

AÇIK VE BULUTLU ATMOSFER KOŞULLARINDA SAATLİK TOPLAM  
IŞINIM ÖNGÖRÜSÜ İÇİN BİR MODEL

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Sema TOPÇU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Temmuz 1988

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Kasım 1988

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Süreyya ÖNEY

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Mahmut C. BARLA

: Doç.Dr.Durul ÖREN

3.3. Bulutlu Atmosferde Toplam Işınım Modelleri .....	36
<b>BÖLÜM 4. AÇIK BİR ATMOSFER İÇİN SAATLİK TOPLAM İŞİNİMİN BELİRLENMESİ</b>	
4.1. Giriş .....	47
4.2. Açık Atmosfer Durumunda Saatlik Toplam Işınım Öngörü Modeli .....	48
4.2.1. Atmosfer Dışına Gelen Saatlik Işınım .....	51
4.2.2. Direkt Işınım İlgili Geçirgenlik Etkileri .....	52
4.2.2.1. Ozon Absorbsiyonu Etkisi .....	52
4.2.2.2. Rayleigh (Moleküler) Saçılma Etkisi .....	53
4.2.2.3. Subuharı Absorbsiyonu ve Saçılma Etkisi .....	54
4.2.3. Aerosollerin Absorbsiyon ve Saçılma Etkisi .....	59
4.3. Açık Atmosfer İçin Toplam Işınım Modelinin Sonuçları ve İrdelenmesi .....	61
4.4. Açık Atmosfer Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması .....	67
<b>BÖLÜM 5. BULUTLU ATMOSFER İÇİN SAATLİK TOPLAM İŞİNİM ÖNGÖRÜSÜ MODELİ</b>	
5.1. Giriş .....	70
5.2. Açık Bir Atmosferdeki Saatlik Toplam Işınım Bulut Etkisi .....	71
5.3. Model Sonuçları ile Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	81
5.4. Diğer Modellerle Karşılaştırma .....	85
<b>BÖLÜM 6. SONUÇLAR</b> .....	90
<b>KAYNAKLAR</b> .....	98
<b>EK - A</b> .....	105
<b>EK - B</b> .....	108
<b>EK - C</b> .....	126
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	139

## SEMBOL LİSTESİ

- $a_1, a_2, a_3, a_4$  : Katsayı
- $a_\lambda$  : Atmosferin spektral toplam azaltma katsayısı ( $L^{-1}$ )
- $A, A'$  : Katsayı
- $A_C$  : Karbondioksitin absorpsiyon oranı
- $A_{OZ}$  : Ozonun absorpsiyon oranı
- $A_{OZ}^C$  : Chappius ışınım bandındaki ozonun absorpsiyon oranı
- $A_{OZ}^U$  : Ultraviyole ışınım bandındaki ozonun absorpsiyon oranı
- $A_W$  : Subuharı tarafından absorpsiyon oranı
- $A_\lambda$  : Spektral kütleli absorpsiyon katsayısı ( $L^{-1}$ )
- $B, B'$  : Katsayı
- $C$  : Bulut kapalılığı (1/8)
- $d_n$  : Gün sayısı
- $D$  : Bulutsuz atmosferde yaygın ışınım ( $MJ/m^2sa$ )
- $D_1$  : Direkt ışınımın saçılmasıyla ilgili yaygın ışınım bileşeni ( $MJ/m^2sa$ )
- $D_2$  : Yerden yansıyan toplam ışınımın saçılmasıyla ilgili yaygın ışınım bileşeni ( $MJ/m^2sa$ )
- $D_A$  : Aerosoller tarafından saçılmadan meydana gelen yaygın ışınım ( $MJ/m^2sa$ )
- $D'_A$  : Yerden yansıyan ışınımın aerosoller tarafından saçılmasından meydana gelen yaygın ışınım ( $MJ/m^2sa$ )

- $D_b$  : Bulutlu atmosferde yaygın ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $D_R$  : Rayleigh saçılmasından meydana gelen yaygın ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $e_s$  : Doymuş buhar basıncı (hPa)  
 $ET$  : Zaman eşitliği (dak.)  
 $f, F_c$  : Aerosoller tarafından ileriye doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranı  
 $g$  : Yerçekimi ivmesi ( $cm/sn^2$ )  
 $g(\beta)$  : Türbidite katsayısına bağlı saçılma fonksiyonu  
 $G$  : Açık atmosferdeki toplam ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $G_H$  : Hesaplanan toplam ışınım değeri ( $MJ/m^2sa$ )  
 $G_o$  : Ölçülen toplam ışınım değeri ( $MJ/m^2sa$ )  
 $G_b$  : Bulutlu atmosferde toplam ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $h$  : Saat açısı (derece)  
 $I$  : Açık atmosferde direkt ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $I_\lambda$  : Açık atmosferde spektral direkt ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $I_o$  : Atmosfer tepesine gelen ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $I_{o\lambda}$  : Atmosfer tepesine gelen spektral ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $I_b$  : Bulutlu atmosferde direkt ışınım ( $MJ/m^2sa$ )  
 $I_{sc}$  : Güneş sabiti ( $MJ/m^2sa$ )  
 $k$  : Aerosol parametresi  
 $m$  : Mutlak optik hava kütlesi  
 $m_r$  : Bağıl optik hava kütlesi  
 $n$  : Havanın kırılma indisi  
 $n(r)$  :  $r$  yarıçaplı taneciklerin sayısı  
 $N$  : Birim hacimdeki tanecik sayısı, veri sayısı  
 $P$  : Yüzey basıncı (kPa)  
 $P_o$  : Standart basınç (kPa)  
 $P_\lambda$  : Spektral faz fonksiyonu

- $Q_{a\lambda}$  : Mie azaltma fonksiyonu  
 $\bar{r}$  : Ortalama karışma oranı (gr/kg)  
 $R$  : Güneş ve dünya arasındaki aktüel uzaklık (km)  
 $\bar{R}$  : Güneş ve dünya arasındaki ortalama uzaklık (km)  
 $ST$  : Standart zaman (saat)  
 $S_a$  : Hava molekülleri tarafından saçılma oranı  
 $S_a'$  :  $m= 1.66$  için hava molekülleri tarafından saçılma oranı  
 $S_d$  : Aerosoller tarafından saçılma oranı  
 $S_d'$  :  $m = 1.66$  için aerosoller tarafından saçılma oranı  
 $S_f$  : Işınlımın ileri doğru saçılma faktörü  
 $S_\lambda$  : Spektral kütlelesel toplam saçılma katsayısı ( $L^{-1}$ )  
 $S_{R\lambda}$  : Spektral kütlelesel Rayleigh saçılma katsayısı ( $L^{-1}$ )  
 $T$  : Yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )  
 $T_o$  : Standart yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}K$ )  
 $T_a$  : Aerosoller tarafından toplam azaltılma ile ilgili geçirgenlik  
 $T_{aa}$  : Aerosoller tarafından absorpsiyon ile ilgili geçirgenlik  
 $T'_{aa}$  :  $m = 1.66$  için aerosoller tarafından absorpsiyon ile ilgili geçirgenlik  
 $T_{as}$  : Aerosoller tarafından saçılma ile ilgili geçirgenlik  
 $T'_{as}$  :  $m = 1.66$  için aerosoller tarafından saçılma ile ilgili geçirgenlik  
 $T_{a\lambda}$  : Aerosoller tarafından azaltılmayla ilgili spektral geçirgenlik  
 $T_b$  : Bulut geçirgenliği  
 $T_R$  : Rayleigh saçılması ile ilgili geçirgenlik  
 $T'_R$  :  $m=1.66$  için Rayleigh saçılmasıyla ilgili geçirgenlik

- $T_{R\lambda}$  : Rayleigh saçılmasıyla ilgili spektral geçirgenlik  
 $T_{OZ}$  : Ozon absorpsiyonuyla ilgili geçirgenlik  
 $T_{OZ\lambda}$  : Ozon absorpsiyonuyla ilgili spektral geçirgenlik  
 $T_{wa}$  : Subuharının absorpsiyonu ile ilgili geçirgenlik  
 $T'_{wa}$  :  $m=1.66$  için subuharı absorpsiyonu ile ilgili geçirgenlik  
 $T_{ws}$  : Subuharı tarafından saçılmayla ilgili geçirgenlik  
 $T'_{ws}$  :  $m=1.66$  için subuharı tarafından saçılmayla ilgili geçirgenlik  
 $T_{w\lambda}$  : Subuharı tarafından azaltılmayla ilgili spektral geçirgenlik  
TST : Gerçek güneş zamanı (saat)  
 $u_c$  : Karbondioksitin optik yolu (cm)  
 $u_{OZ}$  : Ozonun optik yolu (cm)  
 $u_w$  : Düzeltilmiş yağışa geçebilir subuharı (cm)  
 $U'_w$  : Yağışa geçebilir subuharı (cm)  
U : Bağıl nem  
x : Işının optik yolu  
 $x_{OZ}$  : Ozonun optik yolu  
 $x_w$  : Subuharının optik yolu  
z : Yükseklik (L)  
Z : Zenit açısı (derece)  
 $\alpha$  : Güneş yüksekliği açısı (derece)  
 $\alpha, \alpha_y$  : Yeryüzeyinin albedosu  
 $\alpha_a$  : Atmosferin albedosu  
 $\alpha_b$  : Bulut tabanı albedosu  
 $\beta$  : Türbidite katsayısı  
 $\beta_{a\lambda}$  : Aerosollerin spektral kütleli azaltma katsayısı ( $L^{-1}$ )

- $\delta$  : Deklinasyon açısı (derece)
- $\theta_0$  : Gün sayısının açısal ifadesi (radyan)
- $\lambda$  : Dalgaboyu ( $\mu\text{m}$ )
- $\lambda_{st}$  : Standart boylam (derece)
- $\lambda_y$  : Yerel boylam (derece)
- $\mu$  : Zenit açısının kosinüsü
- $\rho_n$  : Sabit
- $\omega_0$  : Aerosolün saçılma katsayısının toplam azaltma katsayısına oranı
- $\tau_b$  : Bulutun optik derinliği
- $\tau_\lambda$  : Spektral toplam optik derinlik
- $\tau_{a\lambda}$  : Aerosoller tarafından azaltılmayla ilgili spektral optik derinlik
- $\tau_{oz\lambda}$  : Ozon tarafından absorpsiyonla ilgili spektral optik derinlik
- $\tau_{R\lambda}$  : Rayleigh saçılmasıyla ilgili spektral optik derinlik.
- $\tau_{w\lambda}$  : Subuharı tarafından azaltılmayla ilgili spektral optik derinlik
- $\varphi$  : Enlem açısı (derece)
- $\phi$  : Azimut açısı (derece)

## ÖZET

Bu çalışmada, yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım öngörüsü, açık ve bulutlu atmosfer şartlarında olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Öncelikle açık bir atmosferde yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınımın hesaplanması için parametrik bir model sunulmuştur. Bu modelde, atmosferde güneş ışınımını azaltıcı faktörler olarak ozon, kuru hava molekülleri, subuharı ve aerosoller gözönüne alınmıştır. Saatlik toplam ışınım, aynı periyottaki direkt ve yaygın ışınımın toplamı olarak hesaplanmıştır. Yeryüzeyine ulaşan saatlik direkt ışınım, ozon tarafından absorpsiyon, kuru hava molekülleri tarafından saçılma, subuharı ve aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılma etkileriyle ilgili geçirgenlik fonksiyonları yardımıyla elde edilmiştir. Saatlik yaygın ışınım direkt ışınımın ve yerden yansıyan toplam ışınımın atmosfer bileşenleri tarafından saçılması şeklinde iki bileşene ayrılarak incelenmiştir.

İstanbul için uygulanan modelde, atmosferdeki subuharı miktarı, radyosonde verilerinden yararlanılarak, aerosol parametresi ise toplam ışınım ölçümleri ve model sonuçları karşılaştırılarak aylık ortalama değerler halinde elde edilmiştir. Ayrıca ozon absorpsiyonu, moleküller saçılma, subuharı ve aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılmayla ilgili geçirgenlikler zenit açısına bağlı olarak verilmiştir. Aerosollerin, güneş ışınımını en çok etkileyen atmosfer bileşeni olduğu görülmüştür.

Bulutlu atmosferde, yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım değerleri hesaplamak için, bulutlu atmosferde ölçülen saatlik toplam ışınımın, açık günde gelebilecek saatlik toplam ışınımına oranı ile, aynı periyottaki bulut kapalılığı ve ışının zenit açısı arasında bir çoklu regresyon bağıntısı ileri sürülmüştür. Söz konusu bağıntı, alçak, orta ve yüksek bulut tipleri ve çeşitli zenit açısı değerleri için incelenmiştir. Her üç bulut tipi için, bulut geçirgenlikleri zenit açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Yüksek bulutların güneş ışınımını ortalama %50 sini geçirdikleri, alçak bulutların ise atmosfer geçirgenliğini önemli derecede etkiledikleri görülmüştür.



HOURLY TOTAL SOLAR RADIATION MODEL FOR CLEAR AND  
CLOUDY ATMOSPHERES

SUMMARY

In recent years, mainly due to its renewable and nonpollutant character, Solar energy (utilization) has been a subject of utmost importance. In this context, Turkey is known to have a considerable amount of potential. Owing to its location within the world sun zone, Turkey has annually mean value of sunshine duration of 2640 hours and annually mean solar intensity of 308 cal/m<sup>2</sup>.day. Arising from this fact, studies on solar energy utilization in Turkey have been receiving a growing interest.

Materialization of solar energy-based projects requires an accurate determination of source, intensity and characteristics of solar energy. In order to determine the areas with solar energy potential and to obtain a detailed solar radiation climatology for a particular area, a long term extensive solar radiation data set is essential. However, several calculation procedures have been developed for regions where the data cannot be obtained or for augmenting short term solar data. Presently, there are many statistical, numerical and parametric models for estimation of direct, diffuse and global radiation. An extensive review of these models is given in the first chapter of this thesis.

In this study, we first develop a parametric model to estimate hourly total solar radiation under cloudless sky in Istanbul (41.1°N). Then we proceed to incorporate the effect of cloud and formulate necessary relationships to calculate the total solar radiation at the surface with cloud present. Consequently, a multiple regression relationship has been set up between the ratio of the total solar radiation measured during cloudy hours to the total solar radiation calculated for clear hours, hourly cloud cover and the zenith angle of the sun. Also, an extensive investigation of the coefficients of this relationship for low, middle and high cloud types and various zenith angles has been carried out.

The first chapter of this thesis is devoted to a state of the art review of the related studies. In doing so, complementary to the models to estimate direct, diffuse and total radiation special attention has been given to the studies on solar constants, absorption and scattering of solar radiation.

The theory on incident solar radiation at the earth-atmosphere system has been given in the second chapter. Absorption of solar radiation by ozone, water vapour and aerosols, and scattering of it by dry air molecules and aerosols have been extensively reviewed. Absorption, reflection and transmission of solar radiation by clouds of different types have been outlined.

In the third chapter, general aspects of the theoretical, parametric and statistical models for clear- and cloudy-sky conditions have been presented. In addition, some experimental studies on cloud transmittance have been discussed.

A parametric model for estimating hourly total surface radiation for cloudless sky of Istanbul (41.1°N) is given in the fourth chapter. Whereas, multiple regression equations to estimate hourly total radiation for cloudy atmosphere in Istanbul are developed in the fifth chapter. Correlation and error analyses between measured and calculated hourly total radiation for both cloud-free and cloudy conditions are carried out in the same chapter. Following a comparative evaluation of the results obtained from the models developed in this study with those obtained from others, conclusions and comments are outlined in the sixth chapter.

To arrive at a model to the hourly global radiation at the horizontal surface, it was considered as the sum of direct and diffuse radiation components. In this model, ozone, dry air molecules, water vapour and aerosols were assumed as reducing factors of irradiance. This led to the following expression in which the direct irradiance appears as multiplication of extraterrestrial irradiance and transmittances of atmospheric attenuation components

$$I = I_0 \cdot T_{oz} \cdot T_R \cdot T_{wa} \cdot T_{ws} \cdot T_a$$

where,  $I_0$  is extraterrestrial irradiance, whereas  $T_{oz}$ ,  $T_R$ ,  $T_{wa}$ ,  $T_{ws}$  and  $T_a$  are transmissivities after absorption by ozone, Rayleigh scattering, absorption by water vapour, scattering by water vapour and extinction by aerosols, respectively.

On the other hand, diffuse irradiance on a horizontal surface was calculated as the sum of two diffuse irradiance components. One of these components is the primary diffuse irradiance ( $D_1$ ) and is due to the scattering of the direct beam by dry and water vapour molecules and aerosols in the atmosphere. The other diffuse component is a secondary one and is also due to the multiple scattering between the ground and the atmosphere. However, the primary component represents the forward scattered radiation from-and the secondary component represents the backscattered radiation towards the ground. In calculating these components, the following equations were used

$$D_1 = 0.60 I_o T_{oz} T_{wa} T_{aa} (1 - T_{ws} T_R T_{as})$$

$$D_2 = \alpha (I + D_1) [0.40 T_{ws}' T_{aa}' (1 - T_{ws}' T_R' T_{as}')] ]$$

In these equations, 0.60 and 0.40 define the forward scattering and backscattering factors.  $T_{aa}$  and  $T_{as}$  stand for transmissivities after absorption and scattering by aerosols.  $T_{aa}'$ ,  $T_{wa}'$ ,  $T_{ws}'$ ,  $T_R'$  and  $T_{as}'$  represent transmissivities of backscattered radiation.

The transmissivity terms employed in the above expressions of the direct and the diffuse radiations are functions of amount of ozone, aerosols and water vapour in the atmosphere and the optical air mass. Monthly mean values of precipitable water for Istanbul were calculated from radiosonde data of 10 years. In determining monthly aerosol parameters, hourly values of total radiation at clear sky conditions were used. Under these circumstances, with the help of computer programs hourly values of total radiation were calculated for each day during one year in Istanbul.

Error analysis of the calculated hourly total radiation with respect to the measured radiation reveals that the mean, the root mean square and the relative errors are 0.034 MJ/m<sup>2</sup>.h, 0.106 MJ/m<sup>2</sup>.h and 0.045. On the other hand, the correlation coefficient between the calculated and the measured values is 0.986. As to the comparison of the individual estimated values with the corresponding measured ones : The deviation increases when clear atmosphere conditions cannot be met due to haze and smoke influence which takes place especially around the time of sunrise and sunset. The forecasting model developed herein shows a better performance at noon time when the zenith angle is maximum.

The effect of zenith angle on the transmittances in relation with the amount of ozone, water vapour, air molecules and aerosols and that on the total transmittancy for direct radiation were investigated in detail. In doing so, the annually mean values of zone, precipitable water vapour and aerosol parameter were respectively considered as 0.33 cm, 1.900 cm and 0.88. It is found that when the zenith angle is less than  $70^\circ$ , the transmittance due to ozone absorbtion is approximately 99 %. Furthermore, the transmittancy due to absorbtion and scattering by water vapour is approximately 3 % larger than that due to molecular scattering. More importantly, the main attenuation factors affecting the atmospheric transmittance are absorbtion and scattering by aerosols.

Calculations for 21<sup>th</sup> of June solar noon time in Istanbul illustrate these points. For this particular case, the zenith angle is  $17.54^\circ$  and the transmittances due to Rayleigh scattering, absorbtions and scatterings by water vapour and aerosols were respectively calculated as  $T_R = 0.89$ ,  $T_w = 0.91$  and  $T_a = 0.77$ . At the same value of zenith angle, the atmospheric transmittances for direct and total radiation were obtained as  $I/I_0 = 0.62$  and  $G/G_0 = 0.64$ .

In evaluating the incoming radiation to the earthsurface, definition of the cloud effects on direct, diffuse and total radiation is important. The radiative effect of clouds is similar to that of aerosols. They absorbe and scatter incoming radiation. Of course, the clouds at various altitudes have different effects on the incoming radiation. Additionally, the total cloud cover, the form of cloud and the position of it with respect to the sun disc are also important parameters influencing the incoming radiation to the surface.

Herein, unlike other studies, not only the attenuation effect of the cloud type and the cloud cover but also the effect of zenith angle were taken into account. After extensive testing considering low middle and high cloud types and various classes of zenith angle the following multiple regression equation was established :

$$G_b/G = a_1 + a_2 C^2 \cos Z + a_3 C + a_4 \cos Z$$

this equation provided a relationship between the ratio the total hourly ration measured under cloudy sky condition to that determined from the model for clear atmosphere, the cloud cover and the zenith angle. Within

the category of low clouds Cumulus, Stratus, Stratocumulus, and Cumulonimbus were considered. As middle clouds Altostratus and Altocumulus, as high clouds, cirrus, Cirrostratus were taken into consideration. In addition, it was assumed that there existed only one of these types of cloud layer in the atmosphere at a time. Also assuming that the total cloud cover remained constant for a period of one hour, corresponding to the total radiation in a one-hour-period the total cloud cover observed at the beginning of that period was taken into consideration. To arrive at the multiple regression equation, 668 hourly cloud cover and hourly total radiation data were used. Calculated values of hourly total radiation for various cloud types and zenith angles are given in Tables 5.1, 5.2 and 5.3. Regardless of the cloud conditions, the mean multiple correlation coefficient between the ratio of the hourly total radiation at cloudy atmosphere to the hourly total radiation predicted at clear atmosphere ( $G_b/G$ ), the terms of cloudiness and  $\cos Z$  is 0.910 and the mean standard error is  $0.008 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$ .

Using the equations of transmittance determined for low, middle and high level clouds, the relationship between the atmospheric transmittance and the cloud cover was analysed for various values of zenith angle ( $Z = 25^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  and  $75^\circ$ ). In general, as the cloud cover increases the atmospheric transmittance decreases. Additionally, considering the cloud transmittance under the conditions of overcast sky, the mean transmittances for low, middle and high level clouds were calculated. These values, in corresponding order, are 0.25, 0.26 and 0.53. The high level clouds transmit almost half of the solar radiation.

For all the cloud types considered in this study there is a very strong correlation between the measured and the calculated values of the hourly total radiation. The correlation coefficients for low middle and high level clouds are respectively 93.0 %, 96.1 %, 97.8 % and the mean relative error is 13.3 %.

Finally, a comparison for selected days was made of the models developed in this study with the relevant ones. This comparison reveals that the models presented herein perform better with respect to the others.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünyamızda, enerji ihtiyacının büyük bölümünün fosil kökenli yakıtlardan sağlanması, hem bu kaynakların azalmasına, hem de kömür ve petrol gibi yakıtların kullanılması ile hava kirliliği gibi önemli bir sorunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu iki etken insanlığı başka enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Eski çağlarda basit şekilde yararlanılan güneş, su ve rüzgar enerjileri, yenilenebilir olmaları ve herhangi bir çevre sorunu oluşturmamaları sebebiyle son yıllarda özellikle 1970 den itibaren önem kazanan enerji kaynaklarıdır.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle, güneş enerjisinden yararlanılabilen, güneş kuşağı içinde yer alır. Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından yapılan, Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ile ilgili çalışmalarda, Türkiye'nin bütün yüzeyine gelen toplam güneş enerjisi  $1.25 \times 10^{11}$  ton taşkömürünün sağlayacağı enerjiye, yıllık toplam kullanılabilir güneş enerjisi de  $37.5 \times 10^6$  ton taşkömürünün sağlayacağı enerjiye eşdeğerdir. Türkiye'de yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat olup, yıllık ortalama ışınım şiddeti ise  $308 \text{ cal/cm}^2$  gün olarak hesaplanmıştır [1,2]. Bu sebeple ülkemizde de güneş enerjisinden yararlanan sistemlerle ilgili araştırmalar önem kazanmıştır.



