (Karıncalar)

Bu çalışmada *Formica rufa* grubuna (kırmızı orman karıncaları) ait *Formica pratensis* Retzius, 1783 türü kullanılmıştır. Bu tür Portekiz'den Sibirya'ya Kuzey İtalya'dan Orta İsveç'e kadar dağılım göstermektedir (Collingwood, 1979). *F. pratensis* yuvalarının bulunduğu yerler Avrupa'nın düşük rakımlı alpin çayırlıkları, orman sınırlarındaki açıklık alanlar ve kırık arazilerdir. Yuvaları diğer *F. rufa* grubu üyelerininkine oranla ufak olup işçi sayısı 60.000'e kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.1).

Canlı materyal olarak Edirne-Avarız köyü civarında tespit edilen *Formica rufa* (kırmızı orman karıncaları) grubundan *Formica pratensis*'e ait yuvadan yaklaşık birkaç bin işçi yuva materyali ile birlikte fluon kaplı bidonlarla iklim odasına taşınmıştır. İklim odasına transfer edilen koloni plastik bir kabın içine konulmuş ve karıncaların ışık, nem ve ısı (ışık: 12:12; nem: %25-30; ısı: 23-25 C°) koşulları doğal ortamlarına benzer şekilde laboratuvar (Şekil 3.2) içinde ayarlanarak 1 ay süre ile yuvalarını yerleştirmeleri ve alışma periyotlarını geçirmeleri sağlanmıştır. Karıncaların konuldukları kaptan dışarı çıkışları kabın duvarlarına fluon sürülerek engellenmiştir.



Şekil 3.1 *Formica pratensis* yuvası.



Şekil 3.2 Deneyin yapıldığı laboratuvarın genel planı. İO; İklim odası, UKKO; Uzaktan kumanda kayıt odası, VKC; Video kayıt cihazı.



### 3.2. Deneysel Düzenek

Spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen deneylerde dört ayrı yuva platformuna (yuva 1, yuva 2, yuva 3, yuva 4) konulan aynı yuvanın işçileri için dört farklı ışık uyarınının (UV, mavi, yeşil ve kırmızı) kullanıldığı özdeş dört deney seti kurulmuştur (Şekil 3.3a). Karıncaların yuvanın bulunduğu arenadan çıkan 1,5 cm. apında, 34 cm. uzunluğunda plastik bir boru aracılığıyla oriyantasyon platformunun ortasındaki bir delikten oriyantasyon platformuna geçişleri sağlanmıştır. Karıncaların oriyantasyon platformundan besin kutusuna geçişleri yine 1,5 cm. apında ve 9 cm. uzunluğunda plastik bir boru aracılığıyla sağlanmıştır. Besin kutusuyla bağlantının sağlandığı borunun bitimindeki geçiş deliklerinden *Formica pratensis*'in duyarlı olup olmadığının test edildiği ışık uyarınları optik renk deneylerinde kullanılan standart halojen ışık kutusu (12 V/20 W, 09801.00, Phywe) aracılığıyla oriyantasyon platformuna düşürülmüştür. Işık kutusunun  n yüzüne test edilen dalga boylarının elde edilebilmesi amacıyla optik renk deneylerinde kullanılan uluslar arası standarda sahip ultraviyole (08460.00, Phywe), mavi (BG 7, Phywe), yeşil (VG 9, Phywe) ve kırmızı (RG 610, Phywe) renk filtreleri yerleştirilmiştir (Şekil 3.3.a). Test edilen ışık uyarınlarının şiddetleri bir akım gerilim kaynağı aracılığıyla (36V-10A DC) her bir dalga boyu için 12 V, 1.6 A olacak şekilde ayarlanmıştır.

Renge bağlı besin yönünü seçme deneylerinde ise karıncaların iki farklı dalga boyunun geldiği besin kutularına doğru geçişleri için ana kol uzunluğu 34 cm., yan kol uzunlukları ise 15 cm. olan ışık geçirmeyen plastik bir Y-boru kullanılmıştır. Borunun her iki yan kolu besin kutularına açılacak şekilde yerleştirilmiş ve bu besin kutularından birine besin konulurken, diğer besin kutusu boş bırakılmıştır (Şekil 3.4).

### 3.2.1. Diğer Oriyantasyon Faktörlerinin Baskılanması

Spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen deneylerde oriyantasyon platformunun daire şeklinde olmasından dolayı, karıncaların dönüş hafızalarını kullanmaları olasılığı ortadan kaldırılmıştır. Yerçekimi kullanımını engellemek amacıyla deney setinin bulunduğu zemin düz bir şekilde ayarlanmıştır. Koku izi feromonları yön tayininde karıncalar tarafından yaygın bir şekilde kullanıldığı için bunu engellemek ve sadece ışık uyarısını kullanmalarını teşvik etmek için oriyantasyon platformunun zemini 40 cm. çapında dairesel kurutma kağıdı (oriyantasyon diski) ile kaplanmış ve eğitim dönemlerinde belli sıklıklarla, test döneminde ise her bir karınca test edildikten sonra oriyantasyon diski yenileriyle değiştirilmiştir.

Renge bağlı besin kaynağı yönünü seçme deneylerinde ise karıncaların yön tayininde koku izi feromonlarını kullanmalarını engellemek amacıyla Y-boru eğitim ve test dönemlerinde belli aralıklarla alkolle temizlenmiştir. Deney esnasında besin kutularına ulaşan bireyler bir fırça yardımıyla alınarak yuvadan farklı bir kaba konulmuş, böylece her bireyin sadece bir kere test edilmesi sağlanmıştır. Deney esnasında besinin koku oluşturması olasılığına karşın besin uzaklaştırılmıştır. Bu deneylerde ışık geçirmeyen plastik bir Y-borunun kullanılmasıyla karıncaların sadece karar verme noktasında ışık uyarılarını görmesi sağlanmıştır.

Görmeye dayalı her türlü çevresel etkiyi ortadan kaldırmak için eğitim dönemi ve deneylerin tümü total karanlıkta gerçekleştirilmiş, infrared dalga boyu ışık ve dolayısıyla renk sağlamadığı için kayıtlar infrared kayıt yapabilen bir kamerayla gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Eğitim

Eğitim iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

**3.3.1. Spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın tespit edilmesine yönelik yapılan eğitim:** Karıncalar yukarıda açıklanan 4 ayrı eğitim deney seti düzeneğinde (Şekil 3.3a, b) duyarlı olup olunmadığının araştırıldığı her dalga boyu için (UV, mavi, yeşil ve kırmızı) total karanlıkta, yaklaşık 1 ay süre ile eğitilmişlerdir. Bu süre içinde test edilen ışık uyarınının geldiği besin kutusuna sulandırılmış bal ve taze böcek konulmuş, böylece karıncaların test edilen ışık uyarısına doğru yönelmeleri teşvik edilmiştir.

**3.3.2 Renklere bağlı olarak besin kaynağı yönünü seçebilme yeteneklerinin varlığını saptamaya yönelik yapılan eğitim:** Karıncalar 4 ayrı eğitim deney seti düzeneğinde (Şekil 3.4) iki besin kutusundan gelen iki farklı dalga boyunun bulunduğu ortamda besin kutularından birine besin konulup o dalga boyuna ödüllendirme şeklinde yaklaşık 1 ay süre ile total karanlıkta eğitilmişlerdir. Bu 4 setin kombinasyonu her bir dalga boyunu diğeriyle deneyecek şekilde düzenlenmiştir.

**3.3.2.1: UV-Yeşil:** UV ışığın geldiği besin kutusuna besin konulmuş, yeşil ışığın geldiği kutu boş bırakılmıştır.

**3.3.2.2: Yeşil-Mavi:** Yeşil ışığın geldiği besin kutusuna besin konulmuş, mavi ışığın geldiği kutu boş bırakılmıştır.

**3.3.2.3: Mavi-Kırmızı:** Mavi ışığın geldiği besin kutusuna besin konulmuş, kırmızı ışığın geldiği kutu boş bırakılmıştır.

**3.3.2.4: Kırmızı-UV:** Kırmızı ışığın geldiği besin kutusuna besin konulmuş, UV ışığın geldiği kutu boş bırakılmıştır.

### 3.4. Deney

Eğitim süresi sonunda deneylere geçilmiştir. Test ve kontrol deneylerinde her test öncesi oriyantasyon platformu alkolle temizlenmiş, platforma çıkan her bir birey için yeni bir oriyantasyon diski kullanılmıştır. Oriyantasyon diski (40 cm. çap) kenarlarında 5'er derecelik aralıklarla 360°'ye bölünmüş olup oriyantasyon platformunun merkezindeki delikten çıkıp 20 cm.'lik mesafeyi kat ettikten sonra oriyantasyon diskinin kenarına ulaşan karıncalar başarılı kabul edilerek ulaştıkları açılar kaydedilmiş, oriyantasyon deneylerinde genellikle kabul edilen bu mesafeyi kat etmeyen, yani oriyantasyon diskinin kenarına ulaşmayan karıncalar değerlendirmeye alınmamıştır. Test sonucunda karıncaların gösterdikleri yönsel açılar video kasetlerine kaydedilmiş ve karıncaların bu yönsel dağılım esnasında oluşturdukları izler de bu kayıtlar seyredilerek değerlendirilmiştir. Oriyantasyon platformuna tek tek çıkışlar göz önüne alınmış, sosyal etkileşim düşünülerek platformda aynı anda birden fazla karıncanın olduğu durumlar değerlendirilmemiş ve bu bireyler uzaklaştırıldıktan sonra oriyantasyon diski yenisiyle değiştirilerek deneye devam edilmiştir. Deney süresince besinin koku oluşturabileceği olasılığına karşın besin uzaklaştırılmıştır. Kamera ile kaydedilip tespit edilen açısal dağılımın istatistiksel değerlendirilmesinde Dairesel İstatistik Metodu (Circular Statistics Methods, Zar 1984) kullanılmıştır. İstatistiksel bir anlam oluşturması açısından her deneyde en az 30 birey kullanılmıştır.

Deney test I, test II, kontrol ve renge bağlı besin kaynağı yönünü seçme şeklinde 4 aşamalı yürütülmüştür.

**3.4.1. Test I (Işık Uyarılarının Olduğu Alanda Karıncaların Dağılımı):** Test deneyinde karıncaların daha önce eğitildikleri dalga boylarına duyarlı olup olmadıkları tespit edilmiştir. Test I deneyi 4 aşamalı yürütülmüştür.

**3.4.1.1. Spektrumun Ultraviyole Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyaranı olarak ultraviyole ışık kullanılmıştır.

**3.4.1.2. Spektrumun Mavi Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyaranı olarak mavi ışık kullanılmıştır.

**3.4.1.3. Spektrumun Yeşil Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyaranı olarak yeşil ışık kullanılmıştır.

**3.4.1.4. Spektrumun Kırmızı Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyararı olarak kırmızı ışık kullanılmıştır.

**3.4.2. Test II (Işık Uyarılarının 90° Çevrildiği Alanda Karıncaların Dağılımı):** Birinci test deneyi tamamlandıktan sonra karıncaların çok zayıfta olsa manyetik alanı yön tayininde kullanabilmeleri olasılığına karşın (Şekil 3.3c) ışık uyarılarının geldiği besin kutularının yönleri 90° çevrilerek birinci test deneyindeki her bir set tekrarlanmıştır.

**3.4.2.1. Spektrumun Ultraviyole Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyararı olarak ultraviyole ışık kullanılmıştır.

**3.4.2.2. Spektrumun Mavi Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyararı olarak mavi ışık kullanılmıştır.

**3.4.2.3. Spektrumun Yeşil Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyararı olarak yeşil ışık kullanılmıştır.

**3.4.2.4. Spektrumun Kırmızı Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:** Test arenasında test edilen ışık uyararı olarak kırmızı ışık kullanılmıştır.

**3.4.3. Kontrol Deneyi (Total Karanlıkta Karıncaların Dağılımı):** Test deneylerinde kullanılan ışık uyarıları uzaklaştırılmış ve karıncaların hiçbir ışık uyararı olmadan besin kaynağının yönünü tespit edip edemedikleri gözlenmiştir.

