

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK
YÖNTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.Müh. Eralp Hikmet GÜRSOY

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

MAYIS 2003

**AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK
YÖNTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.Müh. Eralp Hikmet GÜRSOY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Haziran 2003

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2003

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

Juri Üyeleri : Prof. Dr. Adnan KAYPMAS

Doç. Dr. Nurettin UMURKAN

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı tez danışmanım sayın Doç.Dr. Sermin ONAYGİL'e, sağladıkları olanaklarla bu günlere gelmeme yardımcı olan aileme ve desteğini benden esirgemeyen arkadaşım Sevgi Başak SEMİZ'e teşekkür ederim.

Mayıs 2003

Eralp Hikmet GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	2
2. OFİS AYDINLATMASININ AMACI VE BAZI TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1 Ofis Aydınlatmasının Amacı	3
2.2 Aydınlatma Tekniğinin Temel Kavramları	3
2.2.1 Işık Akısı	4
2.2.2 Işık Şiddeti	4
2.2.3 Parıltı	4
2.2.4 Aydınlık Düzeyi	5
2.2.5 Ortalama Aydınlık Düzeyi	5
2.2.6 Doğal aydınlık Düzeyi	5
2.2.7 Yapay Aydınlık Düzeyi	6
3. OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİ VE DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	7
3.1 Kullanıcı Kontrollü Sistemler	7
3.1.1 Klasik Sistem (Açma-Kapama)	7
3.1.2 Kullanıcı Kontrollü Loşlaştırma	8
3.2 Otomatik Kontrollü Sistemler	8
3.2.1 Yapay Sinir Ağları Yardımı İle Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Giriş Verilerinin Belirlenmesi	8
3.2.2 Gün Işığına Duyarlı Aydınlatma Kontrol Sistemleri	12
3.2.3 Ofislerde Kullanıcı Kontrollü Aydınlatma sistemlerinin Çalışanlar Tarafından Sorgulanması	13

4. BULANIK MANTIK	17
4.1 Bulanık Mantık Kavramı	17
4.2 Bulanık Kümeler	20
4.2.1 Bulanık Kümelerin Temel Operatörleri	20
4.2.1.1 Eşitlik	20
4.2.1.2 Kapsama	20
4.2.1.3 Tümlleyen	21
4.2.1.4 Kesişim	21
4.2.1.5 Birleşim	21
4.2.1.6 Fark	21
4.3 Bulanık Kontrol Uygulaması	22
4.3.1 Bulanık Kontrol ile Ters Sarkaç Uygulaması	22
5. DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI VE DENEYİN YAPILIŞI	33
5.1 Deney Düzenegi	33
5.2 Luxmate Aydınlatma Kontrol Sistemi	34
5.3 Deneyin Yapılışı	36
6. GİRİŞ BÜYÜKLÜKLERİNİN SEÇİLMESİ, BULANIK MANTIK KURALLARININ VE ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ	38
6.1 Giriş Büyüklüklerinin Seçilmesi	38
6.1.1 Yaş	39
6.1.2 Cinsiyet	39
6.1.3 Doğal Aydınlik Düzeyi	40
6.1.4 Sıcaklık	40
6.1.5 Nem	42
6.1.6 Meslek	42
6.2 Giriş Büyüklüklerinin Bulanık Mantık Sistemine Uygulanması	43
6.2.1 Doğal Aydınlik Düzeyi	44
6.2.2 Yaş	45
6.2.3 Cinsiyet	46
6.2.4 Yapay Aydınlik Düzeyi	46
6.2.5 Bulanık Mantık Kuralları	47

7. BULANIK MANTIK SİSTEMİNİN UYGULAMASI VE ELDE EDİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI SONUÇLARI	54
7.1 Girişlerin Programa Tanıtılması	54
7.2 Bilgisayar Programı Sonuçları	55
7.3 Elde Edilen Bilgisayar Programı Sonuçlarının Yeni Bir Denek Üzerinde Denenmesi	57
8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	60
8.1 İdeal Sistem	61
8.2 Elektrik Açısından Tasarruf	61
KAYNAKLAR	64
EK-A	65
EK-B	77
EK-C	80
ÖZGEÇMİŞ	89

AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK YÖNTEMİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Ofislerde, aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi toplam kullanılan enerjinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ofis çalışanlarının aydınlatma isteklerine cevap verirken bizi sınırlandıran en önemli etken enerji tasarrufudur. Ofis çalışanlarının yüksek aydınlık düzeylerinde daha verimli çalıştıkları bilinmektedir. Bunun yanında yüksek aydınlık düzeyleri ile artan enerji tüketimi, bir optimum çözüm bulma zorunluluğunu doğurmuştur. Bu çalışmada psikolojik ve fizyolojik açıdan çalışanları rahatsız etmeden, en düşük aydınlık düzeylerini sağlayacak bir model oluşturulması düşünülmüştür.

Aydınlatma kontrol sistemlerinin en önemli giriş büyüklüğü ofiste oluşan doğal aydınlık düzeyidir. Sadece doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak aydınlatma kontrolü yapan sistemler günümüzde kullanılmaktadır. Fakat çalışanların aydınlatma açısından kişisel tercihleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni çalışanlar arasındaki, yaş, cinsiyet, göz bozukluğu gibi bir çok farklılıktır. Kişiler arası bu değişkenliğin de kontrol sistemine dahil edilmesi gerekmektedir. Bu farklılıkların aydınlatma kontrol sistemine bir matematik model ile tanıtılması oldukça zordur. Çünkü kişisel parametrelerin de işin içine girmesiyle, oluşturulacak matematik modelin çok sayıda geniş diferansiyel denklemler içermesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı, böyle bir sisteme model oluşturmaya çok daha müsait olan bulanık mantığın çalışmalarda kullanılması uygun görülmüştür.

Bulanık mantık modelinin amacı farklı aydınlık düzeyi isteği olan çalışanların bu tercihlerini önceden tahmin edebilmektir. Çalışanları birbirlerinden ayıran özelliklerinin ve de tercih edilen aydınlık düzeylerinin belirlenmesi amacıyla bir seri deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, deneklerden gün boyunca bir ofiste günlük işlerini yapmaları ve saat başı yapay aydınlık düzeyini ayarlamaları istenmiştir. Deneyler sırasında tercih edilen masa üstü yapay aydınlık düzeyleri ve oluşan doğal aydınlık düzeyleri her altı dakikada bir kaydedilmiştir. Ayrıca deneklere ait kişisel bilgiler (yaş, cinsiyet, göz bozukluğu, meslek) ve ortam koşulları (sıcaklık, nem, hava durumu)'na ait bilgiler toplanmıştır.

Deney sonuçları göz önüne alınarak bir bulanık mantık model geliştirilmiştir. Bu modelin amacı farklı özelliklere sahip bireylerin aydınlatma tercihlerini önceden tahmin etmektir. Modelde giriş büyüklüğü olarak bireylerin yaşı, cinsiyeti ve masa üstünde oluşacak doğal aydınlık düzeylerinin kullanılması uygun görülmüştür. Çıkış büyüklüğü ise masa üstü yapay aydınlık düzeyidir.

Oluşturulan model deneylerde ölçölen yapay aydınlık düzeylerini %19'luk kabul edilebilir bir hata ile tahmin edebilecek düzeydedir. Daha sonra sağlama niteliğinde başka bir denek üzerinde aynı deney tekrarlanmıştır. Bu yeni deneğin aydınlık düzeyi tecihleri, bulanık modelin önceden tahmin ettiği yapay aydınlık düzeyleri ile %20.5'lik bir fark göstermiştir. Elde edilen hata değerlerinin birbirlerine yakın olması oluşturulan modelin kullanılabilir olduğunun göstergesidir. Ayrıca yapılan enerji tüketimi analizi, bulanık mantık kullanılarak tasarlanıcak bir sistemin, diğer sistemlerden daha fazla bir yük getirmeyeceğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, bulanık mantık sistemi ile, enerji tüketimi açısından fazladan bir yük getirmeden çalışanların kişisel ihtiyaçlarının başarılı bir şekilde karşılanabileceği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ofis Aydınlatması, Bulanık Mantık, Gün ışığı Kontrolü

EMPLOYABILITY EXAMINATION OF FUZZY LOGIC METHOD IN LIGHTING CONTROL SYSTEMS

SUMMARY

Lighting expenses in offices takes the major part of the total electric energy expenses. Energy saving is the most important obstacle in performing the lighting requirements of the office occupants. It is known that the office occupants is more productive at high illuminance levels. Besides, for the reason the energy consumed in offices is increased by high illumination levels, an optimum solution has to be found. In this study, a model which can supply office occupants' satisfaction and energy economy at the same time is considered to be formed.

The most dominant input variable of office lighting systems is daylight illumination level at the working plane. But the systems making lighting control only due to the daylight is found insufficient by the office occupants. Because of this insufficiency, the differences between the personnel (age, sexuality, eye problems...etc) is have to be taken into account. A mathematical model including that much non linear variable have to contain large differential equations. For this reason, a fuzzy logic application is more suitable for forming the model.

The aim of this fuzzy logic model is forecasting the illumination levels, going to be required by the office occupants. To classify the office occupants for the dominant criterions, a series of experiments are made. In these experiments, adjusting the artificial illuminance once an hour by using electronic dimmer according to their preferences is asked from the people who participated the experiments. These people had done their daily works at the time of the experiments. All illumination levels are recorded in every six minutes during the experiments. Also Personal and environmental data are taken.

According to the data collected in these experiments a fuzzy logic model is formed. The aim of this fuzzy logic model is forecasting the artificial illumination levels, going to be required by the office occupants who has different requirements. Age, sexuality and daylight illuminance level at working plane are taken as the input variables of the model. The output value is artificial illuminance level at the working plane.

The fuzzy logic model formed, is at a level of forecasting the artificial illuminance measured in experiments by a error of 19%. As a check of the model, another experiment is done with a new person out of the experiment group.

The model has forecasted the new participant's artificial illumination requests by a similar error of 20.5%.

This results shows that fuzzy logic applications in office lighting control systems can be used. Also, the energy economy analysis made in this study shows that, this system is not bringing new costs according to the other systems.

Keywords: Office Lighting, Fuzzy Logic, Daylight Control

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi de diğer enerji türleri gibi dünyamızda sürekli azalmakta olan belirli enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Elektrik enerjisinin verimli ve etkin olarak kullanılmaması halinde, hem temel enerji kaynakları hem de dönüştürme işlemi sırasında harcanan para ve emek kısmen kayıp haline gelmektedir. Bu kayıplar elektrik enerjisinin bilinçli ve gerektiği kadar kullanmasıyla azaltılabilir.

Ofislerde, aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi toplam kullanılan enerjinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ofis çalışanlarının yüksek aydınlık düzeylerinde daha verimli çalıştıkları bilinmektedir. Bunun yanında yüksek aydınlık düzeyleri ile artan enerji tüketimi bir optimum nokta veya aralık bulma zorunluluğunu doğurmuştur. Psikolojik ve fizyolojik açıdan çalışanları rahatsız etmeyecek, performanslarını azaltmayacak en düşük aydınlık düzeylerini bulmak bu problemin çözümüdür. Gün ışığı aydınlatma hesaplarında çok etkin bir rol oynamaktadır. Kişilerin çalışma ortamında arzu ettikleri aydınlık düzeylerinin karşılanabildiği kadarı doğal aydınlatma ile karşılanmalı ve doğal ışığın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyinin değişimine göre yapay aydınlatma ayarlanmalıdır.

1970'li yıllardan bu yana birçok araştırmacı farklı yöntemlerle bu probleme en uygun cevabı bulmaya uğraşmıştır. Bu çalışmada problemin bulanık mantık yöntemi ile çözülebilirliği incelenmiş ve aydınlatma ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Bulanık mantığın kullanılmasının en büyük nedeni, sistemin karmaşık yapısından dolayı bir matematik modelin oluşturulmasının zorluğudur. Parametrelerin bir doğrusallık göstermediği böyle bir sistemde, oluşturulacak matematik modelin çözülmesi zor ve uzun sürecek diferansiyel denklemler içermesi kaçınılmayacak bir durumdur.

Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunun ortak amacı elektrik enerjisinden tasarruf etmektir. Esas önemli nokta bu tasarruf sağlanırken sistemin iyi bir aydınlatma ile kişisel isteklere cevap verebilecek esnekliği gösterebilmesidir. Bu

esnekliğin sağlanabilmesi için çalışanları sınıflandırmak ve herkesin ihtiyaçlarına belirli ölçülerde ayrı ayrı cevap vermek gerekmektedir. Bu çerçevede daha önce kullanılan yöntemler ve değerlendirmeleri çalışmanın üçüncü bölümünde incelenmiştir.

İkinci bölümde ise bu çalışmada kullanılan olan bazı temel kavramlar ve ofis aydınlatması hakkında kısa açıklamalar yer almaktadır.

Dördüncü bölümde bulanık mantık sistemi, bulanık küme kavramı ve uygulama olarak temel bir bulanık mantık probleminin çözümüne yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, araştırmada kullanılan mevcut deney düzeneğinin tanıtılması ve deneyin yönteminin anlatılması yer almaktadır.

Altıncı bölümde ise giriş büyüklüklerinin seçilmesi, bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının ve kurallarının belirlenmesi yer almaktadır.

Yedinci bölüm bulanık mantık yönteminin uygulanması, elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların irdelenmesini konu almaktadır.

Sekizinci bölümde yapılan çalışmanın genel değerlendirmesi, ideal sistem çözümünün aranması ve temel amaçlardan biri olan elektrik açısından tasarrufun sayılarla göz önüne konulması yer almaktadır.

2. OFİS AYDINLATMASININ AMACI VE BAZI TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Ofis Aydınlatmasının Amacı

Ofis aydınlatmasının iki temel amacı vardır; çalışanların görme yeteneklerini arttıracak, konforlu bir ortam sağlamak ve bunu ekonomik olarak çözebilme. İyi bir ofis aydınlatması gözün görme yeteneğini artırır, bireylerin göz sağlığını korur, yapılan işin verimliliğini artırır, iş hacmini artırır, çalışanların iş yapabilme potansiyelini geliştirir ve konfor gereksinimine yanıt verir. Ekonomik açıdan düşünüldüğünde bu sayılan kriterleri ancak sağlayacak bir aydınlatma başarılı sayılabilir.

Aydınlatma sistemini tasarlayan kişilerin minimum enerji sarfıyatı ile maksimum çalışma verimini sağlayabilecek bir optimum nokta yada aralık saptayabilmeleri gerekmektedir. Ancak bu optimum noktanın bulunmasının düşünüldüğü kadar kolay olmadığı yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır. Aynı ofis içinde aynı işi yapsalar dahi çalışan bireyler birbirlerinden çok farklı aydınlık düzeylerine ihtiyaç duyabilmektedirler. Bu farklılığın temel nedeni bireyler arasındaki yaş, cinsiyet, göz kusurları, stres gibi birçok psikolojik ve fizyolojik değişken özelliklerin bulunmasıdır. Bunların yanında, aranılan optimum noktanın bulunabilmesini biraz daha zorlaştıran bir etken daha vardır; o da gün ışığıdır. Değişken bir hal sergileyen gün ışığının etkisini de hesaba katarak, kısmen birbirlerinden farklı aydınlık düzeyleri isteyen bireyleri memnun ederken olabilecek en az enerji sarfıyatını yapmak ulaşılması gereken çözümdür.

2.2 Aydınlatma Tekniğinin Temel Kavramları

Bu bölümde konunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacağı düşünüldüğünden, çalışmada geçen bazı temel kavramlar kısaca anlatılacaktır.

2.2.1 Işık Akısı

Işık akısı ϕ harfi ile gösterilir. Birimi Lümen'dir.

$$1 \text{ lümen} = 1 \text{ lm} \quad (2.1)$$

Bir ışık kaynağının ışık akısı, bu ışık kaynağından çıkan ve normal gözün görmesine ait spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısıdır.[1]

$$\Phi = K_0 \cdot F \cdot V_\lambda \quad (2.2)$$

Bu denklemde F enerji akısı, K_0 da enerji akısının $V_{555} = 1$ için ışıksal fotometrik değerini gösterir. $\lambda_0 = 555$ için $V_{555} = 1$ ve $K_0 = 682 \text{ lm/W}$ tır.

2.2.2 Işık Şiddeti

Işık şiddeti I harfi ile gösterilir. Birimi Candela'dır.

$$1 \text{ candela} = 1 \text{ cd} \quad (2.3)$$

Noktasal ışık kaynakları için tanımlanır ve doğrultuya bağlı bir büyüklüktür.

Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir α doğrultusundaki ortalama ışık şiddeti bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega_\alpha$ uzay açısından çıkan $\Delta\phi$ ışık akısının $\Delta\Omega_\alpha$ uzay açısına bölümüdür [1]. Açık ifadesi;

$$I_\alpha = \lim_{\Delta\Omega_\alpha \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_\alpha} = \frac{d\Phi}{d\Omega_\alpha} \quad (2.4)$$

olacak şekildedir.

2.2.3 Parıltı

Parıltı L harfi ile gösterilir. Birimi cd/m^2 dir. Parıltı doğrultuya bağlı bir büyüklüktür. Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan ΔS yüzey elemanın bu doğrultuda doğurduğu ΔI_α ışık şiddetinin ΔS 'nin bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔS_n görünen

alanına oranının limitidir [1]. Bir M noktasının α doğrultusundaki parlaltısı;

$$L_{\alpha} = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_{\alpha}}{\Delta S_n} = \frac{dI_{\alpha}}{dS_n} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir.

2.2.4 Aydınlik Düzeyi

Aydınlik düzeyi E harfi ile gösterilir. Birimi Lüks'tür.

$$1 \text{ lüks} = 1 \text{ lx} \quad (2.6)$$

Bir yüzeyin bir M noktasındaki aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan bir ΔS yüzeyine düşen $\Delta \phi$ ışık akısının ΔS yüzeyine bölümüne eşittir. ΔS yüzeyi sıfıra yaklaşırsa $\Delta \phi / \Delta S$ oranının limiti bu noktadaki aydınlık düzeyini verir [1].

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2.7)$$

dir. $\Delta \phi$ lümen, S metrekare cinsinden alınırsa E lüks cinsinden bulunur.

2.2.5 Ortalama Aydınlik Düzeyi

Bir düzlemdeki ortalama aydınlık düzeyi E_{ort} söz konusu düzlemdeki noktasal aydınlık düzeylerinin aritmetik ortalamasıdır [1].

$$E_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2.8)$$

şeklindedir.

2.2.6 Doğal Aydınlik Düzeyi

Güneş ışınlarının odanın penceresinden içeri girerek oluşturduğu aydınlık düzeyine doğal aydınlık düzeyi denir. Doğal aydınlatmanın bireyler üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Bu yüzden binalar inşa edilirken pencerelerin ışığı en iyi alacak şekilde

yerleştirilmeleri yapay aydınlatmanın etkisini arttırması bakımından önemlidir. Pencereleer aynı zamanda en büyük kamaşma kaynakları olarak karşımıza çıktıkları için, gün iřıĝının doĝrudan göze gelmesi de iyi bir perdeleme ile önlenmelidir.

2.2.7 Yapay Aydınlık Düzeyi

Tamamen elektrik enerjisi ile odaların içlerinde çeşitli işık kaynakları (lambalar) kullanılarak oluşturulan aydınlık düzeyine yapay aydınlık düzeyi denir.

3. OFİS AYDINLATMA SİSTEMLERİ VE DAHA ÖNCE YAPILMIŞ BAZI ÇALIŞMALAR

Aydınlatma sistemleri kabaca kullanıcı kontrollü ve otomatik kontrollü sistemler olarak iki grupta incelenebilir.

3.1 Kullanıcı Kontrollü Sistemler

Kullanıcı kontrollü sistemler, aydınlatmayı çalışanların istedikleri zaman ve kendi tercihleri doğrultusunda ayarladıkları sistemlerdir. Bu duruma örnek olarak "Klasik Sistem (Açma-Kapama) " ve "Kullanıcı Kontrollü Loşlaştırma" verilebilir.

3.1.1 Klasik Sistem (Açma-Kapama)

Klasik sistemde çalışma mekanının çeşitli yerlerinde armatürlere kumanda eden anahtarlar bulunmaktadır. Anahtarlar sadece açma ve kapama görevi görmektedirler. Bu anahtarların tesisi etkin ve kademeli bir yapay aydınlatma sağlanacak şekilde düzenlenir. Toplam aydınlık düzeyinin yetersiz yada fazla geldiği durumlarda anahtarlar vasıtası ile aydınlatma ayarlanır.

Klasik sistem, kullanıcılarına kademeli bir kontrol imkanı tanımakla birlikte memnuniyetsizliği de beraberinde getirir. Sistem tamamen kullanıcı kontrolünde olduğu için doğal aydınlatmadan etkin olarak faydalanılamaz. Kullanıcıların, aydınlık düzeyleri yetersiz olduğunda lambaları açarken gösterdikleri hassasiyeti, doğal aydınlık düzeyinin artması ile oluşan yüksek aydınlık düzeylerinde lambaları kapatmakta göstermedikleri bilinmektedir. Dolayısıyla enerji tüketimi bu sistemde oldukça yüksek seviyelere çıkmaktadır. Diğer bir yandan klasik sistem kurulum maliyetinin düşük olması ve bakım kolaylığı açısından üstün olan bir sistemdir. Çalışma saatleri kısa veya sürekli kullanılmayan ofislerde kullanılabilir bir sistemdir.

Çalışma saatleri uzun olan ve çalışanlardan yüksek verim beklenen durumlarda kullanıma uygun değildir.

3.1.2 Kullanıcı Kontrollü Loşlaştırma

Kullanıcı kontrollü loşlaştırma, çalışanların yapay aydınlatmayı, tesisatın elverdiği sınırlarda istedikleri gibi ayarlamalarına olanak tanır. Floresan lambaların loşlaştırılabilmesi için loşlaştırma özelliği olan elektronik balastların bir kontrolör sistemi ile birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Kontrol aralığının çok geniş olması kullanıcı memnuniyetini beraberinde getirir.

Aydınlatma kontrolü tamamen kullanıcıların elinde olduğu için bu sistemde de enerji tüketimi yüksek seviyededir. Tesisat maliyetinin de oldukça fazla olması sistemin bir diğer dezavantajıdır. Çalışanların aydınlatma memnuniyeti ile artan verimin getirdiği kazancın enerji maliyetinin üstünde olduğu durumlarda kullanılabilir bir sistemdir.

3.2 Otomatik Kontrollü Sistemler

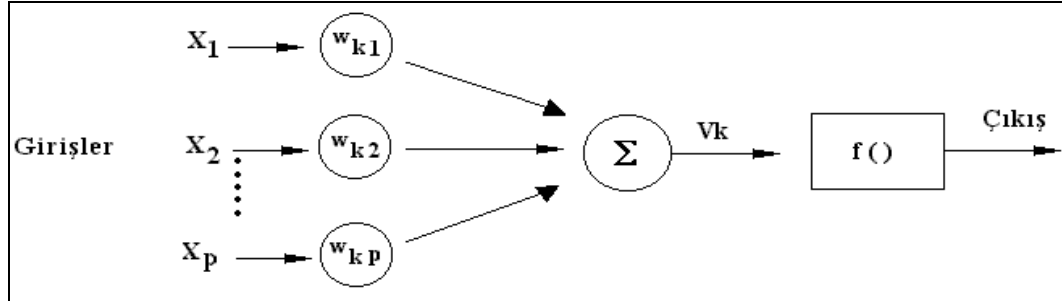
Otomatik kontrollü sistemler kullanıcının müdahalesi olmadan aydınlık düzeyinin daha önceden belirlenen değişkenlere göre ayarlandığı sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük problemi kişilerin kontrol edilmekten hoşlanmamalarından doğan değişken kişisel isteklere çok iyi cevap verme zorunluluğudur. Otomatik aydınlatma kontrolü konusunda bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, yapılan bu çalışmalardan üç tanesi, konuyla ilgili oldukları düşünüldüğünden, örnek olarak incelenecektir.

3.2.1 Yapay Sinir Ağları Yardımı İle Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Giriş Verilerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının yardımı ile ofis çalışanlarının tercihleri de hesaba katılarak, yapay aydınlık düzeyinin doğal aydınlık düzeyine ve günün saatine göre ayarlandığı bir model oluşturulmuştur [2].

Yapay sinir ağları her biri birbirine bağlı olan çok sayıda işlevsel elemanlardan (nöronlar) oluşmuştur (Şekil 3.1). Nöronlar çok girişli tek çıkışlı elemanlardır.

Nöronun her girişine ait bir ağırlık katsayısı vardır. Her giriş kendisine ait ağırlık katsayısı ile çarpıldıktan sonra, bu değerler toplanır. Elde edilen değer aktivasyon fonksiyonu adı verilen doğrusal olmayan bir fonksiyona uygulanarak çıkış değerleri belirlenir [2].



Şekil 3.1 Bir nöronun yapısı

Bu çalışmada kullanılan veriler Philips tarafından Hollanda'nın Eindhoven şehrinde ofis çalışanlarının aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı tercihlerini doğal aydınlatmayı da göz önüne alarak belirlemek amacı ile 1992 yılında başlatılmış bir projeden alınmıştır [2]. Deneyler yaklaşık 20m² 'lik ofislerde gerçekte de bu ofislerde çalışan 65 kişinin katılımı ile yapılmış olup bir yıllık veriler bu çalışmada kullanılmıştır. Ofislerde her 6 dakikada bir 5 sensör yardımıyla doğal ve yapay aydınlık düzeyleri ölçülmüştür.

Deneyler sırasında ofis çalışanları yapay aydınlık düzeyini istedikleri zaman istedikleri değere ayarlamışlardır.

Deneylerde elde edilen veriler ışığında bazı sonuçlara varılmıştır [3].

