

**OFİS AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİNDE
KULLANILACAK VERİLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI
İLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Nesrin ÇOLAK

100659

100659

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Eylül 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Şubat 1999

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Sermin ONAYGİL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Hüseyin ÇAKIR

Prof. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

Doç.Dr. Dilek ENARUN

Doç.Dr. Serhat ŞEKER

ŞUBAT 1999

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı tez danışmanım sayın Doç.Dr. SERMİN ONAYGİL'e,

Sağladıkları olanaklar ve gösterdikleri özveri ile bu günlere gelmemde önemli paya sahip olan sevgili AİLEM'e,

Çalışmalarım sırasında gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı canım kızım EZGİ'ye teşekkür ederim.

İstanbul, 1999

Nesrin ÇOLAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 OFİS AYDINLATMASI	5
2.1 Ofis Aydınlatmasının Amacı	5
2.2 Aydınlatma Kriterleri	7
2.2.1 Aydınlik Düzeyi	10
2.2.2 Düzgünlük	13
2.2.3 Parıltı Dağılımı	13
2.2.4 Kamaşma	14
2.2.4.1 Psikolojik Kamaşma	15
2.2.4.2 Fizyolojik Kamaşma	19
2.2.4.3 Örtü Yansıması ve Yansıma Kamaşması	19
2.2.5 Modelleme	20
2.2.6 Renk	20
2.2.7 Doğal Aydınlatma	21
BÖLÜM 3 OFİS AYDINLATMASI İÇİN STANDARTLAR VE ÖNERİLEN DEĞERLER	23
3.1 Alman Standardı (DIN Normları)	23
3.2 İngiliz Standardı (CIBSE Code)	26
3.3 A.B.D.'nin Önerileri (IES)	28
3.4 Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun Önerileri (CIE Guide For Interior Lighting)	31
3.5 Avrupa Standartları Komitesinin Çalışmaları	33

BÖLÜM 4 AYDINLATMANIN KİŞİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE SUBJEKTİF DEĞERLENDİRMELER	37
4.1 Aydınlatmanın Fizyolojik ve Psikolojik Etkileri	37
4.2 Kişisel Tercihleri Etkileyen Faktörler	38
4.3 Tercih edilen Aydınlanlık Düzeyleri	39
BÖLÜM 5 AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ	42
5.1 Kontrol Stratejileri	43
5.1.1 Zamanlama (Scheduling)	43
5.1.1.1 Öngörülebilir Zamanlama	43
5.1.1.2 Öngörülemez Zamanlama	43
5.1.2 Bölgesel Kontrol (Tuning)	44
5.1.3 Bakım Altında Işık Akısı Kontrolü (Lumen Maintenance)	44
5.1.4 Puan Zaman Sınırlandırması (Peak Demand Limiting)	46
5.1.5 Doğal Aydınlatma	46
5.2 Kontrol Yöntemleri	46
5.2.1 Açma-Kapama veya Loşlaştırma	47
5.2.2 Merkezi Veya Lokal Kontrol	47
5.2.3 Elle veya otomatik Kontrol	47
BÖLÜM 6 DOĞAL AYDINLATMAYA BAĞLI KONTROL	48
6.1 Kontrol Yöntemleri	49
6.1.1 Açma – Kapama	50
6.1.2 Loşlaştırma	50
6.2 Kontrol Algoritmaları	52
6.2.1 Kapalı Çevrim Kontrol	52
6.2.2 Açık Çevrim Kontrol	55
BÖLÜM 7 YAPAY SİNİR AĞLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ	58
BÖLÜM 8 YAPAY AYDINLIK DÜZEYİ TERCİHLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ	63
8.1 Deney Düzenegi	64
8.2 Verilerin Derlenmesi	68
8.3 Verilerin Yapay Sinir Ağına Uygulanması	87
8.4 Sistem Performansının Belirlenmesi	94
8.5 Sonuçların Değerlendirilmesi	101
8.5.1 Giriş Büyüklüklerinin Farklı Kombinasyonları İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	102
8.5.2 Klasik Yöntemle Karşılaştırma	104

	<u>Sayfa No</u>
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	111
EK-A	117
EK-B	123
ÖZGEÇMİŞ	145



SEMBOL LİSTESİ

E	: Aydınlik düzeyi
ϕ	: Işık akısı
S	: Alan
E_{ort}	: Ortalama aydınlık düzeyi
E_s	: Silindirik aydınlık düzeyi
E_d	: Düşey aydınlık düzeyi
E_y	: Yatay aydınlık düzeyi
L	: Parıltı
I	: Işık şiddeti
ρ	: Yansıtma faktörü
L_d	: Detay parıltısı
ΔL	: Mutlak kontrast
C	: Bağlı kontrast
ΔL_e	: Mutlak parıltı farkı eşiği
K	: Kontrast duyarlılığı
U	: Düzgünlük faktörü
L_s	: Armatür parıltısı
L_b	: Bakış alanının ortalama parıltısı
p	: Oda endeksi
w	: Uzay açısı
T	: Renk sıcaklığı
R_a	: Renksel geriverim endeksi

ρ_T, ρ_d, ρ_z	: Tavan, duvar, zemin yansıtma faktörü
$\rho_{\text{çm}}, \rho_m$	: Çalışma masası, mobilya yansıtma faktörü
S_T	: Algılayıcı çıkış sinyali
S_D, S_Y	: Algılayıcı çıkış sinyalinin doğal, yapay aydınlatmaya ait bileşeni
E_T	: Toplam aydınlık düzeyi
E_D	: Doğal aydınlık düzeyi
E_Y	: Yapay aydınlık düzeyi
δ	: Loşluk seviyesi
$\delta_{\min}$	: Minimum loşluk seviyesi
M	: Kalibrasyon katsayısı
S_n	: $\delta=1$ için algılayıcı çıkış sinyali
E_n	: $\delta=1$ için yapay aydınlık düzeyi
t_c	: Kalibrasyon anı
E_{BT}	: Başlangıç toplam aydınlık düzeyi
E_{BD}	: Başlangıç doğal aydınlık düzeyi
E_{BY}	: Başlangıç yapay aydınlık düzeyi
E_i	: Kişilerin ayarladıkları yapay aydınlık düzeyi
E_b	: Yapay sinir ağı ile bulunan yapay aydınlık düzeyi
H	: Hata miktarı
P	: Hatanın tekrar yüzdesi
N_H	: Hatanın tekrar sayısı
N	: Test edilen toplam veri sayısı
ε	: Mutlak hata
$P(t)$	: t anında çekilen güç
J	: Tüketilen enerji

e_j	: j. nörona ait hata
d_j	: j. nöron için istenen çıkış değeri
y_j	: j. nöronun çıkış değeri
F	: Toplam karesel hata
$f(x)$	: Aktivasyon fonksiyonu
v_j	: j. nörona ait ağırlıklı toplam
w_j	: j. nörona ait ağırlık katsayısı
η	: Öğrenme oranı
α	: Momentum sabiti
θ	: Lokal gradyent
o_j	: j. çıkış nöronuna ait istenen çıkış değeri

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Kontrast duyarlılığının fon parıltısına göre değişimi	11
Şekil 2.2	Görme yeteneğinin (p), aydınlık düzeyi (E), boyut (α , açısı cinsinden) ve kontrasta (C) bağlı olarak değişimi	11
Şekil 2.3	Yaş ile keskinlik arasındaki ilişki	12
Şekil 2.4	İşin gerçekleştirilme süresi ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişki (Yaş<30 ve >50 için)	12
Şekil 2.5	Bakış doğrultusuna paralel yerleştirilmiş ve yan yüzeylerinden ışık vermeyen armatürler için CIE'nin parıltı sınır eğrileri	17
Şekil 2.6	Bakış doğrultusuna dik yerleştirilmiş ve yan yüzeylerinden de ışık veren armatürler için CIE'nin parıltı sınır eğrileri	17
Şekil 5.1	Fluoresan ve akkor telli lambaların ışık akılarının zamana bağlı olarak değişimi	45
Şekil 5.2	Işık akısı kontrol stratejisi a) Kontrol yapılmadığı durumlarda aydınlık düzeyi zamanla azalır fakat enerji tüketimi sabit kalır. b) Işık akısı kontrolü ile aydınlık düzeyi sabit kalır ve enerji tasarrufu sağlanır.	45
Şekil 6.1	Doğal aydınlık düzeyleri farklı iki ofis için açma-kapama (on-off)ve loşlaştırma kontrolü ile elde edilecek enerji tasarrufları	51
Şekil 6.2	Kapalı çevrim kontrol yapılan bir hacmin kesiti	53
Şekil 6.3	Kapalı çevrim kontrol için blok diyagramı	53
Şekil 6.4	Kapalı çevrim kontrolde loşluk seviyesinin algılayıcının çıkış sinyaline bağlı olarak değişimi	54
Şekil 6.5	Açık çevrim kontrol için blok diyagramı	56
Şekil 6.6	Açık çevrim kontrolde loşluk seviyesinin algılayıcı çıkış sinyaline bağlı olarak değişimi	56
Şekil 7.1	Bir nöronun yapısı	59

Şekil 7.2	Yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan fonksiyonlar	59
Şekil 7.3	Çok tabakalı, ileri beslemeli yapay sinir ağının yapısı	61
Şekil 8.1	Ofis palmı ve sensör yerleri	65
Şekil 8.2	Kış ayları için hacim içindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri	71
Şekil 8.3	Yaz ayları için hacim içindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri	71
Şekil 8.4	Kış aylarında doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri	72
Şekil 8.5	Kış aylarında saate bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri	72
Şekil 8.6	Yaz aylarında doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri	73
Şekil 8.7	Yaz aylarında saate bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri	73
Şekil 8.8	Kış aylarında her grup için çalışma masası üzerinde ölçülen doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerleri	78
Şekil 8.9	Yaz aylarında her grup için çalışma masası üzerinde ölçülen doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerleri	80
Şekil 8.10	Kış aylarında yapay ayd. düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimlerini belirlemek için, a) $E_{BT} < 1500 \text{ lx}$ b) $E_{BT} > 1500 \text{ lx}$ olması durumlarında uydurulan eğriler	83
Şekil 8.11	Yaz aylarında yapay ayd. düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimlerini belirlemek için, a) $E_{BT} < 1500 \text{ lx}$ b) $E_{BT} > 1500 \text{ lx}$ olması durumlarında uydurulan eğriler	84
Şekil 8.12	Kış ayları için yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin saate bağlı olarak değişimi	85
Şekil 8.13	Yaz ayları için yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin saate bağlı olarak değişimi	86

Sayfa No

Şekil 8.14	Kullanılan yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklükleri	87
Şekil 8.15	Kullanılan yapay sinir ağının yapısı	89
Şekil 8.16	Ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi (öğretme aşaması)	91
Şekil 8.17	Ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi (test aşaması)	93
Şekil 8.18	Saklı tabakalarında 5'er nöron bulunan ağ için OKH'nın değişimi	93
Şekil 8.19	Kış ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (1.Sınıf) için hata dağılımı	99
Şekil 8.20	Kış ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (2.Sınıf) için hata dağılımı	99
Şekil 8.21	Yaz ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (3.Sınıf) için hata dağılımı	100
Şekil 8.22	Yaz ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (4.Sınıf) için hata dağılımı	100
Şekil 8.23	Tüm sistem için yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçların hata dağılımı	101

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	CIE' nin tavsiye ettiği minimum ekranlama açıları	18
Tablo 2.2	Psikolojik kamaşma değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması	18
Tablo 2.3	Işık kaynaklarının Kelvin cinsinden renk sıcaklıklarına göre ışık renkleri	21
Tablo 2.4	CIE' nin ışık kaynaklarının renksel geri verim endeksi ve sınıfları	21
Tablo 3.1	DIN Normlarına göre ofisler için anma aydınlık düzeyi değerleri	24
Tablo 3.2	DIN Normlarına göre kamaşma kalite sınıfları ve bunların CIE kalite sınıflarındaki karşılıkları	25
Tablo 3.3	DIN Normlarında verilen minimum ekranlama açıları	25
Tablo 3.4	DIN Normlarındaki renksel geriverim sınıfları	26
Tablo 3.5	Ofisler için CIBSE'nin önerdiği aydınlık düzeyi ve kamaşma endeksi değerleri	28
Tablo 3.6	IES'in ofisler için belirlediği aydınlatma kategorileri ve aydınlık düzeyi değerleri	29
Tablo 3.7	IES'in ofisler için önerdiği yüzey yansıtma faktörleri	30
Tablo 3.8	İşin türüne göre CIE' nin önerdiği aydınlık düzeyi değerleri	32
Tablo 3.9	Ofisler için DIN, CIBSE, IES ve CIE'nin önerdiği değerler	34
Tablo 3.10	CEN 169' un ofisler için tavsiye ettiği değerler	35
Tablo 3.11	Çevre aydınlık düzeyinin iş üzerindeki aydınlık düzeyine bağlı olarak bulunması	36
Tablo 8.1	Deneklerin özellikleri	66

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 8.2	11Aralık 1992 tarihindeki ölçüm sonuçları	67
Tablo 8.3	11 Aralık 1992 gününe ait doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamaları	69
Tablo 8.4	Aylara göre çalışma masası üzerindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri	70
Tablo 8.5	Kış ayları için başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyine (E_{BT}) göre yapılan gruplandırma	75
Tablo 8.6	Yaz ayları için başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyine (E_{BT}) göre yapılan gruplandırma	75
Tablo 8.7	Kış ayları için ortalama aydınlık düzeyi değerleri	76
Tablo 8.8	Yaz ayları için ortalama aydınlık düzeyi değerleri	76
Tablo 8.9	Yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklüklerine örnek	88
Tablo 8.10	Giriş ve çıkış değerlerinin kademelendirilmesi	91
Tablo 8.11	Kış ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (1.Sınıf) için hata dağılımı	96
Tablo 8.12	Kış ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (2.Sınıf) için hata dağılımı	96
Tablo 8.13	Yaz ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (3.Sınıf) için hata dağılımı	97
Tablo 8.14	Yaz ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (3.Sınıf) için hata dağılımı	97
Tablo 8.15	Hata dağılımları	98
Tablo 8.16	Farklı giriş vektörleri için hata dağılımları	103
Tablo 8.17	Klasik ve yapay sinir ağı kontrol sistemlerinin hata dağılımları	105

ÖZET

İnsanlar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri dolayısıyla, aydınlatma çalışanların iş verimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ofislerde, kişisel isteklere cevap verebilecek otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılması hem enerji tasarrufu sağlanacak, hem de iş verimin artmasına yol açacaktır. Kişisel isteklere cevap verebilecek sistemlerin gelişmesi ise ancak tercihlerin önceden tahmin edilebilmesi ile mümkündür.

Bu çalışmada, ofis çalışanlarının yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kişilerin yapay aydınlık düzeyi tercihlerini belirlemek amacıyla Hollanda Philips’de yapılan deneysel çalışmaların bir yıllık verileri kullanılmıştır.

Yapılan incelemelerde, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin, doğal aydınlık düzeyi ve saate bağlı olarak değişimlerinin yaz ve kış aylarında birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Sonuçlardan, insanların çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları toplam aydınlık düzeyinin ise kişisel özelliklerini ortaya koyduğu ve gün boyu tercihler üzerinde etkili bir faktör olduğu da anlaşılmaktadır.

Kişisel tercihler, başlangıçta istenen aydınlık düzeyinin çok ($E_{BT} > 1500$ lux) veya az ($E_{BT} < 1500$ lux) olması ve mevsime (çalışmada mevsimsel özellikler yaz ayları ve kış ayları olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır) göre farklılıklar gösterdiğinden hatanın daha az olması amacıyla, her bir sınıf için ayrı ayrı öğretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, girişleri doğal aydınlık düzeyi, saat, başlangıçta istenen yapay aydınlık düzeyi ve o andaki doğal aydınlık düzeyi olmak üzere çalışanların tercih edecekleri yapay aydınlık düzeylerinin, kabul edilebilir hata sınırları içinde tahmin edilebileceği görülmüştür.

DETERMINATION OF DATA FOR OFFICE LIGHTING CONTROL SYSTEMS BY USING NEURAL NETWORKS

SUMMARY

The purpose of the automatic control systems is to create the efficient and comfortable working environment, and to save energy by ensuring the right illumination criterion. Many projects and studies are progressing so as to develop the automatic lighting control systems that ensure the most economical solutions for the purpose. The subject that must not be ignored while doing these studies is to search whether this system is accepted widely by the users, and how this system effects the work efficiency.

If a system could be developed which controls the artificial illuminance related to the daylight by taking personal preferences into account, then it would increase the work efficiency and help saving energy. In order to developed such a system, initially the artificial illuminance preferences of the user must be known. However these preferences vary from person to person, also related to the time of the day, daylight illuminance levels and other additional criterion. Therefore it is a difficult task to predict the personal preferences.

In this study, a model which, predicts artificial illuminance levels depending on the illuminance level of daylight and time, considering the preference of the office workers was formed by using neural network.

Neural Networks consist of a great number of processing elements (neurons) which are connected to each other (fully connected networks). The strength of connections is called weight. External data enter the network through the input neurons. After typically non-linear transformations output data are generated by the output neurons. By layered networks, there are a layer of input neurons, a layer of output neurons and one or more hidden layers. There are no connections between the neurons in the same layer. The information is transferred from the one layer to the following layer. A typical example of four-layered architecture is shown in Figure 1.

In neural networks, the knowledge lies in the interconnection weights between neurons, which have to be adjusted in order to allow the network to perform the required task. The back-propagation method is the most popular algorithm for performing supervised learning. During the training phase, the weights w_{ij} are successively modified based on a set of input patterns and the corresponding set of

desired output targets so to minimise the square error over the overall training set. The process of presenting to the network, the training pattern is repeated a great number of times and the learning continue until the desired degree of accuracy is achieved.

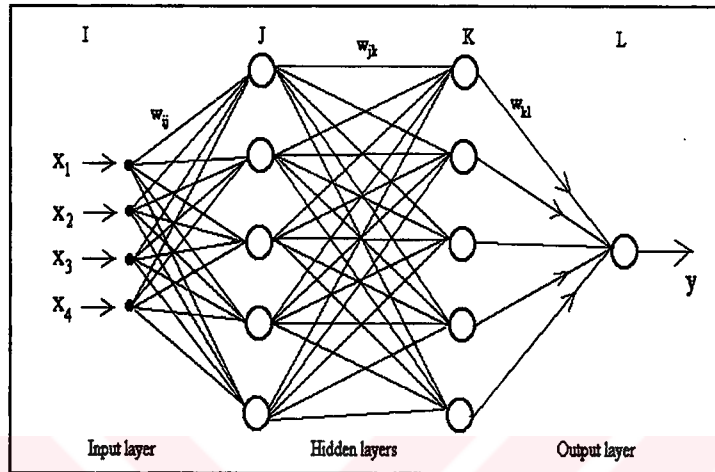


Figure 1 Typical architecture of a four-layered neural network with two hidden layers

The data that are used in this study had been taken from the experiments, which started in 1992 by Philips in Eindhoven in Holland and it has been continuing now. The aim of this project is to show the preference of the office workers' illuminance and the colour temperature that is related to the daylight. The experiments had been taken place at four similar real offices for one person.

All offices have an area 19.6 m^2 ($5.6 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$) and a height of 3.0 m . The windows (width 3.1 m , height 2.0 m) are oriented towards the north to avoid direct sunlight. The reflection factors of the room surfaces are : working plane 0.60 , walls 0.80 , ceiling 0.70 and floor 0.20 . Illumination has been established by 6 luminaires with a prismatic controller which has two 58 W fluorescent lamps at each one. By using electronic dimming ballasts, the artificial illuminance level on the desk has been adjusted between 150 lux - 1800 lux . A number of 65 persons participated in the experiment. The test persons are asked to set the lighting which they prefer, as often as they want. The setting of the lighting goes with a remote control. The lighting automatically switches off every hour, to force the test persons to set their preference again.

In this study, the daylight and the artificial illuminance level values are used which are measured on the desk every six minutes between the dates of October 1992 –August 1993.

As the daylight illuminance level on the desk shows the difference between the summer season and the winter season, these seasons are examined separately. The results of measurements of October, November, December, January, February are used for winter season and the results of measurements of March, April, June, July and August are used for summer season.

The illuminance (artificial and daylight) on the desk taken every six minutes during the working days, are used taking the average per hour. By using these experimental data, the effect of the daylight level and time on the artificial illuminance preferences are handled separately and the following results are found.

- The preference for artificial illuminance is different in summer and in winter.
- Personal preferences are very different from each other, so the preferences of artificial illuminance can't be determined by only taking the daylight illuminance and the time into account.
- The level of total illuminance, which people prefer when they start working is called initial setting (E_{BT}) in this study. This value is very important, since it states the information about personal features and personal preferences for whole day.
- It seems that, initial setting $E_{BT}=1500$ lux is a critical value. The preferences differ depending on that level.
- In winter, the preference of artificial illuminance decreases at noon and later it starts to increase. This changing is similar to a biological rhythm of a person. But in summer this kind of changing that is related to hours can not be seen.
- Daylight illuminance, time of the day and the initial daylight and artificial illuminance affect the preferences, but these factors are not diagnostic when they are used separately. However, when these factors are used together, the preferred artificial illuminance level can be questioned in the acceptable error tolerance.

As it is seen above, the preference for the level of artificial illuminance is different in winter and in summer. Moreover, the people who want high illuminance level and low illuminance level at the beginning prefer different illuminance in a day. According to the result of the study above, four different classifications have been developed to determine the artificial illuminance preferences by using neural networks. Different learning phases have been done for each classification.

- 1) In winter, total beginning illuminance level, less than 1500 lux
- 2) In winter, total beginning illuminance level, more than 1500 lux
- 3) In summer, total beginning illuminance level, less than 1500 lux
- 4) In summer, total beginning illuminance level, more than 1500 lux

Obtaining data from the experiments that is done in four offices produced the database. This data-base was subdivided in two subsets, the first one used for the learning phase, while the second one was utilised to test the trained network with “never seen” patterns. The numbers of pattern used for learning and testing phase are shown in Table 1.

Table 1 Number of pattern used for learning and testing phase

		NUMBER OF PATTERN		
		For learning	For testing	TOTAL
WINTER	$E_{BT} < 1500$	269	538	807
	$E_{BT} > 1500$	214	448	662
SUMMER	$E_{BT} < 1500$	610	478	1088
	$E_{BT} > 1500$	554	432	986
				3543

The input and output values are expressed as index values which are depicted in Table 2. The increment between steps is kept constant as 150 lux.

Various neural network architecture is studied and a four-layered back-propagation neural network is obtained as the most accurate one for predicting the artificial illuminance preferred by the individuals. Numbers of neurons in each hidden layer are five. The architecture of this neural network is the same as given in Figure 1. Since the time of the day, daylight illuminance and the initial level of illuminance affect the artificial illuminance preferences, these factors are used as inputs to the neural network. The output of the neural network is preferred artificial illuminance. So the input vector (X) and output vector (Y) of neural network is,

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$$

$$Y = [y]$$

where,

- x_1 : time of the day
- x_2 : daylight illuminance
- x_3 : initial preferred artificial illuminance (E_{BY})
- x_4 : initial daylight illuminance (E_{BD})
- y : preferred artificial illuminance

Table 2 The experimental illuminance and their index equivalents

EXPERIMENTAL VALUES				INDEX VALUES
TIME	Daylight Illuminance (lux)		Artificial Illuminance (lux)	
	Winter	Summer		
8 - 9	< 150	< 900	< 150	1
9 - 10	150 - 300	900 - 1050	150 - 300	2
10 - 11	300 - 450	1050 - 1200	300 - 450	3
11 - 12	450 - 600	1200 - 1350	450 - 600	4
12 - 13	600 - 750	1350 - 1500	600 - 750	5
13 - 14	750 - 900	1500 - 1650	750 - 900	6
14 - 15	900 - 1050	1650 - 1800	900 - 1050	7
15 - 16	1050 - 1200	1800 - 1950	1050 - 1200	8
16 - 17	1200 - 1350	1950 - 2100	1200 - 1350	9
17 - 18	> 1350	> 2100	> 1350	10

Following the training of the neural network is trained with learning data for each class, system is tested with never-seen testing data. Since the aim of this study is to predict the preferred artificial illuminance, the system performance is defined as the differences between the preferred illuminance and the predicted illuminance.

The experimental artificial illuminance values on the desk (E_i), and the artificial illuminance values predicted by neural network (E_b) are compared, and the error (H) are expressed as follows.

$$H = E_i - E_b \quad (1)$$

The number of errors are presented in percent values for each index values as follows,

$$P = (N_H / N) \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

where,

N_H : Number of errors for each index,

N : The total number of test data

P : Number of errors in percentage for each index (%)

The indexed errors, number of errors and errors in percent values for winter and summer periods are given in Table 3 and 4. Since the output values of neural network are indexed in 150 lux units then, the calculated errors are in 150 lux units as well.

Table 3 The indexed errors, number of errors and errors in percent for winter monts

Indexed Errors (Ix) (H)	Numbers of Errors (N _H)	Errors in Percent (P%)
-1350> H> -1500	0	0
-1200> H> -1350	0	0
-1050> H> -1200	0	0
-900> H> -1050	0	0
-750> H> -900	0	0
-600> H> -750	0	0
-450> H> -600	0	0
-300> H> -450	5	1
-150> H> -300	13	3
0> H> -150	223	47
H = 0	149	31
0< H< 150	18	4
150< H< 300	12	3
300< H< 450	5	1
450< H< 600	3	1
600< H< 750	8	2
750< H< 900	9	2
900< H< 1050	13	3
1050< H< 1200	16	3
1200< H< 1350	4	1
1350< H< 1500	0	0

Table 4 The indexed errors, number of errors and errors in percent for summer monts

Indexed Errors (Ix) (H)	Numbers of Errors (N _H)	Errors in Percent (P%)
-1350> H> -1500	0	0
-1200> H> -1350	0	0
-1050> H> -1200	20	5
-900> H> -1050	10	2
-750> H> -900	10	2
-600> H> -750	15	3
-450> H> -600	18	4
-300> H> -450	17	4
-150> H> -300	22	5
0> H> -150	40	9
H = 0	82	19
0< H< 150	124	29
150< H< 300	20	5
300< H< 450	21	5
450< H< 600	10	2
600< H< 750	16	4
750< H< 900	7	2
900< H< 1050	0	0
1050< H< 1200	0	0
1200< H< 1350	0	0
1350< H< 1500	0	0

By defining ε as absolute error,

$$\varepsilon = |H|$$

for each absolute error, the number of errors in percent for each index has been calculated. The values which, are found for winter and summer months are shown at Table 5. The number of errors in percent for all system is shown as a separate column which, is named as “Total”. These values represent us the total error of the neural network which, is used to predict the artificial illuminance level. By using the values at Table 5, the changes of absolute error (ε) related to the number of errors in percentage (P) for all system are shown as graphs in Figure 2.

Table 5 Error distribution

Absolute Error (ε), (lx)	Errors in Percent (P) (%)				
	1. Class	2. Class	3. Class	4. Class	TOTAL
0-150	69.7	57.1	81.6	57.0	66.8
150-300	13.2	18.3	5.2	9.7	11.6
300-450	10.8	8.0	2.1	8.8	7.5
450-600	3.7	5.8	0.6	6.5	4.1
600-750	1.3	4.2	1.7	7.2	3.4
750-900	0.9	3.8	1.9	3.9	2.5
900-1050	0.2	2.0	2.7	2.3	1.7
1050-1200	0.2	0.7	3.3	4.6	2.1
1200-1350	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2
1350-1500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

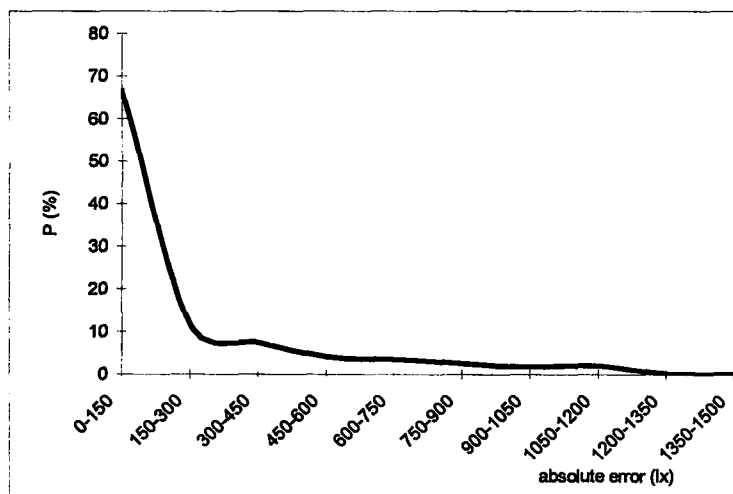


Figure 2 Relationship between the absolute error and the number of errors in percentage for whole tested data

Total 1896 data has been tested. As it is seen from the Figure 2,

in 28%	$\varepsilon = 0\%$,
in 67%	$\varepsilon \leq 10\%$,
in 78%	$\varepsilon \leq 20\%$,
in 86%	$\varepsilon \leq 30\%$

From the results of the study obtaining the experimental measurements at cell offices in a short period of time (one year), it is understood that automatic control systems, which work according to the teaching principle, could be used.

Preferred artificial illuminance level can be predicted more correctly if the other factors such as the age and sex of the office workers are considered and the number of data for learning phase is increased. To have this correct prediction a long period experiment, which is made with more subjects is needed. If the illuminance level is predicted correctly and used them in automatic lighting control systems the performance of offices workers will increase.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1970’li yıllarda başlayan enerji krizi ile tüm dünyada, enerji kaynaklarının daha dikkatli kullanılması ve gereksiz enerji tüketiminin önlenmesi gündeme gelmiştir. Bu kriz ile elektrik tüketimi içinde önemli bir paya sahip olan aydınlatmada, daha verimli elemanların ve sistemlerin gelişimi de hızla artmıştır. Tüketilen elektrik enerjisinin yarısı aydınlatma amaçlı kullanılan ofislerde aydınlatmanın otomatik sistemler ile kontrol edilmesinin önemli enerji tasarrufu sağladığı görülmüş ve 70’li yıllardan sonra otomatik aydınlatma kontrol sistemleri gelişerek, kullanımları artmıştır.

Ofislerde genellikle nitelikli ve yüksek ücretli kişiler çalıştığından, bunlardan maksimum verimin alınması istenir. Bu da, kişilerin çalıştıkları ortamdan memnun olmalarının sağlanması ile gerçekleştirilebilir. İnsanlar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri dolayısıyla, aydınlatma iş verimini arttıran önemli bir faktördür. İlk çıkış amacı sadece enerji tasarrufu olan otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin yalnız tasarruf amacıyla tesis edilmeleri durumunda, kişiler üzerinde olumsuz etkiler yaratarak çalışanları rahatsız ettiği, çalışma konforunu azaltarak verimi düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca çoğu kez devre dışı bırakıldıklarından, otomatik kontrol sistemlerinin kişisel isteklere cevap verebilecek nitelikte bir esnekliğe sahip olması da istenilmektedir. Yani minimum enerji kullanımı ile çalışanlardan maksimum verimin alınabileceği optimum bir çözüm bulunmalıdır. Oysa insanların fizyolojik ihtiyaçları yaş, cinsiyet, sağlık ve kültür durumlarına, psikolojik durumları ise mevsime saate ve kişisel pek çok faktöre bağlı olarak kişiden kişiye büyük değişiklikler göstermektedir. Birçok faktöre bağlı olarak değişen kişisel aydınlatma tercihlerinin önceden tahmin edilebilmesi durumunda, çalışanların isteklerine uygun

konforlu çalışma ortamları yaratılabileceğinden, otomatik aydınlatma kontrol sistemleri ile elde edilecek faydalar da maksimum olabilecektir.

Bu çalışmada, insanların çalışma ortamlarında isteyebilecekleri aydınlık düzeyi değerlerinin yapay sinir ağıları yardımıyla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

İkinci bölümde ofis aydınlatmasının amacı, çalışmada geçen temel kavram ve tanımlar kısaca açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, çeşitli ülkelerin bu konudaki standartları incelenmiştir. Yapılan bu incelemeden, standartların birbirlerinden bazı alanlarda farklı oldukları görülmüştür. Kişilerin fizyolojik gereksinimleri dikkate alınarak, ekonomik koşullar nedeniyle gereken minimum aydınlık düzeyi değerlerinin verildiği standartlarda, bu değerlerde de ülkeden ülkeye farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir.

Dördüncü bölümde ise, kişilerin aydınlık düzeyi tercihlerini belirlemek amacıyla yapılmış deneysel çalışmalar incelenmiştir. Yapılan bu literatür incelemesinden, kişisel tercihleri etkileyen bir çok faktörün bulunduğu ve söz konusu tercihlerin birbirlerinden çok farklı olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların sonuçlarına göre, insanların çalışma masası üzerinde istedikleri aydınlık düzeyi değerleri 400 lux ile 3000 lux arasında olabilmektedir. Yine bu çalışmalardan, ofislerde kullanılacak otomatik kontrol sistemlerinin, kişisel isteklere cevap verebilecek esneklikte olmasının çalışma verimini artırıcı yönde büyük yararlar getirebileceği anlaşılmaktadır.

Beşinci bölümde ise aydınlatmada kullanılan otomatik kontrol strateji ve yöntemleri kısaca tanıtılarak, bunların kullanılması halinde sağlanabilecek enerji tasarrufları verilmiş, bu sistemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve sakıncaları açıklanmıştır.

Gerek sağladığı enerji tasarrufu gerekse uygulamada yapılan yanlışlıklar nedeniyle güncel bir konu olan yapay aydınlatmanın doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrolü stratejisi ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır. Bu bölümde söz konusu strateji için,

günümüzde kullanılmakta olan kontrol algoritmaları ve yöntemleri tanıtılarak, kullanım alanları, bunların birbirlerine göre üstünlükleri ve sakıncaları anlatılmıştır.

Buraya kadar yapılan literatür incelemelerinden ve günümüzde gerçekleştirilen uygulama örneklerinden, sağladıkları enerji tasarrufu nedeniyle otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılmasının artık kaçınılmaz olduğu anlaşılmaktadır. Ama yine, literatür incelemelerinden kişisel aydınlatma tercihlerinin birbirlerinden çok farklı olduğu da açıkça gözükmemektedir. Oysa ki, şu anda uygulanmakta olan otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinde sadece enerji tasarrufu kavramı dikkate alınarak, ortamda yaratılan aydınlık düzeyinin önceden belirlenen bir değerde sabit kalması sağlanmaktadır. Bu sistemlerde kişisel tercihler dikkate alınmamaktadır. Fizyolojik ve psikolojik bir çok faktöre bağlı olarak değişen aydınlatma tercihlerini dikkate alarak kontrol yapabilen sistemler gerçekleştirildiğinde, çalışanların istediği kadar bir aydınlatma sağlanarak hem gereksiz enerji tüketimi ortadan kaldırılabilecek hem de kişilerin iş verimi artırılarak optimum çözüme ulaşılacaktır. Böyle bir sistemin gerçekleştirilebilmesi, kişisel tercihlerin önceden tahmin edilebilmesini gerektirmektedir. Bu amaç için, değişik dallarda geniş uygulama alanları bulan yapay sinir ağlarının kullanılabileceği düşünülmüş ve çalışma bu yönde geliştirilmiştir. Herhangi bir matematiksel modele ihtiyaç duymaksızın, ortaya çıkan yeni durumlarda, daha önceden edindiği bilgilere dayanarak karar verebilen yapay sinir ağlarının yapısı ve çalışma prensibi yedinci bölümde kısaca anlatılmıştır.

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 amacıyla 1992 yılında başlatılmış ve halen devam etmekte olan bir projeden alınmıştır. Sekizinci bölümde, bir yıl boyunca her altı dakikada bir toplanan verilerle, yapay sinir ağı kullanılarak kişisel aydınlık düzeyi tercihlerinin tahmin edilip edilemeyeceği araştırılmıştır. Deneye katılan 65 kişinin çalışma düzlemi üzerinde istedikleri aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamaları çalışmada veri olarak kullanılmıştır. Doğal aydınlatma ve saate bağlı olarak yapay aydınlatma tercihlerinin değişimleri incelendiğinde, verilerin çok dağınık olduğu ve tercihlerin bu iki büyüklüğe bağlı olarak belirlenemeyeceği anlaşılmıştır. Mevcut

verilerden kişisel özellikleri ortaya koyabilecek başka ilişkilerin kurulup kurulamayacağı araştırıldığında, kişilerin çalışmaya başladıkları anda istedikleri aydınlık düzeyi değerlerinin gün boyu tercihleri üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Başlangıç değerleri dikkate alınarak yapılan incelemelerde tercih edilen aydınlık düzeyi değerlerinin kış ve yaz periyotlarında, başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyinin 1500 lux'den büyük ve küçük olması hallerinde gruplaştığı görülmüştür. Bu nedenle deney verilerinin bir bölümü dört ayrı grup halinde, giriş büyüklükleri doğal aydınlık düzeyi, saat, kişilerin çalışmaya başladıkları andaki doğal ve tercih ettikleri yapay aydınlık düzeyi, çıkış büyüklüğü yapay aydınlık düzeyi olan yapay sinir ağına öğretilmiştir. Geri kalan deney verileri ise sistemi test etmek amacıyla kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarında sistem performansının belirlemede kullanılan ortalama karesel hata yönteminin bu tip bir çalışma için uygun olmadığı anlaşıldığından, burada farklı bir yöntem izlenmiştir. Sistem performansı, sonuçların kişileri ne kadar memnun ettiğini belirlemek amacıyla, yapay sinir ağından elde edilen sonuç ile kişilerin tercihleri arasındaki farklarla ortaya konulmuştur. Şu anda kullanımda olan aydınlatma kontrol sistemlerine yeni bir yaklaşım getiren bu yöntem, klasik yöntem ile enerji tasarrufu ve kişisel tercihlere cevap verebilme açısından da karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, bir yıllık kısa bir süre içinde elde edilen deneysel verilerle yapılan bu çalışmadan, yapay sinir ağı kullanılarak kişisel tercihlerin doğal aydınlık düzeyi, saat, başlangıç yapay ve doğal aydınlık düzeyi değerlerine bağlı olarak oldukça doğru tahmin edilebileceği anlaşılmıştır. Önerilen sistem halen kullanılmakta olan kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında ise ilave bir enerji yüküne gerek duyulmadan, çalışanların daha fazla memnun edilebilecekleri dolayısıyla çalışma veriminin arttırılabileceği bir aydınlatmanın yaratılabileceği görülmüştür.

BÖLÜM 2

OFİS AYDINLATMASI

Bu bölümde ofis aydınlatmasının amacı, çalışmada geçen temel kavram ve tanımlar kısaca anlatılacaktır.

2.1 OFİS AYDINLATMASININ AMACI

Ofis aydınlatmasının temel amacı, görme koşullarını iyileştirecek ve konforlu görsel çevre yaratacak bir çalışma ortamı oluşturarak, iş verimi ve iş hacmini arttırmaktır. Ofislerde tüketilen elektrik enerjisinin yarısına yakın bir kısmı aydınlatma için harcandığından, ofis aydınlatmasının ikinci amacı tüketilen elektrik enerjisini minimum yaparak işletme masraflarını azaltmaktır. Yani, minimum enerji kullanımı ile çalışanlardan maksimum verimin alınabileceği optimum bir çözüm bulunmalıdır. Bunun için de ofis aydınlatması için gereken kriterlerinden hiç bir taviz verilmeden en ekonomik aydınlatma sistemi gerçekleştirilmelidir.

Çalışma düzlemine düşen ışığın niteliği ve niceliğine bağlı olarak aydınlatma iş verimini, görme yeteneğini arttırarak direkt, psikolojik etkisi dolayısıyla da endirekt olarak etkiler. Bu yüzden doğru ve verimli bir ofis aydınlatması için aydınlatma kriterleri ve ekonomik kriterler değerlendirilirken, aydınlatmanın kişiler üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri birlikte ele alınmalıdır.

Ofislerde yapılacak doğru ve kaliteli bir aydınlatma;

Görme koşullarını iyileştirir: Ofislerde yapılan işlerin çoğu görsel olduğundan doğru bir aydınlatma ile görme koşulları iyileştirilir.

Çalışanların verimliliğini artırır: Ofislerde çalışan kişiler genelde yüksek ücretle çalışan nitelikli elemanlar olduklarından, bu kişilerin maksimum performansla çalışabilmesinin işveren açısından ekonomik önemi büyüktür.

Kaliteyi artırır: Kalitenin düşüklüğü, müşterilerle olan ilişkileri bozarak iş potansiyelinin azalmasına sebep olabilir. İyi bir aydınlatma, hata yapılma olasılığını azaltır ve yapılan hataların bulunmasını kolaylaştırır.

İş gücü kaybını azaltır: Kötü aydınlatmanın yol açtığı göz ve beden yorgunluğu, baş ağrısı gibi problemleri ortadan kaldırarak iş gücü kaybını azaltır.

Kalıcı ve iyi bir izlenim yaratır: Aydınlatma ile estetik bir atmosfer yaratılabilir. Giriş, danışma, lobi gibi bölümlerde yapılacak etkileyici bir aydınlatma ile müşteriler üzerinde iyi ve kalıcı bir izlenim bırakılabilir.

Kişiler üzerinde istenilen motivasyonu sağlar: Özellikle toplantı salonlarında, esnek bir aydınlatma sistemi kullanılarak, yapılacak toplantının gündemine uygun ortamlar yaratılıp kişiler istenilen şekilde motive edilebilir. Resmi ama sıcak bir atmosferin yaratılması istenilen toplantılarda düşük, beyinsel işlevlerin ağırlıklı olduğu hareketli toplantılarda ise yüksek aydınlık düzeylerinin tercih edilmesi uygun olur.

Çalışanların morallerini yükseltir: Estetik hisleri okşayan bir ortamda çalışmak kişilerin morallerini yükseltir.

İşletme ve bakım masraflarını azaltır: Amaca uygun aydınlatma elemanları arasından verimli, uzun ömürlü ve montajı kolay olan elemanların seçilmesi ve otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması işletme ve bakım masraflarında önemli miktarda tasarruf sağlar [1].

İyi bir aydınlatma için, maksimum görme yeteneği ve görsel konforun sağlandığı en ekonomik çözüm bulunmalıdır. Görme yeteneği ve görsel konforun yeterli olabilmesi için Bölüm 2.2’de verilen aydınlatma kriterleri sağlanmalıdır. Ekonomik

çözümler ise verimli, uzun ömürlü ve montajı kolay elemanlar seçilip, otomatik kontrol sistemleri ile gereksiz enerji tüketimini ortadan kaldırarak elde edilebilmektedir.

Ofisler genellikle gündüz çalışılan hacimler olduğundan günışığından maksimum faydalanmayı sağlayan, yapay aydınlatmanın doğal aydınlatmaya bağlı kontrolü ile büyük enerji tasarrufları elde edilebilir.

2.2 AYDINLATMA KRİTERLERİ

İyi bir iç aydınlatma için sağlanması gereken aydınlatma kriterlerini açıklamadan önce, bu bölümde bahsedilen aydınlatma büyüklüklerinin ve tanımlarının açıklanması, konunun daha iyi anlaşılması bakımından faydalı olacaktır [2, 3, 4].

Aydınlık Düzeyi: Bir yüzeyin bir M noktasının ortalama aydınlık düzeyi, bu noktayı içine alan bir ΔS yüzeyine düşen $\Delta \Phi$ ışık akısının ΔS yüzeyine bölümüne eşittir. ΔS yüzeyi sıfıra yaklaşırken $\Delta \Phi / \Delta S$ oranının limiti, bu noktadaki aydınlık düzeyini verir. Yani,

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (2.1)$$

dir. Aydınlık düzeyinin birimi lux (lx) dür.

Ortalama Aydınlık Düzeyi: Bir düzlemdeki ortalama aydınlık düzeyi E_{ort} , sözkonusu düzlemdeki noktasal aydınlık düzeylerinin aritmetik ortalamasıdır.

$$E_{ort} = \frac{1}{n} \sum E_x \quad (2.2)$$

Burada,

n : Ölçüm veya hesap yapılan nokta sayısı

E_x : Her bir noktada ölçülen veya hesaplanan noktasal aydınlık düzeyi

dir.

Anma (nominal) Aydınlık Düzeyi: Bir hacimde, normal işletme durumunda, yerden 0,8 m yükseklikteki çalışma düzleminde (sirkülasyon alanlarında zeminden en fazla 0,2 m yükseklikte) sağlanması istenen ortalama aydınlık düzeyidir.

Silindirik Aydınlık Düzeyi: Bir noktadaki silindirik aydınlık düzeyi (E_s), o noktayı içine aldığı düşünülen küçük bir silindirin yan yüzeyindeki düşey aydınlık düzeylerinin ortalaması olarak tanımlanır.