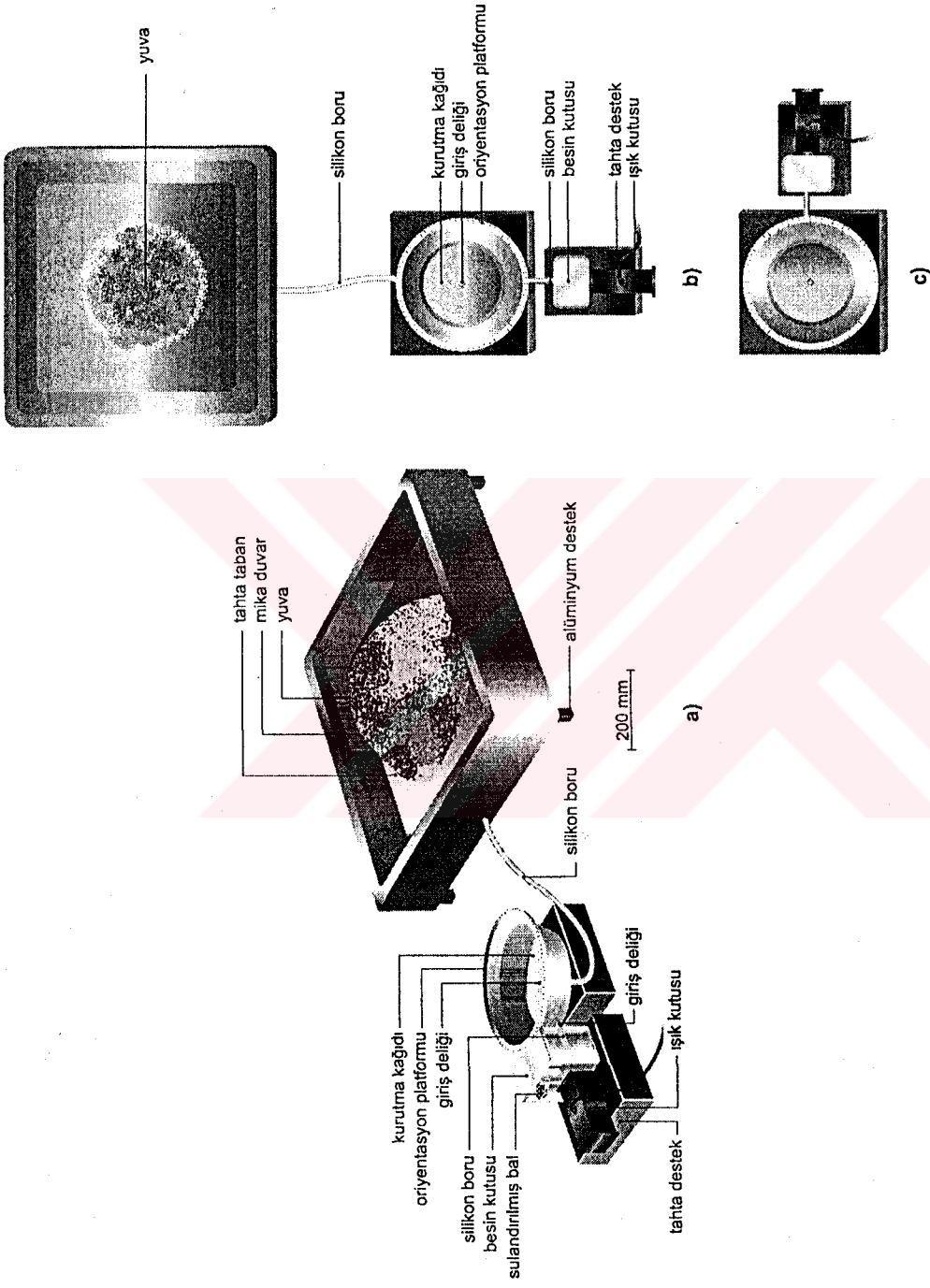
**3.4.4. Renklere Bağlı Besin Kaynağı Yönünü Seçme:** Eğitim aşamasında kullanılan her dalga boyunu içerecek şekilde 4 ayrı set üzerinde eğitimleri gerçekleştirilen karıncaların besinin bulunduğu kutunun yönünü seçmede ortamdaki diğer dalga boyundan ziyade eğitildikleri dalga boyunu kullanıp kullanmadıkları test edilmiştir.

**3.4.4.1. Set 1: UV-Yeşil:** UV seçicilik.

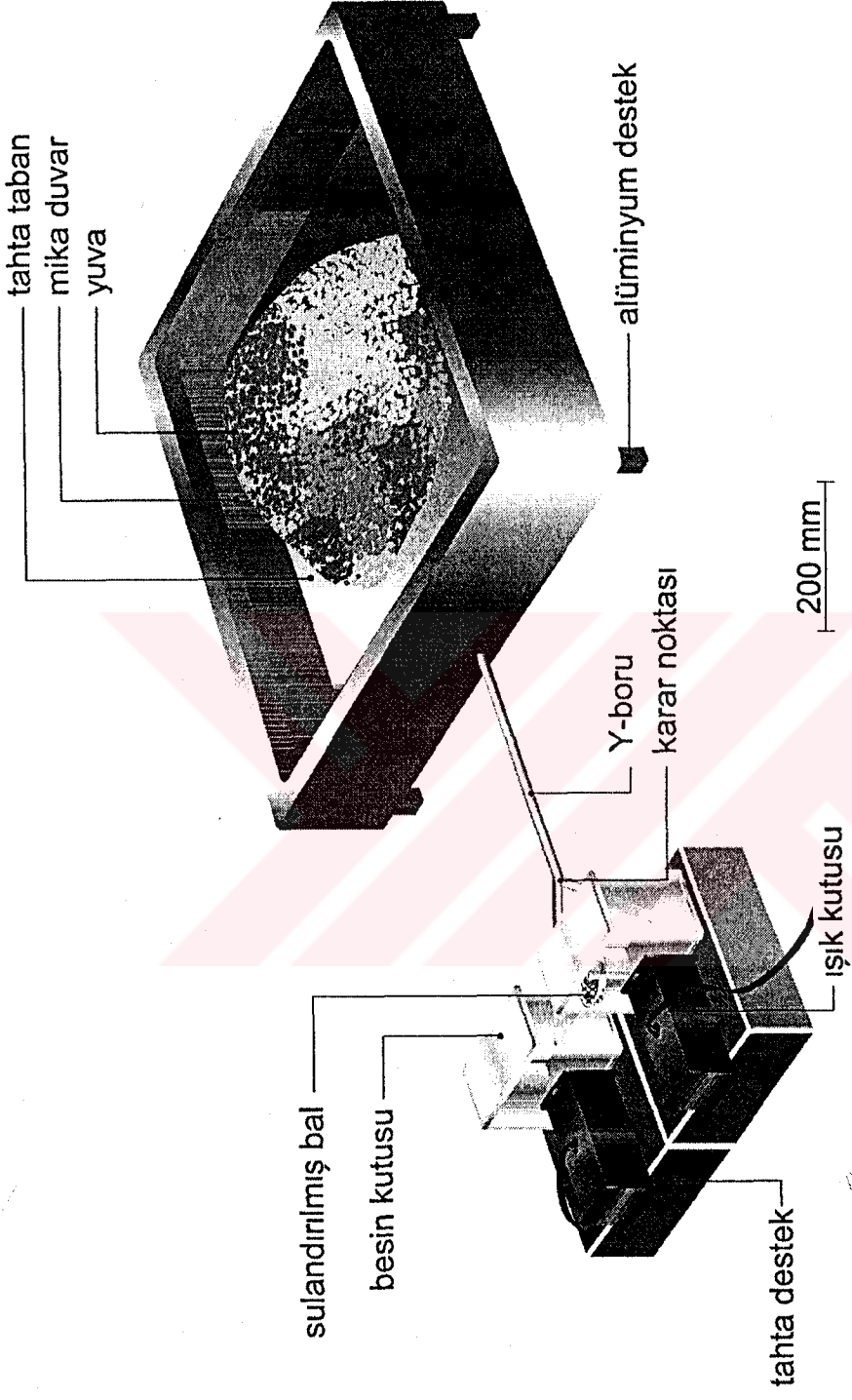
**3.4.4.2. Set 2: Yeşil-Mavi:** Yeşil seçicilik.

**3.4.4.3. Set 3: Mavi-Kırmızı:** Mavi seçicilik.

**3.4.4.4. Set 4: Kırmızı-UV:** Kırmızı seçicilik.



Şekil 3.3 Deney düzeni a) Deney 3.4.1, 3.4.3 eleasyon b) Deney 3.4.1, 3.4.3 plan görünümü c) Deney 3.4.2 plan görünümü



Şekil 3.4 Deneysel düzenek (deney 3.4.4)

### 3.5. Araştırmada Kullanılan İstatistiksel Metot: Dairesel İstatistik Metodu (Circular Statistics Methods)

Dairesel istatistik metodu davranış ve özellikle oriyantasyon çalışmalarında yaygınca kullanılan, deneklerin 360°'lik bir alandaki dağılımına ait açısal verilerin istatistiksel analizine dayanan bir metottur.

Metot ortalama vektör açısı ( $a$ ) ve bunun uzunluğundan ( $r$ ) köken almaktadır. Uzunluk yani " $r$ " bireylerin gösterdikleri yönelimin (oriyantasyonun) uyum miktarını gösterir. Eğer bütün oriyantasyon dereceleri aynı yönü gösteriyorsa " $r=1$ " olur. Eğer bu açılar ve dereceler 360° etrafında uniform dağılmışsa " $r=0$ " dır.

Bir populasyonun yada deneyde kullandığımız bireylerin dairesel dağılımının tekdüzelikten (uniform) farklı olduğunu göstermek için V testi kullanılır. Bununla birlikte bu test örneklerin ortalama yönünün beklenen yönden (ev yönü) belirgin bir şekilde sapıp saptığını göstermez. Bu amaç için bir başka test "Güvenilirlik Aralığı (%95)" kullanılmıştır (Aneshansley ve Larkin 1981). Bu durumda her ortalama açının etrafındaki %95'lik güvenilirlik aralığı tespit edilir ve beklenen yönün bu aralık içine düşüp düşmediğine bakılır. Eğer beklenen yön (ev yönü) bu %95'lik güvenilirlik aralığı içinde ise eve doğru oriyantasyon gerçekleştirilmiş demektir.

Deneyler esnasında kaydedilen derecelerin analizi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

1) Her bir açının sin ve cos'ünü hesaplama ve bunları toplama

$V = \text{Cosünüslerin toplamı}$

$W = \text{Sinüslerin toplamı}$

2)  $R$ 'yi hesaplama

$R = \sqrt{V + W}$

3)  $a$ 'yı hesaplama (ortalama vektör açısı)

$\text{Cosa} = V / R$

4)  $r$ 'yi hesaplama (ortalama vektör uzunluğu)

$r = R / n$

5)  $h$ 'ı hesaplama (ev bileşeni)

$h = r \cdot \text{Cos}(a - \theta)$

$\theta = \text{Beklenen yön (ev açısı)}$

6) Test istatistiği



$H_0$ = Populasyon  $360^\circ$ etrafında uniform dağılmıştır.

$$U = \sqrt{2n} \cdot H$$

Tablo 3.1 V test için kritik değerleri göstermektedir ( $\alpha = 0.25, 0.10, 0.05, 0.01, 0.005, 0.001, 0.0001$ )

Eğer hesaplanan  $U \geq U_{\text{tablo}}$  ise yukarıdaki hipotezi ret edebiliriz. Bu durumda ortalama vektör uzunluğu yani “r” 0’dan oldukça farklıdır. Eğer  $U < U_{\text{tablo}}$  ise  $H_0$  hipotezimiz ret edilemez.

7) Ortalama vektör açısı için güvenilirlik aralığı Şekil 3.5’i (%95 güvenilirlik aralığı) kullanarak sapma açısını “d” yi buluruz ki bu derece ile ölçülmektedir. Bu sapma açısı örnek sayısı “n” ve ortalama vektör uzunluğu “r” kullanılarak tayin edilir.

$$\text{Güvenilirlik aralığı} = a \pm d$$

Eğer beklenen yön (ev yönü) bu güvenilirlik aralığı içinde ise ev oryantasyonu yapılmış demektir.