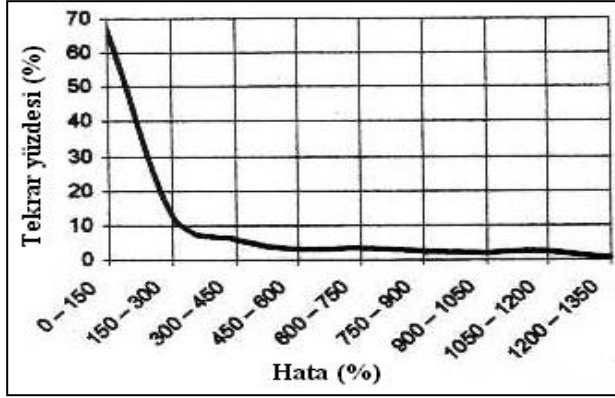
- Tercih edilen yapay aydınlık düzeyleri yaz ve kış aylarında birbirinden farklılık göstermektedir.
- Kişilerin yaptıkları yapay aydınlık düzeyi tercihleri birbirinden farklılık gösterdiğinden sadece doğal aydınlık düzeyine göre yapay aydınlık düzeyi tahmini yapılamayacağı anlaşılmıştır.
- Kişilerin güne başlarken tercih ettikleri toplam aydınlık düzeyinin ondan sonraki saatlerdeki yapay aydınlık düzeyi istekleri üzerinde etkisi olduğu anlaşılmıştır.

- Doğal aydınlık düzeyinin istenilen yapay aydınlık düzeyi üzerinde büyük etkisi vardır.
- 1500 lx toplam aydınlık düzeyi başlangıç olarak tercih edilen toplam aydınlık düzeyi değerlerinde bir ara sınır oluşturmaktadır.
- Doğal aydınlık düzeyi, günün saati, ilk tercih edilen doğal aydınlık düzeyi ve yapay aydınlık düzeyi değerleri bir arada kullanılarak yapay aydınlık düzeyi kabul edilebilir sınırlarda saptanabilir.

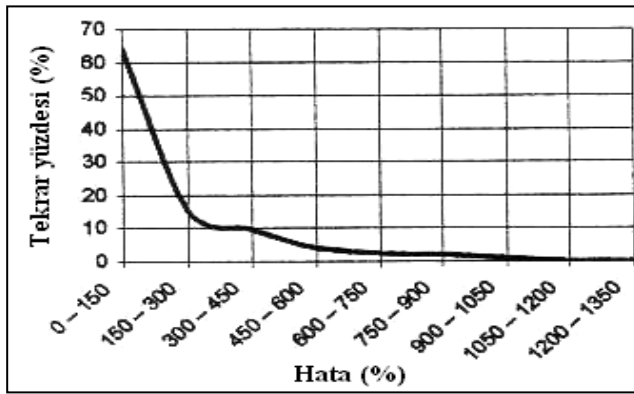
Elde edilen bu sonuçlar ışığında verilerin dört ayrı grupta incelenmesine karar verilmiştir [3].

- Kış ayında ilk değer olarak 1500lx'den fazla bir toplam aydınlık düzeyi tercih edilmesi.
- Kış ayında ilk değer olarak 1500lx'den az bir toplam aydınlık düzeyi tercih edilmesi.
- Yaz ayında ilk değer olarak 1500lx'den fazla bir toplam aydınlık düzeyi tercih edilmesi
- Yaz ayında ilk değer olarak 1500lx'den az bir toplam aydınlık düzeyi tercih edilmesi.

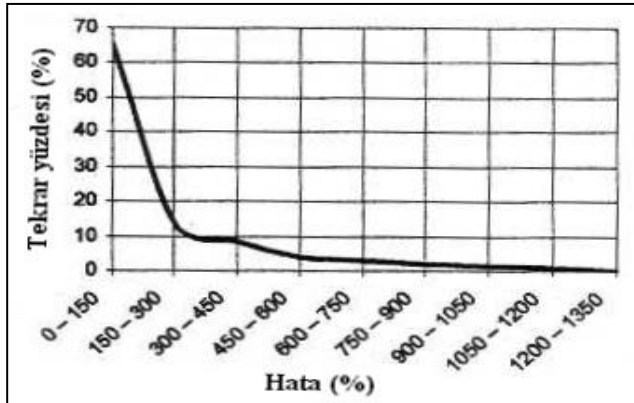
Deney sonuçları bu dört grup altında ayrı değerlendirilmeye tabii tutulmuştur. Doğal aydınlık düzeyi, günün saati, tercih edilen başlangıç yapay ve doğal aydınlık düzeyleri de giriş verileri olarak alınarak yapay sınır ağlarının yardımı ile tahmin edilen yapay aydınlık düzeylerinin hata grafiklerinde de görüldüğü gibi (Şekil 3.2-3.4) oldukça kabul edilebilir seviyede olduğu anlaşılmıştır [3].



Şekil 3.2 Kış ayları için hata dağılımı



Şekil 3.3 Yaz ayları için hata dağılımı



Şekil 3.4 Toplam hata dağılımı

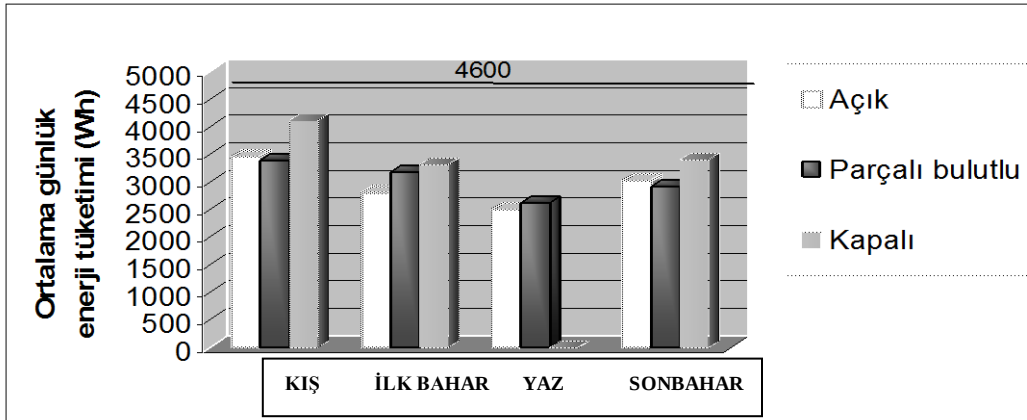
Tüm yıla bakıldığında mutlak hata oranı 0-150 lx arası olan tahminler tüm tahminlerin %65'ini, 0-350lx olanlar %80'ini, 0-450lx olanlar ise %88'ini oluşturmaktadır. Bu sonuçlar yapay sinir ağlarının aydınlatma kontrol sistemlerinin tasarlanmasında kullanılabileceğini de göstermektedir [3].

3.2.2 Gün Işığına Duyarlı Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Bu çalışmanın amacı gün ışığına duyarlı bir aydınlatma kontrol sisteminin, hiç bir kontrolün olmaması durumuna göre ne kadar enerji tasarrufu sağlayacağını saptanmasıdır.

Bu çalışma için seçilmiş olan test odası 6 adet içinde 2 adet 58W'lık floresan lamba bulunan armatür ve odanın çeşitli yerlerindeki aydınlık düzeylerini ölçebilen 7 adet sensörle donatılmıştır. Deneyin temel mantığı odanın içerisindeki çalışma masasının üzerindeki toplam aydınlık düzeyini uluslararası standartlarda da belirtilen 500 lx seviyesinde sabit tutmaktır [4]. Otomatik kontrol sistemi bu görevi yapmakta ve doğal aydınlık düzeyi yeterli olmadığı zaman masa üstündeki toplam aydınlık düzeyini 500 lx'e getirecek şekilde yapay aydınlatma sağlamaktadır. Doğal aydınlık düzeyi 500 lx mertebesini aştığında ise yapay aydınlatmayı otomatik olarak devre dışı bırakmaktadır.

Deneylerin yapıldığı zaman boyunca hava durumu da günlük olarak kaydedilmiştir. Buna göre deney süresi olan 174 gün boyunca 109 gün açık, 27 gün kapalı, 28 gün de parçalı bulutlu hava gerçekleşmiştir [4].



Şekil 3.5 Klasik sistemde hava durumu değişimine göre oluşan günlük ortalama enerji tüketimi

Deneylerin sonucunda bir yıl için bulunan günlük ortalama enerji tüketimi Şekil 3.5'de, sağlanan enerji tasarrufu değerleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Hiç bir kontrolün olmadığı geleneksel sistemde, sürekli kullanımda enerji tüketimi günlük 4600Wh'dir.

Elde edilen enerji tasarrufu değerleri, mevsimlere aylara ve hava durumlarına göre farklılık göstermektedir. Bu alışma gösteriyor ki gün ışığına duyarlı otomatik kontrol sistemlerinden faydalanılarak yaklaşık %30'luk bir enerji tasarrufu sağlanması mümkündür [4]. Ayrıca sisteme eklenecek zamanlama kontrolü sayesinde daha önceden belirlenen zamanlarda (mesai başlangıcı, mesai bitimi, temizlik saatleri, öğlen tatili...) aydınlatmanın kendiliğinden açılıp kapanmasının sağlanması durumunda enerji tasarrufu daha da arttırılabilir.

Gün ışığına bağlı kontrol yapan sistemler, çalışanların kişisel isteklerine cevap vermekte yetersiz kalırlar. Çalışanları yaş, cinsiyet, göz bozukluğu gibi değişken özelliklerine bakmaksızın aynı aydınlık düzeylerinde çalışma durumunda bırakır.

3.2.3 Ofislerde Kullanıcı Kontrollü Aydınlama Sistemlerinin alışanlar Tarafından Sorgulanması

Bu alışma İngiltere'de bulunan 7'si kullanıcı kontrollü aydınlatması olan 7'si de kullanıcı kontrollü aydınlatması olmayan (otomatik) toplam 14 ofiste, çalışanlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucu sistemlerden ne düzeyde memnun olduklarını ve sistemleri ne lde verimli kullandıklarını araştırmaktadır.

Araştırmalara başlamadan önce kullanıcı kontrollü aydınlatma sistemi olan ofislerde çalışanların sistemi toplam aydınlatma kapasitesinin yarısına yakın bir değerde kullandıkları bilinmekteydi. Bu da enerji tasarrufu için önemli bir potansiyele sahip olunduğunun bir göstergesidir [5].

Deneye katılan 14 ofisin çalışanlarına 4 bölümden oluşan bir anket yapılmıştır. Ankete toplam 352 kişi katılmıştır. Yapılan anketin bölümleri şunlardır [5].

- Kişisel
- Aydınlamanın görsel yeterliliği
- Aydınlamanın konfor yeterliliği
- Aydınlama sisteminin kontrol seçeneklerinin yeterliliği

Tablo 3.1 Gün ışığına duyarlı aydınlatma sistemleri ile sağlanan aylık, mevsimlik ve yıllık enerji tasarrufu değerleri

Aylık		Mevsimlere Göre				Yıllık		
Aylar	Tasarruf (%)	Mevsim	Tasarruf (%)	Hava Durumu	Tasarruf (%)	Hava Durumu	Tasarruf (%)	Toplam Kazanç (%)
Aralık	20	Kış	21	Açık	25	Açık	35	%31
Ocak	21			Parçalı bulutlu	26			
Şubat	24			Kapalı	11			
Mart	34	İlkbahar	35	Açık	39	Parçalı Bulutlu	33	
Nisan	37			Parçalı bulutlu	31			
Mayıs	40			Kapalı	28			
Haziran	47	Yaz	45	Açık	46	Kapalı	16	
Temmuz	47			Parçalı bulutlu	41			
Ağustos	44			Kapalı	-			
Eylül	39	Sonbahar	34	Açık	34	Kapalı	16	
Ekim	30			Parçalı bulutlu	37			
Kasım	27			Kapalı	26			

Anket sonuçlarından bazıları aşağıda tablolar şeklinde verilmiştir.

Sağlanan ortalama aydınlık düzeylerinin birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermemesine rağmen kullanıcı kontrolüne sahip ofis çalışanları daha memnundurlar. Ankete katılan çalışanların %80'i masası üzerindeki aydınlık düzeyini kontrol etmenin önemli olduğunu, %82'si ise kendi çalışma alanını diğer çalışma alanlarından ayrı olarak kontrol etmenin de önemli olduğunu dile getirmişlerdir [5]. Çalışanların kontrolü kendi ellerine alma ihtiyacını ortadan kaldırmak için onların ihtiyaçlarını iyi tahmin edebilecek sistemler kurulmalıdır.

Tablo 3.2 Kişisel bilgiler

Aydınlatma Çeşidi	Yaş Grubu	Cinsiyet % (kadın)	İş Tanımı % Memur, Uzman, Yönetici	Çalışma süresi (yıl)	Günün Masa Başı Zamanı (%)
KontROLSÜZ	25-34	%64	%52, %36 ,%12	3,4	%78
KONTROLLÜ	25-34	%61	%63, %26, %11	4,8	%79

Tablo 3.3 Çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyleri

	Aydınlık düzeyi (lx)		
Aydınlatma Çeşidi	Ortalama	Minimum	Maksimum
KontROLSÜZ	390	105	803
KONTROLLÜ	319	18	1114

Tablo 3.4 Görüş alanına giren bölgelerin parlıtları

	Parlıtı (cd/m ²)					
	Masa üzeri		Yakın çevre		Uzak çevre	
	Kontrollü	KontROLSÜZ	Kontrollü	KontROLSÜZ	Kontrollü	KontROLSÜZ
Ortalama	33	27	33	27	36	25
Minimum	2	1	2	2	7	6
Maksimum	539	330	92	110	513	305

Tablo 3.5 Aydınlatma kalitesi ile ilgili sorulara verilen ortalama yanıtlar

Kontrollü	Kontrolsüz	Anket Soruları
4,21	3,78	Masa üzerindeki aydınlık düzeyini ayarlamak sizce ne kadar önemli? (1= önemsiz, 5= önemli)
2,98	1,51	Masa üzerindeki aydınlık düzeyini ne ölçüde ayarlayabiliyorsunuz? (1= hiç, 5= tamamen)
3,04	2,33	Bu kontrolden ne kadar memnunsunuz? (1= hiç memnun değilim, 5 = çok memnunum)
4,22	3,92	Kendi kısmınızdaki aydınlık düzeyini diğer bölümlerden ayrı olarak da ayarlayabilmek sizce ne kadar önemli? (1= önemli, 5= önemsiz)
3	2,68	Çalışma bölümünüzde gün ışığına bağlı kontrol ne derecede yapılıyor? (1= hiç, 5= tamamen)

4. BULANIK MANTIK

4.1 Bulanık Mantık Kavramı

Bulanık kümeler 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık kümeler günlük hayatta da sık sık karşılaşılan belirsizlik içeren durumlara matematiksel bir yaklaşım ortaya koyar [6]. Klasik kümeler ve matematiksel mantık dünyayı evet ve hayır, siyah ve beyaz, doğru ve yanlış diye ikiye bölerler. Bulanık kümeler ve bulanık mantık ise olayları derecelendirirler. Klasik kümelerin kolay cevap veremediği karmaşık durumlarda özellikle iyi bir yaklaşık cevap aranıyorsa bulanık mantık kullanılması büyük kolaylık getirir. Bulanık kümeler ve mantık artık bilimin ve mühendisliğin her dalında yerini almış durumdadır. Bulanık mantık kontrol günlük hayatımıza da elektrik süpürgeleri, çamaşır makinaları gibi ev aletleri ile girmiş bulunmaktadır. Bulanık kümelerin temel fikrini kavramak basittir. Örneğin, kırmızı ışıktaki durması gereken bir şoföre yaya geçidinden 25 metre önce frene basmasını söylemek yerine, yaya geçidine oldukça yaklaşıncaya frene basmasını söylemek, uygulaması daha kolay bir eylem olduğu için daha geçerlidir. Bu örnekte olduğu gibi kesinlik her zaman en iyi sonucu getirmez [6].

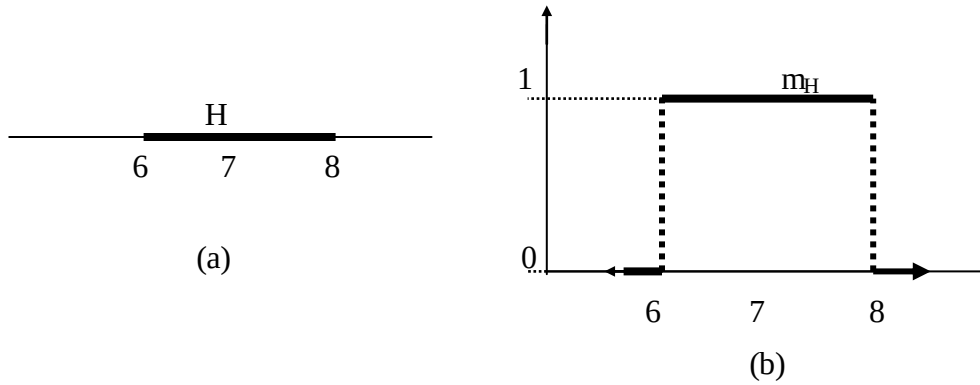
Durumların bulanık yorumları, çeşitli problemleri çözmenin ve bir kalıba sokmanın çok doğal, sezgisel ve makul bir yoludur [7]. Klasik kümelerde üyelik fonksiyonları için çok kesin özellikler aranır. Klasik kümelerde 6'dan 8'e kadar sayıların toplam sayısı için aşağıdaki tanım yapılır.

$$H = \{ r \in \mathbb{R} \mid 6 \leq r \leq 8 \} \quad (4.1)$$

H'nin karakteristik fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır.

$$m_H(r) = \begin{cases} 1; & 6 \leq r \leq 8 \\ 0; & \text{aksi halde} \end{cases} \quad m_H : \mathbb{R} \rightarrow \{0,1\} \quad (4.2)$$

Klasik H fonksiyonunun ve üyelik fonksiyonunun grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 (a) ve 4.1 (b)'de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Klasik küme için üyelik fonksiyonun gösterimi

Klasik setler iki sonuçlu mantığa uygundurlar: açık yada kapalı, siyah yada beyaz, 1 yada 0. H kümesinin üyelik fonksiyonunu bulmak için kullanılan referans sorusu; r , H 'nin içinde mi? sorusudur. Cevap, sadece ve sadece $m_H(r)=1$ ise, "evet" olacaktır.

Örnek olarak, 7'ye yakın olan reel sayılar kümesi aransın. Özellik 7'ye yakın olmak ise bu bir bulanık kümedir ve tek bir cevabı yoktur [7].

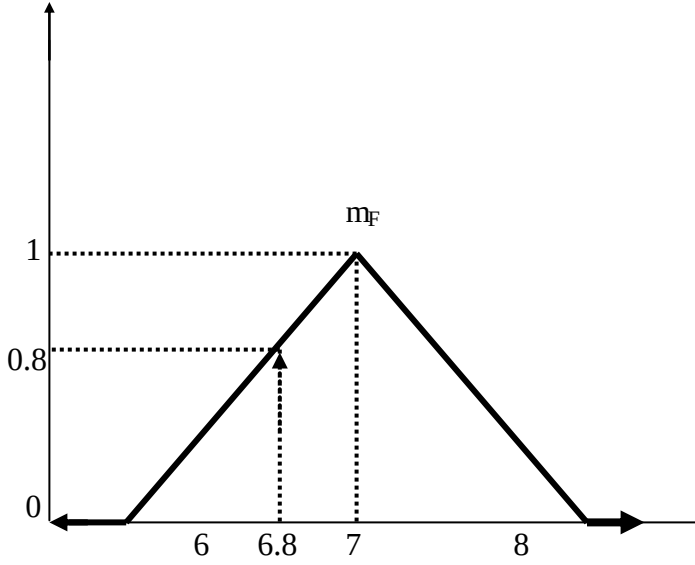
Bu kümeye F kümesi denirse, bu kümenin özellikleri;

- $m_F(7) = 1$,
- monotonluk (r 7'ye ne kadar yakınsa $m_F(r)$ 'de 1'e o kadar yakındır),
- simetri (7'ye sağdan ve soldan aynı derecede yakın olan r 'ler aynı üyelik fonksiyonuna sahiptirler),

şeklindedir. Bulanık F kümesinin üyelik fonksiyonu aşağıda gösterilen şekilde olur.

Bulanık mantık konusunda şimdiye kadar en çok sorulan ve hala sorulmaya devam eden soru bulanık mantığın olasılığın kılık değiştirmiş hali olup olmadığıdır. Bu sorunun cevabı, "hayır"dır [7]. Basit bir örnekle bu açıklanabilir.

Tüm sıvılar kümesi bütün maddelerin evreni olsun ve tüm içilebilir sıvılar da L bulanık kümesi olsun. Bir haftadır çölde susuz kalmış birisi içlerinde sıvı olan iki şişe buluyor. Bu şişeler A ve B şişeleri olsun.



Şekil 4.2 Bulanık F kümesinin üyelik fonksiyonu

$$A \text{ Şişesi} - m(A^{\text{TM}} L) = 0.91 \quad (4.3)$$

$$B \text{ Şişesi} - p(B^{\text{TM}} L) = 0.91 \quad (4.4)$$

A şişesi yukarıda da yer aldığı gibi suyun içilebilirliğine ait 0.91 üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık kümeyle eşleştirilmişken, B şişesi 0.91 olasılıkla içilebilir bir suyu temsil etmektedir. Bu durumda hangi şişenin içindeki sıvı içilmeli? İlk bakışta pek bir fark yokmuş gibi gelse de A şişesi içindeki suyun içilmesi daha emniyetli olacaktır. Çünkü A şişesinin içindeki su %91 saflık derecesine sahip bir sudur ve içilmesi durumunda hayati bir tehlike olmayacaktır [7]. B şişesindeki su ise %91 olasılıkla içilebilir bir sudur, yani %9 olasılıkla bu su içilirse insan hayatı tehlikeye girebilir. Eğer bu örnekteki değerler 0.91 yerine iki şişe için de 0.5 olsa idi o zaman B şişesini seçmek daha avantajlı olacaktı. Çünkü %50'si saf su %50'si ise içilemeyecek bir sıvı olacak olan A şişesindeki sıvıyı içmek hayati tehlike arz edebilecekti. B şişesinde ise en azından yarı yarıya tamamen temiz su içme ihtimali doğacaktı [6].

Özet olarak, bu örnek gösteriyor ki olasılık ve bulanık mantık tamamen farklı olarak olaylara yaklaşmaktadır [6].

4.2 Bulanık Kümeler

Bulanık kümelerin karakteristik fonksiyonları daha önce de bahsedildiği gibi klasik kümelerin karakteristik fonksiyonları gibi sadece 1 ve 0'dan oluşmazlar. Örneğin, $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ 'in elemanlarının $A = \{x_2, x_3, x_5\}$ 'in de elemanları olup olmadığına ait karakteristik fonksiyon sadece 1 ve 0 değerlerini alır. Karakteristik fonksiyonun $[0,1]$ aralığında da değerler alabileceği varsayalım. Bu yolla üyelik kavramı derece bildiren bir bulanık küme halini almış olur [7].

$$A = \{(x, m_A(x)) \mid x \in A, m_A(x) \in [0,1]\} \quad (4.5)$$

Bu ifadede yer alan $A(x)$ x 'in A bulanık kümesine ait olma derecesini bildiren üyelik fonksiyonudur.

4.2.1 Bulanık Kümelerin Temel Operatörleri

U evreninde A ve B gibi iki bulanık küme olsun.

$$\begin{aligned} A &= \{(x, m_A(x))\}, \quad m_A(x) \in [0,1], \\ B &= \{(x, m_B(x))\}, \quad m_B(x) \in [0,1]. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Aşağıda yer alan bulanık küme operatörlerinin gösterimi bu iki küme üzerinde yapılacaktır.

4.2.1.1 Eşitlik

A ve B bulanık kümeleri sadece ve sadece her $x \in U$ için $m_A(x) = m_B(x)$ ise eşit sayılabilir ve $A=B$ olarak gösterilebilirler [7].

4.2.1.2 Kapsama

B bulanık kümesi sadece ve sadece her $x \in U$ için $m_A(x) \leq m_B(x)$ ise A bulanık kümesini kapsıyor denebilir ve $A \subseteq B$ olarak gösterilir [8].

4.2.1.3 Tümleyen

A kümesinin tümleyeni de yine bir bulanık kümedir ve aŗağıdaki gibi gösterilir.

$$m_{\bar{A}}(x) = 1 - m_A(x) \quad (4.7)$$

$$m_{\bar{A}}(x) + m_A(x) = 1 \quad (4.8)$$

Bir bulanık küme tümleyeni ile 0.5 dereceli üyelik fonksiyonuna göre simetriktir [7].

4.2.1.4 Kesiŗim

A ve B bulanık kümelerinin kesiŗimi $A \cap B$ olarak gösterilir ve,

$$m_{A \cap B}(x) = \min(m_A(x), m_B(x)), \quad x \in U \quad (4.9)$$

olarak ifade edilir [8].

4.2.1.5 Birleŗim

A ve B bulanık kümelerinin birleŗimi $A \cup B$ olarak gösterilir ve,

$$m_{A \cup B}(x) = \max(m_A(x), m_B(x)), \quad x \in U \quad (4.10)$$

olarak ifade edilir [7].

4.2.1.6 Fark

A ve B bulanık kümelerinin farkı $A - B$ olarak gösterilir ve,

$$m_{A-B}(x) = \min(m_A(x), m_{\bar{B}}(x)), \quad x \in U \quad (4.11)$$

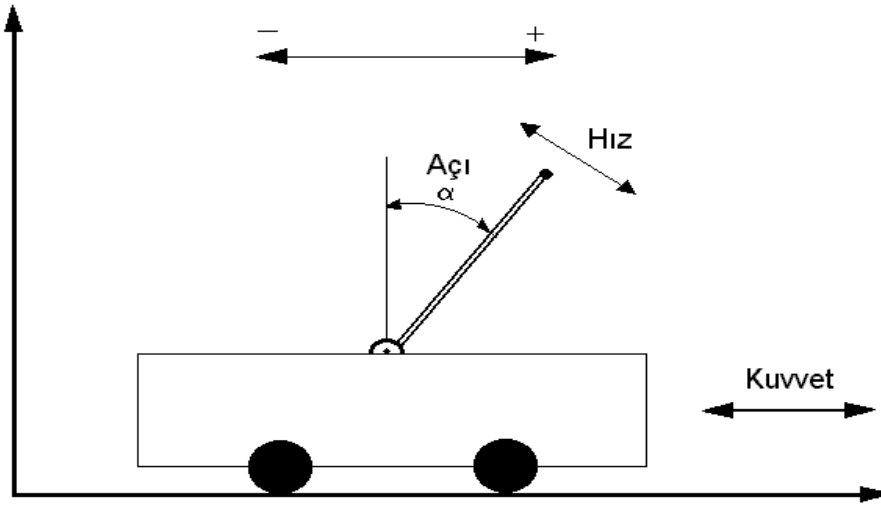
olarak ifade edilir [9].