Küresel Aydınlık düzeyi: Bir noktadaki küresel aydınlık düzeyi, bu noktayı içine aldığı varsayılan çok küçük bir küre yüzeyindeki ortalama aydınlık düzeyi olarak tanımlanır.

Aydınlatma Vektörü: Bir noktadaki aydınlatma vektörünün büyüklüğü, karşılıklı iki yüzeyindeki aydınlık düzeylerinin farkı maksimum olacak şekilde bu noktaya yerleştirildiği varsayılan düzlemin her iki yüzeyindeki aydınlık düzeylerinin farkı ile tanımlanır. Aydınlatma vektörünün yönü ise aydınlık düzeyinin büyük olduğu yüzeyden aydınlık düzeyinin küçük olduğu yüzeye doğrudur.

Parıltı: Işık yayan bir yüzeyin bir M noktasının bu yüzeyin normali ile α açısı yapan doğrultudaki parıltısı, M noktasını içine alan ΔS yüzey elemanının bu doğrultuda doğurduğu ΔI_α ışık şiddetinin, ΔS 'nin bu doğrultuya dik düzlemdeki ΔS_n görünen alanına oranının limitidir. Parıltı

$$L = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I_\alpha}{\Delta S_n} = \frac{dI_\alpha}{dS_n} \quad (2.3)$$

denklemleri ile tanımlanır. Lambert yasasına uygun ışık yayan bir ikincil kaynağın parıltısı L , söz konusu yüzeyin aydınlık düzeyi E , yansıtma faktörü ρ olmak üzere,

$$L = \frac{\rho * E}{\Pi} \quad (2.4)$$

dir.

Mutlak Kontrast: Eğer bir cismin fon parıltısı L ve bu cisme ait herhangi bir detayın parıltısı L_d ise

$$\Delta L = L - L_d \quad (2.5)$$

ye mutlak parıltı farkı veya mutlak kontrast denir.

Bağıl Kontrast: : Mutlak kontrastın fon parıltısına oranına bağlı parıltı farkı veya bağlı kontrast denir. Bağıl kontrast,

$$C = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Kontrast Duyarlılığı: Bağıl parıltı farkı aydınlık düzeyine bağlı değildir. Parıltılar cismin aydınlık düzeyi ile doğru orantılı değiştiğinden bağıl parıltı farkının değeri belirli bir fon ve detay için sabit kalır. Fakat aydınlık düzeyinin artması ile gözün parıltı farkına karşı duyarlılığı artar. Gözün ancak farkedebildiği parıltı farkı ΔL_e 'nin (mutlak parıltı farkı eşiği) fon parıltısına oranı olan bağıl parıltı farkı eşiği $(\Delta L_e / L)$ değeri küçülür. Buna karşılık bağıl parıltı farkı eşiğinin tersi olan kontrast duyarlılığının değeri büyür. Kontrast duyarlılığı,

$$K = \frac{L}{\Delta L_e} \quad (2.7)$$

denkleminle tanımlanır

Keskinlik: Gözün iki noktayı birbirinden ayrıık olarak ancak farkedebildiği açının tersine keskinlik veya şekil duyarlığı denir. Birimi 1/ dakika 'dır.

Yukarıdaki tanımlamaların ışığı altında, görme yeteneği ve görsel konforun elde edilebilmesi için sağlanması gereken aydınlatma kriterleri aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

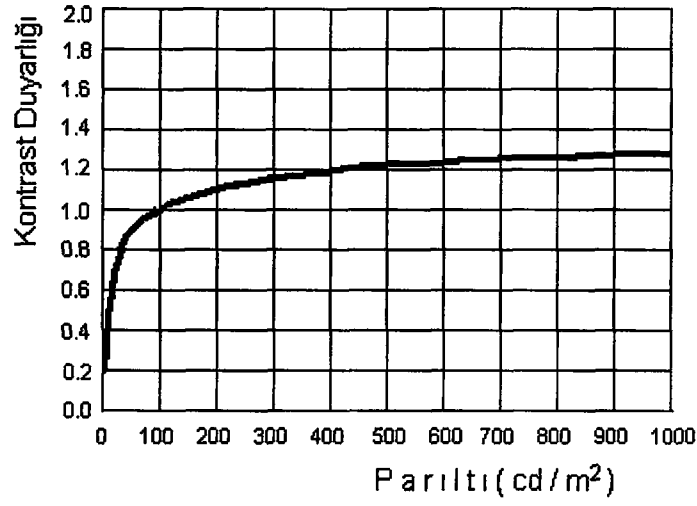
2.2.1 Aydınlık Düzeyi

Bir işin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan aydınlık düzeyi belirlenirken, parıltı ve kontrast, işin boyutları, işin yapılma süresi, çalışanların yaşları, bakış doğrultusu göz önüne alınmalıdır.

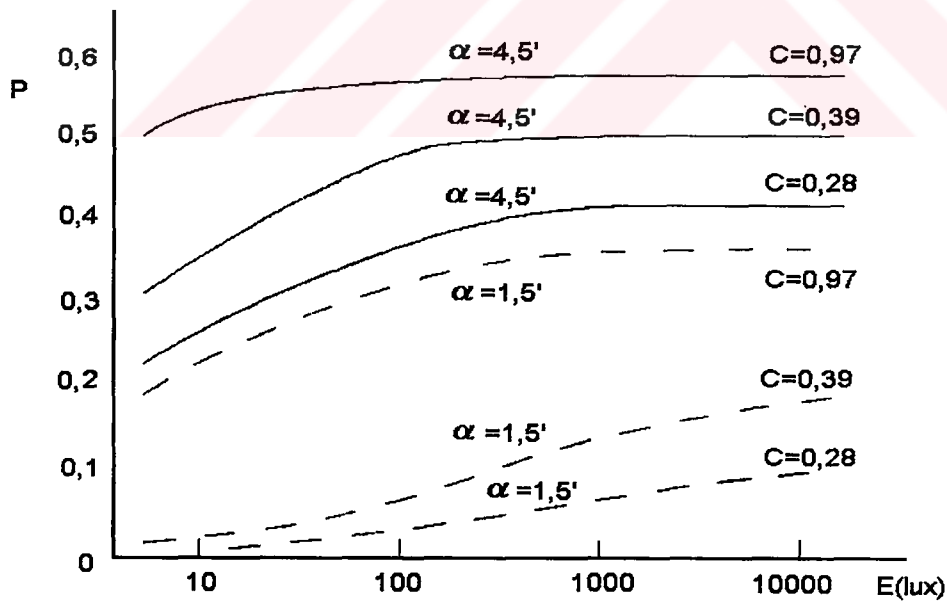
Parıltı ve kontrast: Göz bir detayı, detayla fon arasında bir parıltı farkı olduğuunda farkedebilir. Parıltı, cismin aydınlık düzeyi ve yüzey yansıtma faktörü ile doğru orantılı değiştiiinden, belirli bir fon ve detay için bağıl kontrastın değeri, aydınlık düzeyine bağılı olarak değişmez , sabit kalır. Fakat gözün kontrast duyarlığının aydınlık düzeyine bağılı olarak değişir. Şekil 2.1'de kontrast duyarlığının parıltıya bağılı olarak değişimi gösterilmiştir [5]. Ayrıca, detayın ve fonun yansıtma faktörleri kontrast değerini etkilediiinden, gerekli aydınlık düzeyinin belirlenmesinde yüzey yansıtma faktörleri de göz önüne alınmalıdır.

İşin boyutları: Yapılan işin boyutları küçüldükçe, işin doğru ve hızlı yapılabilmesi yani görme yeteneğinin yükseltilmesi için aydınlık düzeyinin arttırılması gerekir. Şekil 2.2'de görme yeteneğinin aydınlık düzeyi, cismin büyüklüğü ve bağıl kontrasta bağılı olarak değişimi gösterilmiştir [6].

İşin gerçekleşme süresi: Bakılan cismin boyutu küçük, kontrast veya parıltısı düşük olduğuunda görölmesi için gereken algılama süresi artar ve algılama hassasiyeti azalır. Bu da işin gerçekleşme süresinin uzamasına yol açar. Hızın önem taşıdığı işlerde ise aydınlık düzeyinin yüksek seçilmesi gerekir.

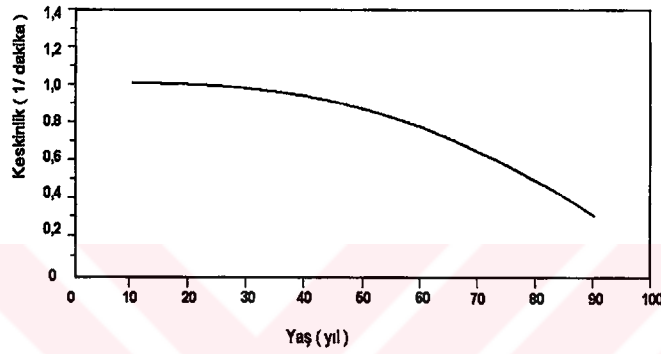


Şekil 2.1 Kontrast duyarlılığının fon parıltısına göre değişimi

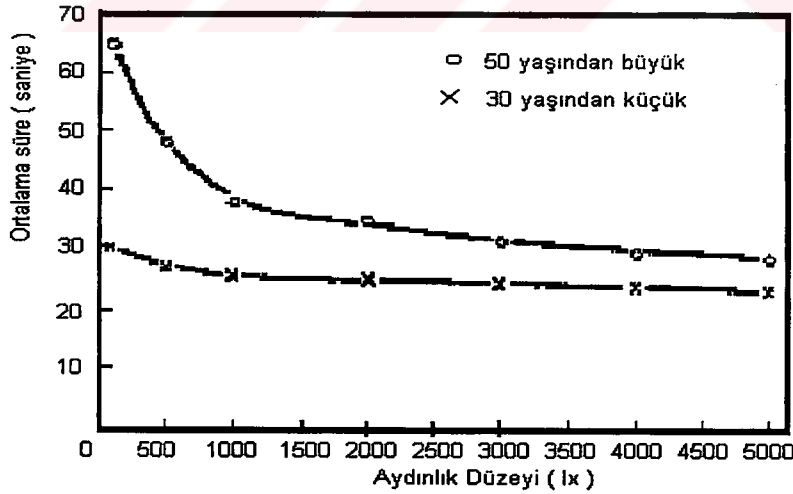


Şekil 2.2 Görme yeteneğinin (p), aydınlık düzeyi (E), boyut (α , açı cinsinden) ve kontrasta (C) bağlı olarak değişimi

Kişilerin yaşı: 25 yaşından sonra, gözbebeğinin ışık geçirgenliğinin ve elastikiyetinin zayıflaması nedeniyle insan gözünün görme yeteneğinde azalma olur [7]. Şekil 2.3, yaşa bağlı olarak keskinliğin değişimini, Şekil 2.4 ise 30 yaşından küçük ve 50 yaşından büyük insanlar için, işin gerçekleştirilme süresi ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişkiyi göstermektedir [8] .



Şekil 2.3 Yaş ile keskinlik arasındaki ilişki



Şekil 2.4 İşin gerçekleştirilme süresi ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişki (Yaş<30 ve >50 için)

2.2.2 Düzgünlük

Bir aydınlatmanın niteliği yalnız aydınlık düzeyinin uygun seçilmesiyle sağlanamaz. Ayrıca aydınlatmanın yer ve zaman bakımından da düzgün olması istenir.

Yer bakımından düzgünlük: Göz daima görme alanındaki parıltıya uyum sağladığından aydınlatması düzgün olmayan yerlerde farklı parıltılarla karşılaşır ve görme zorlukları ortaya çıkar. İş üzerindeki aydınlık düzeyi ile yakın çevresinin aydınlık düzeyi arasındaki büyük farklar çalışanlarda rahatsızlık ve hoşnutsuzluğa yol açarak iş performansını düşürür.

Aydınlatmanın yer bakımından düzgünlüğü, referans alınan düzlem üzerindeki minimum aydınlık düzeyinin (E_{min}), bu düzlem üzerindeki ortalama aydınlık düzeyine (E_{ort}) oranı.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{ort}} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanır

Zaman bakımından düzgünlük: Işıқта meydana gelen titreşimlerin gözde rahatsız edici bir etki yapmaması için, aydınlatmanın zaman bakımından dalgalanmaları yeterince yavaş veya hızlı olmalıdır. Işığın titremesi çok sakıncalıdır ve uzunca bir süre zaman devam ederse, dayanılmaz bir hal alır. Işıқта meydana gelen titreşimler stroboskopik olaylara (hareket ve hız yanılmalarına) neden olurlar. Bu bakımdan ışık titremeleri kesinlikle önlenmelidir. Üç fazlı gerilimle beslenen binalarda aynı armatür içinde bulunan floresan lambaları ayrı ayrı fazlardan besleyerek, bir fazlı gerilimle beslenen binalarda ise dekalörlü balastlar veya elektronik balastlar kullanarak bu titreşimler büyük ölçüde önlenabilir.

2.2.3 Parıltı Dağılımı

Bir cisim veya işi çevreleyen alan içindeki yüzeylerin parıltılarının görme işlemi üzerinde büyük etkisi vardır. Bakış alanı içerisindeki aşırı parıltılar kamaşmaya yol

açarak görsel konforu, aşırı parlaltı farkları ise adaptasyon problemleri yaratarak görme yeteneğini olumsuz yönde etkiler. Görme işleminin rahat bir şekilde gerçekleşebilmesi için, çevre parlaltısı (L_c)'nin, iş üzerindeki parlaltı (L_i)'ye oranı 0,4 ile 2,5 arasında olmalıdır [6].

Aynı aydınlık düzeyine sahip yüzeyler arasındaki parlaltı farkları, yüzeylerin yansıtma faktörleri arasındaki farktan meydana geldiğine göre, yüzey yansıtma faktörlerinin uygun seçilmesi ile istenilen parlaltı dağılımını elde etmek mümkün olur. Parlaltı kontrastının az olduğu durumlarda, renk kontrastı yaratarak görme yeteneğini arttırmak mümkün olur.

Duvar parlaltıları yüksek olan hacimler, duvar parlaltıları düşük olan hacimlere göre daha büyükmüş izlenimini yaratırlar. Tavan parlaltısı yüksek, duvar parlaltıları düşük olan hacimler kişiler üzerinde gergin ve sıkıcı bir izlenim yaratırlar. Bunun tam tersi, yani duvar parlaltıları yüksek, tavan parlaltısı düşük olan hacimler ise samimi bir ortam yaratarak kişiler üzerinde rahatlatıcı etki yaparlar.

2.2.4 Kamaşma

Parlaltı farkları görme için gerekli olan kontrastı yaratır. Görme alanındaki aşırı parlaltı farklarının yarattığı duruma kamaşma denir. Kamaşma görsel yetersizlik ve konforsuzluğa yol açarak, çalışanların verimliliğini azaltır, morallerini bozar, baş ağrısı ve görme bozukluklarına sebep olur. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için kamaşmanın sınırlandırılması gereklidir. Armatürler ve pencerelerin direkt görüntüleri ya da bir yüzey üzerindeki yansımaları en önemli kamaşma kaynaklarıdır.

Görme alanı içindeki yüksek parlaltılı ışık kaynaklarının (armatür, pencere) meydana getirdiği kamaşmaya “**direkt kamaşma**” , parlak yüzeylerde oluşan yansımış görüntülerin yol açtığı kamaşmaya ise “**örtü yansımaları**” veya “**yansımalar kamaşması**” adı verilir.

Kamaşma kişiler üzerinde meydana getirdiği etkiye göre “psikolojik kamaşma (discomfort glare)” ve “fizyolojik kamaşma (disability glare)” olmak üzere iki türdür.

2.2.4.1 Psikolojik Kamaşma

Görme alanı içinde bulunan yüksek parıltılı cisimler görme yeteneğini etkilemeksizin, kişilerde görsel konforsuzluğa yol açabilirler. Konforsuzluğun derecesi, kamaşma kaynağının parıltısına ve boyutuna, görme alanının ortalama parıltısına ve bakış doğrultusu ile kamaşma kaynağı arasındaki açıya bağlıdır. Psikolojik kamaşma yukarıda sayılan faktörlerden başka, yapılan işin cinsine de bağlıdır. Zor ve fazla konsantrasyon gerektiren işlerde daha fazla konforsuzluk hissedilir.

Psikolojik kamaşmayı ortadan kaldırmak için alınması gereken önlemler şunlardır:

- Işık geçirgenliği düşük camlar veya gölgelikler kullanılarak yüksek pencere parıltıları azaltılmalıdır.
- Direkt aydınlatma armatürlerinin parıltıları düşük olmalı, endirekt aydınlatma armatürleri ise tavanda, özellikle armatür üstünde yüksek parıltılar oluşturmamalıdır.
- Bakış doğrultusu ile kamaşma kaynağı arasındaki açı mümkün olduğunca büyük olacak şekilde bir yerleşim yapılmalıdır.
- Kamaşma yaratan kaynağın alanı küçültülmelidir.
- Bakış alanı içindeki parıltı oranları küçük olmalıdır [9].

Psikolojik kamaşmanın değerlendirilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Görsel Konfor Olasılığı (Visual Comfort Probability VCP) : Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Meksika’da kullanılan yöntemdir. Bu sistemde psikolojik kamaşma, aydınlatmayı kamaşma açısından konforlu bulan insanların yüzdesi ile belirlenir. $VCP \geq 70$ olması istenir [9, 10].

Kamaşma Endeksi (Glare Index System) : İngiltere, Belçika, İskandinav ülkeleri ve Güney Afrika’da kullanılan yöntemdir. Aşağıdaki ifadeden bulunan kamaşma endeksi (GI)’ nin sınır değeri, işin türüne göre belirlenir [11] .

$$\text{Kamaşma endeksi (GI)} = 10 \log_{10} \frac{0,45}{L_b} \sum_{j=1}^n \frac{L_j^{1,6} * w_j^{0,8}}{L_b p_j^{1,6}} \quad (2.9)$$

dir. Burada,

L_j : j. kamaşma kaynağının parıltısı (cd/m²)

L_b :Kamaşma kaynağı hariç olmak üzere bakış alanının ortalama parıltısı (cd/m²)

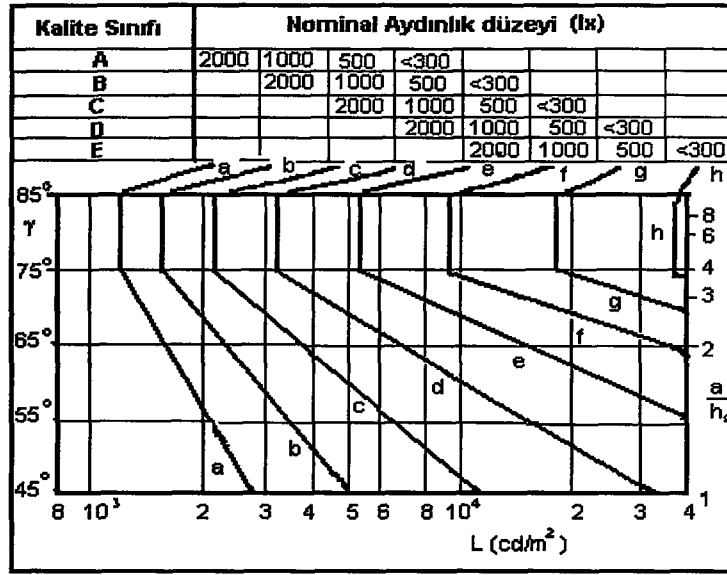
w_j : Gözlemcinin bulunduğu noktadan j. kamaşma kaynağını gören uzay açısı (sr)

p_j : j. kamaşma kaynağının pozisyon endeksi

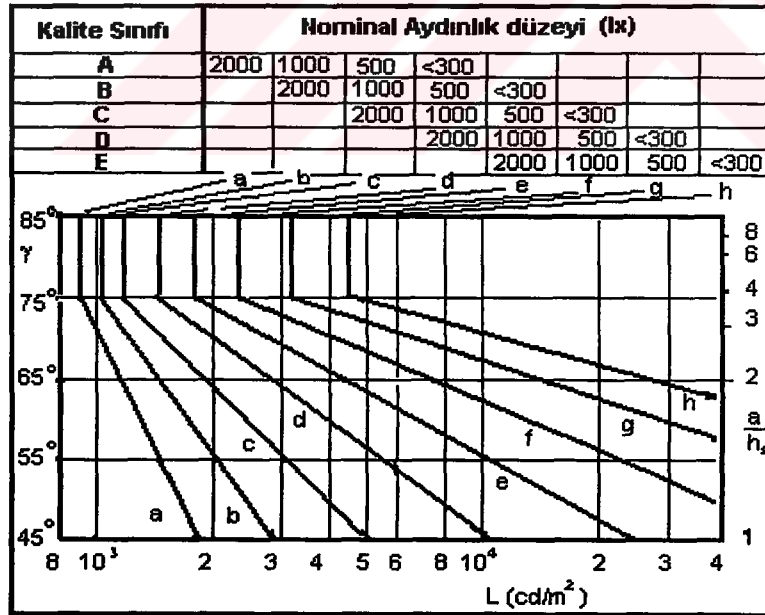
dir.

Parıltı Eğrileri Yöntemi (Grenzkurvensystem): Avusturya, Fransa, Almanya, İsrail, İtalya, Hollanda, Romanya, İsviçre ve Japonyada kullanılan yöntemdir. Psikolojik kamaşma bu sistemde kalite sınıfı ile değerlendirilir. Kalite sınıfı, yapılan işin türüne göre belirlenir. CIE kalite sınıflarını; A, B, C, D, E olmak üzere 5 grupta toplamıştır (A kamaşmaya karşı hassasiyetin en fazla olduğu sınıfı göstermektedir). Bu yöntemde, armatürlerin düşeyle 45 ° ile 85 ° lik açı içinde kalan bölgesindeki ortalama parıltı sınır değerleri; armatür tipi ve düzeni, aydınlık düzeyi, kalite sınıfı ve gözlemcinin konumuna göre verilmektedir. Şekil 2.5 ve 2.6’ da CIE’ nin parıltı eğrileri verilmiştir.

Bu yöntemde, ayrıca armatürlerin ekranlama açıları, lamba ortalama parıltısı ve kalite sınıfına göre standart veya önerilerde verilmiş olan minimum ekranlama açılarından küçük olmamalıdır. Tablo 2.1 de CIE’ nin tavsiye ettiği minimum ekranlama açıları verilmiştir [12].



Şekil 2.5 Bakış doğrultusuna paralel yerleştirilmiş ve yan yüzeylerinden ışık vermeyen armatürler için CIE'nin parlıltı sınır eğrileri



Şekil 2.6 Bakış doğrultusuna dik yerleştirilmiş ve yan yüzeylerinden de ışık veren armatürler için CIE'nin parlıltı sınır eğrileri

Tablo 2.1 CIE' nin tavsiye ettiği minimum ekranlama açıları

Ortalama lamba parlıtısı (cd/m ²)	Kalite sınıfı		Lamba tipi
	A, B, C	D, E	
$L < 20 \cdot 10^3$	20°	10°	fluoresan lamba
$20 \cdot 10^3 \leq L \leq 500 \cdot 10^3$	30°	20°	şeffaf olmayan camlı yüksek basınçlı deşarj lambaları
$L > 500 \cdot 10^3$	30°	30°	şeffaf camlı yüksek basınçlı deşarj lambaları ve akkor telli lambalar

Psikolojik kamaşmanın değerlendirilmesinde kullanılan parlıtı eğrileri, kamaşma endeksi ve görsel konfor olasılığı (VCP) yöntemlerinde geçerli olan büyüklüklerin birbirlerine karşılık gelen değerleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Psikolojik kamaşma değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Parlıtı Eğrileri	a	b	c	d	e	f	g	h
Kamaşma Endeksi	15,5	17,0	18,5	20,0	21,5	23,0	24,5	26,0
VCP (%)			75	65	55	45		

Yeni Kamaşma Değerlendirme Sistemi (Unified Glare Rating System UGR) :

Psikolojik kamaşmayı değerlendirmede farklı yöntemlerin kullanılmasının sakıncalarını ortadan kaldırmak ve özellikle Avrupada tek bir yöntem kullanılmasını sağlamak amacıyla CIE tarafından 1987 yılında teklif edilmiş olan yöntemdir Bu sistemde kamaşma,

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 * w}{p^2} \quad (2.10)$$

denklemleriyle tanımlanmıştır [6, 13].

Burada,

$$L_b = \frac{E_i}{\Pi}$$

L_b = Bakış alanındaki ortalama parlıltı (cd/m²)

E_i = Endirekt aydınlık düzeyi (lux)

L_s : Armatür parlıltısı (cd/m²)

w : Gözlemcinin bulunduğu noktadan armatürü gören uzay açısı (sr)

p : pozisyon endeksi

dir.

2.2.4.2 Fizyolojik Kamaşma

Görme alanı içindeki yüksek parlıltılı bir yüzeyden göze gelen ışık, retinada saçılarak burada örtü parlıltısı oluşturur. Retinada meydana gelen örtü parlıltısı bakılan cismin kontrastının azalmasına yol açarak görülebilirliği azaltır. Fizyolojik kamaşma daha çok dış aydınlatmada meydana gelir. İç aydınlatmada ise, az aydınlatılmış iç hacimlerde pencere gibi büyük parlıltılı ışık kaynakları fizyolojik kamaşma yaratabilir. İç aydınlatmada, lambaların ekranlanması veya pencerelerin jaluzi yardımıyla karartılması ile fizyolojik kamaşma önlenir. İç aydınlatmada psikolojik kamaşmanın önlenmesi ile genellikle fizyolojik kamaşma da önlenmiş olur.

2.2.4.3 Örtü Yansıması ve Yansıma Kamaşması

Parlak bir ışık kaynağının aynasal yansıma veya yarı aynasal yansıma yapan yüzeylerden yansıyarak göze gelen görüntüsü rahatsızlık ve konforsuzluğa yol açar. Bu yansıma, bakılan yüzey, yani iş üzerinde meydana geliyorsa buna “örtü yansıması”, başka bir yüzey üzerinde meydana geliyorsa “ yansıma kamaşması” adı verilir.

Örtü yansıması rahatsızlığa yol açar, işin kontrastını azaltır ve detayların kaybolmasına neden olur. Örtü yansıması ve yansıma kamaşmasını azaltmak için şu önlemler alınmalıdır [6, 12, 14]:

- Armatür ve çalışma alanları uygun yerleştirilmeli,
- Mat yüzeyler kullanılmalı,
- Büyük yüzeyli ve düşük parıltılı armatürler kullanılmalı,
- İş üzerine yanlardan düşen ışık miktarı arttırılmalıdır.

2.2.5 Modelleme

Bir cismin yapısının ve üç boyutlu şeklinin gölgeler yardımıyla ortaya çıkarılmasına modelleme denir. İyi bir modelleme ile hacmin yapısı, içindeki insan ve cisimler daha net ortaya çıkarılarak genel görüntüsü daha güzel hale getirilebilir. Aydınlatma ne rahatsız edici keskin gölgeler oluşturacak kadar yönlü, ne de cisimlerin üç boyutlu görüntüsünü yok edecek kadar yayınlık olmalıdır. Aşağıya doğru yönlendirilmiş kuvvetli ışık insanların yüzleri veya iş üzerinde derin gölgeler oluşturur. Diğer taraftan yayınlık bir aydınlatma (ışıklı tavanlar veya endirekt aydınlatma sistemi) ise gerçek görüntülerin ortadan kalkmasına yol açar.

2.2.6 Renk

Işık kaynaklarının renk özellikleri, renk sıcaklığı ve renksel geriverim endeksi adı verilen iki büyüklükle tanımlanır. Renk sıcaklığı Kelvin (K) cinsinden ifade edilir ve kaynağın ışık rengini belirtir. Işık kaynakları ışık rengi bakımından sıcak, ılık ve soğuk renkli ışık kaynakları olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Işık kaynaklarının renk sıcaklıklarına göre ışık renkleri Tablo 2. 3’de verilmiştir.

Kaliteli bir aydınlatma için ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları aydınlık düzeyi ile uyumlu seçilmelidir. Düşük aydınlık düzeylerinde mavi renkli ışık kaynakları soğuk, ve sıkıntılı bir etki yaparlar. Bu yüzden soğuk renkli ışık kaynakları sadece yüksek aydınlık düzeylerinde kullanılmalıdır. Yapay aydınlatma doğal aydınlatma ile birlikte kullanılıyorsa ılık renkler tercih edilmelidir.

Tablo 2.3 Işık kaynaklarının Kelvin cinsinden renk sıcaklıklarına göre ışık renkleri

Renk Sıcaklığı	Işık Rengi
$T < 3300 \text{ K}$	soğuk
$3300 \text{ K} \leq T \leq 5300 \text{ K}$	ılık
$T > 5300 \text{ K}$	sıcak

Işık kaynaklarının, aydınlattıkları cisimlerin renklerini ayırttirebilme özellikleri renksel geriverim endeksi R_a ile belirlenir. R_a 'nın teorik olarak en büyük değeri 100 dür. CIE renksel geriverim endeksini 5 grupta toplamaktadır. Işık kaynaklarının renksel geriverim endekslerine göre CIE tarafından belirlenmiş olan renksel geri verim sınıfları Tablo 2.4 de verilmiştir.

Tablo 2.4 CIE 'nin ışık kaynaklarının renksel geri verim endeksi ve sınıfları

Sınıf	Renksel Geriverim Endeksi
1A	$R_a \geq 90$
1B	$80 \leq R_a < 90$
2	$60 \leq R_a < 80$
3	$40 \leq R_a < 60$
4	$20 \leq R_a < 40$

2.2.7 Doğal Aydınlatma

İnsanların dışarı ile bağlantısını sağlayan pencerelerin çalışanlar üzerinde olumlu psikolojik etkileri olduğu bilinmektedir. Günışığının hacme girmesine neden olan pencereler gündüz çalışılan hacimlerde ışık kaynağı olarak değerlendirilebilir. Özellikle, otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin gelişmesi ile hacimlerde günışığından faydalanılması önemli enerji tasarrufları sağlamaktadır. Pencerelerin bu olumlu etkileri yanında, hacimlerin iklimlendirilmesinde olumsuz etkileri de

vardır. Bina tasarımı sırasında, pencerelerin boyutları ve yerleşimi konusunda optimum çözümler aranmalıdır.

Pencereler, ayrıca önemli bir kamaşma kaynağı olarak da karşımıza çıkmaktadırlar. Bunların oluşturacağı kamaşma, gölgelikler ile önlenebilir. Günümüzde yapay aydınlatma ve gölgeliklere birlikte otomatik olarak kumanda edebilen sistemler mevcuttur [15, 16, 17].



BÖLÜM 3

OFİS AYDINLATMASI İÇİN STANDARTLAR VE ÖNERİLEN DEĞERLER

Bu bölümde çeşitli ofis aydınlatma standartları ve öneriler incelenerek, aralarındaki benzerlikler ve farklar ortaya konulmuştur.

3.1 ALMAN STANDARTLARI (DIN NORMLARI)

Alman DIN normlarında iç aydınlatma için verilmiş olan standart değerler ve öneriler aşağıda açıklanmıştır [18, 19].

Aydınlık Düzeyi : İç aydınlatma için aydınlık düzeyi anma değerleri 20 - 50 - 100 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 lux'dür.

Ofislerde sağlanması gereken minimum aydınlık düzeyi değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablodaki aydınlık düzeyi anma değerleri ,

- Tesisatın normal işletme durumu (belirli bir süre kullanılmış),
- Döşeli hacimler,
- Yerden 0,85 m yükseklikteki çalışma düzlemi,
- Sirkülasyon alanları için yerden 0,2 m yükseklikteki düzlem için verilmiştir.

Bir hacimdeki ortalama aydınlık düzeyi hiç bir zaman anma değerinin 0,8 katından az olmamalıdır. Çalışma düzleminin her noktasında da anma değerinin en az 0,6 katı kadar bir değer sağlanmalıdır.

Düzgünlük : Düzgünlük faktörü, yani minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ort}}} = 1 \div 1,5$$

olmalıdır.

Tablo 3.1 DIN Normlarına göre ofisler için anma aydınlık düzeyi değerleri

Hacim veya yapılan işin türü	Anma aydınlık düzeyi E_n (lux)	Açıklamalar
Çalışma yerleri pencere yakınında olan ofisler	300	İş üzerinde minimum 0,8 E_n
Ofisler (Genel)	500	
Yüksek yansıtma faktörlü büyük ofisler	750	Yüksek yansıtmalı hacimlerde min. yansıtma faktörleri: tavan için 0,7 ; duvar ve bölmeler için 0,5'dir
Orta yansıtma faktörlü büyük ofisler	1000	
Çizim ofisleri	750	E_n , yatayla 75° açı yapan ve 1,2m yüksekteki çalışma düzlemi için verilmiştir
Görüşme ve dinlenme odaları	300	
Sirkülasyon alanları	200	
Veri işleme odaları	500	

Parıltı dağılımı : Yüzey yansıtma faktörleri, iş ile yakın çevresi arasındaki parıltı oranı 3 : 1'den büyük olmayacak şekilde seçilmelidir. İş ile uzak çevresi arasındaki parıltı oranı ise 10 : 1'den büyük olmamalıdır. Önerilen ortalama yüzey yansıtma faktörleri,

Tavan : $\rho_t = 0,7$

Duvarlar : $\rho_d = 0,5$

Zemin : $\rho_z = 0,2$

Çalışma masası : $\rho_{\text{çm}} = 0,2 \div 0,5$

dir.

Kamaşma : Psikolojik kamaşma, parıltı eğrileri yöntemi ile değerlendirilir. DIN normlarında verilen kalite sınıfları ve bunların CIE kalite sınıflarına göre karşılıkları Tablo 3.2’de minimum ekranlama açıları ise Tablo 3.3’de verilmiştir. Ofisler için kamaşma kalite sınıfı 1 olmalıdır.

Tablo 3.2 DIN Normlarına göre kamaşma kalite sınıfları ve bunların CIE kalite sınıflarındaki karşılıkları

Hacmin Özelliği	DIN	CIE
Kamaşmaya karşı hassasiyet çok fazla	A	A
Kamaşmaya karşı hassasiyet fazla	1	B
Kamaşmaya karşı hassasiyet normal	2	D
Kamaşmaya karşı hassasiyet az	3	E

Tablo 3.3 DIN Normlarında verilen minimum ekranlama açıları

Lamba cinsi	Ortalama parıltı	Kamaşma kalite sınıfı			
		A	1	2	3
Fluoresan lamba	$L \leq 2 \cdot 10^4$	20°	10°	0°	0°
Kompakt fluoresan	$2 \cdot 10^4 < L \leq 4 \cdot 10^4$	20°	15°	5°	0°
Opal camlı yüksek basınçlı deşarj, alçak basınçlı sodyum	$4 \cdot 10^4 < L \leq 50 \cdot 10^4$	30°	20°	10°	0°
Şeffaf camlı deşarj ve akkor telli lamba	$L < 50 \cdot 10^4$	30°	30°	15°	10°

Işıklı tavanlarda parıltı $500 \text{ cd} / \text{m}^2$ den büyük olmamalıdır.

Modelleme : Genel aydınlatma için gölge faktörü, silindirik aydınlık düzeyinin (E_s) yatay aydınlık düzeyine (E_y) oranı olarak tanımlanmıştır. Keskin gölgeleri önlemek için

$$E_s / E_y \geq 0,3$$

olmalıdır.

Işık rengi ve renksel geriverim endeksi : Alman standartlarında ışık kaynaklarının renksel geriverim sınıfları Tablo 3.4'deki gibidir. İç aydınlatmada kullanılan ışık kaynaklarının renksel geriverim endeks sınıfı en az 3 olmalıdır. Ofislerde renksel geriverim sınıfları en az 2A olan sıcak ve ılık renkli ışık kaynakları kullanılmalıdır.

Tablo 3.4 DIN Normlarındaki renksel geriverim sınıfları

Sınıf	Renksel Geriverim Endeksi
1A	$R_a \geq 90$
1B	$80 \leq R_a < 90$
2A	$70 \leq R_a < 80$
2B	$60 \leq R_a < 70$
3	$40 \leq R_a < 60$
4	$20 \leq R_a < 40$

Doğal Aydınlatma : Tek taraflı pencereli derin hacimlerde doğal aydınlatma yetersiz olacağından, pencereden uzakta olan bölgelerde doğal aydınlatmayı tamamlayıcı yapay aydınlatma yapılmalıdır.

3.2 İNGİLİZ STANDARDI (CIBSE CODE)

İngiliz standardında iç aydınlatma için verilen standart değerler ve öneriler aşağıda özetlenmiştir [11].

Aydınlık Düzeyi : İç aydınlatma için aydınlık düzeyi anma değerleri 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 lux'dür. Ofislerde sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri Tablo 3.5'de verilmiştir. Bu değerler normal işletme durumunda hacim içinde sağlanması gereken ortalama bakımlı aydınlık düzeyi değerleridir.

Düzgünlük : Minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı 0,8 den küçük olmamalıdır. Yani,

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ort}}} \geq 0,8$$

dir.

Tavanın ortalama aydınlık düzeyinin çalışma düzlemindeki ortalama aydınlık düzeyine oranı, 0,3 ile 0,9 arasında, herhangi bir duvarın ortalama aydınlık düzeyinin, çalışma düzlemindeki ortalama aydınlık düzeyine oranı, 0,5 ile 0,8 arasında olmalıdır.

Parıltı oranları : Parıltı dağılımının düzgün olması için önerilen yüzey yansıtma faktörleri

Tavan : $\rho_t \geq 0,6$

Duvar : $\rho_d = 0,3$ ile $0,7$ arasında

Zemin : $\rho_z = 0,2$ ile $0,4$ arasında

Mobilya ve masa : $\rho_m \geq 0,3$

dir.

Kamaşma : Psikolojik kamaşma, kamaşma endeksi ile değerlendirilir. Ofisler için önerilen sınır kamaşma endeksi değerleri de yine Tablo 3.5’de verilmiştir. Endirekt aydınlatmada tavan parıltısı $500 \text{ cd} / \text{m}^2$ den büyük olmamalıdır.

Modelleme : İnsan yüzlerinin iyi görülebilmesi için vektörel aydınlık düzeyinin skaler aydınlık düzeyine oranı, 1,2 ile 1,8 arasında olmalıdır.

Renk : Ofislerde ışık rengi ılık ve renksel geriverim sınıfı 1B veya 2 olan ışık kaynakları kullanılmalıdır.

Tablo 3.5 Ofisler için CIBSE'in önerdiği aydınlık düzeyi ve kamaşma endeksi değerleri

Hacimin veya yapılan işin türü	Anma aydınlık düzeyi değeri (lux)	Kamaşma endeksi
Ofis	500	19
Bilgisayar odaları	300 - 500	19
Konferans ve yönetici odaları	500	19
Data işleme odaları	500	19
Dosyalama odası	300	19
Çizim odaları	500 - 750	16
Genel hacimler	300	19

Doğal aydınlatma : Ortalama günışığı faktörü %5' den büyük olan hacimlerde uygun kontrol sistemlerinin kullanılması ile elektrik tüketiminde büyük tasarruf sağlanabileceği belirtilmektedir. Bu tür hacimlerde sıcak veya ılık renkli ışık kaynakları kullanılmalıdır. Ortalama günışığı faktörü %2 ile %5 arasında ise aydınlatma sistemi mevcut günışığından maksimum fayda sağlanacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu hacimlerde ılık renkli ışık kaynakları kullanılmalıdır. Pencerelerin yol açacağı kamaşma, gölgelikler ile önlenmelidir.

3.3 A.B.D. ' NİN ÖNERİLERİ (IES)

Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Birliği'nin (Illuminating Engineering Society of Nort Amerika - IES) iç aydınlatma önerileri aşağıda verilmiştir [10].

Aydınlık düzeyi : Bu önerilerde verilen aydınlık düzeyi değerleri , iş üzerinde sağlanması gereken minimum değerlerdir. Aydınlık düzeyi değerleri yapılan işin

cinsine göre dokuz (A,B,.....,I) kategoriye ayrılmıştır. Her kategoride üç aydınlık düzeyi değeri vardır. Çalışanların yaşına, işin zorluk derecesine ve yüzey yansıtma faktörlerine bağlı olarak bu üç değerden biri seçilir (Tablo 3.6).

Ofislerde birbirinden farklı görsel işlerin yapıldığı ve yerleşim düzeninin zaman içinde değişebileceği göz önüne alınarak, genel aydınlatma için D ve E kategorileri önerilmektedir. Genel aydınlatma, iş üzerinde tabloda verilen değerler sağlanacak şekilde, gerektiğinde lokal aydınlatma ile desteklenmelidir.

Tablo 3.6 IES'in ofisler için belirlediği aydınlatma kategorileri ve aydınlık düzeyi değerleri

İşin türü	Kategori	Aydınlık Düzeyi Değerleri (lux)	Referans alınan çalışma düzlemi
Genel alanlar	A	20-30-50	Genel aydınlatma
Kısa süreli kullanılan hacimler	B	50-75-100	
Görsel işlerin ara sıra yapıldığı hacimler	C	100-150-200	
Yüksek kontrastlı veya büyük boyutlu iş	D	200-300-500	İş üzerindeki aydınlık düzeyi
Orta kontrastlı veya küçük boyutlu iş	E	500-750-1000	
Düşük kontrastlı veya çok küçük boyutlu iş	F	1000-1500-2000	
F kategorisindeki işlerin uzun süreli yapıldığı durumlar	G	2000-3000-5000	İş üzerindeki genel+lokal aydınlık düzeyi
Çok uzun süreli ve hassas işler	H	5000-7500-10000	
Çok düşük kontrastlı ve çok küçük boyutlu çok hassas işler	I	10000-15000-20000	

Düzensizlik : İki komşu hacmin aydınlık düzeyleri arasındaki oran 5/1'i geçmemelidir.

Parıltı dağılımı : Hacim içindeki parıltı oranları aşağıdaki sınırlar arasında olmalıdır. Yüzey yansıtma faktörlerinin ise Tablo 3.7'de verilen değerler arasında olması önerilmektedir.

İş ile yakın çevresi arasında : 1 ile 1 / 3

İş ile karanlık uzak çevre arasında : 1 ile 1 / 10

İş ile aydınlık uzak çevre arasında : 1 ile 10

Tablo 3.7 IES'in ofisler için önerdiği yüzey yansıtma faktörleri

Yüzey	Yansıtma faktörü (%)
Tavan	≥ 80
Duvar	50 - 70
Bölmeler (ara duvarlar)	40 - 70
Zemin	20 - 40
Mobilya	25 - 45
Pencere gölgelikleri	40 - 60

Kamaşma : Psikolojik kamaşma görsel konfor olasılığı yöntemi ile değerlendirilir. Ofislerde görsel konfor olasılığı VCP ≥ 70 olmalıdır.

Renk : Ofislerde renk sıcaklığı 4000 K'den büyük olan ışık kaynakları kullanılmalıdır. Işık rengi ve renksel geriverim özellikleri farklı olan lambalar aynı ortamlarda kullanılmamalıdır.

Modelleme : Yatay düzlemdeki iş üzerinde gölgelerin oluşmaması için çalışanın ön ve yukarısından gelen ışık mümkün olduğunca az olmalıdır. Işık yanlardan ve arkadan gelmelidir.

Doğal aydınlatma : Doğal aydınlatma dinamik bir yapıya sahip olduğundan planlama aşamasında, mümkün olabilecek her durum hesaba katılmalıdır. Kamaşmayı önlemek için gölgelikler kullanılmalıdır.

3.4 ULUSLARARASI AYDINLATMA KOMİSYONU'NUN ÖNERİLERİ (CIE GUIDE FOR INTERIOR LIGHTING)

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE'nin (Commision Internationale de L'Eclairage) iç aydınlatma için önerdiği değerler aşağıdaki gibidir [12].

Aydınlık düzeyi : Zeminden 0,85 m yükseklikteki çalışma düzlemi için, hacmin türüne veya yapılan işin çeşidine göre sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Tabloda her bir kategori için üç farklı değerin verildiği görülmektedir. Normal durumlarda ortadaki aydınlık düzeyi değerinin alınması önerilmektedir.

- İşin yansıtma faktörü veya kontrastı düşük,
- Hataların düzeltilmesi pahalı,
- Görsel iş kritik,
- Hassasiyet ve hız çok önemli,
- Çalışanların görsel kapasitesi normalin altında ise, tabloda verilen büyük değer alınmalıdır.

- İşin yansıtma faktörü veya kontrastı yüksek,
- Hassasiyet ve hız önemli değil,
- İş arasıra yapılıyor ise, tabloda verilen küçük değer alınmalıdır.

Düzgünlük : Minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı 0,8'den küçük olmamalıdır. Birbirine komşu hacimlerin ortalama aydınlık düzeylerinin oranı da 5: 1'den büyük olmamalıdır.