**Örnek:** 30 karıncaya ait açılarının dağılımı aşağıda verilmiştir:

ev açısı (home angle:h.a.) =  $130^\circ$

Birey No	Karıncaların Açısız Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısız Dağılımları
1	$130^\circ$	16	$160^\circ$
2	$90^\circ$	17	$355^\circ$
3	$30^\circ$	18	$90^\circ$
4	$130^\circ$	19	$155^\circ$
5	$270^\circ$	20	$30^\circ$
6	$170^\circ$	21	$150^\circ$
7	$140^\circ$	22	$230^\circ$
8	$250^\circ$	23	$80^\circ$
9	$310^\circ$	24	$125^\circ$
10	$260^\circ$	25	$165^\circ$
11	$45^\circ$	26	$95^\circ$
12	$120^\circ$	27	$355^\circ$
13	$50^\circ$	28	$125^\circ$
14	$130^\circ$	29	$310^\circ$
15	$90^\circ$	30	$150^\circ$

$$V = -3.009$$

$$W = 9.907$$

$$h. a = 130^\circ$$
$$R = \sqrt{(-4.582 + 9.7)}$$
$$R = 5.118$$

$$\text{Cosa} = -4.582 / 5.118$$
$$a = 115.288^\circ$$

$$r = 5.118 / 30$$
$$r = 0.358$$

$$h = 0.358 \times \text{Cos } x (115.288 - 130)$$
$$h = 0.346$$

$$U = \sqrt{2} \times 30 \times 0.346$$
$$U = 2.68$$

Tablo 3.1'i kullanarak  $p < 0.01$  değeri ile önemli bir sonuca ulaşabiliriz.

%95 güvenilirlik aralığı

$$r = 0.358$$

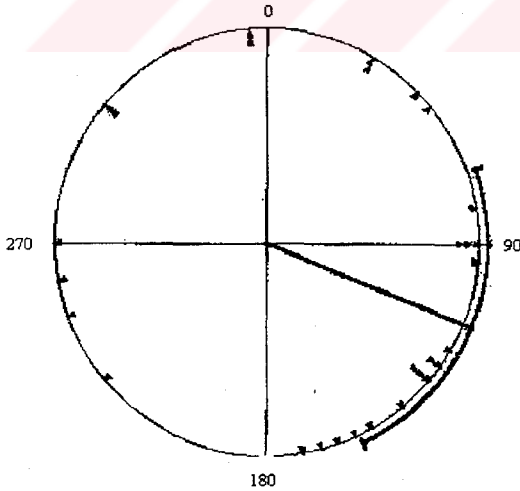
$$n = 30$$

Şekil 3.5'e göre  $d = 44^\circ$ , %95'lik güven aralığına göre:

$$115.288^\circ \pm 44^\circ$$

$$71.288^\circ < h.a < 159.288^\circ$$

Güvenilirlik aralığı beklenen yönü içerdiği için ev yönelimi gerçekleşmiş demektir.



h.a (home angle-ev açısı) = 130°

n (birey sayısı) = 30

a (ortalama vektör açısı) = 115.288°

r (ortalama vektör uzunluğu) = 0.358

h (h bileşeni) = 0.346

U (V istatistik kritik değeri) = 2.68

P < 0.01

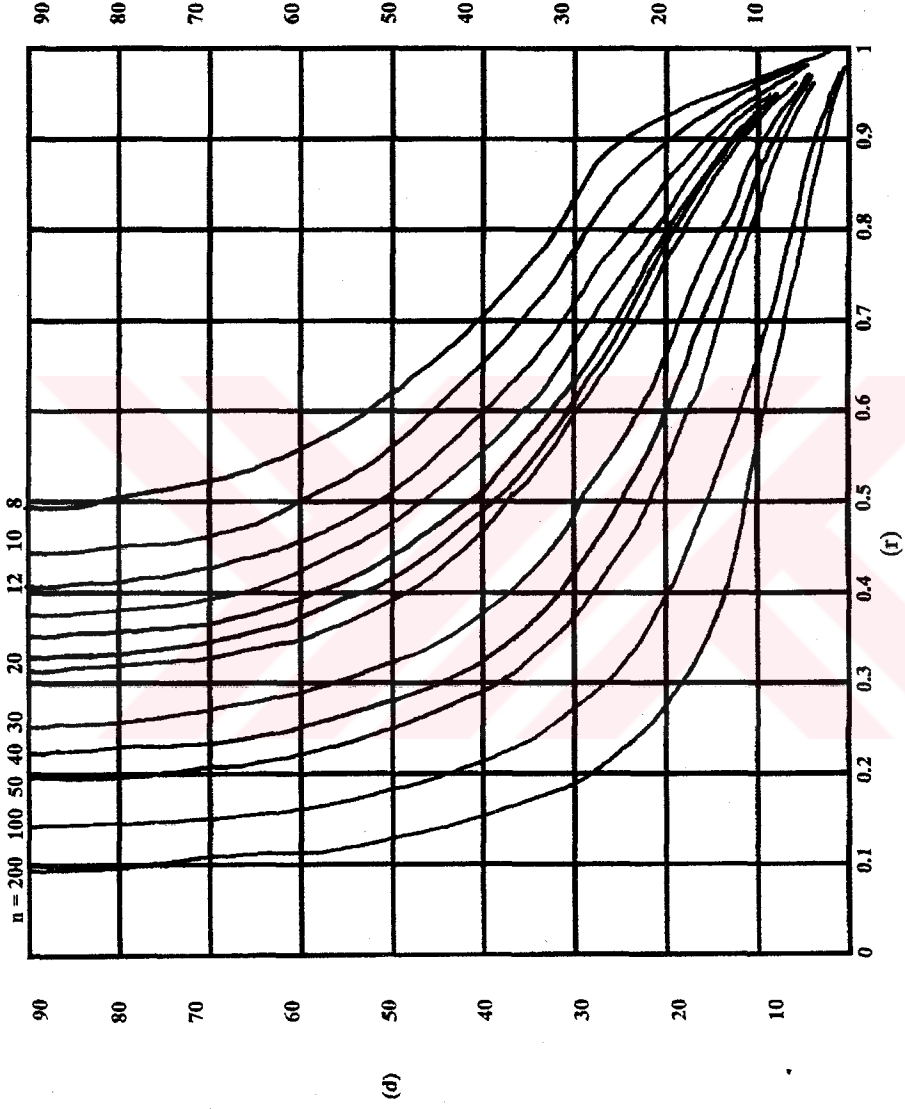
%95 güvenirlilik aralığı (g.a): 71.288° < 130° < 159.288°

±d = 44°



Tablo 3.1: V Testi İçin Kritik U Değerleri

n	$\alpha = 0.25$	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
	0.688	1.296	1.649	1.947	2.280	2.498	2.691	2.916	3.066
	0.687	1.294	1.649	1.948	2.286	2.507	2.705	2.937	3.094
	0.685	1.293	1.648	1.950	2.290	2.514	2.716	2.954	3.115
	0.684	1.292	1.648	1.950	2.293	2.520	2.725	2.967	3.133
	0.684	1.291	1.648	1.951	2.296	2.525	2.732	2.978	3.147
	0.683	1.290	1.647	1.952	2.299	2.529	2.738	2.987	3.159
	0.682	1.290	1.647	1.953	2.301	2.532	2.743	2.995	3.169
	0.682	1.289	1.647	1.953	2.302	2.535	2.748	3.002	3.177
	0.681	1.289	1.647	1.953	2.304	2.538	2.751	3.008	3.185
	0.681	1.288	1.647	1.954	2.305	2.540	2.755	3.013	3.191
	0.681	1.288	1.647	1.954	2.306	2.542	2.758	3.017	3.197
	0.680	1.287	1.647	1.954	2.308	2.544	2.761	3.021	3.202
	0.680	1.287	1.646	1.955	2.308	2.546	2.763	3.025	3.207
	0.680	1.287	1.646	1.955	2.309	2.547	2.765	3.028	3.211
	0.679	1.287	1.646	1.955	2.310	2.549	2.767	3.031	3.215
	0.679	1.286	1.646	1.955	2.311	2.550	2.769	3.034	3.218
	0.679	1.286	1.646	1.956	2.311	2.551	2.770	3.036	3.221
	0.679	1.286	1.646	1.956	2.312	2.552	2.772	3.038	3.224
	0.679	1.286	1.646	1.956	2.313	2.553	2.773	3.040	3.227
	0.678	1.286	1.646	1.956	2.313	2.554	2.775	3.042	3.229
	0.678	1.285	1.646	1.956	2.314	2.555	2.776	3.044	3.231
	0.678	1.285	1.646	1.956	2.314	2.555	2.777	3.046	3.233
30	0.678	1.285	1.646	1.957	2.315	2.556	2.778	3.047	3.235
	0.678	1.285	1.646	1.957	2.315	2.557	2.780	3.050	3.239
	0.678	1.285	1.646	1.957	2.316	2.558	2.781	3.052	3.242
	0.677	1.285	1.646	1.957	2.316	2.559	2.783	3.054	3.245
	0.677	1.284	1.646	1.957	2.317	2.560	2.784	3.056	3.247
	0.677	1.284	1.646	1.957	2.317	2.561	2.785	3.058	3.249
	0.677	1.284	1.646	1.958	2.318	2.562	2.786	3.060	3.251
	0.677	1.284	1.646	1.958	2.318	2.562	2.787	3.061	3.253
	0.677	1.284	1.646	1.958	2.319	2.563	2.788	3.062	3.255
	0.677	1.284	1.645	1.958	2.319	2.564	2.789	3.063	3.256
	0.677	1.284	1.645	1.958	2.319	2.564	2.790	3.065	3.258
	0.676	1.284	1.645	1.958	2.320	2.565	2.791	3.067	3.261
	0.676	1.283	1.645	1.958	2.320	2.566	2.793	3.069	3.263
	0.676	1.283	1.645	1.958	2.321	2.567	2.794	3.071	3.265
	0.676	1.283	1.645	1.958	2.321	2.567	2.795	3.072	3.267
	0.676	1.283	1.645	1.959	2.322	2.568	2.796	3.073	3.269
	0.676	1.283	1.645	1.959	2.322	2.568	2.796	3.074	3.270
	0.676	1.283	1.645	1.959	2.322	2.569	2.797	3.076	3.272
	0.676	1.283	1.645	1.959	2.323	2.570	2.798	3.077	3.274
	0.675	1.282	1.645	1.959	2.323	2.571	2.800	3.080	3.277
	0.675	1.282	1.645	1.959	2.324	2.572	2.801	3.081	3.279
	0.675	1.282	1.645	1.959	2.324	2.572	2.802	3.082	3.280
	0.675	1.282	1.645	1.959	2.324	2.573	2.802	3.083	3.282
	0.675	1.282	1.645	1.959	2.325	2.573	2.803	3.084	3.282
	0.675	1.282	1.645	1.960	2.325	2.574	2.804	3.086	3.285
	0.6747	1.2818	1.5449	1.9598	2.3256	2.5747	2.8053	3.0877	3.2873



**Şekil 3.5** Ortalama vektör açısının (a) % 95'lik güven aralıklarının belirlenmesinde kullanılan grafik. (n= örnek sayısı, d= sapma açısı, r= ortalama vektör uzunluğu).

## 4. BULGULAR

*Formica pratensis* üzerinde gerçekleştirilen farklı dalga boyu duyarlılığı ile ilgili deneylerde yönsel açılar tespit edilirken oriyantasyon platformunda tek tek bireylerin var olduğu gözlemler değerlendirilmiş, platformda aynı anda iki bireyin olduğu durumlar sosyal etkileşim olabileceği düşünülerek değerlendirilmemiştir.

Karıncaların oriyantasyon platformuna merkezdeki delikten çıktıktan sonra 360°'lik alanda gösterdikleri yönsel dağılımla eğitildikleri ışık uyarınının geldiği yöne yönelip yönelmedikleri ve dolayısıyla ışık uyarısına duyarlılık gösterip göstermediklerinin tespitine yönelik veriler Dairesel İstatistik Metodu-Circular Statistics Methods (Zar 1984) kullanılarak değerlendirilmiştir.