4.3 Bulanık Kontrol Uygulaması

Ofis Aydınlatması uygulamasına benzerliği nedeniyle bulanık mantık konusunun anlatımına bir örnek ile devam etmek faydalı olacaktır.

4.3.1 Bulanık Mantık ile Ters Sarkaç Kontrolü

Bu bölümde bulanık mantık kontrol mekanizması adım adım , klasik bir mekanik sistem olan ters sarkaç modeli uygulamasıyla incelenecektir. Sistem x düzleminde ileri ve geri hareket eden bir araba ve onun üzerinde Oxy düzleminde dönen bir ters sarkaçtan oluşmaktadır [7]. Giriş büyüklükleri α açısı ve arabanın hızı v 'dir. Çıkış büyüklüğü ise arabaya uygulanan kuvettir. Kontrolün amacı (α, v) çiftine karşılık gelen, arabaya uygulanacak kuvveti bulup, sarkacı dengede tutmaktır[7]. Aşağıda sistemin daha kolay anlaşılmasını sağlayacak şekil bulunmaktadır.



Şekil 4.3 Ters sarkaç kontrol sistemi

- 1) Arabaya uygulanacak kuvvetin giriş büyüklüklerine göre belirlenmesini sağlayacak, kurallara ihtiyaç vardır. Kurallar, EĞER İSE , yada EĞER.....VE/VEYA.....İSE..... şeklindedir. Ölçülen giriş büyüklükleri bu kurallara uygulanır ve çıkış büyüklüğünün elde edilmesi için ilk adım atılmış olur. Bu kurallardan birkaç tane örnek aşağıdadır.

- 1) **Eğer** aç $\acute{\imath}$ ‘negatif orta’ **ve** hız ‘pozitif küçük’ **ise** kuvvet ‘negatif küçük’tür
- 2) **Eğer** aç $\acute{\imath}$ ‘negatif orta’ **ve** hız ‘pozitif orta’ **ise** kuvvet ‘pozitif küçük’tür
- 3) **Eğer** aç $\acute{\imath}$ ‘negatif küçük’ **ve** hız ‘pozitif küçük’ **ise** kuvvet ‘pozitif küçük’tür
- 4) **Eğer** aç $\acute{\imath}$ ‘negatif küçük’ **ve** hız ‘pozitif orta’ **ise** kuvvet ‘pozitif küçük’ tür

Negatif orta, pozitif küçük, negatif küçük ve pozitif orta, aç $\acute{\imath}$, hız ve kuvvetin dilsel değişkenleridir. Bu kuralların belirlenmesi bilgi ve tecrübeye dayanmaktadır [7].

Dilsel değişkenler A, B ve C kümeleri olarak modellenenir.

$$\begin{aligned}
 A_i &= \{(x, m_{A_i}(x)) \mid x \in A_i \subset U_1\}, \quad i = 1, K, n, \\
 B_j &= \{(y, m_{B_j}(y)) \mid y \in B_j \subset U_2\}, \quad j = 1, K, m, \\
 C_k &= \{(z, m_{C_k}(z)) \mid z \in C_k \subset U_3\}, \quad k = 1, K, l.
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

Dilsel değişken kümelerinin seçilmesinde dikkat edilecek hususlar şunlardır [7]:

- A_i, B_j, C_k kümelerinin üyelik fonksiyonlarının seçilmesi (Genellikle üçgen, veya trapezoid şekilleri kullanılır).
- Terim sayılarının belirlenmesi: n, m, l . (Genellikle bu sayılar 3 ile 10 arasında seçilir.)
- A_i, B_j, C_k için desteklenen aralıkların belirlenmesi.

Başlangıç olarak, $n = m = l = 6$, U_1 :aç $\acute{\imath}$, U_2 :hız, U_3 :kuvvet olarak seçilirse, dilsel değişkenler üç değişken için de (aç $\acute{\imath}$, hız ve kuvvet) aynı olur [7].

NB = Negatif Büyük, üyelik fonksiyonu, $m_{NB}(w)$

NO = Negatif Orta, üyelik fonksiyonu, $m_{NO}(w)$

NK = Negatif Küçük, üyelik fonksiyonu, $m_{NK}(w)$

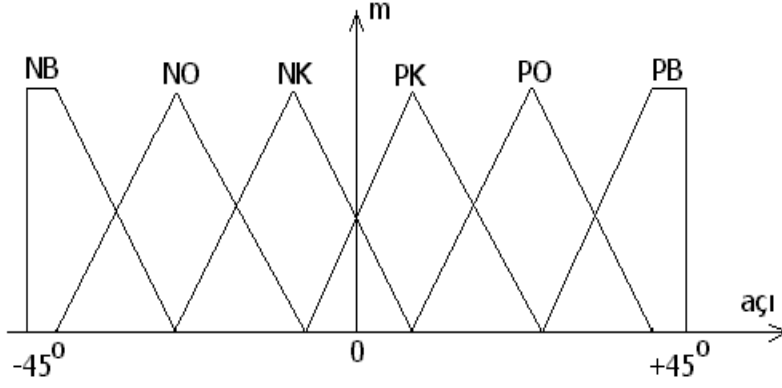
PK = Pozitif Küçük, üyelik fonksiyonu, $m_{NB}(w)$

PO = Pozitif Orta, üyelik fonksiyonu, $m_{NB}(w)$

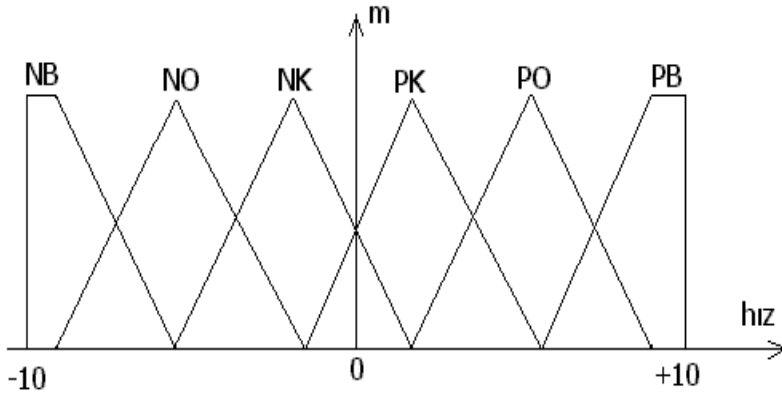
PB = Pozitif Büyük, üyelik fonksiyonu, $m_{PB}(w)$

Bu üç değişkenin üyelik fonksiyonları Şekil 4.4, Şekil 4.5, ve Şekil 4.6'daki gibi seçilsin. [7].

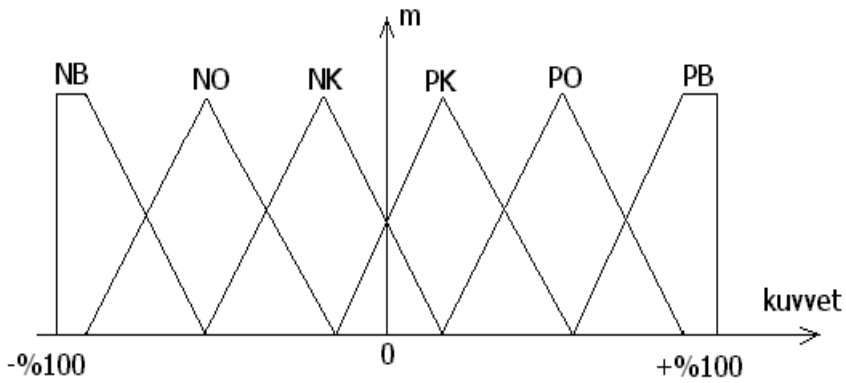
Bir sonraki adım kuralların belirlenmesidir. Giriş değişkenlerinin sayısının çarpımı kadar yani; $n \times m = 36$ adet kural olmalıdır.



Şekil 4.4 Giriş değişkeni açı



Şekil 4.5 Giriş değişkeni hız



Şekil 4.6 Çıkış değişkeni kuvvet

Kuralların kalıbı şu şekildedir:

Eğer x, A_i ve y, B_j ise z, C_k 'dir. (4.13)

' x, A_i ' yerine p_i

' y, B_j ' yerine q_j

' z, C_k ' yerine de r_k , yazarsak yeni kural kalıbı aşağıdaki gibi olur[7].

Eğer p_i ve q_j ise r_k 'dir . (4.14)

Bu bulanık ilişkinin üyelik fonksiyonu ;

$$p_i \wedge q_j = \min(m_{A_i}(x), m_{B_j}(y)), (x, y) \in A \times B \subset U_1 \times U_2$$

$$p_i \wedge q_j \wedge r_k = \min(m_{A_i}(x), m_{B_j}(y), m_{C_k}(z)), i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, k = 1, \dots, l \quad (4.15)$$

$$\text{ve } (x, y, z) \in A \times B \times C \subseteq U_1 \times U_2 \times U_3.$$

Bu kalıba göre Tablo 4.1'de görüldüğü üzere kurallar oluşturulur.

Tablo 4.1 Ters sarkaç için kural tablosu

Hız B Açı A	NB	NO	NK	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NO	NK	PK
NO	NB	NB	NO	NK	PK	PK
NK	NB	NO	NK	PK	PK	PO
PK	NO	NK	NK	PK	PO	PB
PO	NK	NK	PK	PO	PB	PB
PB	NK	PK	PO	PB	PB	PB

Giriş parametrelerinin okunan değerleri dilsel değişkenlere çevrilmelidir. Okunan değerler dilsel değişkenleri temsil eden üyelik fonksiyonları ile eşleştirilir.

İlk kontrol aşamasında daha önce verilen 4 kuralın uygulanabileceği durumun gerçekleştiğini varsayalım.

$$\begin{aligned}
\text{Kural 1: E\u011fer } x, A_i^{(0)} \text{ ve } y, B_j^{(0)} \text{ ise } z, C_{ij} \text{ dir,} \\
\text{Kural 2: E\u011fer } x, A_i^{(0)} \text{ ve } y, B_{j+1}^{(0)} \text{ ise } z, C_{i,j+1} \text{ dir,} \\
\text{Kural 3: E\u011fer } x, A_{i+1}^{(0)} \text{ ve } y, B_j^{(0)} \text{ ise } z, C_{i+1,j} \text{ dir,} \\
\text{Kural 4: E\u011fer } x, A_{i+1}^{(0)} \text{ ve } y, B_{j+1}^{(0)} \text{ ise } z, C_{i+1,j+1} \text{ dir.}
\end{aligned} \tag{4.16}$$

Burada ‘ve’ ile ba\u011flanana kısma ‘kuralın g\u00fc\u00e7\u00fc’ denir, Şu Şekilde ifade edilir [6]:

$$\begin{aligned}
\alpha_{i,j} &= m_{A_i}(x_0) \wedge m_{B_j}(y_0) = \min(m_{A_i}(x_0), m_{B_j}(y_0)), \\
\alpha_{i,j+1} &= m_{A_i}(x_0) \wedge m_{B_{j+1}}(y_0) = \min(m_{A_i}(x_0), m_{B_{j+1}}(y_0)), \\
\alpha_{i+1,j} &= m_{A_{i+1}}(x_0) \wedge m_{B_j}(y_0) = \min(m_{A_{i+1}}(x_0), m_{B_j}(y_0)), \\
\alpha_{i+1,j+1} &= m_{A_{i+1}}(x_0) \wedge m_{B_{j+1}}(y_0) = \min(m_{A_{i+1}}(x_0), m_{B_{j+1}}(y_0)).
\end{aligned} \tag{4.17}$$

Tablo yeniden oluşturulacak olursa, Tablo 4.2 elde edilir.

Tablo 4.2 Kural g\u00fc\u00e7 tablosu

	0	...	$m_{B_j}(y_0)$	$m_{B_{j+1}}(y_0)$	...	0
0	0	...	0	0	...	0
...	...		...	...		...
$m_{A_i}(x_0)$	0	...	$\alpha_{i,j}$	$\alpha_{i,j+1}$	...	0
$m_{A_{i+1}}(x_0)$	0	...	$\alpha_{i+1,j}$	$\alpha_{i+1,j+1}$	...	0
...	...		...	...		...
0	0	...	0	0	...	0

Bu d\u00f6rt h\u00fcredeki elemanlar kontrol \u00e7ıkışını elde etmek i\u00e7in kullanılırlar. Her kuralın kontrol \u00e7ıkışları (K\u00c7), Denklem (4.18)’de g\u00f6sterildi\u011fi gibi, g\u00fc\u00e7lerine uygulanan operasyon ba\u011la\u00e7ları ve sonu\u00e7ları ile tanımlanırlar [6].

$$\begin{aligned}
\text{K\u00c7 kural1: } \alpha_{i,j} \wedge m_{C_{ij}}(z) &= \min(\alpha_{i,j}, m_{C_{ij}}(z)), \\
\text{K\u00c7 kural2: } \alpha_{i,j+1} \wedge m_{C_{i,j+1}}(z) &= \min(\alpha_{i,j+1}, m_{C_{i,j+1}}(z)), \\
\text{K\u00c7 kural3: } \alpha_{i+1,j} \wedge m_{C_{i+1,j}}(z) &= \min(\alpha_{i+1,j}, m_{C_{i+1,j}}(z)), \\
\text{K\u00c7 kural4: } \alpha_{i+1,j+1} \wedge m_{C_{i+1,j+1}}(z) &= \min(\alpha_{i+1,j+1}, m_{C_{i+1,j+1}}(z)).
\end{aligned} \tag{4.18}$$

Kontrol \u00e7ıkışları Denklem (4.15)’de, $x = x_0$, $y = y_0$, yazıldı\u011fi taktirde elde edilebilir.

Bu kuralların yeniden d\u00fczenlenmiş hali Tablo 4.3’de yer almaktadır.

Tablo 4.3 Kontrol Çıkışları

	...	...	
...	$\alpha_{i,j} \wedge m_{C_{I,j}}(z)$	$\alpha_{i,j+1} \wedge m_{C_{I,j+1}}(z)$	...
...	$\alpha_{i+1,j} \wedge m_{C_{I+1,j}}(z)$	$\alpha_{i+1,j+1} \wedge m_{C_{I+1,j+1}}(z)$	...
	...	...	

Elemanları sıfır olan hücreler tabloda gösterilmemiştir. Şimdi tabloda yer alan kuralların çıkışları tek bir sonuç oluşturmak için birleştirilmelidir. Bu çıkışlar ‘veya’ operatörü ile birleştirilirse, aşağıda yer alan sonuç elde edilir [6].

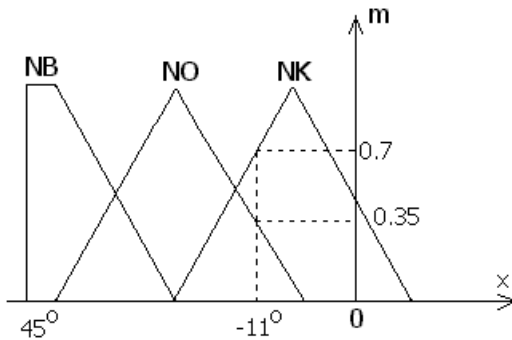
$$\begin{aligned}
 m_{\text{Birleştirilmiş}}(z) &= (\alpha_{i,j} \wedge m_{C_{I,j}}(z)) \vee (\alpha_{i,j+1} \wedge m_{C_{I,j+1}}(z)) \vee (\alpha_{i+1,j} \wedge m_{C_{I+1,j}}(z)) \\
 &\quad \vee (\alpha_{i+1,j+1} \wedge m_{C_{I+1,j+1}}(z)) \\
 &= \max (\alpha_{i,j} \wedge m_{C_{I,j}}(z)), (\alpha_{i,j+1} \wedge m_{C_{I,j+1}}(z)), (\alpha_{i+1,j} \wedge m_{C_{I+1,j}}(z)), \\
 &\quad (\alpha_{i+1,j+1} \wedge m_{C_{I+1,j+1}}(z))
 \end{aligned} \tag{4.19}$$

Ters sarkaç problemi için, açı = -11 ve hız = 2 ilk değerlerinin okunduğu varsayılırsa, buna göre giriş değerleri, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gözüktüğü üzere;

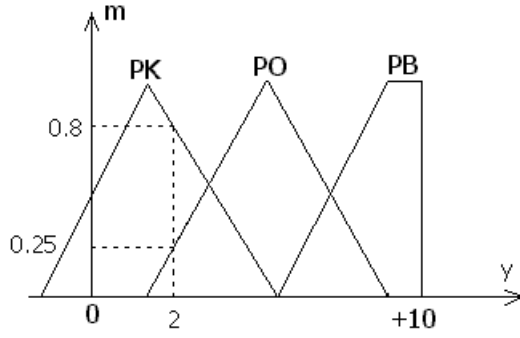
(i) açı: $m_{NO}(-11) = 0.35$, $m_{NK}(-11) = 0.7$,

(ii) hız: $m_{PO}(2) = 0.25$, $m_{PK}(2) = 0.8$,

şeklinde olur.



Şekil 4.7 Açı giriş değerleri.



Şekil 4.8 Hız giriş değerleri.

Tablo 4.4 İndirgenmiş karar tablosu

	0	0	0	$m_{PK}(y_0)=0.8$	$m_{PO}(y_0)=0.25$	0
0	0	0	0	0	0	0
$m_{NO}(x_0)=0.35$	0	0	0	$m_{NK}(z)$	$m_{PK}(z)$	0
$m_{NK}(x_0)=0.7$	0	0	0	$m_{PK}(z)$	$m_{PK}(z)$	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

İndirgenmiş karar tablosunda da görüldüğü gibi sadece dört aktif kural vardır ve bu kurallara ait güçler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 \alpha_{24} &= m_{NO}(x_0) \wedge m_{PK}(y_0) = \min(0.35, 0.8) = 0.35 \\
 \alpha_{25} &= m_{NO}(x_0) \wedge m_{PO}(y_0) = \min(0.35, 0.25) = 0.25 \\
 \alpha_{34} &= m_{NK}(x_0) \wedge m_{PK}(y_0) = \min(0.7, 0.8) = 0.7 \\
 \alpha_{35} &= m_{NK}(x_0) \wedge m_{PO}(y_0) = \min(0.7, 0.25) = 0.25
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

Bu sonuçlar Tablo 4.5 kural güç tablosunda gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Kural güç tablosu

	0	0	0	$m_{PK}(y_0)=0.8$	$m_{PO}(y_0)=0.25$	0
0	0	0	0	0	0	0
$m_{NO}(x_0)=0.35$	0	0	0	0.35	0.25	0
$m_{NK}(x_0)=0.7$	0	0	0	0.7	0.25	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Elde edilen kuralların kontrol çıkışları;

$$\text{KÇ kural1: } \alpha_{24} \wedge m_{NK}(z) = \min(0.35, m_{NK}(z)),$$

$$\text{KÇ kural2: } \alpha_{25} \wedge m_{PK}(z) = \min(0.25, m_{PK}(z)),$$

$$\text{KÇ kural3: } \alpha_{34} \wedge m_{PK}(z) = \min(0.7, m_{PK}(z)),$$

$$\text{KÇ kural4: } \alpha_{35} \wedge m_{PK}(z) = \min(0.25, m_{PK}(z)),$$

şeklinde olur. Tablo halinde gösterimi ise aşağıdadır.

Tablo 4.6 Kontrol çıkışları

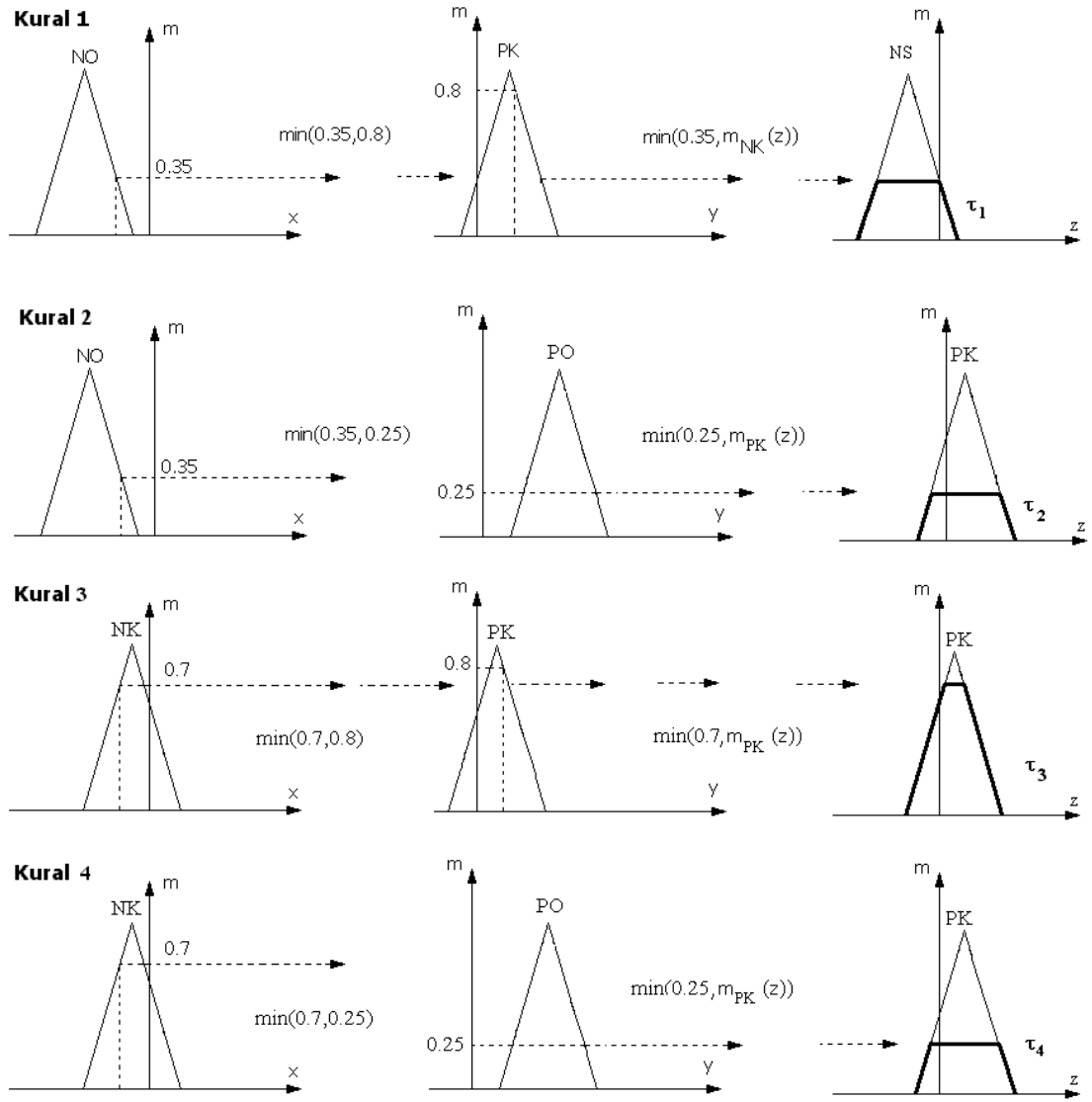
	...	...	
...	$0.35 \wedge m_{NK}(z)$	$0.25 \wedge m_{PK}(z)$	...
...	$0.7 \wedge m_{PK}(z)$	$0.25 \wedge m_{PK}(z)$	...
	...	...	

Şekil 4.9’da ilk iki sütundaki bulanık girişlerin arasında yer alan min operatörleri oklarla gösterilmiş olan ikinci sütunla üçüncü sütun arasındaki kuralların sırasıyla 0.35, 0.25, 0.7, 0.25 olan güçlerini belirler [7].

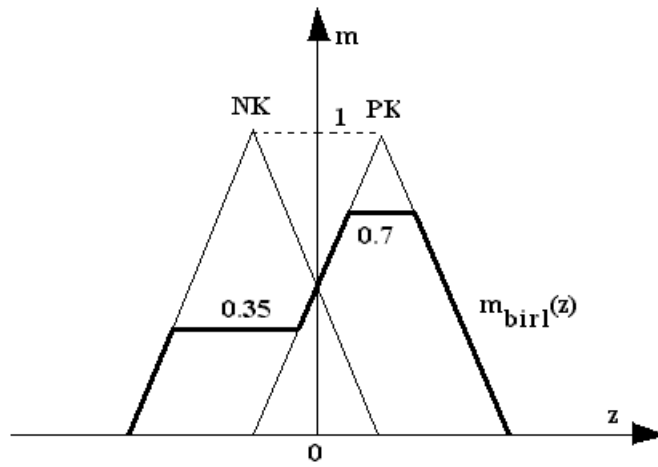
Şekil 4.9’un sonuçları tepesi kesilmiş üçgenler olan $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ ikizkenar üçgenleridir. Birleştirilmiş kontrol çıkışlarını elde etmek için denklem (4.15) kullanılacaktır.

Bu elde edilen ikizkenar üçgenlerin aynı koordinat ekseninde (z,m) geometrik açıdan üst üste getirilmesi anlamına gelir. 2 ve 4’üncü çıkışlar en büyük güç değerine sahip olan 3’üncü çıkış tarafından kapsandıkları için, bu çıkışların dikkate alınmasına gerek yoktur. Sadece 1 ve 3 numaralı çıkışların birleştirilmesi yeterli olacaktır. Buna göre birleştirilmiş çıkış, Şekil 4.10’da geometrik olarak gösterilmiştir [7].