Güneş enerjisinin, başta klimatoloji ve mikro-meteoroloji olmak üzere, biyoloji, tarım, şehircilik, mimarlık, makina, uzay ve çevre mühendisliğini içine alan bir çok disiplinle ilişkisi vardır. Güneş enerjisinin faydalanılabilir enerjiye dönüşmesi için, toplayıcılar (kollektörler), ayna ve mercekler, güneş pilleri kullanılmaktadır. Toplayıcılar yardımı ile sıcak su üretimi, binaların aktif ve pasif yöntemle ısıtılması, havalandırılması, güneş enerjisinden yararlanılan en yaygın uygulamalardır. Diğer uygulama alanları ise, tarımsal ürünlerin kurutulması, güneş enerjisi ile çalışan su pompaları yardımıyla tarımsal sulama, ayna ve merceklerle güneş ışınlarının bir noktaya toplanmasıyla endüstride yüksek sıcaklıklar elde edilmesi ve buhar türbini vasıtasıyla elektrik üretimi, radyo ve televizyon istasyonlarında güneş pillerinden yararlanılması şeklinde sıralanabilir. Ayrıca geleceğin yakıtı olarak düşünülen hidrojenin sudan üretilmesinde ve uzay çalışmalarında güneş enerjisinden yararlanma halen araştırma konularıdır.

Yukarıda sözü edilen güneş enerjisine dayalı bütün sistemlerin ekonomik ve yararlı bir şekilde gerçekleşmesi için sistemin yapılacağı bölgenin güneş ışınımı klimatolojisinin incelenerek, güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi gerekir. Ayrıca yeryüzeyinin enerji dengesi ve atmosferin geçirgenliği ile ilgili çalışmalarda, gelen güneş ışınımının dalgaboyu, doğrultusu, şiddeti gibi özellikleri bilinmelidir. Bütün bu incelemeler için yaygın ve uzun süreli güneş ışınımı verisine ihtiyaç vardır. Ölçümlerin yapılamadığı yerlerde veya eksik verilerin tamamlanmasında, güneş ışınımı değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmektedir. Anlık veya çeşitli periyotlardaki direkt, yaygın ve toplam ışınım öngörüsü için istatistiksel, parametrik ve sayısal yöntemlere dayanan çeşitli modeller ileri sürülmüştür. İstatistiksel modellerde doğrudan doğruya uzun süreli güneş ışınımı ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Parametrik ve sayısal yöntemlere

dayalı modellerde ise atmosfer dışına gelen ışınımın atmosferi geçerken, ortamdaki gazlar ve parçacıklar tarafından azaltılması incelenmektedir.

## 1.1. Kaynak Araştırması

### 1.1.1. Güneş Sabiti

Yeryüzeyine gelen güneş ışınımıyla ilgili ilk çalışmalar, 1880 yıllarında S.P.Langley tarafından, güneş ışınının spektral dağılımı ve güneş sabiti konularında başlatılmıştır. Daha sonra Abbot, Smithsonian Enstitüsünde yaptığı çalışmalar sonucu güneş sabitini  $1322 \text{ W/m}^2$  olarak ileri sürmüştür. 1954 de Johnson, uçak ve roketler tarafından alınan ölçümlerden yararlanarak sözkonusu sabit için  $1395 \text{ W/m}^2$  değerini vermiştir [3,4]. 1967-1970 yıllarında balon, uçak ve uzay araçlarının ölçümlerinden yararlanarak, güneş sabiti ve spektral dağılımı konusundaki en önemli çalışma, Thekaekare tarafından yapılmıştır. Thekaekare, güneş sabitini  $1353 \text{ W/m}^2$  olarak elde etmiş ve bu değer, 1974 de ASTM (American Society of Testing and Materials), 1976 da NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir [5,6]. Bu konu ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir.

### 1.1.2. Güneş Işınımının Atmosferde Absorbsiyonu ve Saçılması

Güneş ışınımının atmosferdeki absorpsiyon ve saçılma ile azalmasını belirlemek için, atmosferdeki ozon, subuharı, oksijen karbondioksit gibi gazların absorpsiyon katsayıları ile molekül, toz ve aerosollerin saçılma katsayıları konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 1953 de Vigroux, Inn ve Tanaka tarafından ozon absorpsiyon katsayıları önemli spektral bantlarda ölçülmüştür [7,8]. Daha sonra, 1964 de Manabe ve Strickler, farklı basınçlar altında ozon absorpsiyon oranını, ozonun optik kalınlığına bağlı olarak ifade etmişlerdir [9]. Labs ve Neckel



ise atmosfer dışına gelen güneş ışınımını, çeşitli ozon miktarları ile spektral olarak incelemişlerdir. 1974 yılında, Lacis ve Hansen görünür ve ultraviyole ışınım bantlarındaki ozon absorpsiyonunu, ışının optik yoluna bağlı olarak parametrize etmişlerdir [10,11].

Atmosferik subuharının absorblama katsayısı ile ilgili ilk ölçümler 1915 yılında Fowle tarafından başlatılmış, daha sonra, 1956 da Howard, 1960 da Mc. Donald, çeşitli spektral aralıklarda ölçümler yapmışlardır. 1962 yılında Yamamoto, subuharı absorpsiyon bantlarındaki absorblama oranlarını, daha önce yapılan ölçümler yardımıyla, yağışa geçebilir subuharı miktarına bağlı olarak ifade etmiştir [11,12]. 1974 de Lacis ve Hansen, subuharının toplam absorpsiyon oranını, yağışa geçebilir subuharı miktarının fonksiyonu olarak veren bir bağıntı ileri sürmüşlerdir [10,11,12].

Atmosferdeki gazların saçılma katsayılarının belirlenmesinde, 1870 de Lord Rayleigh tarafından önerilen bağıntıdan yararlanılmaktadır. 1968 yılında Elterman'ın çeşitli dalgaboyu ve yükseklikler için tablolar halinde sunduğu Rayleigh optik kalınlık değerlerini, 1969 da Marggraf ve Griggs, eksponansiyel bir değişim ile ifade etmişlerdir [3,11]. Literatürde moleküler saçılma katsayılarını optik hava kütesine bağlı olarak veren çeşitli tablo ve eşitlikler mevcuttur [8,14].

Kuru hava moleküllerinden daha büyük parçacıklar nedeniyle güneş ışınımının saçılmasının açısal dağılımı, ilk olarak Mie, Shifrin, Penndorf tarafından incelenmiştir [7]. Daha sonra ışınımın büyük toz partikülleri ve aerosoller tarafından azaltılması, 1963 de Junge, 1964 de Deirmendjian ve 1965 de Elterman'ın ileri sürdükleri, atmosferin düşey aerosol dağılımından yararlanılarak hesaplanmıştır [11,15]. Birçok çalışmada ise, aerosollerin

azaltma etkisi, türbidite katsayısı, toz faktörü ve aerosol azaltma katsayısı şeklinde tanımlanan parametrelere bağlı olarak belirlenmiştir [16,17].

### 1.1.3. Günlük Direkt, Yaygın ve Toplam Güneş Işınımı

Direkt, yaygın ve toplam ışınımın çeşitli periyotlardaki değerlerini tahmin etmek için, uzun süreli ölçümlerden yararlanarak, genellikle bölgesel çeşitli amirik bağıntılar ileri sürülmüştür. 1960 yılında Liu ve Jordan A.B.D. için, 1962 yılında Coudhury, Yeni Delhi için direkt ışınımın geçirgenlik katsayısı ile yaygın ışınımın geçirgenlik katsayısı arasındaki ilişkileri incelemiştir [18,19]. Ayrıca, açık günler için kullanılan ışınım bağıntısından ve Liu ve Jordan'ın metodundan yararlanarak, ölçülen toplam ve yaygın ışınım değerlerinden, direkt ışınımın bulunmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [20-24]. 1976 yılında Cole, yeryüzüne gelen anlık direkt ışınımı, atmosfer dışına gelen ışınım, hava kütesine, yağışa geçebilir subuharı miktarına ve toz konsantrasyonuna bağlı olarak ifade etmişlerdir. Daha sonra, 1979 da King ve Buskius, anlık direkt ışınım için Cole tarafından önerilen parametrelere, türbidite ve basınç etkisini de katmıştır [25]. 1982 de Kılıç, anlık direkt güneş ışınımı için yağışa geçebilir subuharı miktarı, toz konsantrasyonu, toplam basınç ve optik hava kütesine bağlı olan bir denklem sunmuş ve Türkiye için, aylık ortalama direkt güneş ışınımı haritalarına elde etmiştir [26].

Yatay bir yüzeye gelen toplam ışınım öngörüsüyle ilgili olarak çeşitli bağıntılar ileri sürülmüştür. Bu bağıntılar, genellikle güneşlenme süresi, bağıl nem güneş yüksekliği, bulut kapallılığı gibi çeşitli meteorolojik parametrelerin birine veya birkaçına bağlı olarak verilmektedir. 1924 yılında Angström tarafından ileri sürülen

bağıntı en eski ve en yaygın kullanılan bağıntılardan biridir. Söz konusu çalışmada, günlük toplam ışınımın aylık ortalamasının, açık günde gelen ortalama değere oranı ile günlük güneşlenmenin aylık ortalamasının, günlük maksimum güneşlenme süresinin aylık ortalama değerine oranı arasında lineer bir ilişki kurulmuştur. 1940 yılında Prescott, Angström bağıntısındaki açık bir günde gelen ortalama toplam ışınım yerine, atmosfer dışına gelen günlük toplam ışınımın aylık ortalama değerini almıştır. Daha sonra 1958 de Glover ve Mc. Cullock, Prescott'un bağıntısına enlem etkisini ilave etmiştir [16]. 1980 yılında ise, Barla, enlem ve aylık ortalama denklinasyon açısı etkisini beraber gözönüne almıştır [27]. Atmosfer dışına gelen ışınım kolaylıkla hesaplandığından Prescott'un önerdiği bağıntıya dayanan pek çok çalışma yapılmış ve bölgesel katsayılar belirlenmiştir [28-32].

Bulutlu atmosferde toplam ışınım öngörüsü ile ilgili ilk çalışmalar 1928 de Kimball tarafından başlatılmıştır. 1954 yılında Houghton, ölçülen günlük toplam ışınım değerinin açık günde gelen toplam ışınım oranı ile, bulut kapallılığı arasında lineer ilişkiler saptamıştır. Daha sonraki çalışmalarda sözkonusu oran ile bulut kapallılığı ve güneşin yüksekliğine bağlı lineer ve lineer olmayan bağıntılar sunulmuştur [16,33,34]. 1960 yılında Liu ve Jordan tarafından ileri sürülen bulutluluk ve yaygın ışınım oranları arasındaki bağıntılar, A.B.D. ve Kanada'da günlük toplam ve yaygın ışınım öngörüsü ile ilgili birçok çalışmada kullanılmıştır [35-38].

Literatürde, toplam ışınım öngörüsü için, meteoroloji istasyonlarından elde edilen verilere bağlı çeşitli ifadeler mevcuttur [14,39-41]. Ayrıca uydu verilerinden yararlanılarak, albedo ve bulut örtüsü etkileri

gözönüne alınarak, günlük toplam ışınımın enlem değişimini inceleyen çalışmalar yapılmıştır [42,43].

#### 1.1.4. Saatlik Direkt, Yaygın ve Toplam Güneş Işınımı

Saatlik toplam ışınım öngörüsü ile ilgili ilk çalışma 1964 yılında Lumb tarafından yapılmıştır. Burada, saatlik toplam ışınım, her bir saatlik periyodun ortalama güneş yüksekliğine bağlı olarak dokuz bulutluluk kategorisi için incelenmiştir [34-44]. 1981 yılında Exell, günlük toplam ışınımı binom dağılımına benzer bir dağılım şeklinde ifade ederek, saatlik toplam ışınım değerlerini bu dağılımdan yararlanarak ifade etmiştir [45]. 1986 da ise Adawi ve arkadaşları saatlik toplam ışınımı, gün uzunluğu, maksimum saatlik ışınım değeri ve günün zamanına bağlı olarak hesaplayan bir bağıntı geliştirmişlerdir. [46].

1970 yılından itibaren, saatlik toplam ışınım öngörüsünde parametrik modelleme yöntemini kullanan çalışmalar önem kazanmıştır. 1975 yılında Davies, atmosferik saçılmayı izotropik varsayarak, direkt ışınımın subuharı, hava molekülleri ve aerosoller tarafından geçirilmesini ayrı ayrı incelemiştir. Atmosferdeki subuharının geçirgenliği, yağışa geçebilir subuharı miktarına bağlı olarak, aerosollerin neden olduğu geçirgenliği ise toz parametresine bağlı olarak hesaplamıştır [14,47-49]. 1976 yılında ise, Suckling ve Hay, Kanada'nın çeşitli istasyonları için toplam ışınım değerlerini aynı yöntemle hesaplamıştır [48,50]. Daha sonra 1978 de Hoyt atmosferde bulunan subuharı, karbondioksit, ozon ve aerosollerin absorpsiyon oranları ile hava molekülleri ve aerosollerin saçılma oranlarını hesaplamıştır. Söz konusu çalışmada, aerosollerin azaltma etkileri atmosferin türbidite katsayısına bağlı olarak incelenmiş, hava molekülleri ve aerosoller tarafından saçılma ayrı ayrı gözönüne alınmıştır

[16,51,52]. 1983 yılında ise Sherry ve Justus, aerosollerin geçirgenliğini aşağı ve yukarı atmosfere ait aerosoller için farklı bir şekilde incelemişlerdir [53]. 1986 da Kamada ve Flocchini, aerosollerin azaltma etkisini görüş uzaklığına bağlı olarak, yağışa geçebilir subuharının düşey değişimini de sıcaklığa, basınca, kuru havanın ve subuharının gaz sabitlerine bağlı olarak ifade etmişlerdir [54]. Ayrıca, literatürde açık bir gün için yatay bir yüzeye gelen saatlik direkt, yaygın ve toplam ışınımı spektral olarak hesaplayan çalışmalar da mevcuttur [16,55,56].

Bulutlu atmosfer şartları için saatlik toplam ışınım öngörüsündeki parametrik modeller iki şekilde ele alınmaktadır. Birinci şekilde, toplam ışınımın bileşenleri olan direkt ve yaygın ışınım, bulutlu atmosfer etkileri gözönüne alınarak hesaplanmakta, ikinci şekilde ise açık gökyüzü için hesaplanan toplam ışınım, bulut etkisi ilave edilmektedir. Her iki durumda da toplam bulut miktarı kullanıldığı gibi, alçak, orta ve yüksek bulutların kapalılık miktarlarının ayrı ayrı ele alındığı tabakalı bulut modelleri mevcuttur [47-49].

1969 yılında Kimura ve Stephenson tarafından yapılan çalışmada, bulutlu atmosferdeki toplam ışınım öngörüsü için, açık atmosferde gelen toplam ışınım, bulut örtüsü faktörü (CCF) ilave edilmiştir. Bulut örtüsü faktörü, toplam bulut kapalılığına bağlı bir fonksiyon olup, fonksiyonun katsayıları Ottawa (Kanada) için, çeşitli güneş yüksekliği aralıklarında aylık olarak hesaplanmıştır [57]. Daha sonra 1977 yılında Won, Kimura ve Stephenson'ın çalışmasına benzer bir şekilde, saatlik toplam ışınım değerlerini Kanada'nın çeşitli bölgeleri için vermiştir [58]. Aynı yılda Suckling ve Hay tarafından yapılan çalışmada saatlik direkt, yaygın ve toplam ışınım öngörüsü için tabakalı bulut modeli 'gözönüne

alınmış olup, orta ve yüksek bulut kapalılıklarını belirlemek için bir düzeltme uygulanmıştır. Bir çok çalışmada olduğu gibi, burada da Haurwitz tarafından ileri sürülen bulut geçirgenlikleri kullanılmıştır [59]. Daha sonra Hoyt, tamamen kapalı atmosfer durumu için bulut geçirgenliğini, bulutun taban ve tepe yüksekliğine ve optik hava kütesine bağlı olarak vermiştir [51]. 1980 yılında Kasten ve Czeplak, bulut geçirgenliğini sadece kapalılığın bir fonksiyonu olarak incelemiş, Hamburg'a ait verilerden yararlanarak, yatay bir yüzeye gelen saatlik toplam ışınımın, bulut tiplerine, güneş yüksekliğine, aylara ve mevsimlere göre dağılımlarını ayrıntılı olarak veren bir çalışma yapmıştır [60]. 1982 de Choudhury, bulut geçirgenliğini ve bulut albedosunu, bulutun optik kalınlığı ile güneş yüksekliğine bağlı bir şekilde ifade ederek ve Hoyt'un modelini kullanarak, yerden atmosferden ve bulutlardan yansıyan ışınım miktarını hesaplamıştır [61]. Bunlardan başka birçok çalışmada, yer ve yukarı seviyelerdeki toplam ışınım ölçümlerinden yararlanarak bulut geçirgenlikleri için çeşitli bağıntılar ileri sürmüştür [7,53,62,64].

Güneş ışınımının atmosferden geçişi radyatif transfer eşitliğinin çözümünü içeren çeşitli teorik çalışmalarda da incelenmiştir [48,65]. 1973 yılında, Braslau ve Dave, orta enlemlerde, temiz ve standart bir atmosfer modeli için radyatif transfer eşitliğini çözmüşler ve daha sonra aynı araştırmacılar çeşitli atmosfer modelleri için yansıyan, absorblanan ve saçılan enerji oranlarını, farklı zenit açıları için teorik olarak hesaplamışlardır [66,67]. 1975 de Liou ve Sasamori, aerosollü bir atmosferdeki güneş ışınımı transferini, spektrumun yakın infrared bölgesi için incelemiştir [68,69]. Bu paragrafta sözü edilen teorik çalışmalar genellikle atmosferin termal dengesi ile ilgili çalışmalarda



kullanılmakta olup, yeryüzeyine gelen güneş ışınımının hesaplanması için elverişli olmadığı öne sürülmüştür [14,48].

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Ülkemizde toplam ışınım öngörüsü için yapılan çalışmalarda, genellikle günlük toplam ışınımın aylık ortalama değerlerinin tahminiyle ilgili çeşitli amprik bağıntılar ileri sürülmüştür. Bu bağıntılar bimetalik aktinometre ile ölçülen ışınım değerlerinden yararlanılarak, güneşlenme süresine ve bulutluluk indeksine bağlı olarak belirlenmiştir [39,70,71].

Bu çalışmada ise, birinci aşamada İstanbul ( $41.1^{\circ}\text{N}$ ) için açık atmosfer durumunda saatlik toplam ışınımı öngören parametrik bir model ileri sürülmüştür. Bu modelde, atmosferde güneş ışınımını azaltıcı faktörler olarak ozon, subuharı, oksijen, kuru hava molekülleri ve aerosoller gözönüne alınmıştır. Atmosferde ozon absorpsiyonu, moleküller saçılma, subuharı ve aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılmayla ilgili geçirgenlik değerleri, tüm dalgaboyları için optik hava kütesine bağlı olarak hesaplanmıştır. Subuharı ve aerosollerle ilgili geçirgenlikler çeşitli yağışa geçebilir subuharı miktarı ve aerosol parametresi değerleri için incelenmiştir. Modelde kullanılmak üzere İstanbul için aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı, Göztepe Meteoroloji İstasyonu'nun radyosonde verilerinden yararlanılarak, açık bir atmosfer için aylık ortalama aerosol parametresi değerleri ise, solarimetre ile ölçülen toplam ışınım değerlerinden faydalanılarak belirlenmiştir.

İleri sürülen modelde, yeryüzüne gelen saatlik toplam ışınım, aynı periyotlardaki direkt ve yaygın ışınımın toplamı olarak gözönüne alınmıştır. Direkt ışınım

atmosfer dışına gelen ışınımın, atmosferi geçerken, ışınımı azaltıcı faktörlerin geçirgenlikleri yardımıyla hesaplanmıştır. Yeryüzeyine gelen saatlik yaygın ışınım ise iki bileşene ayrılarak incelenmiştir. Birinci bileşen direkt ışınımın atmosferdeki kuru hava molekülleri ve aerosollere çarparak saçılmasını, ikinci bileşen ise, yeryüzeyinden yansıyan toplam ışınımın aynı parçacıklar tarafından saçılmasını içerir. Çalışmada, açık ve aerosollü bir atmosferde ışınımın ileriye doğru saçılmasının daha fazla olduğu varsayılmıştır.

Model sonucu olarak İstanbul için açık bir atmosfer durumunda, saatlik toplam ışınım değerleri, aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı ve aerosol parametresi değerleri yardımıyla her gün için, model için geliştirilen bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Atmosferin bulutsuz olduğu günler için model sonuçları ve ölçüm sonuçları arasındaki ilişki katsayısı 0.986, modelden hesaplanan değerlerin bağıl hatası % 4.5 olarak elde edilmiş olup, ileri sürülen modelin gerçek değerlere oldukça yakın değerler verdiği saptanmıştır.

Yıllık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı ve aerosol parametresi değerleri ile çalıştırılan model sonucunda, İstanbul için açık bir gündeki, ozon, subuharı ve aerosoller tarafından absorpsiyon ve kuru hava molekülleri, subuharı ve aerosoller tarafından saçılmayla ilgili geçirgenlik oranları ayrı ayrı zenit açısının fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Direkt ışınımın ve toplam ışınımın ortalama şartlardaki atmosfer geçirgenlik oranları yine zenit açısına bağlı olarak verilmiştir. Ayrıca İstanbul için, açık bir günde güneş öğlesinde gelen bir saatlik toplam ışınım değerinin yıl boyunca değişimi de hesaplanmıştır.



İkinci aşamada ise, bulutlu atmosfer şartları için yeryüzeyine gelen toplam ışınımı tahmin etmek üzere, bulutlu atmosferde ölçülen toplam ışınımın birinci aşamada verilen model yardımıyla, açık atmosfer için hesaplanan toplam ışınım oranı ile bulut kapallılığı ve güneşin zenit açısı arasında çoklu regresyon bağıntısı incelenmiştir. Toplam 668 ölçüm değerinden yararlanarak, alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için ve her bulut tipinde güneşin zenit açısına göre sınıflandırma yaparak önceki çalışmalardan farklı çeşitli bağıntılar bulunmuştur. Bulutlu bir atmosfer durumunda bulut tipi, kapallılığı ve zenit açısına göre güneş ışınımının atmosfer tarafından geçirgenlik oranları hesaplanmıştır. Ayrıca tamamen kapalı durumda alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için ortalama geçirgenlik değerleri verilmiştir. Sonuçlar ölçüm değerleri ile ve bulutlu atmosfer için yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Bulutlu atmosfer şartlarında ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerlerindeki ilişki katsayısı, alçak bulutlar için 0.930, orta bulutlar için 0.961, yüksek bulutları için 0.978 olmak üzere, ortalama ilişki katsayısı 0.956 olarak hesaplanmıştır. Bağlı hata değerleri ise alçak bulutlar için % 19.2, orta bulutlar için % 12.8, yüksek bulutlar için % 8.4 olmak üzere ortalama % 13.3 tür. Bu çalışmada bulutlu atmosfer için ileri sürülen modelin, aynı konuda yapılan diğer çalışmalara nazaran ilişki katsayıları yüksek, bağlı hata değerleri de düşüktür.

## BÖLÜM 2

### GÜNEŞ IŞINIMI

#### 2.1. Giriş .

Güneşin ışınlam enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır.

Güneş, dünyadan ortalama  $1.496 \times 10^8$  km uzaklıkta,  $1.392 \times 10^8$  km çapında ve  $1.99 \times 10^{30}$  kg kütlesinde, sıcak bir gaz küresidir. Güneşin kendi eksenini etrafındaki dönme hızı, ekvatorundan, kutuplarına doğru düzgün bir şekilde azalır. Güneşin eksenini etrafındaki bir dönüşü, ekvatorunda 24.7 gün,  $35^\circ$  enleminde 26.7 gün ve  $75^\circ$  enleminde 33 günden fazladır. Güneşin yüzey sıcaklığı, yaklaşık  $6000^\circ\text{K}$  olup, iç bölgesindeki sıcaklığın  $8 \times 10^6^\circ\text{K}$  ile  $40 \times 10^6^\circ\text{K}$  arasında değiştiği tahmin edilmektedir.

Güneş, sürekli bir füzyon reaktörüdür. Hidrojenin, Helyum'a dönüşmesi esnasında, saniyede yaklaşık 4 milyon ton kütle, enerjiye dönüşerek, yaklaşık  $3.5 \times 10^{26}$  J değerindeki enerji, ışınlam şeklinde uzaya yayılmaktadır. Bu enerjinin yaklaşık 2 milyarda biri dünyaya isabet etmektedir.