### 4.1. Test I (Işık Uyarılarının Olduğu Alanda Karıncaların Dağılımı)

#### 4.1.1. Spektrumun Ultraviyole Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:

Spektrumun ultraviyole bölgesine olan duyarlılığın test edildiği (deney 3.4.1.1) deneyden elde edilen veriler karıncaların daha önce eğitilmiş oldukları ultraviyole dalga boyuna doğru anlamlı bir yönelim gerçekleştirdiklerini göstermekte ( $h.a=0^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a=344,99^\circ$ ,  $r=0,661$ ,  $h=0,638$ ,  $U=4.94$ ,  $d=20^\circ$ ,  $P<0.0005$ , Şekil 4.1, Şekil 4.2, Tablo A.1), bu sonuçta *Formica pratensis*'in elektromanyetik spektrumun ultraviyole bölgesine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4.1.2. Spektrumun Mavi Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:

Spektrumun mavi bölgesine olan duyarlılığın test edildiği (deney 3.4.1.2) deneyden elde edilen veriler karıncaların daha önce eğitilmiş oldukları mavi dalga boyuna doğru anlamlı bir yönelim gerçekleştirdiklerini göstermekte ( $h.a=0^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a=4.448^\circ$ ,  $r=0.784$ ,  $h=0.782$ ,  $U=6.05$ ,  $d=16^\circ$ ,  $P<0.0005$ , Şekil 4.1, Şekil 4.2, Tablo A.2),

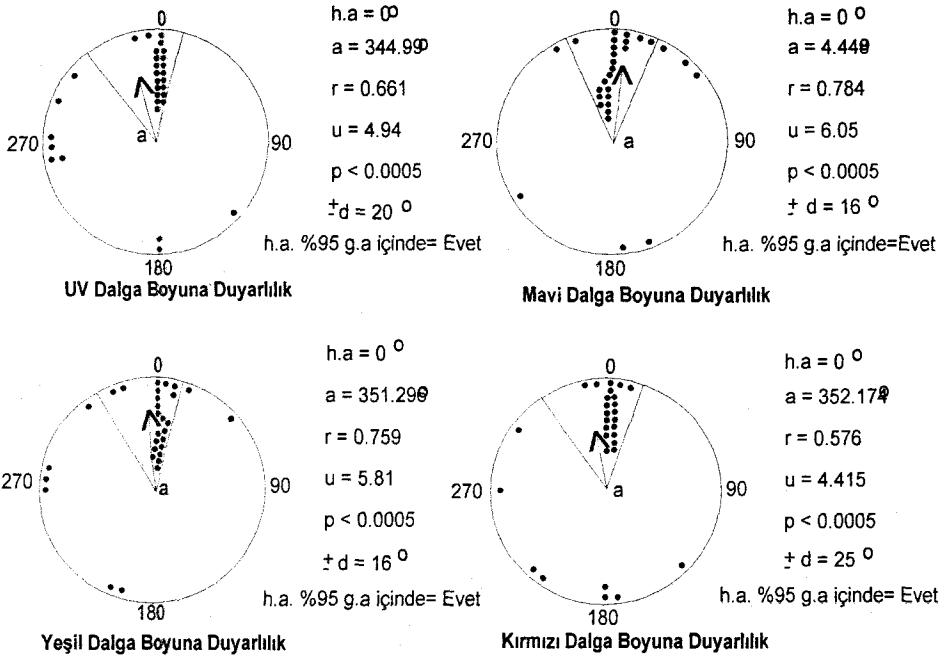
bu sonuçta *Formica pratensis*'in elektromanyetik spektrumun mavi bölgesine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4.1.3. Spektrumun Yeşil Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:

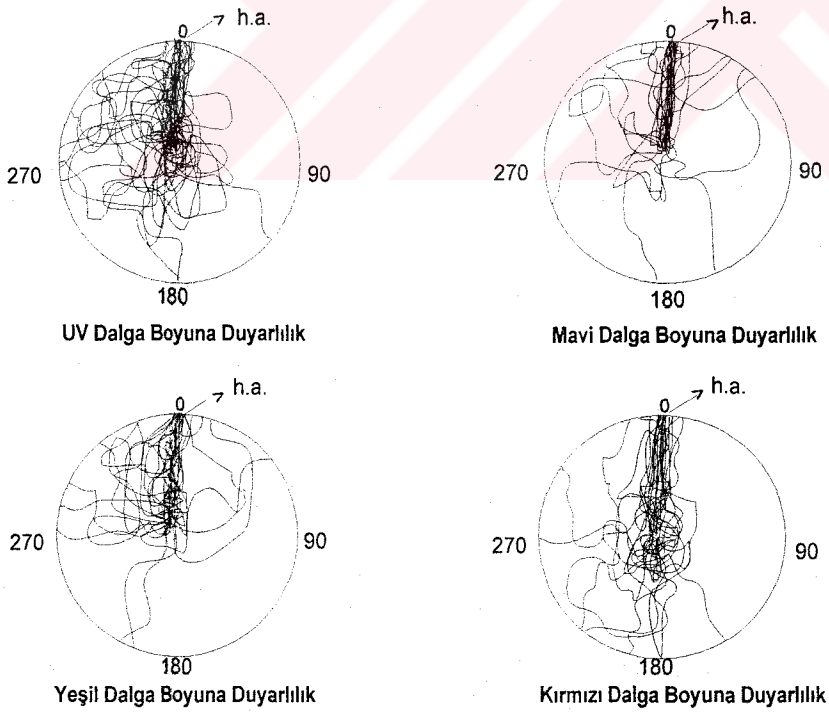
Spektrumun yeşil bölgesine olan duyarlılığın test edildiği (deney 3.4.1.3) deneyden elde edilen veriler karıncaların daha önce eğitilmiş oldukları yeşil dalga boyuna doğru anlamlı bir yönelim gerçekleştirdiklerini göstermekte ( $h.a= 0^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a= 351.296^\circ$ ,  $r= 0.759$ ,  $h= 0.751$ ,  $U= 5.81$ ,  $d= 16^\circ$ ,  $P<0.0005$ , Şekil 4.1, Şekil 4.2, Tablo A.3), bu sonuçta *Formica pratensis*'in elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

#### 4.1.4. Spektrumun Kırmızı Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:

Spektrumun kırmızı bölgesine olan duyarlılığın test edildiği (deney 3.4.1.4) deneyden elde edilen veriler karıncaların daha önce eğitilmiş oldukları kırmızı dalga boyuna doğru anlamlı bir yönelim gerçekleştirdiklerini göstermekte ( $h.a= 0^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a= 352.174^\circ$ ,  $r= 0.576$ ,  $h= 0.57$ ,  $U= 4.415$ ,  $d=25^\circ$ ,  $P<0.0005$ , Şekil 4.1, Şekil 4.2, Tablo A.4), bu sonuçta *Formica pratensis*'in elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesine duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.



**Şekil 4.1** Spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın test edildiği Test I deneyinde (deney 3.4.1) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açisal dağılımlar.



**Şekil 4.2** Test I (deney 3.4.1) deneyleri sonucunda *Formica pratensis* işçilerinin oluşturdukları izler.



## **4.2. Test II (Işık Uyarının 90° Çevrildiği Alanda Karıncaların Dağılımı)**

### **4.2.1. Spektrumun Ultraviyole Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:**

Karıncaların olası manyetik alan kullanımlarını engellemek amacıyla ışık uyarınının 90° çevrildiği ultraviyoleye duyarlılık deneyinin (deney 3.4.2.1) sonucunda karıncaların gösterdikleri açısal dağılım, ışık uyarınının ilk konumunda olduğu (deney 3.4.1.1) ultraviyole duyarlılığı sonuçlarıyla (Tablo A.1) uyum göstermektedir ( $h.a= 90^\circ$ ,  $n= 30$ ,  $a= 71.277^\circ$ ,  $r= 0.696$ ,  $h= 0.66$ ,  $U= 5.11$ ,  $d=19.5^\circ$ ,  $P < 0.0005$ , Şekil 4.3, Şekil 4.4, Tablo B.1).

### **4.2.2. Spektrumun Mavi Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:**

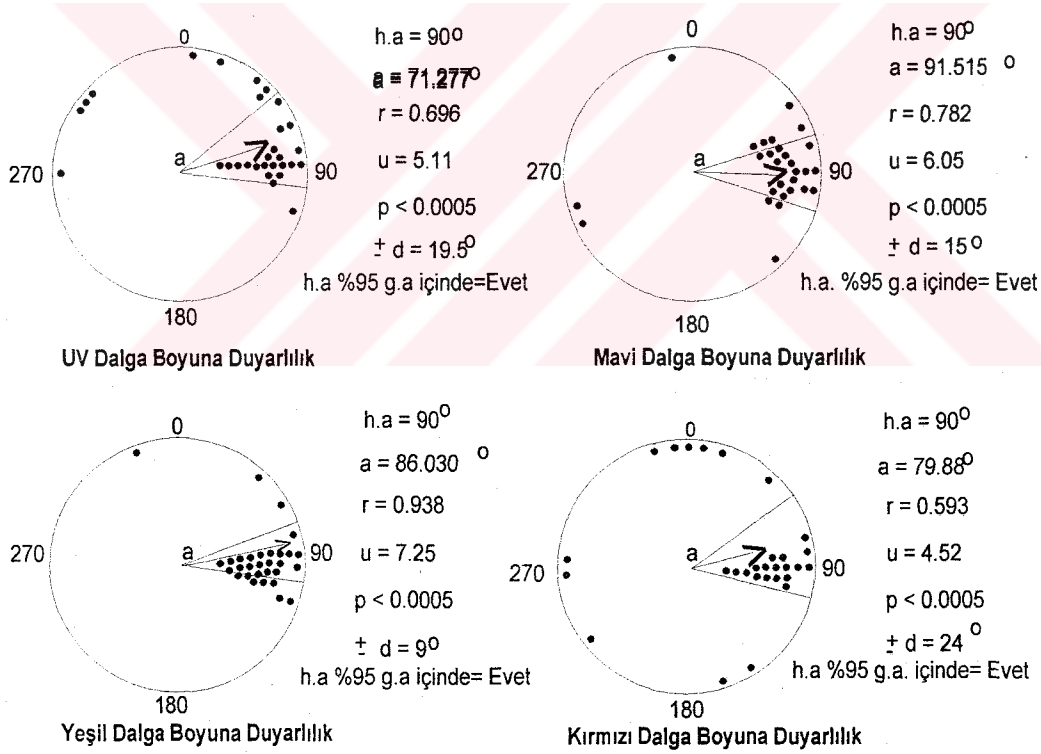
Karıncaların olası manyetik alan kullanımlarını engellemek amacıyla ışık uyarınının 90° çevrildiği maviye duyarlılık deneyinin (3.4.2.2) sonucunda karıncaların gösterdikleri açısal dağılım, ışık uyarınının ilk konumunda olduğu (deney 3.4.1.2) mavi duyarlılığı sonuçlarıyla (Tablo A.2) uyum göstermektedir ( $h.a= 90^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a= 91.515^\circ$ ,  $r= 0.782$ ,  $h=0.782$ ,  $U= 6.05$ ,  $d=15^\circ$ ,  $P < 0.0005$ , Şekil 4.3, Şekil 4.4, Tablo B.2).