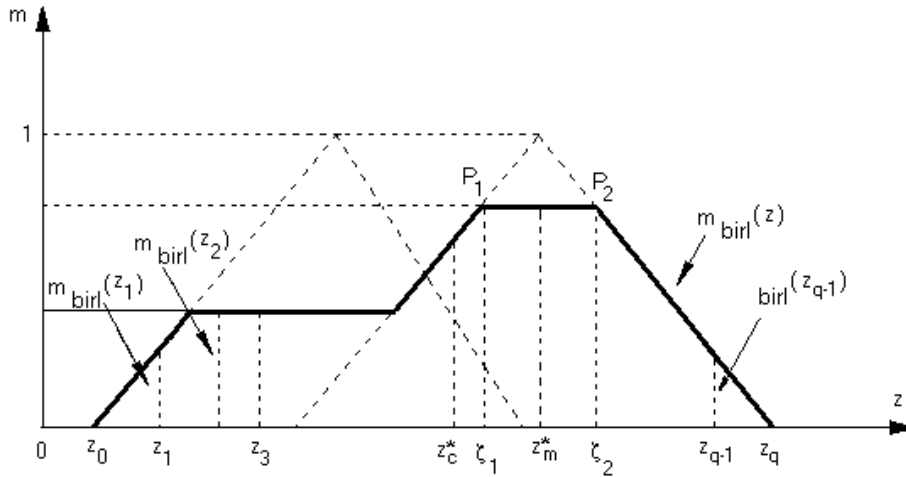
$$m_{\text{birleştirilmiş}} = \max \{ \min(0.35, m_{NK}(z)), \min(0.7, m_{PK}(z)) \} \quad (4.21)$$



Şekil 4.9 Kontrol çıkışları



Şekil 4.10 Birleştirilmiş çıkış



Şekil 4.11 Durulama operasyonu

4.3.1.1 Ağırlık Merkezi Yöntemi

Birleştirilmiş kontrol kurallarının şekil 4.11'deki üyelik fonksiyonuna ($m_{birl}(z)$) sahip olduğunu düşünülürse;

ve $[z_0, z_q]$ aralığını yaklaşık eşit q bölmeye bölünürse, kesin değer olarak tanımlanan değer z_A^* aşağıdaki gibi olur [7].

$$z_A^* = \frac{\sum_{k=1}^{q-1} z_k m_{birl}(z_k)}{\sum_{k=1}^{q-1} m_{birl}(z_k)} \quad (4.22)$$

Bu yöntemde bulanık kontrol eyleminin olasılıksal dağılımının ağırlık merkezi kesin kontrol eylemini belirler.

4.3.1.2 Maksimumların Ortalaması Yöntemi

Ağırlık merkezi yöntemindeki üyelik fonksiyonu $m_{birl}(z)$ ele alınırsa, fonksiyonun iki tane z -eksenine paralel kısmı olduğu görülür. Bu kısmın en yüksek noktası olan P_1P_2 'nin izdüşümü olan $[\zeta_1, \zeta_2]$ aralık olarak seçilir. Daha sonra z^* bu aralığın orta noktası olur [7].

$$z_m^* = \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} \quad (4.23)$$

Maksimumların ortalaması yöntemi kullanılarak ters sarkaç probleminin durulama operasyonu aşağıda olduğu gibi gerçekleşir.

P_1P_2 düz kesimi, PK (pozitif küçük) dilsel değişkenin sınırları içindedir ve 0.7 çizgisi ile kesişmektedir. PK'nın üçgen üyelik fonksiyonunun noktalarının $(-12,12,50)$ olduğu varsayılırsa, $m_{PK}(z)$ aşağıdaki gibi olur.

$$m_{PK}(z) = \begin{cases} \frac{z+12}{24} & -12 \leq z \leq 12 \\ \frac{50-z}{38} & 12 \leq z \leq 50 \end{cases} \quad (4.24)$$

$$m_{PK} = \frac{z+12}{24} \text{ ve } m_{PK} = \frac{50-z}{38} \text{ ayrı ayrı } m = 0.7'ye \text{ eşitlenirse;}$$

$\zeta_1=4.8$ ve $\zeta_2=23.4$ olarak bulunurlar. Bu iki değer in ortalaması da kesin değer olan z^* 'i verir.

$$z_m^* = \frac{4.8 + 23.4}{2} = 14.1 \quad (4.25)$$

Bulunan bu değer okunan açı = -11 , hız = 2 değerlerine karşın bulanık mantık sisteminin verdiği, sarkacı dengede tutmak için uygulanması gereken kuvvettir.

Ofis aydınlatmasında kullanılacak bulanık mantık sisteminde de burada açı ve hız olan giriş büyüklükleri yaş, doğal aydınlık düzeyi ve cinsiyet, çıkış büyüklüğü ise kuvvet yerine yapay aydınlık düzeyi olacaktır.

5. DENEY DÜZENEĞİNİN TANITILMASI VE DENEYİN YAPILIŞI

Ofis çalışanlarının aydınlatma isteklerinin, otomatik olarak önceden ayarlanarak en doğru şekilde tahmin edilebilmesi için deneysel verilere ihtiyaç vardır. Bu deneylerde ofis çalışanlarının değişken şartlarda nasıl bir aydınlatma tercihi olduğu saptanabilirse, bu çerçevede bir bulanık model oluşturulabilir. Bu gereklilik doğrultusunda, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde konuya ilişkin araştırmalar yapmak amacı ile bir deney düzeneği kurulmuştur.

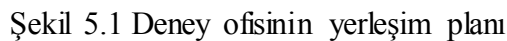
5.1 Deney Düzeneği

Deneylerin yapılmış olduğu ofis bulunduğu binanın üçüncü katında, kuzey doğuya bakan bir konuma sahiptir. Ofis, 3.35m eninde, 6.25m boyunda ve 3.25m yüksekliğindedir. Tavan beyaz, duvarlar gri, zemin açık mavidir. Ofisin pencere alanı ise 3.03 m² dir. Yapay aydınlatma, asma tavana gömme olarak yerleştirilmiş, üç sıra toplam altı adet, her birinin içinde ikişer Osram L58/21-840 Luminux T26 floresan lamba bulunan, Zumtobel Staff RED-A kodlu armatürlerle sağlanmaktadır. Odanın planı şekil 5.1'de görülmektedir.

Ofiste çalışma düzleminde maksimum 1500 lx yapay aydınlık düzeyi sağlanabilmektedir. Her biri ayrı loşlaştırılabilen elektronik balast üzerinden bağlı olan 12 floresan lamba LUXMATE ışık kontrol sistemi üzerinden beslenmektedir. Sistem pencereyi görebilecek şekilde yerleştirilmiş olan algılayıcılar sayesinde içerdeki yapay aydınlatmayı, doğal aydınlatmaya bağlı olarak ayarlayabilmektedir. Algılayıcılar, kapı kenarı(A1), karşı duvar(A4), Pencere üzeri(A6), kapı tarafındaki bilgisayar arkası(A3), çalışma masası üzeri(A2), cam kenarındaki bilgisayar üzeri(A5), kapı tarafındaki bilgisayar üzeri(A7) olmak üzere toplam yedi tanedir.

Ayrıca bir uzaktan kumanda sayesinde yapay aydınlık düzeyi kullanıcı tarafından %1 ile %100 arasında istenilen bir değere ayarlanabilmektedir.

Kapıya bir hareket sensörü yerleştirilmiş olup, bu sayede ofisin boş olduğu saatlerde aydınlatmanın otomatik olarak kapatılması sağlanmıştır. Luxmate aydınlatma kontrol sistemi ile iş saatleri ayarlanmak suretiyle mesai saatleri dışında aydınlatmanın kapalı tutulması sağlanabilmektedir. İstenildiği takdirde zamanlayıcı ayarları ve aydınlatma senaryoları kolayca değiştirilebilmektedir [10].



Luxmate Bir Avusturya firması olan ZUMTOBEL STAFF'ın ışık kontrol sisteminin adıdır. Daha önce de bahsettiğimiz gibi bu sistem aydınlatmada geniş bir kontrol imkanı sağlar. Luxmate kontrol sisteminin en temel özellikleri aşağıdaki gibidir [11].

- Etkin kullanımda %75'e yakın enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Luxmate sistemi, loşlaştırma özelliği bulunan balastlarla birlikte kullanıldığı zaman, kullanıcının lambaları %1 ile %100 arası loşlaştırmasına imkan tanır.
- Ayrıca, daha önce ayarlanmış aydınlatma sahnelerini , daha sonradan geri çağırma imkanı vardır. Bu işlemi gerçekleştirmek için uzaktan kumanda da kullanılabilir.
- Gün ışığına duyarlı çalışabilen bir sistemdir.
- Çok sayıda armatüre kumanda etme şansı tanımaktadır.
- Zamana bağlı olarak önceden programlanma özelliğine sahiptir.
- Aydınlatma otomasyonunda dijital teknolojinin kullanıldığı ilk sistemdir. Bu teknoloji sayesinde normal kablo ve anahtar kullanımı, olası hatalara karşı polaritesiz kablolama imkanı sağlamaktadır.
- Dijital haberleşme hattına sahiptir. Diğer bina otomasyonu araçları ile birlikte çalışabilmektedir.

Gün ışığının algılanabilmesi için sistemde bir LSD algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcı gün ışığını ve yapay ışığı görecektir şekilde yerleştirilir. Yapay aydınlık düzeyi ayarları kontrol panosunun üzerinden yapılabileceği gibi, sisteme dahil edilmiş bir uzaktan kumanda ile de yapılabilir. Uzaktan kumandanın üzerinde 1 adet loşlaştırma butonu, 1 adet açma kapama butonu, 3 adet sahne butonu ve 5 adet de grup butonu bulunmaktadır. Bu sayede ayrı aydınlatma gruplarına da kumanda etme olanağı verilmiş olur.

Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için ayrıca bir bilgisayar sisteminin kurulmasına gerek yoktur. Luxmate işlemleri kendi içinde yapmaktadır. Ayrıca esnek bir sistem olma özelliğini de taşır. Yapılacak ilave bağlantılarla geniş bir kontrol yelpazesi sunmaya açıktır [11].

5.3 Deneyin Yapılışı

Deneyler toplam on üç (12+1) kişi üzerinde yapılmıştır. Deneklerden her biri ofiste iki günlerini geçirmişlerdir. İlk gün, deneklerin ofis ortamına uyum sağlamaları amacıyla yapay aydınlatma Luxmate kontrol sisteminin gün ışığına bağlı kontrol mekanizması ile ayarlanmıştır. İkinci gün ise yapay aydınlatmayı denekler tamamen kendi istekleri doğrultusunda ayarlamışlardır. Ofiste bulundukları sürece denekler normal günlük işleri ile uğraşmışlardır (telefon, bilgisayar, yazı yazmak, okumak...vb). Ofisin çeşitli yerlerinde bulunan toplam yedi ışık algılayıcısından her altı dakikada bir veri toplanmıştır. Gün sonunda ise toplanan verilerin yarımşar saatlik ortalamaları alınmıştır. Bu algılayıcılardan alınan veriler Data Electronics DataTaker marka DT-600 tipi bilgi toplayıcısı (datalogger) tarafından bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Algılayıcılar toplam aydınlık düzeyini ölçerler. Masa üstündeki sadece doğal aydınlatmanın oluşturduğu aydınlık düzeyini bulabilmek için ek bir sisteme ihtiyaç vardır. Bu sistem iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama ofisin tamamen doğal aydınlatmadan yoksun bırakılarak, ayarlanan yapay aydınlatmanın masa üstünde oluşturduğu aydınlık düzeylerinin ve şebekeden çektiği gücün belirlenmesidir. Ufak artışlarla 0-1500 lx arası masa üstü aydınlık düzeyine karşılık düşen güç değerlerinin bulunması ile bir eğri yada tablo hazırlanır. İkinci aşama ise deney sırasında yapay aydınlatmanın şebekeden çektiği güç ölçülür. Deney düzeneğinde bu ölçümü Siemens WIN-Scada programı gerçekleştirmektedir. Program sayesinde aktif güç, reaktif güç, gerilim, akım, güç faktörü ölçülebilir. Ölçülen güç değerlerine karşılık gelecek yapay aydınlık düzeyleri, algılayıcının tespit ettiği toplam aydınlık düzeyi değerinden çıkarılırsa, masa üstünde oluşan doğal aydınlık düzeyi değeri elde edilmiş olur. Deney sırasında, deneklerin ayarlama yapmayı unutmamaları için, yapay aydınlatma her bir saatte bir kendiliğinden kapatılmıştır. Deneye katılmadan önce deneklere ait bilgiler, sınıflandırma yapılması amacıyla ile toplanmıştır.

Bu kriterler şunlardır:

- Yaş
- Cinsiyet
- Göz kusurları
- Meslek

Toplanan bu veriler deneklere ait kriterlerdir. Diğer giriş büyüklüklerini oluşturması amacı ile;

- Tarih
- Oda sıcaklığı
- Oda nemi
- Hava durumu

bilgileri de her deneyde kaydedilmiştir. Bu bilgilerin toplanma amacı her ofis çalışanın farklı aydınlatma tercihlerinin olduğunun bilinmesidir. Farklı aydınlatma isteklerinin bir sebebi olması gerektiği düşünüldüğünden olabildiğince çok veri toplayıp bu veriler arasından göze çarpanların kullanılması hedeflenmiştir.

Bütün bu giriş verilerinin yanında en baskın olanı gün ışığının meydana getirdiği doğal aydınlık düzeyidir. Gün ışığının seviyesi, bazı dönemlerde ofislerde hiç yapay aydınlatmaya gerek duyulmadan çalışabilmesine imkan tanıyacak düzeyde yüksektir. Sadece gün ışığına bağlı kontrol yapan sistemler günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bütün bu verilerin toplanması deneyin önemli bir kısmını teşkil etmektedir, ama bir o kadar önemli olan da toplanan bu verilerin etkin bir şekilde değerlendirilip, doğru sonuçların ortaya koyulabilmesidir.

6. GİRİŞ BÜYÜKLÜKLERİNİN SEÇİLMESİ, BULANIK MANTIK KURALLARININ VE ÜYELİK FONKSİYONLARININ BELİRLENMESİ

Yapılan deneylerin ikinci günlerinde deneklerin doğal aydınlık düzeylerine karşı elle ayarlamış oldukları, yapay aydınlık düzeylerinin yarım saatlik ortalamaları alınarak tablo haline getirilmiştir. Bu tablolar Ek-A'da yer almaktadır. Tablolarda da, her otuz dakika için algılayıcılardan alınan aydınlık düzeyleri değerleri, bu zaman zarfında çekilen ortalama ani güçler, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyleri ve yapay aydınlık düzeyleri yer almaktadır. Tabloların alt kısmında ise deney ortamının sıcaklığı ve nemi, o günkü hava durumu, denegin yaşı, cinsiyeti, varsa göz bozukluğu ve mesleği görülmektedir. Bu bölümde ilk önce bu verilerden hangilerinin bulanık mantık sisteminde giriş büyüklüğü olarak kullanılabileceğine karar verilecektir.

Bu işlem için deney verileri tek tek irdelenmelidir.

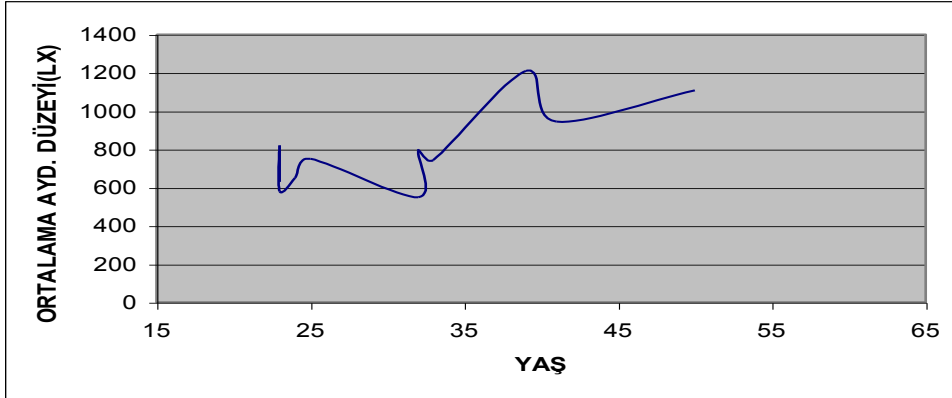
6.1 Giriş Büyüklüklerinin Seçilmesi

Giriş büyüklüğü için aşağıdaki veriler incelenecektir:

- Yaş
- Cinsiyet
- Doğal Aydınlık Düzeyi
- Nem
- Meslek
- Oda Sıcaklığı

6.1.1 Yaş

Deneye katılanların yaşlarının, tercih ettikleri aydınlık düzeyleri ile bir ilişkisi olup olmadığını en iyi şekilde anlamanın yolu bir eğri oluşturmaktır. Hazırlanacak eğrideki aydınlık düzeyi değerlerinin toplam aydınlık düzeyi değerleri olması gün ışığının değişkenliğinin doğuracağı olası bir yanılgıyı da ortadan kaldıracaktır.



Şekil 6.1 Yaş & Çalışma düzlemi aydınlık düzeyi

Şekil 6.1’de elde edilen eğri çok düzgün artan bir eğri olmamasına rağmen, bu tip bir çalışma için kabul edilebilir sınırlardadır. Görüldüğü gibi deneklerin yaşı arttıkça talep ettikleri aydınlık düzeyleri değerleri de artmaktadır. Bulanık mantık kontrol sistemine, yaş giriş büyüklüğü olarak seçilebilir.

6.1.2 Cinsiyet

Deneye katılan 12 kişinin 7’si bayan, 5’i de erkektir. Deneklerin tercih ettikleri toplam aydınlık düzeylerini topluca gösteren Tablo 6.1’e baktığımızda; erkek deneklerin yaş ortalamaları 37.2 iken bayanların yaş ortalaması 30.7’dir. Buna karşın erkek deneklerin tercih ettikleri ortalama toplam aydınlık düzeyi yaklaşık 870 lx iken bayanların tercihi 830 lx civarında gerçekleşmiştir. Bayanların yaş ortalaması yaklaşık yedi yaş küçük olmasına rağmen, tercih edilen aydınlık düzeyleri hemen hemen aynı mertebededir. Şekil 6.1’deki eğri basite indirgenip incelendiğinde 30 yaşla 37 yaşın arasındaki farkın, yaklaşık 150-200 lx olması gerekirken, sadece 40 lx olması, bayanların erkeklere göre daha fazla aydınlık düzeyine ihtiyaç duyduklarının bir göstergesidir. Cinsiyet bir giriş değişkeni olarak kullanılabilir etkinliktedir .

Tablo 6.1 Denekler tarafından tercih edilen ortalama aydınlık düzeyleri

Denek No	Cinsiyet	Yaş	Ort. Ayd. Düz (lx)
1	E	24	651
2	E	56	1156
3	E	33	743
4	K	32	549
5	K	23	630
6	K	23	820
7	E	50	1107
8	E	23	581
9	K	25	750
10	K	39	1209
11	K	32	795
12	K	41	945

6.1.3 Doğal Aydınlık Düzeyi

Doğal aydınlık düzeyi bu deneyin en baskın giriş büyüklüğü olmaya aday bir değişkendir. Tablo 6.2'deki doğal aydınlık – yapay aydınlık düzeyleri ikilileri incelenecek olursa, genel görüş yapay aydınlık düzeyi ile doğal aydınlık düzeyinin birbirleri ile bir ters orantılı olduğu yönünde olacaktır. Bu ve bunun gibi birçok çalışmada doğal aydınlık düzeyinin tercih edilen yapay aydınlık düzeyine çok büyük etkisi olduğu ortaya çıkmıştır.

6.1.4 Sıcaklık

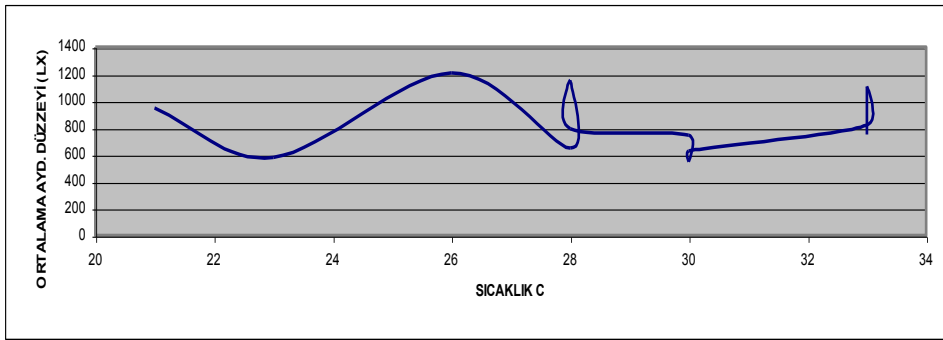
Deneyler sırasında not edilen sıcaklık bilgileri ile toplam aydınlık düzeyinin ortalama değerleri bir tabloda toplanırsa, Tablo 6.3 elde edilir. Tablodan da görüleceği üzere, değişen ortam sıcaklığının tercih edilen toplam aydınlık düzeyine belirgin bir etkisi yoktur. Tablo xy-koordinatlarına taşınırsa bu daha iyi ortaya çıkacaktır. Şekil 6.2'den de anlaşılıyor ki, sıcaklık ile aydınlık düzeyi talebi arasında dalgalı bir ilişki vardır. Sıcaklık giriş büyüklüğü olarak kullanılamaz.

Tablo 6.2 Deneklerin tercih ettikleri toplam aydınlık düzeylerinin doğal ve yapay bileşenleri

Denek No:1		Denek No:2		Denek No:3		Denek No:4		Denek No:5	
E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}
828	169	1243	443	239	340	174	308	929	296
571	305	1366	430	187	595	187	470	712	298
500	129	1266	279	211	593	181	424	549	149
288	106	937	291	219	591	80	390	575	151
164	110	734	755	227	455	125	408	423	252
26	312	637	752	233	333	104	444	378	247
193	433	435	711	230	542			371	308
226	435	349	708	54	897			319	324
221	441	318	706					224	170
222	441	299	708					231	135
264	438	294	671					172	52
279	438	288	644					193	104
202	547	328	600						
284	542	253	711						
207	443	219	708						
		256	681						
		260	668						
		275	600						
Denek No:6		Denek No:7		Denek No:8		Denek No:9		Denek No:10	
E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}
965	276	1798	15	762	281	620	589	282	784
788	333	1292	31	545	382	638	397	1424	788
701	310	1064	489	295	452	398	427	917	703
644	291	811	467	387	390	278	464	702	706
605	291	563	156	469	216	214	486	539	630
512	326	436	163	372	223	200	486	402	630
378	331	437	424	314	233	208	486	101	818
326	349	415	424	264	233	251	489	18	865
296	354	389	427	248	247	243	564	487	516
296	342	403	632	209	267	178	495	681	422
297	338	372	642	188	255	202	424	446	438
157	335	324	1064	190	225	207	438		
		329	1041	172	225	190	416		
		381	630	171	259	131	387		
		361	632	159	247				
				168	242				
Denek No:11		Denek No:12							
E _{doğal}	E _{yapay}	E _{doğal}	E _{yapay}						
408	700	413	414						
123	395	563	267						
374	385	699	238						
		622	372						
		292	492						
		63	688						
		187	684						
		177	726						
		28	909						
		34	925						
		393	761						
		571	771						
		329	671						

Tablo 6.3 Sıcaklık & Ortalama aydınlık düzeyi

Denek No	Sıcaklık(°C)	Ort. Ayd. Düz (lx)
1	28	651
2	28	1156
3	30	743
4	30	549
5	30	630
6	33	820
7	33	1107
8	23	581
9	33	750
10	26	1209
11	28	795
12	21	945



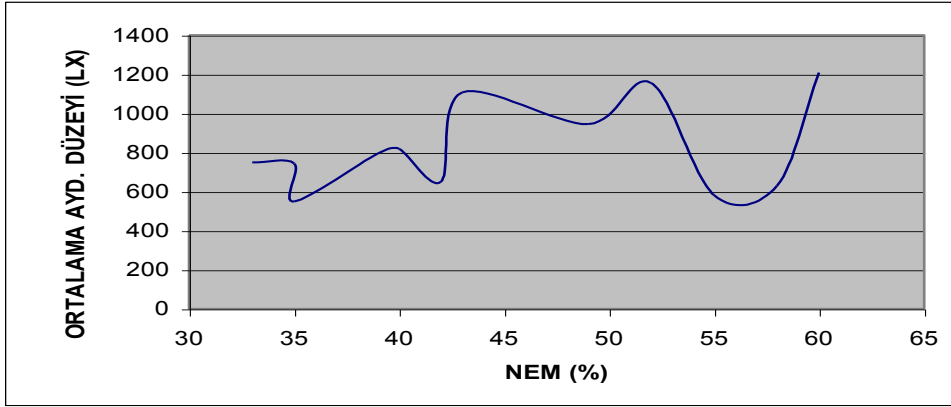
Şekil 6.2 Sıcaklık & Ortalama aydınlık düzeyi

6.1.5 Nem

Tablo 6.4 ve Şekil 6.3'e bakıldığında tercih edilen ortalama aydınlık düzeyinin nem ile de önemli sayılabilecek bir bağlantısının olmadığı açıkça gözlemlenebilmektedir.

6.1.6 Meslek

Deneklerin tamamına yakını elektrik mühendisi olduğu için bu verinin giriş büyüklüğü olarak kullanılması söz konusu olamaz, çünkü karşılaştırma imkanı tanımamaktadır. Meslek giriş büyüklüğünün değerlendirmeye alınabilmesi için çeşitli meslek gruplarını içeren daha kapsamlı bir çalışma yapılması gerekmektedir.



Şekil 6.3 Nem & Ortalama aydınlık düzeyi

Tablo 6.4 Nem & Ortalama aydınlık düzey

Denek No	Nem (%)	Ort. Ayd. Düz (lx)
1	42	651
2	52	1156
3	35	743
4	35	549
5	58	630
6	40	820
7	43	1107
8	55	581
9	33	750
10	60	1209
11	39	795
12	49	945

6.2 Giriş Büyüklüklerinin Bulanık Mantık Sistemine Uygulanması

Bulanık mantık sisteminde belirlenen giriş değerlerinin kullanılması ile çıkış elde edilebilmesi için;

1. Tüm girişlere ait üyelik fonksiyonlarının,
2. Çıkışa ait üyelik fonksiyonlarının,
3. Bulanık mantık kurallarının,

tanımlanması gerekmektedir. Bir sonraki adım, kullanılacak girişlere ait üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir.

6.2.1 Doğal Aydınlik Düzeyi

Gün ışığının çalışma düzlemi üstünde oluşturduğu, doğal aydınlık düzeyinin üyelik fonksiyonunun tipinin ikizkenar yamuk (trapez) olarak seçilmesi uygun görülmüştür. Deneklerin doğal aydınlatmaya gösterdikleri hassasiyete göre kaç aralık tanımlanması gerektiği belirlenmelidir. Yapılan deneylerde 100-150 lx'lük bir aralığın uygun olacağı görülmektedir.