Parıltı dağılımı : İşin yakın çevresinin parıltısı, mümkünse iş parıltısından düşük olmalı ve bunların oranları 1/3 den küçük olmamalıdır. Bakış alanındaki yüzeylerin ortalama parıltısı, iş parıltısının 1/10'undan az olmamalıdır.

Tablo 3.8 İşin türüne göre CIE' nin önerdiği aydınlık düzeyi değerleri

Önerilen Aydınlık Düzeyleri (lx)	Hacmin veya işin türü
20 - 30 - 50	Dış sirkülasyon alanları
50 - 100 - 150	Sirkülasyon alanları
100 - 150 - 200	Çalışma amaçlı olarak sürekli kullanılmayan hacimler
200 - 300 - 500	Basit görsel işler
300 - 500 - 750	Orta zorlukta görsel işler
500 - 750 - 1000	Görsel hassasiyet gerektiren işler
750 - 1000 - 1500	Zor görsel işler
1000 - 1500 - 2000	Oldukça zor görsel işler
2000' den büyük	Çok zor görsel işler

Armatür ile armatür çevresindeki tavan arasındaki kontrastı azaltmak için tavanın yansıtma faktörü mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Tavan, duvar ve zemin için önerilen yüzey yansıtma faktörleri :

$$\rho_t \geq 0,6$$

$$\rho_d = 0,3 \text{ ile } 0,7$$

$$\rho_z = 0,1 \text{ ile } 0,3$$

arasındadır. Tavanın ortalama aydınlık düzeyi, iş üzerindeki aydınlık düzeyinin 1/ 10'undan az olmamalıdır.

Kamaşma : Psikolojik kamaşma değerlendirmesinde farklı yöntemlerin kullanılmasının yarattığı problemlerin ortadan kaldırılması ve bunların yerine tek bir yöntem kullanılması için CIE 1987 yılında UGR yöntemini önermiştir. Bu yöntemin yakın gelecekte tüm ülkelerde ortak kullanılması planlanmaktadır.

Modelleme : Armatürler, ışığın iş üzerinden direkt yansıyarak göze gelmesi engellenecek şekilde seçilmeli ve yerleştirilmelidir.

Renk : Ofisler için sıcak veya ılık renkli ve renksel geriverim sınıfı $R_a = 1B$ olan ışık kaynakları tavsiye edilmektedir.

Doğal aydınlatma : Tek taraflı pencereli hacimlerde doğal aydınlatma hacmin iç kısımlarına doğru hızla azalır. Küçük ofislerde bu düzgünsüzlük kabul edilebilir. Ancak büyük ofislerde doğal aydınlatmayı destekleyecek yapay aydınlatmaya ihtiyaç vardır. Düzgünlüğün sağlandığı camlı tavanlarda ise ısınma ve kamaşma problemleri ortaya çıkabilir.

Bu bölümün başından beri incelenen DIN, CIBSE CODE, IES ve CIE' nin ofisler için verdiği standart değerler ve öneriler Tablo 3.9'da toplu olarak verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, aydınlatma ile ilgili standartlarda verilen değerler ve öneriler ülkelere göre farklılıklar göstermektedir.

Avrupa Standartları Komitesi (European Committee for Standardisation) CEN' nin 169 no'lu teknik alt komitesi, tüm Avrupa ülkelerinde geçerli olacak tek bir aydınlatma standardı oluşturmak için çalışmalarına devam etmektedir. Çalışmaların 1999 yılı sonunda bitmesi planlanmaktadır. Bu standartların yürürlüğe girmesi ile ulusal standartlar geçerliliklerini kaybedeceklerdir. Bu komitenin 1996 yılında yayınladığı standart taslağındaki değer ve öneriler aşağıda kısaca verilmiştir.

3. 5 AVRUPA STANDARTLARI KOMİTESİ'NİN ÇALIŞMALARI

Avrupa Standartları Komitesi'nin (European Committee for Standardisation) 1996 yılında yayınladığı standart taslağına göre aydınlatma kriterleri aşağıda verilmiştir [13, 20].

Aydınlık Düzeyi : İş üzerindeki (örn: masa) ve çevre aydınlık düzeyi olmak üzere iki ayrı değer verilmiştir. Tablo 3.10'da verilen değerler, iş üzerinde sağlanması gereken minimum aydınlık düzeyi değerlerini göstermektedir. İş üzerindeki aydınlık düzeyi hiç bir zaman tabloda verilen değerlerin altına düşmemelidir. Çevrenin aydınlık düzeyi ise, iş üzerindeki aydınlık düzeyi değerine göre Tablo 3.11'den bulunur.

Tablo 3.9 Ofisler için DIN, CIBSE, IES ve CIE'nin önerdiği değerler

	DIN	CIBSE	IES	CIE
Aydınlık düzeyi	Normal işletme durumunda çalışma düzleminde sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi 300 ile 1000 lux arasında	Normal işletme durumunda çalışma düzleminde sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyi 300 ile 750 lux arasında	Aydınlık düzeyi işin cinsine göre belirleniyor. Ofisler için D ve E kategorileri (100 ile 1000 lux) öneriliyor. Burada verilen değerler iş üzerinde sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerleridir	Hacmin veya işin türüne göre çalışma düzlemindeki ortalama aydınlık düzeyi değerleri verilmiş ve her kategori için üç değer vardır. Her ülkenin kendi standartları olduğundan detaylı tavsiyeler yok
Düzensizlik	$E_{min} / E_{ort} \geq 1 / 1,5$	$E_{min} / E_{ort} \geq 0,8$ $E_{duvar,ort} / E_{CD,ort} = 0,3$ ile $0,9$ $E_{duvar,ort} / E_{CD,ort} = 0,5$ ile $0,8$	İki komşu hacmin aydınlık düzeylerinin oranı $\leq 5 / 1$ olmalıdır	$E_{min} / E_{ort} \geq 0,8$ İki komşu hacmin aydınlık düzeylerinin oranı $\leq 5 / 1$ $E_{duvar,ort} / E_{ig} \geq 1/10$
Parlıtılık Yüzey Yansıtma Katsayıları	$L_{ig}/3 \leq L_{yakın çevre} \leq 3L_{ig}$ $L_{ig}/10 \leq L_{uzak çevre} \leq 10L_{ig}$ $\rho_{tavan} = 0,7$ $\rho_{duvar} = 0,5$ $\rho_{zemin} = 0,2$ $\rho_{masa} = 0,2$ ile $0,5$	$\rho_{tavan} \geq 0,6$ $\rho_{duvar} = 0,3$ ile $0,7$ $\rho_{zemin} = 0,2$ ile $0,4$ $\rho_{masa} \geq 0,3$	$L_{ig} \leq L_{yakın çevre} \leq 3L_{ig}$ $L_{ig}/10 \leq L_{uzak çevre} \leq 10L_{ig}$ $\rho_{tavan} \geq 0,8$ $\rho_{duvar} = 0,5$ ile $0,7$ $\rho_{zemin} = 0,2$ ile $0,4$ $\rho_{masa} = 0,25$ ile $0,45$ $\rho_{gölge} = 0,4$ ile $0,6$	$\rho_{tavan} \geq 0,6$ $\rho_{duvar} = 0,3$ ile $0,7$ $\rho_{zemin} = 0,1$ ile $0,3$
Kamaşma	Direkt kamaşmanın önlenmesi için kalite sınıfı 1 olmalıdır	$GI \geq 19$	$VCP \geq 70$	
Modelleme	$E_s / E_y \geq 0,3$	$E_{vek} / E_{akal} = 1,2 \div 1,8$	Işık mümkün olduğunca çalışan kişinin arkasından ve yanlardan gelmeli	Işığın iş yüzünden yansıyarak göze gelmesi engellenmeli
Renk	$R_a \geq 2A$ ılık veya sıcak	$R_a = 1B$ veya 2 ılık	$T \geq 4000 K$	$R_a = 1B$ ılık veya sıcak

Tablo 3.10 CEN 169' un ofisler için tavsiye ettiği değerler

Hacmin veya işin türü	E_{min} (lx)	UGR	R_a
Dosyalama ve fotokopi odası	300	19	80
Yazma, okuma, data işleme	500	19	80
Teknik çizim	750	16	80
Bilgisayar Destekli Tasarım	500	19	80
Konferans ve toplantı odası	500	19	80
Arşiv odası	200	25	80

Tablo 3.11 Çevre aydınlık düzeyinin iş üzerindeki aydınlık düzeyine bağlı olarak bulunması

İş üzerindeki aydınlık düzeyi ($E_{i\bar{s}}$)	Çevrenin aydınlık düzeyi
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{i\bar{s}}$

Düzgünlük : Önerilen düzgünlük faktörleri

İş üzerinde : $U \geq 0,8$

Çevre : $U \geq 0,5$

dır.

Parıltı dağılımı : Tavan, duvar ve çalışma masası için önerilen yansıtma faktörleri,

$$\rho_t = 0,6 \div 0,9$$

$$\rho_d = 0,3 \div 0,8$$

$$\rho_{\text{çm}} = 0,2 \div 0,5$$

arasındadır.

Kamaşma : Önerilen UGR değerleri Tablo 3.10' da verilmiştir.

Modelleme : Aydınlatma, ne keskin gölgeler oluşacak kadar yönlü ne de monoton bir ortam yaratacak kadar yayınlık olmalıdır.

Renk : Kullanılacak ışık kaynaklarının ışık renkleri, aydınlık düzeyi, hacim yüzeylerinin ve mobilyaların renkleri, iklim ve hacmin kullanım amacına göre belirlenmelidir. Genel olarak sıcak iklimlerde soğuk, soğuk iklimlerde sıcak renkli ışık kaynakları önerilmektedir. İç aydınlatmada renksel geriverim endeksleri 80' den küçük olan ışık kaynakları kullanılmamalıdır.

Doğal Aydınlatma : Tek taraflı pencereli hacimlerde, pencereden uzaklaştıkça doğal aydınlık düzeyi hızla azaldığından, iş üzerinde gerekli aydınlık düzeyini ve hacimde uygun parlıtlı dağılımını elde etmek için, kontrol sistemleri kullanılarak, doğal aydınlatma ile yapay aydınlatmanın birlikte uygun olarak kullanımı sağlanmalıdır.

BÖLÜM 4

AYDINLATMANIN KİŞİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE SUBJEKTİF DEĞERLENDİRMELER

İyi bir görme yeteneği ve görsel konfor elde edilmesi için ofislerde yapay aydınlatma ile sağlanması gereken aydınlatma kriterleri, çeşitli ülkelerin standartları ve önerilen değerler Bölüm 2 ve 3’de detaylı olarak anlatılmıştır. Günümüzde geçerli olan bu standartlarda aydınlatmanın görsel etkileri ön planda tutulmuş, psikolojik etkileri fazlaca dikkate alınmamıştır. Oysa iyi bir aydınlatma ile görme yeteneğini arttırarak iş verimini direkt, olumlu psikolojik etkiler yaratarak da çalışanların iş performanslarını endirekt olarak arttırmak mümkündür. Bu bölümde, aydınlatmanın kişiler üzerindeki psikolojik etkileri, ofis çalışanlarının kişisel tercihleri ve davranışları konusunda yapılan çalışmalar kısaca ele alınacaktır.

4.1 AYDINLATMANIN FİZYOLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİ

Göze gelen ışık görme işleminin sağlanması yanında merkezi sinir sisteminin de bir çok bölgesini etkileyerek kişiler üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkiler yaratır. 24 saatlik zaman dilimini içeren bir günlük periyot boyunca insan vücudunda ritmik bir değişim söz konusudur. Vücut ısısı, kan basıncı, fiziksel güç, dikkat yoğunluğu ve görsel duyarlılık vücutta meydana gelen değişimlerin başlıcalarıdır [21].

Doğal ışığın yokluğu yorgunluk, aşırı uyku, iştah ve kilo artmasına, moral bozukluğuna ve iş veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, özellikle günışığının insanların hormon dengesi üzerinde önemli rol oynadığı, günışığının az olduğu kış aylarında uyku ve stres hormonlarının fazla salgılanması sonucu, insanlarda yorgunluk hissi, kendini iyi hissetmeme, moral bozukluğu gibi sorunların

ortaya çıktığı ve bozulan bu hormon dengesinin uygun yapay aydınlatma ile dengelenebileceği bilinmektedir [22, 23].

İnsanın günboyu değişen biyolojik ritminin bozulmaması ve doğal ışığın yokluğunun yarattığı sakıncaların ortaya çıkmaması için, kişilerin günün üçte birini geçirdikleri iş yerleri gün ışığından mümkün olduğunca fazla faydalanılacak şekilde tasarlanmalıdır. Ancak, genellikle hacim içindeki doğal aydınlatma görsel işlerin yapılması için yeterli olmadığından bunun yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir. Ofislerde kurulacak yapay aydınlatma sistemleri, aydınlatma kriterlerini sağlamasının yanında kişilerin psikolojik yapılarını da olumlu yönde destekleyecek, dolayısıyla iş verimini arttıracak çözümleri de ortaya koyabilmelidir. Ancak insan psikolojisi pek çok parametreye bağlı olduğundan ve kişilere göre farklılık gösterebildiğinden kesin çözümlerin ortaya konulması mümkün olamamaktadır.

4.2 KİŞİSEL TERCİHLERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ortamin fiziksel özellikleri, kişilerin iş performansını etkileyen önemli bir faktördür. Akustik, iklimlendirme, aydınlatma, dış ortam ile olan görsel bağlantı, hacmin tasarımı ve ergonomi ofis çalışanlarının performanslarını ve bulundukları ortamdan hoşnut kalma derecelerini etkileyen başlıca parametrelerdir. Çalışanlar bulundukları ortamdan ne kadar hoşnut iseler performansları da o oranda artmaktadır. Aydınlatma, çevrenin algılanmasında önemli bir faktör olduğundan, çalışanların aydınlatmadan da memnun olmalarını sağlamak gerekmektedir. Ofislerde yapılan deneysel çalışmalardan, aydınlatma hakkında kişisel görüşleri ve çalışanların bulundukları ortamın aydınlatmasından memnuniyetlerini etkileyen bir çok faktör olduğu görülmektedir [24, 25]. Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

- Kişilerin sağlık durumları
- Zihin ve moral durumları
- Ekonomik ve kültürel seviyeleri
- Cinsiyetleri
- Yaşları

- Aynı iş yerinde çalışma süreleri
- Bulundukları kat
- Pencereleere göre hacmin neresinde bulundukları
- Pencereleerin baktıkları yönler
- Ofisin türü (açık ofis, hücresel ofis)

Ancak, bu faktörlerin kişisel memnuniyetleri hangi yönde ve ne kadar etkiledikleri hakkında kesin değerler ortaya konulamamıştır.

4.3 TERCİH EDİLEN AYDINLIK DÜZEYLERİ

Kişilerin tercih ettikleri yapay aydınlık düzeyini belirlemek için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca verilmiştir.

Bodman yaptığı deneysel çalışmalardan, optimum aydınlık düzeyinin kişilerin yaşı ve yaptıkları işin kontrastına bağlı olarak değiştiği sonucunu elde etmiştir. Tercih edilen aydınlık düzeyi değeri düşük kontrast durumunda 1000 lux, yüksek kontrast durumunda ise 1800 lux'dür. 50 yaşın altındaki kişiler 2000 lux, 50 yaşın üzerindeki 5000 lux aydınlık düzeyinde aynı hoşnutluğu duymaktadırlar [26].

Trogenza ve arkadaşlarının penceresiz bir hacimde yaptığı araştırmalar, tercih edilen aydınlık düzeyi değerinin deneye başlanmadan önceki aydınlık düzeyine (adaptasyon aydınlık düzeyine) bağlı olduğunu göstermiştir. Adaptasyon aydınlık düzeyi arttıkça tercih edilen aydınlık düzeyi değeri de artmaktadır. Tercih edilen ortalama aydınlık düzeyi değeri 2297 lux olarak bulunmuştur [27].

Saunders, tercih edilen aydınlık düzeyi değerinin 400 ile 1000 lux arasında değiştiği sonucuna varmıştır [28].

Leslie ve Hartleb'in çalışmalarından, tercih edilen aydınlık düzeyi değerinin adaptasyon seviyesine bağlı olduğu ve kişilerin günlük uyku saatlerinin de tercihler üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kadın ve erkeklerin tercih ettikleri aydınlık düzeyi değerleri birbirinden farklıdır. Erkekler ortalama 1354 lux, kadınlar ise 584

lux aydınlık düzeyini tercih etmektedirler. Kişilerin çoğu dinamik bir aydınlatmayı statik aydınlatmaya tercih etmektedirler [29].

Begemann ve Hendriks'e göre kişiler çalışma masası üzerinde 750 - 1000 lux ve hacimde ortalama 500 lux'lük genel aydınlatma istemektedirler [30].

Völker ve Gall'in çalışmalarından, adaptasyon seviyesi arttıkça tercih edilen aydınlık düzeyi seviyesinin arttığı görülmektedir. 30 lux adaptasyon seviyesinde tercih edilen aydınlık düzeyi 430 lux iken, 600 lux'lük adaptasyon seviyesinde 670 lux'dür [31].

Tenner ve arkadaşlarının, hacim içindeki doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışma masası üzerinde tercih edilen aydınlık düzeyini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri sonuçlar şunlardır:

- Hacim içindeki doğal aydınlık düzeyi arttıkça tercih edilen yapay aydınlık düzeyi azalmaktadır. Doğal aydınlatma yokken 800 lux, 1000 lux'lük doğal aydınlatmada 500 lux ve 1500 lux'lük doğal aydınlatmada 350 lux yapay aydınlık düzeyi istenmektedir.
- Kabul edilebilen minimum yapay aydınlık düzeyi 800 lux, minimum toplam aydınlık düzeyi (doğal + yapay) değeri 900 lux'dür. Tercih edilen ortalama toplam aydınlık düzeyi 1500 lux'dür.
- Duvarların aydınlık düzeyi hacim içindeki tercihleri etkilemektedir.
- Kişilerin tercihleri birbirinden çok farklı olduğundan ofislerdeki aydınlatma sistemi çok esnek olmalıdır ve kişilere uygun ayarlanabilmelidir [32, 33, 34].

Begemann ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalardan elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Kişilerin tercih ettikleri yapay aydınlık düzeyi değerleri birbirinden çok farklıdır. Tercih edilen aydınlık düzeyleri;
 - Hacim içindeki doğal aydınlık düzeyine bağlıdır, fakat doğal aydınlatmanın renk sıcaklığına bağlı değildir.
 - Gök koşullarından etkilenmektedir.

- Mevsimlere bağılı olarak değışmemektedir.
- Kişilerin yaşına bağılı değıldir (deneye katılanlar 23 - 54 yaşları arasındadır).
- Cinsiyete göre farklılık göstermemektedir.

-Gün boyu sabit aydınlık düzeyi yerine doğıal aydınlatmanın ve biyolojik ritmin değışimine uygun dinamik aydınlatma tercih edilmektedir.

-Ofislerdeki aydınlatma kişisel istek ve ihtiyaçlara uyum sağılayabilecek esneklikte olmalıdır [35, 36].

Sun ve arkadaşları ise, sabit aydınlık düzeyi sağılayan otomatik kontrol sistemlerinin, kişilerin aktivitelerini azaltarak performanslarının dűřmesine yol açabileceğini belirterek, bunların yerine dinamik bir aydınlatma sağılayan sistemlerin kullanılmasının daha uygun olabileceğini söylemektedirler [37].

Yukarıdaki literatür incelemesinden, ofis çalışanlarının tercih ettikleri aydınlık düzeylerini belirlemek amacıyla yapılmış olan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların çok farklı oldukları görűlmektedir. Kiřisel tercihleri etkileyen kişisel ve çevresel bir çok faktör olduğından, birbirlerinden farklı ortamlarda, farklı özelliklere sahip belli sayıda denek ile yapılmış olan bu çalışmaların sonuçlarının birbirlerinden farklı olması da normaldir. Kiřisel tercihlerin birbirlerinden çok farklı olması ve hatta aynı kişinin gün boyunca tercih ettiğı aydınlık düzeylerinin bile büyük farklılıklar göstermesi nedeniyle ofis aydınlatması için tercih edilen kesin bir aydınlık düzeyi değıerinin belirlenmesi řu an için mümkün değıildir. Bu nedenle ofislerde kurulacak aydınlatma sistemlerinin kişisel isteklere cevap verebilecek esneklikte olması daha iyi sonuçlar verebilecektir.

BÖLÜM 5

AYDINLATMA KONTROL SİSTEMLERİ

1970’li yıllarda enerji krizinin başgöstermesi ile gündeme gelen otomatik kontrol sistemleri günümüzde enerji tasarrufunun yanısıra konforlu bir çalışma ortamı yaratmak amacıyla da özellikle ofislerde sıkça kullanılmaktadır. Ofislerde tüketilen elektrik enerjisinin içinde aydınlatmanın payının %20 ila %70 arasında olduğu gözönüne alınacak olursa, aydınlatmada otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması ile önemli enerji tasarrufu sağlanabileceği açıktır [38, 39].

Büyük enerji tasarrufu sağlayan otomatik kontrol sistemlerinin başarısı önemli ölçüde, kullanıcıların sistemden memnuniyetlerine bağlıdır. Uygun tasarlanmamış veya çalışanlar tarafından kabul görmeyen sistemlerin, kişilerin iş performansları üzerinde olumsuz etkisi olduğu ve sistemlerin çoğu kez devre dışı bırakıldığı bilinmektedir [40, 41].

Günümüzde özellikle ticari binalarda aydınlatma enerjisi ve maliyet bakımından önemli bir faktör olan aydınlatmanın kontrolunda kullanılan otomatik kontrol sistemlerinin seçiminde, aydınlatılan hacmin özellikleri yanında çalışanların ihtiyaç ve istekleri de gözönünde bulundurulmalıdır [42].

Tüm aydınlatma kontrol sistemleri; ışık kaynağı, kontrol elemanı, lojik devre ve algılayıcı (sensör) olmak üzere dört ana elemandan oluşur. Kontrol sistemlerindeki loşlaştırma anahtarları, röle, anahtar gibi kontrol elemanları ışık kaynağından çıkan ışık akısını elektriksel olarak değiştirirler. Lojik devre ise ne zaman ve ne kadar elektrik enerjisine ihtiyaç olduğunu belirler, yani sistemin beynidir. Lojik devre ışık

algılayıcısı (fotosensör), varlık algılayıcısı veya zaman devresinden gelen bilgileri alır. Aynı sistemde bu elemanlardan bir veya daha fazla bulunabilir.

Aydınlatma kontrol sistemlerinde hacim içindeki doğal aydınlatma, hacmin kullanım amacı, kullanım süresi, yapılan işin veya işlerin türüne göre aşağıda açıklanan kontrol stratejileri kullanılır [43].

5.1 KONTROL STRATEJİLERİ

Aydınlatma kontrolunda kullanılan stratejiler amaca bağlı olarak değişir. Elektrik tüketimini azaltmak için günümüzde aşağıdaki kontrol stratejilerinden biri veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Maksimum enerji tasarrufu sağlamak için genelde kontrol sistemlerinde birlikte kullanılan stratejiler şunlardır;

5.1.1 Zamanlama (Scheduling)

Zamanlama stratejisi öngörülebilir ve öngörülemez zamanlama olmak üzere iki türdür. İdeal olarak aydınlatma, sadece gerektiği zamanlarda açılır ve gerekmediği zamanlarda kapatılır.

5.1.1.1 Öngörülebilir Zamanlama

Günboyunca çalışma periyotları biliniyorsa, öngörülebilir zamanlama stratejisi kullanılır. Zaman anahtarları kullanılarak aydınlatmaya ihtiyaç olmayan saatlerde (öğlen tatili, mesai bitimi, v.b.) aydınlatmanın otomatik olarak kapatılması sağlanabilir. Yıllık çalışma periyodunun bilinmesi durumunda (çalışma saatleri, öğle tatili, hafta sonları, tatiller, temizlik zamanları) aydınlatmanın açılıp kapanma saatleri ve gerekli aydınlık düzeyleri bir mikroişlemci veya bilgisayar ile programlanabilir. Bu strateji kullanılarak %40'lara varan enerji tasarrufu sağlanabilir [10].

5.1.1.2 Öngörülemez Zamanlama

Tek kişilik ofisler, fotokopi odası, konferans salonu, arşiv odası gibi sürekli kullanılmayan hacimlerde çalışma saatlerinin önceden belirlenmesi mümkün

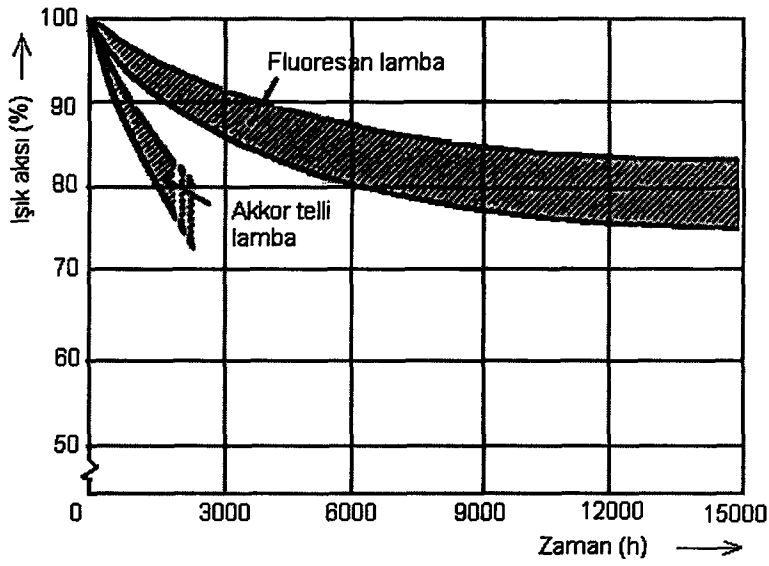
değildir. Bu tür hacimlerde içeride insan bulunduğu sürece aydınlatmanın açık kalması, insan bulunmadığında aydınlatmanın otomatik olarak kapatılması sağlanmalıdır. Öngörülemeyen zamanlama stratejisinde varlık algılayıcıları kullanılarak hacmin kullanılmadığı zamanlarda aydınlatmanın otomatik olarak kapatılması ile %60'lara varan enerji tasarrufu sağlanabilir [10]. Çok sayıda kişinin çalıştığı açık plan ofislerde varlık algılayıcıları kullanılarak yapılan bölgesel kontrol diğer çalışanları rahatsız ettiğinden bu stratejinin kullanımı uygun değildir [40, 41, 44].

5.1.2 Bölgesel Kontrol (Tuning)

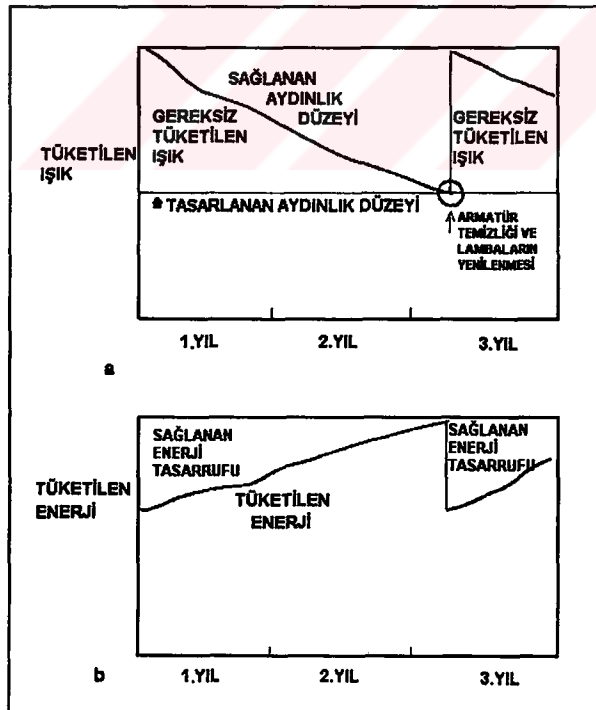
Aydınlatma sistemleri genellikle hacimdeki en kritik veya en zor işler için gerekli olan aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde tasarlanır. Bu şekilde tasarlanan bir hacimde daha basit görsel işlerin yapıldığı alanlarda gereğinden fazla aydınlık düzeyi yaratılmış olur. Bu durumu ortadan kaldırmak için hacim bölgelere ayrılarak her bir bölge için gereken aydınlık düzeyleri sağlanacak şekilde sistem tasarlanır ve bu bölgelerin kontrolü ayrı ayrı yapılır. Her bir bölgede, orada gerçekleştirilecek görsel iş için gereken aydınlık düzeyi sağlanarak, enerji tasarrufu elde edilmiş olur. Bu strateji kullanıldığında düzgünlük oranlarına dikkat etmek gerekir.

5.1.3 Bakım Altında Işık Akısı Kontrolü (Lumen Maintenance)

Aydınlatma sistemleri genellikle, normal işletme durumunda oluşacak minimum aydınlık düzeyine göre tasarlanır. Hesaplarda zaman içinde lambaların ışık akılarının azalmasının (Şekil 5.1), armatür ve hacim yüzeylerinin kirlenmesinin yol açtığı aydınlık düzeyindeki azalmayı gözönüne alan bir bakım faktörü dikkate alındığından yeni tesisatın sağladığı aydınlık düzeyi istenilen değerin %20 - %35 fazlası olabilmektedir.



Şekil 5.1 Fluoresan ve akkor telli lambaların ışık akılarının zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 5.2 Işık akısı kontrol stratejisi. a) Kontrol yapılmadığı durumlarda aydınlık düzeyi zamanla azalır fakat enerji tüketimi sabit kalır. b) Işık akısı kontrolü ile aydınlık düzeyi sabit kalır ve enerji tasarrufu sağlanır.

Loşlaştırılabilir sistemlerde bir ışık algılayıcısı kullanılarak gerçekleştirilen bu stratejide istenilen aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde lambaların ışık akıları azaltılır. Zaman içinde aydınlık düzeyi azaldıkça güç arttırılarak istenilen aydınlık düzeyi elde edilir (Şekil 5.2). Bu strateji kullanılarak sağlanacak enerji tasarrufu % 14 civarındadır [45].

5.1.4 Puant Zaman Sınırlandırması (Peak Demand Limiting)

Elektrik enerjisinin, puant zamanına bağlı olarak fiyatlandırıldığı ülkelerde kullanılan bir stratejidir. Elektriğin pahalı olduğu zaman diliminde aydınlık düzeyi loşlaştırma suretiyle yavaş olarak biraz azaltılır, böylece enerji tüketimi ve harcamaları azaltılmış olur. Bu işlem kullanıcılar tarafından fark edilmeyecek şekilde yapılmalıdır.

5.1.5 Doğal Aydınlatma

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol stratejisinde pencerelerden hacme giren doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapay aydınlatma ya anahtarlama suretiyle açılıp kapatılır veya loşlaştırma düzenleri yardımıyla hacim içindeki toplam aydınlık düzeyi (yapay + doğal) istenilen değerde sabit kalacak şekilde ayarlanır. Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol stratejisi ayrı bir başlık olarak Bölüm 6'da detaylı olarak anlatılacaktır.

5.2 KONTROL YÖNTEMLERİ

Kontrol sisteminde kullanılacak strateji veya stratejilere karar verildikten sonra, bunlara en uygun kontrol yöntemleri belirlenir. Kontrol yöntemleri belirlenirken aşağıdaki her üç kategoride belirtilen durumlardan en uygun olanları seçilir.

Açma-kapama veya loşlaştırma

Merkezi veya lokal kontrol

Elle veya otomatik kontrol

5.2.1 Açma-Kapama veya Loşlaştırma

Anahtarlama suretiyle yapılan kontrolde, aydınlatma yükleri kontrol sistemindeki bir röle ile açılır veya kapatılır. İlk tesis masrafı loşlaştırma sistemlerine göre oldukça ucuzdur. Özellikle, hacimde insan olup olmamasına göre kontrol yapan zamanlama stratejisinde kullanılması uygundur.

Loşlaştırma suretiyle yapılan kontrol ile her bir bölgedeki aydınlık düzeyi o bölgedeki görsel ihtiyaçlara uygun olarak ayarlanabilir. Doğal aydınlık düzeyi sürekli değişen, dinamik bir büyüklük olduğundan, özellikle doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapılan kontrol stratejisi için çok uygundur. Hacim içindeki doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak yapay aydınlık düzeyini ayarladığından loşlaştırma suretiyle yapılan kontrol ile büyük enerji tasarrufu sağlanabilir. Ancak ilk tesis masrafı anahtarlama ile yapılan kontrol sistemlerine göre çok pahalı olduğundan, hacmin doğal aydınlatma koşulları belirlendikten sonra sistemin ekonomik olup olmadığına karar verilebilir.

5.2.2 Merkezi veya Lokal Kontrol

Aydınlatma kontrol sistemleri merkezi, lokal veya her ikisinin kombinasyonu şeklinde olabilir. Lokal kontrolde her bir bölge, kendi bölgesindeki algılayıcıdan gelen sinyallere göre diğer bölgelerden bağımsız olarak kontrol edilir. Merkezi kontrolde ise algılayıcı veya algılayıcılardan gelen sinyaller tek bir merkezde toplanarak değerlendirilir ve önceden belirlenmiş olan stratejilere uygun olarak her bir bölgenin kontrolü yapılır.

5.2.3 Elle veya Otomatik Kontrol

Aydınlatma sistemlerinin kontrolü elle veya otomatik olabilir. Otomatik kontrol elle kumanda sistemlerine göre çok daha etkin olmakla birlikte, tek başına kullanılması uygun değildir. Olağan dışı durumlarda kişilerin aydınlatmaya müdahale edebilmesine olanak sağlanmalıdır. Elle kumanda olanağı olmayan otomatik kontrol sistemlerinin insanlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir [46] .

BÖLÜM 6

DOĞAL AYDINLATMAYA BAĞLI KONTROL

Çalışma hacimlerindeki aydınlatma, yapay aydınlatma ile güvenli bir şekilde sağlanabilir. Aydınlatma tesisatları, gerekli aydınlık düzeyi yapay aydınlatma ile her zaman sağlanacak şekilde hacim içindeki doğal aydınlatma gözönüne alınmaksızın planlanmaktadır. Oysa çalışma hacimlerinde, dış çevre ile görsel bağlantı kurulması açısından pencereler bulunmak zorundadır [47]. Ofislerde genelde gündüz saatlerinde çalışıldığından çalışma saatlerinin büyük bir kısmında belki de tümünde az veya çok doğal aydınlatma mevcuttur.

1970’li yıllarda ortaya çıkan enerji krizi, tüm dünyada enerji tasarrufunu gündeme getirmiş ve bu konudaki çalışmaların hızla artmasına sebep olmuştur. Aynı yıllarda İngiltere’de Bina Araştırma Teşkilatı (Building Research Establishment) tarafından aydınlatmada sağlanabilecek enerji tasarrufunu belirlemek amacıyla bir çalışma programı başlatılmıştır. Bu program çerçevesinde pek çok ofiste yapılan gözlem ve deneylerden elde edilen sonuçlar şunlardır [48, 49, 50] :

- Ofislerde, genellikle aydınlatma gün boyu ya sürekli açık ya da kapalıdır.
- Kişiler aydınlatmayı hacme girdiklerinde açmaktadırlar ve gün içinde çok nadir olarak kapatmaktadırlar.
- Kişilerin odaya girdiklerinde aydınlatmayı açma olasılıkları, hacimdeki en karanlık noktadaki doğal aydınlık düzeyi ile ilgilidir.

P.R. Boyce’ un açık plan iki ofiste yaptığı çalışmalar da bu sonuçları desteklemektedir [51].

Bu çalışmaların sonuçlarından, yapay aydınlatmanın doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol edilmesi durumunda, önemli enerji tasarrufları sağlanabileceği görülmüştür.

Ofislerde yapılan bu gözlemler, doğal aydınlatmanın hacim içinde yeterli aydınlık düzeyini sağladığı durumlarda bile, yapay aydınlatmanın tümüyle devrede olduğunu göstermiştir. Bu da elektrik enerjisinin gereksiz yere tüketilmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen bir diğer sonuç ise, kişilerin hacme girdiklerinde doğal aydınlık düzeyinin yeterli olması durumunda aydınlatmayı açmadıkları ve günün ilerleyen saatlerinde doğal aydınlık düzeyinin hacim içinde yeterli aydınlık düzeyini sağlayamaması durumlarında bile yapay aydınlatmayı devreye sokmadıklarıdır. Aydınlık düzeyinin yeterli seviyede olmaması, çalışanların performansını düşürdüğünden iş veriminin azalması söz konusu olmaktadır. Yapay aydınlatmayı doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol eden sistemlerin kullanılması ile bu sakıncaları ortadan kaldırmak mümkündür.

Yapay aydınlatmanın doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol edildiği ofislerde sağlanacak enerji tasarrufunu belirlemek amacıyla yapılmış olan deneysel çalışmalar, böyle bir sistem kullanarak % 25 - % 50 enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuştur [52 - 56]. Bu çalışmalar sırasında, kişilerin bu sistemlere karşı olan tepkileri de belirlenmeye çalışılmıştır. İnsanların, loşlaştırma sistemlerini açma-kapama (on – off) sistemlerine tercih ettikleri ve otomatik kumanda yanında, sisteme elle kumanda edebilme imkanı istedikleri belirlenmiştir [46, 57].

Bu bölümde doğal aydınlatmaya bağlı kontrol stratejisinde kullanılan kontrol yöntemleri, bunların ekonomik değerlendirilmesi ve kullanılan kontrol algoritmaları anlatılmıştır.

6.1 KONTROL YÖNTEMLERİ

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol sistemleri üç temel elemandan oluşur:

- 1) Işık algılayıcısı (fotosensör): Üzerine düşen ışık miktarına bağlı olarak elektrik sinyalleri üretir.
- 2) Kontrol ünitesi : Işık algılayıcısından gelen sinyalleri kullanılan almıtmaya bağılı olarak değerdendirerek kumanda sinyallerine çevirir.

- 3) Kumanda birimi: Kontrol ünitesinden gelen sinyallere göre lambalara kumanda eder.

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol stratejisinde pencerelerden hacme giren doğal aydınlatmaya bağlı olarak, yapay aydınlatma ya anahtarlama suretiyle açılıp kapatılır yada loşlaştırma düzenleri yardımıyla hacim içindeki toplam aydınlık düzeyi (yapay + doğal) istenilen değerde sabit kalacak şekilde ayarlanır.

6.1.1 Açma – Kapama

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrolün açma-kapama tekniği kullanılarak gerçekleştirildiği aydınlatma sistemleri ilk tesis masrafları açısından oldukça ucuzdur. Ancak enerji tüketimi yani işletme masrafları açısından loşlaştırma sistemleri ile karşılaştırıldığında dezavantajlı olduğu görülmektedir. Çünkü bu sistemler, hacim içindeki doğal aydınlık düzeyinin istenilen aydınlık düzeyi değerinin üzerine çıktığı durumlarda yapay aydınlatmayı kapatırlar. Doğal aydınlık düzeyinin istenilen değerin altında olduğu durumlarda ise yapay aydınlatma tümüyle açık olacağından hacim içindeki toplam aydınlık düzeyi istenilen değerin üzerinde olmaktadır. Lambalara gruplar halinde ayrı ayrı kumanda edilerek daha ekonomik çözümler elde edilebilir.

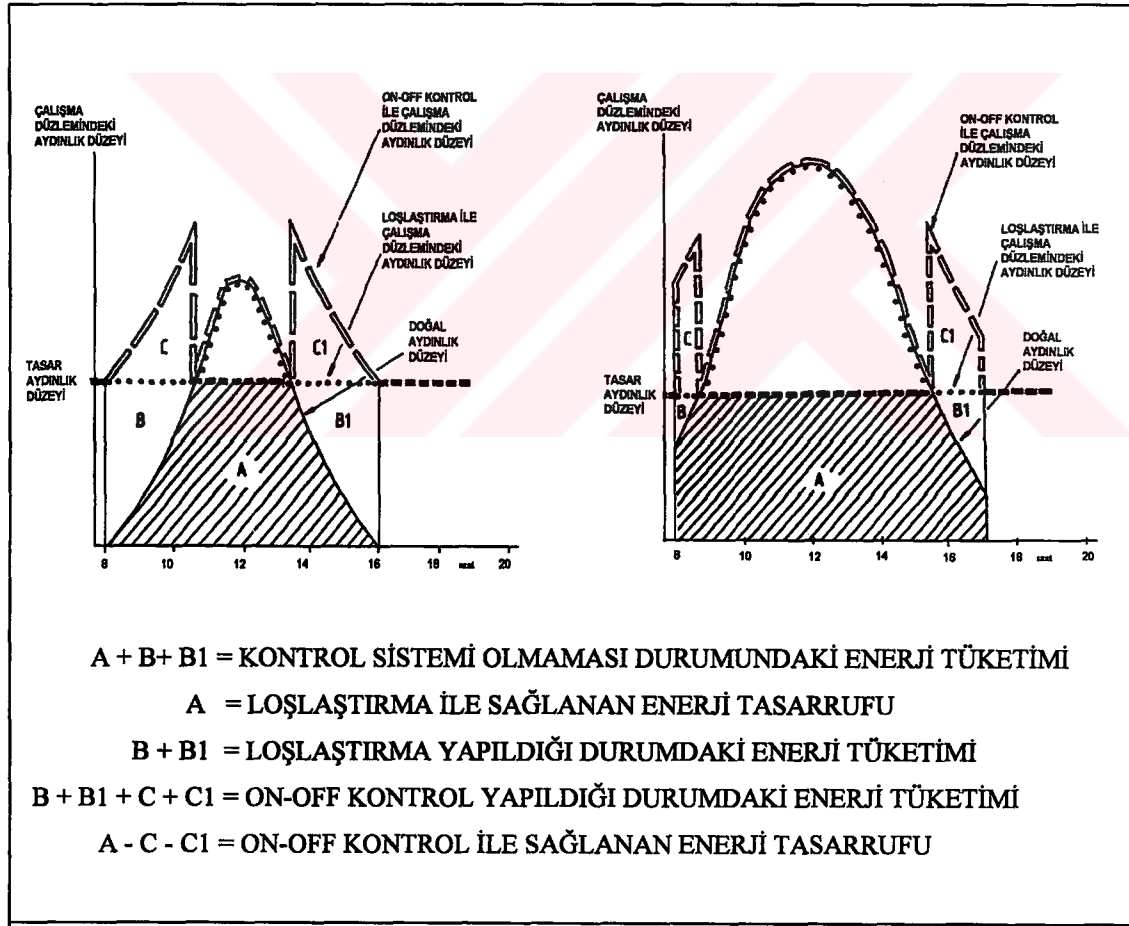
Bu yöntem kullanılarak yapılan kontrolde aydınlık düzeyinde meydana gelen ani ve büyük değişimler çalışanları rahatsız ettiğinden bu sistemler, sadece çalışma saatlerinin büyük bir bölümünde doğal aydınlatmanın yeterli olduğu yani, çalışma saatleri içinde kontrol sisteminin sadece birkaç kere çalışabileceği öngörülen ofislerde kullanılmalıdır [58].

6.1.2 Loşlaştırma

Ofis aydınlatması için en uygun ışık kaynaklarının floresan lambalar olduğu düşünülürse, bu tekniğin kullanılması ancak loşlaştırılabilir elektronik balastlı aydınlatma sistemlerinde mümkün olmaktadır. Loşlaştırılabilir elektronik balastların

fiyatlarının çok yüksek olması nedeniyle ilk tesis masrafı, açma-kapama sistemlerine göre oldukça yüksektir.

Yapay aydınlık düzeyi hacim içindeki doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak, toplam aydınlık düzeyi istenilen değerde sabit kalacak şekilde ayarlandığından, elde edilecek enerji tasarrufu, açma- kapama sistemlerinden oldukça fazladır. Şekil 6.1’de doğal aydınlık düzeyi farklı iki ayrı hacim için açma-kapama ve loşlaştırma teknikleri kullanılarak sağlanacak enerji tasarrufları şematik olarak gösterilmiştir [59].



Şekil 6.1 Doğal aydınlık düzeyleri farklı iki ofis için açma-kapama (on-off) ve loşlaştırma kontrolü ile elde edilecek enerji tasarrufları

Bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilen otomatik kontrol sistemlerinde, aydınlık düzeyindeki değişimler çok yavaş olduğundan, açma-kapama sistemlerine göre kullanıcılar tarafından daha fazla kabul görmektedirler.