### **4.2.3. Spektrumun Yeşil Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:**

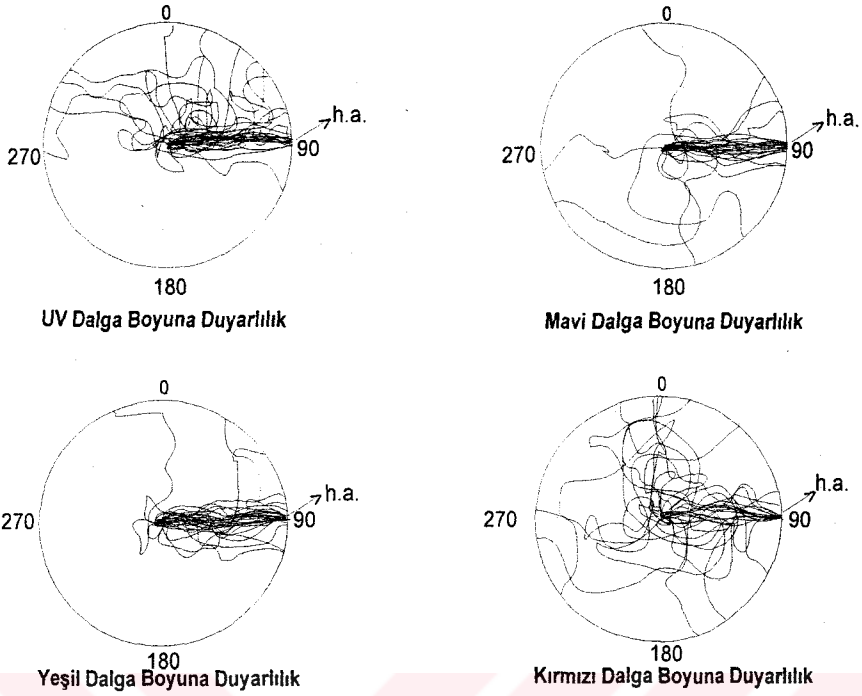
Karıncaların olası manyetik alan kullanımlarını engellemek amacıyla ışık uyarınının 90° çevrildiği yeşile duyarlılık deneyinin (deney 3.4.2.3) sonucunda karıncaların gösterdikleri açısal dağılım, ışık uyarınının ilk konumunda olduğu (deney 3.4.1.3) yeşil duyarlılığı sonuçlarıyla (Tablo A.3) uyum göstermektedir ( $h.a= 90^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a= 86.03^\circ$ ,  $r= 0.938$ ,  $h= 0.936$ ,  $U= 7.25$ ,  $d= 9^\circ$ ;  $P < 0.0005$ , Şekil 4.3, Şekil 4.4, Tablo B.3).

#### 4.2.4. Spektrumun Kırmızı Bölgesine Olan Duyarlılığın Test Edilmesi:

Karıncaların olası manyetik alan kullanımlarını engellemek amacıyla ışık uyarısının  $90^\circ$  çevrildiği kırmızıya duyarlılık deneyinin (deney 3.4.2.4) sonucunda karıncaların gösterdikleri açısal dağılım, ışık uyarısının ilk konumunda olduğu (deney 3.4.1.4) kırmızı duyarlılığı sonuçlarıyla (Tablo A.4) uyum göstermektedir ( $h.a = 90^\circ$ ,  $n=30$ ,  $a = 79.88^\circ$ ,  $r = 0.593$ ,  $h = 0.584$ ,  $U = 4.52$ ,  $d = 24^\circ$ ,  $P < 0.0005$ , Şekil 4.3, Şekil 4.4, Tablo B.4).



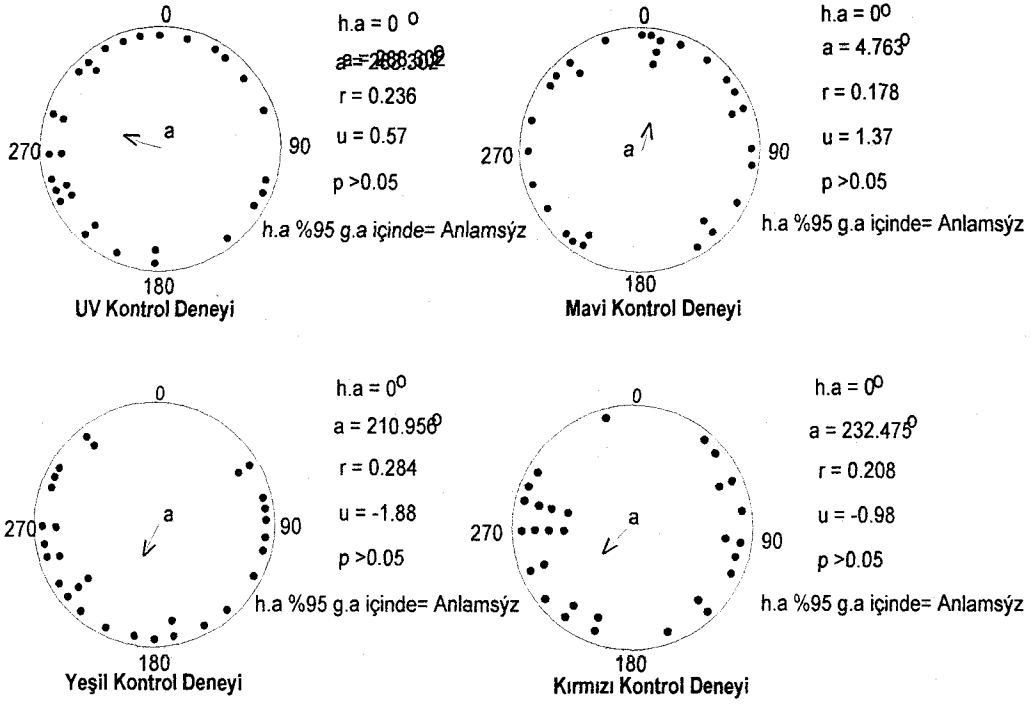
Şekil 4.3 Spektrumun farklı dalga boylarına olan duyarlılığın test edildiği Test II deneyinde (deney 3.4.2) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılımlar.



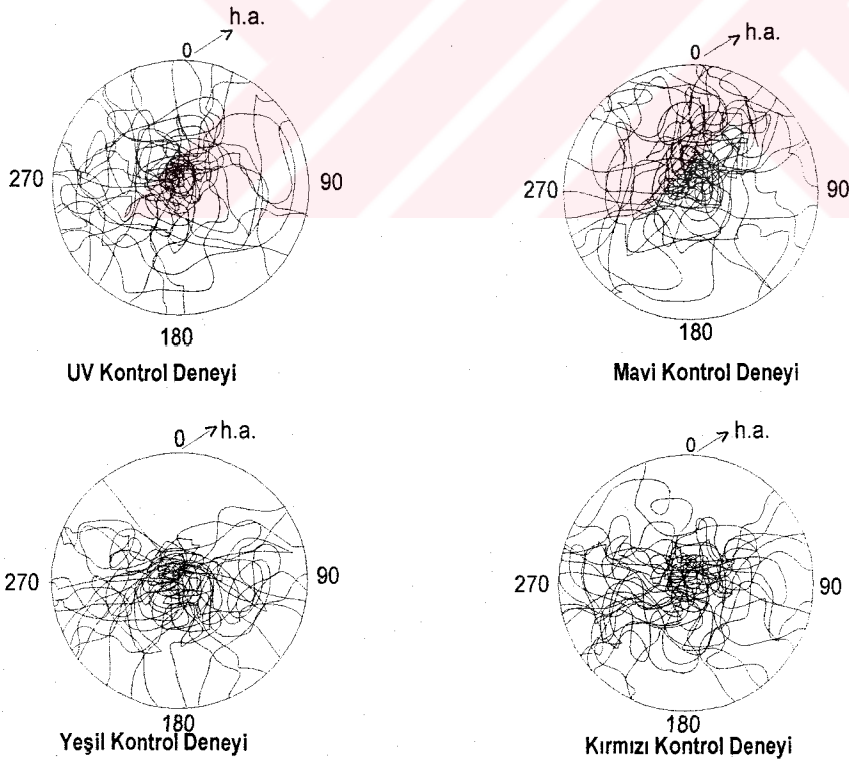
**Şekil 4.4** Test II (deney 3.4.2) deneyleri sonucunda *Formica pratensis* işçilerinin oluşturdukları izler.

#### 4.3. Kontrol Deneyi (Total Karanlıkta Karıncaların Dağılımı)

Test deneylerinde kullanılan ışık uyarılarının uzaklaştırıldığı ve karıncaların hiçbir ışık uyarımı olmadan besin kaynağının yönünü tespit edip edemediklerinin gözlemlendiği kontrol deneyinde (deney 3.4.3) karıncalar kurulan bütün setlerde besin kaynağının yönünü tespit edememişlerdir (Şekil 4.5, Şekil 4.6) ve bu sonuç test deneylerinde elde edilen sonuçları teyit eder niteliktedir (Tablo C.1, C.2, C.3, C.4).



Şekil 4.5 Kontrol deneylerinde (deney 3.4.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılımlar.



Şekil 4.6 Kontrol deneyleri (deney 3.4.3) sonucunda *Formica pratensis* işçilerinin oluşturdukları izler.

#### 4.4. Renklere Bağlı Besin Kaynağı Yönünü Seçme Deneyi

Eğitim aşamasında kullanılan her dalga boyunu içerecek şekilde 4 ayrı set üzerinde eğitimleri gerçekleştirilen karıncaların besinin bulunduğu kutunun yönünü seçmede ortamdaki diğer dalga boyundan ziyade eğitildikleri dalga boyunu kullanıp kullanmadıkları test edilmiştir. Deneylerde elde edilen verilerin değerlendirilmesinde  $X^2$  testi kullanılmıştır.

##### 4.4.1. UV-Yeşil (UV Seçicilik)

Yapılan deney esnasında 4 karınca ultraviyole dalga boyuna yönelim gösterirken, 26 karınca da yeşil dalga boyuna yönelim göstermiştir. Elde edilen bu sonuç *Formica pratensis*'in ultraviyole ve yeşil dalga boyu tercihleri arasında anlamlı bir fark olduğunu ( $X^2= 16.12$ ,  $p< 0.001$ , Tablo 4.1) ve eğitildikleri ultraviyole dalga boyundan ziyade eğitilmedikleri yeşil dalga boyu yönünde bir tercih davranışı sergilediklerini ortaya koymaktadır.

##### 4.4.2. Yeşil-Mavi (Yeşil Seçicilik)

Yapılan deney esnasında 14 karınca yeşil dalga boyuna yönelim gösterirken, 16 karınca da mavi dalga boyuna yönelim göstermiştir ( $X^2= 0.13$ ,  $p> 0.05$ , Tablo 4.2). Elde edilen bu sonuç *Formica pratensis*'in yeşil ve mavi dalga boyları arasında bir tercih yapmadığını ortaya koymaktadır.

##### 4.4.3. Mavi-Kırmızı (Mavi Seçicilik)

Yapılan deney esnasında 16 karınca mavi dalga boyuna yönelim gösterirken, 14 karınca da kırmızı dalga boyuna yönelim göstermiştir ( $X^2= 0.13$ ,  $p> 0.05$ , Tablo 4.3). Elde edilen bu sonuç *Formica pratensis*'in mavi ve kırmızı dalga boyları arasında bir tercih yapmadığını ortaya koymaktadır.

#### 4.4.4. Kırmızı-UV (Kırmızı Seçicilik)

Yapılan deney esnasında 25 karınca kırmızı dalga boyuna yönelim gösterirken, 5 karınca da ultraviyole dalga boyuna yönelim göstermiştir ( $X^2= 13.3$ ,  $p< 0.001$ , Tablo 4.4). Elde edilen bu sonuç *Formica pratensis*'in kırmızı ve ultraviyole dalga boyu tercihleri arasında anlamlı bir fark olduğunu ve ultraviyole dalga boyundan ziyade eğitildikleri kırmızı dalga boyu yönünde bir tercih davranışı sergilediklerini ortaya koymaktadır.