Dünya ve atmosfer sistemi, bir yılda güneşten ortalama  $5.445 \times 10^{24}$  joule ( $56 \times 10^{26}$  cal/dak.)lık enerji alır. Bu değer, dünya atmosfer sisteminde oluşan

fiziksel süreçler için geçerli olan ısı enerjisinin % 99.97 olup, dünyadaki insan yapısı sistemler tarafından oluşturulan tüm enerjinin 27 000 katıdır.

## 2.2. Güneş Sabiti

Güneş sabiti, güneş ışınımı icellemelerinde göz-önüne alınan önemli parametrelerden biri olup, ortalama dünya-güneş uzaklığında, atmosfer dışında güneş ışınlarına dik olan birim yüzeye, birim zamanda gelen enerji olarak tanımlanır.

Güneş sabiti konusundaki ilk çalışmalar, 1880 yılında Langley tarafından başlatılmıştır. C.G. Abbot ve arkadaşları, Smithsonian Enstitüsündeki çalışmaları sonucu güneş sabitini  $1322 \text{ W/m}^2$ , Johnson roket ölçümlerinden de yararlanarak, bu değeri  $1395 \text{ W/m}^2$  olarak ileri sürmüşlerdir [34].

Daha sonra, yüksek seviyelerdeki uçak, balon ve uzay araçları ile yapılan ölçümlerden elde edilen bilgiler sonucu, Thekaekare ve Drummond tarafından verilen  $1353 \text{ W/m}^2$  değeri 1974 de ASTM (American Society of Testing and Materials), 1976 da NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından standart değer olarak kabul edilmiştir [5,6,8].

Güneş ve dünya arasındaki uzaklık yıl boyunca değiştiğinden, aktüel değerler, 4 Nisan ve 5 Ekim'de  $1353 \text{ W/m}^2$ , 4 Ocak'ta  $1400 \text{ W/m}^2$ , 5 Temmuz'da ise  $1309 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır [6].

## 2.3. Atmosfer Dışına Gelen Işınım

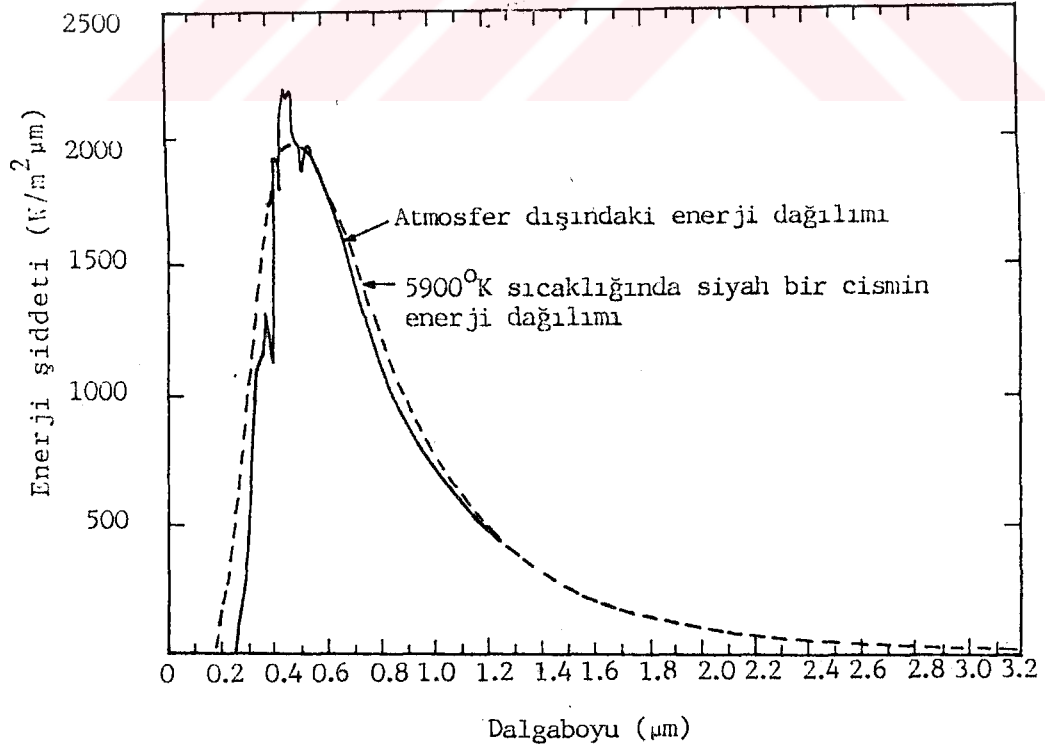
Atmosfer dışına gelen güneş ışınımının dalgaboyu yaklaşık  $0.2 \mu\text{m}$  ile  $3.2 \mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Şekil 2.1'de, Thekaekare tarafından verilen ortalama dünya-güneş

uzaklığında güneş ışınımının spektral dağılımı görülmektedir. Atmosfer dışındaki spektral dağılım, 5900 °K sıcaklıktaki siyah bir cismin yayınladığı enerji dağılımına oldukça yakındır. Güneşten gelen enerjinin % 98'i 0.2-3.2 µmdalgaboyu aralığında olup, toplam enerjinin yaklaşık % 7 si ultraviyole ( $\lambda < 0.38 \mu\text{m}$ ), % 47,3 ü görünür ( $0.38\mu\text{m} < \lambda < 0.78\mu\text{m}$ ) ve % 45.7 si infrared ( $\lambda > 0.78\mu\text{m}$ ) ışınım bölgesinde yer alır.

Atmosfer tepesinde yatay birim alana gelen aktüel güneş ışınımı, güneş sabitine, dünya-güneş uzaklığına ve güneşin zenit açısına bağlı olarak,

$$I_o = I_{sc} (\bar{R}/R)^2 \cos Z \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,  $I_{sc}$ , güneş sabiti;  $Z$ , güneşin zenit açısı;  $\phi$ , enlem derecesi;  $\delta$ , güneşin deklinasyon açısı ve  $h$ , saat açısı olmak üzere  $(\bar{R}/R)^2$  dünya-güneş uzaklığı düzeltme faktörü olup,  $\bar{R}$ , ortalama dünya-güneş uzaklığı,  $R$ , aktüel dünya-güneş uzaklığıdır.



Şekil 2.1

Ortalama dünya-güneş uzaklığında güneş ışınımının atmosfer dışındaki spektral dağılımı

zenit açısı,

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos h \quad (2.2)$$

şeklindedir.

Saat açısı,

$$h = 15 |12 - TST| \quad (2.3)$$

eşitliğinden derece olarak hesaplanabilir. Burada TST, gerçek güneş zamanıdır.

Güneş ışınımı hesapları, gerçek güneş zamanı cinsinden yapıldığından, standart zaman (memleket saati, ST),

$$TST = ST - [(\lambda_{st} - \lambda_y)/15] + (ET/60) \quad (2.4)$$

eşitliği ile gerçek güneş zamanına dönüştürülmektedir. Burada,  $\lambda_{st}$  ve  $\lambda_y$ , sırasıyla memleketin standart boylamı ve istasyonun (yerel) boylamıdır. ET, dakika cinsinden zaman eşitliğidir. Dünyanın güneş etrafındaki hızı sabit olmadığından, ortalama hıza göre tanımlanan, ortalama güneş zamanı ile gerçek güneş zamanı arasındaki fark, zaman eşitliği (ET) olarak tanımlanmaktadır.

(2.1) eşitliğindeki  $(\bar{R}/R)^2$ , ve ET gibi astronomik parametreler, literatürde tablolar halinde verilmiştir [72,73]. Ayrıca, bilgisayarla yapılan hesaplamalar için, Spencer tarafından ileri sürülen, (2.6), (2.7) ve (2.8) eşitlikleri kullanılmaktadır. Söz konusu üç ifade gün sayısını açısal olarak veren  $\theta_0$ 'ın bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.  $\theta_0$  aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\theta_0 = 2\pi d_n / 365 \quad (2.5)$$

Burada,  $d_n$  gün sayısıdır ve 1 Ocak'ta sıfır değerinden başlayarak, 31 Aralık'ta 364 değerini almaktadır. Dünya-güneş uzaklığı düzeltme faktörü, deklinasyon açısı ve zaman eşitliği ifadeleri aşağıdaki şekilde verilmiştir :

$$\begin{aligned} (\bar{R}/R)^2 = & 1.00011 + 0.034221 \cos \theta_0 + 0.00128 \sin \theta_0 \\ & - 0.000719 \cos 2\theta_0 + 0.000077 \sin 2\theta_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \delta &= 0.006918 - 0.399912 \cos\theta_0 + 0.070257 \sin\theta_0 \\ &\quad - 0.006759 \cos 2\theta_0 + 0.000907 \sin 2\theta_0 \\ &\quad - 0.002697 \cos 3\theta_0 + 0.001480 \sin 3\theta_0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} ET &= 0.000075 + 0.001868 \cos\theta_0 - 0.032077 \sin\theta_0 \\ &\quad - 0.014615 \cos 2\theta_0 - 0.040849 \sin 2\theta_0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Bu bağıntılardan hesaplanan değerlerdeki maksimum hata,  $(\bar{R}/R)^2$  için  $10^{-4}$ den az,  $\delta$  için 0.006 radyan (<3 dak.), ET için 0.0025 radyandır (<35 sn.) [14,48]. Sözkonusu üç parametrenin yıl boyunca değişimi grafik olarak Ek A da Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3 de sunulmuştur.

#### 2.4. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı, ışınımın atmosferde aldığı yola ve atmosferin absorpsiyon ve saçılma etkilerini kapsayan toplam azaltma miktarına bağlıdır. Güneş ışınımı, atmosferde esas olarak subuharı, ozon, oksijen ve karbondioksit tarafından yutulur, hava molekülleri, subuharı molekülleri ve aerosoller tarafından saçılır.

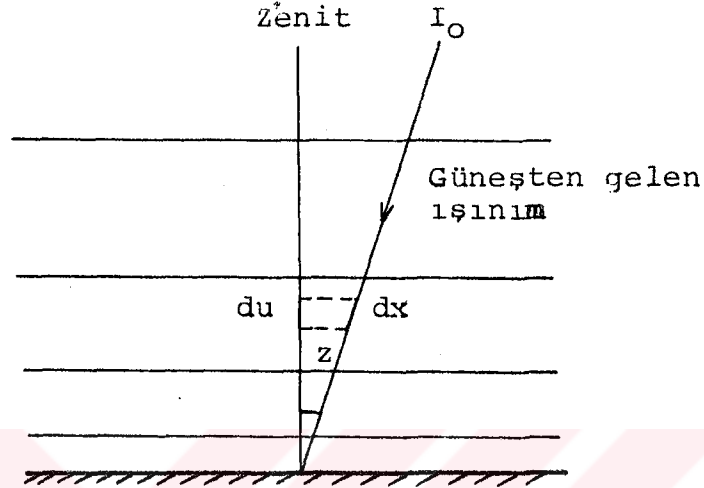
##### 2.4.1. Güneş Işınımının Atmosferde Aldığı Yol

Güneş ışınımının atmosferi geçerken aldığı yol, ışının geliş doğrultusuna göre değişir. Bu sebeple yeryüzüne ulaşan enerji miktarı da ışının aldığı yola bağlıdır.

Yatay olarak homojen bir atmosferde, güneş zenitte olmadığı zaman, yeryüzeyine erişen direkt ışınım (güneşten yönü değişmeden gelen ışınım) dalgaboyuna bağlı olarak,

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \cdot \exp \left( - \int_0^x a_{\lambda} dx \right) \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilen Beer Kanunu ile verilmektedir. Burada,  $I_{0\lambda}$  atmosfer dışındaki  $\lambda$  dalga boylu ışınım şiddeti;  $a_\lambda$  atmosferin toplam azaltma katsayısı;  $x$ , güneş ışınımının aldığı optik yoldur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2

Düzlemsel olarak tabakalaşmış bir atmosferde zenit açısı ve optik hava kütlesi arasındaki ilişki

Standart basınçta güneş ışınının atmosferde herhangi bir doğrultuda aldığı yolun ( $dx$ ), ışınların zenit doğrultusunda aldığı yola ( $du$ ) oranı, bağıl optik kütle ( $m_r$ ) olarak tanımlanmaktadır. Zenit açısı,  $Z = 0^\circ$  şartında güneş ışınının aldığı yol, birim kabul edildiğine göre, bağıl optik hava kütlesi,

$$m_r = \frac{1}{\cos Z} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. (Burada  $Z$ , zenit açısıdır.) (2.10) eşitliği de düzlemsel olarak tabakalaşmış bir atmosfer için geçerlidir. Özellikle zenit açısının büyük olduğu durumlarda atmosferik kırılma etkileri çok fazladır. Rogers, kırılma etkilerini gözönüne almak için, atmosferi küresel olarak tabakalaşmış varsayarak, bağıl optik hava kütlesini,

$$m_r = 35 / (1224 \cos^2 Z + 1)^{0.5} \quad (2.11)$$

şeklinde ifade etmiştir [14,48].

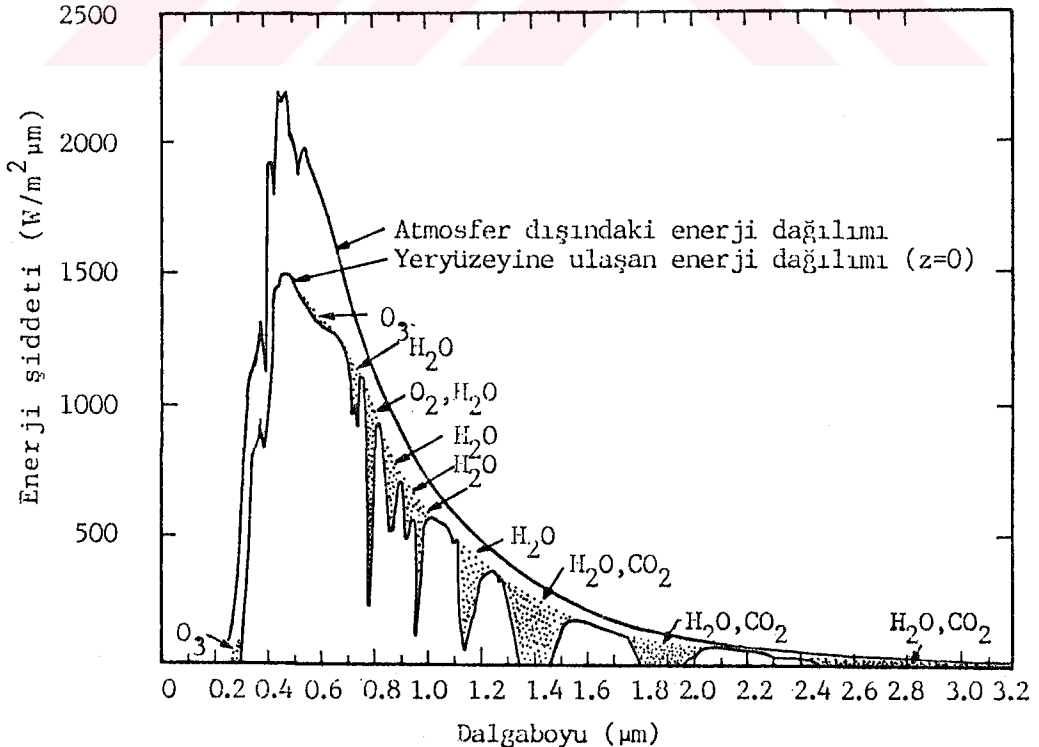
Atmosferik basınç, standart basınçtan farklı olduğu zaman optik hava kütlesi (mutlak optik hava kütlesi),

$$m = m_r (P/P_0) \quad (2.12)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada  $P$ , istasyon basıncı,  $P_0$ , standart atmosfer basıncıdır ( $P_0 = 101.3$  kPa).

#### 2.4.2. Güneş Işınımının Atmosferde Absorpsiyonu

Yeryüzüne gelen ışınımı etkileyen en önemli absorblayıcılar, stratosferde ozon, troposferde subuharıdır. Ayrıca oksijen, karbondioksit, azot oksitleri ve aerosoller de çeşitli spektral bantlarda güneş ışınımını absorblarlar. (Şekil 2.3) de atmosfer dışına ve yeryüzüne gelen  $0.2-3.2 \mu\text{m}$  arasındaki enerji dağılımı görülmektedir [3]. Ultraviyole ışınım bandında ( $\lambda < 0.38 \mu\text{m}$ ) ozon, görünür ışınım bandında ( $0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ ) ozon ve oksijen, infrared bandında ( $\lambda > 0.78 \mu\text{m}$ ) ise su buharı ve karbondioksit tarafından olan absorpsiyon önemlidir.



Şekil 2.3

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının enerji dağılımı ve çeşitli absorpsiyon bantları.



#### 2.4.2.1. Ozon Tarafından Absorbsiyon

Güneş ışınımı, 0.22-0.29  $\mu\text{m}$  arasındaki spektral bölgede stratosferde ozon tarafından absorblanır. Bu sebepten atmosferin alt seviyelerine ultraviyole ışınımının çok az bir kısmı ulaşır. Görünür bölgedeki en önemli ozon absorpsiyon bandı 0.50-0.60  $\mu\text{m}$  arasında olup, Chappius bandı olarak bilinir.

Ozonun absorpsiyonu ile ilgili ilk önemli çalışmalar Vigroux, Inn ve Tanaka tarafından yapılmıştır. Howard, bu çalışmalara dayanarak ozon için spektral absorpsiyon katsayılarını belirlemiştir [7,8]. Daha sonra Lacis ve Hansen, Howard'ın verilerinden yararlanarak, iki spektral bölge için, ozon tarafından yapılan absorpsiyon oranını, ozon miktarına bağlı olarak vermişlerdir. Ultraviyole ışınım bölgesi için, ozonun absorblama oranı,

$$A_{\text{oz}}^u = \frac{1.082 X_{\text{oz}}}{(1+138.6 X_{\text{oz}})^{0.805}} + \frac{0.0658 X_{\text{oz}}}{1+(103.6 X_{\text{oz}})^3} \quad (2.13)$$

bağıntısı ile, görünür ışınım bölgesindeki Chappius bandı için absorblama oranı ise,

$$A_{\text{oz}}^c = \frac{0.02118 X_{\text{oz}}}{1+0.042 X_{\text{oz}} + 0.000323 X_{\text{oz}}^2} \quad (2.14)$$

bağıntısı ile verilmiştir [10,11]. Ultraviyole ve görünür bölgelerdeki absorblama oranları (Şekil 2.4) de gösterilmiştir. Şekildeki absorpsiyon oranları, Howard ve arkadaşları tarafından ozonon (-44)<sup>o</sup>C de ölçülen absorpsiyon katsayılarına ait dalgaboyları üzerinden integre edilerek belirlenmiştir. Eğriler, 2.13 ve 2.14 bağıntılarına göre elde edilmişlerdir.

Her iki spektral bölgedeki toplam absorpsiyon oranı,

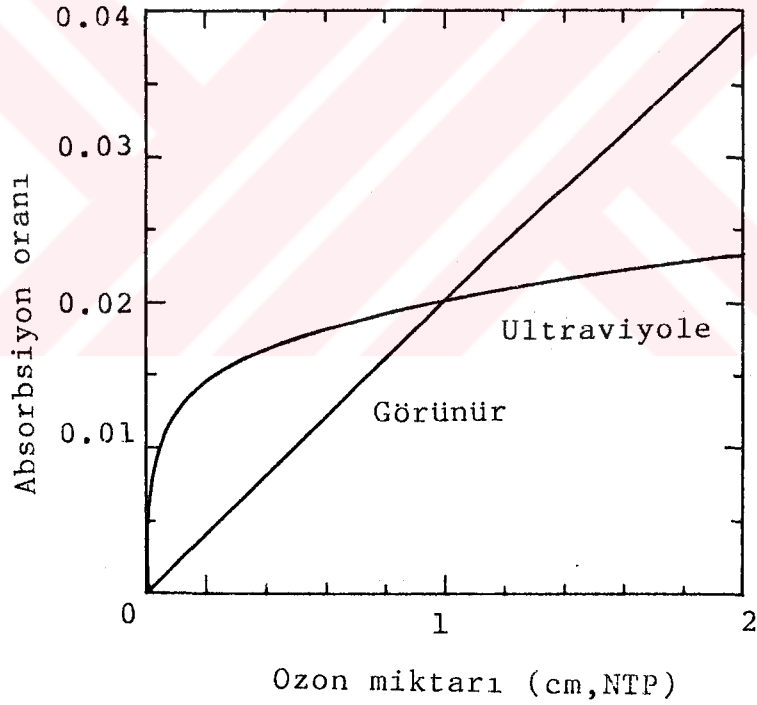
$$A_{\text{OZ}} = A_{\text{OZ}}^u + A_{\text{OZ}}^c \quad (2.15)$$

olarak yazılabilir. (2.13) ve (2.14) eşitliklerindeki  $X_{oz}$ , ozonun optik yolu olup,

$$X_{oz} = u_{oz} \cdot m$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $u_{oz}$ , birim kesitli atmosfer sütunundaki, normal sıcaklık ve basınçta ( $T_o = 273^{\circ}K$ ,  $P_o = 101,3$  kPa) ozon tabakasının kalınlığı (cm),  $m$  ise, optik hava kütesidir.

Atmosferdeki ozon miktarı, enlemlere ve aylara göre değişir. Şekil 2.5 de standart atmosfer şartlarında ozon tabakası kalınlığının enlemlere ve aylara göre dağılımı verilmektedir [74].

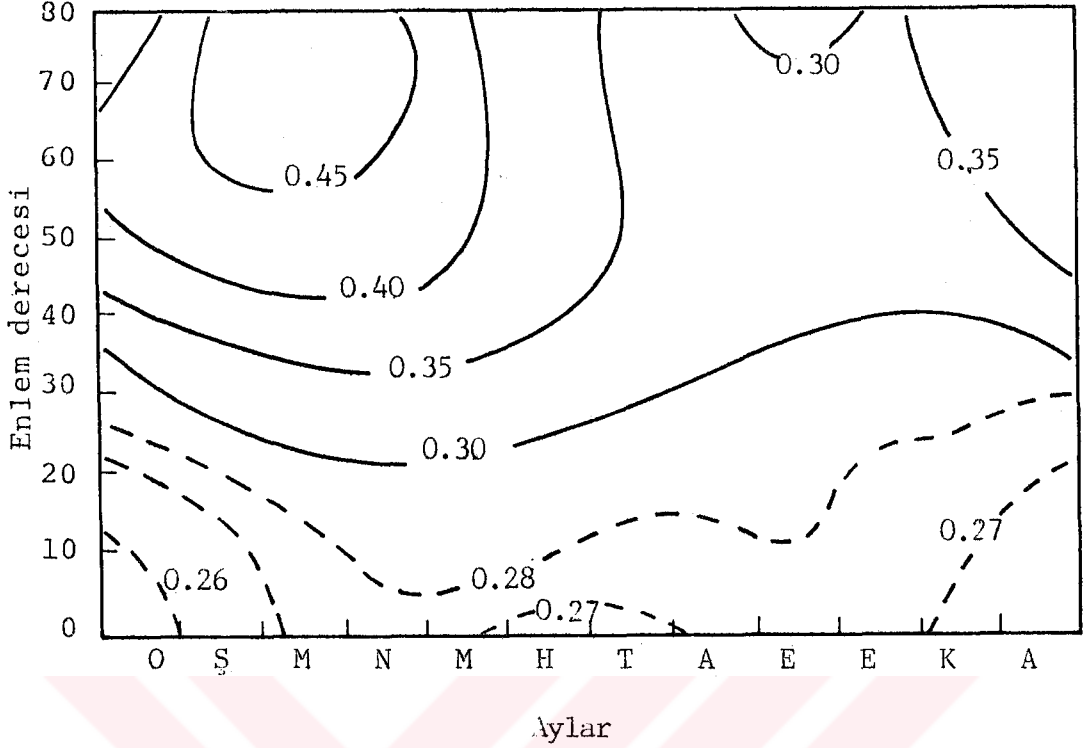


Şekil 2.4

Ozon miktarına bağlı olarak absorblanan enerji oranı

#### 2.4.2.2. Subuharı Tarafından Absorbsiyon

Güneş ışınımının subuharı tarafından absorbsiyonu ozon absorbsiyonundan daha karmaşıktır. Absorbsiyon oranları ışınımın dalgaboyuna bağlı olduğu gibi, ortamın



Şekil-2.5

Standart atmosfer şartlarında ozon tabakası kalınlığının kuzey yarımküredeki dağılımı

basınç ve sıcaklığına da bağlıdır. Zayıf absorpsiyon bantlarında basınç etkisi ihmal edilmesine karşın, kuvvetli absorpsiyon bantlarında basınç etkisi önemlidir. Sıcaklık, absorpsiyon bandının, genişliğini ve şiddetini etkiler. Ancak, atmosferde mutlak sıcaklık değişimi büyük olmadığından absorpsiyon oranına, sıcaklığın etkisi ihmal edilebilir [11]. Işınımın subuharı tarafından absorpsiyonu, 0.72, 0.81, 0.94, 1.14, 1.38, 1.87 ve (2.7-3.2)  $\mu\text{m}$  spektral bantlarında çok kuvvetlidir [7,8].