6.2 KONTROL ALGORİTMALARI

Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol sistemlerindeki kontrol ünitesi, ışık algılayıcısından gelen sinyalleri, kullanılan algoritma yardımı ile değerlendirerek lambaların loşluk seviyelerini belirler. Yapay aydınlatmayı kontrol etmek için kapalı çevrim kontrol ve açık çevrim kontrol olmak üzere iki temel kontrol algoritması kullanılmaktadır. Her iki tip kontrolde da, kullanılan kontrol algoritması ve algılayıcıların yeri sistemin doğru çalışması açısından büyük önem taşımaktadır [60, 61, 62, 63].

6.2.1 Kapalı Çevrim Kontrol

Kapalı çevrim kontrolde ışık algılayıcısı, çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini (doğal + yapay) görecek şekilde yerleştirilir. Algılayıcının çalışma düzlemine yerleştirilmesi, montaj zorluğu ve algılayıcının üzerinin kapanma olasılığı dolayısıyla pratik olmadığından, tavana monte edilir. Bu durumda algılayıcı üzerindeki aydınlık düzeyi, çalışma düzleminden yansıyan doğal ve yapay ışığın toplamından oluşmaktadır. Sistemin doğru çalışabilmesi için algılayıcı yerlerinin doğru seçilmesi önemlidir. Algılayıcılar günışığını ve armatürlerden çıkan ışığı direkt olarak görmeyecek şekilde yerleştirilmelidirler. Amaç çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyini belli bir seviyede tutmak olduğundan, tavana monte edilen algılayıcı üzerinde oluşan aydınlık düzeyi ile çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi arasındaki oranın doğru belirlenmesi ve sistemin buna göre kalibre edilmesi gereklidir.

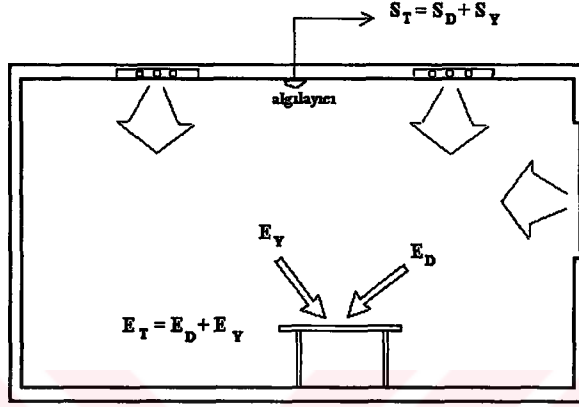
Şekil 6.2' de kapalı çevrim kontrolün yapıldığı bir hacim şematik olarak gösterilmiştir. Burada,

S_T : Algılayıcı çıkış sinyali

S_D : Algılayıcı çıkış sinyalinin doğal aydınlatmaya ait bileşeni

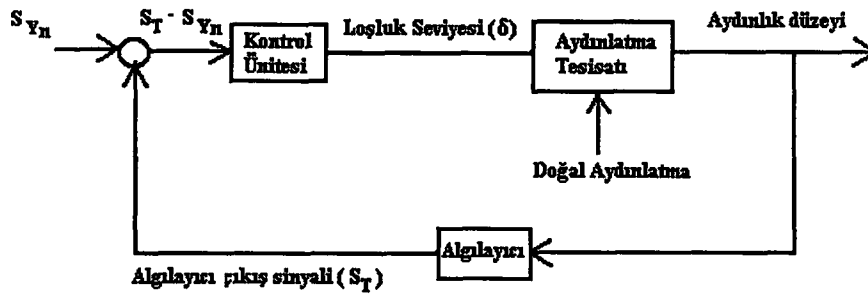
S_Y : Algılayıcı çıkış sinyalinin yapay aydınlatmaya ait bileşeni

E_T : Çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyi
 E_D : Çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi
 E_Y : Çalışma düzlemindeki yapay aydınlık düzeyini
göstermektedir.

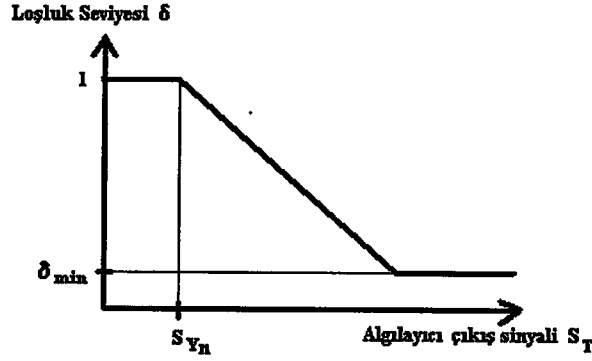


Şekil 6.2 Kapalı çevrim kontrol yapılan bir hacmin kesiti

Şekil 6.3’de blok diyagramı verilmiş olan kapalı çevrim kontrolde, lambaların loşluk seviyesi (δ) ile algılayıcının çıkış sinyali S_T arasındaki ilişki Şekil, 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Kapalı çevrim kontrol için blok diyagramı



Şekil 6.4 Kapalı çevrim kontrolde loşluk seviyesinin algılayıcının çıkış sinyaline bağlı olarak değişimi

S_{Yn} , nominal aydınlık düzeyinin sadece yapay aydınlık düzeyi ile sağlandığı, yani yapay aydınlatmanın tümüyle devrede olduğu ve doğal aydınlatmanın bulunmadığı durumdaki algılayıcı çıkış sinyali,

M , sistemin, nominal aydınlık düzeyi (E_{Yn}) , elde edilecek şekilde kalibre edildiği t_c anındaki doğal aydınlatma koşullarına göre belirlenen kalibrasyon katsayısı

$$M = \frac{E_D(t_c)}{E_D(t_c) \cdot S_{Yn} - E_{Yn} \cdot S_D(t_c)} \quad (6.1)$$

olmak üzere, sistemin herhangi bir andaki loşluk seviyesi

$$\delta(t) = \begin{cases} M(S_T(t_c) - S_{Yn}) + 1 & 0 \leq S_D \leq \frac{\delta_{\min}(1 - M \cdot S_{Yn}) - 1}{M} + S_{Yn} \\ \delta_{\min} & S_D > \frac{\delta_{\min}(1 - M \cdot S_{Yn}) - 1}{M} + S_{Yn} \end{cases} \quad (6.2)$$

denklemleri ile belirlenir.

(6.1) ve (6.2) no'lu denklemlerde,

M : Kalibrasyon katsayısı,

E_D : Doğal aydınlatmanın çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyi,

S_{Yn} : $\delta = 1$ için algılayıcı çıkış sinyali,

E_{Yn} : Nominal aydınlık düzeyi,

S_D : Algılayıcı çıkış sinyalinin doğal aydınlatmaya ait bileşeni,

δ : Lambaların loşluk seviyesi ($\delta = 1$, yapay aydınlatmanın tümüyle açık olduğu duruma karşılık gelmektedir),

S_T : Algılayıcı çıkış sinyali

dir.

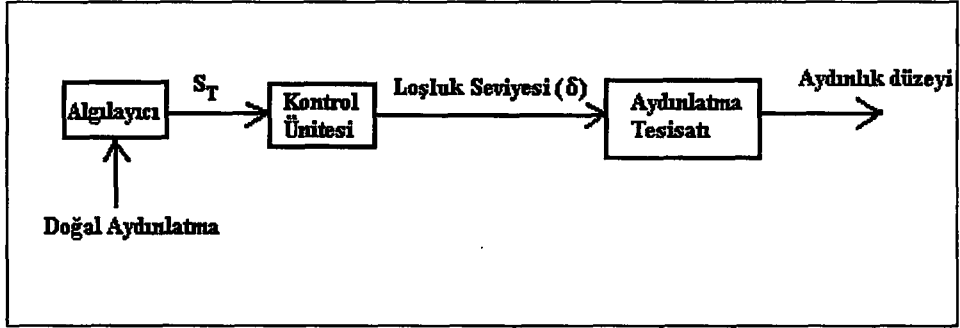
Kapalı çevrim kontrolde, yapay ve doğal aydınlatmanın birlikte algılayıcı üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyine bağlı olarak kontrol yapıldığından, lamba ışık akılarının zaman içinde azalması, hacim yüzeyleri ve armatürlerin kirlenmesinden dolayı çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyinde bir azalma söz konusu olmamaktadır. Yani sistemin başlangıçta bir kere kalibre edilmesi yeterlidir.

6.2.2 Açık Çevrim Kontrol

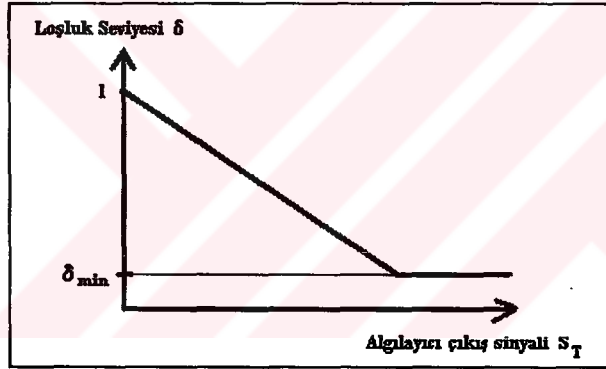
Açık çevrim kontrolde, algılayıcı sadece doğal aydınlatmayı görecektir şekilde yerleştirilir. Algılayıcı ya dışarıya ya da yapay aydınlatmayı görmeyecek şekilde hacim içine yerleştirilir. Bu tür kontrolde, doğal aydınlatmanın algılayıcı üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi ile çalışma düzlemi üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi arasındaki ilişkinin belirlenmesinde problemlerle karşılaşmaktadır. Bu ilişkinin doğru olarak bilinmesi durumunda, binanın çatısına yerleştirilecek tek bir algılayıcı veya algılayıcı grubu ile her bir hacimdeki yapay aydınlatmanın kontrolü mümkün olabilir.

Şekil 6.5'de blok diyagramı verilmiş olan açık çevrim kontrolde, doğal aydınlatmanın algılayıcı üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi ile çalışma düzleminde oluşturduğu aydınlık düzeyi arasında lineer bir ilişki olduğu kabul

edilirse, lambaların loşluk seviyesi (δ) ile ışık algılayıcısı çıkış sinyali (S_T) arasındaki ilişki Şekil 6.6' daki gibi olacaktır.



Şekil 6.5 Açık çevrim kontrol için blok diyagramı



Şekil 6.6 Açık çevrim kontrolde loşluk seviyesinin algılayıcı çıkış sinyaline bağlı olarak değişimi

Açık çevrim kontrolde kalibrasyon katsayısı,

$$M = \frac{E_D(t_c)}{E_D(t_c) \cdot S_{Yn} - E_{Yn} \cdot S_{Yn} - E_{Yn} \cdot S_D(t_c)} \quad (6.3)$$

olmak üzere, sistemin herhangi bir t anındaki loşluk seviyesi,

$$\delta(t) = \begin{cases} M(S_T(t) + 1) & 0 \leq S_D \leq \frac{\delta_{\min}(1 - M \cdot S_{Yn}) - 1}{M} \\ \delta_{\min} & S_D > \frac{\delta_{\min}(1 - M \cdot S_{Yn}) - 1}{M} \end{cases} \quad (6.4)$$

denklemleri ile belirlenir.

Açık çevrim kontrolde yapay aydınlatma, algılayıcı üzerindeki doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak kontrol edildiğinden, lambaların ışık akılarının zaman içinde azalma ve kirlenmesi, yeni bir kalibrasyon yapılmadığı sürece çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin nominal değerin altına düşmesine yol açacaktır. Algılayıcının hacim dışına (dış ortama) yerleştirilmesi durumunda ise, güneşliklerin kontrolü aydınlatma kontrolü ile entegre değilse, hacim içindeki doğal aydınlık düzeyi azalmış olmasına rağmen sistem bunu göremeyeceğinden, çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyi istenilen değerin oldukça altına düşecektir.

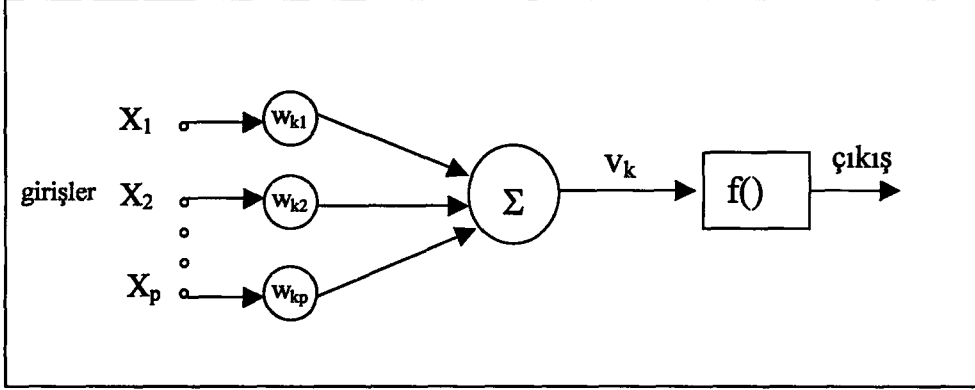
BÖLÜM 7

YAPAY SİNİR AĞLARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

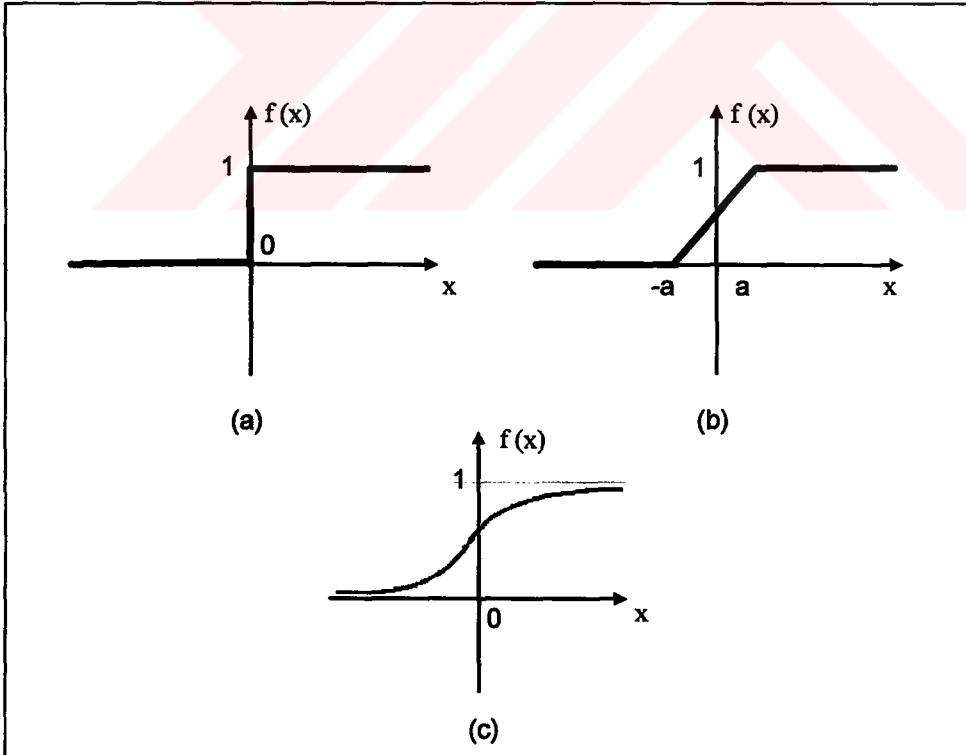
Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks), organik beyinlerden esinlenerek gerçekleştirilmiş elektronik elemanlardan veya bilgisayar yazılımlarından oluşmaktadır. Yapay sinir ağları tıpkı insan beyninde olduğu gibi, öğrenilen bilgileri saklayıp, yeni durumlar karşısında bu bilgileri kullanarak en uygun cevabı verirler. Yapay sinir ağları aşağıda sıralanan üç temel özellikleri ile insan beynine çok benzerler.

- 1) Yapıları elektronik olarak tasarlanmış veya bir yazılım sonucu oluşturulmuş nöronlar ve bunların birbirine bağlantılarından oluşurlar,
- 2) Nöral devrelerde bilgi bir öğrenme sonucunda kazanılır,
- 3) Nöronlar arası bağlantı kuvveti (ağırlık katsayısı) bilgiyi saklamakta kullanılır.

Yapay sinir ağları Şekil 7.1’de şematik olarak gösterilen ve nöron adı verilen çok girişli, tek çıkışlı elemanlardan oluşurlar. Nöronun her bir girişine ait bir ağırlık katsayısı vardır. Her giriş değeri kendisine ait ağırlık katsayısı ile çarpıldıktan sonra, bu değerler toplanır. Elde edilen değer “aktivasyon fonksiyonu” adı verilen doğrusal olmayan bir fonksiyona uygulanarak çıkış değeri belirlenir. Çıkışın ikili bir işaret olması durumunda basamak fonksiyon, sürekli olması durumunda ise sürekli fonksiyon kullanılır. Bu fonksiyonlar, Şekil 7.2’de gösterilen şekillerde olabilirler. Bunların içinde en çok kullanılan sürekli fonksiyon sigmoid fonksiyonudur [64, 65, 66, 67].



Şekil 7.1 Bir nöronun yapısı



Şekil 7.2. Yapay sinir ağlarında kullanılan fonksiyonlar

- a) Basamak
- b) Rampa
- c) Sigmoid fonksiyon

Şekil 7.2 sırasıyla,

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (7.1)$$

şeklinde tanımlanan basamak fonksiyonunu,

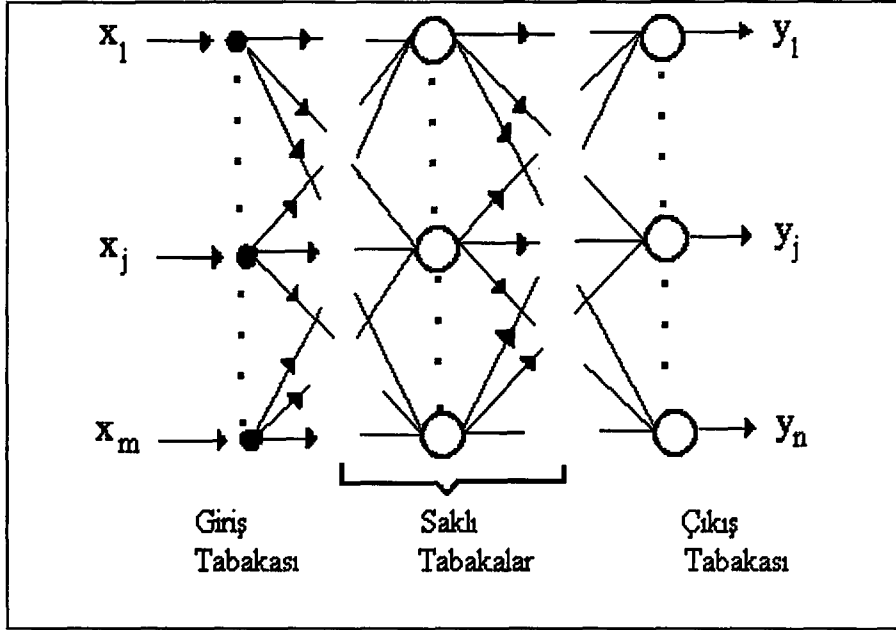
$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq a \\ x, & -a < x < a \\ 0, & x \leq -a \end{cases} \quad (7.2)$$

şeklinde tanımlanan rampa fonksiyonunu ve

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (7.3)$$

şeklinde tanımlanan sigmoid fonksiyonunu göstermektedir.

Yapay sinir ağları, tabaka sayısına göre “tek tabakalı” veya “çok tabakalı”; bilginin akış yönüne göre ise “ileri beslemeli” veya “geri beslemeli” olarak sınıflandırılırlar. Tek tabakalı yapay sinir ağında sadece giriş ve çıkış tabakaları vardır. Çok tabakalı ağlarda ise giriş ve çıkış tabakaları arasında “saklı tabaka” adı verilen bir veya daha fazla tabaka bulunur. Her bir tabakada bulunan nöronlar ağırlık katsayıları ile bu tabakanın önündeki ve arkasındaki tabakalarda bulunan nöronlara bağlıdırlar. Yani, bir yapay sinir ağı, giriş ve çıkışı arasında bir dizi şeklinde oluşturulan tabakalar içerisinde gruplandırılmış bir çok nöronu içerir. Yapay sinir ağlarında, bilginin akış yönü girişten çıkışa doğru ise “ileri beslemeli”; herhangi bir nöronun çıkışı söz konusu nörona veya başka bir nörona giriş olarak uygulanıyorsa yani, sistemde en az bir geri besleme varsa “geri beslemeli” yapay sinir ağı olarak adlandırılır. Çok tabakalı ve ileri beslemeli bir yapay sinir ağı Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Çok tabakalı, ileri beslemeli yapay sinir ağının yapısı

Sistemin amacı en uygun çıkış değerini verecek şekilde ağırlık katsayılarının ayarlanmasıdır. Ağırlık katsayılarının ayarlanması için “öğrenme kuralı” adı verilen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

- Hataya bağlı öğrenme kuralı (error correction learning),
- Hebbian öğrenme kuralı,
- Rekabetçi öğrenme kuralı (competitive learning),
- Boltzman öğrenme kuralı.

Hataya bağlı öğrenme kuralı, bulunan çıkış y_k ile istenen çıkış d_k arasındaki hata

$$e_k = (d_k - y_k) \quad (7.4)$$

olmak üzere,

$$F = \frac{1}{2} \sum_k e_k^2 \quad (7.5)$$

şeklinde tanımlanan toplam karesel hata minimum olacak şekilde ağırlık katsayılarının ayarlanması prensibine dayanır. Ağırlık katsayıları,

$$w_{k+1} = w_k + \eta \nabla_k x_k \quad (7.6)$$

olacak şekilde ayarlanır. Burada ∇ hata gradyenti ve η öğrenme oranı denilen bir sabittir. Momentumlu öğrenmede ise, α momentum sabiti olmak üzere,

$$w_{k+1} = w_k + \eta \nabla_k x_k + \alpha (w_k - w_{k-1}) \quad (7.7)$$

olacak şekilde ağırlık katsayıları ayarlanır.

Yapay sinir ağlarında nöronlara ait ağırlık katsayılarının nasıl ayarlanacağını belirleyen çeşitli öğrenme kuralları olmakla birlikte, genel olarak “denetimli öğrenme”, “denetimsiz öğrenme” ve “takviyeli öğrenme” olmak üzere üç ayrı öğrenme yönteminden söz edilebilir. Denetimli öğrenme yönteminde, öğrenme işlemi giriş büyüklüklerine karşılık gelen çıkış büyüklükleri bilinen, örnek giriş-çıkış çiftleri ile yapılır. Denetimsiz öğrenmede giriş büyüklüklerine karşılık gelen çıkış büyüklükleri bilinmemektedir. Takviyeli öğrenme yöntemi ise tıpkı denetimli öğrenme gibidir. Ancak burada, girişlere karşılık gelen gerçek çıkış değerleri yerine, çıkışların derecesi (sınıfı) bilinmektedir.

Hataya bağlı öğrenme kuralının, çok tabakalı ağlar için geliştirilmiş özel bir hali olan “Hatanın Geriye Yayılımı” kuralının kullanıldığı yapay sinir ağlarına “Geriye Yayılımlı Yapay Sinir Ağı” adı verilmektedir. Denetimli öğrenme yönteminin söz konusu olduğu bu tür ağlarda kullanılan öğrenme kuralına “Geriye Yayılım Algoritması” da denilmektedir. Bu çalışmada, amaca uygun olması nedeniyle, en popüler yöntemlerden biri olan ve pek çok alanda uygulama örnekleri bulunan “Geriye Yayılımlı Yapay Sinir Ağı” kullanılmıştır. Geriye Yayılım Algoritması Ek A’da verilmiştir.

BÖLÜM 8

YAPAY AYDINLIK DÜZEYİ TERCİHLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

Aydınlatma kontrol sistemlerinden beklenen, giriş büyüklüklerine (toplam aydınlık düzeyi, doğal aydınlık düzeyi, saat, odada insan olup olmaması, v.b.) bağlı olarak çıkış büyüklüğü olan yapay aydınlık düzeyinin belirlenmesi ve belirlenen bu değer sağlanacak şekilde lambaların ışık akılarının ayarlanmasıdır. Günümüzde kullanılmakta olan doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol yapan sistemler, hacim içinde günboyu sabit bir aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde yapay aydınlatmayı ayarlarlar. Bu tür otomatik kontrol sistemlerinin giriş büyüklüğü kullanılan algoritmaya bağlı olarak ya çalışma düzlemindeki doğal aydınlık düzeyi, ya da çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyidir. Çıkış büyüklüğü ise yine kullanılan algoritmaya bağlı olarak ya toplam aydınlık düzeyi, ya da yapay aydınlık düzeyi değeridir. Giriş büyüklüğünü belirlemek için hacim içine yerleştirilen bir ışık algılayıcısından çıkan sinyallere bağlı olarak, çalışma düzlemindeki toplam aydınlık düzeyi istenilen değerde, gün boyu sabit kalacak şekilde lambaların loşluk seviyeleri ayarlanır. Doğal aydınlatmaya bağlı kontrol yapan sistemlerin kullanılması ile büyük enerji tasarrufları sağlanabilmektedir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, çalışanların bu sistemlerden memnun olmadıklarını, sabit aydınlık düzeyi sağlayan otomatik kontrol sistemlerinin kişilerin aktivitelerini azaltarak performanslarının düşmesine yol açtığını ve insanların sabit aydınlık düzeyi yerine biyolojik ritmin değişimine uygun dinamik aydınlatmayı tercih ettiklerini göstermektedir [37, 68].

Kullanılacak otomatik kontrol sistemi ile, yapay aydınlık düzeyinin çalışanların isteklerine uygun olarak gün boyu ayarlanması sağlanabilirse, gün boyu sabit aydınlık düzeyi sağlayan doğal aydınlatmaya bağlı kontrol sistemlerinin yarattığı

sakıncaların ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Kişilerin isteklerine cevap verebilecek çıkış büyüklüğünü (yapay aydınlık düzeyi) belirleyip, yapay aydınlık düzeyini buna uygun olarak ayarlayan bir sistem gerçekleştirildiğinde, çalışanların istediği kadar bir aydınlatma sağlanarak, hem gereksiz elektrik enerjisi tüketimi ortadan kaldırılabilir, hem de kişileri memnun edecek optimum çözüme ulaşılabilecektir.

Yapay aydınlık düzeyinin kişisel isteklere uygun olarak gün boyu ayarlanmasını sağlayabilecek otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin geliştirilebilmesi, ancak belli giriş verileriyle kişisel yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin önceden tahmin edilebilmesi ile mümkündür. Bu çalışmada, kişisel yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin tahmin edilmesinde yapay sinir ağı kullanılmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan aydınlatma kontrol sistemlerine farklı bir yaklaşım getirecek olan bu düşüncenin uygulanıp uygulanamayacağını araştırmak için, bu çalışmada bir yıl süreyle gerçek ofislerde, gerçek ofis çalışanlarıyla yapılmış olan deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılmıştır.

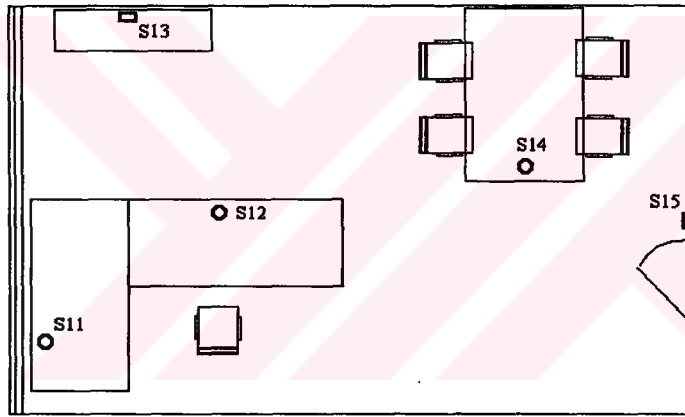
8.1 DENEY DÜZENİ

Bu çalışmada kullanılan veriler, Hollanda'nın Eindhoven şehrinde "Philips Lighting Building" in ikinci katında birbirinin aynı dört ayrı ofiste, ofis çalışanlarının aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı tercihlerini doğal aydınlatmayı da göz önüne alarak belirleyebilmek için 1992 yılında başlatılan ve halen devam etmekte olan bir projeden alınmıştır.

Deneyler kuzeye bakan 3,5 m x 5,6 m boyutlarında ve 3,0 m yüksekliğinde gerçek ofislerde yapılmıştır. Çalışma düzlemi, duvarlar, tavan ve zeminin yansıtma faktörleri sırasıyla, 0,60 ; 0,80 ; 0,70 ve 0,20 dir. Eni 3 m, boyu 2 m olan geniş pencereler bulunmaktadır.

Ofislerde 2'si düşey, 3'ü yatay düzlemde olmak üzere toplam 5 noktada aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Duvarlara monte edilmiş olan düşey aydınlık düzeyini ölçen ışık algılayıcıları zeminden 1.6m yüksekliktedirler. Yatay aydınlık düzeyini ölçen

ışık algılayıcıları ise çalışma düzleminde bulunmaktadır. Şekil 8.1’de ofislerin planı ve ışık algılayıcılarının yerleri gösterilmiştir. Algılayıcıların ölçtüğü büyüklükler toplam aydınlık düzeyleridir (yapay + doğal). Söz konusu noktalardaki yapay ve doğal aydınlık düzeyi değerlerinin ayrı ayrı belirlenebilmesi için ofislerle aynı özelliklere sahip, yapay aydınlatmanın bulunmadığı bir model oda kullanılmıştır. 1:20 ölçekli bu model oda ofislerden birinin camına yerleştirilmiştir. Bu odadaki doğal aydınlık düzeyleri ve ofislerdeki toplam aydınlık düzeyleri aynı anda ölçüldüklerinden kişilerin ayarlamış oldukları yapay aydınlık düzeyi değerleri aradaki farklardan hesaplanmıştır.



Şekil 8.1 Ofis planı ve sensör yerleri

Ofislerin aydınlatması, içlerinde 2 adet 58W lık floresan lamba bulunan prizmatik ekranlı, loşlaştırılabilir elektronik balastlı 6 adet armatür ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma masası üzerindeki aydınlık düzeyi 150 lux - 1500 lux arasında ayarlanabilmektedir.

Deneylerde 55’i erkek, 10’u kadın olmak üzere toplam 65 denek kullanılmıştır. Deneklerin tümü normal yaşamlarında da ofiste çalışan kişilerdir. Tablo 8.1’de deneklere ilişkin özellikler toplu olarak verilmiştir. Deneklerden, aydınlık düzeyini istedikleri sıklıkta ve istedikleri değere ayarlamaları istenmiştir. Aydınlatma her saat

başı otomatik olarak kapatılarak, kişiler aydınlatmayı kendi istekleri doğrultusunda ayarlamaya zorlanmışlardır [69, 70, 71].

Tablo 8.1 Deneklerin özellikleri

Toplam denek sayısı		65	%100
Yaş	<30	8	%12
	30-40	24	%37
	40-50	23	%35
	>50	10	%16
Cinsiyet	Erkek	55	%85
	Kadın	10	%15
Göz	Hiç bir bozukluğu olmayanlar	25	%39
	Sürekli gözlük kullananlar	21	%32
	Okuma gözlüğü kullananlar	8	%12
	Kontakt lens kullananlar	7	%11
	Renk körü olanlar	4	%6
Kullanılan el	Sağ	61	%94
	Sol	4	%6
Meslek	Satış personeli	11	%17
	Tasarımcı	5	%8
	Yönetici	25	%38
	Sekreter	2	%3
	Araştırma-Geliştirme	22	%34

Ofislerdeki ve model odadaki ölçümler çalışma saatleri içerisinde her 6 dakikada bir kaydedilmiştir. Her bir ofis için algılayıcıların ölçtükleri aydınlık düzeyleri, saat ve ofiste çalışan olup olmadığı gibi bilgileri içeren günlük veri dosyaları oluşturulmuştur. Model odada ölçülen aydınlık düzeyi değerleri ve saat ayrı bir veri dosyası olarak kaydedilmiştir. Tablo 8.2’de örnek olarak 11 Aralık 1992 tarihinde çalışma masası üzerinde ölçülen aydınlık düzeyi değerleri verilmiştir.

Tablo 8.2 11Aralık 1992 tarihindeki ölçüm sonuçları

saat	S02	S12	PR	saat	S02	S12	PR
8	117	117	0	13.1	784	1019	3
8.1	117	117	0	13.2	705	980	3
8.2	117	117	0	13.3	705	941	3
8.3	117	117	0	13.4	666	2156	3
8.4	117	117	0	13.5	588	1568	3
8.5	117	117	0	13.6	509	1529	3
8.6	117	117	0	13.7	470	1450	3
8.7	117	117	0	13.8	470	1411	3
8.8	117	117	0	13.9	470	1450	3
8.9	117	117	3	14	431	1411	3
9	117	588	3	14.1	431	1411	3
9.1	117	1617	3	14.2	431	1411	3
9.2	156	1656	3	14.3	470	1490	3
9.3	156	1656	3	14.4	392	1372	3
9.4	196	1696	3	14.5	313	1293	3
9.5	196	1696	3	14.6	352	1333	3
9.6	235	1735	3	14.7	352	1333	3
9.7	235	1735	3	14.8	313	1293	3
9.8	313	1813	3	14.9	352	1333	3
9.9	392	1892	3	15	313	1254	3
10	431	1931	3	15.1	274	1774	3
10.1	509	2009	3	15.2	235	1735	3
10.2	627	2127	3	15.3	156	1656	3
10.3	627	2127	3	15.4	156	1656	3
10.4	627	2127	3	15.5	156	1656	3
10.5	666	2166	3	15.6	156	1656	3
10.6	666	2166	3	15.7	117	1617	3
10.7	666	2166	3	15.8	117	1617	3
10.8	823	2323	3	15.9	117	1617	3
10.9	823	2323	3	16	117	1617	3
11	823	2323	3	16.1	117	1568	3
11.1	862	1607	3	16.2	117	1568	0
11.2	862	1568	3	16.3	117	1568	0
11.3	862	1607	3	16.4	117	1529	0
11.4	823	1529	3	16.5	117	1529	3
11.5	941	1686	3	16.6	117	1529	0
11.6	980	1725	3	16.7	117	1529	3
11.7	980	1725	3	16.8	117	1529	3
11.8	980	1725	3	16.9	117	1529	3
11.9	1058	1803	3	17	117	1529	3
12	1058	1803	3	17.1	117	1019	3
12.1	980	980	3	17.2	117	1019	3
12.2	941	1372	3	17.3	117	1019	3
12.3	823	1215	3	17.4	117	1058	3
12.4	705	1137	0	17.5	117	1058	0
12.5	784	1215	0	17.6	117	1058	0
12.6	901	1293	0	17.7	117	1058	0
12.7	980	1411	0	17.8	117	1058	0
12.8	1058	1490	0	17.9	117	1058	0
12.9	1019	1960	3	18	117	1058	0
13	823	1803	3				

Tablonun ikinci sütunundaki aydınlık düzeyi değerleri, model odada S02 algılayıcısının ölçtüğü değerlerdir. Model odada yapay aydınlatma bulunmadığından, ölçülen bu aydınlık düzeyi değerleri, çalışma masasındaki doğal aydınlık düzeyleridir. Üçüncü sütundaki değerler ise 1 no'lu ofiste, çalışma masası üzerindeki S12 algılayıcısının ölçtüğü aydınlık düzeyleri olup, ölçülen bu değerler çalışma masası üzerindeki toplam (doğal + yapay) aydınlık düzeyleridir. Dördüncü sütundaki PR değerleri ise ofiste çalışan olup olmadığını göstermektedir.

PR = 0, ofiste çalışan yok,

PR = 3, ofiste çalışan var.

8.2 VERİLERİN DERLENMESİ

Bu çalışmada veri olarak Ekim 1992 - Ağustos 1993 tarihleri arasında çalışma saatleri içerisinde (8.00 - 18.00 saatleri arasında) her 6 dakikada bir ölçülen, çalışma masası üzerindeki doğal aydınlık düzeyi ve çalışan kişinin ayarlamış olduğu yapay aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamaları kullanılmıştır (Mayıs ayında yeterli ölçüm olmadığından bu ay inceleme dışında bırakılmıştır). Ofiste çalışan kimse bulunmadığı zamanlarda ölçülmüş olan değerler göz önüne alınmamıştır. Çalışmada kullanılan veriler toplam 65 denek ile yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Tablo 8.3'de çalışmada kullanılan şekilde düzenlenmiş 11 Aralık 1992 tarihli, ofislerden birine ait doğal ve yapay aydınlık düzeylerinin saatlik ortalama değerleri örnek olarak verilmiştir.

Kişilerin tercih ettikleri aydınlık düzeyi değerlerinin hacim içindeki doğal aydınlık düzeyi ve günün saatine bağlı olarak belirlenmesi amaçlandığından, öncelikle hacim içindeki doğal aydınlık düzeyi değerleri incelenmiştir. Her altı dakikada bir ölçülmüş olan çalışma masası üzerinde oluşan doğal aydınlık düzeyi değerleri ve bu değerlerin tüm ölçüm sonuçları içinde kaç kere tekrarladığı (yüzde olarak) her ay için ayrı ayrı bulunmuştur. Ofislerde güneşliklerin kullanıldığı Mayıs 1993'den sonraki zaman diliminde, ofislerdeki doğal aydınlık düzeyleri, her ofis için, model odada ölçülmüş olan doğal aydınlık düzeyi değerleri bir katsayı ile çarpılarak bulunmuştur.

Tablo 8.3 11 Aralık 1992 gününe ait doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamaları

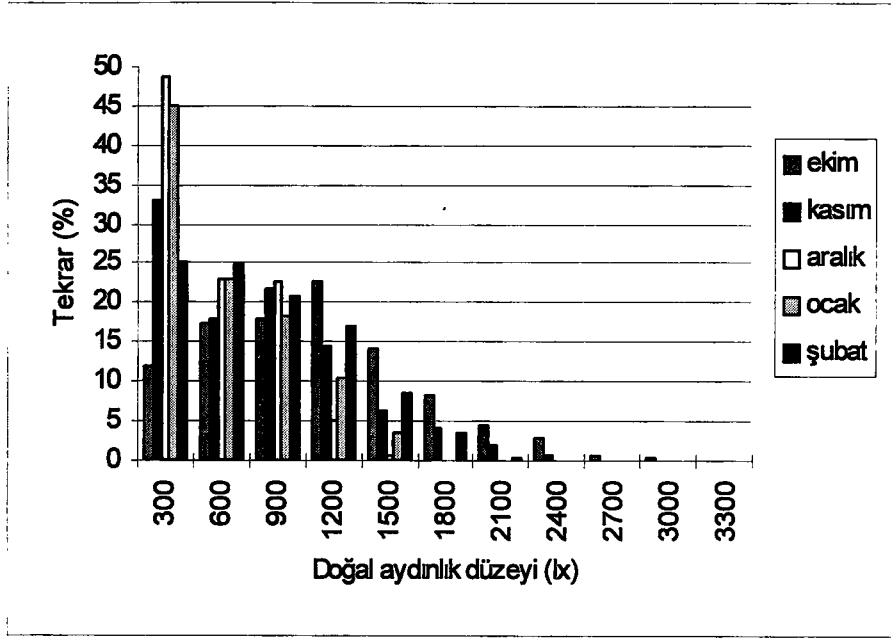
saat	doğal aydınlık düzeyi (lux)	yapay aydınlık düzeyi (lux)
9	242	1682
10	685	1584
11	940	737
12	901	685
13	579	811
14	371	980
15	160	1619
16	116	1418
17	116	911

Çalışma masası üzerinde ölçülen doğal aydınlık düzeyi değerleri ve bunların tekrar yüzdeleri her ay için Tablo 8.4’de ayrı ayrı verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi çalışma masası üzerindeki doğal aydınlık düzeyi değerleri ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında 150lx ile 1800lx arasında değişirken, mart, nisan, haziran, temmuz ve ağustos aylarında 600lx ile 3000lx arasında değişmektedir. Çalışma masası üzerinde ölçülen doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri; ekim – kasım – aralık - ocak - şubat ayları için Şekil 8.2’de, mart – nisan – haziran - temmuz - ağustos ayları için ise Şekil 8.3’de grafik olarak gösterilmiştir. Ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında, çalışma masası üzerinde ölçülen doğal aydınlık düzeylerinin gerek sınır değerleri gerekse dağılımları benzer özellikler göstermektedir. Aynı şekilde mart, nisan, haziran, temmuz ve ağustos aylarında da çalışma masası üzerinde ölçülen doğal aydınlık düzeyleri, sınır değerleri ve dağılımları bakımından kendi içinde benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle, çalışmadaki incelemelerin yaz ve kış ayları olmak üzere iki ayrı grupta yapılması kararlaştırılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat ayları “kış ayları”; mart, nisan, haziran, temmuz ve ağustos ayları ise “yaz ayları” olarak adlandırılacaktır.

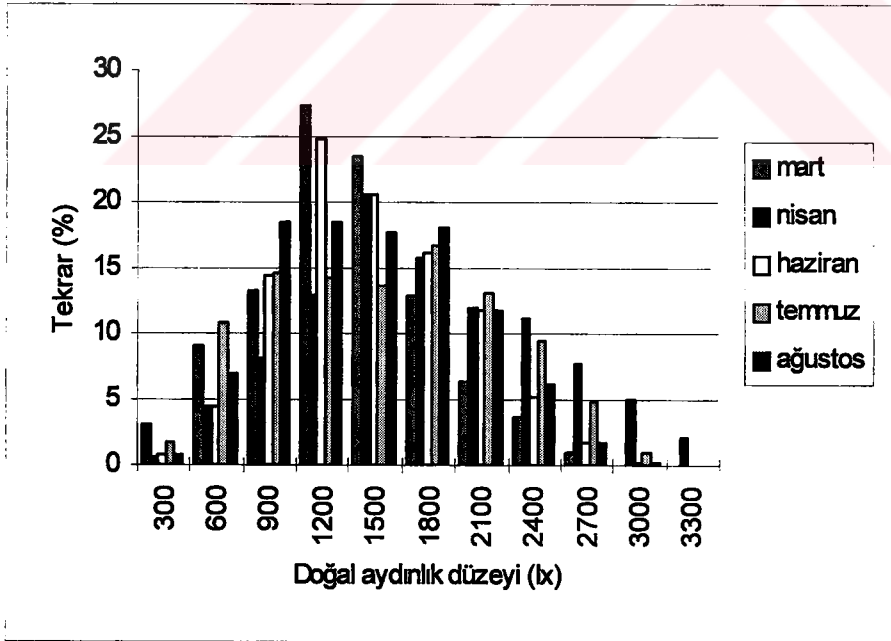
Tablo 8.4 Aylara göre çalışma masası üzerindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri

Doğal ayd düz. (lx).	Tekrar (%)									
	ekim	kasım	aralık	ocak	şubat	mart	nisan	haziran	temmuz	agustos
<300	12	33	49	45	25	3	1	1	2	1
300- 600	17	18	23	23	25	9	4	4	11	7
600-900	18	22	23	18	21	13	8	14	15	18
900-1200	23	14	5	10	17	27	13	25	14	18
1200-1500	14	6	1	3	9	23	21	21	14	18
1500-1800	8	4	0	0	3	13	16	16	17	18
1800-2100	4	2	0	0	0	6	12	12	13	12
2100-2400	3	1	0	0	0	4	11	5	9	6
2400-2700	1	0	0	0	0	1	8	2	5	2
2700-3000	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0
>3000	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

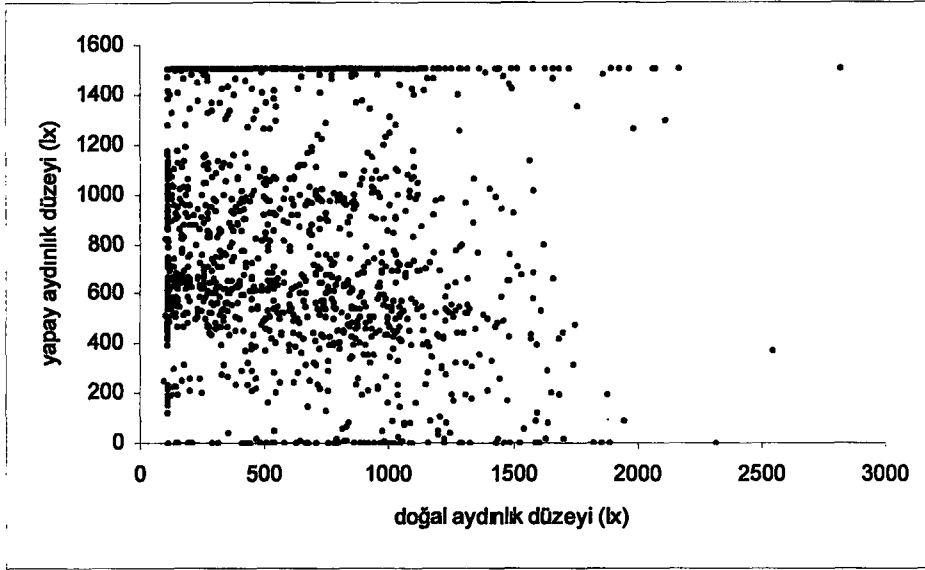
Bu düşünce ile, çalışma masası üzerinde ölçülen doğal aydınlık düzeyleri ve çalışanların ayarlamış oldukları yapay aydınlık düzeyleri ve bu ölçümlerin yapıldığı saatlerden oluşan veri grupları kış ve yaz olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Mevcut ölçüm sonuçlarından kış ayları için toplam 1469, yaz ayları için toplam 2074 adet veri grubu oluşturulmuştur. Yaz ve kış aylarına ait söz konusu veri grupları Ek B' de tablolar halinde verilmiştir. Kış ayları için ölçüm sonuçları (çalışanların istemiş oldukları yapay aydınlık düzeyi, doğal aydınlık düzeyi ve saat) Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'de; yaz ayları için ise Şekil 8.6 ve Şekil 8.7'de grafikler halinde de gösterilmiştir.