**Tablo 4.1.** UV-yeşil deneyinde (deney 3.4.4.1) karıncaların toplam dağılımları.

	UV Dalga Boyu	Yeşil Dalga Boyu
N	4	26
X <sup>2</sup>		16.12
P		p< 0.001

**Tablo 4.2.** Yeşil-mavi deneyinde (deney 3.4.4.2) karıncaların toplam dağılımları.

	Yeşil Dalga Boyu	Mavi Dalga Boyu
N	14	16
X <sup>2</sup>		0.13
P		p> 0.05

**Tablo 4.3.** Mavi-kırmızı deneyinde (deney 3.4.4.3) karıncaların toplam dağılımları.

	Mavi Dalga Boyu	Kırmızı Dalga Boyu
N	16	14
X <sup>2</sup>		0.13
P		p> 0.05

**Tablo 4.4.** Kırmızı-UV deneyinde (deney 3.4.4.4) karıncaların toplam dağılımları.

	Kırmızı Dalga Boyu	UV Dalga Boyu
N	25	5
X <sup>2</sup>		13.3
P		p< 0.001

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Formicidae familyasında bugüne kadar sadece 6 tür üzerinde renkli görme çalışmaları yapılmıştır ve özellikle ilk çalışmalarda yetersiz teknik ve gözlemlerden kaynaklanan çelişki ve belirsizlikler söz konusudur. Tsuneki (1953) *Camponotus herculeanus* var. *obscripes* Mayr ve *Leptothorax congrus* var. *spinosior* Forel ile yaptığı çalışmalarda karıncaların renkli görme sergilemelerinin olası olabileceğini ancak renklerin karıncalara bulanık ve belirsiz görüldüğü için bunların renklerle ilgili bir davranış sergilemelerinin mümkün olamayacağını belirtmiştir. Bu negatif sonuca rağmen *Formica polyctena* ve *Cataglyphis bicolor*'un UV ile sarı-yeşil dalga boylarına eğitilebildikleri rapor edilmektedir (Kiepenheuer 1968, Wehner ve Toggweiler 1972). Orman karıncası *Formica polyctena* ile yapılan çalışmalarda (Menzel ve Lange 1971, Roth ve Menzel 1972, Menzel 1972 a,b, Menzel ve Knaut 1973) ve çöl karıncası *Cataglyphis bicolor* ile yapılan elektrofizyoloji ve elektoretinogram çalışmalarında (Mote ve Wehner 1980, Labhart 1986, Meyer ve Domanico 1999, Labhart 2000) bu iki karınca türünün ultraviyole ve yeşile duyarlı fotoreseptörlere sahip oldukları tespit edilmiştir. *Cataglyphis bicolor* ile ilgili başka bir davranışsal çalışmada ise (Kretz 1979) bu türün spektrumun UV, mavi ve yeşil bölgelerine duyarlılık gösterdiği, yani trikromatik renkli görme sergilediği belirtilmiştir. Yine *Cataglyphis bicolor* ile yapılan elektrofizyolojik bir çalışmada (Herrling 1976) bu karınca türünün 3 retinula (bileşik gözün ommatidiumunun en iç tabakasında bulunan uzun fotoreseptör hücre tabakası) tipine sahip olduğu ve bunlardan üçüncü retinula tipinin ultraviyole ışığın algılanmasında rol oynadığı tespit edilmiştir. Ayrıca buldog karıncası *Myrmecia gulosa*'nın (Menzel ve Blakers 1975) UV ve yeşil reseptörlere sahip olduğu ve UV-yeşil dikromatiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalar göz önüne alındığında *Formica pratensis* işçilerinin, test edildikleri dalga boylarındaki ışık uyarınları dışında oriyantasyonlarında kullanabilecekleri diğer tüm ipuçlarının baskılanmış olduğu kontrollü şartlarda yapılan ve farklı dalga boyu duyarlılıklarının test edildiği deneylerde karıncaların oriyantasyon platformunda göstermiş oldukları dağılımların test edilen tüm dalga boyları için (UV,



mavi, yeşil ve kırmızı, tetrakromatlık) istatistiki olarak anlamlı bulunmuş olması (Şekil 4.1) son derece ilginç olup bu alana yeni bir ivme, tartışma getirecektir.

Deneylerin yapıldığı iklim odası yapay elektromanyetik etkilere açık olduğu ve bunu engelleyici bir sistem (örn. Solenoid veya manyetik kutular arasında istenilen alan yaratma) kullanılmadığı için karıncaların yön tayin etmede manyetik alanı kullanabilme olasılıkları söz konusu olmamakla birlikte zayıf ta olsa böyle bir olasılığı ortadan kaldırmak için ışık uyaranlarının geldiği besin kutularının yönü 90° çevrilerek testler her bir dalga boyu için tekrarlanmıştır (deney 3.4.2). Karıncaların oriyantasyon platformunda bu kez 90° çevrilmiş durumdaki ışık uyaranlarına olan yönelimlerinin istatistiki olarak yine anlamlı bulunması (Şekil 4.2) karıncaların test edilen dalga boylarına karşı duyarlı olduklarının ek bir ispatı olup deney sonuçlarını tam anlamıyla doğrulamaktadır.

Yapılan fizyolojik çalışmalar sonucunda *Formica rufa* grubuna ait *Formica polyctena*'nın UV ve yeşile duyarlı dikromatik renkli görme sergilediğinin ortaya çıkarılmış olmasından dolayı (Menzel ve Lange 1971, Roth ve Menzel 1972, Menzel 1972 a,b, Menzel ve Knaut 1973) aynı grubun bir üyesi olan *Formica pratensis*'in de renkli görmeye sahip olabileceği beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte *Formica pratensis*'in tetrakromatlık (UV, mavi, yeşil ve kırmızıya duyarlılık) sergilemesi hem *Formica rufa* grubu, hem Formicidae familyası hem de Hymenoptera takımında böyle bir tetrakromatlığın olmaması açısından bilim dünyasına yeni bir katkıdır. Ayrıca çok yakın iki yakın akraba tür de renkli görme mekanizmasında bu tür farklılığın olması da son derece ilginç olup böceklerde renkli görmenin evrimi çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

Elde edilen sonuçlardan en ilgi çekici olanı kırmızı dalga boyu duyarlılığı sonucunun olumlu çıkmış olmasıdır. Karıncaların yakın akrabaları olan bal arılarının (*Apis mellifera*) kırmızı renge kör oldukları bilinmektedir (Frisch 1967a, Wilson 1971, Hughes 2001, Briscoe ve Chittka 2001). Karıncalarla ilgili renkli görme harici karanlık altında yapılan çok sayıda farklı davranışsal deneyler de karıncaların kırmızıya duyarlı olmadıkları (kaynakça verilmeden) belirtilerek kırmızı ışık altında yapılmıştır. Marak ve Wolken (1965) ateş karıncası *Solenopsis saevissima* ile yaptıkları çalışmada bu karınca türünün UV ve mavi-yeşil dalga boylarının yanı sıra elektromanyetik spektrumun kırmızıya yakın bölgesine de (620 nm.) duyarlılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla

birlikte araştırmacılar bunun karıncaların kırmızı reseptör duyarlılığından mı yoksa retinula hücrelerini saran pigment granülleri veya ommokromların düşük frekanslardaki azalan absorpsiyonlarından mı kaynaklanmış olabileceği sorusunun cevabının bilinmediğini rapor etmektedirler. Diğer yandan deneyin diğer dalga boylarını da içeren bütün aşamalarının karanlık odada loş kırmızı ışık altında gerçekleştirilmiş olması deneysel düzeneğin hatalı olduğunu göstermekte ve bu da kırmızı duyarlılığıyla ilgili kuşkuların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Kırmızı dalga boyuna duyarlılık Böcekler sınıfında Odonata takımında *Sympetrum rubicundulum* (Meinertzhagen vd. 1983) ve *Hemicordulia tau* (Yang ve Osorio 1991), Coleoptera takımında *Carabus nemoralis* ve *Carabus auratus* (Hasselmann 1962), Hymenoptera takımında *Callonychium petuniae* (Peitsch vd. 1992), Lepidoptera takımında *Papilio aegaeus* (Matic 1983), *Papilio xuthus* (Eguchi vd. 1982, Arikawa vd. 1987), *Atrophaneura alcinous*, *Graphium sarpedon*, *Gonepteryx aspasia* (Eguchi vd. 1982), *Eurema mexicana*, *Eurema nicippe*, *Phoebis sena*, *Anartia fatima*, *Anartia amathea*, *Polygonia interrogationis*, *Everes comyntas* (Bernard 1979), *Pieris rapae* (Bernard 1979, Ichikawa ve Tateda 1982), *Pieris brassicae* (Paul vd. 1986, Steiner vd. 1987), *Pieris melete*, *Argyronome ruslana*, *Polygonia c-album*, *Lycaena phlaeas*, *Marumba spershius* (Eguchi vd. 1982) türlerinde tespit edilmiştir. Her ne kadar primitif Arthropod'ların UV ve yeşil dalga boylarına duyarlı fotoreseptörler içeren dikromatik (Pichaud vd. 1999) ve böceklerin devoniyen dönemindeki atalarının UV, mavi ve yeşil dalga boylarına duyarlı trikromatik renkli görme (Briscoe ve Chittka 2001) sergiledikleri bilirse de bu grupların kırmızıya duyarlı olmasında bu primitif renkli görme sistemlerinin evrimsel süreç içerisinde opsin pigmentlerinin çeşitliliğinden dolayı daha geniş bir spektral alan içinde gelişmiş olması olasıdır (Pichaud vd. 1999). Dolayısıyla söz konusu dalga boylarına duyarlı görsel pigmentlerin elektrofizyolojik, histolojik ve moleküler çalışmalarla tespiti davranışsal deneyler sonucunda elde edilen verilerin desteklenmesi ve renkli görmenin evrimindeki bu ve benzeri yaklaşımların netleşmesi açısından önemli görülmektedir.

Karıncaların yakın akrabaları olan bal arılarının (*Apis mellifera*) renkli disklere eğitilebildikleri ve besinin bulunduğu diski seçebildikleri yapılan çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Hill vd. 1997, Giurfa vd. 1997, Brown vd. 1998, Ibarra vd. 2001, 2002). Ancak Formicidae familyasında renge bağlı besin kaynağı tayini ile ilgili bir çalışmaya

literatür taramasında rastlanmamıştır. Bu eksikliği gidermek amaçlı *Formica pratensis*'in renge bağlı besin kaynağı yönünü belirleyip belirleyemediğinin tespitine yönelik olarak yapılan, UV, mavi, yeşil ve kırmızı renklere karşılık gelen dalga boylarının çeşitli kombinasyonlarda kullanıldığı deneylerde (deney 3.4.2) yeşil-mavi' de yeşil'e, mavi-kırmızı da mavi'ye eğitilen karıncaların dağılımları istatistiki olarak anlamsız olup karıncaların bu dalga boyları arasında bir tercih yapmadıklarını göstermektedir (Tablo 4.2, Tablo 4.3). Karıncaların UV-yeşil dalga boyları arasında göstermiş oldukları dağılımlar istatistiki olarak anlamlı (Tablo 4.1) olmasına rağmen eğitildikleri UV'den ziyade yeşil dalga boyunu seçmiş olmaları renge bağlı besin tercihi yapmadıklarını göstermektedir. Genel ışık kaynakları yüksek oranda kısa dalga boyları (<450 nm) içermesine rağmen objelerden yansıyan ışık UV'den yoksundur ve baskın olarak orta enerjili yeşil/sarı dalga boylarından meydana gelir. Bu yüzden yüksek UV içeriği açık bir alan ya da boşluk, düşük UV içeriği ise bir habitat ya da besin bakımından zengin bir zon olarak yorumlanacaktır (Pichaud vd. 1999). *Formica pratensis* işçilerinin UV dalga boyuna eğitilmiş olmalarına rağmen, istatistiki olarak anlamlı bir şekilde yeşil dalga boyunu tercih etmelerinin (Tablo 4.1) bir nedeni bu olabilir. Diğer yandan pek çok böcekte görüldüğü gibi pik tepkinin görünür spektrumun mavi-yeşil bölgesinde (505 nm.) verilmesi de (Marak ve Wolken 1965) bu sonucu açıklayabilecek diğer bir durumdur. Deneylerin tek pozitif sonucu UV-kırmızı dalga boyları kombinasyonunda kırmızıya eğitilen karıncaların istatistiki olarak anlamlı bir şekilde kırmızıyı seçmeleridir (Tablo 4.4.). Bununla birlikte diğer kombinasyonlarda benzer sonuçları alamamamız ve bu kombinasyonda da UV-yeşil kombinasyonunda olduğu gibi UV ile ilgili olasılığı dikkate aldığımızda *Formica pratensis* işçilerinin renge bağlı besin yönü tayini yapamadıkları söylenebilir.