Çeşitli dalgaboylarındaki subuharı absorpsiyonlarının ilk ölçümleri Fowle tarafından yapılmıştır. Kimball, bu ölçümleri, Smitsonion Meteoroloji Enstitüsü tarafından yayınlanan tablolarda verilen, toplam subuharı miktarına karşı gelen toplam absorblama oranlarını basit bir eğri ile ifade etmek için kullanmıştır. Mc Donald, Müller ve Yamamoto aynı verileri kullanarak farklı eğriler elde etmişlerdir [9,10].

Daha sonra Howard, modern laboratuvarlarda subuharının absorpsiyon katsayılarıyla ilgili ölçümler yapmıştır. Yamamoto bu ölçümlerden yararlanarak, toplam absorpsiyon ve subuharı miktarı arasında ilişkiler bulmuştur. Lacis ve Hansen ise bütün spektrum boyunca, toplam absorpsiyon oranını, yağışa geçebilir subuharının fonksiyonu olarak,

$$A_w = \frac{2.9 x_w}{(1 + 141,5 x_w)^{0,635} + 5.925 x_w} \quad (2.17)$$

şeklinde ifade etmişlerdir. Bu ifade, başta subuharı absorpsiyonu olmak üzere  $CO_2$  ve  $O_2$  absorpsiyon bantlarının da bir kısmını içerir [10-12]. 2.17 eşitliğinde  $A_w$ , güneş ışınımının subuharı tarafından normal sıcaklık ve basıncadaki absorpsiyon oranıdır.  $x_w$ , subuharının optik yolu olup,

$$x_w = u_w \cdot m$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $u_w$  (cm), standart şartlarda yağışa geçebilir subuharı miktarı olup, birim kesitli atmosfer sütündeki subuharının yoğuşmasıyla meydana gelen sıvı suyun yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Güneş ışınımının subuharı tarafından geçirgenliği ( $T_{wa}$ ) konusunda yapılan çalışmalarda çoğunlukla Davis tarafından verilen

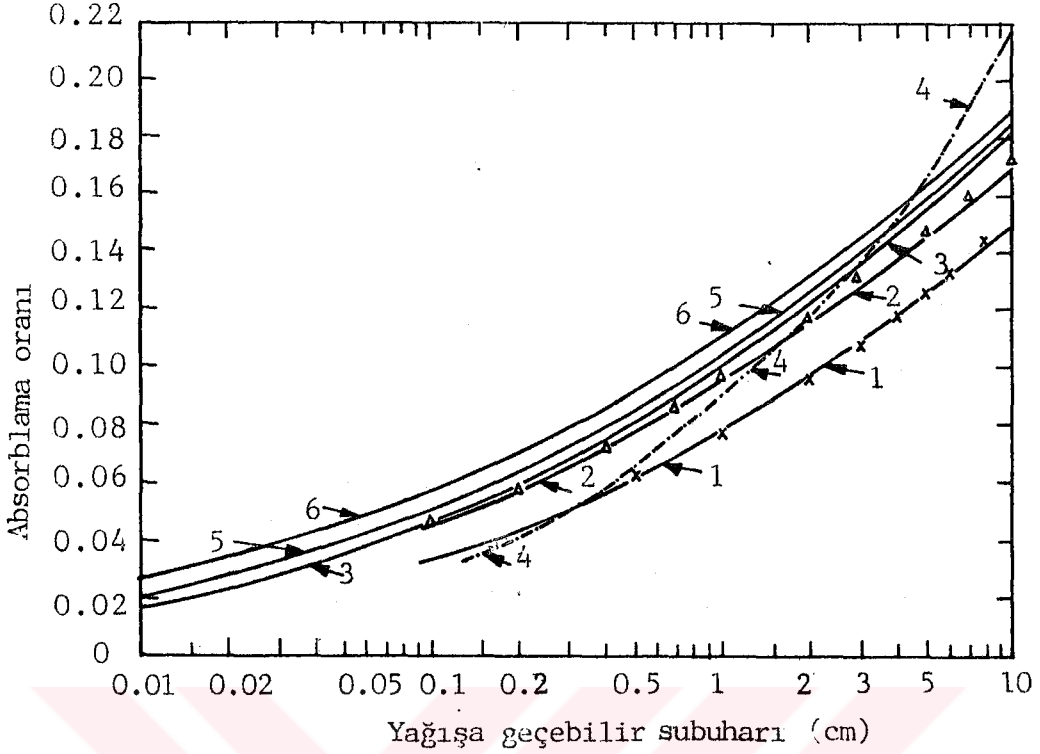
$$T_{wa} = 1 - 0.077 (x_w)^{0.3}$$

bağıntısı kullanılmaktadır [47,50]. Burada,  $x_w$  yine subuharının optik yoludur.

Herhangi bir basınç (P) ve sıcaklık (T) koşulundaki yağışa geçebilir subuharı miktarı  $u'_w$  olmak üzere

$$u_w = u'_w (P/P_o)^{0.75} (T_o/T)^{0.5} \quad (2.19)$$

bağıntısını kullanarak basınç ve sıcaklık düzeltmesi yapılmaktadır [11,14,48].



Şekil-2.6

Farklı araştırmacılar tarafından verilen çeşitli ışınım bantlarındaki subuharı karbondioksit ve oksijenin absorpsiyon eğrileri

Çeşitli spektral bantlarda ve tüm spektrum boyunca, başta subuharı olmak üzere  $\text{CO}_2$  ve  $\text{O}_2$  tarafından absorpsiyon oranları, standart basınç ve sıcaklıktaki yağışa geçebilir subuharı miktarına bağlı olarak Şekil 2.6 da verilmiştir. Şekilde, (1) eğrisi, 0.72, 0.8, 0.94, 1.1, 1.38, 1.87  $\mu\text{m}$  dalga boylarındaki Mc Donald'ın değerlerine dayanarak belirlenen subuharı absorpsiyon eğrisi; (2) eğrisi, 0.94, 1.1, 1.38, 1.87, 2.7, 3.2, 6.3  $\mu\text{m}$  dalga boylarında Möller'in verilerine dayanarak elde edilen subuharı toplam absorpsiyon eğrisi; (3) eğrisi bütün subuharı bantları için elde edilen toplam absorpsiyon eğrisi, (4) eğrisi, Houghton tarafından verilen toplam absorpsiyon eğrisi, (5),  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CO}_2$  bantlarındaki toplam absorpsiyon eğrisi, (6), (2.17) eşitliği ile ifade edilen  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  ve  $\text{O}_2$  nin toplam absorpsiyon eğrisidir [10-12].

#### 2.4.2.3. Karbondioksit Tarafından Absorbsiyon

Karbondioksit absorbsiyon bantları, infrared ışınım bölgesinde yer alır. Yamamoto'ya göre 4.3, 2.7, 2.0 ve 1.6  $\mu\text{m}$  dalgaboylarındaki bantlar, karbondioksit absorbsiyonu için önemlidir [12]. Güneş ışınımının, çeşitli basınç değerlerinde karbondioksit tarafından absorbsiyonu, normal sıcaklık ve basınçtaki karbondioksitin optik kalınlığının bir fonksiyonu olarak Manabe ve Strickler tarafından verilmiştir [9]. Daha sonra Hoyt, karbondioksit absorbsiyonu ile ilgili olarak,

$$A_c = 0.00235 (u_c + 0.0129)^{0.26} - 0.00075 \quad (2.20)$$

ifadesini ileri sürmüştür. Burada  $u_c$ , atmosferde normal sıcaklık ve basınçtaki karbondioksitin optik kalınlığı olup, optik hava kütlesi  $m = 1$  için ortalama olarak  $u_c = 126 \text{ cm}$  alınabilir. Söz konusu değer için, (2.20) eşitliği ile hesaplanan absorblama oranı,  $A_c = 0.002$  olarak elde edilir. Bu nedenle atmosferde, karbondioksitin  $0.2 \mu\text{m} < \lambda < 3.2 \mu\text{m}$  dalgaboyları aralığında neden olduğu absorbsiyon genellikle ihmal edilmektedir [51].

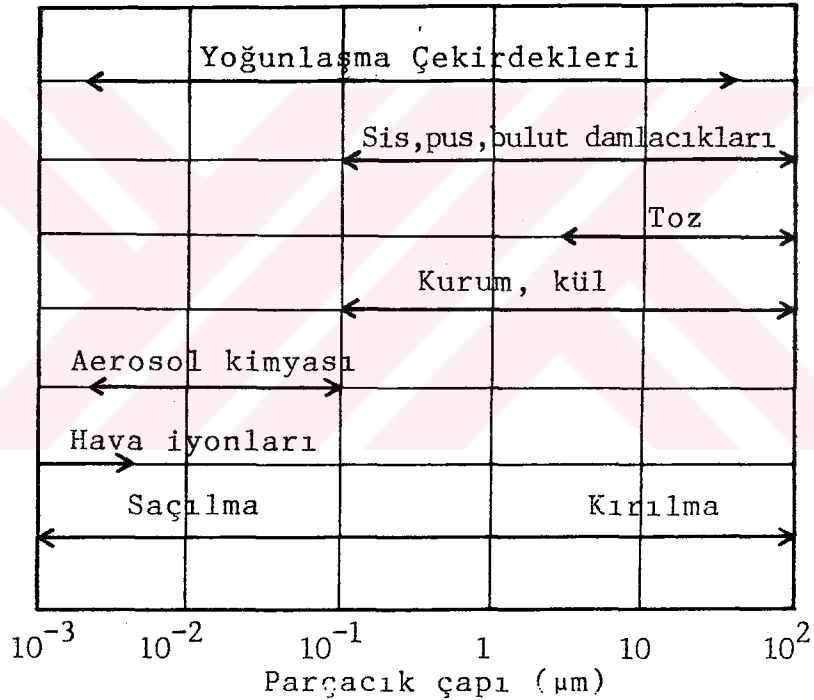
#### 2.4.2.4. Oksijen Tarafından Absorbsiyon

Güneş ışınımının oksijen tarafından absorbsiyonu görünür ışınım bölgesinde  $0.69 \mu\text{m}$  ve  $0.76 \mu\text{m}$  bandında meydana gelmektedir.  $0.26 \mu\text{m}$  den daha kısa dalgaboylu ışınım bölgesinde ( $0.04-0.06 \mu\text{m}$ ) sürekli bir absorbsiyon bandı vardır. Ancak her iki ışınım bölgesindeki absorbsiyon katsayıları çok küçüktür [7,8]. Karbondioksit ve oksijenin toplam absorbsiyon oranı yaklaşık  $0.011$  olarak verilmektedir [51].

#### 2.4.3. Güneş Işınımının Atmosferde Saçılması

Güneş ışınımı atmosferi geçerken, ortamda bulunan kuru hava ve subuharı molekülleri, aerosoller

tarafından saçılır. Işınımın ozon, karbondioksit, oksijen ve azot molekülleri tarafından saçılması, moleküler yoğunluklarının düşük olması nedeniyle ihmal edilebilir mertebededir. Atmosferdeki pus, duman, sis ve bulutlar aerosol olarak kabul edilebilir [75]. Şekil 2.7 de, atmosferik aerosollerin boyut sınıflandırılması gösterilmektedir. Atmosferdeki aerosol kaynakları ikiye ayrılabilir. Aerosoller, doğrudan doğruya kaynaktan parçacık şeklinde yayıldıkları gibi (rüzgar etkisi ile yayılan toz ve bacadan çıkan parçacıklar), atmosferde gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlardan da oluşabilir.



Şekil - 2.7  
Atmosferdeki çeşitli aerosoller ve boyutları

Saçılma, parçacıkların boyutuna ve ışınımın dalgaboyuna bağlıdır. Saçıcı parçacıkların yarıçapı ( $r$ ), gelen ışınımın dalga boyundan ( $\lambda$ ) çok küçük ise ( $r < 0.1\lambda$ ), Rayleigh saçılması (moleküler saçılma) meydana gelir.

Işınımın atmosferde Rayleigh saçılması ile azalması, Rayleigh optik derinliği ile ifade edilebilir. Rayleigh optik derinliği, bütün atmosfer için, ışınımın

dalga boyuna bağılı olarak,

$$\tau_{R\lambda} = \int_0^{\infty} S_{R\lambda} dz \quad (2.21)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $S_{R\lambda}$ , kütlelesel saçılma katsayısı olup, standart basınç ve sıcaklıkta,

$$S_{R\lambda} = \frac{32\pi^3(n-1)^2}{3\lambda^4 N} \left( \frac{6+3\rho_n}{6-7\rho_n} \right) \quad (2.22)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada,  $n$ , havanın kırılma indisi;  $N$ , moleküllerin sayısal yoğunluğudur.  $\rho_n$  deneysel olarak belirlenen bir sabit olup, Penndorf tarafından 0.035 olarak ileri sürülmüştür [11]. (2.21) bağıntısı çeşitli şekillerde ifade edilmiştir. Robinson, birim kesitli, homojen bir atmosfer sütununda, normal sıcaklık ve basınçtaki Rayleigh optik derinliği için,

$$\tau_{R\lambda} = 0.0088 \lambda^{-4.05} \quad (2.23)$$

bağıntısını vermiştir [7,8,11].

Rayleigh saçılması, görünür ışınım bölgesinde (0.3-0.7  $\mu\text{m}$ ) daha etkilidir. Işınımın dalgaboyu küçüldükçe, saçılma daha fazla olmaktadır. Rayleigh saçılmasında, maksimum saçılma, ileri ve geri yönlerde eşit şiddette, minimum saçılma ise, ışının gelme doğrultusuna dik yönde meydana gelir. Maksimum saçılma şiddeti, minimum saçılma şiddetinin yaklaşık iki katı kadardır (Şekil 2.8).

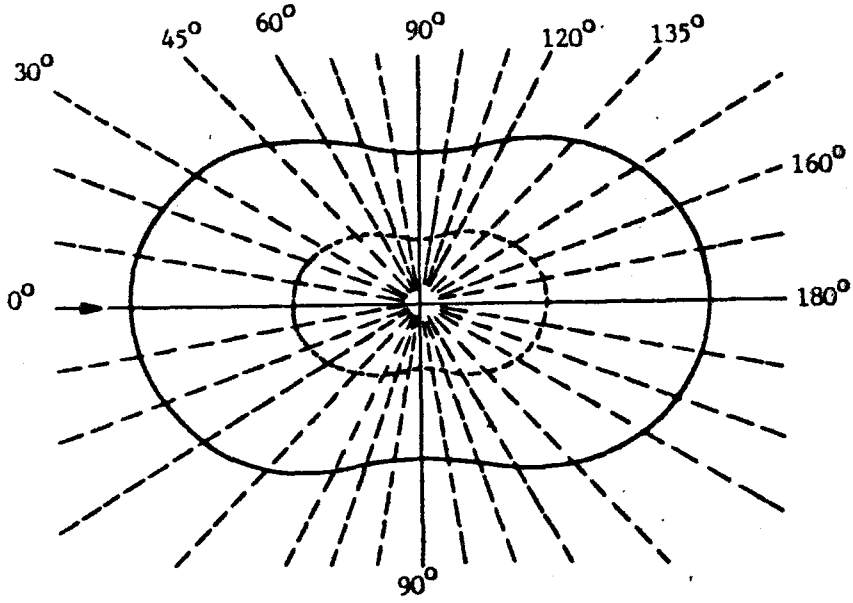
Davis ve arkadaşları, ışınımın Rayleigh saçılmasından dolayı azalmasını, atmosfer geçirgenliği ile ifade etmişlerdir. Sadece, Rayleigh saçılmasıyla ilgili atmosfer geçirgenliği ( $T_R$ ), tüm spektrum boyunca, optik hava kütesine ( $m$ ) bağılı olarak,

$$T_R = 0.972 - 0.08262m + 0.00933m^2 - 0.00095m^3 + 0.0000437m^4 \quad (2.24)$$

şeklinde ileri sürülmüştür [14,47,48].

Işınımın subuharı molekülleri tarafından saçılmasıyla oluşan geçirgenlik ( $T_{ws}$ ) ise,





Şekil - 2.8  
 $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$  ve  $\lambda = 0.7 \mu\text{m}$   
 için Rayleigh saçılmasının açısal dağılımı

$$T_{ws} = 1 - 0.0225 u_w \cdot m$$

şeklinde verilmiştir [14,17]. Burada,  $u_w$ , yağışa geçebilir subuharı miktarıdır.

Işınımın saçılmasına neden olan parçacıkların yarıçapları ( $r$ ),  $0.1\lambda$  ile  $25\lambda$  arasında ise ( $0.1\lambda \leq r \leq 25\lambda$ ), Mie saçılma teorisi geçerlidir. Atmosferde ışınımın, sözkonusu büyük parçacıklar (aerosoller) tarafından azaltılmasıyla ilgili optik derinlik,

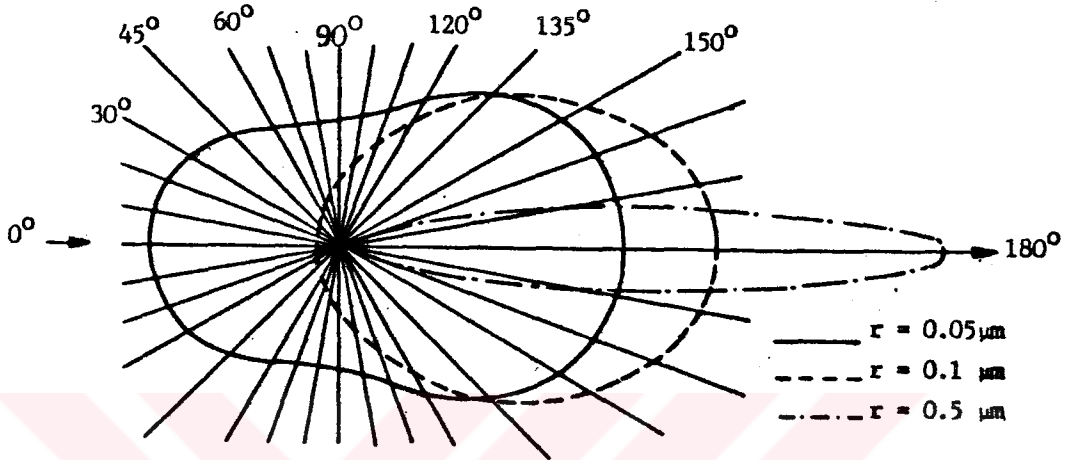
$$\tau_{a\lambda} = \int_0^{\infty} \beta_{a\lambda} dz \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\beta_{a\lambda}$ , aerosollerin dalga boyuna bağlı kütlelesel azaltma katsayısı olup Mie saçılma teorisine göre,

$$\beta_{a\lambda} = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q_{a\lambda}(r) n(r) dr \quad (2.26)$$

bağıntısı ile verilmiştir [7,11]. Burada,  $Q_{a\lambda}(r)$ , parçacığın boyutuna, kırılma indisine ve ışınım dalga boyuna bağlı bir fonksiyondur.  $n(r)$ ,  $r$  yarıçaplı parçacıkların sayısıdır.

Mie parçacıkları tarafından açısız saçılma, Şekil 2.9 da görüldüğü gibi ışının gelme yönüne dik doğrultuya göre simetrik değildir. Tanecik yarıçapı arttıkça ileriye doğru saçılma da artmaktadır.



Şekil - 2.9

Çeşitli boyuttaki parçacıklar için, Mie saçılmasının açısız saçılma şiddeti ( $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ )

Atmosferde aerosoller tarafından saçılma genellikle Mie saçılması olarak kabul edilir. Ancak Mie saçılması çok karmaşık olduğundan, çeşitli araştırmacılar, ışınımın aerosoller tarafından azaltılmasından sonraki atmosfer geçirgenliğini basit şekilde ifade etmeye çalışmışlardır. Houghton tarafından ileri sürülen geçirgenlik ifadesi,

$$T_a = k \cdot \exp(-m) \quad (2.27)$$

şeklindedir. Burada k, aerosollerle ilgili bir parametre olup, değeri 0.6-1.0 arasında değişmektedir. k'nın değeri yerel olarak belirlenmektedir [11].

Sasamori ve Hoyt, aerosoller tarafından azaltmayı absorpsiyon ve saçılma olarak iki kısımda incelemişlerdir. Aerosoller tarafından saçılmadan sonraki atmosfer geçirgenliği, türbidite katsayısına bağlı olarak,

$$T_{as} = [g(\beta)]^m \quad (2.28)$$

bağıntısı ile, aerosoller tarafından olan absorpsiyon ise,

$$A_a = (1-\omega_0) [g(\beta)]^m \quad (2.29)$$

şeklinde verilmiştir. Burada  $g(\beta)$ , türbidite katsayısına bağlı, spektral olarak integre edilmiş bir fonksiyon olup, literatürde tablo halinde mevcuttur [51]. (2.29) bağıntısındaki  $\omega_0$ , aerosol tarafından saçılan ışınımın, aerosol tarafından toplam azaltma miktarına oranıdır (Aerosolün saçılma albedosu).

#### 2.4.4. Bulutların Işınım ile Etkileşmesi

##### 2.4.4.1. Bulut Tipleri ve Özellikleri

Yeryüzeyine ulaşan toplam ışınımı etkileyen en önemli faktörlerden birisi de bulutlardır. Güneş ışınımının bulutlar tarafından absorpsiyonu, saçılması ve yansıtılması, bulutların kalınlıklarına ve mikrofizik özelliklerine bağlıdır. Bu sebepten farklı seviyedeki bulutlar, güneş ışınımını farklı bir şekilde etkilerler.

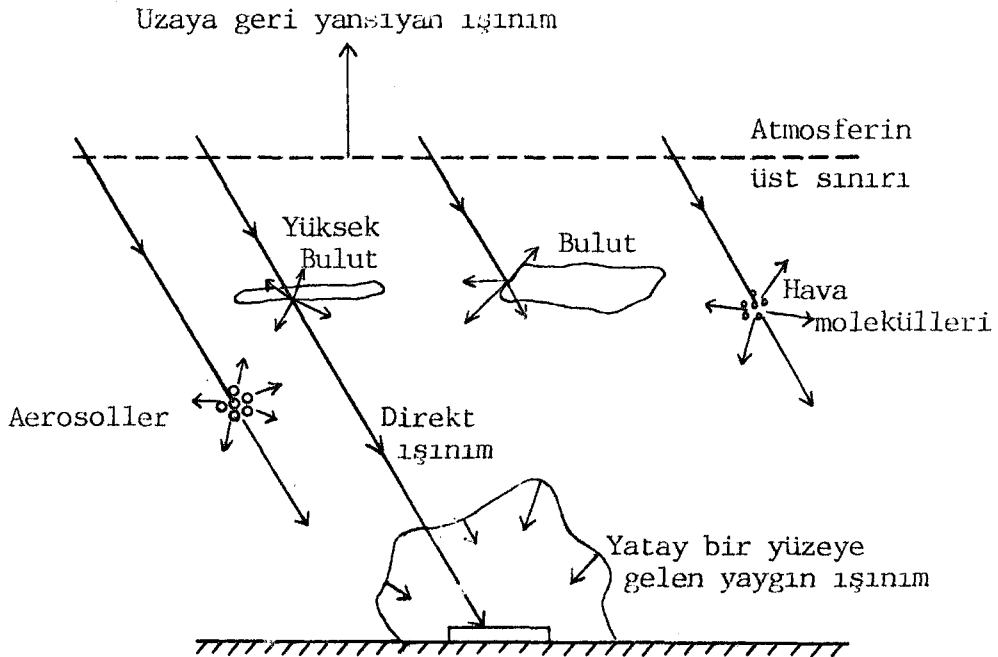
Alçak bulutlar güneş ışınımını en fazla azaltan bulutlardır. Taban yükseklikleri yerden itibaren yaklaşık 600-1500 m. arasındadır. Stratus tipi bulutların taban yüksekliklerinin 100 m. ye kadar düştükleri tesbit edilmiştir. Alçak bulutlar genel olarak, yarıçapları 1-60  $\mu$  m arasında değişen sıvı damlacıklar içerirler. Taban ve tepe seviyeleri arasındaki yükseklik (bulut kalınlığı), 200-800 m. arasında olup, bazı Cumulus bulutlarında bu yükseklik birkaç kilometreye ulaşabilmektedir.