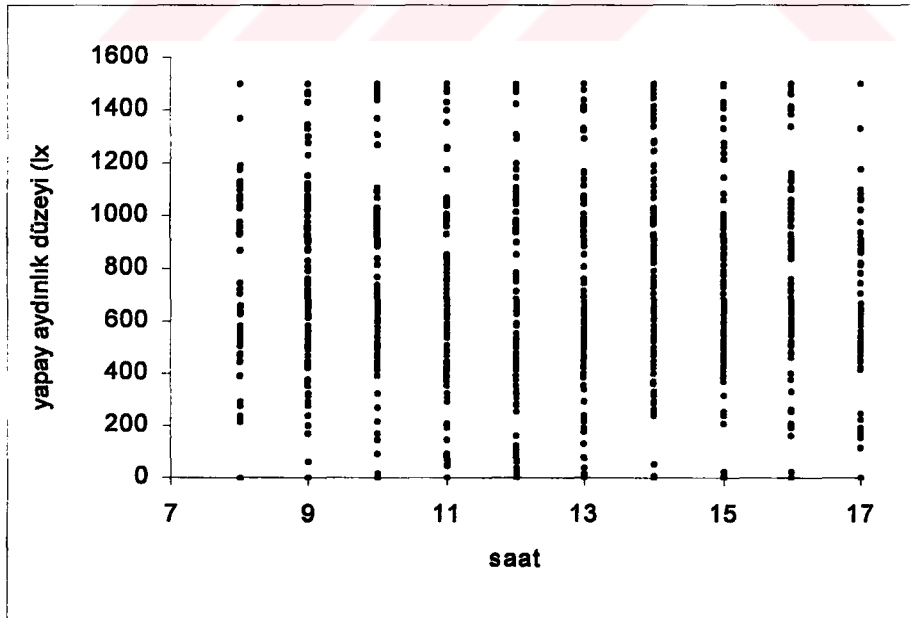
Şekil 8.2 Kış ayları için hacim içindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri



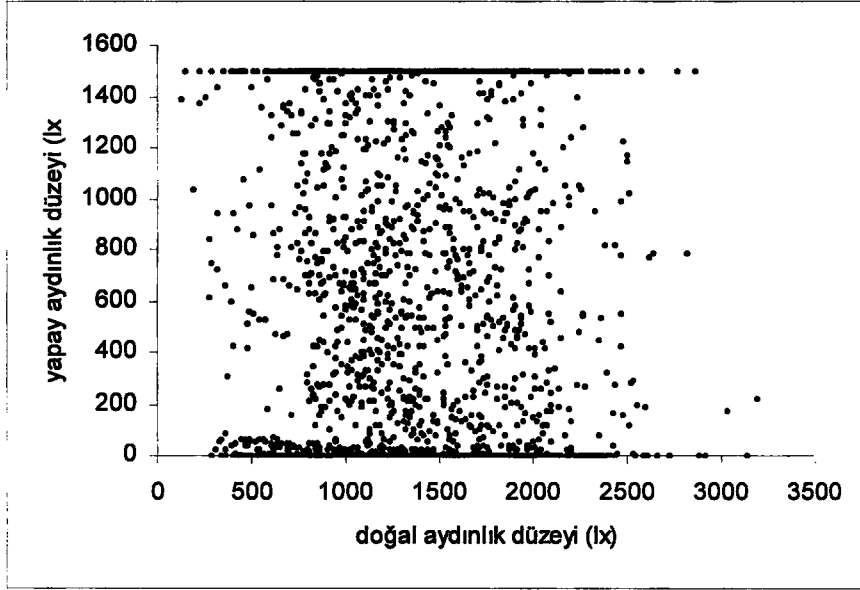
Şekil 8.3 Yaz ayları için hacim içindeki doğal aydınlık düzeyleri ve bunların tekrar yüzdeleri



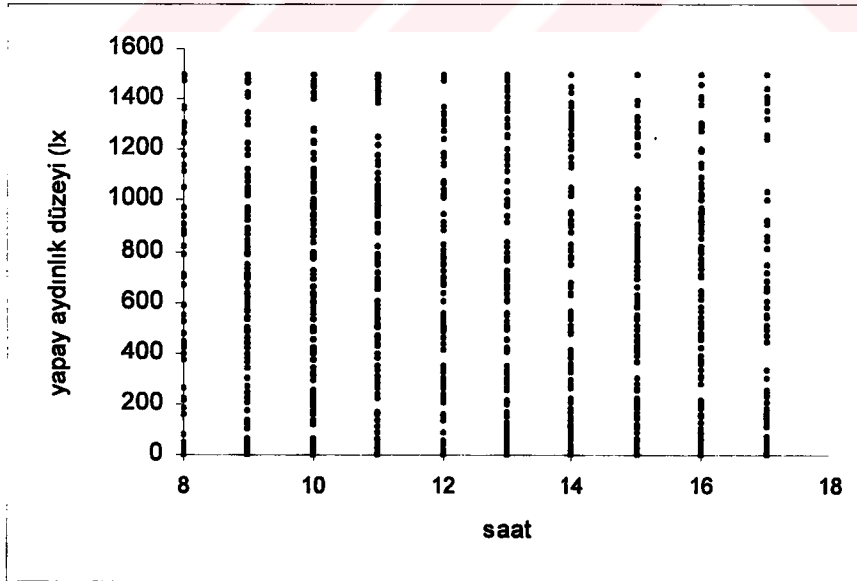
Şekil 8.4 Kış aylarında doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri



Şekil 8.5 Kış aylarında saate bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri



Şekil 8.6 Yaz aylarında doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri



Şekil 8.7 Yaz aylarında saate bağlı olarak çalışanların istedikleri yapay aydınlık düzeyleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi, yapay aydınlık düzeyi tercihleri minimum ve maksimum değerler arasında çok dağınık bir dağılım göstermektedir. Bu nedenle, doğal aydınlık düzeyi ve saate bağlı olarak tüm çalışanların isteklerine cevap verebilecek yapay aydınlık düzeyinin bir matematiksel fonksiyonla ifade edilmesi mümkün değildir. Doğal aydınlık düzeyleri ile yapay aydınlık düzeyleri arasındaki korelasyon katsayısı kış ayları için “ -0,1”, yaz ayları için “ -0,05” ; saat ile yapay aydınlık düzeyleri arasındaki korelasyon katsayısı ise her iki mevsim için de “ -0,02” olarak hesaplanmıştır.

Ofislerde tercih edilen aydınlık düzeylerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmaların çoğunda, mevsim, hacim içindeki doğal aydınlık düzeyi ve saat gibi değişkenler dikkate alınmaksızın, sonuçların ortalamasından tek bir aydınlık düzeyi değeri önerilmektedir. Bu düşünce ile, bu çalışmada incelenen deneysel verilerin ortalaması alınarak elde edilecek tek bir sabit aydınlık düzeyi değerinin, tüm ofis çalışanlarını memnun edemeyeceği verilerin dağılımından açıkça görülmektedir.

Aydınlık düzeyi tercihlerini belirlemek amacıyla son bir kaç yıl içinde yapılmış olan çalışmaların sonuçları ise, kişilerin aydınlık düzeyi tercihlerinin birbirlerinden çok farklı olduğunu, saat ve hacim içindeki doğal aydınlık düzeyinin tercihler üzerinde etkili olduğunu göstermektedir [24, 32, 35]. Ancak, bu çalışmalarda saat ve doğal aydınlık düzeyinin tercihleri nasıl etkilediği konusunda kesin sonuçlar verilmemektedir. Bu tezde incelenen deneysel çalışmadan elde edilen verilere dayanılarak çizilmiş olan Şekil 8.4, 8.5, 8.6 ve 8.7 'deki grafiklerden de kişilerin yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin birbirlerinden çok farklı olduğu ve sadece doğal aydınlık düzeyi veya saate bağlı olarak ifade edilemeyeceği görülmektedir. Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin doğru olarak belirlenebilmesi için başka parametrelere de ihtiyaç vardır.

Deneye katılan 65 kişinin yaş, cinsiyet, v.b. özellikleri (Tablo 8.1) genel olarak biliniyor olmasına rağmen, hangi kişinin hangi gün ve hangi ofiste çalışmış olduğuna dair veriler mevcut olmadığından, deney sonuçlarının incelenmesinde, kişisel özelliklere göre bir gruplandırma yapmak mümkün olamamıştır. Şu ana kadar yapılan incelemelerden, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin sadece doğal aydınlık

düzeyi ve saate bağlı olarak, belirlenmesinin mümkün olmadığı anlaşıldığından, eldeki mevcut verilerden kişisel özellikleri ortaya koyabilecek başka ilişkilerin kurulup kurulamayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları aydınlık düzeyi değeri ile gün boyu tercihleri arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir.

Kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları toplam aydınlık düzeyinin (başlangıç toplam aydınlık düzeyi, E_{BT}), gün boyu tercihler üzerinde etkisini görebilmek için veriler başlangıç toplam aydınlık düzeylerine göre gruplandırılmıştır. Kış ayları için yapılan gruplandırma Tablo 8.5, yaz ayları için yapılan gruplandırma Tablo 8.6'da verilmiştir.

Tablo 8.5 Kış ayları için başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyine (E_{BT}) göre yapılan gruplandırma

Grup no	1	2	3	4	5	6	7
E_{BT} (lx)	<600	600-750	750-900	900-1050	1050-1200	1200-1350	1350-1500
Grup no	8	9	10	11			
E_{BT} (lx)	1500-1650	1650-1800	1800-1950	>1950			

Tablo 8.6 Yaz ayları için başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyine (E_{BT}) göre yapılan gruplandırma

Grup no	1	2	3	4	5	6	7
E_{BT} (lx)	<600	600-750	750-900	900-1050	1050-1200	1200-1350	1350-1500
Grup no	8	9	10	11	12	13	14
E_{BT} (lx)	1500-1650	1650-1800	1800-1950	1950-2100	2100-2250	2250-2400	>2400

Söz konusu her bir grup için gün boyunca kişilerin çalışma düzlemi üzerinde istemiş oldukları yapay aydınlık düzeylerinin (E_{Yort}), o andaki doğal aydınlık düzeylerinin (E_{Dort}) ve toplam aydınlık düzeylerinin (E_{Tort}) ortalamaları hesaplanarak kış ayları için Tablo 8.7, yaz ayları için Tablo 8.8 oluşturulmuştur.

Tablo 8.7 Kış ayları için ortalama aydınlık düzeyi değerleri

Grup No	$E_{Yort}(lx)$	$E_{Dort}(lx)$	$E_{Tort}(lx)$
1	462	489	951
2	537	444	981
3	557	400	957
4	574	652	1226
5	770	525	1295
6	855	608	1463
7	753	702	1455
8	995	747	1742
9	1193	678	1871
10	1086	606	1692
11	1370	871	2241

Tablo 8.8 Yaz ayları için ortalama aydınlık düzeyi değerleri

Grup No	$E_{Yort}(lx)$	$E_{Dort}(lx)$	$E_{Tort}(lx)$
1	51	1235	1286
2	77	1255	1332
3	183	1306	1489
4	294	1334	1628
5	235	1472	1707
6	331	1446	1777
7	158	1382	1540
8	525	1389	1914
9	702	1293	1995
10	640	1440	2080
11	1014	1382	2396
12	1100	1184	2284
13	1047	1238	2285
14	1328	1472	2800

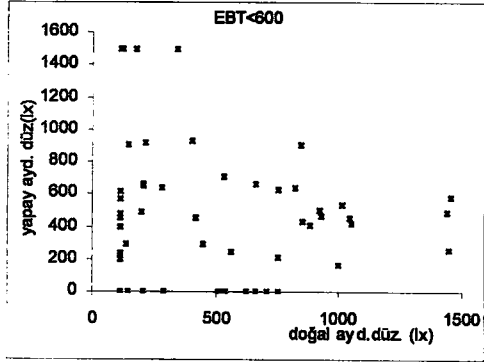
Başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyi (her grup için maksimum değer alınmıştır) ile ortalama yapay aydınlık düzeyleri arasındaki korelasyon katsayısı kış ayları için “ 0,96 ”, yaz ayları için ise “ 0,95 ” olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyi arttıkça gün boyu istenen yapay aydınlık düzeyi değeri de artmaktadır. Yani, çalışmaya başladıkları anda yüksek aydınlık düzeyi isteyen kişiler gün boyu yüksek yapay aydınlık düzeylerini, düşük aydınlık düzeyi isteyen kişiler ise gün boyu düşük yapay aydınlık düzeylerini tercih etmektedirler.

Kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları aydınlık düzeyinin gün boyu tercihler üzerinde oldukça etkili ve kişisel özelliği ortaya koyan önemli bir faktör olduğu görüldüğünden, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin belirlenmesinde giriş büyüklüğü olarak başlangıç toplam aydınlık düzeyinin de alınmasına karar verilmiştir. Bilindiği gibi, başlangıç toplam aydınlık düzeyi

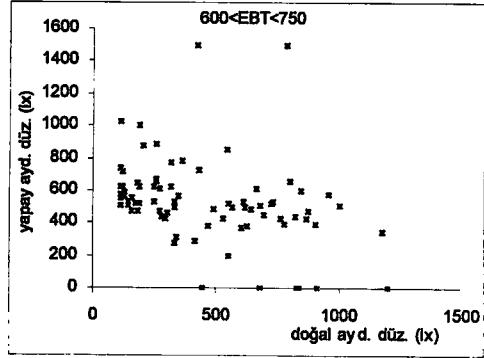
$$E_{BT} = E_{BY} + E_{BD}$$

olmak üzere doğal ve yapay aydınlık düzeyi bileşenlerinden oluşmaktadır. Toplam değer, söz konusu bileşenlere ayrılarak iki ayrı giriş büyüklüğü olarak ele alınmıştır. Bu amaç için Ek B’de verilen tablolardaki, günün ilk değerleri olan doğal aydınlık düzeyi ve yapay aydınlık düzeyi değerleri söz konusu gün için başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır.

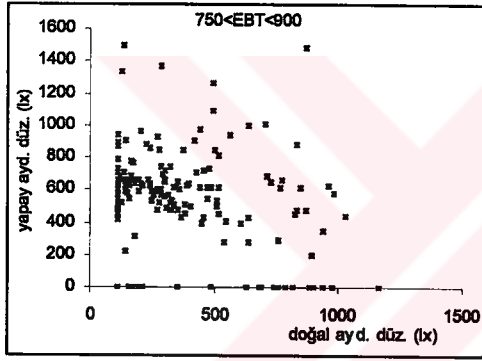
Yukarıda, her bir grup için yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin ortalamaları alınarak, yapılmış olan incelemeler, başlangıçta istenen toplam aydınlık düzeyinin gün boyu tercihler üzerinde etkili olduğunu göstermekle birlikte, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin gün içinde doğal aydınlatmaya ve saate bağlı olarak nasıl değiştiği konusunda bir fikir vermemektedir. Çünkü, Tablo 8.7 ve 8.8’deki doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerleri her bir grup için ölçülen tüm değerlerin ortalamasıdır. Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimleri hakkında fikir edinebilmek amacıyla her grup için, tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerleri ve o andaki doğal aydınlık düzeyi değerleri Şekil 8.8 ve Şekil 8.9’da kış ve yaz ayları için gösterilmiştir. Her bir gruba ait deneyler çok sayıda gün ve birden fazla sayıda denek ile yapılmış olduğundan, aynı doğal aydınlık düzeyine birden fazla yapay aydınlık düzeyi karşılık gelebilmektedir.



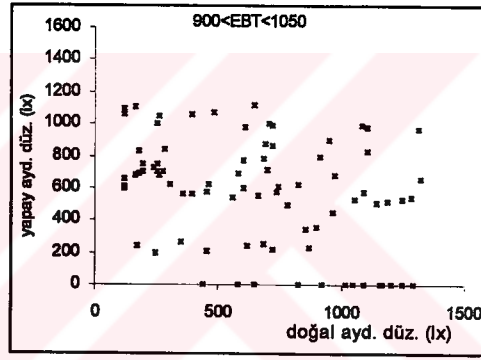
(a)



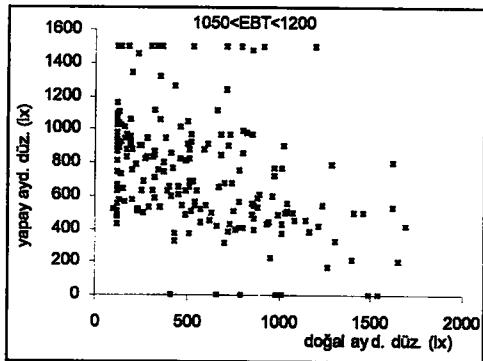
(b)



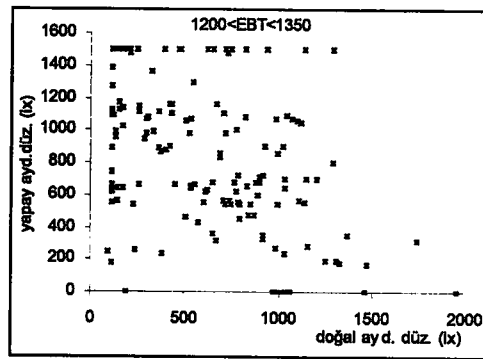
(c)



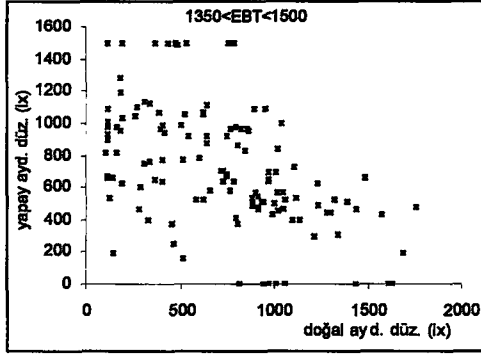
(d)



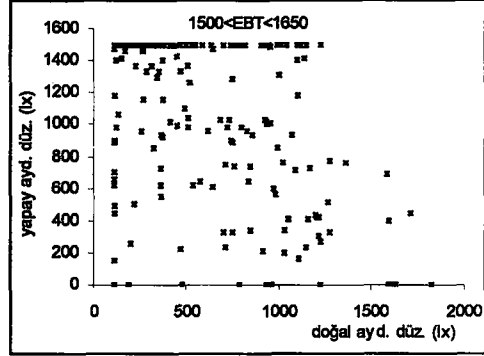
(e)



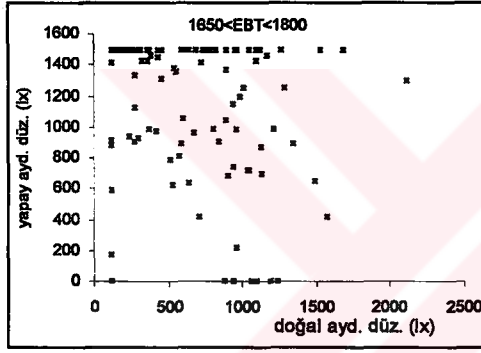
(f)



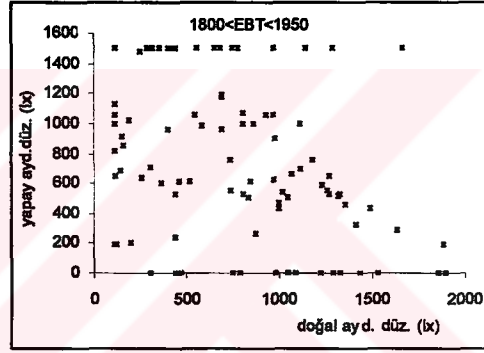
(g)



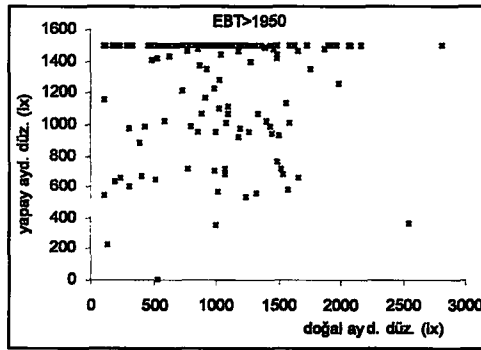
(h)



(i)

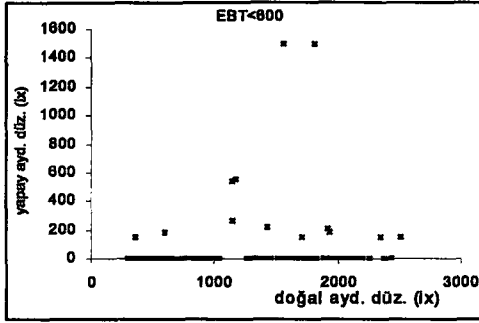


(j)

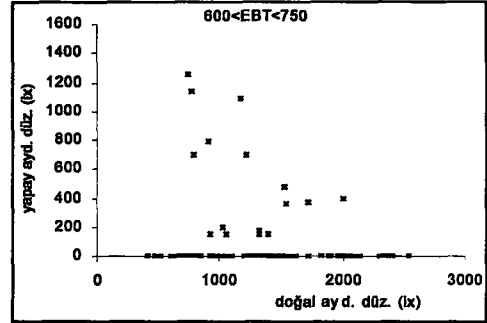


(k)

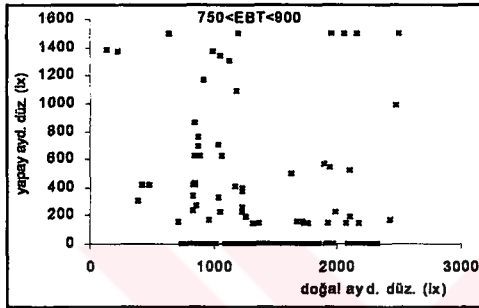
Şekil 8.8 Kış aylarında her grup için çalışma masası üzerinde ölçülen doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerleri



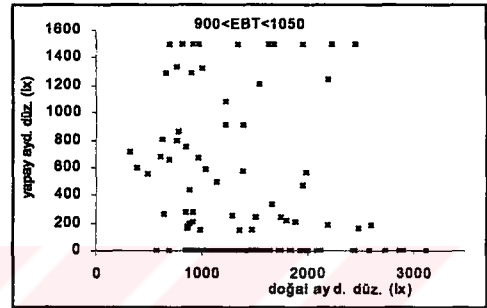
(a)



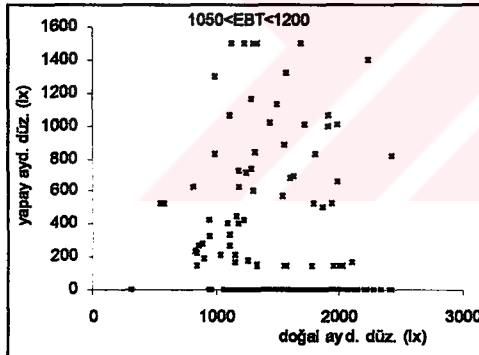
(b)



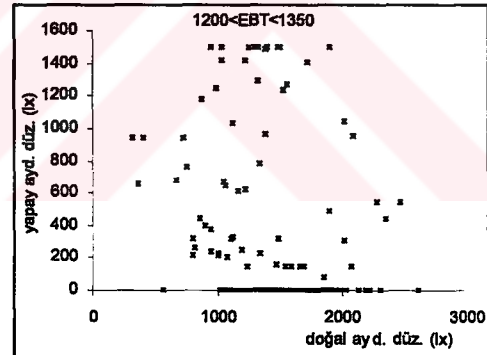
(c)



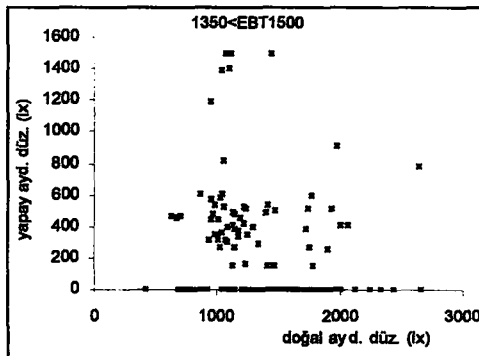
(d)



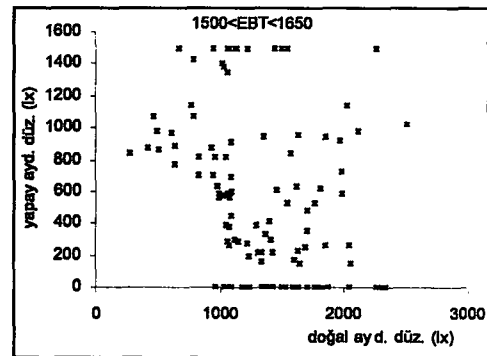
(e)



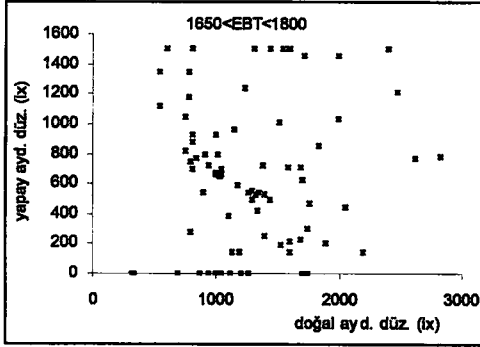
(f)



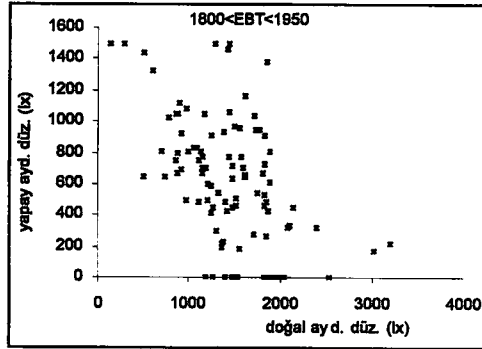
(g)



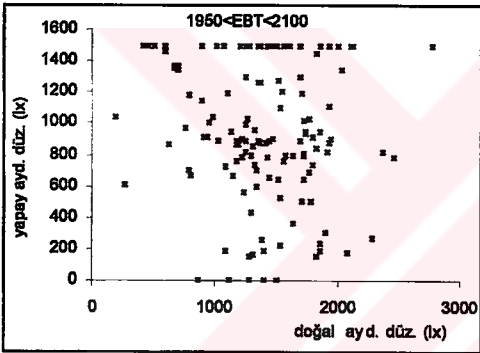
(h)



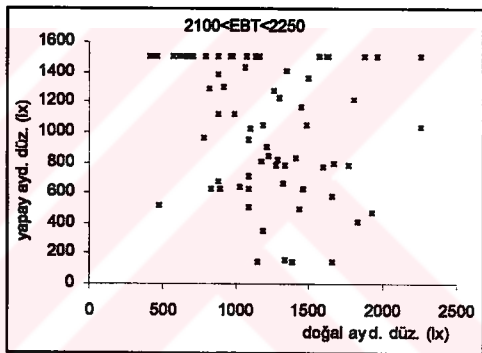
(i)



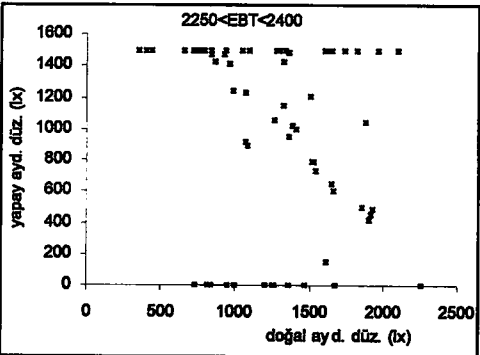
(j)



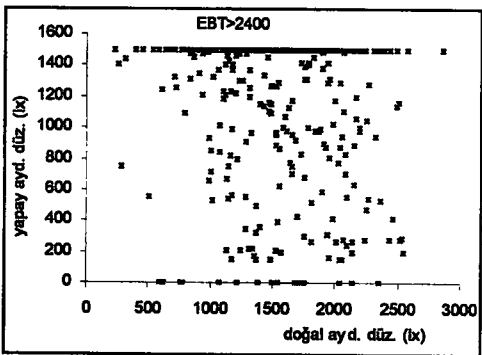
(k)



(l)



(m)



(n)

Şekil 8.9 Yaz aylarında her grup için çalışma masası üzerinde ölçülen doğal ve yapay aydınlık düzeyi değerleri

Doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin genel olarak nasıl bir eğilim gösterdiklerini belirlemek amacıyla, başlangıç toplam aydınlık düzeylerine göre gruplandırılmış olan Şekil 8.8 ve 8.9'daki veriler kullanılarak yapay sinir ağı yardımıyla her bir grup için bir eğri uydurulmuştur. Burada amaç, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak tüm insanlar için genel bir eğilim gösterip göstermediğinin ortaya konulmasıdır. Yapay sinir ağı, burada sadece eğri uydurmak amacıyla kullanılmıştır. Girişi doğal aydınlık düzeyi, çıkışı yapay aydınlık düzeyi olan yapay sinir ağı kullanılarak kış ayları için elde edilen eğriler Şekil 8.10, yaz ayları için elde edilen eğriler ise Şekil 8.11'de gösterilmiştir.

Kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den küçük olduğu durumlarda (Şekil 8.10 a), tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerleri 300 lx ile 900 lx arasında değişmekte ve doğal aydınlık düzeyi değeri arttıkça genel olarak azalmaktadır. Başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den büyük olduğu durumlarda (Şekil 8.10 b) ise 600 lx ile 1300 lx arasında değişen tercih edilen yapay aydınlık düzeyinin doğal aydınlatmaya bağlı genel bir eğilim gösterdiğinin söylenmesi zordur.

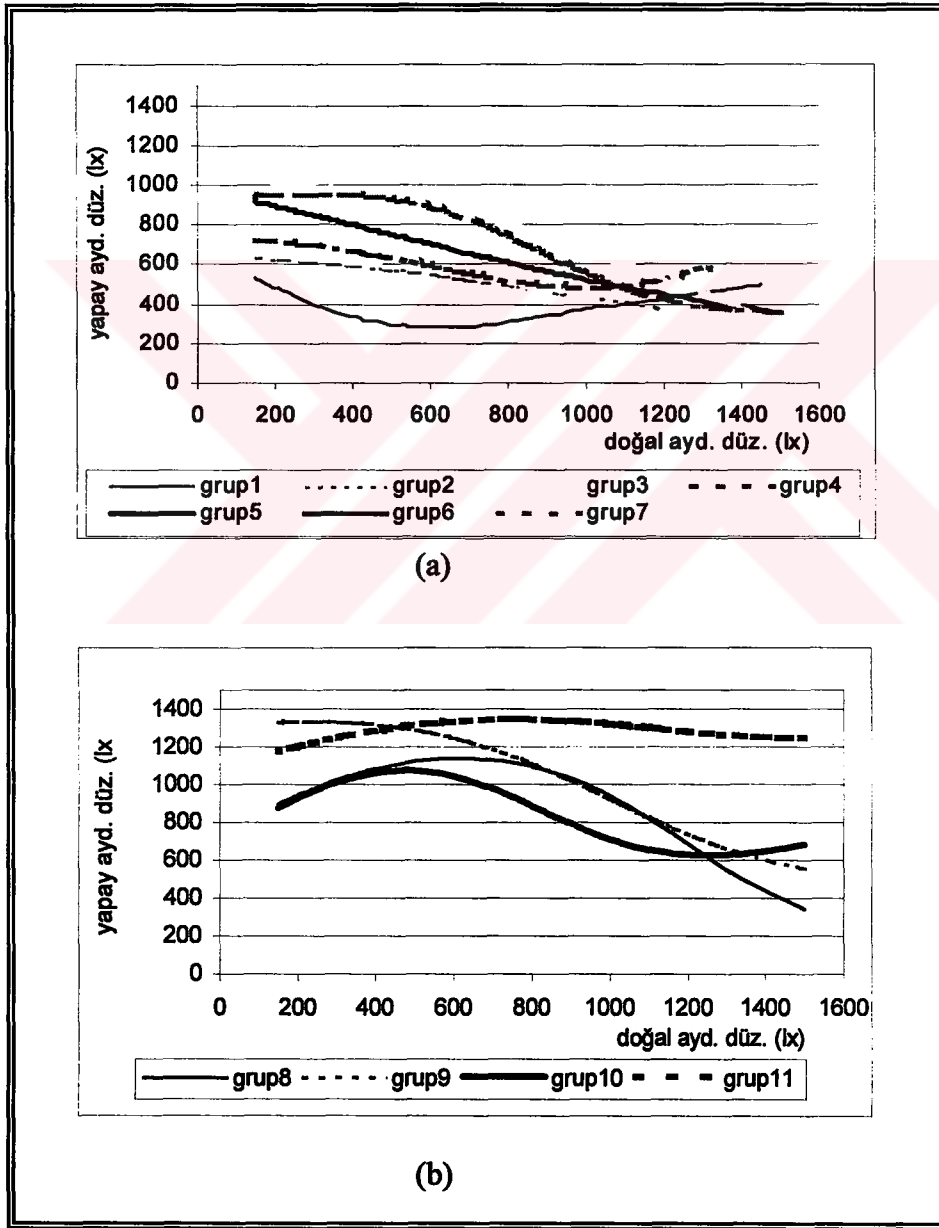
Yaz aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den küçük olduğu durumlarda (Şekil 8.11 a), 150 lx ile 600 lx arasında değişen tercih edilen yapay aydınlık düzeyi doğal aydınlık düzeyinin değişimine bağlı olarak önemli bir farklılık göstermemektedir. Başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den büyük olduğu durumlarda (Şekil 8.11 b) ise tercih edilen yapay aydınlık düzeyi 300 lx ile 1400 lx arasındaki geniş bir alanda değişmektedir ve yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimleri birbirlerinden oldukça farklıdır.

Başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den küçük ve büyük olması ayrımı, yaz ve kış ayları için sözkonusu ayrım yapılmadan eğrilere toplu olarak bakıldığında, eğrilerin gösterdikleri toplu eğilimlerden yararlanılarak yapılmıştır.

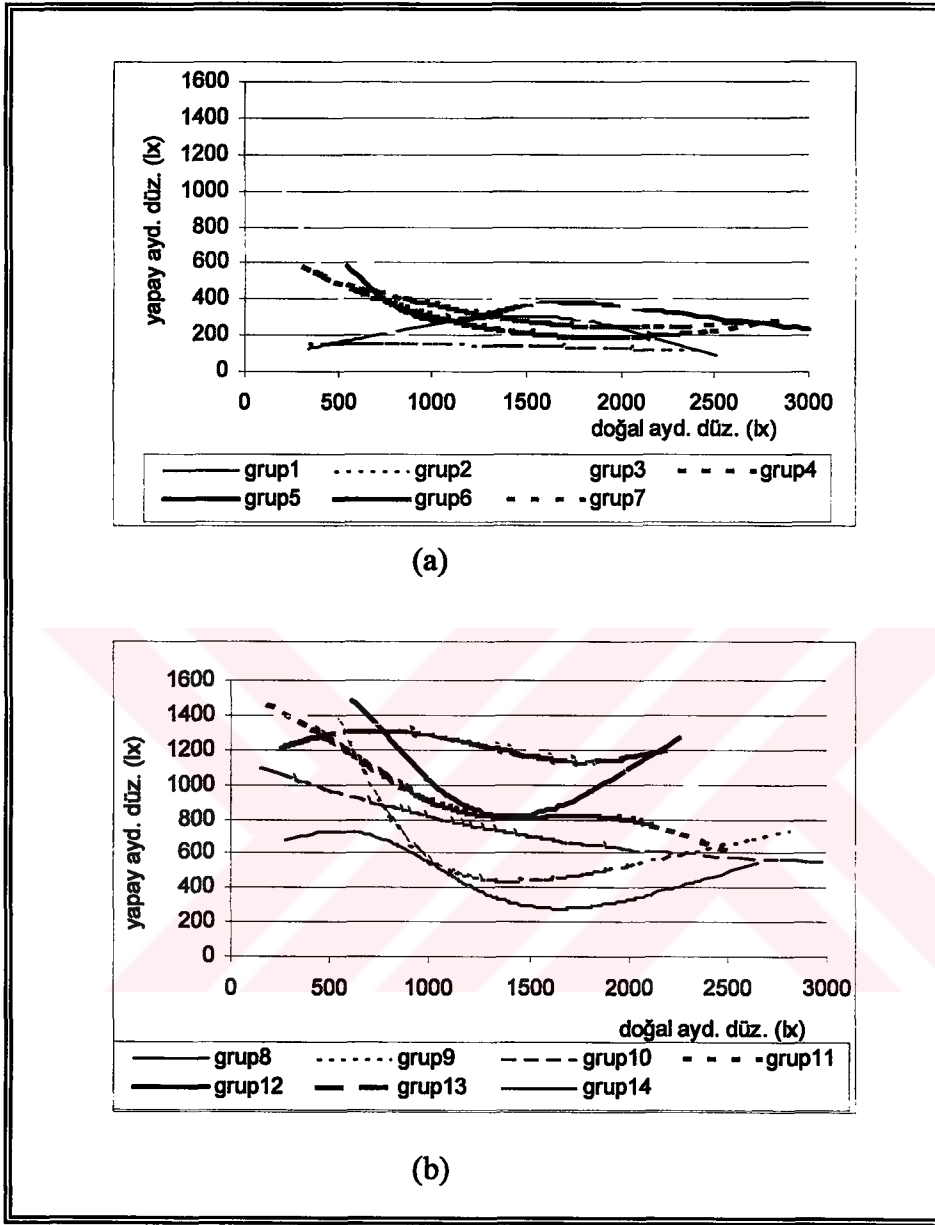
Yukarıdaki incelemelerden, tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerlerinin ve doğal aydınlatmaya bağlı değişimlerinin yaz ve kış aylarında ve ayrıca başlangıç toplam

aydınlık düzeyi değerinin 1500 lx'den küçük ve büyük olması hallerinde birbirlerinden oldukça farklı olduğu anlaşılmıştır.

Gerek tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerleri, gerekse tercih edilen yapay aydınlık düzeyinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimleri göz önüne alındığında, tercihlerin yaz ve kış aylarında farklılık gösterdiği görülmektedir.



Şekil 8.10 Kış aylarında yapay ayd. düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimlerini belirlemek için, a) $E_{BT} < 1500$ lx b) $E_{BT} > 1500$ lx olması durumlarında uydurulan eğriler

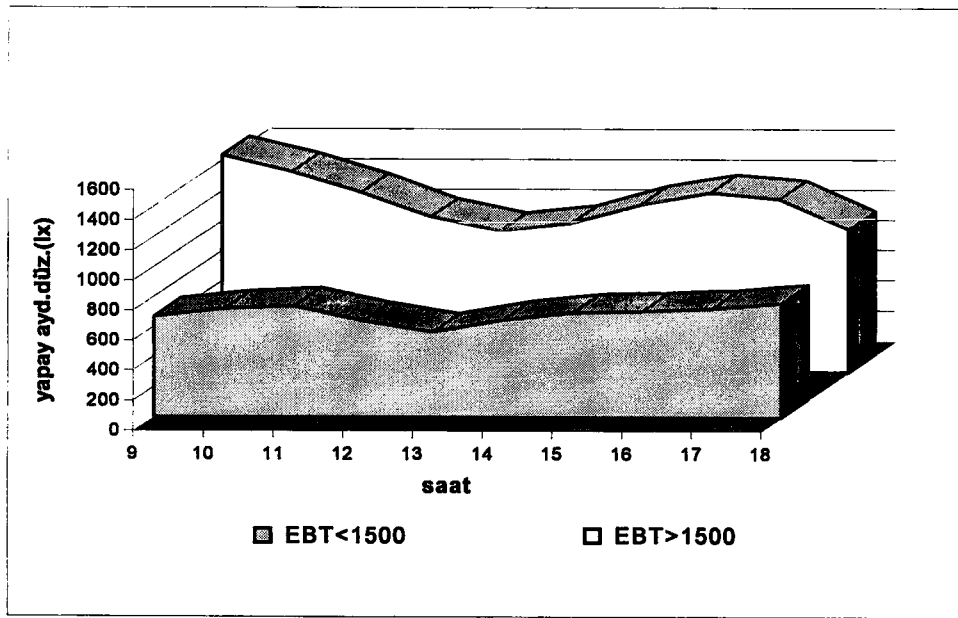


Şekil 8.11 Yaz aylarında yapay ayd. düzeyi tercihlerinin doğal aydınlatmaya bağlı olarak değişimlerini belirlemek için, a) $E_{BT} < 1500$ lx b) $E_{BT} > 1500$ lx olması durumlarında uydurulan eğriler

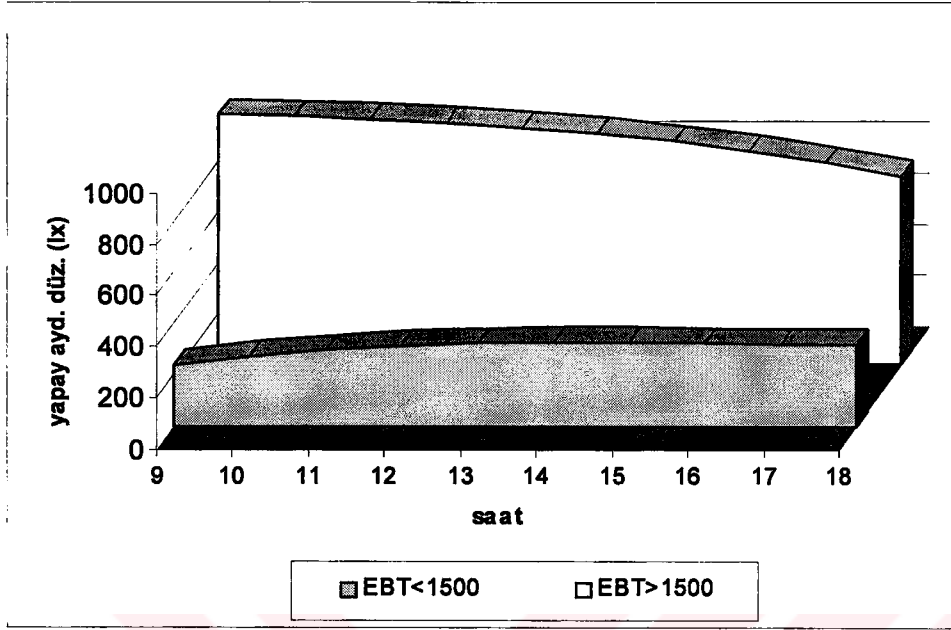
Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin saate bağlı olarak değişimlerinde de mevsimlere ve başlangıç toplam aydınlık düzeylerine göre bir farklılık olup olmadığını belirlemek için veriler başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den küçük ve 1500 lx'den büyük olmak üzere yaz ve kış ayları için ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Sadece saate bağlı olarak, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin genel olarak nasıl değiştiğini

belirlemek amacıyla her grup için girişi saat, çıkışı yapay aydınlık düzeyi olan yapay sinir ağı kullanılarak yine sadece inceleme amacıyla eğriler uydurulmuştur. Kış ayları için elde edilen eğriler Şekil 8.12, yaz ayları için elde edilen eğriler ise Şekil 8.13’de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi kişilerin tercihleri yaz ve kış aylarında birbirlerinden oldukça farklıdır. Başlangıçta düşük aydınlık düzeyi isteyen kişiler gün boyu düşük, yüksek aydınlık düzeyi isteyenler ise gün boyu yüksek aydınlık düzeylerini tercih etmektedirler. Kış aylarında kişilerin istedikleri yapay aydınlık düzeyi öğlen saatlerine doğru bir azalma gösterip daha sonra artarak, insanın biyolojik ritmine uygun bir değişim göstermektedir [37, 67]. Doğal aydınlık düzeyinin yüksek olduğu yaz aylarında ise biyolojik ritme uygun bir değişim olmadığı gibi, başlangıçta düşük aydınlık düzeyi isteyen kişilerin tercihleri gün içinde biraz artarken, yüksek aydınlık düzeyi isteyenlerin tercihleri ise günün ilerleyen saatlerine doğru azalmaktadır.

Tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerlerinin saate bağlı değişimlerinin incelenmesinden de kış ve yaz; başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx’den büyük ve küçük olması ayrımlarının yapılmasının doğru bir seçim olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 8.12 Kış ayları için yapay aydınlık düzeyi tecihlerinin günün saatine bağlı olarak değişimi



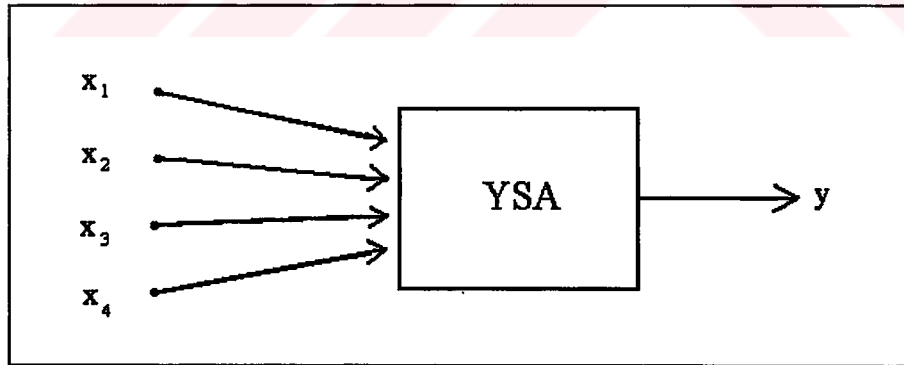
Şekil 8.13 Yaz ayları için yapay aydınlık düzeyi tecihlerinin günün saatine bağlı olarak değişimi

Şu ana kadar yapılan incelemelerden, doğal aydınlık düzeyi, saat, kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları yapay ve o andaki doğal aydınlık düzeyi değerlerinin tercihler üzerinde etkili faktörler olduğu görülmektedir. Bu sonuca dayanarak, elimizdeki mevcut verilerden yararlanarak kişilerin tercih ettikleri yapay aydınlık düzeyi değerlerini tahmin etmede bir araç olarak kullanmayı amaçladığımız yapay sınır ağının giriş büyüklükleri olarak yukarıda sayılan bu dört büyüklüğün kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerlerinin günboyu doğal aydınlık düzeyine ve saate bağlı olarak değişimleri incelendiğinde, yaz ve kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi değerinin 1500lx'den büyük ve küçük olması hallerinde eğilimlerin ve değerlerin oldukça farklı olduğu görülmüştür. Bu noktadan hareketle, hataların mümkün olduğu kadar azaltılabilmesi amacıyla, kendi içinde gruplaşma gösteren yaz ve kış ayları, ayrıca tercih edilen başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den büyük ve küçük olması hallerine ait alt grupları oluşturulmuş, öğretim işlemi dört grup halinde gerçekleştirilmiştir.

8.3 VERİLERİN YAPAY SİNİR AĞINA UYGULANMASI

Önceki bölümde yapılan incelemeler sonucu; doğal aydınlık düzeyi, saat, kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları yapay aydınlık düzeyi ve o andaki doğal aydınlık düzeyinin gün boyu tercihler üzerinde etkili faktörler oldukları görülmüştür. Bu nedenle yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağı ile belirlenmesinde söz konusu bu büyüklükler sistemin giriş büyüklükleri olarak ele alınmıştır. Yapay sinir ağı ile belirlenmesi istenen büyüklük, yani yapay sinir ağının çıkış büyüklüğü ise tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerleridir. Her bir giriş grubuna karşılık gelen çıkış büyüklüğü bilindiğinden, denetimli öğretim yöntemlerinden biri olan ve pratikte pek çok alanda kullanılan “ Geriye Yayılım” yöntemi kullanılmıştır.

Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin tahmin edilmesinde, giriş büyüklükleri saat, doğal aydınlık düzeyi, başlangıç yapay aydınlık düzeyi ve başlangıç doğal aydınlık düzeyi; çıkış büyüklüğü ise yapay aydınlık düzeyi olan bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklükleri Şekil 8.14’de gösterilmiştir.



Şekil 8.14 Kullanılan yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklükleri

Şekilde

- x_1 : Saat (t anı),
- x_2 : Doğal aydınlık düzeyi (t anındaki),
- x_3 : Kişinin çalışmaya başladığı anda istediği yapay aydınlık düzeyi,

x_4 : Kişinin çalışmaya başladığı andaki doğal aydınlık düzeyi,

y : Tecih edilen yapay aydınlık düzeyi değeri (t anındaki)

olmak üzere yapay sinir ağının giriş vektörü, X

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$$

çıkış vektörü , Y ise

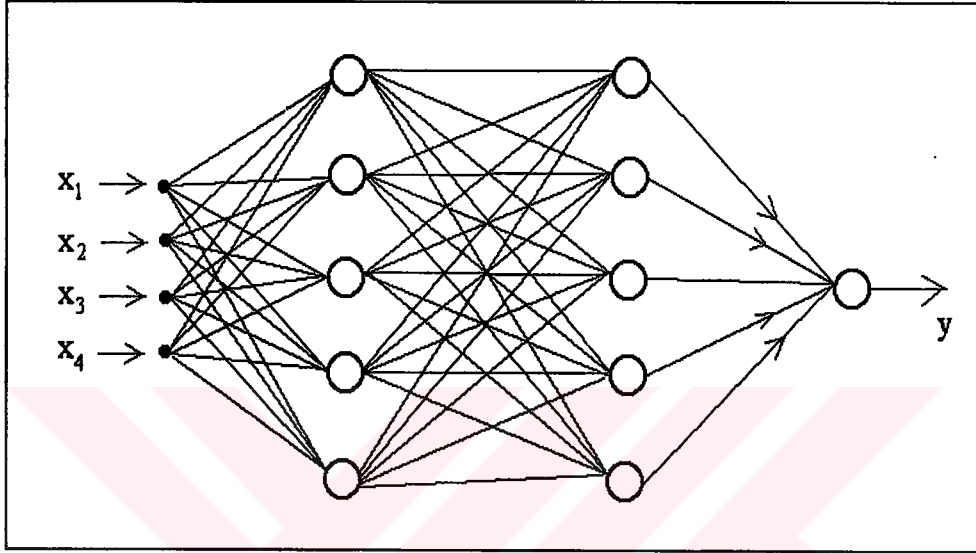
$$Y = [y]$$

olmaktadır. Çalışmada saatlik ortalama değerler kullanıldığından “ t anı” bir saatlik zaman dilimini göstermektedir. Yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklüklerine bir örnek olarak Tablo 8.9’da iki günlük veriler gösterilmiştir.

Tablo 8.9 Yapay sinir ağının giriş ve çıkış büyüklüklerine örnek

GİRİŞLER				ÇIKIŞ
Saat (x_1)	Doğal ayd. düzeyi (x_2)	Başlangıç yapay (x_3)	Başlangıç doğal (x_4)	Yapay ayd. düzeyi (y)
9	242	1682	242	1682
10	685	1682	242	1584
11	940	1682	242	737
12	901	1682	242	685
13	579	1682	242	811
14	371	1682	242	980
15	160	1682	242	1619
16	116	1682	242	1418
17	116	1682	242	911
8	1335	425	1335	425
9	1100	425	1335	382
10	1391	425	1335	535
11	1353	425	1335	540
12	1295	425	1335	497
13	1685	425	1335	710
14	2475	425	1335	1220
15	1823	425	1335	849
16	796	425	1335	281
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
N				

Tercih edilen yapay aydınlık düzeylerinin belirlenmesinde Şekil 8.15’de gösterildiği gibi bir giriş, iki saklı ve bir çıkış tabakası olan bir ağ kullanılmıştır. Saklı tabakalarda 5’er nöron vardır.



Şekil 8.15 Kullanılan yapay sinir ağının yapısı

Başlangıçta düşük ($E_{BT} < 1500 \text{ lx}$) ve yüksek ($E_{BT} > 1500 \text{ lx}$) aydınlık düzeyi isteyen kişilerin gün boyu tercihleri farklı eğilim gösterdiği ve tercihler yaz ve kış aylarında birbirlerinden farklı olduğu için, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağı ile tahmin edilmesinde aşağıdaki dört sınıf ayrı ayrı ele alınmıştır.

- 1.Sınıf : Kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den küçük olanlar
- 2.Sınıf : Kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den büyük olanlar
- 3.Sınıf : Yaz aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den küçük olanlar
- 4.Sınıf : Yaz aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den büyük olanlar

Her bir sınıf için giriş- çıkış çifti (pattern) sayıları aşağıdaki gibidir.

$$N_{1.sınıf} = N_1 = 807$$

$$N_{2.sınıf} = N_2 = 662$$

$$N_{3.sınıf} = N_3 = 1088$$

$$N_{4.sınıf} = N_4 = 986$$

Her bir sınıftaki veriler öğretim ve test aşamalarında kullanılmak üzere rastgele iki gruba ayrılmıştır. Her sınıf için öğretim ve test aşamalarında kullanılan veri grubu sayıları,

$$N = N_{öğretim} + N_{test}$$

olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$N_{1öğretim} = 269, \quad N_{1test} = 538$$

$$N_{2öğretim} = 214, \quad N_{2test} = 448$$

$$N_{3öğretim} = 610, \quad N_{3test} = 478$$

$$N_{4öğretim} = 554, \quad N_{4test} = 432$$

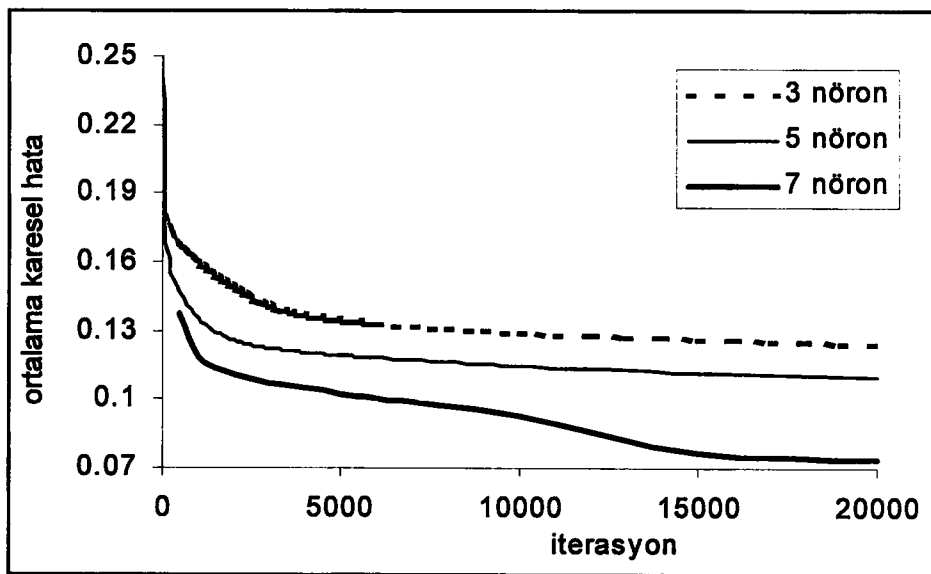
Öğretim ve test aşamalarında kullanılan giriş-çıkış çifti (pattern) sayıları yukarıda verilmiş olan her bir sınıf için, ayrı ayrı öğretim işlemi yapılmış ve sistem yine her bir sınıf için ayrı ayrı test edilmiştir.

Sistemin girişleri farklı özelliklere sahip büyüklükler olduğundan tüm giriş ve çıkış değerleri kademelendirilerek birbirleri ile uyumlu hale getirilmiştir. Yaz ve kış aylarında farklı değerler alabilen doğal aydınlık düzeylerinin kademelendirilmesi yaz ve kış ayları için birbirinden farklı yapılmıştır. Doğal aydınlık düzeyi, saat ve yapay aydınlık düzeylerinin kademelendirilmesi Tablo 8.10'da verilmiştir.

Optimum ağ yapısının belirlenmesinde pratikte geçerli olan kesin kurallar olmadığından, çalışmada farklı yapıdaki ağlar denenmiştir [72]. Saklı tabakalardaki nöron sayıları arttıkça, sistemin ortalama karesel hatası (OKH) azalmaktadır. Şekil 8.16'da 2.Sınıf (kış ayları, $E_{BT} > 1500$ lx) veriler için, saklı tabakalarda 3, 5ve 7'ser nöron olması durumlarında, ortalama karesel hataların iterasyon sayısına bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 8.10 Giriş ve çıkış değerlerinin kademelendirilmesi

GERÇEK DEĞERLER				KADEME
SAAT	Doğal aydınlık düz. (lux)		Yapay aydınlık düz. (lux)	
	Kış	Yaz		
8 - 9	< 150	< 900	< 150	1
9 - 10	150 - 300	900 - 1050	150 - 300	2
10 - 11	300 - 450	1050 - 1200	300 - 450	3
11 - 12	450 - 600	1200 - 1350	450 - 600	4
12 - 13	600 - 750	1350 - 1500	600 - 750	5
13 - 14	750 - 900	1500 - 1650	750 - 900	6
14 - 15	900 - 1050	1650 - 1800	900 - 1050	7
15 - 16	1050 - 1200	1800 - 1950	1050 - 1200	8
16 - 17	1200 - 1350	1950 - 2100	1200 - 1350	9
17 - 18	> 1350	> 2100	> 1350	10



Şekil 8.16 Ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi (öğretme aşaması)

Şekilden de görüldüğü gibi, saklı tabakalardaki nöron sayıları arttıkça, sistemin hatası azalmaktadır. Yani,

$$OKH_O(7) < OKH_O(5) < OKH_O(3)$$

dır. Her bir ağ için 20000 iterasyonluk öğretim işlemi tamamlandıktan sonra, sistemler test amacıyla ayrılan veriler ile test edilmiştir. Test aşamasında ise

$$OKH_T(5) < OKH_T(3) < OKH_T(7)$$

olduğu görülmüştür. Burada,

OKH : Ortalama karesel hata,

Ö : Öğretim aşamasını gösteren indis,

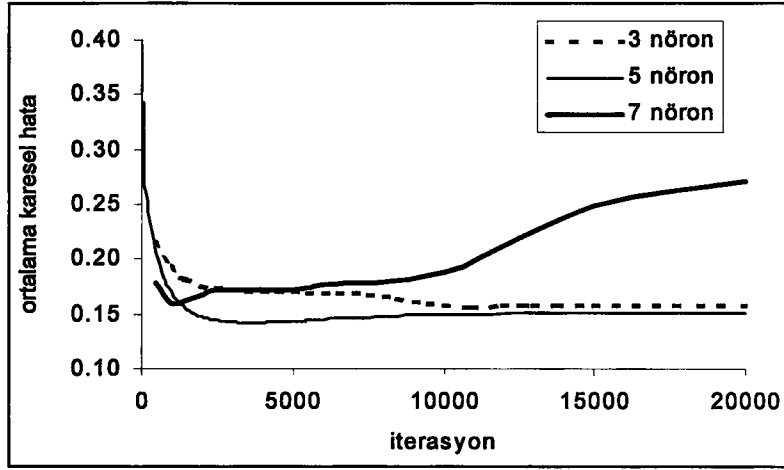
T : Test aşamasını gösteren indis,

() : Saklı tabakalardaki nöron sayılarını

göstermektedir.

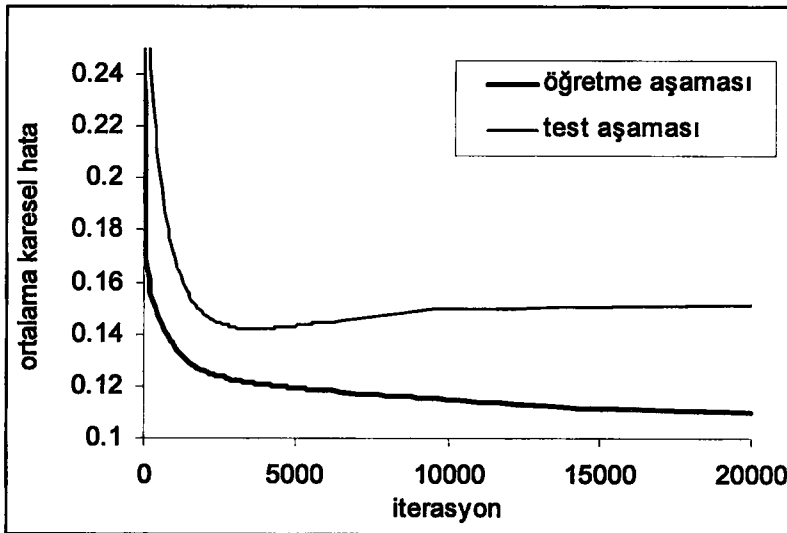
Sistemin davranışını daha iyi anlayabilmek için, test aşamasındaki ortalama karesel hataların, öğretim aşamasındaki iterasyon sayısına bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla program her 100 iterasyonda durdurularak, test verileri için ortalama karesel hatalar hesaplanmıştır. Toplam 20000 iterasyona kadar işlem bu şekilde sürdürülmüştür. Saklı tabakalarında 3, 5 ve 7'şer nöron bulunan ağlar için test aşamasındaki ortalama karesel hataların, öğretim aşamasındaki iterasyon sayısına bağlı olarak değişimleri Şekil 8.17'de gösterilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi, test aşaması için minimum hata saklı tabakalarında 5 nöron bulunan ağ yapısında meydana gelmektedir. Nöron sayısının artırılması durumunda öğretim aşamasındaki hata azalırken, test aşamasındaki hatanın arttığı, yani sistemde aşırı öğrenme meydana geldiği görülmektedir [66]. 3 ve 5 nöronlu ağlar karşılaştırıldığında ise 5 nöronlu yapıda, öğretim ve test aşamalarındaki hataların, 3 nöronlu yapıya göre daha az olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmada saklı tabakalarında 5'er nöron bulunan ve Şekil 8.15'de gösterilmiş olan bir ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 8.17 Ortalama karesel hatanın iterasyon sayısı ile değişimi (test aşaması)

5'er nöronlu ağ için öğretim ve test aşamalarındaki ortalama karesel hataların iterasyon sayısına bağlı olarak değişimleri incelenmiş ve Şekil 8.18'de gösterilmiştir. Şekil 8.18'den de görüldüğü gibi, yaklaşık 4500 iterasyona kadar öğretim ve test aşamalarındaki hatalar azalmakta, 4500 iterasyondan sonra ise iterasyon sayısı arttıkça öğretim aşamasındaki hata azalırken test aşamasındaki hata artmaktadır. Bu durum, iterasyon sayısının arttırılması durumunda sistemde aşırı öğrenme meydana geldiği şeklinde açıklanabilir. Bu nedenle öğretim işlemi çalışmada 5000 iterasyonda kesilmiştir



Şekil 8.18 Saklı tabakalarında 5'er nöron bulunan ağ için OKH'nın değişimi

Nöron sayısı ve iterasyon sayısının arttırılması durumunda sistemde aşırı öğrenme meydana gelmesinin sebebi, öğretme aşamasında kullanılan verilerin gerçek durumu tam olarak ortaya koyamamasından kaynaklanmaktadır. Zaten sistemin çıkışı kişilerin istemiş oldukları yapay aydınlık düzeyi değerleri, yani subjektif bir yargıdır. Dolayısıyla giriş değerleri ile çıkış değerleri arasında birebir bir ilişki söz konusu olmadığından sistemin genel bir çözüm ortaya koyması beklenmektedir. Nöron ve iterasyon sayısının arttırılması durumunda, sistem öğretilen verileri adeta ezberleyerek olayı genelleylememekte ve sistemde aşırı öğrenme meydana gelmektedir.

Yukarıda yapılan incelemeler ışığında, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesinde Şekil 8.15’de gösterilen, her birinde 5’er nöron bulunan iki saklı tabakalı bir ağ kullanılmıştır. Öğretme işlemi 5000 iterasyonda kesilmiştir.

Çalışmada,

Öğrenme oranı = 0,0001

Momentum sabiti = 0,95

Hata oranı = 1,04

olarak alınmıştır.

8.4 SİSTEM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Yapay sinir ağlarında sistem performansı çoğunlukla ortalama karesel hata ile değerlendirilmektedir [66]. Oysa ki, bu çalışmada daha önce yapılan incelemelerden, öğretme ve test aşamalarında iterasyon sayısı ve nöron sayısına bağlı olarak ortalama karesel hata değişiminin farklı olduğu görüldüğünden sistemin performansının ortalama karesel hata ile değerlendirilmesinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kişileri memnun edebilecek yapay aydınlık düzeyi değerlerinin tahmin edilmesi olduğundan, sonuçların kişileri ne kadar memnun ettiğini

araştırabilmek için aşağıdaki gibi bir yöntemin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle sistem performansı, sonuçta yaratılan yapay aydınlatma ile kişilerin tercih ettikleri yapay aydınlatma arasındaki farklarla ortaya konulmuştur.

Önceki bölümde özellikleri verilmiş olan bir ağ yapısı kullanılarak, her bir sınıf için öğretim işlemi tamamlandıktan sonra, sistem her sınıf için ayrı ayrı test edilmiştir. Kişilerin deney esnasında kendilerinin ayarladıkları yapay aydınlık düzeyi değeri $E_i(lx)$, yapay sinir ağı ile bulunan yapay aydınlık düzeyi değeri $E_b(lx)$ olmak üzere,

$$H = E_i - E_b \quad (8.1)$$

eşitliğinden, her bir çıkış için hata miktarları (H) hesaplanmıştır. Yapay sinir ağına kullanılan çıkış verileri 150 lx'luk kademeler halinde olduğundan hesaplanan hata miktarları da 150'şer lx'lük kademeler halindedir. Her bir hata miktarı (H) kademesi için hatanın tekrar sayısı " N_H " olarak belirlenmiştir. Yine her bir hata miktarı (H) kademesi için, hatanın test edilen toplam veriler içindeki tekrar yüzdeleri (P) ise,

$$P (\%) = (N_H / N) \times 100 \quad (8.2)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada,

P : Hatanın tekrar yüzdesi,

N_H : Hatanın tekrar sayısı,

N : Test edilen toplam veri sayısı

dır.

Hesaplanan hata miktarları (H), hata tekrar sayıları (N_H) ve hata tekrar yüzdeleri (P), kış, yaz ayları, başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den büyük ve küçük olması halleri için oluşturulan dört ayrı öğretim sınıfı için Tablo 8.11, 8.12, 8.13 ve 8.14'de ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 8.11 Kış ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (1.Sınıf) için hata dağılımı

Hata miktarı (lx) (H)	Hata tekrar sayısı (N_H)	Hata tekrar yüzdesi (%P)
-1350> H> -1500	0	0.0
-1200> H> -1350	0	0.0
-1050> H> -1200	0	0.0
-900> H> -1050	0	0.0
-750> H> -900	2	0.4
-600> H> -750	5	0.9
-450> H> -600	13	2.4
-300> H> -450	32	5.9
-150> H> -300	38	7.1
0> H> -150	110	20.4
H = 0	209	38.8
0< H< 150	56	10.4
150< H< 300	33	6.1
300< H< 450	26	4.8
450< H< 600	7	1.3
600< H< 750	2	0.4
750< H< 900	3	0.6
900< H< 1050	1	0.2
1050< H< 1200	1	0.2
1200< H< 1350	0	0.0
1350< H< 1500	0	0.0

Tablo 8.12 Kış ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (2.Sınıf) için hata dağılımı

Hata miktarı (lx) (H)	Hata tekrar sayısı (N_H)	Hata tekrar yüzdesi (%P)
-1350> H> -1500	0	0
-1200> H> -1350	0	0
-1050> H> -1200	1	0
-900> H> -1050	7	2
-750> H> -900	12	3
-600> H> -750	11	2
-450> H> -600	17	4
-300> H> -450	22	5
-150> H> -300	40	9
0> H> -150	65	15
H = 0	95	21
0< H< 150	96	21
150< H< 300	42	9
300< H< 450	14	3
450< H< 600	9	2
600< H< 750	8	2
750< H< 900	5	1
900< H< 1050	2	0
1050< H< 1200	2	0
1200< H< 1350	0	0
1350< H< 1500	0	0

Tablo 8.13 Yaz ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (3.Sınıf) için hata dağılımı

Hata miktarı (lx) (H)	Hata tekrar sayısı (N_H)	Hata tekrar yüzdesi (%P)
-1350> H> -1500	0	0
-1200> H> -1350	0	0
-1050> H> -1200	0	0
-900> H> -1050	0	0
-750> H> -900	0	0
-600> H> -750	0	0
-450> H> -600	0	0
-300> H> -450	5	1
-150> H> -300	13	3
0> H> -150	223	47
H = 0	149	31
0< H< 150	18	4
150< H< 300	12	3
300< H< 450	5	1
450< H< 600	3	1
600< H< 750	8	2
750< H< 900	9	2
900< H< 1050	13	3
1050< H< 1200	16	3
1200< H< 1350	4	1
1350< H< 1500	0	0

Tablo 8.14 Yaz ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (4.Sınıf) için hata dağılımı

Hata miktarı (lx) (H)	Hata tekrar sayısı (N_H)	Hata tekrar yüzdesi (%P)
-1350> H> -1500	0	0
-1200> H> -1350	0	0
-1050> H> -1200	20	5
-900> H> -1050	10	2
-750> H> -900	10	2
-600> H> -750	15	3
-450> H> -600	18	4
-300> H> -450	17	4
-150> H> -300	22	5
0> H> -150	40	9
H = 0	82	19
0< H< 150	124	29
150< H< 300	20	5
300< H< 450	21	5
450< H< 600	10	2
600< H< 750	16	4
750< H< 900	7	2
900< H< 1050	0	0
1050< H< 1200	0	0
1200< H< 1350	0	0
1350< H< 1500	0	0

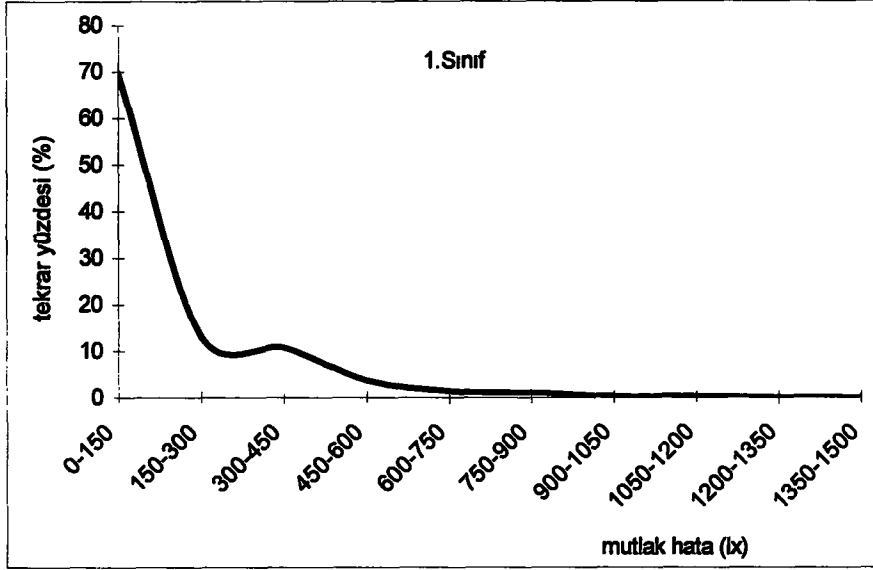
ε , mutlak hata, yani

$$\varepsilon = | H | \quad (8.3)$$

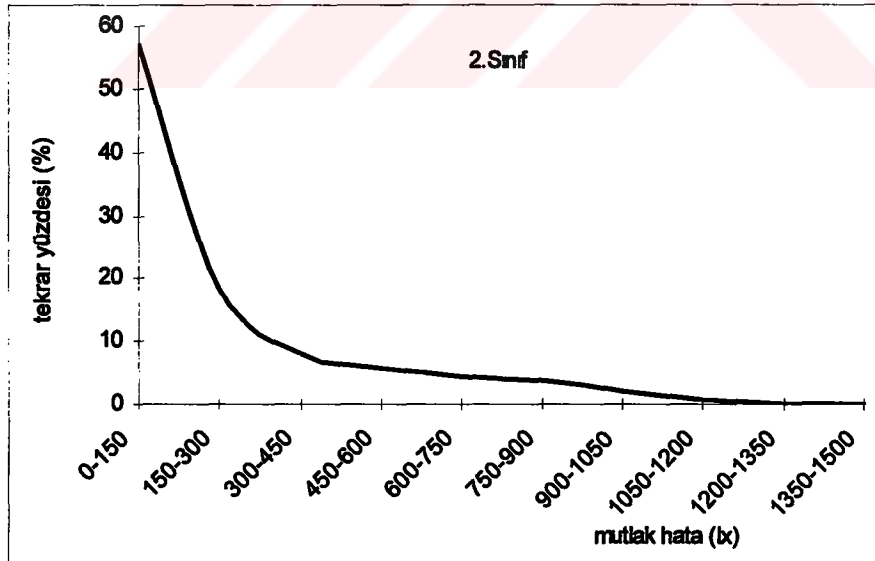
olmak üzere, her bir mutlak hata için, hata tekrar yüzdesi pozitif ve negatif hata miktarlarındaki değerlerin toplamlarından bulunmuş ve Tablo 8.15’de gösterilmiştir. Tablo’da ayrıca, her bir sınıf için, her mutlak hataya karşı gelen hata tekrar sayıları (N_H) toplanarak bulunan değer, toplam test edilen veri sayısına (1896 adet) oranlanarak, tüm sistem için elde edilen hata tekrar yüzdeleri de ayrı bir sütun olarak gösterilmiştir. “TOPLAM” diye adlandırılan bu sütundaki hata tekrar yüzdeleri bu çalışmada yapay aydınlık düzeylerinin tahmininde kullanılan yapay sinir ağı sisteminin toplam hatasını göstermektedir. Tablo 8.15’deki değerlerden yararlanılarak, 4 ayrı öğretme sınıfı ve tüm sistem için, mutlak hatanın (ε), hata tekrar yüzdesi (P)’ne bağlı olarak değişimleri Şekil 8.19, 8.20, 8.21, 8.22, 8.23’de grafik olarak da gösterilmiştir.

Tablo 8.15 Hata dağılımları

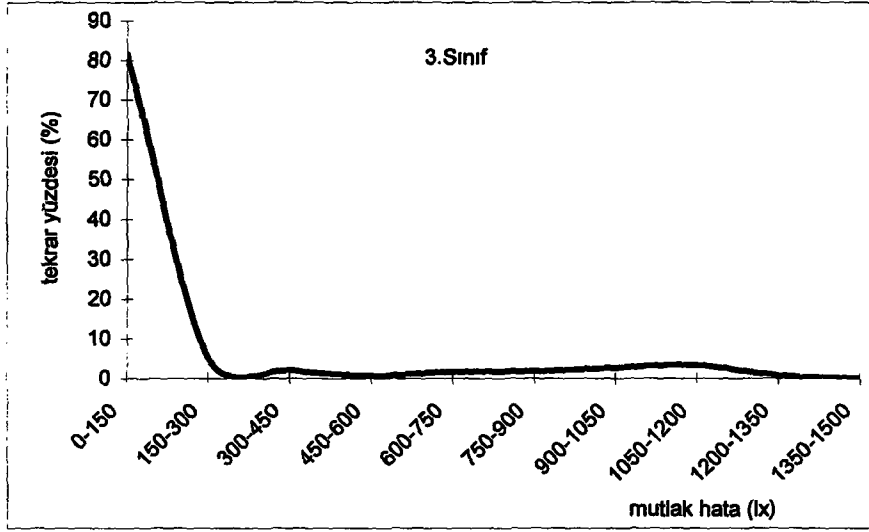
Mutlak Hata (Ix) (ε)	Hata Tekrar Yüzdesi (P) (%),				
	1.Sınıf	2.Sınıf	3.Sınıf	4.Sınıf	TOPLAM
0-150	69.7	57.1	81.6	57.0	66.8
150-300	13.2	18.3	5.2	9.7	11.6
300-450	10.8	8.0	2.1	8.8	7.5
450-600	3.7	5.8	0.6	6.5	4.1
600-750	1.3	4.2	1.7	7.2	3.4
750-900	0.9	3.8	1.9	3.9	2.5
900-1050	0.2	2.0	2.7	2.3	1.7
1050-1200	0.2	0.7	3.3	4.6	2.1
1200-1350	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2
1350-1500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



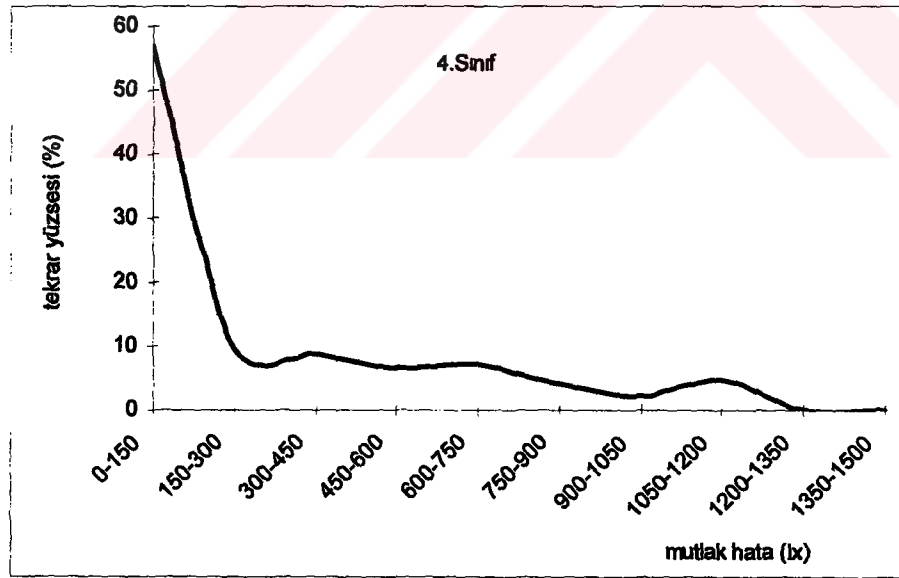
Şekil 8.19 Kış ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (1.Sınıf) için hata dağılımı



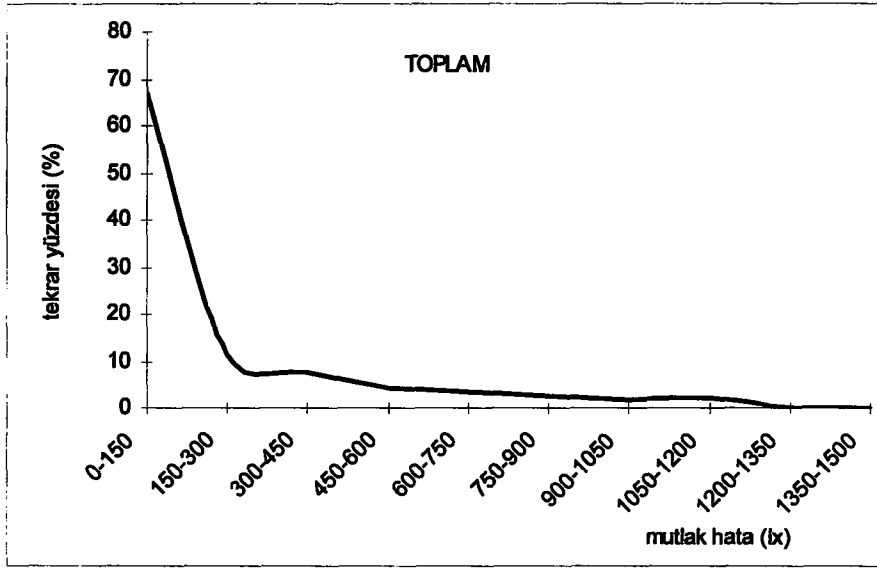
Şekil 8.20 Kış ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (2.Sınıf) için hata dağılımı



Şekil 8.21 Yaz ayları, $E_{BT} < 1500$ lx (3.Sınıf) için hata dağılımı



Şekil 8.22 Yaz ayları, $E_{BT} > 1500$ lx (4.Sınıf) için hata dağılımı



Şekil 8.23 Tüm sistem için yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçların hata dağılımı

Şekil 8.23'deki grafikten de görüldüğü gibi, “ ϵ ” mutlak hata olmak üzere, denenen toplam 1896 adet verinin;

%67'sinde $\epsilon \leq 150$ lx,

%78'inde $\epsilon \leq 300$ lx,

%86'sında $\epsilon \leq 450$ lx

bir hata meydana gelmiştir.

8.5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şu ana kadar yapılan incelemelerde kullanılan yapay sinir ağının giriş büyüklükleri, saat (x_1), doğal aydınlık düzeyi (x_2), başlangıç yapay aydınlık düzeyi (x_3) ve başlangıç doğal aydınlık düzeyi (x_4); çıkış büyüklüğü kişilerin istedikleri yapay aydınlık düzeyi (y) olmak üzere, giriş ve çıkış vektörleri

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$$

$$Y = [y]$$

şeklindedir. Bu özelliklere sahip yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçlar, bu bölümde

- 1) Giriş büyüklüklerinin farklı kombinasyonları durumlarında,
- 2) Klasik kontrol sistemi kullanılması halinde

elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

8.5.1 Giriş Büyüklüklerinin Farklı Kombinasyonları İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilebilmesi amacıyla yapılan incelemeler sonucunda, saat, doğal aydınlık düzeyi, başlangıç yapay aydınlık düzeyi ve başlangıç doğal aydınlık düzeyinin kişilerin tercihlerini etkileyen faktörler oldukları anlaşıldığından, adı geçen bu 4 büyüklük, sistemin giriş büyüklükleri olarak ele alınmış ve sistem performansı Bölüm 8.4'de ortaya konulmuştur.

Yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilmesinde söz konusu bu 4 büyüklüğün dördünün de birlikte kullanılmasının gerçekten gerekli olup olmadığının ortaya konması amacıyla, farklı giriş vektörleri için sistemlerin performansları incelenmiştir.

x_1 : saat,

x_2 : doğal aydınlık düzeyi,

x_3 : başlangıç yapay aydınlık düzeyi,

x_4 : başlangıç doğal aydınlık düzeyi

olmak üzere aşağıda verilen 4 ayrı giriş vektörü için sistemlerin performansları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$X1 = [x_1, x_2]$$

$$X2 = [x_1, x_2, x_3]$$

$$X3 = [x_1, x_2, x_4]$$

$$X4 = [x_2, x_3, x_4]$$

Burada da

1.Sınıf : Kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den küçük,

2.Sınıf : Kış aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den büyük,

3.Sınıf : Yaz aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den küçük,

4.Sınıf : Yaz aylarında, başlangıç toplam aydınlık düzeyi 1500 lx'den büyük,

olan veri grupları olmak üzere her sınıfa ait veriler ile, yukarıda tanımlanan dört ayrı giriş vektörü için ayrı ayrı öğretme ve test işlemleri yapılmıştır. Her bir giriş vektörü için elde edilen toplam hatalar Tablo 8.16'da verilmiştir. Tablo'nun ikinci sütunundaki değerler,

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$$

olmak üzere daha önce incelenen 4 giriş büyüklüklü esas duruma karşılık gelmektedir.

Tablo 8.16 Farklı giriş vektörleri için hata dağılımları

Mutlak hata (lx) ϵ	Hata tekrar yüzdesi (P) (%)				
	X	X1	X2	X3	X4
$\epsilon = 0$	28	11	21	14	21
$\epsilon < 150$	67	47	63	49	64
$\epsilon < 300$	78	67	78	69	77
$\epsilon < 450$	86	82	86	79	85

Yapay sinir ağının giriş vektörü olarak, bu 4 büyüklüğün tamamının alınmasının en doğru sonuçları verdiği Tablo 8.16'daki hata dağılımlarından açıkça anlaşılmaktadır.

8.5.2 Klasik Yöntemle Karşılaştırma

Doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol yapan klasik kontrol sistemleri ile yapay sinir ağı kullanılan kontrol sistemleri, kişisel tercihlere cevap verebilmeleri ve enerji tüketimleri açısından karşılaştırılmışlardır.

Kişisel tercihlere cevap verebilmeleri açısından karşılaştırma :

Aydınlık düzeyi tercihlerini belirlemek amacıyla yapılmış olan çalışmalarda, tüm deneklerin istemiş oldukları değerlerin ortalamaları alınarak kişi, saat gibi ayırımlar yapılmaksızın tek ve sabit bir değer önerilmektedir. Benzer yöntemle, bu çalışmada kullanılan deneysel verilerden, kişilerin çalışma masası üzerinde istedikleri toplam aydınlık düzeylerinin ortalaması

$$E_{ort} = 1775 \text{ lx}$$

olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla, çalışma masası üzerinde gün boyu 1775 lx'lük sabit bir toplam aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde aydınlatmanın otomatik olarak kontrol edildiği kabul edilmiştir. Toplam aydınlık düzeyi değerinden (1775 lx) ölçülen doğal aydınlatma verileri çıkartılarak, söz konusu otomatik kontrollü aydınlatma tesisatı ile yaratılan yapay aydınlık düzeyi değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler ile deney sonucunda kişilerin tercih ettikleri yapay aydınlık düzeyleri arasındaki mutlak hatalar (ϵ) ve bu hataların tüm test verileri içindeki tekrar yüzdeleri (P) hesaplanmış, Tablo 8.17'de 1. ve 2. sütunlarda gösterilmiştir. Tablo'da ayrıca karşılaştırma amacıyla, yapay sinir ağı kullanılması halinde elde edilen sonuçların hata tekrar yüzdeleri (P) de 3.sütun olarak verilmiştir. Hata dağılımlarına bakıldığında, yapay sinir ağı kullanılan kontrol sistemlerinin, şu anda kullanılmakta olan klasik otomatik kontrol sistemlerine göre kişilerin tercihlerine uygun aydınlatmaların yaratılması konusunda daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 8.17 Klasik ve yapay sinir ağı kontrol sistemlerinin hata dağılımları

Mutlak hata (ϵ)	Hatanın tekrar yüzdesi (P) (%)	
	Klasik yöntem	Yapay sinir ağı
$\epsilon < 150$	15.7	66.8
$\epsilon < 300$	29.2	78.4
$\epsilon < 450$	42.7	85.9
$\epsilon < 600$	54.9	90.0
$\epsilon < 750$	65.4	93.4
$\epsilon < 900$	74.5	95.9
$\epsilon < 1050$	83.9	97.7

Sistemlerin enerji tüketimi açısından karşılaştırılması :

Doğal aydınlatmaya bağlı olarak gün boyu sabit aydınlık düzeyi sağlayacak şekilde kontrol yapan klasik sistem ile yapay sinir ağının kullanıldığı sistemin enerji tüketimleri açısından karşılaştırılması aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Aydınlatma sisteminin çektiği güç ile verdiği ışık akısı arasında lineer bir ilişki olduğu kabul edilirse [10], sistemin t anında çektiği güç (P),

$$P(t) = a \times \Phi(t) \quad (a = \text{sabit}) \quad (8.4)$$

dir.

Bir noktadaki aydınlık düzeyi, o noktaya düşen ışık akısı ile orantılı olduğundan, herhangi bir t anı için

$$\Phi(t) = b \times E(t) \quad (b = \text{sabit}) \quad (8.5)$$

dir. (8.5) denklemini (8.4)'de yerine konulursa,

$$P(t) = a \times b \times E(t) \quad (8.6)$$

elde edilir. Yani şebekeden çekilen güç ile yaratılan aydınlık düzeyi arasında da bir orantı mevcuttur.

Sistemin t süresinde tüketeceği enerji (J),

$$J = \int P(t)dt \quad (8.7)$$

dır.

Sistemin birer saat aralıklarla kontrol yapması durumunda,

$$J = \sum_{t=1}^n P(t) \quad (8.8)$$

yazılabilir. (8.6) ve (8.8) denklemlerinden,

$$J = c \times \sum_{t=1}^n E(t) \quad (c = a \times b = \text{sabit}) \quad (8.9)$$

elde edilir. Her iki kontrol sisteminin de, aynı koşullarda, aynı aydınlatma sistemini kontrol etmeleri durumunda “ a, b, c” sabitleri iki sistem için birbirlerine eşit olacaklarından, sistemlerin tükettikleri enerjiler aydınlık düzeyi ile orantılı olacaktır. Bu nedenle iki sistemin karşılaştırılmasında

$$\frac{J_{YSA}}{J_{Klasik}} = \frac{\sum_{t=1}^n E_{YSA}(t)}{\sum_{t=1}^n E_{Klasik}(t)} \quad (8.10)$$

denklemini kullanılmıştır.