## 6. EKLER

EK A. Test I deneyinde karıncaların gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

**Tablo A.1.** UV'ye duyarlılık deneyinde (deney 3.4.1.1) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	295°	16	180°
2	0°	17	0°
3	260°	18	0°
4	260°	19	0°
5	0°	20	355°
6	275°	21	0°
7	0°	22	350°
8	0°	23	0°
9	0°	24	270°
10	130°	25	0°
11	0°	26	310°
12	0°	27	0°
13	180°	28	0°
14	0°	29	0°
15	0°	30	0°

**Tablo A.2.** Maviye duyarlılık deneyinde (deney 3.4.1.2) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	330°	16	0°
2	0°	17	0°
3	0°	18	0°
4	160°	19	0°
5	0°	20	50°
6	0°	21	0°
7	0°	22	340°
8	5°	23	240°
9	0°	24	0°
10	30°	25	175°
11	5°	26	40°
12	5°	27	10°
13	0°	28	30°
14	0°	29	0°
15	0°	30	15°

**Tablo A.3.** Yeşile duyarlılık deneyinde (deney 3.4.1.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısıl dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları
1	195°	16	0°
2	0°	17	335°
3	5°	18	320°
4	10°	19	0°
5	0°	20	0°
6	0°	21	200°
7	0°	22	20°
8	270°	23	280°
9	50°	24	0°
10	0°	25	10°
11	0°	26	0°
12	0°	27	0°
13	340°	28	0°
14	0°	29	0°
15	0°	30	275°

**Tablo A.4.** Kırmızıya duyarlılık deneyinde (deney 3.4.1.4) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısıl dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları
1	270°	16	0°
2	0°	17	0°
3	220°	18	0°
4	0°	19	0°
5	0°	20	215°
6	0°	21	0°
7	170°	22	345°
8	5°	23	300°
9	0°	24	0°
10	0°	25	0°
11	10°	26	0°
12	355°	27	180°
13	180°	28	0°
14	140°	29	0°
15	0°	30	0°

**EK B.** Test II deneyinde karıncaların gösterdikleri açısıl dağılım değerleri.

**Tablo B.1.** Işık uyarınının 90° çevrildiği UV'ye duyarlılık deneyinde (deney 3.4.2.1) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısıl dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları
1	70°	16	90°
2	300°	17	90°
3	85°	18	90°
4	270°	19	90°
5	70°	20	90°
6	90°	21	90°
7	55°	22	50°
8	90°	23	90°
9	90°	24	90°
10	90°	25	5°
11	90°	26	40°
12	310°	27	90°
13	90°	28	110°
14	305°	29	20°
15	50°	30	90°

**Tablo B.2.** Işık uyarınının 90° çevrildiği maviye duyarlılık deneyinde (deney 3.4.2.2) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısıl dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısıl Dağılımları
1	90°	16	90°
2	90°	17	90°
3	90°	18	140°
4	90°	19	90°
5	100°	20	245°
6	90°	21	90°
7	55°	22	255°
8	90°	23	90°
9	90°	24	90°
10	90°	25	70°
11	90°	26	170°
12	90°	27	350°
13	100°	28	90°
14	90°	29	90°
15	90°	30	75°

**Tablo B.3.** Işık uyarısının 90° çevrildiği yeşile duyarlılık deneyinde (deney 3.4.2.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	90°	16	105°
2	90°	17	90°
3	105°	18	90°
4	90°	19	90°
5	90°	20	90°
6	40°	21	90°
7	85°	22	90°
8	90°	23	90°
9	90°	24	90°
10	90°	25	90°
11	90°	26	90°
12	80°	27	60°
13	90°	28	90°
14	90°	29	90°
15	90°	30	340°

**Tablo B.4.** Işık uyarısının 90° çevrildiği kırmızıya duyarlılık deneyinde (deney 3.4.2.4) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	90°	16	90°
2	90°	17	345°
3	230°	18	5°
4	45°	19	90°
5	0°	20	90°
6	90°	21	15°
7	90°	22	90°
8	90°	23	165°
9	270°	24	90°
10	280°	25	90°
11	355°	26	90°
12	155°	27	115°
13	90°	28	85°
14	90°	29	80°
15	90°	30	90°

EK C. Kontrol deneyinde karıncaların gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

**Tablo C.1.** UV kontrol deneyinde (deney 3.4.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	340°	16	105°
2	270°	17	110°
3	250°	18	290°
4	120°	19	255°
5	0°	20	50°
6	180°	21	140°
7	220°	22	290°
8	320°	23	330°
9	350°	24	315°
10	245°	25	70°
11	200°	26	250°
12	35°	27	220°
13	30°	28	180°
14	245°	29	270°
15	320°	30	15°

**Tablo C.2.** Mavi kontrol deneyinde (deney 3.4.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	140°	16	210°
2	10°	17	310°
3	50°	18	310°
4	270°	19	340°
5	320°	20	90°
6	240°	21	10°
7	255°	22	120°
8	305°	23	0°
9	40°	24	100°
10	35°	25	150°
11	70°	26	320°
12	70°	27	5°
13	10°	28	320°
14	60°	29	215°
15	20°	30	285°



**Tablo C.3.** Yeşil kontrol deneyinde (deney 3.4.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	120°	16	90°
2	240°	17	60°
3	270°	18	230°
4	190°	19	320°
5	85°	20	100°
6	60°	21	230°
7	140°	22	255°
8	300°	23	295°
9	270°	24	320°
10	105°	25	170°
11	260°	26	155°
12	230°	27	170°
13	255°	28	205°
14	290°	29	80°
15	180°	30	220°

**Tablo C.4.** Kırmızı kontrol deneyinde (deney 3.4.3) *Formica pratensis* işçilerinin gösterdikleri açısal dağılım değerleri.

Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları	Birey No	Karıncaların Açısal Dağılımları
1	120°	16	220°
2	110°	17	270°
3	220°	18	290°
4	50°	19	280°
5	250°	20	230°
6	285°	21	280°
7	105°	22	250°
8	300°	23	280°
9	345°	24	160°
10	105°	25	270°
11	40°	26	200°
12	70°	27	70°
13	270°	28	140°
14	200°	29	270°
15	85°	30	140°

## 7. KAYNAKLAR

- ANESHANSLEY, J. B., LARKIN, T. S. V test is not a statistical test of "homeward" direction, *Nature*, 293, 239 s., 1981.
- ARIKAWA, K., INOKUMA, K., EGUCHI, E. Pentachromatic visual system in a butterfly, *Naturwissenschaften*, 74: 297-298, 1987.
- ASENJO, A. B., RIM, J., OPRIAN, D. D. Molecular determinants of human red / green color discrimination, *Neuron*, 12: 1131-1138, 1994.
- AUTRUM, H., ZWEHL, V. VON. Die spektrale empfindlichkeit einzelner sehzellen des bienenauges, *Z. Vergl. Physiol.*, 48: 357-384, 1964.
- AUTRUM, H., KOLB, G. Spektrale empfindlichkeit einzelner sehzellen der aeschniden, *Z. Vergl. Physiol.*, 60: 450-477, 1968.
- BELLINGHAM, J., MORRIS, A. G., BOWMAKER, J. K., HUNT, D. M. Molecular Characterisation of Honey-bee (*Apis mellifera*) Opsins, *Vision Research*, 35, 233, 1995
- BENNETT, R. R., RUCK, P. Spectral sensitivities of dark and light-adapted *Notonecta* compound eyes, *J. Insect Physiol.*, 16: 83-88, 1970
- BERNARD, G. D., STAVENGA, D. G. Spectral sensitivities of retinular cells measured in intact, living bumblebees by optical method. *Naturwissenschaften*, 65: 442-443, 1978.
- BERNARD, G. D. Red- absorbing visual pigments of butterflies. *Science*, 203: 1125-1127, 1979.
- BERNARD, G. D., STAVENGA, D. G. Spectral sensitivities of retinular cells measured in intact living flies by an optical method. *J. Comp. Physiol. A*, 134: 95-107, 1979.
- BIRCH, J. Diagnosis of defective colour vision. Oxford University Pres: Oxford, 1993
- BRANDT, R., VOROBYEV, M. Metric Analysis of Threshold Spectral Sensitivity in the Honeybee. *Vision Research*, 37: 425-439, 1996.
- BRISCOE, A., CHITTKA, L. The Evolution of Color Vision in Insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 46: 471-510, 2001.

- BROWN, M. F., MCKEON, D., CURLEY, T., WESTON, B., LAMBERT, C., LEBOWITZ, B. Working memory for color in honeybees. *Animal Learning and Behaviour*, 26: 264-271, 1998.
- BRUCKMOSER, P. Die spektrale empfindlichkeit einzelner sehzellen des rüdenschwimmers *Notonecta glauca* L. (Heteroptera). *Z. Vergl. Physiol.*, 59: 187-204, 1968.
- BURKHART, D., DE LAMOTTE, I. Electrophysiological studies on the eyes of Diptera, Mecoptera and Hymenoptera. In *Information Processing in the Visual Systems of Arthropods*, ed. R Wehner, p.137-145, Berlin:Springer-Verlag, 1972.
- CAMPBELL, N. A. *Biology*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1190 pp., 1993.
- CAVALLERI, A., BELOTTI, L., GOBBA, F., LUZZANA, G., ROSA, P., SEGHIZZI, P. Colour Vision Loss in Workers Exposed to Elemental Mercury Vapour. *Toxicology Letters*, 77: 351-356, 1995.
- CHAPPELL, R. L., DEVOE, R. D. Action spectra and chromatic mechanisms of cells in the median ocelli of dragonflies. *J. Gen. Physiol.*, 65: 399-419, 1975.
- CHITTKA, L., BEIER, W., HERTEL, H., STEINMANN, E., MENZEL, R. Opponent colour coding is a universal strategy to evaluate the photoreceptor inputs in Hymenoptera. *J. Comp. Physiol. A*, 170: 545-563, 1992.
- CHITTKA, L., SCHORN, J., DE SOUZA, J. M., VENTURA, D. F., CAMARGO, J. M. F. The nest entrance signal of the Amazonian bees *Partamona pearsoni*-a case where insects design their own flight targets. *Proc. Int. Colloq. Social Insects*, ed. VE Kipyakov. 3-4: 107-116. St. Petersburg, Russia: Socium, 1997.
- CHITTKA, L., SPAETHE J., SCHMIDT, A., HICKELSBERGER, A. Adaptation, constraint, and chance in the evolution of flower color and pollinator color vision. In *Cognitive Ecology of Pollination*, ed. L. Chittka, J. Thomson. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press., 2001.
- COLLINGWOOD, C. A. The Formicidae (Hymenoptera) of Fennoscandia and Denmark, *Fauna Entomologica Scandinavica*, Vol. 8, Scandinavian Science Press. Ltd., 1979

- CRONIN, T. W., JARVILETHO, M., WECKSTROM, M., LALL, A. B. Tuning of photoreceptor spectral sensitivity in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *J. Comp. Physiol. A*, 186: 1-12, 2000.
- DAUMER, K. Reizmetrische untersuchungen des farbensehens der bienen. *Z. Vergl. Physiol.*, 38: 413-478, 1956.
- DEMIRSOY, A. Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar / Böcekler. Cilt 2 / Kısım 2, Meteksan Yay., 941 pp., 1999.
- DYER, A. G. Broad spectral sensitivities in the honeybee's photoreceptors limit colour constancy. *J. Comp. Physiol. A*, 185: 445-453, 1999.
- EGUCHI, E., WATANABE, K., HARIYAMA, T., YAMAMOTO, K. A comparison of electrophysiologically determined spectral responses in 35 species of Lepidoptera. *J. Insect Physiol.*, 28: 675-682, 1982.
- FRISCH, K. VON. The dance language and orientation of bees (tr. Chadwick). Belknap Pres of Harvard University Pres, Cambridge, 566 pp , 1967a.
- GIGER, A. D., SIRINIVASAN, M. V. Honeybee Vision: Analysis of orientation and colour in the lateral, dorsal and ventral fields of view. *The Journal Of Experimental Biology*, 200: 1271-1280, 1997.
- GIURFA, M., VOROBYEV, M., BRANDT, R., POSNER, B., MENZEL, R. Discrimination of coloured stimuli by honeybees: alternative use of achromatic and chromatic signals. *J. Comp. Physiol. A*, 180: 235-243, 1997.
- GIURFA, M., ZACCARDI, G., VOROBYEV, M. How bees detect coloured targets using different regions of their compound eyes. *J. Comp. Physiol. A*, 185: 591-600, 1999.
- GOGALA, M. Die spektrale empfindlichkeit der doppelaugen von *Ascalaphus macaronius* Scop. (Neuroptera, Ascalaphidae). *Z. Vergl. Physiol.*, 57: 232-243, 1967.
- GOLDSTEIN, E. B. Sensation and perception. (5th ed.) California: Brooks/Cole, 1999.
- HASSELMANN E. M. Über die relative spektrale Empfindlichkeit von Kafer- und Schmetterlingsaugen bei veschiedenen Helligkeiten. *Zool. Jahrb. Physiol.*, 69: 537-576, 1962.
- HARDIE, R. C. The photoreceptor array of Dipteran retina. *Trends Neurosci.*, 9: 419-423, 1986.