Orta seviye bulutların tabanları yerden itibaren 2000-5000 m. yükseklikte bulunur. Bu tip bulutlar yarıçapları 5-24  $\mu$  m. arasında değişen sıvı damlacıklar içerirler. Altocumuluslerin kalınlıklarının 200-700 m. arasında altostratuslerin kalınlıklarının ise 1000-2000 m. arasında oldukları tesbit edilmiştir.

Yüksek seviye bulutlarının taban yükseklikleri 6000-10000 m. arasında, kalınlıkları ise 100-400 m. arasında değişmektedir. Ancak Cirrus tipi bulutların kalınlıkları 1-2 km.ye kadar ulaşabilmektedir. Yüksek bulutlar çeşitli şekil ve boyutlarda buz kristalleri ve buz plakaları içerirler. Bu tip bulutlar alçak ve orta bulut tiplerine nazaran daha saydamdırlar ve güneş ışınımını daha çok geçirirler.

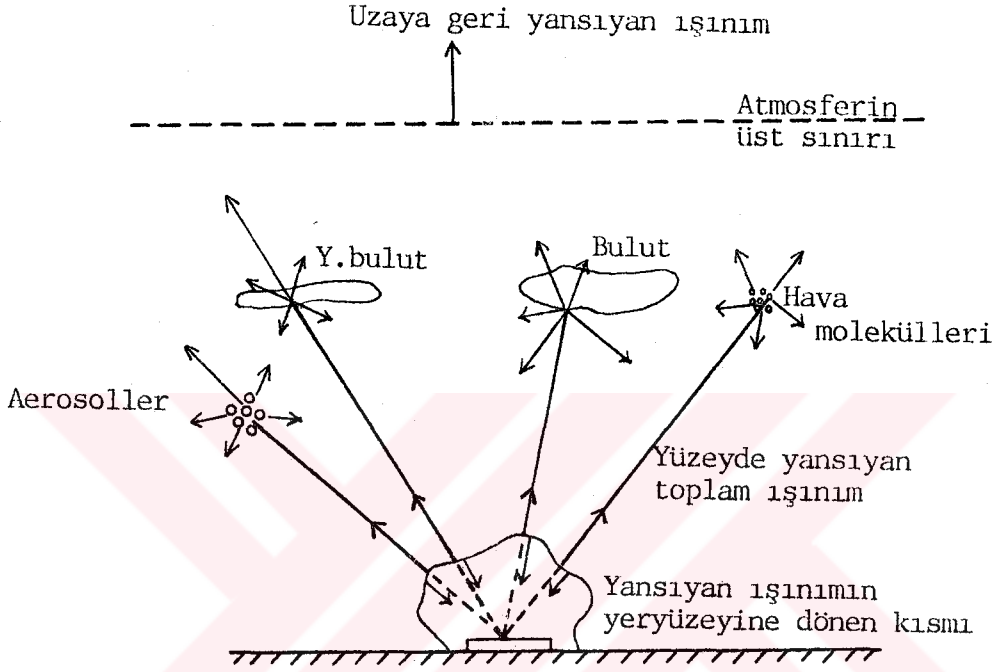
#### 2.4.4.2. Bulutlu Atmosferde Direkt ve Yaygın Işınım

Bulutlu bir atmosferde direkt ışınım kuru hava molekülleri ve aerosoller tarafından olduğu gibi bulutlar tarafından da kuvvetli bir şekilde saçılır (Şekil 2.9 a). Yeryüzeyinden yansıyan toplam ışınım, bulutlar ve atmosferin bileşenleri tarafından tekrar saçılarak, bir kısmı uzaya yönlendirirken, bir kısmı da yeryüzeyine geri döner (Şekil 2.9 b). Özellikle bulut kalınlığının ve kapalılığının fazla olduğu atmosfer durumunda, yaygın ışınım, yeryüzeyi ve bulut tabanı arasındaki yansımalarından önemli bir şekilde etkilenir.



Şekil - 2.9 a  
Bulutlu bir atmosferde direkt ışının saçılması

Bulutlu bir atmosferde, absorpsiyon, saçılma ve yansıtma etkileri, bulut tipinin yanısıra, bulutların güneşe göre konumlarına, kapalılığına (miktarına), kalınlığına, tabaka sayılarına, bulut tabanının ve yeryüzeyinin albedosuna bağlıdır.



Şekil - 2.9 b

Yerden yansıyan toplam ışınımın bulutlar ve atmosfer bileşenleri tarafından saçılması.

Güneşi örtmeyen parçalı bulutlu durumda, belirli bir güneş yüksekliğinde, yeryüzüne gelen toplam ışınım açık günde gelen değerden daha fazladır. Bu durumda direkt ışınım aynı kalacak, yaygın ışınım bulut varlığından dolayı artacaktır. Tamamen kapalı durumda yeryüzeyine gelen toplam ışınım, açık günde gelen toplam ışınımdan daima daha azdır. Genel olarak bulut kapalılığı ile gelen ışınım arasında ters bir ilişki vardır.

Alçak bulutların varlığı halinde alçak bulutlar, direkt ışınımı geçirmediği için, yüzeyde ölçülen toplam ışınım miktarı da direkt bileşen olmadığından, diğer bulut tiplerine nazaran daha azdır. Yüksek bulutlar ise, direkt ışınımın hemen hemen yarısını geçirirler. Tablo

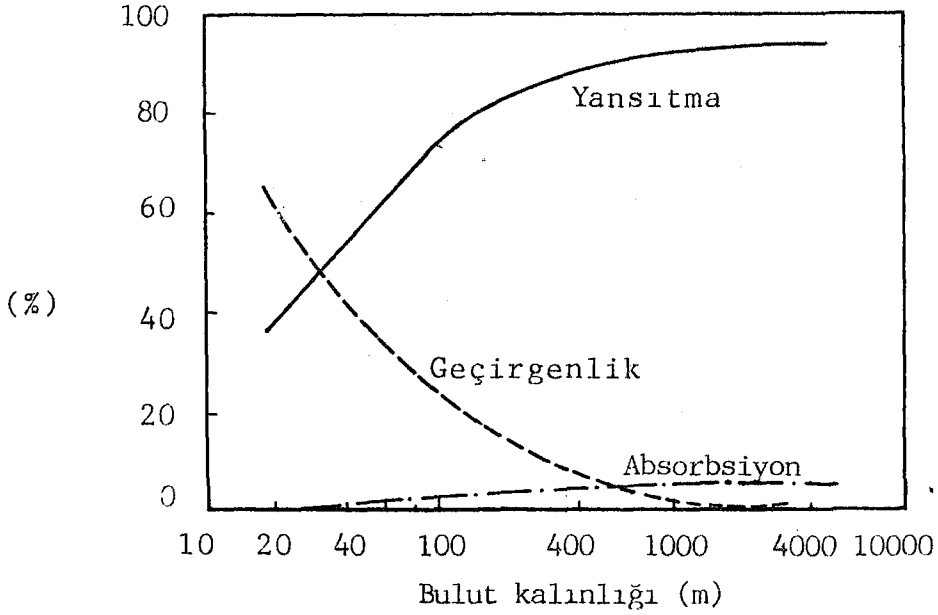
2.1 de İstanbul'a ait 7 ve 8 kapalılıktaki yüksek, orta ve alçak bulut varlığında ölçülen toplam ışınım, çeşitli güneş yüksekliği değerlerine göre verilmiştir. Tabloya göre yüksek bulutlar, özellikle güneş yüksekliğinin büyük değerlerinde diğer bulutlara nazaran daha fazla geçirgenlerdir. Alçak bulutlardan stratus bulutları, güneş ışınımını daha az geçirirler.

Tablo - 2.1  
İstanbul için bulutsuz ve bulutlu bir atmosferde yatay yüzeye gelen toplam ışınım ( $MJ/m^2 sa$ )

Bulut Tipi	Güneş Yüksekliği (derece)					
	10	20	30	40	50	60
Bulutsuz	0.324	1.143	1.731	2.196	2.488	3.044
Ci	0.233	0.968	1.031	1.380	1.868	2.308
Ac	-	0.514	0.736	-	0.981	-
St	0.197	0.289	0.546	0.627	0.643	1.489

#### 2.4.4.3. Bulut Geçirgenlikleri

Bulutların güneş ışınımını azaltmaları, geçirgenlikleri ile ifade edilir. Bulut geçirgenliği, buluttan yeryüzüne ulaşan toplam ışınımın, açık bir günde gelen toplam ışınımına oranı olarak tanımlanır. Bulutların geçirgenliklerinin saptanması için bulut tepesi ve tabanı arasında uçakla yapılan aktinometrik ölçümlerden yararlanılmaktadır. Cheltzov'a göre, 200 m kalınlığında bir altocumulus için geçirgenlik 0.43, stratocumulus için 0.59, 500 m kalınlığındaki bir stratocumulus için ise 0.24 olarak ölçülmüştür. Bulutların yansıtma, absorpsiyon ve geçirgenlikleri ile ilgili Hewson tarafından yapılan teorik hesaplama sonuçları Şekil 2.10 da bulut kalınlığına bağlı olarak gösterilmiştir [7]. Bulut tabakasının kalınlığı arttıkça geçirgenlik süratle azalmaktadır. Bulut kalınlığı 500-600 m.yi geçtiği zaman absorpsiyon sabit kalmaktadır. Ayrıca bulut kalınlığı arttıkça yansıma



Şekil - 2.10

Güneş ışınımının bulut kalınlığına bağlı olarak, yansıma, geçirgenlik ve absorpsiyon oranları

önemli ölçüde artmaktadır. Kasten ve Czeplak tarafından yapılan bir çalışmada ortalama geçirgenlik alçak bulutlar için 0.17, orta bulutlar için 0.26, yüksek bulutlar için ise 0.61 olarak verilmiştir [60].

Bulutların güneş ışınımını yansıtma oranları, bulut albedosu olarak tanımlanır. Bulut albedosu, bulutun kalınlığı ile lineer olmayan bir şekilde artar. Çeşitli bulut tipleri için bulut tabanı albedo değerleri (Tablo 2.2) de sunulmuştur [7,47].

Tablo - 2.2

Çeşitli bulut tiplerine ait bulut tabanı albedo değerleri

Bulut tipi	Albedo
Stratus	0.60
Nimbostratus	0.66
Cumulus	0.51
Cumulonimbus	0.51
Altostratus	0.50
Cirrus	0.20

## BÖLÜM 3

### YERYÜZEYİNE GELEN TOPLAM IŞINIM ÖNGÖRÜ MODELLERİ

#### 3.1. Giriş

Açık ve bulutlu atmosfer şartlarında çeşitli periyotlarda yeryüzüne gelen direkt, yaygın ve toplam ışınımı tahmin etmek için çeşitli modeller ileri sürülmüştür. Bu modeller teorik, amprik ve yarı teorik olmak üzere üç kısımda incelenmektedir. Yarı teorik modeller, parametrize edilmiş modeller (veya parametrik modeller) olarak da adlandırılmaktadır.

Teorik modeller, radyatif transfer eşitliğinin çözümünü içeren oldukça karmaşık modellerdir. Radyatif transfer eşitliğinin analitik çözümü, basit faz fonksiyonunun uygulandığı standart atmosfer için elde edilmektedir. Aerosol ve bulutun gözönüne alındığı atmosfer modellerinde radyatif transfer eşitliğinin çözümüne çeşitli varsayımlar altında, sayısal metotlar ile yaklaşılmıştır [65-69]. Bu durumda, gerçek atmosferdeki gazların, sıcaklığın ve subuharının, aerosol ve toz konsantrasyonlarının düşey dağılımlarının bilinmesi gerekir. Ayrıca, aerosollerin ve tozların, kırılma indisleri ile yüzey yansıtma oranı gibi fiziksel özellikleri de belirlenmelidir. Bulutlu atmosfer durumunda ise, bulut kalınlığı, sıvı su miktarı ve bulut damla spektrumu ile ilgili bilgiler gerekmektedir. Söz konusu verilerin temini ve hesaplama güçlüğünden dolayı, teorik modeller pratikte yeryüzeyindeki ışınım öngörüsü için, tercih edilmemektedir [14,54,62].



Amprik modellerde, toplam ışınım, bir veya birkaç meteorolojik değişkene bağlı ve yerel olarak ifade edilmektedir. Ancak, uzun süreli ortalama değerleri tahmin etmek için amprik bağıntılardan yararlanılmaktadır. Açık ve bulutlu atmosfer şartlarındaki direkt, yaygın ve toplam ışınım için çok sayıda amprik ifade sunulmuştur. Açık atmosfer durumundaki toplam ışınım ile ilgili amprik modeller, genellikle güneş yüksekliği açısına bağlı olarak verilmiştir [32,35]. Literatürde bulutlu atmosfer şartlarındaki amprik toplam ışınım modelleri bulut miktarı, güneş yüksekliği, bulut kalınlığı ve bulutun sıvı su miktarı gibi parametrelere bağlı olarak ileri sürülmüştür [33,34,64].

Parametrik modeller, teorik modellere bazı yaklaşımlar uygulanarak elde edilen, kısa periyotlardaki toplam ışınım tahmini için iyi sonuç veren modellerdir. Söz konusu modellerde herhangi bir yer veya iklime ait amprik bir sabit yoktur ve klimatolojik veya sinoptik istasyonlardaki verilerden yararlanılarak hesaplama yapılabilir. Atmosfer dışından gelen ışınımın atmosferi geçerken, çeşitli bileşenler tarafından azaltılması ayrı ayrı incelemeye, yeryüzüne ulaşan direkt, yaygın ve toplam ışınım değerleri saatlik veya günlük olarak belirlenebilir.

### 3.2. Açık Bir Atmosferde Yeryüzüne Gelen Toplam Işınım Öngörüsü İçin Parametrik Modeller

#### Direkt Işınım Bileşeni :

Absorblayıcı ve saçıcı bir atmosferde güneş ışınımını iletimi, radyatif transfer eşitliği ile aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\mu \frac{dI_{\lambda}}{d\tau_{\lambda}} = -I_{\lambda}(\tau_{\lambda}) - \frac{\omega_0 \lambda}{4\pi} \int_0^1 \int_{-1}^{+1} P_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \mu', \theta', \mu, \theta) I_{\lambda}(\tau_{\lambda}, \mu', \theta') d\mu' d\theta' \quad (3.1)$$

Burada,  $I_{\lambda}$ , spektral ışınım şiddeti;  $Z$ , zenit açısı olmak

üzere  $\mu = \cos Z$ ;  $\theta$ , azimut açısı;  $P_\lambda(\tau_\lambda, \mu', \theta', \mu, \theta)$ ,  $(\mu', \theta')$  yönünden gelen ışınımın,  $(\mu, \theta)$  yönündeki saçılma şiddetini belirleyen faz fonksiyonudur.  $\tau_\lambda$ , toplam optik derinlik olup,

$$\tau_\lambda = \int_0^z (\hat{S}_\lambda + A_\lambda) dz \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $S_\lambda$  ve  $A_\lambda$ , dalgaboyuna bağlı olarak sırasıyla kütlelesel saçılma ve kütlelesel absorpsiyon katsayılarıdır.  $\omega_{o\lambda}$  aerosolün saçılma katsayısının toplam azaltma katsayısına oranı olarak

$$\omega_{o\lambda} = S_\lambda / (S_\lambda + A_\lambda) \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir [11,14,17].

Açık bir atmosferde direkt ışınım için saçılma olayı ihmal edilebildiğinden, (3.1) ifadesinde sağ taraftaki faz fonksiyonu sıfır kabul edilebilir [11,14,17]. Bu durumda tüm dalga boylarında yeryüzeyine gelen direkt ışınım

$$I = \int_0^\infty I_{o\lambda} \exp(-\tau_\lambda / \cos z) d\lambda \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $I_{o\lambda}$ , atmosfer dışında ( $\tau_\lambda=0$ ) dalgaboyundaki direkt ışınım,  $\tau_\lambda$ , dalgaboyuna bağlı optik derinlik,  $z$ , ışının zenit açısıdır.  $(\tau_\lambda / \cos z)$ , direkt ışınım doğrultusundaki toplam optik derinliktir.

Literatürdeki pek çok çalışmada direkt ışınımı azaltıcı faktörler olarak ozon, atmosferik gazlar ve su buharı tarafından absorpsiyon, hava moleküllerinin Rayleigh saçılma etkisi ve aerosoller tarafından azaltma etkileri gözönüne alınmıştır [11,16,48-54]. (3.4) eşitliğindeki toplam optik derinlik ( $\tau_\lambda$ ) sözkonusu faktörlerin absorpsiyon ve saçılma etkilerinden meydana gelen optik derinliklerin toplamıdır ve (3.4) ifadesi,

$$I = \int_0^\infty I_{o\lambda} \exp[-(\tau_{R\lambda} + \tau_{oz\lambda} + \tau_{w\lambda} + \tau_{a\lambda}) m_r] d\lambda \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, R, oz, w, a alt indisli optik derinlik terimleri sırasıyla, Rayleigh saçılması, ozon, su buharı absorpsiyonu, aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılma etkileriyle ilgilidir. Bağlı optik kütle

$m_r$ , yaklaşık olarak  $1/\cos Z'$ 'ye eşittir [8,11]. Optik derinlikler yerden sonsuza kadar düşey olarak ifade edilirler.

Optik derinlikler dalgaboyuna bağlı olduklarından (3.4) ve (3.5) ifadelerinin integrali alınamaz. Bu sebepten herbir üstel ifade geçirgenlik cinsinden yazılarak yeryüzeyine gelen direkt ışınım,

$$I = \int_0^{\infty} I_{0\lambda} (T_{R\lambda} \cdot T_{Oz\lambda} \cdot T_{W\lambda} \cdot T_{a\lambda}) m_r d\lambda \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir [11,17]. Burada T ile gösterilen terimler, dalgaboyuna bağlı olarak, Rayleigh saçılması ( $T_{R\lambda}$ ), ozon ve subuharı absorpsiyonu ( $T_{Oz\lambda}$ ,  $T_{W\lambda}$ ), aerosoller tarafından saçılma ve absorpsiyon ( $T_{a\lambda}$ ) ile ilgili geçirgenlik fonksiyonlarıdır.

Yeryüzeyine gelen direkt ışınımı yukarıda sözü edilen parametrik modelleme yöntemi ile tahmin eden çeşitli modeller ileri sürülmüştür. Bunlardan en önemlileri "Davis", "Paltridge ve Platt", "Suckling ve Hay" ve "Hoyt" tarafından ileri sürülen modellerdir. Suckling ve Hay atmosferde güneş ışınımını azaltan faktörler olarak subuharı ve aerosolleri gözönüne alarak saatlik direkt ışınım için,

$$I = I_0 T_{wa} T_{aa} T_R T_{ws} T_{as} \quad (3.7)$$

bağıntısını ileri sürmüştür [50]. Burada  $I_0$ , atmosfer dışına gelen saatlik ışınım, diğer T terimleri, sırasıyla, subuharı absorpsiyonu, Rayleigh saçılması, subuharı ve aerosoller tarafından saçılmayla ilgili tüm dalga boylarında, ortalama geçirgenlik fonksiyonlarıdır.

Paltridge ve Platt, subuharı absorpsiyonunun ozon absorpsiyonundan daha uzun dalgaboylu spektrumda meydana geldiğini gözönüne alarak, direkt ışınım için,

$$I = I_0 (T_{Oz} T_R^{-A_w}) T_a \quad (3.8)$$

bağıntısını vermiştir [11,17]. Burada  $A_w$ , tüm dalgaboylarında ışınımın subuharı tarafından ortalama absorblama oranı;  $T_a$ , aerosoller tarafından toplam azaltmayla ilgili ortalama geçirgenlik fonksiyonudur.

Diğer bir çalışmada, Hoyt, yeryüzeyindeki direkt ışınımı,

$$I = I_o (1 - \sum_{i=1}^5 A_i) (1 - S_a) (1 - S_d) \quad (3.9)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada,  $A_i$  terimi, direkt ışınımın subuharı karbondioksit, ozon, oksijen ve aerosoller tarafından absorblama oranları;  $S_a$ ,  $S_d$ , sırasıyla hava molekülleri ve aerosoller tarafından saçılma oranlarıdır. Hoyt'un modelinde, aerosollerle ilgili absorpsiyon ve saçılma oranları, türbidite katsayısından yararlanılarak hesaplanmaktadır. [51,52].

#### Yaygın (Diffüz) Işınım Bileşeni :

Bulutsuz ve temiz bir atmosferde, yaygın ışınım, yaklaşık olarak, toplam ışınımın % 20 si kadardır. Yeryüzüne gelen yaygın ışınımı belirlemek için çeşitli varsayımlarla çeşitli ifadeler ileri sürülmüştür. Suckling ve Hay yeryüzeyine gelen yaygın ışınımı iki bileşene ayırarak incelemiştir. Birinci yaygın ışınım bileşeni ( $D_1$ ), direkt ışınımın, atmosferdeki kuru hava ve subuharı molekülleri ile aerosoller tarafından saçılmasından meydana gelmiştir. İkinci yaygın ışınım bileşeni ( $D_2$ ) ise yerden yansıyan toplam ışınımın aynı molekül ve aerosoller tarafından saçılarak, yeryüzeyine yönlenen kısmıdır. Söz konusu çalışmada, atmosferik saçılma izotropik varsayımla,  $D_1$  ve  $D_2$  yaygın ışınım bileşenleri,

$$D_1 = 0.5 I_o T_{wa} T_{aa} (1 - T_{ws} T_R T_{as}) \quad (3.10a)$$

$$D_2 = \alpha(I + D_1) 0.5 T'_{wa} T'_{aa} (1 - T'_{ws} T'_R T'_{as}) \quad (3.10b)$$

şeklinde ifade edilmiştir [50]. Burada T geçirgenlik te, rimleri (3.7), eşitliğindekilerle aynıdır. I, yeryüzeyine gelen direkt ışınım,  $\alpha$ , yüzeyin albedosudur. Üstlü geçirgenlik terimleri, optik hava kütlelerinin,  $m = 1.66$  değeri ile hesaplanmıştır. Bu değer, direkt ışınım saçılmasından sonraki minimum optik hava kütlesi değeridir. Her iki bağıntıda, absorpsiyonun, saçılmadan önce meydana geldiği gözönüne alınmıştır.

Hoyt,  $D_1$  ve  $D_2$  yaygın ışınım bileşenlerini,

$$D_1 = I_0 \left(1 - \sum_{i=1}^5 A_i\right) (0.5 S_a + 0.75 S_d) \quad (3.11a)$$

$$D_2 = \alpha \left(1 - \sum_{i=1}^5 A_i\right) (0.5 S'_a + 0.25 S'_d) \quad (3.11b)$$

şeklinde ifade etmiştir [51]. (3.11a) eşitliğinde, 0.5 kuru hava molekülleri için ileri saçılma faktörü, 0.75 aerosoller için ileri saçılma faktörü olarak alınmıştır. (3.11b) eşitliğinde ise geri saçılma sözkonusu olduğundan,  $S'_a$  ve  $S'_d$ , optik hava kütlelerinin  $m = 1.66$  değeri için hesaplanan saçılma oranlarıdır. Burada, hava molekülleri tarafından geri saçılma faktörü aynı kalırken, aerosoller için geri saçılma faktörü 0.25 kabul edilmiştir. Yeryüzüne gelen yaygın ışınım,  $D_1$  ve  $D_2$  bileşenlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır.