Buna göre masa üzerindeki doğal aydınlık düzeyleri '1' en düşük, '10' en yüksek dereceli dilsel değişken olmak üzere toplam on parçaya bölünürse, üyelik fonksiyonları da aşağıda görüldüğü şekilde seçilebilir.

- 1 Noktaları (0,0,75,120) olan ikizkenar yamuk
- 2 Noktaları (100,125,175,220) olan ikiz kenar yamuk
- 3 Noktaları (189,205,275,320) olan ikiz kenar yamuk
- 4 Noktaları (300,325,375,420) olan ikiz kenar yamuk
- 5 Noktaları (400,425,475,520) olan ikiz kenar yamuk
- 6 Noktaları (500,525,575,620) olan ikiz kenar yamuk
- 7 Noktaları (600,625,675,720) olan ikiz kenar yamuk
- 8 Noktaları (700,725,775,820) olan ikiz kenar yamuk
- 9 Noktaları (800,825,875,920) olan ikiz kenar yamuk
- 10 Noktaları (900,1100,2000,2000) olan ikiz kenar yamuk

Oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 6.4'de görüldüğü gibidir. Belirli periyotlarla ölçülen masa üstü doğal aydınlık düzeyi değerleri bu üyelik fonksiyonlarına göre değerlendirilecektir.

6.2.2 Yaş

Deneye katılan bireylerin de yaş grupları göz önüne alınarak yaşa ait üyelik fonksiyonları oluşturulur.

CG (Çok Genç) : Noktaları (0,0,21,27) olan ikiz kenar yamuk

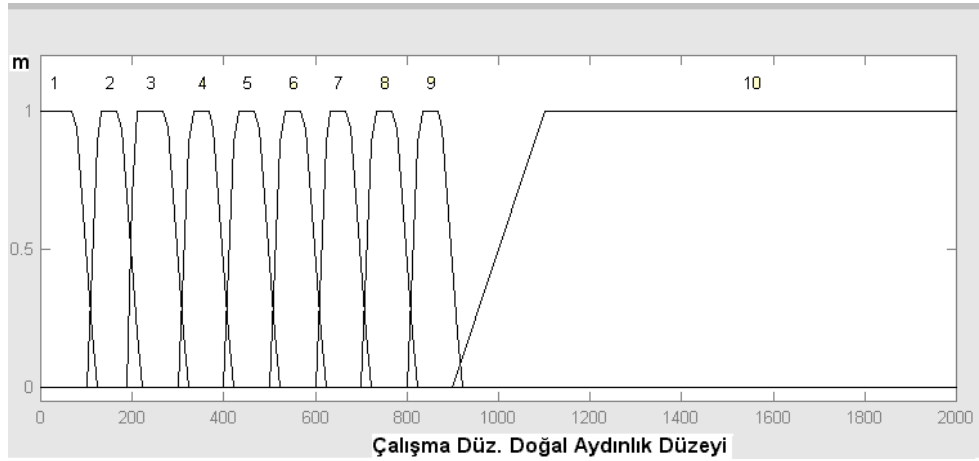
G (Genç) : Noktaları (26,29,33,38) olan ikiz kenar yamuk

OY (Orya Yaşlı) : Noktaları (36,39,43,46) olan ikiz kenar yamuk

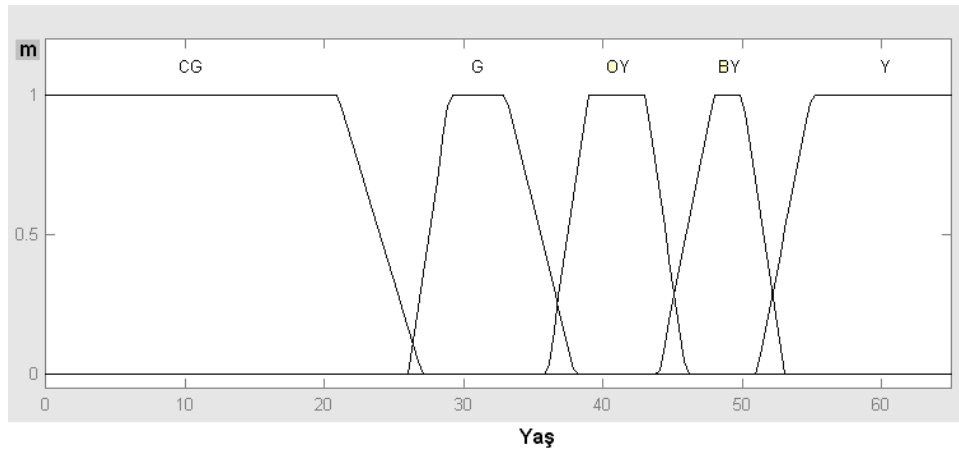
BY (Biraz Yaşlı) : Noktaları (44,48,50,53) olan ikiz kenar yamuk

Y (Yaşlı) : Noktaları (51,55,70,70) olan ikiz kenar yamuk

Bu üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi Şekil 6.5’dir.



Şekil 6.4 Doğal aydınlık düzeyi üyelik fonksiyonları



Şekil 6.5 Yaş üyelik fonksiyonu

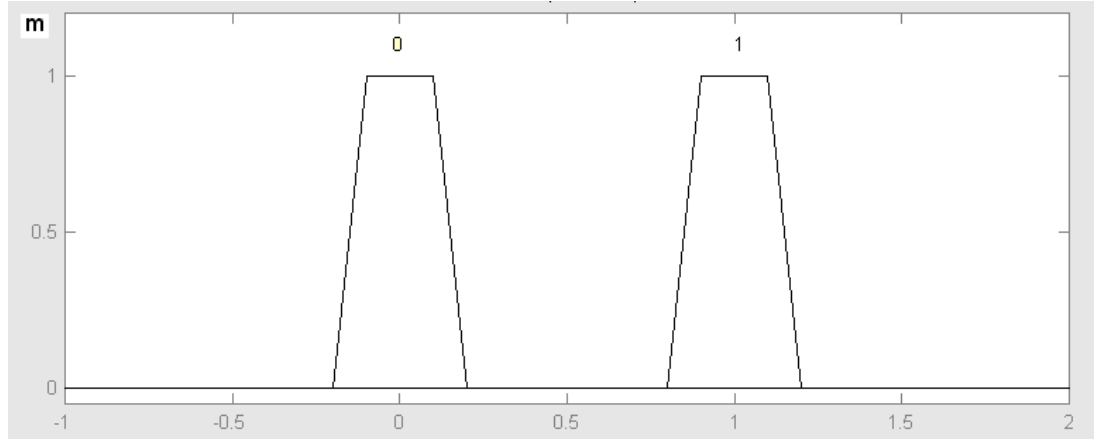
6.2.3 Cinsiyet

Cinsiyetle ilgili üyelik fonksiyonları iki tanedir.

1 Erkek

0 Kadın

Cinsiyet grafiksel gösterimi Şekil 6.6'daki gibidir.



Şekil 6.6 Cinsiyet giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu

Giriş büyüklüklerinin üyelik fonksiyonlarından sonra, çıkış büyüklüğü olan yapay aydınlık de üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekmektedir.

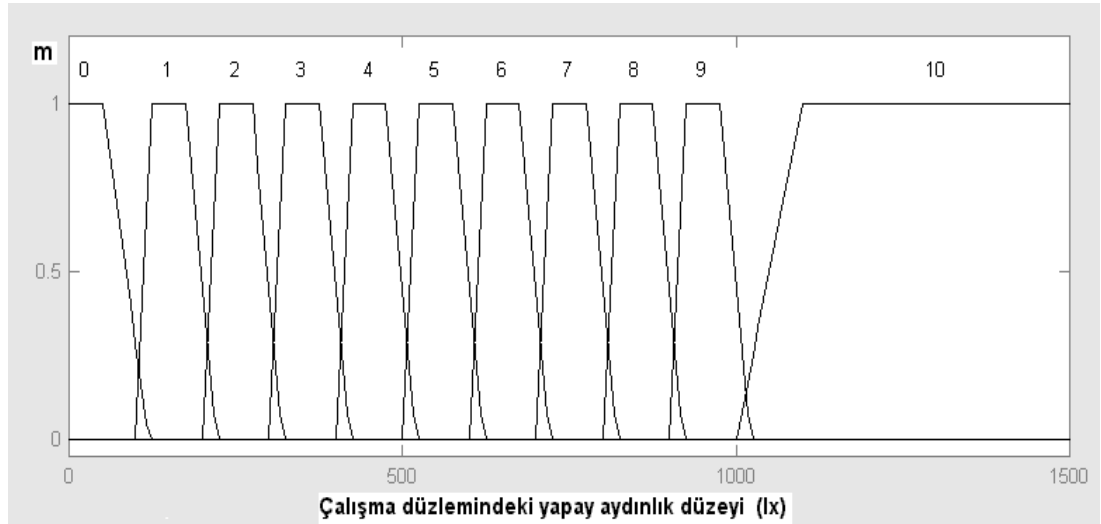
6.2.4 Yapay Aydınlık Düzeyi

Çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyinin üyelik fonksiyonları '0' en düşük '10' en yüksek dereceli dilsel değişken olmak üzere on bir tane olarak seçilmiştir.

- 0 Noktaları (0,0,50,120) olan ikizkenar yamuk
- 1 Noktaları (100,125,175,220) olan ikiz kenar yamuk
- 2 Noktaları (200,225,275,320) olan ikiz kenar yamuk
- 3 Noktaları (300,325,375,420) olan ikiz kenar yamuk
- 4 Noktaları (400,425,475,520) olan ikiz kenar yamuk

- 5 Noktaları (500,525,575,620) olan ikiz kenar yamuk
- 6 Noktaları (600,625,675,720) olan ikiz kenar yamuk
- 7 Noktaları (700,725,775,820) olan ikiz kenar yamuk
- 8 Noktaları (800,825,875,920) olan ikiz kenar yamuk
- 9 Noktaları (900,925,975,1020) olan ikiz kenar yamuk
- 10 Noktaları (1000,1100,1500,1500) olan ikiz kenar yamuk

Bu üyelik fonksiyonları Şekil 6.7’de görülmektedir. Girişlere ve çıkışlara ait üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra, bu iki elemanın arasında görev yapacak olan, kuralların belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 6.7 Yapay aydınlık düzeyi üyelik fonksiyonları

6.2.5 Bulanık mantık Kuralları

Kurallar Şekil 6.8’de de görüldüğü gibi, girişlerin değerlendirilip, çıkış değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadırlar.

Kurallar oluşturulurken bütün olasılıkların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden kural sayısı, giriş değerleri olan yaş, cinsiyet ve doğal aydınlık düzeylerinin üyelik fonksiyonlarının sayılarının çarpımı olan, 100’dir.



Şekil 6. 8 Bulanık Mantık Akış Şeması

$$\text{Kural sayısı} = m \times n \times l = 10 \times 5 \times 2 = 100 \quad (6.1)$$

m : Doğal aydınlık düzeyine ait üyelik fonksiyonu sayısı

n : Yaşa ait üyelik fonksiyonu sayısı

l : Cinsiyete ait üyelik fonksiyonu sayısı

Sistem için, deney sonuçları dikkate alınarak hazırlanan kurallar aşağıda görüldüğü gibidir.

1. Eğer (yaş Y) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 10)
2. Eğer (yaş Y) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 9)
3. Eğer (yaş Y) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)
4. Eğer (yaş Y) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)
5. Eğer (yaş Y) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
6. Eğer (yaş Y) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
7. Eğer (yaş Y) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 6)
8. Eğer (yaş Y) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 6)
9. Eğer (yaş Y) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 6)
10. Eğer (yaş Y) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
11. Eğer (yaş BY) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 10)
12. Eğer (yaş BY) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)

13. Eğer (yaş BY) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)
14. Eğer (yaş BY) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)
15. Eğer (yaş BY) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
16. Eğer (yaş BY) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 6)
17. Eğer (yaş BY) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
18. Eğer (yaş BY) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
19. Eğer (yaş BY) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
20. Eğer (yaş BY) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
21. Eğer (yaş OY) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 8)
22. Eğer (yaş OY) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
23. Eğer (yaş OY) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
24. Eğer (yaş OY) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 7)
25. Eğer (yaş OY) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
26. Eğer (yaş OY) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 3)
27. Eğer (yaş OY) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 3)
28. Eğer (yaş OY) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 3)
29. Eğer (yaş OY) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
30. Eğer (yaş OY) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
31. Eğer (yaş G) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
32. Eğer (yaş G) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
33. Eğer (yaş G) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)

34. Eğer (yaş G) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
35. Eğer (yaş G) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
36. Eğer (yaş G) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
37. Eğer (yaş G) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
38. Eğer (yaş G) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 3)
39. Eğer (yaş G) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
40. Eğer (yaş G) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 1)
41. Eğer (yaş CG) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 5)
42. Eğer (yaş CG) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
43. Eğer (yaş CG) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 4)
44. Eğer (yaş CG) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 3)
45. Eğer (yaş CG) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
46. Eğer (yaş CG) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
47. Eğer (yaş CG) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
48. Eğer (yaş CG) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
49. Eğer (yaş CG) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
50. Eğer (yaş CG) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 0) ise (Ey 2)
51. Eğer (yaş Y) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 10)
52. Eğer (yaş Y) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 9)
53. Eğer (yaş Y) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 7)
54. Eğer (yaş Y) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)

55. Eğer (yaş Y) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
56. Eğer (yaş Y) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
57. Eğer (yaş Y) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
58. Eğer (yaş Y) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
59. Eğer (yaş Y) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
60. Eğer (yaş Y) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
61. Eğer (yaş BY) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 9)
62. Eğer (yaş BY) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 7)
63. Eğer (yaş BY) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 7)
64. Eğer (yaş BY) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
65. Eğer (yaş BY) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
66. Eğer (yaş BY) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
67. Eğer (yaş BY) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
68. Eğer (yaş BY) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
69. Eğer (yaş BY) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
70. Eğer (yaş BY) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
71. Eğer (yaş OY) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 7)
72. Eğer (yaş OY) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 7)
73. Eğer (yaş OY) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
74. Eğer (yaş OY) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 6)
75. Eğer (yaş OY) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 5)

76. Eğer (yaş OY) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
77. Eğer (yaş OY) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
78. Eğer (yaş OY) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
79. Eğer (yaş OY) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 2)
80. Eğer (yaş OY) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 2)
81. Eğer (yaş G) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 8)
82. Eğer (yaş G) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 5)
83. Eğer (yaş G) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
84. Eğer (yaş G) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
85. Eğer (yaş G) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
86. Eğer (yaş G) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
87. Eğer (yaş G) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
88. Eğer (yaş G) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
89. Eğer (yaş G) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 1)
90. Eğer (yaş G) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 1)
91. Eğer (yaş CG) ve (Ed 1) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 4)
92. Eğer (yaş CG) ve (Ed 2) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 2)
93. Eğer (yaş CG) ve (Ed 3) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
94. Eğer (yaş CG) ve (Ed 4) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
95. Eğer (yaş CG) ve (Ed 5) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)
96. Eğer (yaş CG) ve (Ed 6) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)

97. Eğer (yaş CG) ve (Ed 7) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 3)

98. Eğer (yaş CG) ve (Ed 8) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 2)

99. Eğer (yaş CG) ve (Ed 9) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 1)

100. Eğer (yaş CG) ve (Ed 10) ve (cinsiyet 1) ise (Ey 0)

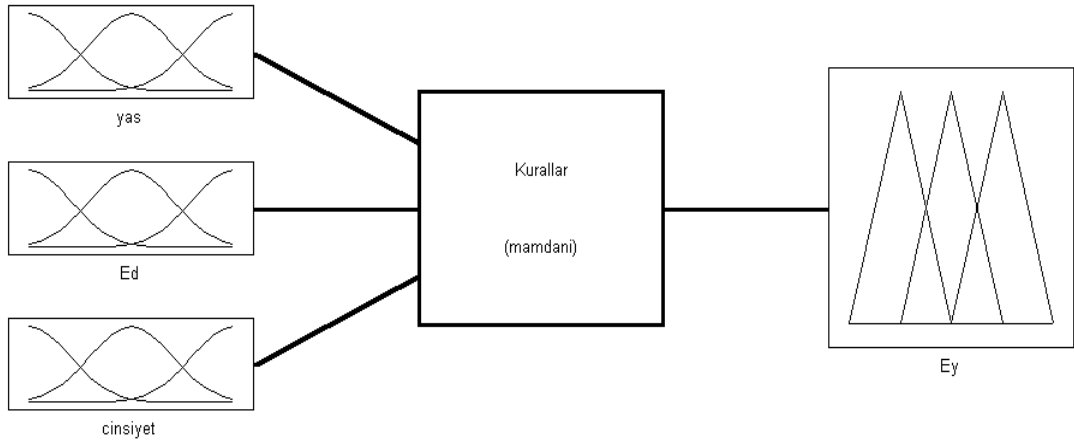
Üyelik fonksiyonlarının ve kuralların belirlenmesinden sonra, bunların değerlendirilip sonuç çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyini belirleyecek bulanık mantık sistemine geçilebilir. Bu bilgileri bölüm 5'teki ters sarkaç örneğinde olduğu gibi elle hesaplayarak değerlendirmek çok uzun zaman alacağı için, MATLAB adlı bilgisayar programının kullanılması öngörülmüştür. Bir sonraki bölüm girişlerin ve kuralların bilgisayar programına tanıtılması ve elde edilen sonuçların tartışılmasını içermektedir.

7. BULANIK MANTIK SİSTEMİNİN UYGULAMASI VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Seçilen giriş üyelik fonksiyonları ve bulanık mantık kuralları, Matlab bilgisayar programının bir bölümü olan Bulanık Mantık arabirimi kullanılarak çıkış haline getirilecektir. Buradaki amaç deneyler sırasında deneklerin değişken girişlere göre tercih ettikleri çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeylerine en yakın sonuçları bilgisayar programından alabilmektedir. Böylece aydınlatma kontrol sistemine adapte edilecek bir bulanık kontrolör ile çalışanlar tarafından tercih edilecek yapay aydınlık seviyeleri en iyi şekilde tahmin edilebilecektir.

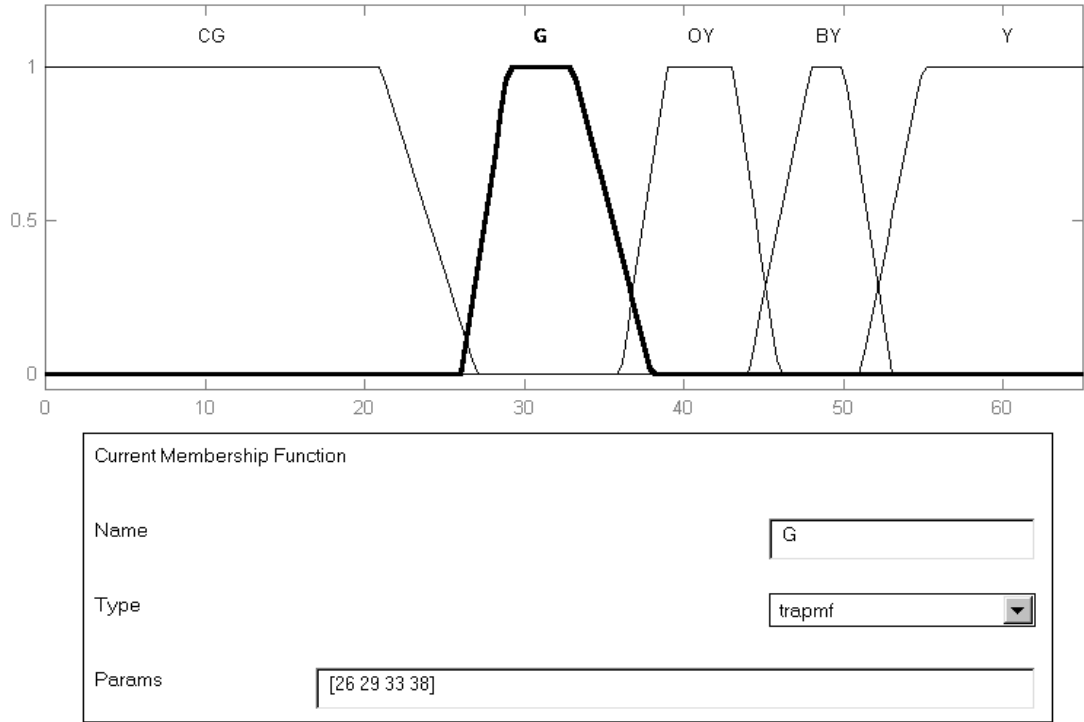
7.1 Girişlerin Programa Tanıtılması

Altıncı bölümde belirlenmiş olan giriş büyüklüklerinin programa girilmesi için üç adet girişin tanımlanması gerekmektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Bulanık mantık programı ana sayfası

Bu girişler oluşturulduktan sonra üyelik fonksiyonları her bir kutunun içine girilerek sisteme tanıtılır. Fonksiyonların tanımlanması fonksiyon tipi seçildikten sonra nokta nokta işlenmek suretiyle yapılır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 Üyelik fonksiyonlarının girilmesi

Aynı şekilde çıkış üyelik fonksiyonları da sol taraftaki, çıkışa ait kutunun içine girilerek sisteme tanıtılır. Daha sonra, önceden belirlenen bulanık mantık kuralları giriş ile çıkış arasındaki kutuya girilerek tek tek yazılır. Artık program çalışabilir haldedir. Olası girişler verilerek sonuç alınabilir, değişkenler arasındaki grafikler görüntülenebilir.

7.2 Bilgisayar Programı Sonuçları

Sonuçlar, bulanık mantık bilgisayar programının deneylerde kaydedilen, yaş, çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi ve cinsiyet girişlerine karşın tercih edilen çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi büyüklüğüne bilgisayar programı ile ne kadar yaklaşılabildiği ile değerlendirilebilir.

Deney sonucunda elde edilen verilerin, bilgisayar programından bulunan sonuçlarla karşılaştırılması EK-B'deki tablolarda verilmektedir. Aşağıda yer alan Tablo 7.1'de ise tüm denklemler için ortalama genel hata görülmektedir.

Tablo 7.1 Ortalama hata

Denek No	% hata
1	%23,0
2	%10,0
3	%17,5
4	%15,0
5	%30,0
6	%18,0
7	%16,0
8	%24,0
9	%14,0
10	%16,0
11	%23,0
12	%22,0
Ort. Hata	%19,0

Bu sonuçtan, bilgisayar programı ile bütün deneklerin isteklerine ortalama %19'luk bir hata ile cevap verilebileceği düşünülebilir. Deneyler sırasında çalışma düzleminde kaydedilen;

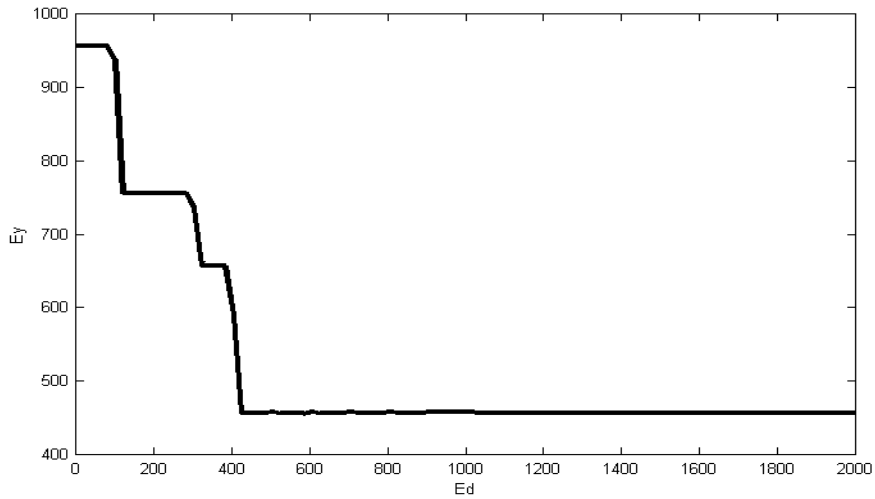
Ortalama doğal aydınlık düzeyi: 375 lx,

Ortalama yapay aydınlık düzeyi: 453 lx,

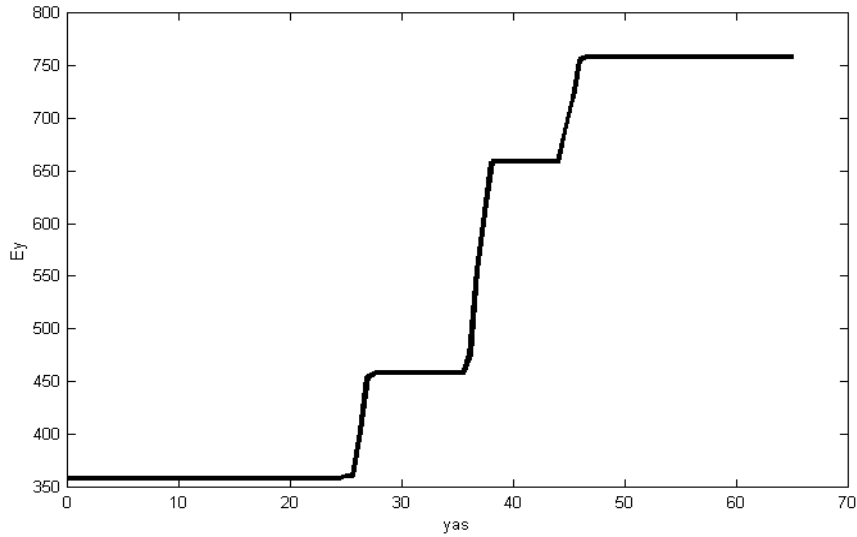
olduğu durumda yapay aydınlık düzeyinde ortalama yapılan %19'luk bir hata yaklaşık 160 lx'e karşılık gelir ki, ortalama aydınlık düzeyinin yaklaşık 830 lx olduğu bir durumda bu oran kabul edilebilir bir hatadır.

Yapay aydınlatmanın doğal aydınlatmaya, çalışanların yaşına ve cinsiyete göre nasıl bir değişim izlediği de bu çalışmanın amaçları arasındadır. Bu değişimlerden birer örnek şekil 7.3 ve 7.4'de yer almaktadır. Bütün olasılıkları göz önüne alan şekillerin tamamı Ek-C'de verilmektedir.