Sistemlerin performanslarının değerlendirilmesinde 1896 adet veri grubu ele alındığından, enerji tüketimleri de söz konusu bu 1896 adet veri grubu ile yapılmıştır. Her bir veri grubu bir saatlik zaman dilimine ait değerlerden oluştuğuna göre,

sistemlerin 1896 saatlik sürede tükettikleri enerjilerin oranı, (8.10) denkleminde bulunabilecektir. Sistemler çalışma düzleminin bir noktasındaki (algılayıcının bulunduğu nokta) aydınlık düzeyini referans alarak kontrol yaptıkları için, $E(t)$ söz konusu noktadaki yapay aydınlık düzeyi değeridir.

Her iki sistem için de sözkonusu noktada ölçülmüş olan yapay aydınlık düzeyi değerleri toplanmış ve klasik sistem için,

$$\sum_{t=1}^{1896} E_{\text{Klasik}}(t) = 14949000 \text{ (lx saat)}$$

yapay sinir ağı kullanılan sistem için ise,

$$\sum_{t=1}^{1896} E_{\text{YSA}}(t) = 14978000 \text{ (lx saat)}$$

olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değerler, (8.10) denkleminde yerine konularak, sistemlerin tükettikleri enerjilerin oranı,

$$\frac{J_{\text{YSA}}}{J_{\text{Klasik}}} = 1,002$$

olarak bulunmuştur.

Yukarıda yapılan karşılaştırmalar sonucunda, klasik kontrol sistemleri yerine yapay sinir ağı kullanılan kontrol sistemleri kullanıldığında enerji tüketimi açısından sisteme herhangi bir ek yük gelmediği, bunun yanısıra kullanıcıların kişisel isteklerine daha yakın aydınlatmalar yaratılabildiği görülmüştür.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan literatür incelemesinden, günümüzde sadece enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılmakta olan otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinin çoğu kez çalışanlar üzerinde olumsuz etkiler yarattığı ve kişisel isteklere cevap verebilecek sistemlerin geliştirilmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Böyle sistemlerin gerçekleştirilmesi ise, ancak kişisel isteklerin önceden tahmin edilebilmesi ile mümkündür. Kişiler birbirlerinden çok farklıdır ve istekleri de zamana ve psikolojik koşullara göre değişim göstermektedir. Bu değişimleri ortaya çıkaran faktörlerin neler olduğu ve tercihleri ne kadar etkiledikleri bilinemediğinden, bir matematiksel fonksiyonla yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin belirlenmesi çok zordur. Herhangi bir matematiksel modele ihtiyaç duymaksızın, ortaya çıkan yeni durumlarda, daha önceden edindiği bilgilere dayanarak karar verebilen YSA bu alanda da kullanılarak, tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerlerinin önceden belirlenebileceği düşünüülerek, çalışma bu yönde geliştirilmiştir.

Kişisel tercihleri ortaya koyan deney verilerine toplu olarak bakıldığında, saat ve doğal aydınlatmaya bağlı olarak tercih edilen yapay aydınlık düzeyi değerlerinin birbirlerinden çok farklı ve dağınık olduğu, aralarında da herhangi bir korelasyon bulunmadığı görülmektedir. Kişisel tercihlerin birbirlerinden çok farklı olması nedeniyle, sadece doğal aydınlatma ve saate bağlı olarak, yapay aydınlık düzeyi tercihlerinin doğru olarak tahmin edilmesi mümkün değildir. Kişisel özellikleri ortaya koyabilen başka faktörlere de ihtiyaç vardır. Bir yıllık deney verileri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, kişilerin çalışmaya başladıkları anda istemiş oldukları aydınlık düzeyi değerlerinin kişisel özelliği ortaya koyabilen önemli bir faktör olduğu anlaşılmıştır.

Veriler başlangıçta istenen aydınlık düzeyi değerlerine göre daha detaylı ele alındığında, başlangıçta tercih edilen toplam aydınlık düzeyinin yüksek ($E_{BT} > 1500 \text{ lx}$) ve düşük ($E_{BT} < 1500 \text{ lx}$) olması hallerinde ve yaz - kış aylarında

sonuçların ayrı ayrı kümeleştigi görülmüştür. Bu nedenle, her iki mevsim için de başlangıç toplam aydınlık düzeyinin 1500 lx'den büyük ve küçük olması halleri ayrı ayrı ele alınmış, söz konusu dört durum için dört ayrı ağ kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlardan, giriş büyüklükleri saat, doğal aydınlık düzeyi, başlangıç yapay aydınlık düzeyi ve başlangıç doğal aydınlık düzeyi olan bir yapay sinir ağı kullanıldığında kişilerin gün içinde tercih edecekleri yapay aydınlık düzeyi değerlerinin oldukça doğru tahmin edilebileceği görülmüştür.

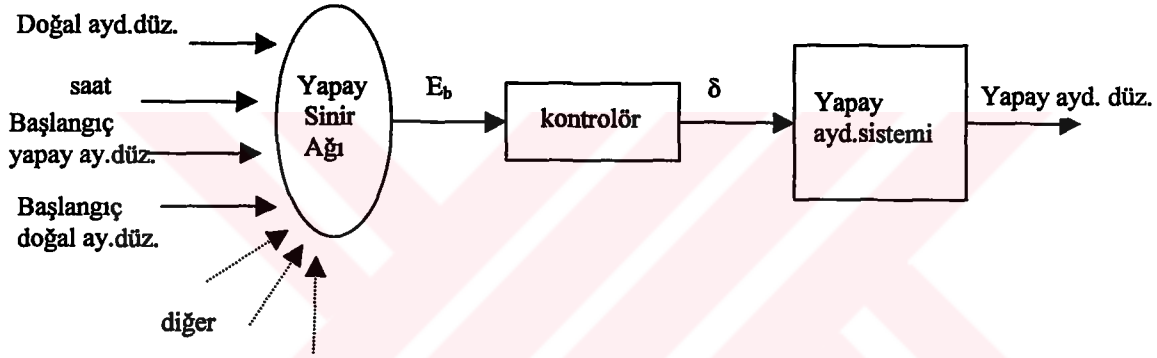
Yapay sinir ağı, deney sonuçlarından elde edilen 1647 adet veri grubu kullanılarak öğretim işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, yapay sinir ağının daha önceden hiç tanımadığı veriler kullanılarak sistem test edildiğinde, test edilen toplam 1896 durumun %67'sinde 150 lx'den küçük, %78'inde 300 lx'den küçük hata meydana geldiği görülmüştür. Tüm tercihlerin ortalaması alınarak belirlenmiş olan sabit bir aydınlık düzeyi sağlanacak şekilde, doğal aydınlatmaya bağlı olarak klasik kontrol yapılması halinde ise test edilen toplam 1896 durumun %16'sında 150 lx'den küçük, %29'unda 300 lx'den küçük hata meydana gelmektedir. Bu sonuçlar, günümüzde yapay aydınlatmayı doğal aydınlatmaya bağlı olarak kontrol eden klasik sistemler yerine, yapay sinir ağının kullanılacağı sistemlerin kullanılması halinde, kişilerin aydınlatmadan çok daha memnun olacaklarını göstermektedir.

Klasik kontrol sistemleri ile YSA'nın kullanıldığı kontrol sistemleri enerji tüketimleri açısından karşılaştırıldıklarında ise aralarında tükettikleri enerji açısından fark olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, klasik kontrol sistemleri yerine YSA'nın kullanılacağı kontrol sistemleri kullanılması halinde ilave bir enerjiye gerek duyulmaksızın, çalışanların çok daha fazla memnun edilebilecekleri aydınlatmaların sağlanması mümkün olacaktır.

Bu çalışmada kısa sayılabilecek bir zaman dilimindeki verilerden elde edilen sonuçların bile tatmin edici değerler vermesi, yapay sinir ağının otomatik aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılması fikrini kuvvetlendirmektedir. Kullanılan mevcut deney verilerinden yaş, cinsiyet, göz durumu gibi deneklerin kişisel özellikleri ayırt edilememektedir. Bu gibi kişisel özelliklerin de bilindiği çok fazla sayıdaki deney

sonuçlarının yapay sinir ağına öğretme işleminde kullanılması halinde, tüm çalışanlara uygun yapay aydınlık düzeyleri daha doğru tahmin edilebilecektir. Bunun için, daha uzun zaman dilimlerini kapsayan çok sayıda denek ile gerçekleştirilecek daha detaylı bilgilerin elde edileceği çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çok sayıda ve daha detaylı deneysel veriler kullanılarak eğitilmiş yapay sinir ağına çıkışı, blok diyagramı aşağıdaki gösterilmiş olan otomatik kontrol sisteminin girişi olarak kullanıldığında, kişisel tercihlere oldukça iyi cevaplar verebilen bir aydınlatma sistemi tasarlanabilecektir.



Yapay sinir ağı kullanılan otomatik aydınlatma kontrol sistemi

Böyle bir sistemde, kişi çalışma hacmine girdiği anda aydınlatmayı kendi isteğine göre ayarlayarak sisteme kendini tanıtmış olacaktır (E_{BY} ve E_{BD} değerleri belirlenecek). Sistem bu başlangıç değerlerini esas alarak günboyu ortamdaki yapay aydınlık düzeyini saat ve doğal aydınlık düzeyine bağlı olarak kişinin tercihinine uygun ayarlayacaktır.

Burada amaç, her türlü ofiste kullanılabilecek genel bir çözümün elde edilmesi olduğundan, öğretme işlemi, geniş ve detaylı veri tabanları oluşturularak kontrol sisteminin üretim aşamasında gerçekleştirilecektir. Bu nedenle tüm kullanıcılara uygun olabilecek genel çözümlerin elde edilebilmesi için, çok sayıda , değişik koşullarda, farklı kişilerle elde edilmiş detaylı deneysel çalışma verilerine ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- [1] Lighting Energy Management - For Offices and Office Buildings, Publication of Boma International and the National Bureau
- [2] ÖZKAYA, M. Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayinevi, İstanbul, (1994)
- [3] DIN 5031 Teil 3, Strahlung Physik im Optischen Bereich und Lichttechnik, Maerz (1982)
- [4] DIN 5035 Teil 6, Beleuchtung mit Künstlichem Licht, Dezember (1990)
- [5] STOLZENBERG, K. Beleuchtungstechnik für Gebaeudetechniker, Berlin, (1994)
- [6] SPEISER, R. Handbuch für Beleuchtung, Verlag W. Girardet, Essen, (1975)
- [7] ADRIAN, W. K. Visual Performance, Acuity and Age, Lux Europa 1993, pp. 278-292, (1993)
- [8] BOYCE, P.R. Age , Illuminance, Visual Performance and Preference, Lighting Research and Technology , Vol 5, No.3, pp. 125-144 , (1973)
- [9] Office Lighting, ANSI / IES RP - 1, New York, (1982)
- [10] IES Lighting Handbook, 8 th Edition, Illuminating Engineering Society, New York, (1993)
- [11] CIBSE CODE for Interior Lighting, London, (1994)
- [12] CIE Guide for interior lighting, second Edition, Austria, (1986)
- [13] DIN 5035 - 2 Entwurf, Juni (1996)
- [14] "Lighting Manual " Philips Lighting, fifth edition, Netherlands, (1993)
- [15] KNOOP, T., EHLING, S., AYDINLI, S.,KAASE, H. Investigation of Daylight Redirecting Systems and Daylight Responsive Lighting Control Systems, Right Light 4, Vol 2, pp.231-235, (1997)

- [16] EHLING, K., KNOOP, T., S., AYDINLI, S., KAASE, H. Energy Efficient and Ergonomic Lighting by Innovative Daylight Systems and Building Management Systems, Lux Europa 1997, pp. 710-724, (1997)
- [17] ÇOLAK, N., BELENDORF, H., AYDINLI, S. Yapay Aydınlatmanın Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kontrolünün Enerjetik ve Aydınlatma Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, 2. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, (1998)
- [18] DIN 5035 Teil 1, Beleuchtung mit Künstlichem Licht - Begriffe und Allgemeine Anforderungen, Juni (1990)
- [19] DIN 5035 Teil 2, Beleuchtung mit Künstlichem Licht - Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenraum und Freien, September (1990)
- [20] Umdruck zum Seminar " Tageslicht, Kunstlicht und Gebaeudesystemtechnik Für eine Energetisch Optimierte Innenraumbeleuchtung", TU Berlin, (1997)
- [21] Terman, M., McCluney, R. Counteracting Daylight Deprivation, CIE, Venezia 1987, pp.346-349, (1987)
- [22] Küller, R. The Effects of Indoor lighting on Well- Being and the Annual Rhythm of Hormones, CIE, Venezia 1987, pp.342-346, (1987)
- [23] Belcher, M.C., Kluczny, R. The Effects of Light on Decision Making: Some Experimental Results, CIE, Venezia 1987, pp.354 - 357, (1987)
- [24] Neeman, E., Sweitzer, G., Vine, E. Office Worker Response and Daylighting Issues in Workspace Environments: A Pilot Survey, Energy and Buildings, 6, pp. 159 - 171, (1984)
- [25] Poppe, M., Jani, V. Some Thoughts the Physiological- Psychollogial Aspects of Lighting for Work, Lux Europa 1993, pp. 320 - 331, (1993)
- [26] Bodman, H.W. Quality of Interior Lighting Based on Luminance, Transaction of the Illuminating Engineering Society, pp.32-37, (1967)
- [27] Tregenza, P.R., Romaya, S.M., Dawe, S.P., Heap, L.J., Tuck, B. Consistency and Variation in Preferences for Office Lighting, Lighting Research and Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 205 - 211, (1974)

- [28] SAUNDERS, J.E. The Role of the Level and Diversity of Horizontal Illumination in an Appraisal of a Simple Office Task, *Lighting Research and Technology*, 1, (1969)
- [29] LESLIE, R.P., HARTLEB, S.B. Human Response and Variability in Light, *CIBSE National Lighting Conference*, (1990)
- [30] BEGEMANN, S.H.A., HENDRIKS, R.T.A. The Ups and Downs of Office Lighting, *National Lighting Conference*, pp. 7- 17, (1984)
- [31] VÖLKER, S., GALL, D. Eignung von Methoden zur Ermittlung von Beleuchtungsniveaus am Beispiel von Arbeitsplätzen mit geringen Sehansforderungen, *Tagungsberichte Licht' 96*, pp. 385 - 391, (1996)
- [32] TENNER, A., GRUNDEL, C. Control Systems and Daylighting Control for Office Lighting, *Lux Europa 1993*, pp. 35 - 42, (1993)
- [33] TENNER, A., BEGEMANN, S.H.A., BELD, G.J. Tageslicht, Künstliche Beleuchtung und Menschen: Die Gewünschten Beleuchtungsstärken bei Getrennter Tisch- und Wandbeleuchtung, *Tagungsberichte Licht' 96*, pp. 482-487, (1996)
- [34] TENNER, A., BEGEMANN, S.H.A., BELD, G.J. Acceptance and Preference of Illuminances in Offices, *Lux Europa 1997*, pp. 130-143, (1997)
- [35] BEGEMANN, S.H.A., TENNER, A., AARTS, A. Daylight, Artificial Light and People, *IES Australia 1994*, (1994)
- [36] BEGEMANN, S.H.A., BELD, G.J., TENNER, A. Daylight, Artificial Light and People, Part2, *Proceeding CIE Session 1995*, New Delhi, India, (1995)
- [37] SUN, Y., SCHIERZ, C., KREUGER, H. Dynamisches Licht: Wohlbefinden mit Energiegünstiger Beleuchtung, *Tagungsberichte Licht' 96*, pp. 94 - 101, (1996)
- [38] Tageslicht in Gebäuden, Institut für Elektronik und Lichttechnik der Technischen Universität Berlin, Maerz (1997)
- [39] DEMİR, N., ONAYGİL, S. Kompleks Binalarda Aydınlatmanın Kontrolü, *Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, 11-17 Eylül 1995, pp. 9-13, BURSA, (1995)

- [40] BERGEM-JANSEN, P.M. Die Akzeptanz eines Enegiesparsamen Beleuchtungssystems, Tagungsberichte Licht'96, pp.122 - 137, (1996)
- [41] BERGEM-JANSEN, P.M. Acceptance of an Energy-Efficient Lighting System, Lux Europa 1997, pp. 1180- 1187, (1997)
- [42] REA, M., MANICCIÀ, D. Lighting Controls: A Scoping Study, Final Report, Lighting Research Center, February, 1, New York, (1994)
- [43] BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT DIGEST, Lighting Control and Daylight Use, April, (1983)
- [44] A Report To Division3 Of The CIE By The TC 3.04 Committe, Subjective Response to Lighting and Shading Controls, June (1987)
- [45] VERDERBER, R.R., RUBINSTEIN, F.M. Mutual Impacts of Lighting Controls and Daylighting Applications, Energy and Buildings, 6, pp. 133-140, (1984)
- [46] CRISP, V. H. C. Lichtsteuerung Zur Energieeinsparung, Internationale Licht Rundschau, No. 1, pp. 16 - 21, (1983)
- [47] DIN 5034 Teil 1, Tageslicht in Innenraeumen, Februar (1983)
- [48] HUNT, D. R. G. The Use of Artificial Lighting in Relation to Daylight Levels and Occupancy, Building and Environment, Vol. 14, No. 1, pp.521- 530, (1979)
- [49] CRISP, V. H. C. The Light Switch in Buildings, Lighting Research and Technology, Vol.10, No.2, pp. 69 – 82, (1978)
- [50] HUNT, D. R. G. Predicting Artificial Lighting Use- A Method Based Upon Observed Patterns of Behaviour, Lighting Research and Technology, Vol.12, No. 1, pp. 7 - 14, (1980)
- [51] BOYCE, P. R. Observations of the Manual Switching of Lighting, Lighting Research and Technology, Vol.12, No. 4, pp. 195 - 205, (1980)
- [52] RUBINSTEIN, F. M., KARAYEL, M. The Measured Energy Saving from Two Lighting Control Strategies, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-20, No. 5, pp. 1189-1197, September-October (1984)

- [53] RUBINSTEIN, F. M., SIMINOVITCH, M., VERDERBER, R. Fifty Percent Energy Saving With Automatic Lighting Controls, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, No. 4, pp. 768 - 773, July- August (1993)
- [54] RUCK, N. C., DINH, C. T. Energy Efficient Lighting Controls, Lux Europa 1993, pp. 577 - 583, (1993)
- [55] FLOYD, D. B., PARKER, D. S. Field Commissioning of a Daylight-Dimming Lighting Systems, 3rd, European Conference on Energy Efficient Lighting, June 18- 21, England, (1995)
- [56] CRISP, V. H. C. A Case For Active Daylighting by Appropriate Management of Electric Lighting, Energy and Building, No. 6, pp. 151 - 158, (1983)
- [57] HUNT, D. R. G. Simple Expressions For Predicting Energy Savings From Photo-Electric Control of Lighting, Lighting Research and Technology, Vol. 9, No. 12, pp. 93 - 102, (1977)
- [58] O'CONNER, J., LEE, E., RUBINSTEIN, F., SELKOWITZ, S. Tips For Daylighting, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL - 39945, (1997)
- [59] URE, J.W., Methods and Benefits of Lighting Controls, ERA Report, Band 91-0001, pp. 2.2-2.2.12, (1991)
- [60] RUBINSTEIN, F., WARD, G., VERDERBER, R. Improving the Performance of Photo-Electrically Controlled Lighting Systems, Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter 1989, pp. 70 - 94, (1989)
- [61] RUBINSTEIN, F. Photoelectric Control of Equi- Illumination Lighting Systems, Energy and Building, Vol. 6, pp. 141-150, (1984)
- [62] RUBINSTEIN, F., LARSON, W., VERDERBER, R. The Effect of Control Algorithm and Photosensor Response on the Performance of Daylight- Following Lighting Systems, 1986 International Daylighting Conference, November 4-7, pp. 271-276, USA, (1986)
- [63] KNOOP, T., EHLING, K., AYDINLI, S., KAASE, H. Tageslichtabhaengige Beleuchtungskontrollsysteme und Ihre Bewertung, Licht 96, pp. 428 - 435, (1996)
- [64] HAYKIN, S. Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Company, USA, (1994)

- [65] ZURADA, J.M. Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Company, USA, (1992)
- [66] HECHT-NIELSEN, R. Neurocomputing, Addison-Wesley Publishing Company, USA, (1990)
- [67] MURRAY, A. Application of Neural Networks, Kluwer Academic Publishers, (1995)
- [68] ONAYGİL, S., TENNER, A.D. Combination of Daylight and Artificial Lighting in Office Lighting, Philips Study Report, No.58, (1994)
- [69] MARIËLLE, A. Towards a New Kind of Office Lighting , Ms.C Thesis, Eindhoven Technical University, (1994)
- [70] ÇOLAK, N., ONAYGİL, S. Predicted Artificial Illuminance by Using Neural Network, CIBSE National Lighting Conference, pp.127-131, (1998)
- [71] DEHOFF, P. Biological Rhythms and their Influence on Interior Lighting Schemes, CIBSE National Lighting Conference, pp.185-189, (1998)
- [72] ZENG P. Neural Computing in Mechanics, Appl. Mechanical Rev. Vol.51, No.2, February 1998, pp.173-197

EK-A

GERİYE YAYILIM ALGORİTMASI (BACK PROPAGATION)

Geriye Yayılım Algoritması adı verilen öğrenme yönteminde amaç, ortalama karesel hata minimum olacak şekilde ağırlık katsayıların ayarlanmasıdır. İstenen çıkış değeri (d) ve bulunan çıkış değeri (y) olmak üzere, j . nöronun n . iterasyondaki hatası

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \quad (A.1)$$

şeklinde tanımlanır. Çıkış tabakasındaki nöronlara ilişkin hataların toplamı

$$F(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in c} e_j^2(n) \quad (A.2)$$

şeklinde ifade edilirse, öğrenmede kullanılan giriş çıkış-çifti sayısı (N) olmak üzere ortalama karesel hata

$$F_{ort} = \frac{1}{N} \sum_{n=1} F(n) \quad (A.3)$$

şeklinde yazılabilir. Çıkış tabakasındaki j . nörona ilişkin ağırlıklı toplam

$$v_j(n) = \sum_{i=1}^p w_{ji}(n) \cdot y_i(n) \quad (p: j. nöronun giriş sayısı) \quad (A.4)$$

ve $f()$ aktivasyon fonksiyonu olmak üzere, j . nöronun çıkışı

$$y_j(n) = f_j(v_j(n)) \quad (A.5)$$

olacaktır.

$w_{ji}(n)$ ağırlık katsayısı, hatanın gradyenti

$$\nabla F(n) = \frac{\partial F(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (A.6)$$

ile orantılı olarak ayarlanmaktadır. Zincir kuralından j. çıkış nöronu için hata gradyenti

$$\nabla F(n) = \frac{\partial F(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial F(n) \cdot \partial e_j(n) \cdot \partial y_j(n) \cdot \partial v_j(n)}{\partial e_j(n) \cdot \partial y_j(n) \cdot \partial v_j(n) \cdot \partial w_{ji}(n)} \quad (A.7)$$

şeklinde yazılabilir.

(A.2) denkleminin her iki tarafının $e_j(n)$ 'e göre kısmi türevi alınır

$$\frac{\partial F(n)}{\partial e_j(n)} = e_j(n) \quad (A.8)$$

elde edilir. (A.1) denkleminin her iki tarafının $y_j(n)$ 'e göre kısmi türevi alınır

$$\frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} = -1 \quad (A.9)$$

elde edilir. Benzer şekilde (A.5) denkleminin de $v_j(n)$ 'e göre kısmi türevi alınarak

$$\frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} = f'_j(v_j(n)) \quad (A.10)$$

yazılabilir. Aynı şekilde (A.4) denkleminin $w_{ji}(n)$ 'e göre kısmi türevi alınır

$$\frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} = y_i(n) \quad (A.11)$$

olur. (A.8), (A.9), (A.10), (A.11) ifadeleri (A.7) denkleminde yerine konulursa

$$\frac{\partial F(n)}{\partial w_{ji}(n)} = -e_j(n) f'_j(v_j(n) \cdot y_i(n)) \quad (A.12)$$

elde edilir.

$w_{ji}(n)$ ağırlık katsayısına ait düzeltme $\Delta w_{ji}(n)$ ve η öğrenme oranı adı verilen bir sabit olmak üzere,

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial F(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (A.13)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. (A.12) denklemini (A.13)'de yerine konularak,

$$\Delta w_{ji} = \eta \mathfrak{S}_j(n) y_i(n) \quad (A.14)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $\mathfrak{S}_j(n)$ lokal gradyent olarak tanımlanır ve çıkış tabakası için

$$\mathfrak{S}_j(n) = -\frac{\partial F(n) \cdot \partial e_j(n) \cdot \partial y_j(n)}{\partial e_j(n) \cdot \partial y_j(n) \cdot \partial v_j(n)} = e_j(n) \cdot f'_j(v_j(n)) \quad (A.15)$$

dir.

Saklı tabakalardaki nöronlar için lokal gradyent

$$\vartheta_j(n) = -\frac{\partial F(n) \cdot \partial y_j(n)}{\partial y_j(n) \cdot \partial v_j(n)} = -\frac{\partial F(n)}{\partial y_j(n)} f'_j(v_j(n)) \quad (\text{A.16})$$

olacaktır. $F(n)$ 'in , $y_j(n)$ 'e göre kısmi türevini hesaplayabilmek için (A.2) denklemi, j yerine k konularak tekrar yazılırsa,

$$F(n) = \frac{1}{2} \sum_{k \in \epsilon} e_k^2(n) \quad (\text{A.17})$$

olacaktır. (A.17) denkleminin $y_j(n)$ 'e göre kısmi türevi

$$\frac{\partial F(n)}{\partial y_j(n)} = \sum_k e_k(n) \frac{\partial e_k(n)}{\partial y_j(n)} \quad (\text{A.18})$$

dir. (A.18) denklemine zincir kuralı uygulanarak

$$\frac{\partial F(n)}{\partial y_j(n)} = \sum_k e_k(n) \frac{\partial e_k(n) \partial v_k(n)}{\partial v_k(n) \partial y_j(n)} \quad (\text{A.19})$$

denklemi elde edilir. Saklı tabaka için,

$$\begin{aligned} e_k(n) &= d_k(n) - y_k(n) \\ &= d_k(n) - f_k(v_k(n)) \end{aligned} \quad (\text{A.20})$$

$$\frac{\partial e_k(n)}{\partial v_k(n)} = -f'_k(v_k(n)) \quad (\text{A.21})$$

ve

$$v_k(n) = \sum_{j=1}^q w_{kj}(n) y_j(n) \quad (q: j. \text{ nöronun giriş sayısı}) \quad (\text{A.22})$$

olacağından, $v_k(n)$ 'in $y_j(n)$ 'e göre kısmi türevi

$$\frac{\partial v_k(n)}{\partial y_j(n)} = w_{kj}(n) \quad (A.23)$$

dir. (A.21) ve (A.23) ifadeleri (A.19) denkleminde yerine konularak

$$\frac{\partial F(n)}{\partial y_j(n)} = -\sum_k e_k(n) f'_k(v_k(n)) \cdot w_{kj}(n) \quad (A.24)$$

elde edilir. (A.15) denklemindeki lokal gradyent tanımından

$$e_k(n) f'_k(v_k(n)) = \vartheta_k(n) \quad (A.25)$$

yazılabileceğinden (A.25) ifadesi (A.24)'de yerine konularak

$$\frac{\partial F(n)}{\partial y_j(n)} = -\sum_k \vartheta_k(n) \cdot w_{kj}(n) \quad (A.26)$$

elde edilir. (A.26) ifadesi (A.16)'da yerine konulduğunda saklı nöronlar için lokal gradyent

$$\vartheta_j(n) = f'_j(v_j(n)) \sum_k \vartheta_k(n) w_{kj}(n) \quad (A.27)$$

olarak elde edilir.

Çıkış tabakasındaki nöronlar için (A.15) ve saklı tabakalardaki nöronlar için (A.27) denklemleri ile verilen lokal gradyentlerin hesaplanabilmeleri için , söz konusu denklemlerdeki türevlerden dolayı, aktivasyon fonksiyonunun sürekli bir fonksiyon olması gerekmektedir. Aktivasyon fonksiyonunun sigmoid fonksiyonu olması durumunda, j. nöronun çıkışı

$$y_j(n) = f_j(v_j(n)) = \frac{1}{1 + e^{-v_j(n)}} \quad (\text{A.28})$$

olacaktır. (A.28) denkleminin $v_j(n)$ 'e göre kısmi türevi alınır,

$$\frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} = f'_j(v_j(n)) = \frac{e^{-v_j(n)}}{[1 + e^{-v_j(n)}]^2} \quad (\text{A.29})$$

elde edilir. (A.28) ve (A.29) ifadelerinden

$$f'_j(v_j(n)) = y_j(n)[1 - y_j(n)] \quad (\text{A.30})$$

elde edilir. Çıkış tabakasındaki j . nöronun çıkışı $y_j(n) = o_j(n)$ olmak üzere (A.1) ve (A.30) ifadeleri (A.15)'de yerine konulursa, çıkış tabakasındaki nöronlar için lokal gradyent

$$\vartheta_j(n) = [d_j(n) - o_j(n)]o_j(n)[1 - o_j(n)] \quad (\text{A.31})$$

ifadesi ile hesaplanır. Benzer şekilde, (A.30) denklemi (A.27)'de yerine yazılırsa, saklı tabakalardaki nöronlar için lokal gradyent

$$\vartheta_j(n) = y_j(n)[1 - y_j(n)] \sum_k \vartheta_k(n) w_{kj}(n) \quad (\text{A.32})$$

denklemi yardımıyla hesaplanır.

η öğrenme oranı, α momentum sabiti olmak üzere, yapay sinir ağının l . tabakasındaki nöronlara ilişkin ağırlık katsayıları, (A.31) veya (A.32) denklemi ile hesaplanan lokal gradyente bağlı olarak

$$w_{ji}^{(l)}(n+1) = w_{ji}^{(l)}(n) + \alpha [w_{ji}^{(l)}(n) - w_{ji}^{(l)}(n-1)] + \eta \vartheta_j^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n) \quad (\text{A.33})$$

olacak şekilde ayarlanır.

EK-B

DENEY SONUÇLARI

Altı dakikada bir çalışma masası üzerinde ölçülmüş olan doğal ve yapay aydınlık düzeylerinin saatlik ortalamaları kış ve yaz ayları için tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

Kış ayları için deney sonuçları

saat	doğal(lx)	apay(lx)	saat	doğal(lx)	yapay(lx)	saat	doğal(lx)	yapay(lx)
9	679	1500	9	128	1500	10	896	605
10	869	1368	10	262	1500	11	971	725
11	1146	1500	11	348	1500	13	1019	423
13	914	1500	12	508	980	14	999	486
14	775	1478	13	286	1500	15	509	372
15	489	1411	14	368	933	16	116	745
9	303	1500	15	262	956	17	116	549
10	438	1500	16	124	1500	8	116	555
11	557	1500	17	116	901	9	254	670
12	557	1500	8	116	725	10	427	721
14	417	1500	9	152	580	11	541	849
15	289	1500	10	406	500	12	443	0
16	160	858	11	725	647	13	999	510
9	250	752	13	890	196	14	764	430
10	609	984	14	834	476	15	469	382
13	852	343	15	521	815	16	182	640
14	736	572	16	239	862	9	286	566
16	281	846	9	369	805	14	940	0
9	408	1500	10	732	972	15	146	588
10	689	964	11	808	857	16	116	735
11	930	1058	13	360	1500	17	116	784
12	1071	666	14	234	1450	8	244	529
15	517	611	15	195	911	9	513	529
16	300	1500	16	116	1500	11	986	581
17	116	823	17	116	1500	9	652	679
9	342	754	10	626	627	10	717	537
11	522	928	11	900	705	11	793	450
14	518	970	13	892	601	13	1113	564
15	235	510	14	764	672	15	383	235
16	156	568	15	574	431	16	146	558
9	313	831	9	287	947	8	332	275
10	489	815	11	476	1500	9	605	366
11	744	679	16	116	1500	10	780	395
12	705	679	17	116	1500	11	905	392
13	718	1500	9	374	1154	12	1175	346

14	613	915	10	935	1009	9	619	446
15	489	627	11	803	980	10	764	392
16	261	692	12	1013	1500	12	862	392
9	398	875	13	925	1500	13	803	401
10	989	269	14	826	1500	14	705	313
13	1205	695	16	326	1500	16	140	737
14	1143	1500	17	116	705	11	1989	1264
15	932	905	9	156	1500	12	2078	1500
16	685	855	10	427	1500	13	1454	941
9	262	588	11	886	1038	14	575	1500
10	454	721	12	1258	1500	15	391	888
11	518	617	13	593	1500	16	116	1156
13	754	293	14	814	1500	17	116	1500
14	634	282	15	671	957	8	450	656
15	489	614	9	206	879	9	788	758
17	143	222	10	281	952	10	1403	501
9	278	832	11	415	596	11	1462	494
10	435	323	14	313	627	12	1685	420
15	670	650	15	250	905	13	850	1479
16	332	1500	16	132	580	14	1074	497
17	141	1499	17	116	862	15	948	443
11	1183	760	10	752	674	16	387	627
13	1352	456	11	1058	73	17	116	666
14	876	260	12	1337	304	8	731	640
15	438	235	14	973	52	9	1120	537
16	199	207	9	195	666	10	1607	0
17	126	196	11	548	405	11	1686	196
10	1019	1500	12	453	392	14	1483	653
11	866	958	13	320	745	14	718	705
12	1498	1424	14	300	661	15	372	1500
13	1371	1500	15	152	643	16	116	1500
14	1434	988	16	116	549	17	116	1500
15	1049	1500	17	116	509	8	509	1038
16	799	988	9	419	1500	9	932	1031
9	1049	714	10	779	1500	10	1273	769
10	1489	653	11	1120	999	11	1587	686
11	1289	1254	12	969	627	12	1822	0
12	1685	1500	13	968	1064	13	1590	0
13	1524	1500	14	862	999	14	940	1019
14	1162	1464	15	400	962	15	716	753
15	1097	1427	16	313	1500	16	376	926
16	1034	722	17	116	824	17	116	654
8	577	1500	9	685	1500	8	404	653
9	893	1500	14	196	1500	9	971	764
10	995	1500	15	187	1500	10	1219	418
11	996	1500	16	121	1500	11	1308	323
13	1121	1500	9	539	923	13	1489	0
14	1444	1500	13	774	1500	14	852	548
15	1046	1500	14	752	921	15	595	882
16	773	1460	15	489	1490	16	171	835
10	1018	1500	17	116	1500	17	116	1068
11	1280	1398	9	187	1278	8	156	951

13	1191	972	10	435	1500	9	225	793
17	303	607	11	600	784	10	723	901
8	420	941	12	411	769	11	1019	770
9	642	870	13	367	650	12	1234	539
13	855	967	14	517	771	13	526	924
14	968	646	15	332	392	14	326	705
15	788	636	9	335	997	15	325	862
16	452	374	10	208	1476	16	160	1019
17	293	607	11	626	1500	17	116	1097
9	846	905	12	725	1476	8	454	580
10	1341	888	13	430	1166	9	701	713
11	1580	418	14	321	1363	10	1082	985
14	643	638	15	161	1500	11	1109	980
15	526	627	16	116	1385	12	1323	656
16	273	901	9	175	666	13	1313	964
11	638	1427	10	352	653	14	970	680
12	587	1019	12	303	646	15	579	686
13	305	972	13	332	529	16	260	1045
14	199	631	15	148	639	9	980	901
16	116	1500	16	116	605	10	803	993
17	116	1500	9	303	622	11	547	1059
10	470	1500	10	744	607	12	744	758
11	542	51	11	965	450	13	850	611
17	116	542	12	1058	529	14	790	0
11	692	1176	15	458	627	16	312	0
12	783	1500	8	156	1176	8	196	744
16	116	993	9	363	1114	9	238	725
17	116	1500	10	718	980	10	249	999
15	195	1500	11	1293	797	11	485	1066
16	116	882	12	1156	283	12	783	499
9	116	1102	10	287	601	13	717	991
11	208	1500	11	345	620	14	722	862
12	196	0	13	392	627	15	391	1058
13	176	1137	14	336	619	16	167	1109
14	143	1500	15	211	627	17	116	1098
15	116	1278	16	130	516	8	116	1117
16	116	1500	17	116	457	9	122	1097
17	116	549	9	146	656	10	175	1027
9	240	632	12	1026	439	11	297	984
10	711	686	14	823	450	12	261	1150
11	960	627	15	521	454	13	360	886
12	870	1482	16	273	604	14	425	1166
13	607	392	14	731	431	15	305	1086
14	398	633	17	116	424	16	132	995
15	156	0	8	156	627	17	116	1098
16	116	549	9	242	627	8	391	561
17	116	483	10	365	431	9	705	997
12	430	0	10	1096	392	10	953	901
13	352	40	11	805	379	11	1105	827
14	694	1192	12	1012	92	12	1156	0
15	365	601	9	178	829	13	1093	0
9	130	588	11	1045	143	14	646	1117

10	422	1500	12	1244	39	16	116	1058
11	783	1500	13	581	0	17	116	614
12	835	78	14	826	8	8	371	872
8	143	1500	15	646	7	9	526	975
10	790	13	16	246	200	10	1027	901
11	956	1482	17	116	604	11	1096	1059
12	1038	333	9	186	662	12	1041	1092
12	992	431	10	273	477	13	999	852
13	909	462	11	386	509	14	834	654
15	279	465	14	320	470	15	504	1058
8	116	549	15	274	852	16	171	643
14	318	769	9	402	963	17	116	176
17	116	627	10	659	574	8	313	1130
9	175	517	11	1052	573	9	638	1113
10	334	492	13	1277	446	10	897	1090
11	360	784	14	1038	994	11	971	693
12	318	627	15	639	915	12	947	1091
14	251	532	9	411	1500	13	1046	470
16	116	578	10	653	1500	14	1009	0
17	116	627	11	583	984	8	116	1117
8	116	1500	14	196	1019	9	254	1117
9	126	1500	15	152	909	10	435	1107
11	1028	754	16	116	196	11	536	647
12	1110	163	17	116	196	12	711	1108
13	1035	196	8	235	1371	13	823	1078
14	701	325	9	391	1500	14	779	1006
15	450	1421	10	744	1500	15	539	653
16	156	1411	11	1123	1500	16	175	1027
17	116	1175	12	906	1500	17	116	745
11	1162	405	13	917	1500	8	156	1122
8	116	980	14	752	1286	9	293	1070
9	116	810	15	371	729	10	540	1066
10	246	907	16	326	855	11	689	839
13	116	1162	8	273	470	12	1074	1074
14	855	424	9	528	421	13	999	544
16	195	483	15	187	619	14	989	1068
17	116	470	16	120	619	8	287	0
9	348	1301	14	783	401	9	542	0
10	732	1023	17	116	503	10	665	0
11	795	1500	8	116	235	11	881	401
12	587	1500	9	124	1500	12	1001	162
13	360	1333	10	215	913	13	1011	533
14	249	1495	9	189	927	14	822	637
15	181	1500	10	501	913	15	564	243
8	156	548	11	461	1010	16	141	901
9	335	535	12	409	853	9	553	661
10	697	446	13	383	945	10	783	723
11	870	422	14	509	823	11	920	725
15	567	500	15	318	842	12	1119	1047
16	254	882	16	134	1102	13	1149	699
17	116	1023	17	116	1098	14	879	677
13	1208	424	9	622	1500	15	425	901

15	224	500	10	870	1500	16	136	960
16	116	619	11	1136	1500	17	116	617
17	116	444	12	1181	1467	8	273	1098
11	736	423	13	1004	347	9	522	1050
12	1019	374	15	415	674	10	799	972
16	116	510	16	317	1500	11	847	833
17	116	490	17	136	225	12	861	956
8	116	477	8	143	1500	13	823	962
11	1040	449	9	229	1500	14	764	970
9	548	200	10	470	1500	16	116	1008
10	873	470	13	470	221	17	116	980
11	1198	50	14	470	1337	12	1603	121
13	796	657	10	591	1500	13	848	335
14	203	873	11	720	1500	14	1150	235
15	187	997	12	784	1500	17	116	650
16	120	713	13	916	1168	11	1637	291
9	513	682	14	744	1500	13	1881	196
10	918	1500	15	474	1500	14	1418	329
11	1048	548	16	239	1500	15	1002	465
12	1198	1500	17	116	1500	13	734	568
14	852	480	13	1014	1500	16	116	660
15	356	531	15	574	1500	17	116	616
16	203	1341	16	243	1500	9	917	352
9	126	1039	9	265	1500	11	1254	196
10	326	1110	10	458	1500	12	1371	352
11	466	819	12	642	1500	13	1038	235
13	744	674	13	591	1500	14	711	562
14	1030	905	14	540	1384	15	603	557
15	717	1239	15	330	1424	16	254	666
16	173	875	16	140	1500	17	116	635
8	143	627	8	176	1500	8	196	705
9	178	313	9	270	1500	9	260	679
10	478	736	10	458	1305	11	685	784
11	498	1265	11	752	1500	15	273	705
12	417	901	12	1195	29	16	166	676
13	376	852	13	1124	694	17	116	601
14	496	1091	14	1007	1247	9	724	699
15	287	1367	15	640	1500	13	1215	294
16	136	1500	16	270	1500	16	116	666
9	660	420	8	166	1499	17	116	667
10	869	458	9	277	1329	8	116	705
11	1165	382	12	705	414	9	122	689
12	1283	784	13	722	1411	10	162	679
9	254	568	14	613	1500	11	308	483
10	439	614	16	265	1490	15	244	588
13	509	502	17	116	117	16	131	666
14	470	611	8	221	1500	17	116	627
15	287	740	9	453	1500	11	1490	430
16	160	549	10	894	1372	12	1234	588
17	116	470	11	1234	79	13	999	431
11	754	0	13	1215	980	16	146	686
12	784	0	14	1132	866	17	116	649

16	116	549	15	932	1148	15	254	705
17	116	564	16	583	890	16	175	692
9	375	748	17	235	940	17	116	651
10	680	842	9	262	1500	11	538	568
13	964	595	10	427	1454	12	529	685
14	883	588	11	548	1353	16	116	666
15	517	878	15	517	788	17	116	627
16	234	521	16	305	929	8	235	665
17	116	470	17	136	1500	9	291	693
15	280	522	8	496	1098	15	140	650
16	143	901	9	756	1500	14	886	539
8	182	522	13	1141	1415	15	470	255
15	621	492	14	1101	1398	16	150	655
16	270	611	15	996	1500	17	116	654
17	116	549	17	200	1500	9	615	621
8	145	526	13	1438	1500	10	778	615
9	259	651	14	1489	756	13	1038	695
14	638	1500	15	1004	955	14	896	681
15	521	1259	16	832	1500	15	450	666
17	132	1066	10	999	1500	16	139	638
9	273	827	11	991	1500	17	116	627
10	435	1267	14	1404	1025	8	352	1500
11	499	1049	15	1089	1011	9	685	1500
12	1019	0	17	538	1500	10	1143	1500
13	980	0	9	809	1076	13	973	1500
15	665	0	10	1289	1500	14	754	1500
16	408	0	11	1662	1500	17	116	1500
9	542	280	12	1437	13	13	862	1500
17	226	878	13	979	9	14	852	1500
8	143	927	16	470	20	17	234	656
9	692	880	9	846	741	9	1630	1500
10	823	627	10	1168	721	10	1662	1466
11	1090	581	12	1223	15	15	1283	1500
13	1293	0	13	959	1007	16	1001	1500
14	920	0	14	635	1500	17	336	1500
15	438	0	15	458	1500	9	1523	710
10	1019	0	16	269	1161	10	1391	1490
11	897	352	12	1221	425	11	853	1500
12	1205	107	13	979	592	12	570	1500
10	1489	1442	12	556	635	13	901	1500
11	1319	1500	13	522	510	14	1901	1500
12	1973	1500	14	454	611	15	967	1500
13	1499	1500	15	254	627	13	1583	580
14	1206	1500	16	151	642	15	1183	1500
15	1042	1500	17	116	549	16	901	1500
16	846	1500	9	330	470	17	244	1500
17	587	1500	11	815	54	11	2822	1500
8	679	0	12	871	480	12	1319	555
9	827	63	15	640	431	13	1019	568
16	842	602	8	156	470	10	1585	1500
9	895	1500	9	246	622	11	1759	1352
10	1289	1500	13	626	382	15	1147	1500