Paltridge ve Platt ise, yeryüzeyine gelen yaygın ışınımı üç bileşene ayırarak incelemiştir. Birinci yaygın ışınım bileşeninin, Rayleigh saçılmasından ( $D_R$ ), ikinci bileşeninin, aerosoller tarafından saçılmasından ( $D_A$ ), son bileşeninin ise yeryüzeyinden yansıyan toplam ışınımın aerosoller tarafından tekrar saçılmasından ( $D'_A$ ) meydana geldiği varsayılmış ve aşağıdaki bağıntılar ileri sürülmüştür [11,17].

$$D_R = I_0 T_{oz} [0.5 (1 - T_R)] T_a \quad (3.12a)$$

$$D_A = I_0 (T_{Oz} T_R - A_w) [F_c \omega_0 (1 - T_a)] \quad (3.12b)$$

$$D'_A = (I + D_R + D_A) \alpha \cdot \alpha_a / (1 - \alpha \cdot \alpha_a) \quad (3.12c)$$

Bu bağıntılarda,  $T_{Oz}$ ,  $T_R$ ,  $T_a$  daha önce verildiği gibidir. (3.12a) da moleküler saçılmanın sözkonusu olması nedeniyle, ileriye doğru saçılma faktörü 0.5 olarak alınmıştır. (3.12b) de  $A_w$ , subuharı tarafından absorpsiyon oranı;  $F_c$  aerosoller tarafından ileriye doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranı olup, bu çalışmada  $F_c = 0.78$  alınmıştır.  $\omega_0$  ise aerosol tarafından saçılma albedosu olup  $\omega_0 = 0.95$  kabul edilmiştir. Son bağıntıdaki  $\alpha$  ve  $\alpha_a$  sırasıyla yüzey ve atmosfer albedolarıdır. Bu modelde ise yeryüzüne ulaşan yaygın ışınım miktarı,

$$D = D_R + D_A + D'_A \quad (3.13)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Toplam Işınım :

Yeryüzeyinde yatay bir yüzeye gelen toplam ışınım (G),

$$G = I + D \quad (3.14)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Açık atmosferde saatlik ve günlük toplam ışınım öngörüsü için, esasını, yukarıda sözü edilen direkt ve yaygın ışınım bağıntılarının teşkil ettiği parametrik modeller çeşitli bölgeler için uygulanmıştır.

Davis ve arkadaşları, atmosferik saçılmayı izotropik ve yerden yansıyan toplam ışınım saçılmasını ( $D_2$ ) ihmal ederek, Grimbsy (Kanada) için günlük toplam ışınımı,

$$G = I_0 T_{wa} T_{aa} (T_{ws} T_R T_{as} + 1) / 2 \quad (3.15)$$

bağıntısı ile hesaplamıştır [47]. Dört gün için yapılan çalışmada ölçülen ve hesaplanan günlük toplam ışınım

değerleri arasındaki ortalama fark yaklaşık % 6 dır.

Suckling ve Hay tarafından ileri sürülen (3.7), (3.10 a ve b) eşitliklerinden yararlanılan model, Goose, Port Hardy ve Edmonton (Kanada) için, sırasıyla 12, 10 ve 5 günlük verilere uygulanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen günlük toplam ışınım değerleri karşılaştırıldığında, tahminin bağıl hatası % 6.6 olarak bulunmuştur [50].

Hoyt tarafından ileri sürülen (3.9) ve (3.11 a ve b) bağıntıları Boulder (Colorado) için uygulanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen günlük toplam ışınım arasındaki farkın yıllık ortalaması % 5 civarındadır [51].

### 3.3. Bulutlu Atmosferde Toplam Işınım Modelleri

Bulutlar, güneş ışınımının iletimini önemli bir şekilde etkilediklerinden, bulutlu durumda, yeryüzeyine gelen toplam ışınımın tahmini için çeşitli modeller ileri sürülmüştür. Söz konusu modellerde direkt ve yaygın ışınım ayrı ayrı, parametrize edildiği gibi, açık atmosfer için toplam ışınım modeline, bulut geçirgenliği etkisi de ilave edilmektedir. Bulutlu durumdaki atmosfer geçirgenliği için, bulut kapalılığına, güneş yüksekliğine, güneşlenme süresine veya bulutların fiziksel özelliklerine (bulut kalınlığı, sıvı su miktarı gibi) bağlı ifadeler ileri sürülmüştür [14,34,48-54].

Hay, bulutlu bir atmosfer için ileri sürdüğü parametrik modelde direkt ışınımı,

$$I_b = (1-C) I \quad (3.16)$$

şeklinde ve yaygın ışınımı,

$$D_b = (1-C)D + C T_b G + \alpha_b G_b C \quad (3.17)$$

şeklinde ifade etmiştir [14,17]. (3.14) ve (3.15) eşitliklerinde I, D ve G sırasıyla açık atmosfer durumunda

gelen direkt, yaygın ve toplam ışınım;  $C$ , bulut kapalılığı;  $T_b$ , bulut geçirgenliği;  $\alpha$ ,  $\alpha_b$  sırasıyla yüzey ve bulut tabanı albedosudur. (3.17) eşitliğindeki bulutlu bir atmosfer için yaygın ışınım ( $D_b$ ), gökyüzünün açık kısmında olan yaygın ışınım, buluttan geçen yaygın ışınım ve yeryüzeyi ve bulut tabanı arasındaki yansımalarından meydana gelen yaygın ışınım bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmiştir. (3.17) eşitliğinden, bulutlu bir atmosferdeki toplam ışınım ise,

$$G_b = G [(1-C) + T_b C] / (1-\alpha.\alpha_b C) \quad (3.18)$$

şeklinde elde edilir.

Yukarıda sözü edilen ışınım modelindeki bulut geçirgenlikleri için Haurwitz,

$$T_b = A \exp (-B m_r) \quad (3.19)$$

ifadesini ileri sürmüştür [14,64]. Burada  $A$  ve  $B$  katsayıları çeşitli bulut tiplerine göre ve tamamen kapalı durum ( $C=10/10=1.0$ ) için belirlenmiştir. ( $m_r$ , bağlı optik kütledir).

Atwater ve Ball ise bulut geçirgenliğini,

$$T_b = A' + B' m_r \quad (3.20)$$

şeklinde gözönüne almışlardır [64].

(3.19) ve (3.20) eşitliklerindeki  $A, B, A', B'$  katsayıları, çeşitli bulut tipleri için Tablo 3.1 de verilmiştir.

Ayrıca, alçak ve orta bulutlar için sözkonusu olan ve bulutun optik kalınlığına, güneş yüksekliğine bağlı olan bulut geçirgenliği için,

$$T_b(\alpha) = [0.97 (2+3 \sin\alpha)] / (4+0.6\tau_b) \quad (3.21)$$

ifadesi de kullanılmaktadır [52]. Burada  $\alpha$ , güneş



Tablo - 3.1

(3.19) ve (3.20) bağıntılarındaki A,B ve A',B' katsayıları

Bulut tipi	Haurwitz		Atwater	Ball
	A	B	A'	B'
Ns, St	0.252	0.100	0.268	0.101
Sc, Cu	0.368	0.045	0.366	0.105
Cb	0.368	0.045	0.236	0.015
As	0.413	0.004	0.413	0.001
Ac	0.556	0.053	0.546	0.024
Cs	0.923	0.089	0.905	0.064
ci	0.871	0.020	0.872	0.018

yüksekliği açısı;  $\tau_b$ , bulutun optik kalınlığıdır.  $\tau_b$  değerleri çeşitli bulut tipleri için Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo - 3.2

Çeşitli bulutlar için optik kalınlık değerleri

Bulut tipi	Ac	As	Sc	St	Ns
Optik kalınlık	7.5	10.9	14.8	22.3	35.0

Literatürde, bulutlu atmosfer için toplam ışınım tahmini ile ilgili diğer bir yöntem de bulutlu atmosferde ölçülen günlük veya saatlik toplam ışınımın açık bir atmosfer için aynı peryotta hesaplanan ışınım oranı ile çeşitli meteorolojik parametreler arasında regresyon bağıntılarının kurulmasıdır. Söz konusu yöntemle ilgili ilk çalışmalar günlük toplam ışınım değerleri ile Kimball ve Reed tarafından yapılmış ve aşağıdaki bağıntılar verilmiştir [34].

$$G_b/G = 1.0 - 0.71 C \quad (3.22)$$

$$G_b/G = 1.0 - 0.62 C + 0.0019 h \quad (3.23)$$

Bu bağıntılarda C, bulut kapalılığı; h, güneşin öğle yükseklik açısıdır.

Bulutlu atmosfer şartlarında saatlik toplam ışınım tahmini ise Lumb tarafından, güneş sabiti  $1350 \text{ W/m}^2$  alınarak,

$$G_b = 1350 (a \sin \alpha + b \sin^2 \alpha) \quad (3.24)$$

şeklinde ileri sürülmüştür [44]. Burada  $\alpha$ , her bir saatlik zaman aralığı için ortalama güneş yüksekliğidir. a, b, çeşitli bulut kategorileri için belirlenen sabitlerdir.

Kimura ve Stephenson, bulutlu atmosferde ölçülen toplam ışınımın, açık günde gelen değere oranını ( $G_b/G$ )

$$G_b/G = p + qC + rC^2 \quad (3.25)$$

şeklinde sadece bulut kapalılığına bağlı olarak vermiştir [57]. Burada p, q, r sabitleri mevsimsel olarak belirlenmiştir.

Kasten ve Czelpak, sözkonusu oran ile ilgili olarak, Hamburg için,

$$G_b/G = 1 - 0.75 C^{3.4} \quad (3.26)$$

şeklinde bir ifade ileri sürmüştür [60]. Kasten ve Czelpak'ın çeşitli güneş yükseklikleri ve çeşitli bulut tipleri için yaptığı inceleme sonucunda tamamen kapalı bir atmosfer için belirlendiği ortalama bulut geçirgenlikleri Tablo 3.3 de verilmiştir.

Tablo - 3.3

Kasten ve Czelpak tarafından ileri sürülen ortalama bulut geçirgenlikleri

Bulut Tipi	Ci,CC,Cs	Ac,As	Sc,Cu	St	Ns
Geçirgenlik	0.61	0.27	0.25	0.18	0.16

Ayrıca, bulutlu atmosferdeki toplam ışınımın, atmosfer dışına gelen ışınım değerine oranı ile bulutluluk ve güneş yüksekliği arasında da çeşitli regresyon bağıntıları kurulmuştur [76].

Yukarıda sözü edilen bağıntılarda, açık bir atmosfer için tahmin edilen toplam ışınım değeri, ne kadar hassas olursa, sonuç da o kadar doğru olacaktır. Bu çalışmanın 4. bölümünde açık bir atmosfer için saatlik ışınım modeli sunulacaktır. Bölüm 5 de ise, Bölüm 4 deki model sonuçlarından yararlanılarak, bulutlu atmosfer için saatlik toplam ışınım öngörü modeli verilecektir.



## BÖLÜM 4

### AÇIK BİR ATMOSFER İÇİN SAATLİK TOPLAM IŞINIMIN BELİRLENMESİ

#### 4.1. Giriş

Bir bölgede, güneş ışınımından yararlanılan sistemlerin kurulması ve bölgenin klimatolojisinin belirlenmesi için güneş ışınımı potansiyelinin bilinmesi gerekir. Bulutlar, yaygın ve toplam ışınımı etkileyen önemli bir faktör olduğundan, yeryüzeyine gelen güneş ışınımı hesaplamalarında gözönüne alınmalıdır.

Bu çalışmada, birinci aşamada, açık atmosfer durumunda İstanbul için saatlik toplam ışınım öngörüsü modeli kurulmuştur. İkinci aşamada ise açık atmosfer için hesaplanan saatlik toplam ışınım değerlerine, bulut etkisi ilave edilmiştir. Alçak, orta ve yüksek bulut tipleri, için çeşitli bulut kapalılığı ve zenit açıları koşullarında bulut geçirgenlikleri ve saatlik toplam ışınım değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, ölçümlerle ve diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan toplam ışınım ölçümleri, 1984-1986 periyodunda (Kipp-Zonen C5 modeli) bir solarimetre ile İstanbul Teknik Üniversitesi Kampüsünde yapılmıştır. Değerler, Kipp-Zonen C11 integratörü ile saatlik olarak kaydedilmiştir. Solarimetre, WRR (World Radiometric Reference) sistemine göre kalibre edilmiş olup, kalibras-

yon sabiti,  $11,17 \times 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/\text{m}^2)$  dir.

Bulutluluk verileri ise, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nun saatlik gözlemlerinden alınmıştır.

#### 4.2. Açık Atmosfer Durumunda Saatlik Toplam Işınım Öngörüsü Modeli

Bu çalışmada, açık bir atmosfer için saatlik toplam ışınımın hesaplanmasında, Bölüm 3'de anlatılan parametrik modelleme yöntemi izlenmiştir. Saatlik direkt ve yaygın ışınım bileşenleri ayrı ayrı hesaplanmış ve saatlik toplam ışınım değeri, bu iki bileşenin toplamı olarak gözönüne alınmıştır.

Yeryüzüne gelen direkt ışınımın, atmosfer dışına gelen ışınım ve atmosferde güneş ışınımını azaltıcı bileşenlerin geçirgenlikleriyle ifade edilebileceği Bölüm 3'de (3.6) ve (3.7) eşitlikleri ile belirtilmişti. Bu sebeple, çalışmada ileri sürülen açık atmosfer modelinde, güneş ışınımını azaltıcı atmosfer elemanları olarak, ozon, kuru hava ve subuharı molekülleri ile aerosoller gözönüne alınarak yeryüzeyine ulaşan saatlik direkt ışınım,

$$I = I_0 T_{oz} T_R T_{wa} T_{ws} T_a \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada  $I_0$ , atmosfer dışına gelen, saatlik ışınımdır. Diğer terimler ise,  $T_{oz}$ , ozon absorpsiyonu ile ilgili geçirgenlik;  $T_R$ , Rayleigh (moleküller) saçılması;  $T_{wa}$ , subuharı absorpsiyonu ile ilgili geçirgenlik;  $T_{ws}$ , subuharı saçılması ile ilgili geçirgenlik;  $T_a$ , aerosoller tarafından olan absorpsiyon ve saçılma ile ilgili geçirgenliktir.

Yeryüzüne gelen yaygın ışınım, daha önce belirtildiği gibi iki bileşenin toplamı olarak,

$$D = D_1 + D_2 \quad (4.2)$$

şeklinde incelenmektedir. Burada  $D_1$  ve  $D_2$  sırasıyla direkt ışınının ve yeryüzeyinden yansıyan toplam ışınının atmosfer elemanları tarafından saçılmasından meydana gelen yaygın ışınım bileşenleridir. Bilindiği gibi,  $D_1$  bileşeni için ileriye doğru saçılma,  $D_2$  bileşeni için ise, geriye doğru saçılma, yeryüzündeki yaygın ışınımı belirlemektedir (Şekil 2.9 a ve b).

Atmosferde direkt ışınının saçılması, Rayleigh saçılması ve aerosoller tarafından saçılma olmak üzere iki şekilde incelenmektedir. Bölüm 2 de sözedildiği gibi kuru hava molekülleri tarafından ışınının saçılması ileri ve geri yönlerde eşit şiddette olmaktadır. Işınının, boyutları daha büyük olan aerosoller tarafından saçılmasında ise ileriye doğru saçılma şiddeti daha fazla olmaktadır. Aerosoller tarafından, aerosol yüzeyinin ışınımı yansıtma etkisi de katılarak, ileriye doğru saçılma faktörü

$$S_f = \omega_o \cdot f$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Burada  $\omega_o$ , aerosoller tarafından saçılan enerjinin toplam ışınım azalmasına oranı;  $f$ , ileriye doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranıdır. Robinson'un deneysel çalışmalarının sonucu olarak  $f$  değerlerinin zenit açısı ve bağıl hava kütlesi ile değişimi Tablo 4.1 de gösterilmiştir. Tablodaki değerlerden yararlanarak ortalama  $f$  değeri 0.80 olarak alınabilir [16,17].

Tablo 4.1. İleriye doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranınının ( $f$ ), zenit açısı ve bağıl optik hava kütlesine göre dağılımı

Zenit Açısı ( $z$ )	Optik Hava Kütlesi ( $m_p$ )	$f$
0	1.0	0.92
25.8	1.11	0.91
36.9	1.25	0.89
45.6	1.43	0.86
53.1	1.66	0.83
60.1	2.00	0.78
66.4	2.50	0.71
72.5	3.33	0.67
78.5	5.02	0.60
90.0	$\infty$	0.60

Yarı kırsal bir bölgenin atmosferindeki aerosoller için ortalama olarak  $\omega_0 = 0.90$  alınabileceği Bird ve Hulstrom tarafından ileri sürülmüştür [16,17]. Bu durumda aerosoller için ileriye doğru saçılma faktörü  $s_f = 0.72$  olarak hesaplanmıştır.

Modelimizde, moleküller tarafından ileri saçılma faktörü 0.50, aerosoller tarafından ortalama ileri saçılma faktörü 0.72 kabul edilerek, her iki saçılmanın birlikte var olduğu bir atmosferde ortalama ileriye doğru saçılma faktörü yaklaşık olarak 0.60, geriye doğru saçılma faktörü ise 0.40 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda (3.10 a.b) eşitliklerinden de yararlanarak, yaygın ışınım bileşenleri,

$$D_1 = 0.60 I_0 T_{oz} T_{wa} T_{aa} (1 - T_{ws} T_R T_{as}) \quad (4.3)$$

$$D_2 = \alpha (I + D_1) [0.40 T'_{wa} T'_{aa} (1 - T'_{ws} T'_R T'_{as})] \quad (4.4)$$

bağıntısından saatlik olarak hesaplanmıştır. (4.3) eşitliğinde direkt ışınımın ozon, subuharı ve aerosoller tarafından absorbe edildikten sonra, subuharı, kuru hava molekülleri ve aerosoller tarafından saçıldığı varsayılmıştır. Burada,  $T_{aa}$  ve  $T_{as}$  terimleri sırasıyla aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılma ile ilgili geçirgenliklerdir. (4.4) eşitliğinde ise  $\alpha$ , yüzeyin albedo değeri olup, ölçüm yapılan yerin yüzey özelliklerine göre  $\alpha = 0.40$  olarak alınmıştır [72]. Sözkonusu eşitlikteki  $\alpha(I + D_1)$  ifadesi yerden yansıyan toplam ışınım miktarını vermektedir. Üstlü geçirgenlik terimleri geri saçılan ışınım miktarı için hesaplanmıştır. Geri saçılan ışınım için minimum optik hava kütlesi değeri  $m = 1.66$  ( $Z = 53^\circ$ ) olarak verilmektedir [11,14,16,17].

(4.1), (4.3) ve (4.4) bağıntılarındaki, atmosfer dışına gelen saatlik ışınım ( $I_0$ ) ve atmosfer elemanlarının geçirgenlik oranlarının hesaplanması aşağıda ayrı ayrı sunulmaktadır.

#### 4.2.1. Atmosfer Dışına Gelen Saatlik Işınım

Atmosfer dışına gelen saatlik ışınım Bölüm 2 de verilen

$$I_o = I_{sc} (\bar{R}/R)^2 \cos Z$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada, güneş sabiti,  $I_{sc} = 4.871 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$  olarak alınmıştır [3-5].  $(\bar{R}/R)^2$  değerleri (2.6) eşitliğinden elde edilmiş ve yıl boyunca günlük değişim eğrisi Şekil A-1 de verilmiştir. Z, güneşin zenit açısı olup  $\cos Z$ ,

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cosh$$

ifadesinden hesaplanmıştır. Burada, daha önce belirtildiği gibi  $\varphi$ , enlem;  $\delta$ , deklinasyon; h, saat açılarıdır. Çalışmada İstanbul için  $\varphi = 41.1^\circ$  alınmıştır. Deklinasyon açısı ( $\delta$ ), güne bağlı olarak (2.7) eşitliğinden elde edilmiş ve yıl boyunca değişim eğrisi Şekil A.2 de sunulmuştur. Saat açısı (h), gerçek güneş zamanının (TST), açı (derece) cinsinden ifadesi olup,

$$h = 15 |12 - \text{TST}|$$

$$\text{TST} = \text{ST} + (\text{ET}/60) - [(\lambda_{st} - \lambda_y)/15]$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Yukarıdaki eşitlikte, ST, saat cinsinden memleket saati, ET, dakika olarak zaman eşitliğidir. Zaman eşitliği değerleri, (2.8) bağıntısından elde edilmiş olup, yıllık değişimi Şekil A.3 de verilmiştir. İstanbul için yerel boylam  $\lambda_y = 29.07^\circ\text{E}$ , standart boylam, yaz saati uygulamasında  $\lambda_{st} = 45^\circ\text{E}$  olarak alınmıştır. (Kış saati uygulamasında  $\lambda_{st} = 30^\circ\text{E}$  dir).

Saatlik ışınım değerleri, memleket saatine (ST) göre hesaplanmıştır. Memleket saatine karşı gelen, zenit açısını bulmak için, her bir saatlik zaman periyodunun ortasındaki saat değeri, (2.3) ve (2.4) eşitlikleriyle önce



gerçek güneş zamanına (TST), daha sonra da saat açısına (h) dönüştürülmüştür [17].

#### 4.2.2. Direkt Işınım İlgili Geçirgenlik Etkileri

##### 4.2.2.1. Ozon Absorbsiyonu Etkisi

$A_{oz}$ , güneş ışınımının ozon tarafından absorpsiyon oranı olmak üzere, ozon absorpsiyonundan meydana gelen geçirgenlik oranı,

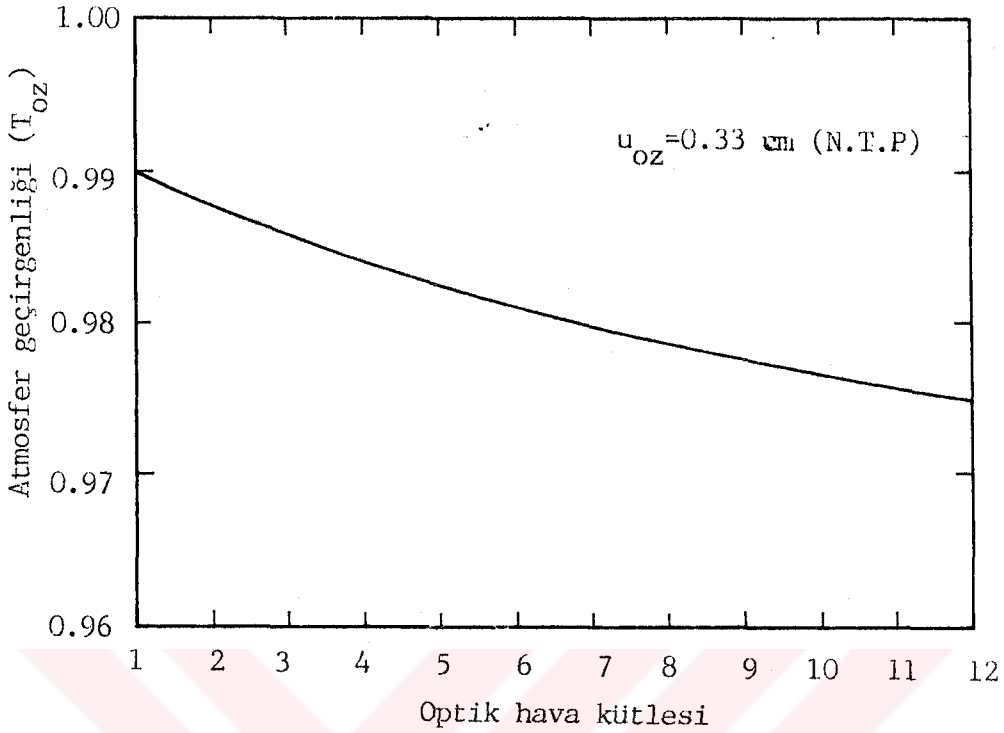
$$T_{oz} = 1 - A_{oz}$$

şeklinde yazılabilir. Ozon tabakası tarafından, ultraviyole ve görünür ışınım bölgesindeki absorpsiyon oranı, Bölüm 2 de verilen

$$A_{oz} = \frac{1.082 x_{oz}}{(1 + 138.6 x_{oz})^{0.805}} + \frac{0.0658 x_{oz}}{1 + (103.6 x_{oz})^3} + \frac{0.02118}{(1 + 0.042 x_{oz} + 0.000323 x_{oz}^2)}$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Burada,  $x_{oz} = U_{oz} \cdot m$  dir. Yıllık ortalama ozon tabakası kalınlığı,  $40^\circ N$  enlemi için standart şartlarda verilen,  $u_{oz} = 0.33$  cm olarak alınmıştır [16, 77].