Şekil 7.3'de görüldüğü gibi doğal aydınlık düzeyi arttıkça yapay aydınlık düzeyi isteği azalmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Şekil 7.4'de ise çalışanların yaşının arttıkça daha yüksek aydınlık düzeylerine ihtiyaç duyulduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar yapılan çalışmaları doğrular yöndedir.



Şekil 7.3 Doğal aydınlık düzeyi (E_d) & Yapay aydınlık düzeyi (E_y) (32 yaş, erkek için)



Şekil 7.4 Yapay aydınlık düzeyi (E_y) & Yaş (300 lx, erkek için)

Ayrıca deney sonuçlarından anlaşıldığı üzere, cinsiyetin de diğer giriş büyüklükleri gibi tercih edilen yapay aydınlık düzeyleri üzerinde etkisi vardır. Aradaki fark az da olsa erkek denekler kadınlara göre %10-15 daha az aydınlık düzeylerine ihtiyaç duymaktadırlar.

7.3 Elde Edilen Bilgisayar Programı Sonuçlarının Yeni Bir Denek Üzerinde Denenmesi

Gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, yapay aydınlık düzeyi tercihlerini önceden tahmin etmek üzere tasarlanan bilgisayar programı, %19 hata ile bu işi başarmıştır.

Bulunan bu sonucun, yeni deneylerde yada gerçek uygulamalarda tekrarlanıp tekrarlanmayacağı önemli bir konudur. Çünkü, bir grup insanın farklı isteklerine cevap verecek bir program her koşul altında geliştirilebilir, önemli olan bu insanların tercihlerinin dış dünya ile ne kadar bağdaştığıdır. Örneğin, loş ışıktan hoşlanan on beş kişiyi bir araya toplayıp, seri deneyler yaptıktan sonra onların ihtiyaçlarına cevap veren bir program tasarlandığı zaman o çalışmanın bir değeri ve gerçek hayata uygulanabilirliği olmayacaktır.

Bu nedenlerden dolayı deney gruptan olmayan yeni bir denek üzerinde de denenmiştir. Deney yöntemi ve koşulları aynıdır. Tek fark bu deney daha öncekilerin olduğu gibi yapılacak bilgisayar programının bir kaynağı olmayıp, tam tersine programın bir sağlaması niteliğindedir. Bu deneye ait bilgiler Tablo 7.2’de yer almaktadır.

Tablo 7.2 Sağlama amaçlı yapılan deneye ait sonuçlar

	E_{TOPLAM}(lx)	E_{YAPAY}(lx)	E_{DOĞAL}(lx)
10:00-10:30	440	421	19
10:30-11:00	528	511	17
11:00-11:30	402	390	12
11:30-12:00	419	382	37
12:00-12:30	358	310	48
13:00-13:30	280	230	50
13:30-14:00	508	452	56
14:00-14:30	464	330	134
14:30-15:00	524	456	68
15:00-15:30	564	460	104
15:30-16:00	522	467	55
16:00-16:30	482	440	42

Denek No : 13
Yaş : 23
Cinsiyet : Erkek
Göz Bozukluğu : Yok
Oda Sıcaklığı : 24 °C
Oda Nemi : %44
Hava Durumu : Yağmurlu

Yapılan deneyin sonuçlarının, bilgisayar programından elde edilen tahminlerle karşılaştırması Tablo 7.3’te verilmektedir.

Tablo 7.3 Deney sonuçlarının karşılaştırılması.

E_{DOĞAL}[lx]	E_{YAPAY} program [lx]	E_{YAPAY} deney [lx]	HATA[%]
19	457	421	8,6
17	457	511	10,6
12	457	390	17,2
37	457	382	19,6
48	457	310	47,4
50	457	230	98,7
56	457	452	1,1
134	257	330	22,1
68	457	456	0,2
104	394	460	14,3
55	457	467	2,1
42	457	440	3,9
	ORT. HATA (%)		20,5

Yeni denek için bulunan %20.5'lik hata, asıl deneyler sonucunda bulunan %19'luk hataya çok yakındır. Bu da bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılan bu programın gerçek uygulamalarda da kullanılabilir seviyede olduğunu göstermektedir.

Uygulamada, her ofis çalışanı tasarlanacak kontrolöre yaş ve cinsiyet girişleri ile tanıtılarak, ölçülen doğal aydınlık düzeylerine karşılık gelen yapay aydınlık düzeylerinin ayarlanacağı bir sistem oluşturulabilir. Böyle bir sistemle kullanıcı kontrolüne gerek duyulmadan kişilerin isteklerine uygun bir aydınlatma sağlanabilir.

8. SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

Otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin amacı elektrik enerjisini en verimli şekilde kullanmaktır. Enerjiyi yeteri kadar verimli kullanan, sadece gün ışığına bağlı kontrol yapılan aydınlatma sistemlerinden kullanıcıların pek de hoşnut olmadığı bilinmektedir. Bunun nedenini kişilerin farklı aydınlık düzeyleri tercihlerine bağlanabilir. Kullanıcıların en iyi performansla çalışabilecekleri ideal ortam, kendilerinin bir kopyasının sürekli olarak aydınlatmayı ayarlayacağı bir ortam olurdu, demek pek yanlış olmaz. Aydınlatmanın bir araç olup amaç olmaması nedeniyle bir çalışanın kendi isteklerinin gerçekleştirilmesi için sürekli aydınlatma ile uğraşmayı düşünmesi, iş performansının daha da düşmesine neden olur. Her insanın bir kopyası bu işi yapamayacağına göre otomatik sistemlere ihtiyaç vardır.

Bulanık mantık, bir matematik modelin oluşturulmasının çok zor olduğu durumlarda, etkin bir yol olarak karşımıza çıkar. Etkinliğini kolay uygulanabilirliğinden ve esnekliğinden alır. Aydınlatma kontrol sistemleri bir çok parametre ve sürekli değişen koşullara sahiptir. Bu sistemlerde her koşula uyacak ve esnek bir matematik modele ulaşmak çok zordur ve geniş diferansiyel denklemler içermek zorundadır. Bu nedenle bu çalışmada bulanık mantığın aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılması düşünülmüştür.

Deneye belli yaş gruplarından on iki kişi katılmış ve aydınlatmayı ellerindeki kumanda ile kendi istekleri doğrultusunda ayarlamışlardır. Yaptıkları ayarlamalar kaydedilmiş, yapılan aydınlık düzeyi tercihleri ışığında bir bulanık mantık model oluşturulmuştur. Bu model deneklerin tercih ettiği aydınlık düzeylerini %19'luk bir hata ile tahmin edebilir seviyededir. Daha sonra sağlama niteliğinde aynı deney başka bir denek üzerinde uygulanmıştır. Yapılan deneyin sonuçları ise geliştirilen bulanık mantık modelin tahminlerine %20.5'lik bir hata ile yaklaşmıştır.

Bu sonuçlar bulanık mantığın otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.

8.1 İdeal Sistem

Hiçbir insan bir diğerrinin aynısı değildir. Dolayısıyla kişisel tercihler de birbirlerinden farklıdır. Aydınlatma için de bu kural geçerlidir. İnsanlar aydınlatma tercihleri açısından belki de yüzlerce sınıfa ayrılabilirler. Önemli olan en baskın olan kriterleri seçmek ve bunlar üzerine bir sistem kurmaktır. İnsanları bu baskın olan sınıflara sokabilmek için, ya çok iyi ve kapsamlı bir araştırma ya da çok sayıda deney yapılmalıdır. Böylelikle belki de üzerinde hiç durulmayan bazı kriterler önem kazanacak, karanlıkta kalan taraflar aydınlanacaktır. Belirli gruplaşmalar ortaya çıkması halinde, tek bir cevap yerine oluşan gruplara ayrı ayrı cevap verilecektir. Böyle bir sistem kurulduğu zaman, arkasında büyük bir bilgi dağarcığı olacağı için hata oranı uygulamada minimum seviyelere çekilmiş olacaktır.

8.2 Elektrik Açısından Tasarruf

Ofis çalışanlarının aydınlatma isteklerine cevap verirken bizi sınırlandıran en önemli etken enerji tasarrufudur. Ofislerde, aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi toplam kullanılan enerjinin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ofis çalışanlarının yüksek aydınlık düzeylerinde daha verimli çalıştıkları bilinmektedir. Bunun yanında yüksek aydınlatma ile artan enerji tüketimi sonucunda bir optimum nokta bulma zorunluluğu doğmuştur. Psikolojik ve fizyolojik açıdan çalışanları rahatsız etmeyecek, performanslarını azaltmayacak en düşük aydınlık düzeylerini bulmak bu problemin çözümüdür.

Klasik sisteme adapte edilmiş zamanlama kontrolünün çeşitli uygulamaları, daha önce bahsettiğimiz gün ışığına bağlı sabit aydınlık düzeyli kontrol yapan sistem ve bulanık mantık sisteminin uygulandığı aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tasarrufları açısından incelenmesi Tablo 8.1’de yer almaktadır. Değerlendirmeler deney ofisindeki lambalar, armatürler ve oluşan çalışma düzlemi doğal aydınlık düzeylerinin aynı olduğu kabulüne göre yapılmıştır.

Yapılan deneyler sırasında çalışma düzlemine ait ;

Ortalama doğal aydınlık düzeyi : 375 lx

Ortalama toplam aydınlık düzeyi : 828 lx

olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan karşılaştırmalarda bu iki değer ve deney ofisinin genel donanımı temel alınmıştır.

Aydınlatma sisteminden istenilen en önemli iki unsurun değişken isteklere cevap verebilme ve elektrik tasarrufu olduğu daha önce vurgulanmıştı. Karşılaştırma tablosuna bakılırsa otomatik kontrollü aydınlatma sistemlerinin diğerlerinden üstün olduğu görülmektedir. En başta kontrolsüz sistemlerde aydınlatma gün ışığı faktöründen yoksundur. Onun için ofiste kimi zaman gereksiz yüksek aydınlık düzeyleri, kimi zaman ise düşük aydınlık düzeyleri oluşabilecektir. Aydınlatmanın sürekli yüksek seviyelerde açık kaldığı 1 numaralı durumda enerji tasarrufundan bahsedilemez. Otomatik kontrollü sistemlerle hemen hemen aynı derecede enerji tüketen 3 numaralı sistemde de gün ışığı seviyesinin azaldığı ve arttığı dönemlerde sıkıntı baş gösterecektir. Tüm bunların yanında eğer bir çalışan elektrik düğmeleri ile sınırlı kontrol hakkını kullansa dahi, değişken isteklere bulanık mantık sisteminde olduğu gibi esnek bir biçimde yanıt verilemeyecektir. Gün ışığına bağlı sabit aydınlık düzeyi sağlayan 5. sistemin eksikliği de aynı noktadır. İşverenler enerji tasarrufu sağlayacak, çalışanlar ise kendi değişken isteklerine cevap verecek esnek bir aydınlatma kontrol sistemi arzulamaktadırlar. İki durumun da gerçekleştiği sistem bulanık mantık aydınlatma kontrol sistemi olabilir.

Tablo 8.1 Elektrik tasarrufu açısından aydınlatma sistemlerinin karşılaştırması

1.Tüm gün açıkken çekilen ortalama ani güç [w]	2.Öğlen saatleri kapalıyken çekilen ortalama ani güç [w]	3.Yarı güçte tüm gün açıkken çekilen ortalama ani güç [w]	4.Yarı güç öğlen Kapalıyken çekilen ortalama ani güç [w]	5.OAKS* 1000lx sabit Ayd. Düzeyine ayarlanmışken ortalama çekilen ani güç [w]	6.Bulanık mantık sistemi ile ortalama çekilen ani güç [w]
726	484	363	242	370	345
Top.Ort Ayd. Düz.(lx)	Top.Ort Ayd. Düz.(lx)	Top.Ort Ayd. Düz.(lx)	Top.Ort Ayd. Düz.(lx)	Top.Ort Ayd. Düz.(lx)	Top.Ort Ayd. Düz.(lx)
1534	1170	990	807	1000	828
Günlük ortalama sarfiyat [kWs]	Günlük ortalama sarfiyat [kWs]	Günlük ortalama sarfiyat [kWs]	Günlük ortalama sarfiyat [kWs]	Günlük ortalama sarfiyat [kWs]	Günlük ortalama sarfiyat [kWs]
6,53	4,36	3,27	2,18	3,33	3,11
Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]	Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]	Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]	Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]	Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]	Yıllık tahmini ortalama sarfiyat [kWs]
1535,49	1023,66	767,745	511,83	782,55	729,675

Tüm gün açık: 8:00-12:00 ve 13:00-18:00 arası aydınlatma devrede
 Öğlen saatleri kapalı: 8:00-11:00 ve 15:00-18:00 arası aydınlatma devrede
 Yarı güç tüm gün açık: 8:00-12:00 ve 13:00-18:00 arası aydınlatma %50 kapasite ile devrede
 Yarı güç öğlen saatleri kapalı: 8:00-11:00 ve 15:00-18:00 arası aydınlatma %50 kapasite ile devrede

OAKS* 1000lx sabit Ayd. Düzeyine ayarlı: Öğle tatili hariç sürekli 1000lx sağlanacak şekilde aydınlatma otomatik olarak ayarlanıyor

Bulanık Mantık: Öğle tatili kapalı olmak suretiyle, aydınlatma otomatik kontrolör tarafından ayrılıyor

* Otomatik aydınlatma kontrol sistemi

KAYNAKLAR

- [1] **ÖZKAYA, M.** Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1994).
- [2] **ÇOLAK, N.** Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinde Kullanılacak Verilerin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1999).
- [3] **ONAYGİL, S., ÇOLAK, N.** Prediction of artificial illuminance using neural networks, [Lighting Research & Technology, (312), pp. 63-66, (1999).
- [4] **ONAYGİL, S. , ÇOLAK, N. , ENARUN, D. , YENER, A. ,** Energy Saving By Daylight Responsive Lighting Control Systems, Lux Europa 2001, the 9th European Lighting Conference, pp.110-115, Reykjavik, (June 2001).
- [5] **MOORE, T. , DAVID, J. , ANTHONY, I. ,** A Comparative study of user opinion in offices with and without individually controlled lighting, Etap Lighting, Telford Road, Houndmills, Basingstoke, Hants, UK, (2000).
- [6] **BEZDEK J.C.,** "Editorial Fuzzy Models-What are They and Why? ", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.11, No.1, (1993).
- [7] **BOJADZIEV, G. , BOJADZIEV, M. ,** Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications, World Scientific Publishing, Singapore, (1995).
- [8] **WANG, L.,** A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall, (1997).
- [9] **KLIR, J.G, YUAN, B.,** Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice Hall, N.Y., (1995)
- [10] **TÜMER, P.,** Ofis Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Giriş Verilerinin Bulanık Mantık İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul, (2001).
- [11] **ZUMTOBEL STAFF,** System Lighting, Technical Reference Catalogue, Dornbirn, (2001).

EK-A

Tablo A.1 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1 (lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap. (W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
14.06.2001	9:30-10:00	808.19	996.73	380.60	26396.83	226	169	828
14.06.2001	10:00-10:30	687.04	876.41	321.57	23844.83	287	305	571
14.06.2001	10:30-11:00	533.14	628.73	222.21	17820.67	204	129	500
14.06.2001	11:00-11:30	407.99	394.33	133.49	15683.50	191	106	288
14.06.2001	11:30-12:00	330.67	273.79	59.38	10200.17	193	110	164
14.06.2001	12:00-12:30	263.82	337.95	43.18	6818.52	290	312	26
14.06.2001	12:30-13:00	253.22	626.00	67.44	6128.15	338	433	193
14.06.2001	13:00-13:30	272.74	660.64	71.55	5997.67	339	435	226
14.06.2001	13:30-14:00	290.19	662.20	75.51	6116.72	341	441	221
14.06.2001	14:00-14:30	290.68	662.56	77.18	6501.60	341	441	222
14.06.2001	14:30-15:00	34596	702.35	99.21	7944.02	340	438	264
14.06.2001	15:00-15:30	346.09	716.62	100.95	9001.55	340	438	279
14.06.2001	15:30-16:00	411.54	748.96	93.99	7921.15	379	547	202
14.06.2001	16:00-16:30	434.78	826.19	91.33	7036.53	377	542	284
14.06.2001	16:30-17:00	395.82	650.26	71.46	7219.07	342	443	207

Denekno 1
Yaş 24
Cinsiyet Erkek
Göz Bozukluğu var
Oda Sıcaklığı 28 °C
Oda Nemi %60
Hava Durumu Açık

Tablo A.2 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(Ix)kapı	A2(Ix)masa	A4(Ix)karşı duv.	A6(Ix)pencere	P hesap.(W)	E yapay(Ix)	E doğaI(Ix)
03.08.2000	09:00-09 30	1240	2786	1787	26258	342	443	2343
03 08.2000	09:30-10:00	907	1796	1341	19015	337	430	1366
03.08.2000	10:00-10:30	796	1545	1499	16471	276	279	1266
03.08.2000	10:30-11:00	658	1228	1365	15996	281	291	937
03.08.2000	11:00-11:30	718	1489	1195	15088	461	755	734
03.08.2000	11:30-12:00	636	1389	918	12395	459	752	637
03.08.2000	12:00-12:30	566	1146	617	7852	443	711	435
03 08.2000	12:30-13:00	541	1057	547	6231	442	708	349
03.08.2000	13:00-13:30	536	1024	524	5838	441	706	318
03 08.2000	13.30-14:00	536	1007	522	5847	442	708	299
03 08.2000	14:00-14:30	485	965	518	5862	430	671	294
03 08.2000	14:30-15:00	546	932	498	5917	421	644	288
03 08.2000	15:00-15:30	562	928	483	6056	418	600	328
03.08.2000	15:30-16:00	500	964	468	6232	443	711	253
03.08.2000	16:00-16:30	573	927	442	6269	442	708	219
03.08.2000	16:30-17:00	565	937	423	6492	433	681	256
03.08.2000	17:00-17:30	620	928	399	6827	429	668	260
03 08.2000	17:30-18:00	644	875	375	6732	406	600	275

Denek No 2
 Yaş 56
 Cinsiyet Erkek
 Göz Bozukluğu Var
 Oda Sıcaklığı 28 °C
 Oda Nemi %43
 Hava Durumu Açık

Tablo A.3 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	saat	A1 (lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
11.07.2001	12:00-12:30	32656	578,89	122,14	8113,73	302	340	239
11.07.2001	12:30-13:00	327,44	781,62	132,12	6453,97	400	595	187
11.07.2001	13:00-13:30	328,1	803,52	130,91	5782,95	399	593	211
11.07.2001	13:30-14:00	347,99	809,91	135,4	5635,94	398	591	219
11.07.2001	14:00-14:30	335,57	68231	122,74	5709,39	346	455	227
11.07.2001	14:30-15:00	327,57	565,6	112,25	5867,5	299	333	233
11.07.2001	15:00-15:30	408,94	772,22	139,54	6105,43	377	542	230
11.07.2001	15:30-16:00	476,35	950,86	160,1	6294,02	514	897	54

Denekno 3
Yaş 33
Cinsiyet Erkek
Göz Bozukluğu Var
Oda Sıcaklığı 30 °C
Oda Nemi %58
Hava Durumu Açık

Tablo A.4 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
23.07.2001	14:30-15:00	249,59	482,11	282,25	6.025,64	288	308	174
23.07.2001	15:00-15:30	311,02	657,06	307,43	6.176,26	351	470	167
23.07.2001	15:30-16:00	302,71	605,03	258,28	6.228,30	335	424	181
23.07.2001	16:00-16:30	245,08	. 469,92	253,77	6.296,60	322	390	80
23.07.2001	16:30-17:00	320,78	532,74	256,66	6.520,58	329	408	125
23.07.2001	17:00-1 7:30	337,2	54833	255,2	6.574,66	342	444	104

Denekno 4
Yaş 32
Cinsiyet Bayan
Göz Bozukluğu Var
Oda Sıcaklığı 30 °C
Oda Nemi %52
Hava Durumu Açık

Tablo A.5. Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(lx)	A2(lx)	A4(lx)	A6(lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
06.08.2000	10:30-11:00	665	1225	1137	15259	283	296	929
06.08.2000	11:00-11:30	599	1010	1124	16573	284	298	712
06.08.2000	11:30-12:00	448	698	740	12876	215	149	549
06.08.2000	12:00-12:30	419	726	662	11702	216	151	575
06.08.2000	12:30-13:00	420	675	589	9054	265	252	423
06.08.2000	13:00-13:30	411	625	552	8214	263	247	378
06.08.2000	13:30-14:00	430	679	550	8454	288	308	371
06.08.2000	14:00-14:30	429	643	503	7228	295	324	319

Denek no 5
Yaş 23
Cinsiyet Bayan
Göz Bozukluğu Yok
Oda Sıcaklığı 30 °C
Oda Nemi %55
Hava Durumu Açık

Tablo A.6 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1 (lx) kapı	A2(lx)masa	A6(lx)peneere	P hesap.(W)	E yapay (lx)	E doğal(lx)	
07.07.2000	10:30-11:00	737	1241	694	17246	275	276	965
07.07.2000	11:00-11:30	615	1121	510	15303	299	333	788
07.07.2000	11:30-12:00	578	1011	444	15355	289	310	701
07.07.2000	12:00-12:30	526	935	385	11430	281	291	644
07.07.2000	12:30-13:00	500	896	395	10924	281	291	605
07.07.2000	13:00-13:30	462	838	352	9931	296	326	512
07.07.2000	13:30-14:00	430	709	308	7874	298	331	378
07.07.2000	14:00-14:30	441	675	248	6264	306	349	326
07.07.2000	14:30-15:00	462	650	234	5874	308	354	296
07.07.2000	15:00-15:30	493	638	234	6311	303	342	296
07.07.2000	15:30-16:00	547	635	238	6159	301	338	297

Denek no 6
Yaş 23
Cinsiyet Bayan
Göz Bozukluğu Var
Oda Sıcaklığı 33 °C
Oda Nemi %49
Hava Durumu Açık

Tablo A.7. Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(Ix)kapı	A2(Ix)masa	A4(Ix)karşıduv.	A6(Ix)pencere	P hesap (W)	E yapay(Ix)	E doğal(Ix)
27.07.2000	09:30-1000	851	1813	1551	19728	133	15	1798
27.07.2000	9:30-10:00	691	1323	1346	16724	144	31	1292
27.07.2000	10:30-11:00	709	1553	1205	15448	357	489	1064
27.07.2000	11:00-11:30	589	1278	973	14243	350	467	811
27.07.2000	11:30-12:00	382	719	645	11598	219	156	563
27.07 2000	12:00-12:30	329	599	468	7665	223	163	436
27.07 2000	12:30-1300	407	861	498	6228	335	424	437
27.07.2000	1300-13:30	416	839	488	5969	335	424	415
27.07.2000	1330-14:00	429	816	484	5983	336	427	389
27.07.2000	1400-14:30	530	1035	533	6186	416	632	403
27.07 2000	14 30-15:00	559	1014	529	6406	420	642	372
27.07 2000	15:00-15:30	709	1388	585	6521	586	1064	324
27.07 2000	15:30-16:00	724	1370	565	6595	577	1041	329
27.07 2000	16:00-16:30	632	1011	473	6592	415	630	381
27.07 2000	16:30-17:00	630	993	451	6713	416	632	361

Denek no 7
 Yaş 50
 Cinsiyet Erkek
 Göz Bozukluğu Var
 Oda Sıcaklığı 33 °C
 Oda Nemi %40
 Hava Durumu Açık

Tablo A.8 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1 (lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
10.04.2000	09:00-09:30	701	1043	895	25777	277	281	762
10.04.2000	09:30-10:00	577	927	719	16354	319	382	545
10.04.2000	10:00-10:30	454	747	487	12903	345	452	295
10.04.2000	10:30-11:00	467	777	554	12867	322	390	387
10.04.2000	11:00-11:30	430	685	457	10658	250	216	469
10.04.2000	11:30-12:00	376	595	251	8255	253	223	372
10 04.2000	12:00-12:30	350	547	209	6238	257	233	314
10 04.2000	12:30-13:00	339	497	185	5735	257	233	264
10.04.2000	13:00-13:30	358	495	191	5747	263	247	248
10.04.2000	13:30-14:00	394	476	190	5769	271	267	209
10.04.2000	14:00-14:30	379	443	181	5832	266	255	188
10.042.000	14:30-1500	407	415	177	6027	254	225	190
10.04.2000	15:00-15:30	421	397	170	6148	254	225	172
10.04.2000	15:30-16:00	457	430	176	6306	268	259	171
10.04.2000	16:00-16:30	464	406	163	6295	263	247	159
10.04.2000	16:30-17:00	452	410	157	6060	261	242	168

Denekno 8
 Yaş 23
 Cinsiyet Erkek
 Göz Bozukluğu yok
 Oda Sıcaklığı 23 °C
 Oda Nemi %33
 Hava Durumu Açık

Tablo A.9 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1 (lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
06.04.2000	10:00-10:30	812	1209	999	13411	397	589	620
06.04.2000	10:30-11:00	578	1035	890	11883	325	397	638
06.04.2000	11:00-11:30	458	825	590	8998	336	427	398
06.04.2000	11:30-12:00	402	742	294	6665	349	464	278
06.04.2000	12:00-12:30	380	700	229	4459	356	486	214
06.04.2000	12:30-13:00	391	686	228	4450	356	486	200
06.04.2000	13:00-13.30	398	694	247	5121	356	486	208
06.04.2000	13:30-14:00	463	740	271	5976	357	489	251
06.04.2000	14:00-14.30	504	807	294	6188	386	564	243
06.04.2000	14:30-15:00	499	673	252	5859	359	495	178
06.04.2000	15:00-15:30	506	626	236	5999	335	424	202
06.04.2000	15:30-16:00	518	645	239	6220	340	438	207
06.04.2000	16:00-16:30	532	606	225	6341	332	416	190

Denek no 9
Yaş 23
Cinsiyet Bayan
Göz Bozukluğu Var
Oda Sıcaklığı 33 °C
Oda Nemi %49
Hava Durumu Açık