11	1665	660	15	303	460	16	900	1500
12	1732	1500	12	1018	450	8	1019	1500
13	879	1500	13	1023	568	9	1077	1500
14	1035	1500	14	968	631	10	1254	1500
15	731	1219	16	404	636	11	1901	1500
16	458	1500	17	196	627	12	2064	1500
17	293	1500	8	352	470	13	1931	1500
8	116	1500	9	486	0	14	940	1500
9	260	1500	10	679	148	15	1071	1500
10	479	0	8	196	587	16	692	1500
11	940	0	9	297	721	12	2171	1500
13	375	1403	14	503	845	13	1868	1476
14	238	1500	15	430	705	14	1568	1137
15	148	1500	16	297	556	15	1142	1500
16	116	1475	9	751	679	16	627	1500
8	116	1500	17	130	536	17	208	1500
9	266	1500	8	148	0	9	1183	917
10	640	1500	10	535	706	10	1585	1015
11	949	1500	11	921	494	11	1460	1470
12	1105	1176	12	1446	254	12	1235	529
13	1088	714	13	1437	483	9	1085	1500
14	701	1500	14	1454	584	10	1442	1500
15	446	1500	15	1049	422	11	1430	1500
16	215	1500	16	509	0	14	1540	678
8	116	1500	9	842	470	15	1045	1500
9	116	1500	11	992	0	16	489	1500
10	262	1500	12	1019	0	17	195	1500
11	340	1500	13	1058	78	9	538	537
12	535	1500	14	1463	0	10	865	542
13	320	1500	15	1019	0	11	888	535
14	340	1500	16	875	477	13	784	564
15	381	1500	10	1114	694	14	608	538
16	124	1400	11	1324	0	15	477	543
17	116	882	12	1313	522	16	320	590
8	121	1500	13	1089	0	17	105	515
9	195	1500	14	1286	0	9	354	564
10	810	1500	15	1048	510	10	554	544
13	332	1500	16	839	504	11	600	769
14	234	1500	17	443	0	12	600	593
15	187	1500	9	619	956	13	618	238
16	116	1500	10	757	892	14	684	252
17	116	1500	12	861	940	15	453	210
9	357	1428	13	829	960	16	352	262
13	885	1500	14	725	980	17	171	247
8	132	1500	15	411	1011	8	955	220
9	270	1458	16	128	984	9	1263	171
10	442	1500	17	116	901	10	1398	212
11	650	1474	9	336	1125	11	1653	198
12	966	0	10	474	1500	12	1541	58
13	1146	1500	11	617	1068	13	1620	533
14	1069	929	12	617	1058	14	1623	795
15	591	1500	13	264	1043	15	1048	512

16	116	1500	14	191	1028	16	752	506
8	176	1500	15	167	819	17	288	525
9	387	1466	16	116	985	9	1255	552
10	949	1500	9	548	918	10	1015	545
11	1096	0	10	770	579	11	740	551
12	1084	78	10	391	1066	12	447	535
13	957	226	11	409	984	13	751	130
14	816	1500	12	501	988	14	1328	535
15	626	1500	13	339	764	15	812	526
16	266	1500	14	307	744	9	880	490
17	116	170	15	164	980	10	888	504
8	116	1097	16	116	933	11	940	0
9	169	1500	17	116	901	12	974	0
10	391	1500	8	116	1059	13	1386	515
11	940	1500	9	195	1063	14	1105	730
12	1293	1500	13	660	1114	15	943	510
13	672	1163	14	422	768	16	623	517
14	826	1500	15	141	926	8	900	0
15	646	1500	16	116	929	9	973	0
16	246	1500	17	116	666	10	1160	0
17	116	1500	8	136	705	11	2320	0
8	116	1500	9	273	925	12	1702	15
9	141	1500	10	564	941	13	851	620
10	273	1470	11	705	1010	14	475	542
11	415	1500	12	774	666	15	764	610
12	450	1500	13	641	995	16	357	602
13	321	1500	14	442	976	17	130	1328
14	303	1500	15	199	960	9	910	547
15	250	1500	16	116	897	10	1320	525
16	132	1500	17	116	940	11	1433	467
17	116	1500	8	116	1078	12	1434	0
8	136	1500	9	348	1055	13	1235	624
9	371	619	10	679	971	14	1055	522
10	796	1500	11	807	991	15	928	510
11	1042	1500	12	857	970	16	582	522
12	1273	323	13	823	980	17	106	818
13	1262	509	14	430	372	9	900	565
14	997	849	15	186	958	10	1000	500
8	140	1027	16	116	905	11	1234	491
9	336	1500	17	116	915	12	1574	433
11	528	1500	8	116	960	13	1630	15
12	516	651	9	116	1020	15	820	10
13	356	1321	10	169	967	16	517	160
14	305	1500	12	203	752	17	150	193
16	116	1500	13	176	1500	8	780	550
17	116	1500	14	130	889	9	850	540
8	195	1500	15	116	917	10	980	0
9	313	1500	16	116	933	11	1465	0
10	779	1500	9	242	1500	12	1745	311
11	1120	1500	10	685	1500	15	1035	25
12	985	1198	11	940	737	16	505	461
13	967	988	12	901	685	17	230	540

14	731	1500	13	579	811	8	750	540
15	371	1500	14	371	980	9	791	536
16	293	1500	15	160	1500	13	1333	176
17	116	1500	16	116	1418	14	1135	547
8	182	1189	17	116	911	15	666	315
9	538	1500	9	195	1500	16	241	257
10	783	1500	10	356	1500	17	100	250
13	760	1500	11	452	1500	14	766	736
14	195	1500	12	443	1500	15	541	617
15	187	956	13	415	972	16	203	257
16	120	1500	15	116	1500	17	118	490
17	116	1088	16	116	1500	8	720	220
8	116	1124	17	116	587	9	869	235
9	124	1500	8	116	450	10	1286	546
10	195	1500	9	346	1500	11	1168	90
11	466	1500	13	844	906	12	1141	508
12	548	1293	15	404	932	13	1190	523
13	744	1500	17	116	1500	14	1250	525
14	1030	643	8	136	1500	15	910	791
15	717	1500	9	375	1500	16	664	550
16	167	1500	10	414	1500	8	875	1500
17	116	892	11	536	1500	9	926	1346
8	146	1500	12	775	1500	11	1070	680
9	178	1461	13	1231	1500	12	1103	1500
10	196	0	14	819	1500	13	1340	1063
11	505	1500	15	364	1500	14	430	985
12	437	1500	16	128	1500	16	774	715
13	369	554	17	116	156	9	988	1231
14	509	1368	8	116	1039	10	1026	1100
15	291	1333	9	140	1500	11	1071	678
16	138	1500	10	352	1500	12	1075	718
17	116	0	11	791	1500	13	1047	1440
15	408	592	12	793	0	14	1030	1280
17	116	496	10	807	980	15	990	704
8	156	627	11	940	0	16	856	1470
15	151	622	12	881	0	9	1104	1110
16	116	588	13	1052	5	10	1502	928
17	116	581	9	336	509	11	2546	366
8	136	294	14	199	642	13	1100	1070
9	283	642	15	167	780	14	540	1418
11	757	208	12	385	453	15	891	1062
12	757	0	9	278	440	16	520	648
14	422	447	11	642	485	9	985	555
15	204	649	15	190	519	10	1598	395
16	116	619	16	116	738	11	1708	441
17	116	196	13	568	519	13	1358	764
8	116	215	14	495	488	14	1200	435
10	705	0	15	203	572	15	1055	410
12	930	460	16	116	867	16	753	330
13	627	0	17	116	627	8	910	480
14	450	293	12	203	0	9	1010	693
15	203	658	13	176	1500	10	1140	395

17	116	0	9	321	518	11	1300	445
9	116	635	15	313	564	13	1753	472
10	163	659	16	116	869	14	1023	842
11	208	0	17	116	902	15	805	861
12	196	0	9	128	565	16	793	403
13	180	642	10	343	561	9	638	497
14	151	666	13	675	510	10	1855	0
16	116	0	14	731	535	11	1890	0
17	116	418	15	493	478	12	1530	0
9	411	293	8	143	510	14	1220	0
10	722	515	14	607	529	15	1048	0
11	960	581	9	923	324	16	260	637
12	914	0	10	1476	170	17	113	1061
13	554	520	11	1950	88			
14	338	313	13	1313	195			
15	179	470	14	652	359			
8	116	392	10	1595	90			
11	529	0	11	1637	78			
12	528	0	11	1274	646			
16	116	0	12	1274	529			
8	116	510	13	462	611			
9	293	431	14	254	1480			
13	822	442	15	312	705			
14	665	607	16	116	1136			
9	116	470	17	116	1500			
13	660	666	8	606	1059			
14	757	627	9	761	1500			
15	509	0	10	1088	1500			
16	116	572	11	1050	1500			
17	116	616	13	2116	1293			
10	861	0	14	957	1500			
12	900	0	15	637	1500			
8	116	1500	16	273	1127			
9	156	1500	13	745	900			
10	580	647	14	822	1500			
11	838	639	15	548	1500			
12	1009	1308	16	212	1500			
14	705	1500	9	727	380			
15	318	1367	10	932	427			
16	171	1500	11	1087	450			
8	116	1500	12	1144	454			
9	266	1500	13	1032	496			
12	1103	1500	14	572	443			
13	1019	1500	15	262	497			
14	683	1028	16	116	627			
15	454	996	12	882	0			
16	116	1500	13	940	352			
11	1215	307	14	834	882			
12	1228	274	15	455	431			
13	914	213	16	171	760			
14	718	235	17	116	870			
15	646	607						

Yaz ayları için deney sonuçları

saat	doğal(lx)	yapay(lx)	saat	doğal(lx)	yapay(lx)	saat	doğal(lx)	yapay(lx)
9	993	670	15	1208	0	14	2143	0
10	1141	968	16	1484	0	15	1390	0
11	1024	651	17	825	0	16	1963	0
13	1033	666	8	1120	0	17	1975	0
14	998	923	9	1060	30	8	560	0
15	1508	1008	10	1855	0	9	1320	0
16	805	926	11	2233	1400	10	1456	0
17	795	751	12	1690	1500	11	1603	0
9	1543	733	13	1180	728	12	1672	0
10	1926	485	14	1496	1127	13	1456	0
11	1858	504	15	2431	816	14	630	0
13	1914	454	8	1255	1305	15	683	0
14	1903	417	9	797	1095	16	800	0
15	1039	1500	10	1943	1285	17	2070	10
16	1298	1500	11	1876	989	8	700	0
8	1140	0	12	2140	0	9	700	0
9	1180	0	13	2015	260	10	1038	0
12	1420	0	14	1397	352	11	965	0
13	1567	1322	15	1523	207	12	1333	0
14	1620	0	16	1661	704	13	1295	0
15	1918	27	17	2090	550	14	1612	0
16	1970	22	9	1502	0	15	1233	0
17	2015	28	10	1797	0	16	1330	0
9	917	1298	11	1420	0	17	1500	0
10	878	1114	12	1706	0	8	800	0
11	881	1387	13	1231	0	9	1336	0
12	880	676	14	1174	0	10	1548	0
13	891	625	15	1410	0	11	1721	0
15	1230	840	16	1821	0	12	2176	0
16	1345	1402	17	1095	685	13	2320	0
9	1010	440	8	607	970	14	2291	0
14	1137	481	9	488	975	15	2222	0
16	1225	520	10	1633	0	16	1822	0
10	1658	581	11	2311	0	17	926	0
8	1190	1050	12	2308	0	8	763	0
9	990	1120	13	1813	616	9	850	0
10	1480	1045	14	1622	632	10	1128	0
11	1187	350	15	2336	0	11	915	0
13	1655	114	16	2045	0	12	792	0
14	1390	115	8	1323	0	13	740	0
15	1803	1218	9	1433	0	14	771	0
8	1416	426	10	1983	0	15	771	0
9	1527	502	11	1650	0	16	858	0
10	1253	415	12	2308	0	17	942	0
13	977	1077	13	2605	0	8	670	0
14	1174	1048	9	1240	0	9	777	0
15	850	1045	10	1023	0	10	1080	0
16	781	1020	11	1756	0	12	788	701
17	708	810	12	1187	0	15	1400	90
9	981	634	13	1733	0	16	1551	60
10	1061	292	14	1370	0	17	1612	0
11	1150	285	15	1783	0	9	862	607
13	1071	266	16	1681	0	10	950	571
14	1296	396	17	2195	0	11	1036	602

15	1123	300	8	700	50	12	1340	292
16	1230	280	9	625	35	13	1452	91
17	1200	35	10	640	60	14	1130	103
9	877	1500	11	970	30	15	983	541
10	957	1500	12	1272	0	17	1470	497
11	894	1500	13	636	46	8	840	0
12	630	1500	14	616	23	9	1306	0
13	683	1500	15	486	53	10	1520	0
14	805	1500	16	525	57	11	1920	0
15	837	1310	17	470	52	12	1736	0
13	1820	410	8	463	43	13	2245	0
14	1436	496	9	967	17	14	2140	0
15	1766	780	10	1436	0	15	1642	0
16	1458	627	11	1772	0	16	1810	0
14	1770	1310	12	1512	0	8	902	0
15	1578	1500	13	2090	0	9	1290	0
8	1335	425	14	1716	0	10	1350	0
9	1100	382	15	340	60	11	1040	0
10	1391	535	16	2153	0	12	1400	0
11	1353	540	17	1935	0	13	1628	0
12	1295	497	8	530	20	14	1315	0
13	1685	710	9	865	35	15	1590	0
14	2475	1220	10	1820	0	16	1061	0
15	1823	849	11	1975	0	17	1208	0
16	796	281	12	2375	0	8	725	0
9	1087	302	13	1445	0	9	1271	0
10	1065	313	14	1586	0	10	1595	0
11	1727	385	15	1630	0	11	1528	472
12	2067	412	16	2050	0	12	2111	0
13	1736	511	17	1706	0	13	1316	0
15	1761	593	9	543	20	14	995	0
10	1298	793	10	465	65	15	1625	0
11	1346	890	11	1976	0	16	1563	0
13	1551	1201	12	1276	13	17	1490	0
14	1640	360	13	1260	0	9	360	0
15	1340	600	14	615	35	10	540	0
16	1786	505	15	755	35	11	495	0
10	1477	1160	16	840	40	12	653	0
11	2068	1110	17	615	70	13	1169	552
13	2500	1168	8	840	1496	14	1139	545
14	2495	1143	9	840	1470	15	1715	102
15	2073	1500	10	840	1500	17	590	183
16	2165	1054	11	861	1421	8	896	186
11	1872	974	12	920	1470	9	811	625
12	1980	1023	13	980	1246	10	1100	400
13	2196	1001	14	1200	10	11	1531	574
14	1733	828	15	1266	0	12	1781	526
15	1980	415	9	1174	1500	13	1768	113
16	2243	476	10	1120	1500	14	1861	508
9	830	230	11	1291	1473	15	1561	146
10	830	230	12	1288	914	16	1103	333
11	857	265	13	1656	1176	17	1160	170
12	880	275	14	1523	953	10	1352	1500
13	945	325	15	1492	1262	11	1170	1500
15	1174	451	16	1751	0	14	940	1500
16	1223	425	17	1687	0	15	975	1500
9	852	47	9	1658	745	16	665	1500
10	830	50	14	930	1203	17	317	1437

11	848	0	15	711	1328	9	1254	823
13	1090	0	16	390	1500	10	1415	874
16	1350	77	17	728	1256	11	1438	654
17	1340	0	8	890	1140	12	1558	754
9	954	12	9	1150	669	15	1286	431
10	1128	7	10	1531	1094	16	1171	760
11	1595	0	11	1686	1500	13	1823	1445
8	570	527	12	1735	951	15	1337	1500
9	1239	713	13	2468	777	16	1107	1500
10	1925	0	14	2380	815	10	964	1500
11	2024	0	15	2118	1500	11	1322	1500
12	1786	0	16	1723	806	12	1656	950
13	1740	0	8	1343	160	14	1151	745
15	951	422	9	1576	840	15	999	710
8	1160	0	10	1975	582	10	1087	402
9	1180	399	11	2031	1141	15	1026	580
10	1180	626	13	1037	1387	9	995	564
11	1235	713	15	1446	1500	10	1042	572
12	1305	605	10	1633	0	11	1057	587
13	1596	686	11	2251	0	12	1084	561
14	1796	825	12	2337	0	13	1096	602
15	1933	530	13	1851	0	14	1097	910
16	1973	1004	14	1801	0	15	1096	0
17	1976	663	15	965	0	16	997	583
9	910	923	16	1038	0	9	1326	731
10	878	791	17	1597	0	10	1518	637
11	875	670	9	960	1416	11	1524	220
12	868	750	10	1272	1500	13	1725	640
13	918	691	9	660	50	14	1934	875
14	1049	825	13	1320	170	15	1389	191
15	1215	494	15	1320	100	16	1116	59
9	1010	210	16	920	100	9	1343	1500
10	998	222	9	462	1073	10	1520	1500
11	950	237	10	791	1067	11	1903	1500
14	1163	16	13	771	1140	13	1401	1500
15	1201	8	14	782	1428	14	1642	1500
16	1233	151	15	1640	145	15	1587	1500
17	1341	227	9	1130	1500	16	771	1500
8	1530	0	10	1347	1500	17	705	1500
9	1337	0	11	2010	1500	9	1103	1500
10	1605	172	9	1481	1500	10	1171	1401
11	1827	38	10	1780	1416	11	1205	1499
8	1190	0	11	1423	1500	12	1244	205
9	941	25	15	810	1500	13	1333	215
10	1900	20	16	2161	1200	14	1347	215
11	1530	30	8	540	1116	15	1310	224
12	1218	0	9	600	1500	16	1130	208
13	1950	130	11	2200	135	9	1036	365
14	1795	0	13	1886	203	10	1105	1402
15	1682	32	15	2400	1500	11	1141	264
16	1377	5	16	1715	1455	12	1175	333
17	1376	22	8	1363	1500	13	1254	352
8	1402	10	9	1340	1500	15	1288	392
9	1590	0	10	1983	1500	16	1170	369
10	1254	25	11	1815	1500	15	474	415
13	1035	27	13	2495	1500	16	223	1376
14	1198	63	14	2197	1500	17	130	1385
15	910	37	15	1960	1500	10	1940	1500

16	781	13	8	1160	1227	11	2243	1050
17	690	20	9	1174	1500	13	2085	698
8	954	0	10	801	1500	14	2019	1500
9	956	0	11	1087	1500	15	1705	1500
10	1100	0	12	1260	1500	16	1554	627
11	1223	1081	13	1707	1500	9	1108	1025
12	1638	1500	14	1260	1500	10	1027	640
16	1215	915	15	1615	1500	11	1321	666
17	1388	911	16	1788	1500	15	836	631
15	806	1500	8	511	1500	9	1002	1500
16	598	8	15	467	1500	10	1110	1189
17	250	1400	8	390	40	11	1363	1500
8	1428	0	10	1558	1500	12	1293	549
9	1732	5	11	1806	1500	13	1175	560
10	1492	0	8	441	1500	14	1148	537
11	1265	0	9	889	1500	16	1019	529
12	1560	0	10	1197	1500	8	823	823
13	1421	0	12	2770	1500	9	1630	952
14	1620	0	13	1600	1500	10	1960	921
8	970	30	14	1588	1500	11	2106	980
9	1390	573	15	2103	1500	12	2509	1019
10	1745	242	16	1927	1500	13	1360	940
11	1958	468	9	628	1500	14	1855	945
12	1516	242	10	415	1500	15	509	858
13	1503	0	8	840	0	16	422	875
8	1160	0	9	840	0	17	274	843
9	1110	0	10	840	0	9	1097	833
10	1488	3	11	870	0	10	1477	710
11	1400	21	12	920	0	11	1742	941
12	1367	0	8	1260	0	12	1834	721
13	1533	0	9	1190	244	13	1711	1032
8	1148	0	11	1307	0	14	1901	803
9	1140	0	12	1260	0	15	1881	431
11	1583	12	13	1694	0	16	1120	749
12	2040	25	14	1523	0	9	1175	887
13	2200	35	15	1486	0	10	1862	944
13	498	1435	16	1736	0	11	1698	888
14	1850	1382	17	1795	0	12	1476	901
8	1406	0	8	1203	0	13	1793	916
9	1631	0	9	1160	0	14	1944	901
10	1308	0	10	806	210	15	1444	882
11	1438	3	12	1900	490	16	1223	897
12	1415	0	13	2465	547	17	940	915
13	1593	0	14	2270	547	9	1241	587
14	1563	0	15	2350	446	10	1620	640
15	1675	0	16	1965	42	11	1850	266
16	1783	0	17	1850	0	15	1718	281
17	1390	0	8	840	0	11	1084	1500
8	360	20	9	885	622	15	1328	972
12	2150	0	10	1060	621	16	1162	823
15	2015	0	11	1224	395	17	992	927
16	2185	0	12	1621	500	12	1136	803
17	1890	0	14	2223	0	13	1293	1500
8	1155	2	15	1918	114	14	1310	296
9	1412	6	16	1895	567	15	1360	218
10	1835	0	17	1916	0	16	1385	934
11	1515	0	8	1466	0	17	1395	235
12	2281	0	9	1408	132	10	1210	597

13	2330	0	10	2006	414	11	1254	908
14	1897	0	11	1931	512	13	1371	196
15	2143	0	12	1360	0	14	1485	635
16	2071	0	13	1036	0	15	1889	615
17	1720	0	14	1108	0	16	1500	963
8	865	0	15	1552	0	9	868	172
9	833	0	16	1531	0	10	1130	500
10	844	860	17	1643	0	11	1042	590
11	866	695	10	1633	0	9	993	664
12	911	1173	11	2251	0	10	1295	555
8	860	0	12	2337	0	11	1318	535
9	854	272	13	1851	0	12	1438	492
10	830	420	14	1801	0	9	606	1322
11	848	0	15	965	0	10	907	1121
12	880	0	16	1038	0	11	1149	774
9	944	701	17	1597	0	12	1585	773
10	1141	1500	9	390	600	9	1040	696
11	1024	1406	10	700	657	10	1526	198
12	670	1500	11	617	681	11	1683	225
13	1068	1351	12	704	0	12	1591	211
14	1045	30	13	1147	0	10	884	1052
15	1220	1500	15	970	663	11	1447	1060
16	636	776	16	1480	76	16	286	1500
8	543	526	8	460	0	17	144	1500
9	1330	125	9	720	0	8	1199	0
11	2100	170	10	1522	0	9	1106	268
12	1360	10	11	2107	0	10	1629	693
13	2020	130	12	675	0	11	1840	2
14	2001	148	13	1536	0	12	1448	0
15	985	828	14	2420	0	13	2036	64
16	1330	1500	15	1996	0	14	1486	0
17	1315	843	16	1950	0	15	1702	22
10	1193	38	10	1855	0	16	997	1296
11	1235	55	11	1960	0	17	312	20
12	1310	20	12	1835	0	9	1338	695
13	1575	54	13	1476	0	10	1741	939
14	1855	75	14	1403	0	11	1317	963
15	2066	118	15	2543	0	12	1314	159
16	2006	303	16	2050	0	13	1929	1111
8	907	0	8	1267	0	14	1730	1021
9	913	208	9	561	0	15	1281	0
10	860	160	10	1638	0	16	1081	185
14	980	150	11	1918	0	17	860	21
9	1010	346	12	2185	0	9	987	1041
10	1010	320	13	1750	0	10	1098	1190
11	940	313	14	1080	207	11	1134	951
12	980	350	15	1656	0	12	1242	885
13	1132	407	16	1345	0	13	1251	1296
14	1140	390	9	1448	0	14	1365	1256
15	1225	420	10	1702	0	15	1769	1022
16	1240	163	11	1680	0	16	1365	880
10	1850	190	12	1850	0	17	1374	257
8	1190	700	13	1340	0	9	966	1500
9	990	808	14	840	0	10	1250	1500
10	1430	1460	8	740	0	11	1162	1500
11	1621	1158	9	410	10	13	1199	1500
12	1106	486	10	1613	0	14	1018	1318
13	1616	658	11	2297	0	15	999	1500

14	1840	906	12	2317	0	16	531	1500
15	1780	940	13	1886	0	9	695	1343
16	1556	954	14	1463	0	10	1014	1500
17	1185	30	15	2365	0	11	1269	1027
8	1402	0	16	1831	0	12	1705	1186
9	1590	0	17	1900	0	13	1822	839
10	1254	0	8	1416	0	14	1513	1278
13	1470	0	9	1341	0	15	1348	1266
14	1198	0	10	2008	0	16	946	1002
15	910	0	11	1810	0	17	617	862
16	781	0	12	2333	0	8	744	1049
17	690	0	13	2431	0	9	1009	794
10	1120	43	14	1988	0	10	1587	710
11	1125	50	15	1684	0	11	1758	465
12	1440	1014	16	1726	0	13	1737	296
13	1280	1160	17	1042	0	14	1991	1031
14	1300	1500	8	825	0	15	1376	725
15	1125	1500	9	1173	0	16	803	1500
16	1230	1500	10	981	0	17	548	1353
8	493	553	11	1241	0	8	665	1359
9	820	1500	12	1214	0	9	587	1463
10	965	1500	13	1638	0	10	587	1500
11	855	748	14	1353	0	11	1241	1500
12	763	790	15	1772	0	12	2038	1346
13	695	1500	16	1760	0	13	1563	1500
15	785	865	17	2195	0	14	1238	564
16	637	811	8	530	0	15	910	910
17	318	719	9	625	0	16	419	1500
8	1528	527	10	640	0	17	196	1038
9	1632	797	11	970	0	8	823	705
10	1453	1500	12	1034	0	9	956	823
14	1426	781	13	636	0	10	1069	1500
15	1766	690	14	616	0	11	1117	1500
17	2076	173	15	454	2	12	1077	1500
8	1192	870	16	503	0	13	1050	823
9	1274	1500	17	560	5	14	1052	386
10	1850	230	8	445	0	15	1019	581
11	2280	270	9	937	0	16	932	878
12	1900	300	10	1423	0	8	823	1286
13	1503	1500	11	1772	0	9	968	1500
14	2106	1500	12	1776	0	12	1096	510
15	1361	1500	13	2090	0	13	1096	627
16	1275	125	14	1716	0	14	1096	951
17	1477	1500	15	1430	0	15	1083	1500
8	1210	904	16	2191	0	16	983	1500
9	1175	806	17	1908	0	9	1262	1054
10	1410	835	8	1150	1500	10	1601	1500
11	1290	822	10	1563	1500	11	1877	1043
12	1270	780	11	950	1500	12	1364	948
13	1664	800	13	855	1500	13	1355	1479
14	2253	1036	14	1057	1370	14	1646	1500
15	1920	466	15	1180	1500	15	1622	1500
16	790	959	16	1455	1500	16	759	1500
17	1340	151	9	705	1500	8	960	1500
9	1095	1500	12	1876	1500	9	1081	1015
10	1089	1500	13	1570	1500	10	1171	989
11	1534	1500	14	1635	1500	11	1207	1219
13	1848	1500	16	2255	1500	12	1215	1500

14	1683	924	10	1835	1500	14	1352	1500
15	1813	263	11	2042	1500	8	940	1500
17	2100	243	12	2240	1500	9	1038	1500
9	1535	890	13	1083	1500	10	1105	1235
10	1921	873	14	1773	1500	11	1136	1463
8	1533	1266	15	1935	1500	8	940	1500
9	1628	1500	16	1631	1131	9	1145	1428
10	1463	1452	8	1035	1500	10	1172	1500
11	1340	1500	9	1366	1500	11	1321	1249
12	1260	1500	10	1555	863	12	1600	1500
13	1374	497	11	1856	1500	14	992	1500
15	1760	1390	12	1716	1500	15	509	548
8	408	421	13	1486	1500	16	222	1500
9	639	1500	14	1162	1500	9	783	1500
11	2093	521	8	924	1500	10	1732	1500
12	1947	1500	10	1580	998	11	2214	1500
13	2473	986	11	1998	1176	14	1964	1500
14	2495	1500	12	2153	634	15	1764	1500
15	2060	1500	13	1171	1368	16	1489	1150
16	2161	1500	14	1320	1500	9	1050	1500
17	1985	230	15	860	1500	10	1022	1500
10	1843	981	11	1270	1500	11	1317	1500
11	1790	1005	12	1522	1500	12	1947	1307
12	2135	260	13	1980	1500	13	2195	1500
13	2196	976	14	1291	1500	14	1622	1500
14	2070	280	16	1575	200	15	838	1500
15	2020	1500	11	1108	1500	16	638	1500
16	2038	1290	12	1445	1500	17	450	1500
17	1780	1406	13	1175	1500	8	914	1500
8	868	1500	15	1180	120	9	983	1500
9	833	1500	16	1366	101	10	1117	1500
10	845	1500	17	1486	123	11	1384	1500
11	866	1450	10	1577	1500	12	1313	1372
12	911	1343	11	1670	1500	13	1175	1500
13	935	1470	12	2130	1500	14	1154	1500
14	1038	1500	13	2360	1500	15	1113	1207
15	1165	1500	14	2306	1500	16	1001	849
16	1225	1305	15	2350	1500	8	705	1372
8	860	1500	16	1508	1500	9	1424	1500
9	854	1500	8	780	1500	11	2123	1500
10	830	1471	10	1332	1500	12	1855	1500
11	850	1484	12	840	20	13	1352	1500
12	880	1500	13	730	33	14	1822	1450
13	1072	835	15	810	50	15	509	1500
9	960	484	17	950	56	16	417	1500
10	1134	492	9	740	1500	17	274	608
11	1024	265	12	791	1500	9	1087	1500
12	670	460	17	1617	137	10	1477	1101
13	1056	523	8	905	792	11	1815	517
15	1233	510	9	866	8	13	1607	980
16	627	467	10	941	11	14	1898	1386
17	695	467	11	1034	20	15	1481	1500
9	1331	542	12	1106	55	16	1123	1407
10	1836	532	13	1260	70	9	1144	1500
12	1752	542	14	1130	86	10	1862	1500
13	1893	43	15	996	11	11	1654	1500
14	1983	37	16	1188	85	12	1780	1500
15	975	494	17	1588	141	13	1730	1411

16	1272	452	10	1558	1500	14	1877	1500
17	1276	25	12	1943	1500	15	1444	1500
8	1153	0	15	1355	170	16	1313	1195
9	1178	0	8	980	1500	8	1450	1500
10	1175	0	10	1230	1500	9	1226	1500
11	1236	0	11	1134	1500	10	1709	1500
17	2011	1	12	1430	1140	11	1897	1500
8	907	0	13	1757	302	12	1405	1148
9	912	0	14	1290	342	13	2160	1500
10	876	192	15	1383	60	14	1905	1500
11	881	440	12	2151	884	15	1814	1500
12	860	0	8	945	377	16	1026	1500
13	910	278	9	1044	664	8	1028	1500
14	1036	0	10	1225	620	9	1430	1500
15	1212	0	11	1713	1411	10	1861	1500
16	1390	0	12	2078	948	11	1355	1500
17	1642	0	13	1546	101	12	1313	1500
9	1010	0	14	1691	93	13	2030	772
10	985	0	16	1327	1500	14	1759	676
13	1120	0	8	980	1490	15	1195	1500
14	1144	0	9	1092	1500	16	1222	1500
15	1201	0	10	1205	1500	17	989	656
16	1230	0	11	760	0	9	999	1500
17	1290	0	12	1131	667	10	1054	1500
8	1520	10	13	1442	1500	11	1097	1500
9	1370	0	14	2046	946	12	1131	1500
10	1605	0	15	1700	425	13	1234	1500
11	1870	40	16	1537	388	14	1309	1500
10	1920	0	9	1156	705	15	1344	1500
8	1360	0	10	1451	773	16	1391	1500
9	1677	10	11	1452	1500	17	1411	1500
10	1261	0	9	435	1500	8	862	444
11	1280	0	13	1169	1500	9	1036	1500
12	1323	11	14	1139	1500	10	1228	1424
13	1090	6	9	874	1500	11	1254	1500
14	1295	35	12	1597	1072	12	1391	1500
15	838	0	9	1463	0	13	1345	784
16	750	0	10	1465	0	14	1493	1500
17	692	0	12	830	0	15	1889	1500
8	1026	0	13	873	0	16	1485	1500
9	964	0	14	920	0	8	1234	1471
10	1137	0	15	1146	0	9	1485	1093
11	1237	0	16	1547	0	10	2265	1276
12	1461	0	17	1575	0	11	2363	1500
13	1206	0	8	545	25	12	2116	1500
14	1222	0	9	720	40	13	1246	1500
15	1125	0	10	1365	0	14	1434	1332
16	1263	0	11	2390	0	15	1011	1500
17	1448	0	12	1807	0	16	646	1500
8	540	0	13	1375	0	8	646	882
9	805	0	14	1672	0	9	944	1500
10	1008	0	15	1570	0	12	2250	1500
11	773	0	16	2255	0	13	1497	1500
12	786	0	17	1680	0	14	1541	1500
13	656	0	9	1060	15	9	406	940
14	836	0	10	1761	0	12	2008	1039
15	802	0	11	2111	0	14	818	259
16	596	0	12	2420	0	15	731	941

17	290	0	13	950	0	17	1058	646
8	1466	0	14	1460	0	8	1175	587
9	1596	41	15	1915	0	9	1262	537
10	1441	0	16	1373	0	14	2822	784
11	1433	0	9	1166	0	15	2622	768
12	1578	0	10	1267	0	16	1987	1454
13	1435	0	11	1726	0	17	1575	1500
14	1465	0	13	1565	0	8	1156	665
15	1903	3	14	2055	0	9	1599	698
16	1244	0	15	1488	0	10	2082	326
17	1705	0	16	1800	0	11	2113	337
8	1040	0	17	1190	10	12	2391	323
9	1356	21	8	1230	20	14	3195	223
10	1730	36	9	1296	0	15	3031	169
11	1992	30	10	1440	0	16	744	646
12	1190	5	11	1860	0	9	1940	1411
13	1418	0	12	2006	0	10	2191	1493
14	1998	55	13	1600	0	11	2022	1500
15	1382	7	14	1181	0	12	2072	1485
16	1321	16	15	1843	0	15	2572	1500
17	1320	15	16	1805	0	16	1293	1500
8	1200	0	17	1460	0	9	1105	1500
9	1160	0	9	1470	5	10	1540	1500
10	1408	0	10	1583	0	9	956	439
9	1098	444	11	1911	0	10	1195	450
10	1075	375	13	1560	0	11	2642	784
11	1583	0	14	1303	30	13	1894	257
12	2048	85	15	847	17	14	1752	274
13	1848	263	16	1766	13	12	1215	784
14	1701	485	17	420	50	13	1247	987
15	1756	531	8	480	40	16	1803	731
16	1711	362	9	560	65	9	1064	1228
17	1978	720	10	900	0	10	1067	911
8	1400	480	13	1606	0	11	1077	888
9	1523	465	9	1340	0	14	1499	1205
10	1856	489	10	1270	0	16	1378	1026
11	2152	454	11	2002	0	17	1411	1000
12	1547	11	12	2210	0	10	1528	970
13	498	650	13	2020	0	13	1583	1500
14	1813	662	14	1937	0	15	2332	1500
15	1566	183	15	1485	0	16	2326	949
16	1841	457	16	1901	0	13	2535	287
17	1486	445	17	1840	0	14	2434	278
8	400	0	8	920	0	15	2524	282
10	1705	40	9	1320	0	10	2862	1500
12	2430	40	10	1430	0	11	1909	1500
13	2510	120	11	1603	0	12	2083	1500
14	2350	80	12	1757	0	13	1339	1500
15	2180	20	13	1540	0	8	1310	217
16	2201	17	14	695	40	9	1548	534
8	1250	5	15	575	55	10	1636	230
9	1438	58	16	700	50	12	1450	608
10	1923	53	8	700	0	13	1371	336
11	1945	0	9	700	10	14	1423	222
15	1900	0	10	1025	0	8	1342	220
8	860	0	11	950	0	9	1394	420
9	833	237	12	1415	0	10	1237	196
10	843	423	13	1295	0	11	1419	305

11	867	0	14	1555	0	13	2038	262
12	911	0	15	1253	0	15	1686	254
13	941	0	16	1330	0	16	1759	4
14	1033	330	17	1500	0	9	1391	0
15	1168	404	8	813	13	10	1410	533
16	1223	378	9	1411	0	11	1411	0
17	1301	0	10	1560	0	12	1463	137
8	852	0	11	1721	0	13	1573	16
9	850	0	12	2110	0	15	1818	0
10	830	342	13	2225	0	16	1969	911
11	848	427	8	740	5	8	1016	0
12	880	0	9	838	0	9	1365	100
13	1090	0	10	1166	1095	12	1806	222
16	1346	0	11	899	789	8	476	0
17	1317	0	12	821	0	9	899	20
9	840	220	13	745	1254	10	854	11
10	840	120	14	769	1141	11	955	22
13	957	0	15	778	11	12	1552	6
14	1148	215	16	847	0	13	1565	10
15	1281	740	17	945	0	14	1418	15
16	1447	17	8	656	0	13	999	22
9	1187	23	11	918	0	14	770	1334
10	1120	1037	12	788	0	15	660	1286
13	1755	35	16	1613	0	16	899	1291
14	1533	1237	17	1610	0	17	997	1323
15	1521	0	8	866	0	8	912	0
16	1713	0	12	1050	1335	9	1349	0
10	1657	605	14	1130	1301	10	1830	0
11	1322	1422	15	995	1374	11	1944	0
12	403	1500	16	1182	1090	12	2200	1240
13	438	1500	17	1351	0	8	1030	0
14	930	1500	11	1085	0	9	1544	1204
15	711	1500	12	1375	0	10	2094	0
16	355	1500	13	1593	0	11	1986	560
9	1205	1500	14	1450	0	12	1947	1500
10	1546	0	15	1680	0	13	1343	1500
11	2040	0	16	1108	1065	14	1683	1500
12	2032	155	17	1158	0	15	2450	1500
13	2353	0	8	800	24	16	913	1500
15	2052	120	9	1265	0	17	1666	331
17	1900	582	10	1606	0	8	704	0
12	2233	271	11	1556	27	9	987	20
13	2465	420	12	2103	0	10	1443	15
14	2270	539	13	1261	0	11	1886	0
15	2363	535	14	846	26	12	2295	0
16	1945	313	15	1725	116	13	2533	6
12	1503	1500	16	1556	0	14	2402	0
13	2043	1500	17	1501	0	15	1981	0
14	2232	1500	8	868	0	16	2022	13
15	1906	897	9	1044	226	17	1726	4
15	1280	1500	10	1225	257	8	645	260
16	874	1500	11	1713	158	9	856	272
11	610	1500	12	2091	51	10	1291	248
12	793	1500	13	1546	0	11	2484	160
13	1497	1365	14	1671	0	12	2879	0
14	1957	1500	15	1455	0	13	1730	0
8	316	940	16	1249	193	14	1635	0
9	360	660	17	377	305	15	1738	0

10	801	313	8	650	34	16	2222	1500
11	673	686	9	1050	120	17	1879	204
12	750	760	10	1020	194	8	342	0
13	1100	315	11	1218	696	9	469	0
15	1470	155	12	1101	0	13	1149	260
16	1387	970	13	1442	0	14	1938	187
11	2096	1500	14	2010	392	15	1910	207
12	1752	1317	15	1725	370	16	1432	216
16	2391	1500	16	1541	355	8	854	0
17	1686	1500	17	1346	0	9	942	0
12	1720	1500	8	824	0	10	961	0
13	1275	1500	9	1120	0	11	950	66
14	1753	1500	10	1467	0	12	1016	0
15	2431	1500	11	1364	0	13	1163	0
16	1711	1500	12	1428	0	14	1356	26
17	610	1240	13	1738	71	15	1180	0
8	870	1500	14	1793	0	16	1252	0
9	840	1500	15	1970	0	17	1281	0
12	2110	1500	16	1260	10	8	716	160
14	1115	1500	17	974	22	9	1134	16
15	1560	1500	8	363	83	10	1310	0
16	1661	1500	9	487	60	11	1667	160
17	1414	1500	10	546	61	12	2120	0
9	1890	1480	11	450	60	13	1722	148
10	1683	1500	8	815	0	14	2428	167
11	1420	1500	9	845	0	15	2097	195
12	1580	1500	10	1147	0	8	1017	26
13	1213	1500	11	1478	0	9	1075	6
14	1135	1500	12	1820	0	10	2436	0
15	1596	1500	13	1723	0	11	2585	0
16	2181	1500	14	1783	0	12	2438	0
9	1208	1462	15	1617	0	13	2728	0
10	938	1500	9	1467	1500	14	3133	0
12	1274	1500	10	1546	1500	15	2911	0
13	1617	1500	11	987	1500	16	2447	10
14	1376	324	10	933	726	17	854	20
15	1710	33	11	840	770	8	930	0
16	2140	190	12	810	696	9	1028	0
17	1955	163	13	746	823	10	1283	0
9	572	1500	14	769	1343	11	1859	0
10	686	1500	15	774	1176	12	2132	0
11	885	1500	16	886	538	15	2598	186
13	675	1500	8	670	1366	16	2193	183
14	655	1500	9	760	967	8	1088	0
15	466	1500	12	790	700	9	1855	0
16	458	1500	15	1400	0	10	1902	1000
17	480	513	16	1500	0	11	1707	1010
11	1744	1500	8	900	400	12	1908	1065
14	1485	132	9	870	1178	13	1324	0
16	2550	200	10	941	1500	14	1285	5
14	1410	80	11	1036	1413	15	1102	0
12	653	1500	12	1461	6	16	1363	20
13	1092	1500	13	1486	322	17	1676	6
17	734	1500	14	1115	330	8	1251	0
8	840	0	15	987	1250	9	1439	26
9	840	0	16	1161	610	11	1383	1490
10	840	625	17	1378	0	12	1320	1297
11	870	757	10	1516	783	13	1251	1500

13	961	0	11	1960	1500	14	1303	1500
14	1125	0	12	1736	1500	16	1553	1275
15	1264	0	14	1320	1150	17	1702	0
16	1481	0	15	1820	1500	8	1291	0
17	1510	0	16	2100	1500	8	1134	0
8	1260	0	9	1334	786	10	1291	0
9	1160	0	10	1301	1228	12	1343	0
10	1120	0	11	1065	1430	13	1465	22
13	1598	0	12	1260	1270	14	1549	80
14	1528	0	13	1593	764	15	1718	60
15	1540	0	14	1440	1170	16	1975	40
16	1722	0	15	1616	1500	17	1871	0
17	1695	0	16	1094	706	8	870	0
8	1743	0	17	1156	115	9	960	173
10	1695	0	8	806	878	10	1308	136
11	1200	0	9	1308	1500	11	1755	115
13	326	53	10	1543	1500	12	1785	0
15	688	48	11	1597	1500	13	1364	87
16	340	60	12	2052	440	14	1225	222
10	1531	785	13	1396	252	15	2071	120
11	1647	654	14	1222	1234	16	1963	0
8	1370	0	15	1696	620	17	1670	0
9	1395	492	16	1532	1500	9	585	1500
10	945	1188	17	1440	1500	11	616	11
11	1788	91	8	860	1500	12	774	12
12	2000	0	10	1790	1500	13	1220	0
13	2656	0	11	2037	875	14	1501	0
14	2127	0	12	2085	830	15	1506	0
15	2338	0	13	1546	1291	16	1070	0
16	1957	0	14	1646	775	10	718	32
17	2240	0	15	1950	804	11	608	40
8	840	0	16	1211	797	12	607	47
9	887	0	17	287	747	13	1035	8
10	1038	707	8	785	1175	14	970	10
11	1193	1500	9	1064	1500	8	1075	0
12	1555	0	10	1027	882	9	1296	0
13	1845	0	11	804	667	10	1543	0
14	2168	79	12	1080	725	11	1780	0
15	1961	0	13	1702	502	12	1882	0
16	1908	0	14	2010	1500	13	1486	0
17	1941	544	15	1725	789	14	1483	0
8	1331	0	16	1572	797	15	1882	0
9	1135	0	9	1180	866	16	1805	0
10	2126	0	10	1443	1500	17	1460	0
12	1090	0	11	1452	1495	11	2262	0
13	1070	0	13	1698	1297	12	1680	0
16	1590	88	14	1820	120	13	1256	0
17	1665	110	15	1916	823	14	1466	0
8	1064	0	16	1305	855	15	990	0
9	1251	174	9	435	0	16	1360	0
10	1556	884	10	1270	0	8	670	0
11	2224	0	11	1286	0	9	1340	0
12	2415	0	12	1260	0	10	1270	0
13	2005	0	13	1606	0	11	2066	0
14	1868	24	14	1375	0	12	2070	0
15	1331	155	15	1715	0	13	2020	0
16	1031	208	16	1568	0			
17	1568	0	17	1340	0			

ÖZGEÇMİŞ

Nesrin Çolak, 1963 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimini sırasıyla Muhittin Üstündağ İlkokulu ve İstanbul Erkek Lisesinde tamamladı. 1985 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik- Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünü, 1989 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nı bitirdi. 1988 yılından beri İ.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Almanca ve İngilizce bilmektedir.