Ozondan dolayı atmosfer geçirgenliğinin, optik hava kütlesi ile değişimi Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Optik hava kütlesinin maksimum olduğu  $m = 12$  değerinde bile sadece ozon tabakası etkisi ile güneş ışınımının atmosfer tarafından geçirme oranı % 97.5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.1

Standart şartlarda ozon absorpsiyonundan dolayı atmosfer geçirgenliği

#### 4.2.2.2. Rayleigh (Moleküler) Saçılma Etkisi

Işınımın kuru hava molekülleri tarafından saçılmasından meydana gelen atmosfer geçirgenliği için,

$$T_R = 0.972 - 0.08262 m + 0.00933 m^2 - 0.00095 m^3 + 0.0000437 m^4$$

eşitliği kullanılmıştır [17].

Bu eşitlik yardımıyla çeşitli optik hava kütleleri için hesaplanan geçirgenlik değerleri Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Sadece moleküler saçılma gözönüne alındığında, güneşin zenitte olduğu konumda ( $m = 1$ ), geçirgenlik % 90 iken  $m > 8$  olduğu durumlarda geçirgenlik % 60 dan daha az olmaktadır.

#### 4.2.2.3. Subuharı Absorbsiyonu ve Saçılma Etkisi

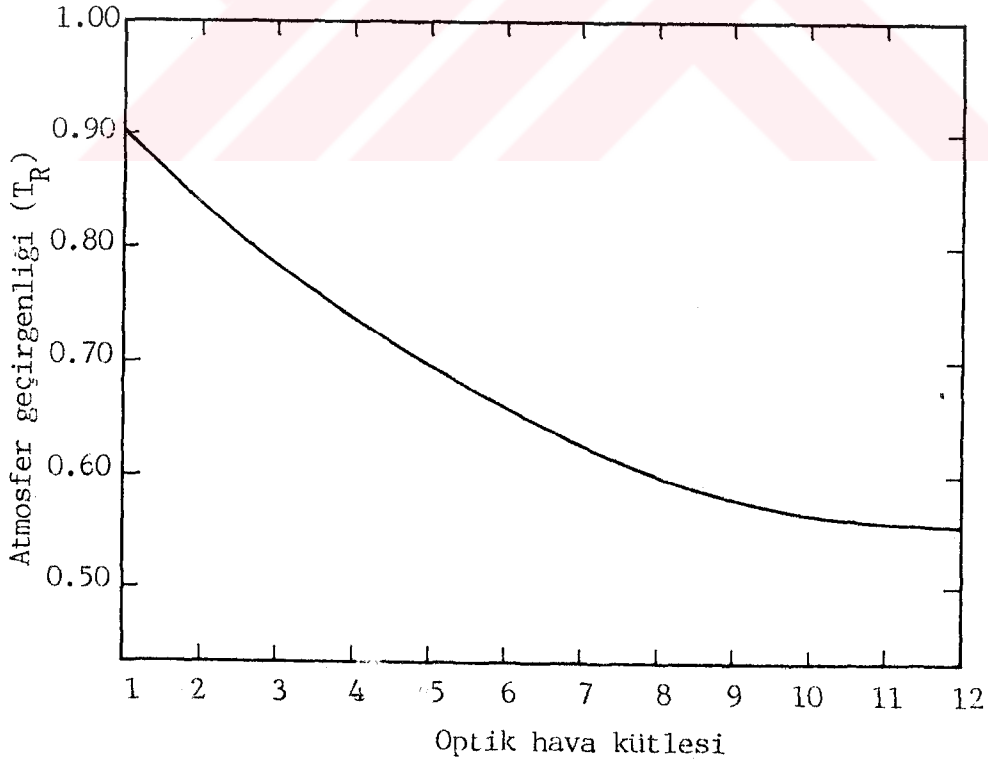
Güneş ışınımının atmosferdeki subuharı tarafından absorpsiyonundan meydana gelen atmosfer geçirgenliği ( $T_{wa}$ )

$$T_{wa} = 1 - 0.077 (u_w.m)^{0.3}$$

bağıntısı ile, subuharı molekülleri tarafından saçılmasından meydana gelen atmosfer geçirgenliği ( $T_{ws}$ ) de

$$T_{ws} = 1 - 0.0225 (u_w.m)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır [14,47]. Her iki bağıntı da atmosferdeki yağışa geçebilir subuharı ve optik hava kütlelerine bağlıdır. yapılan çalışmalarla atmosferdeki yağışa geçebilir subuharı miktarını belirlemek için genellikle yerdeki subuharı basıncına bağlı amprik ifadelerden yararlanılmaktadır [14,26]. Ancak bu ifadeler % 30'a varan hataya yol açtığından, bu çalışmada İstanbul için günlük



Şekil 4.2  
Rayleigh (Moleküler) Saçılmasından Meydana Gelen Atmosfer Geçirgenliğinin, Optik Hava Kütleleri İle Değişimi

toplam yağışa geçebilir subuharı miktarı, radyosonde verilerinden daha sağlıklı bir şekilde hesaplanmıştır [17,78].

Atmosfer yerden itibaren standart basınç seviyelerine (1000, 850, 700, 500, 400 hpa) göre beş tabakaya ayrılarak, her bir tabaka için, yağışa geçebilir subuharı miktarı,

$$u_{P_1, P_2} = \frac{\bar{r}}{g} (P_2 - P_1) \quad (4.5)$$

bağıntısından elde edilmiştir [14,79]. Burada g, yerçekimi ivmesi,  $\bar{r}$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  basınç seviyeleri arasında kalan tabakanın ortalama karışma oranıdır. Standart basınç seviyeleri arasındaki tabakanın ortalama karışma oranı  $\bar{r}$  (gr/kg) doymuş buhar basıncı  $e_s$  (hpa) ve bağıl neme (%) bağılı olarak

$$\bar{r}_{P_1, P_2} = 621.9 [0.5(e_{s_{P_1}} + e_{s_{P_2}})0.5(U_{P_1} + U_{P_2})] / 0.5 (P_1 + P_2) \quad (4.6)$$

ifadesinden hesaplanmıştır.

İstanbul için atmosferdeki yağışa geçebilir subuharı miktarını belirlemek amacıyla, Göztepe Meteoroloji İstasyonunun 10 yıllık (1975-1984) radyosonde verilerinden yararlanılmıştır. Her ayın ortalama sıcaklık (T) ve bağıl nem (U) değerleri yardımıyla önce (4.5) ve (4.6) eşitliklerinden standart basınç seviyeleri arasındaki yağışa geçebilir subuharı miktarı hesaplanmış, daha sonra beş tabakanın değerleri toplanarak atmosfer sütunundaki aylık ortalama değer bulunmuştur. 1975-1984 yılları için hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı değerleri Tablo A.1 de verilmiştir.

Hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı değerlerine, Paltridge tarafından teklif edilen

$$u_w = u'_w (P/P_0)^{0.75} (T/T_0)^{0.5}$$

eşitliği ile sıcaklık ve basınç düzeltmeleri uygulanmıştır (Böl.2). Tablo 4.2 de ilk sütunda, hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı değerleri, ikinci ve üçüncü sütunlarda düzeltmede gözönüne alınan aylık ortalama yer basınç ve sıcaklık değerleri, son sütunda ise, düzeltilmiş aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2  
Hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı, yer basınç ve sıcaklık değerleri ile düzeltilmiş yağışa geçebilir subuharı miktarı değerleri

Aylar	$u'_w$ (cm)	P(kPa)	T( $^{\circ}$ K)	$u_w$ (cm)
Ocak	1.222	101.3	280.1	1.219
Şubat	1.198	101.5	278.7	1.199
Mart	1.319	100.9	279.0	1.314
Nisan	1.542	100.9	284.4	1.521
Mayıs	2.045	100.8	289.0	2.000
Haziran	2.393	101.0	293.7	2.325
Temmuz	2.854	101.0	292.6	2.778
Ağustos	2.826	101.0	292.6	2.753
Eylül	2.496	100.9	291.8	2.431
Ekim	2.207	101.6	288.4	2.174
Kasım	1.681	101.4	284.8	1.664
Aralık	1.394	102.0	279.3	1.399

Subuharı absorpsiyonu ( $T_{wa}$ ) ve subuharı tarafından saçılma ( $T_{ws}$ ) ile ilgili geçirgenlikler, aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı değerleriyle hesaplanmıştır (Tablo 4.2) [16,17,47].

Subuharıyla ilgili geçirgenlik ifadesinin ortalama yağışa geçebilir subuharı değeri yerine aktüel yağışa geçebilir subuharı değerleriyle hesaplanması da düşünüle-

bilir Bu sebeple, açık geçen günler için, on yıllık aylık ortalama ( $u'_w$ ) ve aktüel ( $u'_{aw}$ ) yağışa geçebilir subuharı değerleri alınarak hesaplanan ve ölçülen Saatlik toplam ışınım değerleri Tablo 4.3 de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.3

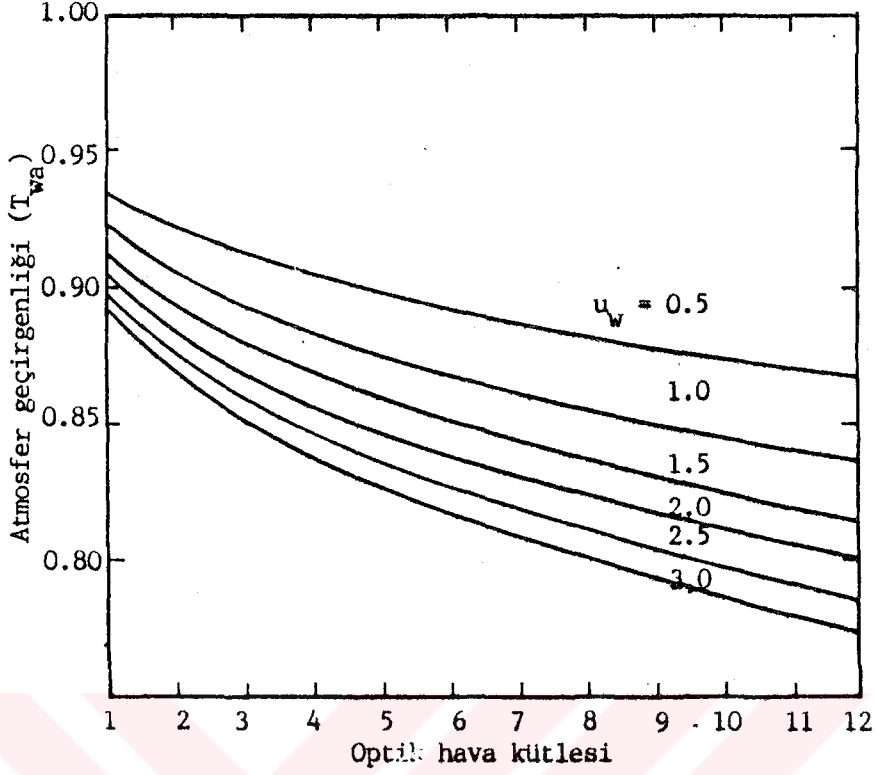
Temmuz ayı için aylık ortalama ( $u'_w = 2.854$  cm) ve aktüel ( $U'_{aw} = 2.101$  cm) yağışa geçebilir subuharı değerleri alınarak hesaplanan saatlik toplam ışınım değerlerinin ölçüm değerleri ile karşılaştırılması (13 Temmuz 1984)

ST (saat)	Toplam ışınım ( $MJ/m^2$ sa)		
	$U'_w = 2.854$ cm	$U'_{aw} = 2.101$	Ölçülen
12-13	2.927	2.958	3.022
13-14	3.054	3.058	3.055
14-15	2.978	3.009	2.943
15-16	2.706	2.734	2.616
16-17	2.261	2.285	2.171

Tablo 4.3 den görüldüğü gibi yağışa geçebilir subuharı değeri için 10 yıllık ortalama değerler alınarak hesaplanan toplam ışınım değeri, aktüel değer ile hesaplanan ve ölçülen saatlik toplam ışınım değerinden çok farklı değildir. Diğer açık geçen günler içinde aynı durum sözkonusudur. Ayrıca yağışa geçebilir subuharı değerinin 10 yıllık ortalama değerini almakla ileriye dönük toplam ışınım öngörüsü yapılabilmesi avantaj sağlar.

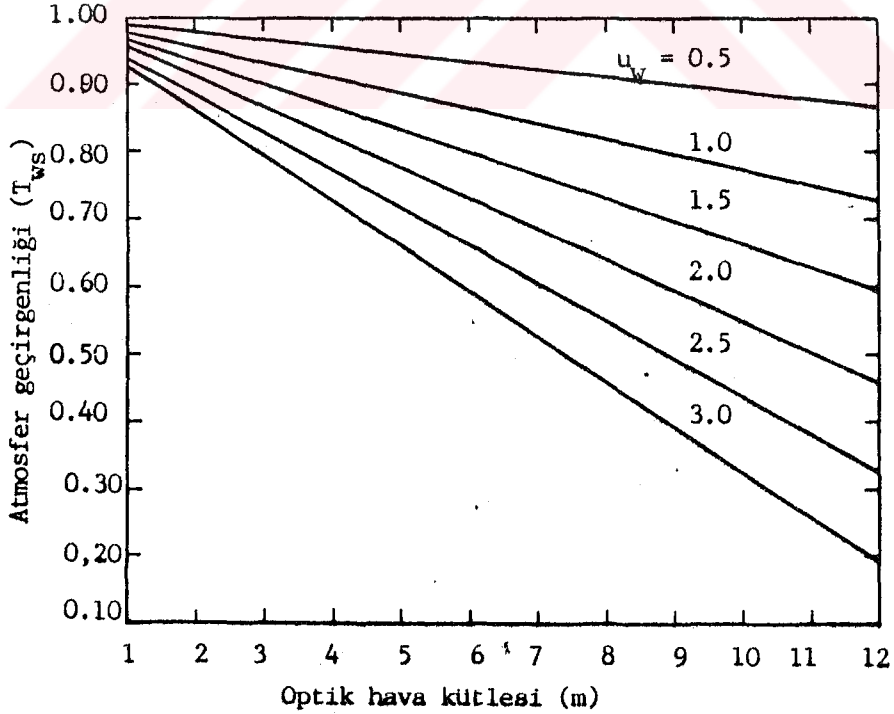
Şekil 4.3 ve 4.4. de sırasıyla ışınım subuharı molekülleri tarafından absorpsiyonu ( $T_{wa}$ ) ve saçılması ( $T_{ws}$ ) ile ilgili atmosfer geçirgenlikleri, çeşitli yağışa geçebilir subuharı miktarları için optik kütleyle bağlı olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.3 ve 4.4. den görüleceği gibi optik hava kütlesi değeri arttıkça direkt ışınımın subuharı tarafından saçılmasından meydana gelen atmosfer geçirgenliği, absorpsiyondan meydana gelen atmosfer geçirgenliğine naza-



Şekil 4.3

Işınımın subuharı tarafından absorpsiyonu ile ilgili atmosfer geçirgenliğinin, çeşitli yağışa geçebilir subuharı değerleri için, optik hava kütlesi ile değişimi.



Şekil 4.4

Işınımın subuharı tarafından saçılmasından meydana gelen atmosfer geçirgenliğinin çeşitli yağışa geçebilir subuharı değerleri için, optik hava kütlesi ile değişimi.

ran daha hızlı bir şekilde azalmaktadır.

#### 4.2.3. Aerosollerin Aborbsiyon ve Saçılma Etkisi

Atmosferdeki aerosoller tarafından ışınımın absorpsiyonu ve saçılması, sözkonusu taneciklerin boyut dağılımlarına, yüzey yansıtma özelliklerine, kırılma indislerine bağlı olarak hesaplanan aerosol optik derinliği ile belirlenir. Ancak aerosollerin sözkonusu özelliklerinin ölçülmesi güç olduğundan, aerosol optik derinliğinin hesaplanması için türbidite ölçümlerinden veya ışınımın aerosoller tarafından azaltılması ile ilgili varsayımlardan yararlanılmaktadır. Bölüm 2 de belirtildiği gibi ışınımın aerosoller tarafından azaltılmasıyla ilgili atmosfer geçirgenliği,

$$T_e = e^{-\tau_a m} \quad (4.7)$$

olarak verilmektedir [11,47,50]. Burada,  $\tau_a$ , aerosollerin optik derinliği,  $m$ , optik hava kütesidir. Ayrıca, türbidite ölçümlerinden belirlenen türbidite katsayısı ( $\beta$ ) ile aerosollerin optik derinliği arasında,

$$\tau_a = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (4.8)$$

şeklinde bir bağıntı mevcuttur. Burada  $\alpha$  azaltma katsayısıdır. Işının dalgaboyu  $\lambda = 1\mu m$  için aerosol optik derinliği yaklaşık olarak türbidite katsayısına eşit kabul edilebilmektedir [11].

Bu çalışmada ise, toplam ışınım ölçümünün yapıldığı bölgeye ait türbidite katsayıları ile ilgili veri olmadığından (4.7) eşitliğindeki ( $e^{-\tau_a}$ ) terimi, aerosol parametresi ( $k$ ) olarak tanımlanmıştır. Aerosoller tarafından saçılma ( $T_{as}$ ) ve absorpsiyon ( $T_{aa}$ ) ile ilgili geçirgenlikler de

$$T_{as} = T_{aa} = k^m$$



şeklinde eşit kabul edilerek, aerosoller tarafından meydana getirilen toplam atmosfer geçirgenliği,

$$T_a = k^{2m} \quad (4.9)$$

olarak gözönüne alınmıştır.

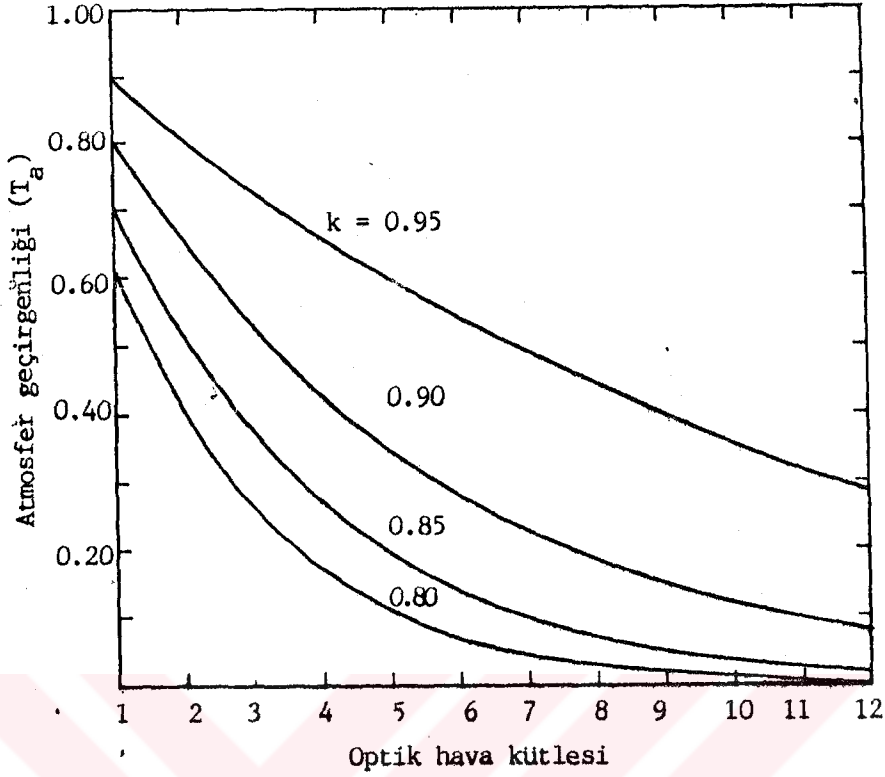
Aerosol parametresini lokal olarak hesaplamak için, öncelikle, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nun bulutluluk verilerinden bulutsuz geçen saatlik periyotlar belirlenmiştir. Söz konusu periyotlarda ölçüm yapılan günler için 0.6 ile 1.00 arasında çeşitli aerosol parametreleri değerleri gözönüne alınarak saatlik toplam ışınım değerleri, (4.1) (4.3) ve (4.4) bağıntılarının toplamı olarak hesaplanmıştır. Aynı periyotlara ait hesaplanan ve ölçülen saatlik toplam ışınım değerleri karşılaştırılarak, aralarındaki farkın minimum olduğu koşul için alınan aerosol parametresi (k) değerleri, aylık ortalama değer olarak kabul edilmiştir (Tablo 4.4). Tablodan görüldüğü gibi, İstanbul için aylık ortalama aerosol parametresi değerleri yıl boyunca 0.82-0.95 arasında değişmektedir. Özellikle yaz aylarında, ortalama buhar basıncı değerlerinden anlaşıldığı gibi, atmosferdeki subuharı miktarı fazla olduğundan k değerleri düşüktür.

Tablo 4.4

İstanbul için aylık aerosol parametresi (k) ve uzun seneler ortalaması aylık buhar basıncı, e(hpa) değerleri

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
k	0.95	0.94	0.90	0.87	0.83	0.82	0.82	0.84	0.86	0.87	0.90	0.94
e	0.73	0.73	0.77	1.00	1.37	1.72	1.97	2.00	1.70	1.39	1.12	0.88

Çeşitli aerosol parametresi için, aerosol tarafından atmosferin absorpsiyon ve saçılmayla ilgili geçirgenlik değerlerinin optik hava kütesine bağlı olarak dağılımı Şekil 4.5 de verilmiştir.



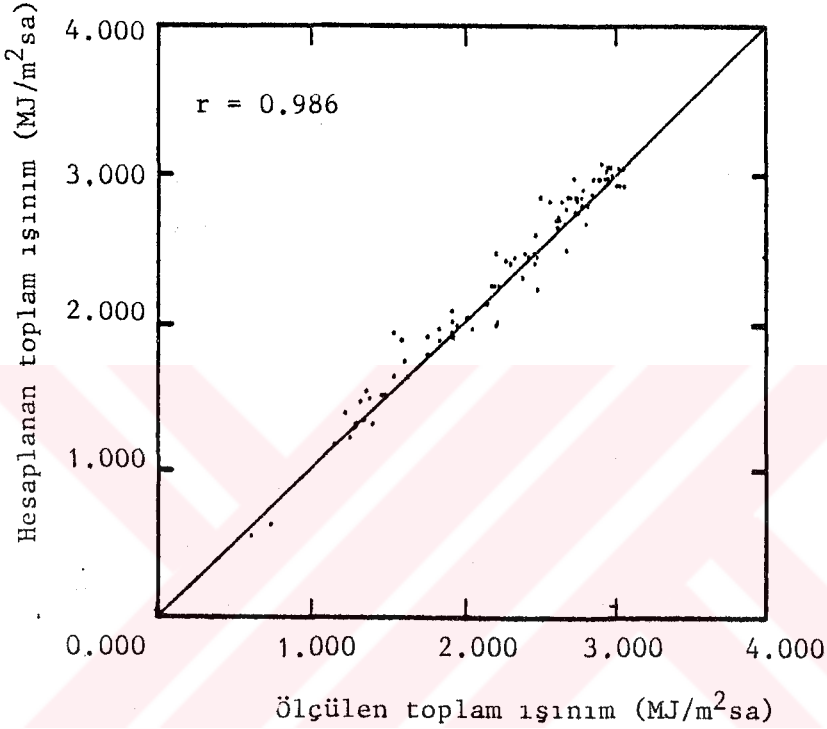
Şekil 4.5

Çeşitli aerosol parametreleri için, aerosoller tarafından atmosferin absorpsiyon ve saçılmayla ilgili geçirgenlik değerleri

#### 4.3. Açık Atmosfer İçin Toplam Işınım Modelinin Sonuçları ve İrdelenmesi

Bu çalışmada ileri sürülen, açık atmosferdeki saatlik toplam ışınım modeli, İstanbul ( $41,1^{\circ}\text{N}$ ) için uygulanmıştır. Atmosferin ozon etkisi için yıllık ortalama ozon tabakası kalınlığı, subuharı ve aerosol etkileri için sırasıyla aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı ve aylık ortalama aerosol parametresi değerleri kullanılmıştır. Toplam ışınım değerleri, esas olarak (4.1), (4.3) ve (4.4) bağıntılarından yıl boyunca her gün için saatlik olarak elde edilmiştir. Sonuçlar aylık tablolar halinde Ek B de verilmiştir. Ayrıca açık atmosfer modeli için geliştirilen bilgisayar programında Ek B1 de sunulmuştur.