Tablo A.10 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1	A2	A4	A6	P hesap. (W)	E yapay(Ix)	E doğal(Ix)
28.03.2000	1030-11:00	1129	1066	1150	25063	476	784	282
28.03.2000	11 00-11:30	1080	2212	1184	16206	478	788	1424
28.03.2000	11:30-12:00	825	1620	1029	13653	440	703	917
28.03.2000	12:00-12:30	686	1408	820	10887	441	706	702
28.03.2000	12:30-13:00	570	1169	513	9013	415	630	539
28.03.2000	13:00-13.30	482	1032	343	6130	415	630	402
28.03.2000	1330-14:00	454	919	301	5437	489	818	101
28.03.2000	14:00-14:30	454	883	283	5397	503	865	18
28.03.2000	14:30-15:00	490	1003	313	5583	367	516	487
28.03.2000	15:00-15:30	574	1103	353	5904	334	422	681
28.03.2000	15:30-16:00	534	884	311	6054	340	438	446

Denekno 10
 Yaş 39
 Cinsiyet Bayan
 Göz Bozukluğu Var
 Oda Sıcaklığı 26 °C
 Oda Nemi %35
 Hava Durumu Açık

Tablo A.11. Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(lx)	A2 (lx)	A4 (lx)	A6 (lx)	P hesap.(W)	E yapay(lx)	E doğal(lx)
19.06.2001	15:30-16:00	474,82	1108,17	153,75	8.786,76	438	700	408
19.06.2001	16:00-16:30	303,98	517,92	99,12	9.405,95	324	395	123
19.06.2001	16:30-17:00	374,89	758,57	118,62	8.922,08	320	385	374

Denekno 11
Yaş 32
Cinsiyet Bayan
Göz Bozukluğu yok
Oda Sıcaklığı 28 °C
Oda Nemi %39
Hava Durumu Açık

Tablo A.12 Deneyler sırasında elde edilen aydınlık düzeyi değerleri

Tarih	Zaman	A1(Ix) kapı	A2(Ix)masa	A4(Ix)karşı duv.	A6(Ix) pencere	P hesap.(W)	E yapay(Ix)	Edoğal(Ix)
02.03.2000	09:30-1000	807	827	565	3867	331	414	413
02.03.2000	10:00-10:30	628	830	674	4336	271	267	563
02.03.2000	1030-1100	496	937	677	4730	259	238	699
02.03.2000	11:00-1130	590	994	916	11011	315	372	622
02.03.2000	11:30-12:00	482	784	561	10243	358	492	292
02.03.2000	12:00-12:30	492	751	348	7270	435	688	63
02.03.2000	13:00-13:30	535	871	325	5046	434	684	187
02.03.2000	13:30-14:00	520	903	335	4968	449	726	177
02.03.2000	14:00-14:30	563	937	357	5530	520	909	28
02.03.2000	14:30-15:00	599	959	396	6255	528	925	34
02.03.2000	16:00-16:30	715	1154	374	5454	464	761	393
02.03.2000	16:30-17:00	623	1342	344	3827	469	771	571
02.03.2000	17:00-17:30	478	1000	271	4059	430	671	329

Denekno 12
 Yaş 41
 Cinsiyet Bayan
 Göz Bozukluğu Var
 Oda Sıcaklığı 21 °C
 Oda Nemi %35
 Hava Durumu Açık

EK-B

Tablo B.1 Deney sonuçlarının bilgisayar programı ile karşılaştırılması

DENEK NO: 2				DENEK NO: 7			
DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]	DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]
2343	356	443	19,6	1064	456	489	6,7
1366	356	430	17,2	811	458	467	1,9
1266	356	279	27,6	437	456	424	7,5
937	360	291	23,7	415	491	424	15,8
734	656	755	13,1	389	657	427	53,9
637	656	752	12,8	403	605	632	4,3
435	656	711	7,7	372	656	642	2,2
349	656	708	7,3	324	656	1064	38,3
318	657	706	6,9	329	656	1041	37,0
299	658	708	7,1	381	656	630	4,1
294	657	671	2,1	361	656	632	3,8
288	657	644	2,0				
328	656	600	9,3				
253	656	711	7,7				
219	664	708	6,2				
256	656	681	3,7				
260	656	668	1,8				
275	656	600	9,3				
ORT. HATA[%]			10,3	ORT. HATA [%]			16,0

DENEK NO: 9				DENEK NO: 6			
DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]	DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]
620	257	589	56,4	965	258	276	6,5
638	257	397	35,3	788	257	333	22,8
398	358	427	16,2	701	258	310	16,8
278	458	464	1,3	644	257	291	11,7
214	458	486	5,8	605	258	291	11,3
200	458	486	5,8	512	258	326	20,9
208	458	486	5,8	378	357	331	7,9
251	458	489	6,3	326	357	349	2,3
243	458	564	18,8	296	458	354	29,4
178	458	495	7,5	296	458	342	33,9
202	458	424	8,0	297	458	338	35,5
207	458	438	4,6				
190	458	416	10,1				
ORT. HATA[%]			14,0	ORT. HATA[%]			18,1

DOĞAL : Doğal aydınlık düzeyi [lx] , **PRG**: Bilgisayar programının yapay aydınlık düzeyi tahmini [lx] , **DENEY**: Deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyi [lx].
HATA[%]: deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyleri ile bilgisayar programının tahmin ettiği yapay aydınlık düzeyleri arasındaki bağıl hata.

Tablo B.2 Deney sonuçlarının bilgisayar programı ile karşılaştırılması

[illegible]

DENEK NO : 5				DENEK NO:4			
DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]	DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]
929	261	296	11,8	174	456	308	48,1
712	258	298	13,4	187	456	470	3,0
549	257	149	72,5	181	456	424	7,5
575	257	151	70,2	80	456	390	16,9
423	257	252	2,0	125	456	408	11,8
378	357	247	44,5	104	458	444	3,2
371	357	308	15,9				
319	361	324	11,4				
ORT. HATA[%]			30,2	ORT. HATA[%]			15,1

DOĞAL : Doğal aydınlık düzeyi [lx] , **PRG**: Bilgisayar programının yapay aydınlık düzeyi tahmini [lx] , **DENEY**: Deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyi [lx].
HATA[%]: deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyleri ile bilgisayar programının tahmin ettiği yapay aydınlık düzeyleri arasındaki bağıl hata.

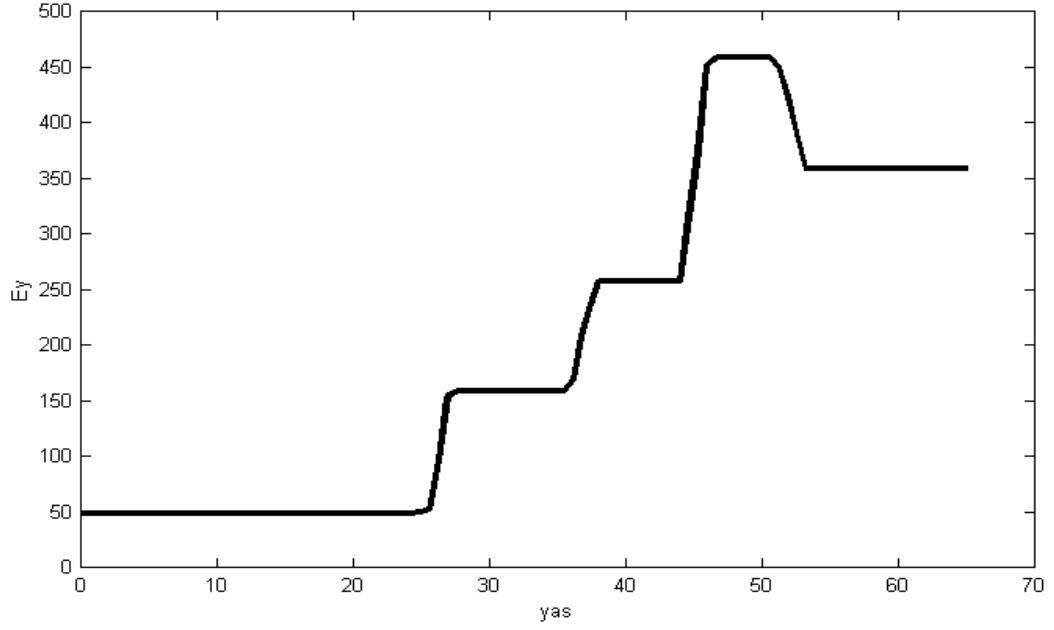
Tablo B.3 Deney sonuçlarının bilgisayar programı ile karşılaştırılması

DENEK NO:12				DENEK NO:10			
DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]	DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]
413	536	414	29,5	282	756	784	3,6
563	356	267	33,3	702	359	706	49,2
699	358	238	50,4	539	356	630	43,5
622	356	372	4,3	402	702	630	11,4
292	757	492	53,9	101	848	818	3,7
63	855	688	24,3	18	855	865	1,2
187	756	684	10,5	487	456	516	11,6
177	756	726	4,1	681	356	422	15,6
28	855	909	5,9	446	456	438	4,1
34	855	925	7,6				
393	757	761	0,5				
571	356	771	53,8				
329	756	671	12,7				
ORT. HATA[%]			22,4	ORT. HATA[%]			16,0

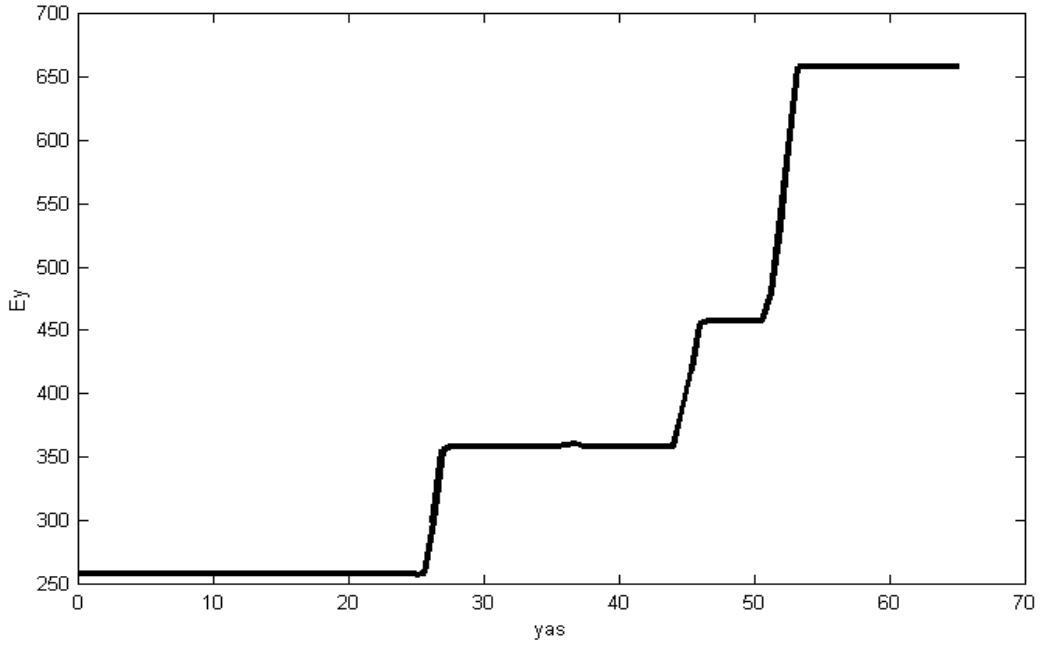
DENEK NO:8				DENEK NO:11)			
DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]	DOĞAL	PRG	DENEY	HATA[%]
762	257	281	8,5	408	458	700	34,6
545	357	382	6,5	123	456	395	15,4
295	357	452	21,0	374	456	385	18,4
387	357	390	8,5				
469	357	216	65,3				
372	357	223	60,1				
314	357	233	53,2				
264	357	233	53,2				
248	357	247	44,5				
209	328	267	22,8				
188	257	255	0,8				
190	266	225	18,2				
172	257	225	14,2				
171	257	259	0,8				
159	257	247	4,0				
168	257	242	6,2				
ORT. HATA[%]			24,2	ORT. HATA[%]			22,8

DOĞAL : Doğal aydınlık düzeyi [lx] , **PRG**: Bilgisayar programının yapay aydınlık düzeyi tahmini [lx] , **DENEY**: Deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyi[lx].
HATA[%]: deneklerin ayarladığı yapay aydınlık düzeyleri ile bilgisayar programının tahmin ettiği yapay aydınlık düzeyleri arasındaki bağıl hata.

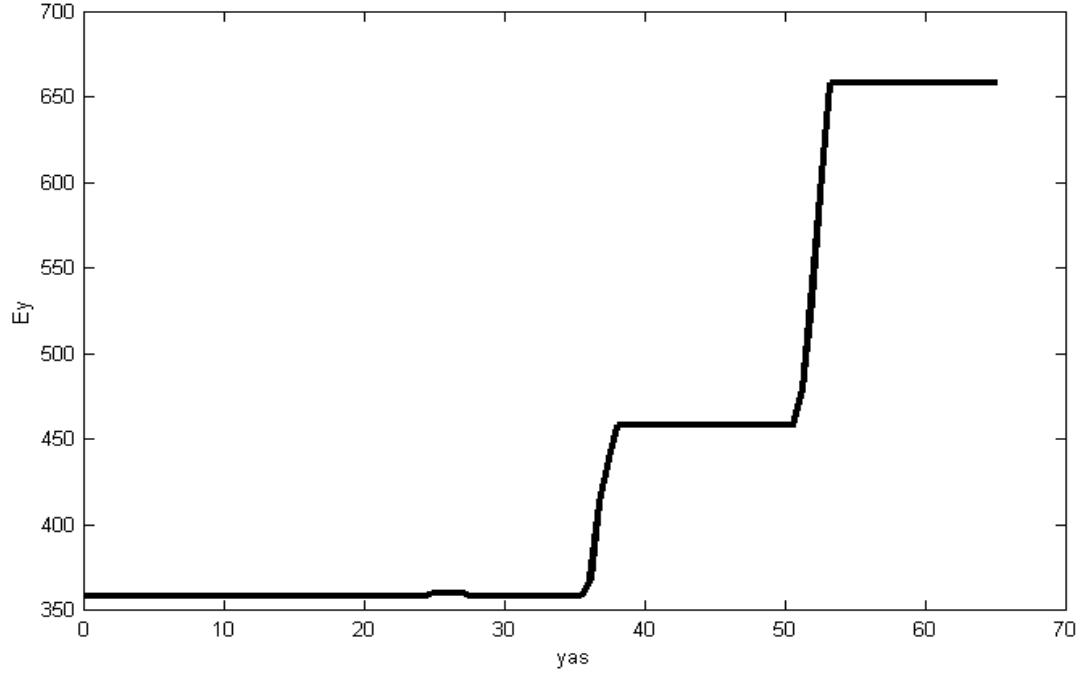
EK – C



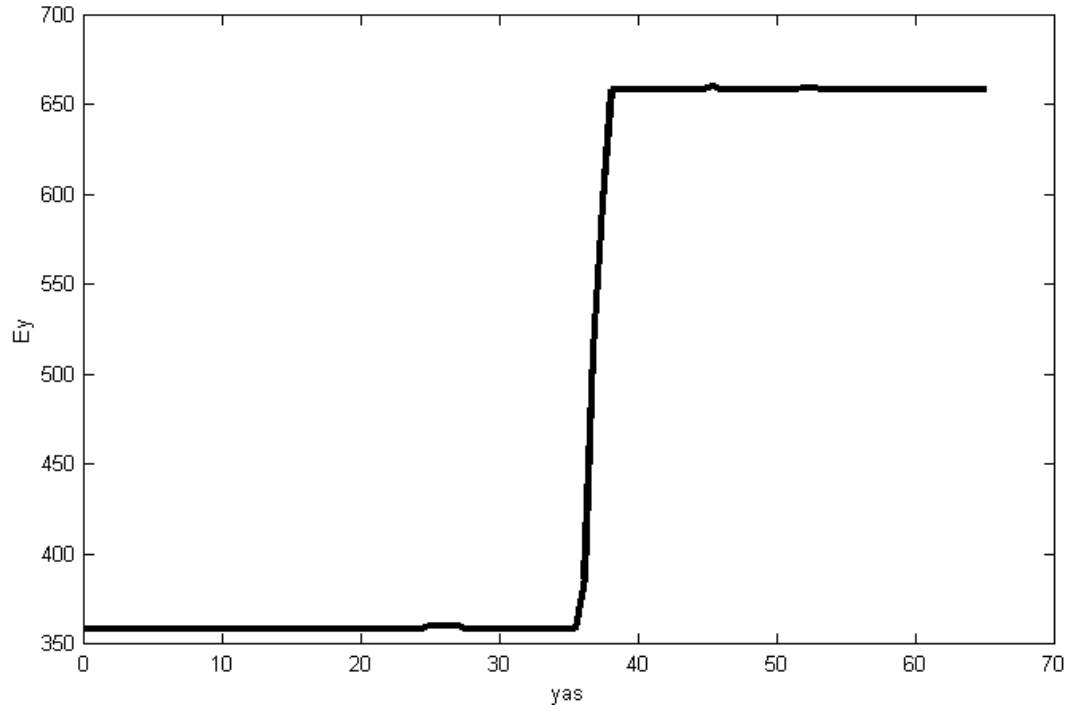
Şekil C.1 $E_d = 1000$ lx, cinsiyet = Erkek Girişleri sabitken, çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



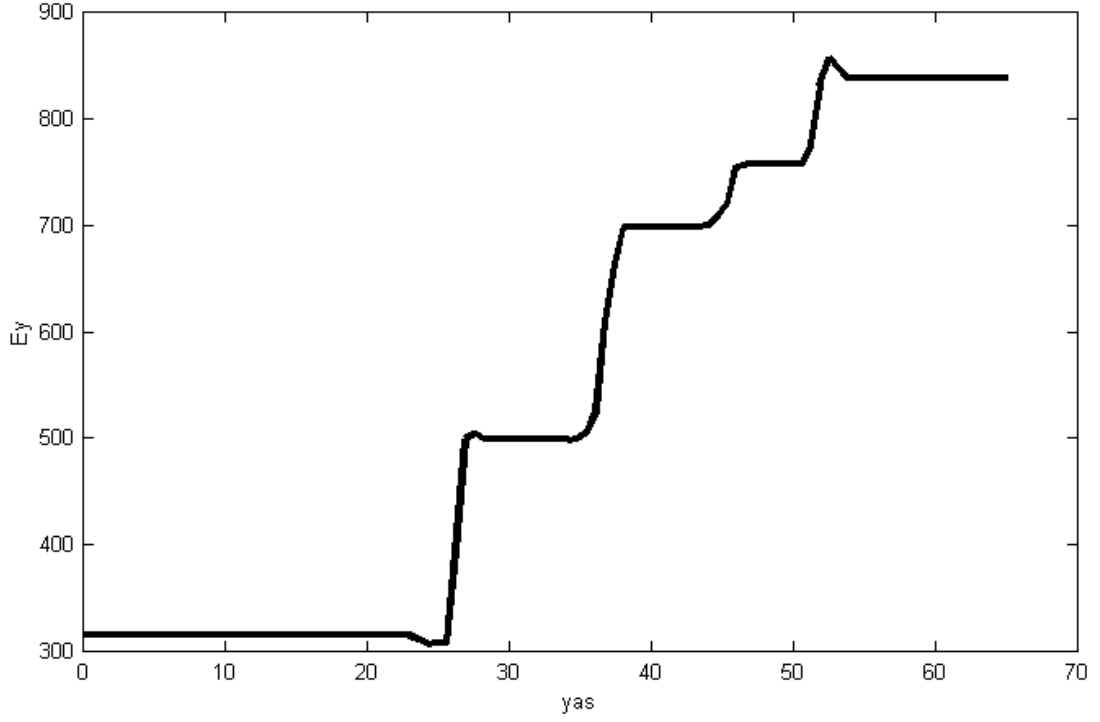
Şekil C.2 $E_d = 800$ lx, cinsiyet = Erkek Girişleri sabitken, çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



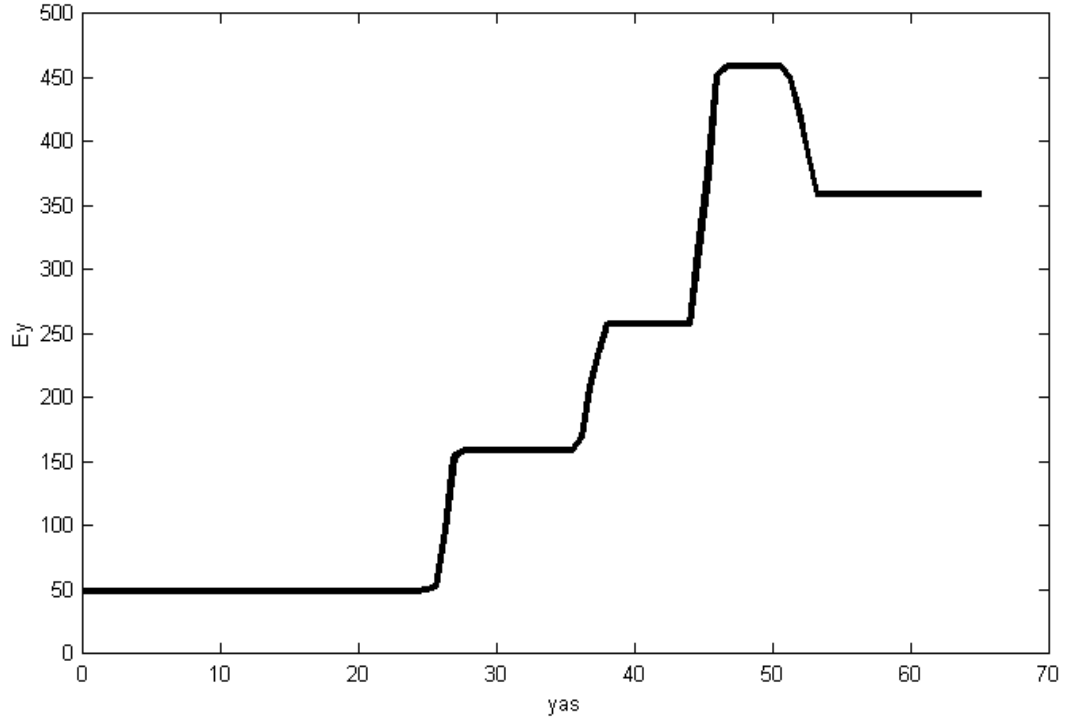
Şekil C.3 $E_d = 600$ lx, cinsiyet = Erkek Girişleri sabitken,
çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



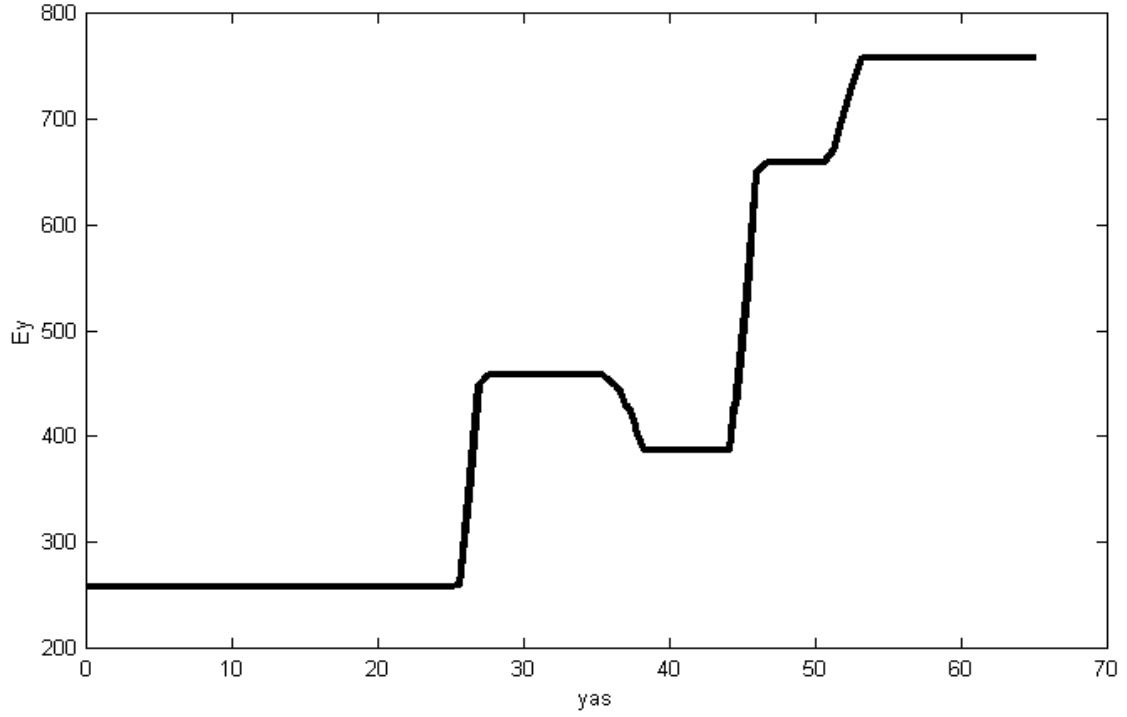
Şekil C.4 $E_d = 400$ lx, cinsiyet = Erkek Girişleri sabitken,
çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