- HELVERSEN, O. VON. Zur spektralen unterschiedsempfindlichkeit der honigbiene. J. Comp. Physiol., 80: 439-472, 1972.
- HERRLING, P. L. Regional distribution of three ultrastructural retinula types in the retina of *Cataglyphis bicolor* Fabr. (Formicidae, Hymenoptera). Cell Tiss. Res., 169: 247-266, 1976.
- HILBERT, D. What is Color Vision? Philosophical Studies, 68: 351-370, 1992.
- HILL, P. S. M., WELLS, P. H., WELLS, H. Spontaneous flower constancy and learning in honeybees as a function of colour. Anim. Behav., 54: 615-627, 1997.
- HORRIDGE, G. A. Unit studies on the retina of dragonflies. Z. Vergl. Physiol. 62: 1-37, 1969.
- HORRIDGE, G. A., MIMURA, K., TSUKAHARA, Y. Fly photoreceptors. II. Spectral and polarized light sensitivity in the drone fly *Eristalis*. Proc. R. Soc. London Ser. B, 190: 225-237, 1975.
- HORRIDGE, G. A. Visual Discrimination of radial cues by the Honeybee (*Apis mellifera*). Journal of Insect Physiology, 46: 629-645, 2000.
- HUGHES, H. C. Sensory Exotica. MIT Pres, 345 pp., 2001.
- IBARRA, N. H. De, VOROBYEV, M., BRANDT, R., GIURFA, M. Detection of bright and dim colours by honeybees. The Journal Experimental Biology, 203: 3289-3298, 2000.
- IBARRA, N. H., GIURFA, M., VOROBYEV, M. Detection of coloured patterns by honeybees through chromatic and achromatic cues. J. Comp. Physiol. A, 187: 215-224, 2001
- IBARRA, N. H., GIURFA, M., VOROBYEV, M. Discrimination of coloured patterns by honeybees through chromatic and achromatic cues. J. Comp. Physiol. A, 188: 503-512, 2002.
- ICHIKAWA, T., TATEDA, H. Distribution of color receptors in the larval eyes of four species of Lepidoptera. J. Comp. Physiol., 149: 317-324, 1982.
- KIEPENHEUER, J. Farbunterscheidungsvermögen bei der roten Waldameise *Formica polyctena*. Vergl. Physiol., 57: 409-411, 1968.
- KIRSCHFELD, K. Activation of visual pigment chromophore structure and function. In The Life Science Research Report, 34: The Molecular Mechanism of Photoreception; Dahlem Workshop, ed. H. Stieve, pp. 31-50, Berlin: Springer-Verlag, 1986.

- KOCHENDOERFER, G. G., LIN, S. W., SAKMAR, T. P., MATHIES, R. A. How Color Visual Pigments Are Tuned? *TIBS*, 24: 300-305, 1999.
- KRETZ, R., A. Behavioural Analysis of Colour Vision in the Ant *Cataglyphis bicolor* (Hymenoptera, Formicidae). *J. Comp. Physiol.*, 1311: 217-233, 1979.
- LABHART, T. Behavioural analysis of light intensity discrimination and spectral sensitivity in the honeybee, *Apis mellifera*. *J. Comp. Physiol.*, 95: 203-216, 1974.
- LABHART, T. The electrophysiology of photoreceptors in the different eye regions of the desert ant, *Cataglyphis bicolor*. *J. Comp. Physiol. A*, 158: 1-7, 1986.
- LABHART, T. Polarization-Sensitive interneurons in the optic lobe of the desert ant *Cataglyphis bicolor*. *Naturwissenschaften*, 87: 133-136, 2000.
- LALL, A. B., LORD, E. T., TROUTH, C. O. Vision in the firefly *Photuris lucicrescens* (Coleoptera: Lampyridae): Spectral sensitivity and selective adaptation in the compound eye. *J. Comp. Physiol. A*, 147: 195-200, 1982.
- LEHRER, M. Dorsaventral asymetry of colour discrimination in bees. *J. Comp. Physiol. A*, 184: 195-206, 1999.
- LENNIE, P. Color Vision: Putting Together. *Current Biology*, 10: 589-591, 2000.
- LIN, J. T., WU, C. Y. A comparative study on the color vision of 4 coleopteran insects. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 31: 81-88, 1992.
- MARAK, G. E., WOLKEN, J. J. An action spectrum for the fire ant *Solenopsis saevissima*. *Nature*, 205: 1328-1329, 1965.
- MARTIN, P. R. Colour processing in the primate retina: recent progress. *The Journal of Physiology*, 513: 631-638, 1998.
- MARTINI, F. H., OBER, W. C., GARRISON, C. W., WELCH, K., HUTCHING, R. T. *Fundamentals of anatomy and physiology*. 3<sup>rd</sup> ed. Prentice Hall: New Jersey, 1995.
- MATIC, T. Electrical inhibition in the retina of the butterfly *Papilio*. I. Four spectral types of photoreceptors. *J. Comp. Physiol.*, 152: 169-182, 1983.
- MEINERTZHAGEN, I. A., MENZEL, R., KAHLE, G. The identification of spectral receptor types in the retina and lamina of the dragonfly *Sympetrum rubicundulum*. *J. Comp. Physiol.*, 151: 295-310, 1983.
- MENZEL, R., LANGE, G. Änderungen der Feinstruktur im Komplexauge von *Formica polyctena* bei der Helladaptation. *Z. Naturforsch.*, 26b: 357-359, 1971

- MENZEL, R. The fine structure of the compound-eye of *Formica polyctena*- Functional morphology of a hymenopteran eye. In: *Information processing in the visual system of arthropods*. (R. Wehner ed.), 37-47 pp. Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 1972a.
- MENZEL, R. Feinstruktur des Komplexauges der roten Waldameise *Formica polyctena* (Hymenoptera; Formicidae). *Z. Zellforsch.*, 127: 356-373, 1972b.
- MENZEL, R., KNAUT, R. Pigment movement during light and chromatic adaptation in the retinula cells of *Formica polyctena* (Hymenoptera, Formicidae). *J. Comp. Physiol.*, 86: 125-138, 1973.
- MENZEL, R., BLAKERS, M. Functional organization of an insect ommatidium with a fused rhabdom. *Cytobiol.*, 11: 279-298, 1975.
- MENZEL, R., BLAKERS, M. Colour receptors in the bee eye-morphology and spectral sensitivity. *J. Comp. Physiol. A*, 108: 11-33, 1976.
- MENZEL, R., VENTURA, D. F., HERTEL, H., DE SOUZA, J. M., GREGGERS, U. Spectral sensitivity of photoreceptors in insect compound eyes: comparison of species and methods. *J. Comp. Physiol. A*, 158: 165-177, 1986.
- MEYER, E. P., DOMANICO, V. Microvillar orientation in the photoreceptors of the ant *Cataglyphis bicolor*. *Cell Tissue Res.*, 295: 355-361, 1999.
- MEYER-ROCHOW, V. B. Electrophysiologically determine dspectral efficiencies of the compound eye and median ocellus in the bumblebee *Bombus hortorum tarhakimalainen* (Hymenoptera, Insecta). *J. Comp. Physiol. A*, 139: 261-266, 1980.
- MOLLON, J. D. Color Vision: Opsins and options. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96: 4743-4745, 1999.
- MOTE, M. I., GOLDSMITH, T. H. Spectral sensitivities of color receptors in the compound eye of cockroach *Periplaneta*. *J. Exp. Zool.*, 173: 137-145, 1970
- MOTE, M. I., WEHNER, R. Functional characteristics of photoreceptors in the compound eye and ocellus of the desert ant, *Cataglyphis bicolor*. *J. Comp. Physiol.*, 137: 63-71, 1980.
- PAUL, R., STEINER, A., GEMPERLEIN, R. Spectral sensitivity of *Calliphora erythrocephala* and other insect species studied with Fourier interferometric stimulation (FIS). *J. Comp. Phhsiol. A*, 158: 669-680, 1986.

- PEITSCH, D., FEITZ, A., HERTEL, H., DE SOUZA, J., VENTURA, D. F., MENZEL, R. The spectral input systems of Hymenopteran insects and their receptor-based color vision. *J. Comp. Physiol. A*, 170: 23-40, 1992.
- PICHAUD, F., BRISCOE, A., DESPLAN, C. Evolution of color vision. *Current Opinion in Neurobiology*, 9: 622-627, 1999.
- ROTH, H., MENZEL, R. ERG of *Formica polyctena* and selective adaptation. In: *Inf. Proc. Vis. Syst. Arthr.* (R. Wehner ed.), 177-181 pp., 1972
- SALCEDO, E., HUBER, A., HENRICH, S., CHADWELL, L. V., CHOU, L-H. Blue- and green-absorbing visual pigments of *Drosophila*: ectopic expression and physiological characterization of the R8 photoreceptor cell-specific Rh5 and Rh6 rhodopsins. *J. Neurosci.*, 19: 10716-10720, 1999.
- STEINER, A., RUDIGER, P., GEMPERLEIN, R. Retinal receptor types in *Aglais urticae* and *Pieris brassicae* (Lepidoptera), revealed by analysis of the electroretinogram obtained with fourier interferometric stimulation (FIS). *J. Comp. Physiol. A.*, 160: 247-258, 1987.
- STRUWE, G. Spectral sensitivity of single photoreceptors in the compound eye a topical butterfly (*Heliconius numata*). *J. Comp. Physiol.*, 79: 197-209, 1972.
- STRUWE, G. Spectral sensitivity of the compound eye in butterflies (*Heliconius*). *J. Comp. Physiol.*, 79: 191-196, 1972.
- TORTORA, G. J., GRABOESKI, S. R. Principles of anatomy and physiology. Harper Collins: New York, 1996.
- TSUNEKI, K. On colour vision in two species of ants, with special emphasis on their relative sensitivity to various monochromatic lights. *Japanese Journal of Zoology*, 11: 187-221, 1953.
- VISHNEVSKAYA, T. M., SHURA-BURA, T. M. Spectral sensitivity of photoreceptors and spectral inputs to the neurons of the first optic ganglion in the locust (*Locusta migratoria*). In *Sensory systems and communication in Arthropods*, 106-111 pp. Basel: Birkhauser Verlag, 1990.
- WACKERS, F. L., LEWIS, W. J. A comparison of color-, shape- and pattern-learning by the hymenopteran parasitoid *Microplitis croceipes*. *J. Comp. Physiol. A*, 184: 387-393, 1999.



WEHNER, R., TOGGWEILER, F. Verhaltenphysiologischer Nachweis des Farbsehens bei *Cataglyphis bicolor* (Formicidae, Hymenoptera). J. Comp. Physiol., 77: 239-255, 1972

WILSON, E. O. Insect Societies, Belknap Pres, 548 pp, 1971

YANG, E. C., OSORÍO, D. Spectral sensitivities of photoreceptors and lamina monopolar cells in the dragonfly, *Hemicordulia tau*. J. Comp. Physiol. A, 169: 663-669, 1991.

ZAR, J.H. Biostatistical analysis. Prentice – Hall, New Jersey, 718 pp, 1984.

ZUFALL, F., SCHMITT, M., MENZEL, R. Spectral and polarized light sensitivity of photoreceptors in the compound eye of the cricket (*Gryllus bimaculatus*). J. Comp. Physiol. A, 164: 597-608, 1989.



## 8. TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında bilgi birikimini ve çalışma disiplinini örnek aldığım, maddi ve manevi desteğini ve yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen, bana bilimsel araştırma ruhunu aşıl原因an değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Yılmaz Çamlıtepe'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bana daima destek olan, her konuda yardım eden sevgili arkadaşım Araştırma Görevlisi Volkan Aksoy'a ve bugüne kadar beni teşvik eden ve daima yanımda olduklarını bildiğim sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.



## 9. ÖZGEÇMİŞ

18.06.1980 yılında İstanbul'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi İstanbul'da tamamladım. 1997 yılında Trakya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümünü kazandım. 2001 yılının Haziran döneminde mezun oldum. 2001 yılının Eylül döneminde Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı Hayvan Davranışı alanında yüksek lisansa başladım.