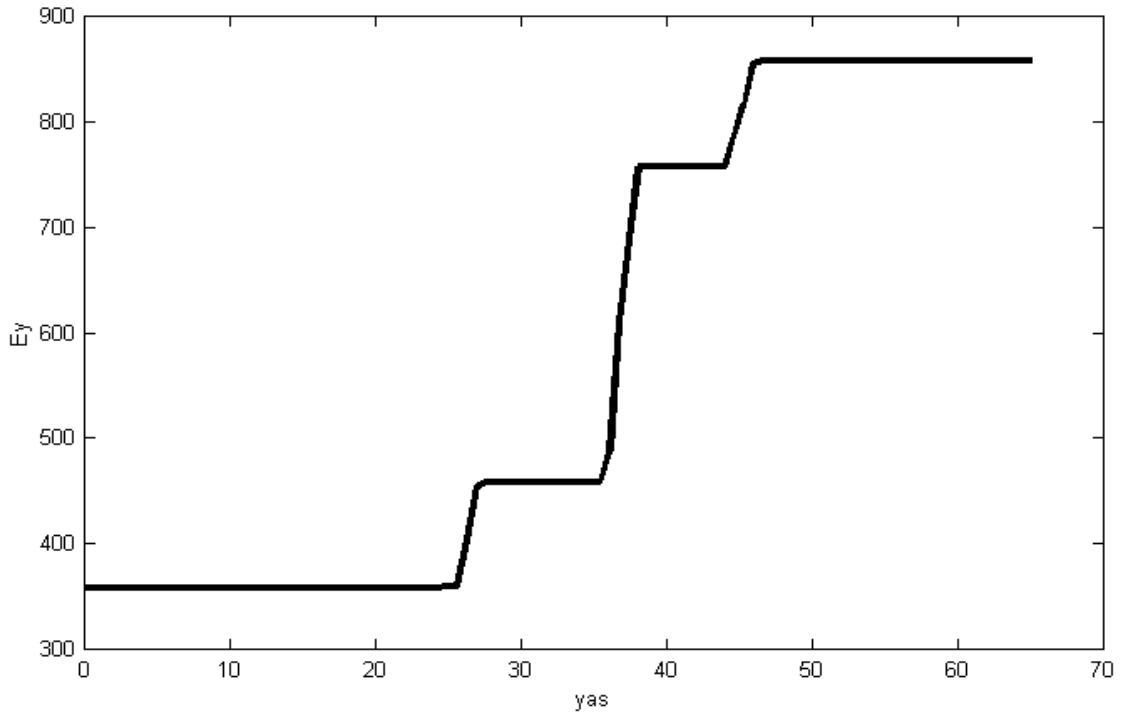
Şekil C.5 $E_d = 200$ lx, cinsiyet = Erkek Girişleri sabitken,
Çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_v) ile yaş arasındaki ilişki



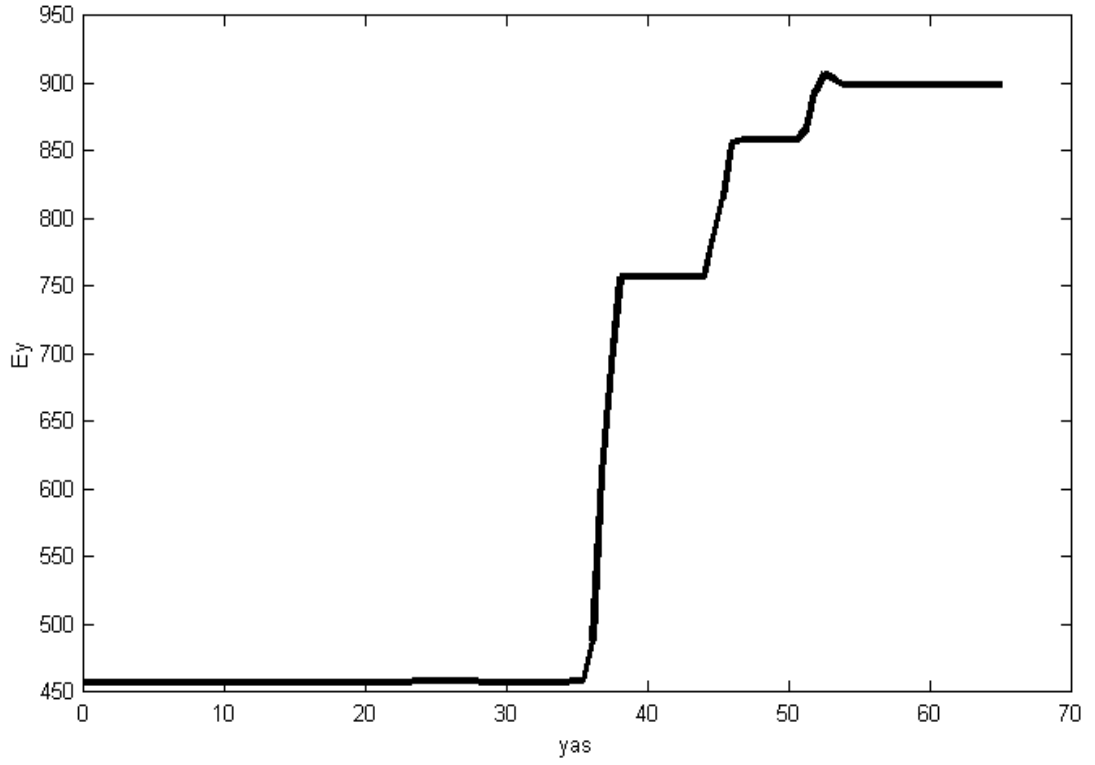
Şekil C.6 $E_d = 800$ lx, cinsiyet = Bayan Girişleri sabitken,
çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_v) ile yaş arasındaki ilişki



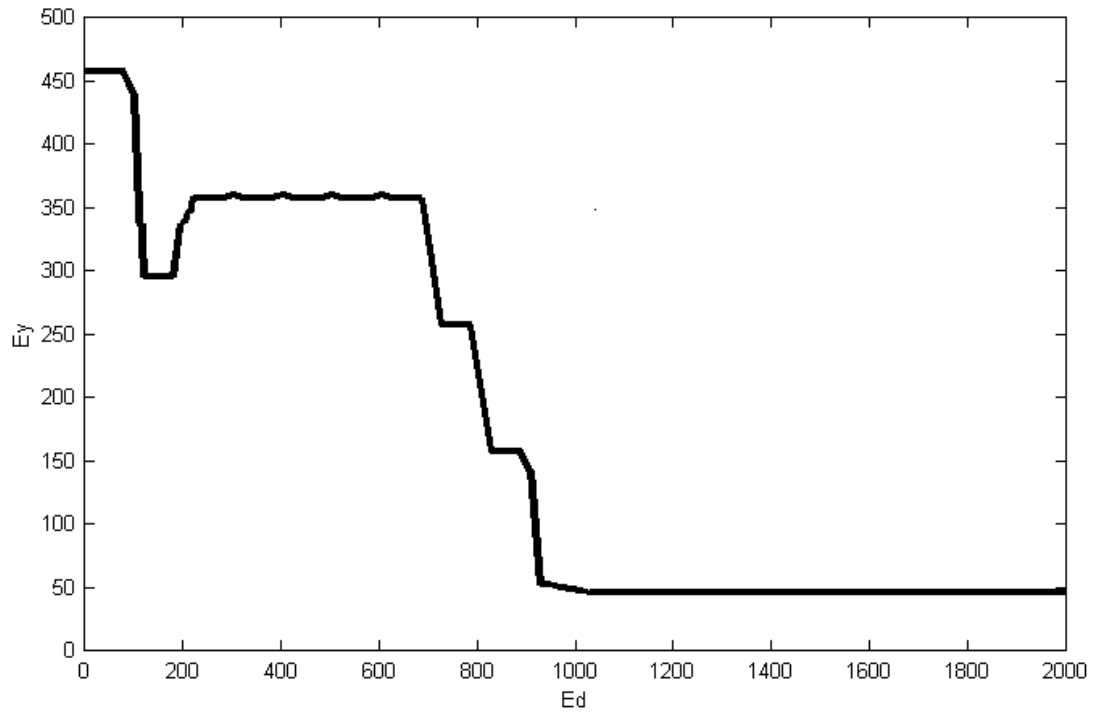
Şekil C.7 $E_d = 600$ lx, cinsiyet = Bayan Girişleri sabitken,
çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



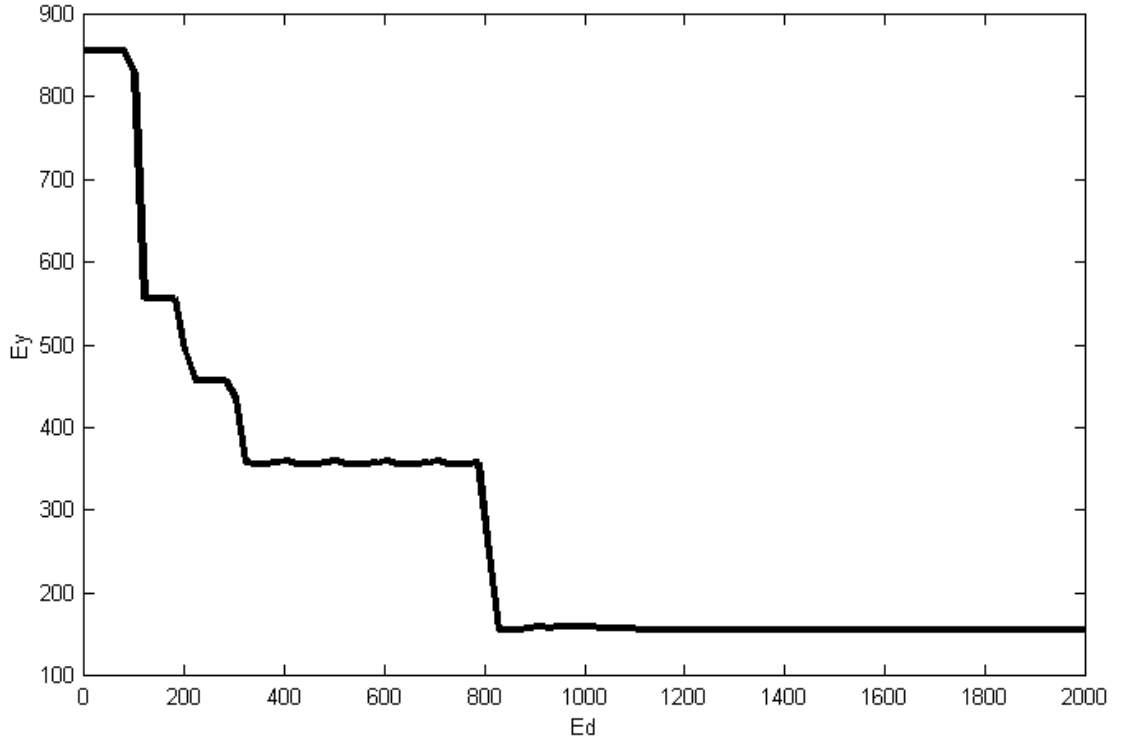
Şekil C.8 $E_d = 400$ lx, cinsiyet = Bayan Girişleri sabitken,
çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi(E_y) ile yaş arasındaki ilişki



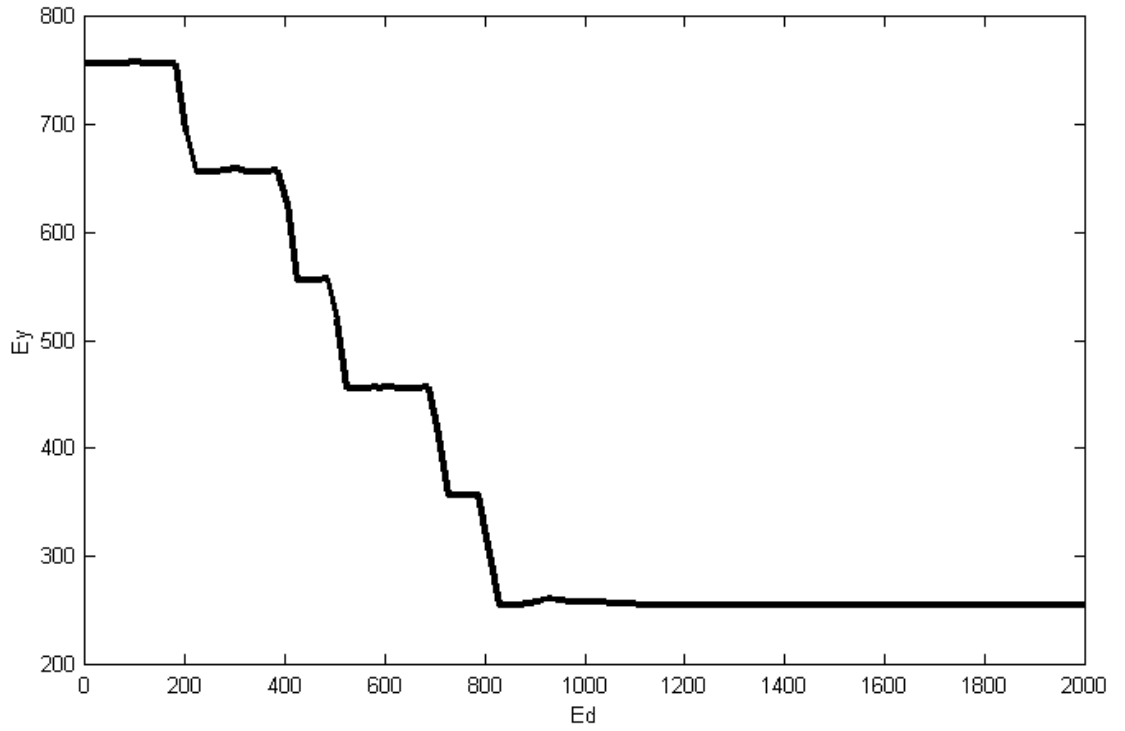
Şekil C.9 $E_d = 200$ lx, cinsiyet = Bayan Girişleri sabitken, çalışma düzlemi yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile yaş arasındaki ilişki



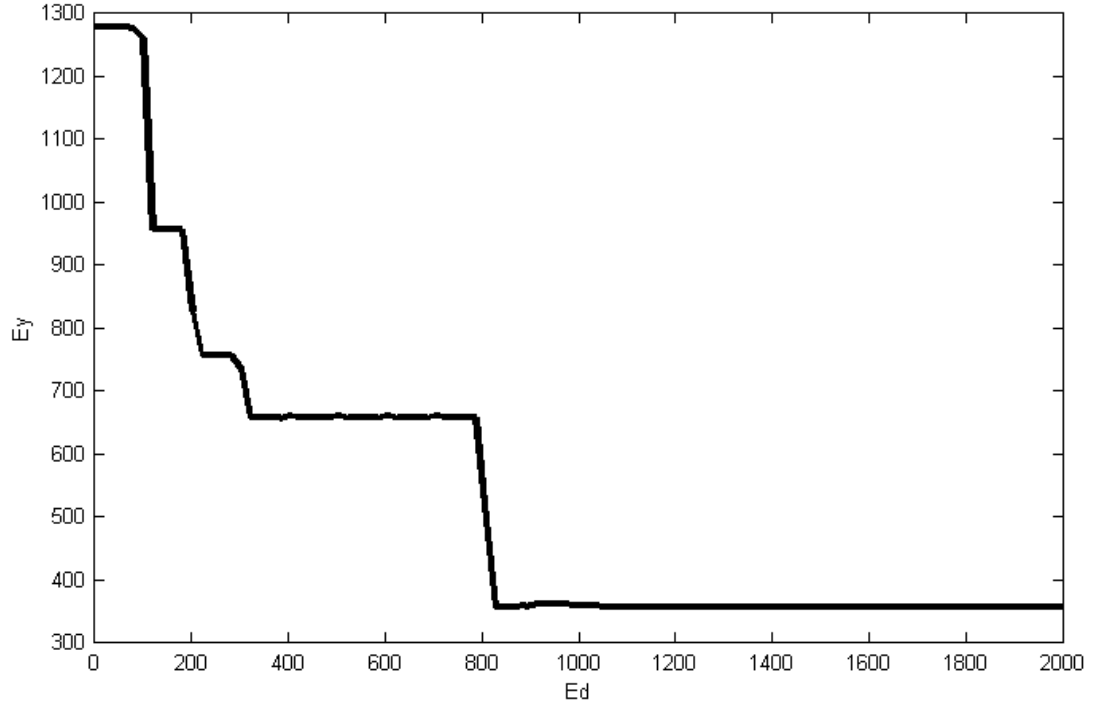
Şekil C.10 yaş=23, cinsiyet = Erkek girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyli (E_d) arasındaki ilişki



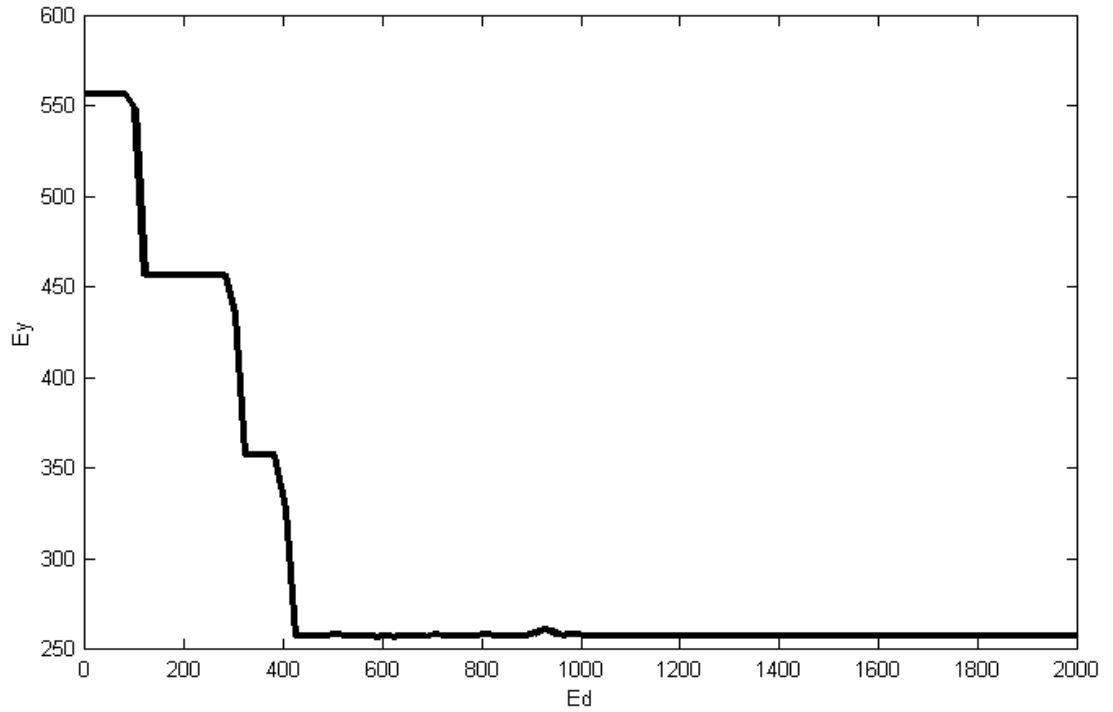
Şekil C.11 yaş=33, cinsiyet = Erkek girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



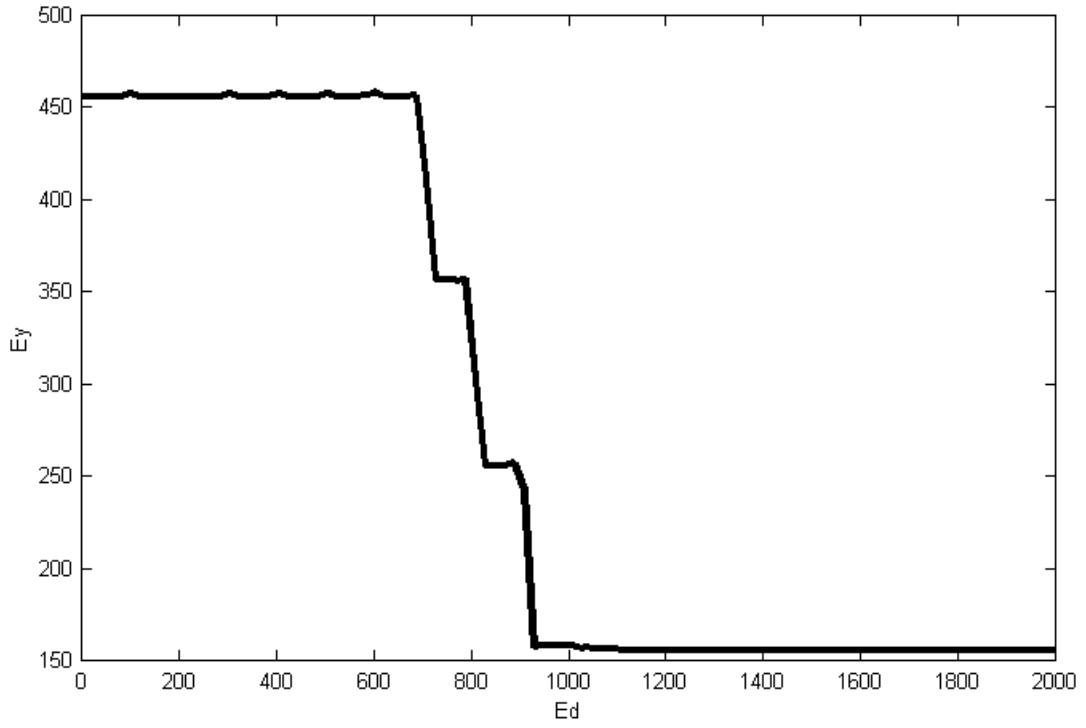
Şekil C.12 yaş = 40, cinsiyet = Erkek girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



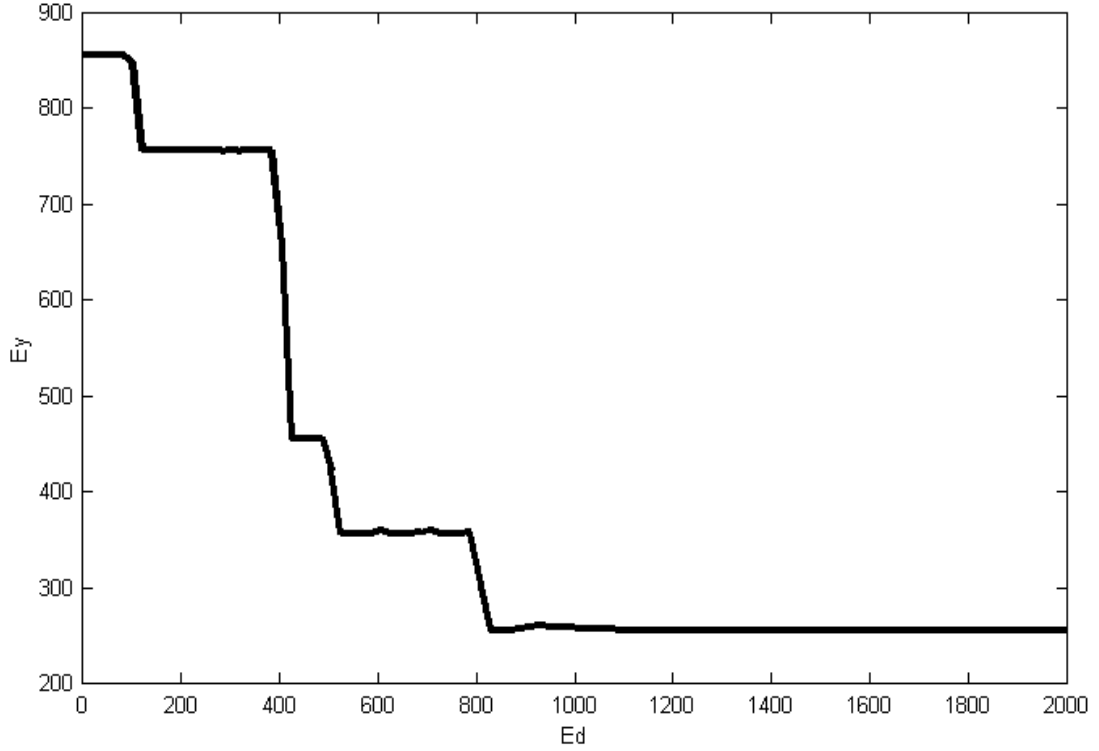
Şekil C.13 yaş = 55, cinsiyet = Erkek girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



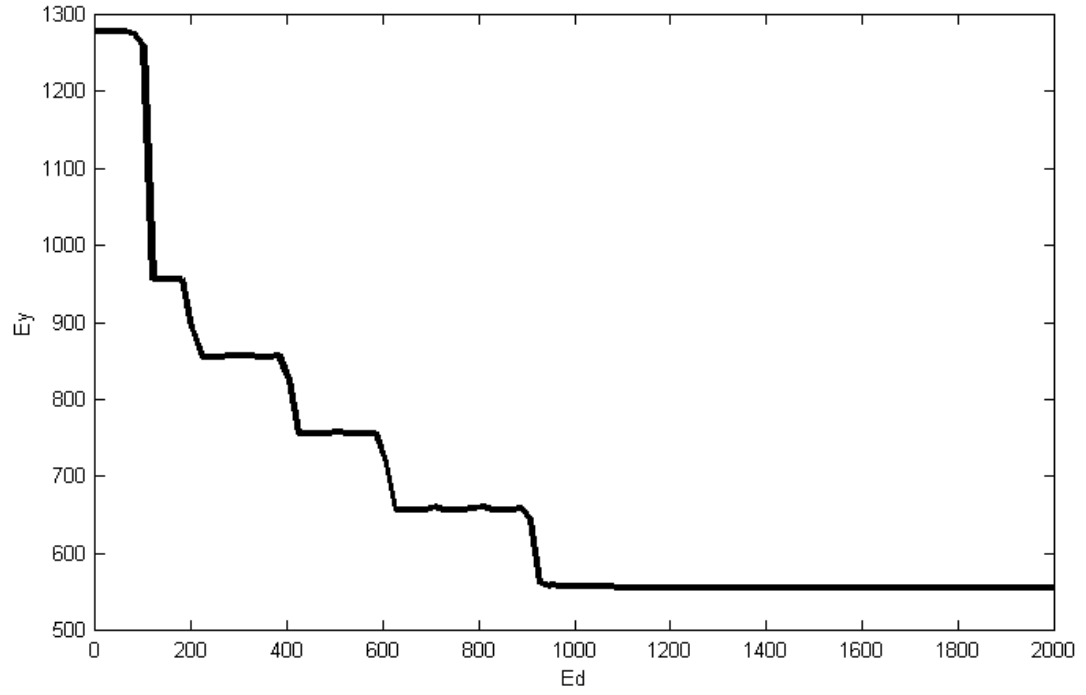
Şekil C.14 yaş = 23, cinsiyet = Bayan girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



Şekil C.15 yaş = 32, cinsiyet = Bayan girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



Şekil C.16 yaş = 41, cinsiyet = Bayan girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki



Şekil C.17 yaş = 55, cinsiyet = Bayan girişleri sabitken, çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyi (E_y) ile doğal aydınlık düzeyi (E_d) arasındaki ilişki

ÖZGEÇMİŞ

Eralp Hikmet Gürsoy, 1978 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimini sırasıyla Yeşilbahar İlkokulu ve Özel Ahmet Şimşek Kolejinde tamamladı. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programına kabul edildi.