Modelin duyarlılığını incelemek için, tamamen açık geçen saatlik periyotlara ait ölçüm sonuçları ve model sonuçları Şekil 4.6 da grafiksel olarak gösterilmektedir. Bu şekildeki noktaları belirleyen 97 adet değer çifti Ek B de Tablo B.13 de verilmiştir.



Şekil 4.6

Açık günler için ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım ( $\text{MJ/m}^2 \text{ sa}$ ) değerlerinin karşılaştırılması

Ölçülen ve hesaplanan toplam ışınım değerleri arasındaki ilişki katsayısı 0.986 olarak bulunmuştur.

Ortalama hata,

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_H - G_Ö)$$

Karesel ortalama hata,

$$\left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_H - G_Ö)^2 \right]^{1/2}$$

bağıntılarından yararlanarak ortalama hata,  $0.034 \text{ MJ/m}^2 \text{ sa}$  olarak elde edilmiştir. Bağlı hata, karesel ortalama hata-

nın, ölçülen toplam ışınımın ortalama değerine bölünmesi ile % 4.5 olarak belirlenmiştir. Saatlik toplam ışınım öngörüsü ile ilgili çalışmalarda bağıl hata, % 10-15 mertebesinde kabul edildiğine göre, çalışmada sunulan parametrik modelin ışınım tahminindeki hatası oldukça küçüktür. Modelin işlerliği ile ilgili istatistiksel sonuçlar Tablo 4.5 de verilmiştir.

Tablo 4.5

Açık Atmosferde Saatlik toplam Işınım Modelinin İşlerliği İle İlgili İstatistiksel Değerler

Gözlem sayısı (N)	97
Ölçülen toplam ışınım ortalaması	2.304 MJ/m <sup>2</sup> sa
Öngörülen toplam ışınım ortalaması	2.338 MJ/m <sup>2</sup> sa
Ortalama hata	0.034 MJ/m <sup>2</sup> sa
Karesel ortalama hata	0.106 MJ/m <sup>2</sup> sa
Bağıl hata	0.045
İlişki katsayısı	0.986

Ölçülen ve model sonucu hesaplanan açık atmosfer durumundaki saatlik toplam ışınım değerlerinin ortalamalarının eşitliği hipotezi için Student t-Testi, varyanslarının eşitliği hipotezi için Snedecor F-Testi uygulanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerler zenit açısının,  $Z \leq 30^\circ$  (N=24),  $30^\circ < Z \leq 50^\circ$  (N=40),  $50^\circ < Z \leq 70^\circ$  (N=28),  $Z > 70^\circ$  (N=5) sınıfları için dört grupta test edilmişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, ölçülen ve hesaplanan değerlerin ortalamalarının ve varyanslarının eşitliği hipotezinde anlam derecesi % 5 (güven derecesi 0.975) kabul edilmiştir.

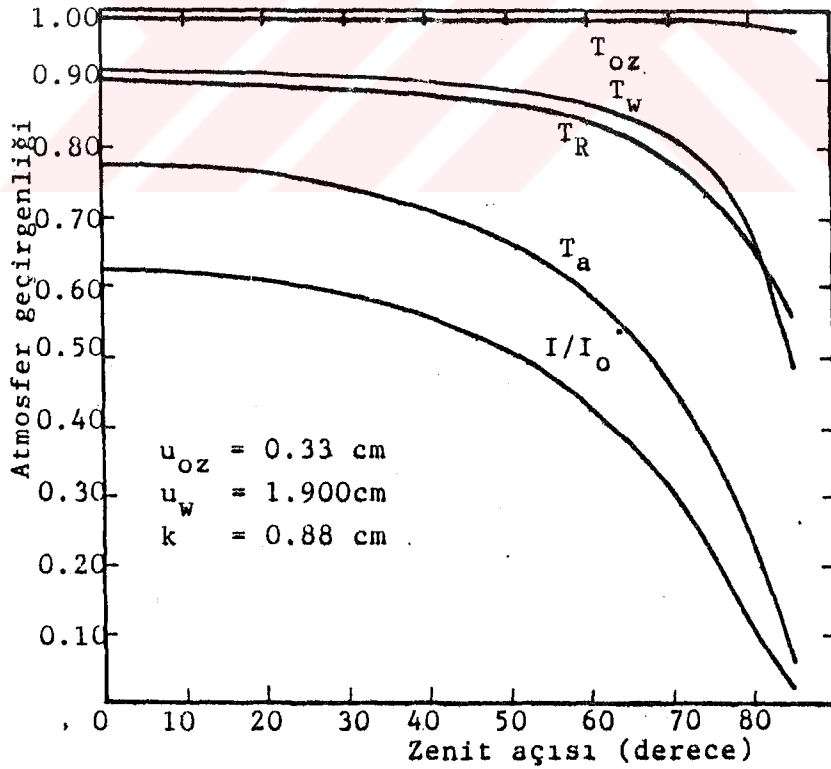
Çalışmada sunulan öngörü modeli, güneşin zenit açısının maksimum olduğu öğle saatleri için daha iyi sonuç vermektedir. Güneşin doğuş ve batışına yakın saatlerde pus

ve duman etkilerinden dolayı temiz ve açık bir atmosfer şartı sağlanamadığından ölçüm sonuçları ile model sonuçları arasındaki fark daha fazla olmaktadır.

Ayrıca, bu çalışmada sunulan modelden, direkt ve toplam ışınım için yıllık ortalama atmosfer geçirgenlikleri, zenit açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Yeryüzeyine ulaşan saatlik direkt ışınımın ( $I$ ), atmosfer dışına gelen ışınımına ( $I_0$ ) oranının (veya, direkt ışınım için toplam atmosfer geçirgenliğinin) güneşin zenit açısına göre değişimi,

$$I/I_0 = T_{oz} T_{wa} T_{ws} T_R T_a$$

bağıntısından elde edilmiştir. Hesaplamalarda, İstanbul ( $41.1^\circ$ ) için, ozon tabakası kalınlığı  $u_{oz} = 0.33$  cm, yıllık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı  $u_w = 1.900$  cm ve yıllık ortalama aerosol parametresi  $k = 0.88$  olarak



Şekil 4.7

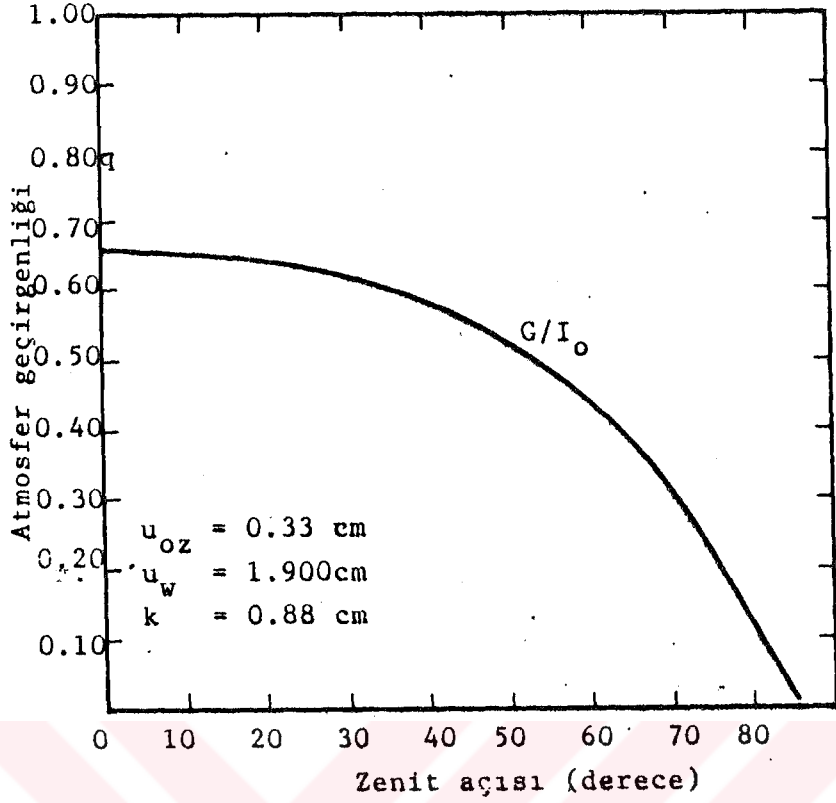
Ozon, subuharı, kuru hava molekülleri ve aerosollerle ilgili geçirgenlikler ve direkt ışınım için toplam atmosfer geçirgenlikleri

alınmıştır. Bu ortalama değerler kullanılarak ozon, subuharı, kuru hava molekülleri ve aerosollerle ilgili geğirgenliklerin ve direkt ışınım için toplam atmosfer geçirgenliğinin zenit açısı ile değişimi Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

İstanbul'da zenit açısının öğle vaktine ait minimum değeri  $z = 17.5^\circ$  dir. Şekil 4.7 den görüldüğü gibi zenit açısının  $z = 17.5^\circ$  değeri için ozon tarafından absorpsiyon % 1 kadardır. Atmosferde moleküler saçılmayla ilgili geçirgenlikler hemen hemen aynı mertebededir.  $z = 17.5^\circ$  için moleküler saçılmadan dolayı olan geçirgenlik oranı 0.89, subuharı tarafından azaltılmadan dolayı olan geçirgenlik oranı yaklaşık 0.91 dir. Işınımın aerosoller tarafından azaltılmasıyla ilgili geçirgenlik, sözkonusu zenit açısı için 0.77 olarak hesaplanmıştır. Geçirgenlik oranları, zenit açısının büyük değerlerinde daha hızlı azalmaktadır. Şekil 4.7 den atmosfer geğirgenliğinde en önemli faktörün aerosoller olduğu görülmektedir. Yukarıda belirtilen ortalama atmosfer şartlarında direkt ışınım için toplam geçirgenlik  $z = 17.5^\circ$  için yaklaşık 0.62 olarak hesaplanmıştır.

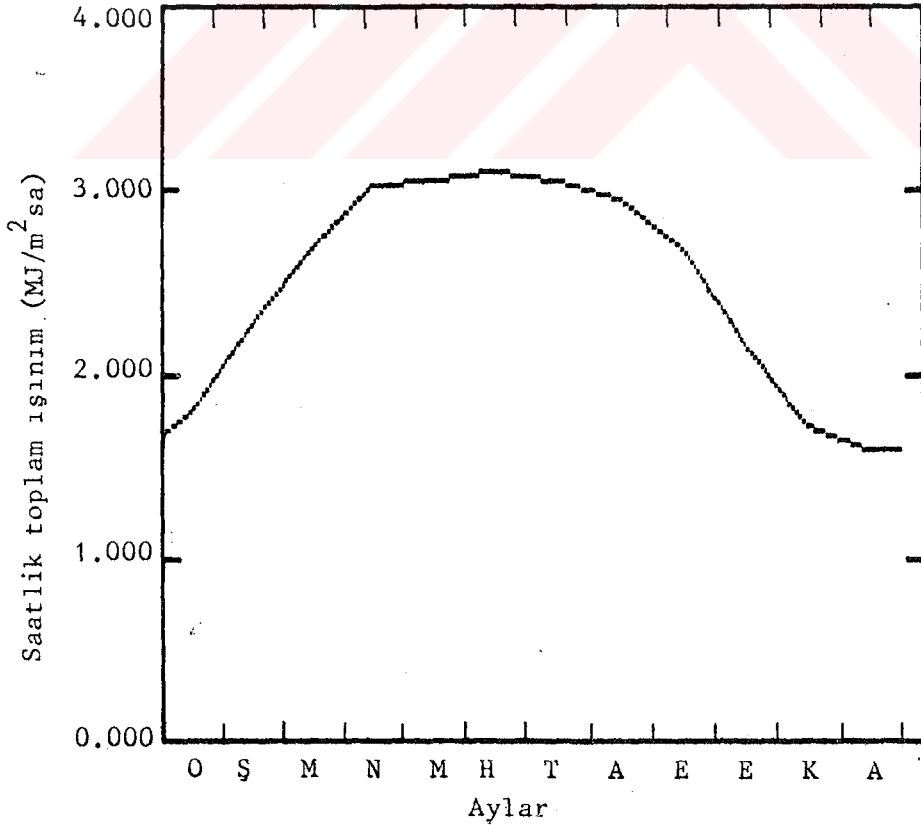
Yeryüzeyine ulaşan saatlik toplam ışınımın, atmosfer dışına gelen saatlik ışınım oranı (veya, toplam ışınım için atmosfer geçirgenliği) yukarıda verilen ortalama koşullarda hesaplanmış olup, sonuçlar Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, zenit açısının  $z = 17.5$  olduğu durumda, açık bir atmosfer için toplam ışınım geçirgenliği 0.64 olup, zenit açısının büyük değerleri için geçirgenlik, hızlı bir şekilde azalmaktadır.

Ayrıca, bu çalışmada İstanbul için sunulan model sonuçlarından güneşin en yüksek konumda olduğu, dolayısıyla maksimum enerji alındığı güneş öğlesini içine alan bir saatlik periyotta gelen toplam ışınım değerleri her ayın 15. günü için hesaplanmış olup yıl boyunca değişimi Tablo



Şekil 4.8

İstanbul için ortalama atmosfer koşullarında hesaplanan toplam ışınım geçirgenliğinin zenit açısı ile değişimi.



Şekil 4.9

Her ayın 15.günü için güneş öğlesinde gelen maksimum saatlik toplam ışınımın yıl boyunca değişimi.

4.9 da gösterilmiştir.

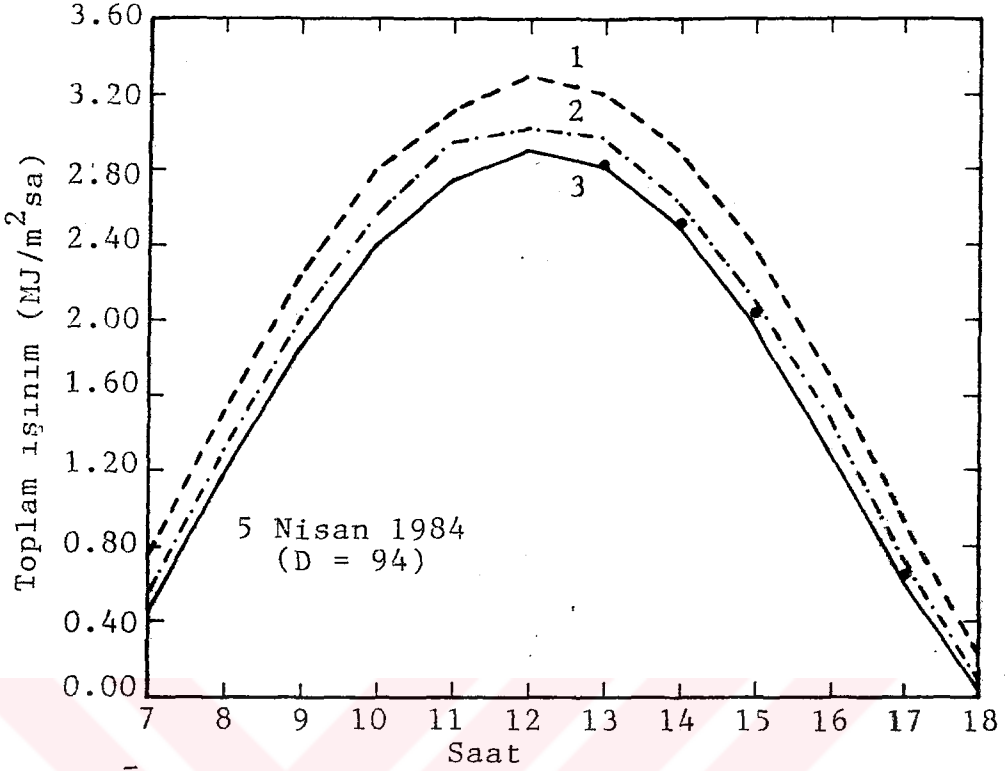
#### 4.4. Açık Atmosfer Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması

Açık atmosfer için sunulan toplam ışınlam modeli, benzer parametrelerin kullanıldığı iki model ve ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Birinci model, Paltridge ve Platt tarafından (3.8) (3.12 a-c), (3.13) ve (3.14) bağıntıları ile verilmiştir. Bu modelde ışınlamın subuharı ve aerosoller tarafından azaltılması, çalışmada sunulan modelden daha değişik bir şekilde hesaplanmıştır. Aerosoller tarafından saçılma için ileriye doğru saçılma oranı ( $F_c$ ) ve aerosoller yüzeyi ile ilgili albedo ( $\omega_0$ ) terimleri gözönüne alınmıştır. Ayrıca, yaygın ışınlam, Rayleigh saçılması, aerosoller tarafından saçılma ve yerden yansıyan ışınlamın saçılması olmak üzere üç bileşene ayrılarak incelenmiştir [11,14].

Karşılaştırılan ikinci model, Suckling ve Hay tarafından ileri sürülmüş olup (3.7), (3.10 a-b) ve (3.14) bağıntıları ile verilmiştir. Bu modelde, çalışmada sunulan modelden farklı olarak ozon absorpsiyonu ihmal edilmiş ve atmosferik saçılma izotropik kabul edilmiştir. Geçirgenliklerle ilgili bağıntılar, sunulan modelle hemen hemen aynıdır. Yalnız, Suckling ve Hay'in modelinde, aerosoller tarafından geçirgenlik  $T_a = k^m$  bağıntısıyla hesaplanmıştır [50].

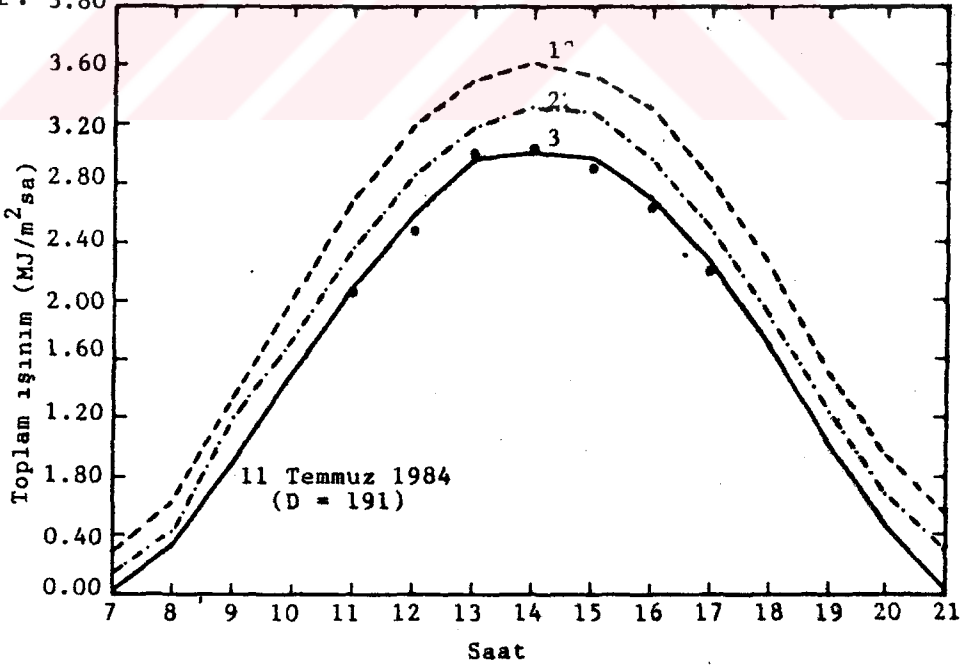
Model sonuçları ve ölçüm değerlerini karşılaştırmak için 5 Nisan (D = 94) ve 11 Temmuz (D = 191) 1984 günleri örnek olarak seçilmiştir. Her iki günün saatlik toplam ışınlam değerlerinin gün boyunca değişimi üç modelden de hesaplanarak, Şekil 4.10 ve 4.11 de verilmiştir. (1) eğrisi, Paltridge ve Platt'in modelinden, (2) eğrisi, Suckling ve Hay'in modelinden, (3) eğrisi ise çalışmada





Şekil 4.10

5 Nisan için saatlik toplam ışınlımın gün boyunca değişimi. (1) Paltridge ve Platt (2) Suckling ve Hay, (3) bu çalışmada sunulan model. Nokta ile gösterilenler ölçülen değerlerdir. 3.80



Şekil 4.11

11 Temmuz için saatlik toplam ışınlımın gün boyunca değişimi. (1) Paltridge ve Platt, (2) Suckling ve Hay, (3) bu çalışmada sunulan model. Nokta ile gösterilenler ölçülen değerlerdir. ( $\lambda_{st} = 45^\circ E$ )

sunulan modelden hesaplanmıştır. Ölçülen değerler ise noktalarla gösterilmiştir.

Şekillerden görüldüğü gibi bu çalışmada sunulan toplam ışınım modeli sonuçları ölçüm değerleri ile oldukça iyi uyum sağlamaktadır. Karşılaştırılan her iki model, ölçüm değerlerinden daha yüksek sonuçlar vermektedir. 5 Nisan için ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasındaki karesel ortalama hata Paltridge ve Platt modeli için  $0.234 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , Suckling ve Hay modeli için  $0.196 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , bu çalışmada sunulan model için  $0.168 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$  dir. 11 Temmuz günü için yapılan hesaplamalarda, karesel ortalama hata değeri Paltridge ve Platt modeli için  $0.168 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , Suckling ve Hay modeli için  $0.313 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , bu çalışmada sunulan model için ise  $0.085 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$  olarak hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 5

### BULUTLU ATMOSFER İÇİN SAATLİK TOPLAM IŞINIM ÖNGÖRÜ MODELİ

#### 5.1. Giriş

Bulutlar, direkt, yaygın ve toplam ışınımı etkileyen önemli bir faktör olduğundan, yeryüzeyine gelen güneş ışınımı hesaplarında mutlaka gözönüne alınmalıdır. Bulutların radyatif etkileri, aerosollerin radyatif etkilerine benzer. Üzerlerine gelen ışınımı absorblarlar ve saçarlar. Farklı yükseklikteki bulutlar, yeryüzeyine gelen güneş ışınımını farklı bir şekilde etkilerler. Su damlacıklarından oluşan alçak seviyedeki bulutlar, buz kristallerinden oluşan yüksek seviye bulutlarına nazaran güneş ışınımını daha çok azaltırlar. Bulutların, kalınlıkları farklı olduğu gibi, içerdikleri su damlacıklarının ve buz kristallerinin saçılma ve absorbsiyon özellikleri de farklıdır. Ayrıca gökyüzündeki bulut miktarı, bulutun güneş diskine göre yeri ve şekli de yeryüzeyine gelebilecek ışınım miktarını etkiler.

Bu çalışmada, İstanbul için, bulutlu bir atmosferde yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım değerini veren bir bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntının katsayıları, çeşitli bulut tipleri ve zenit açıları için, İ.T.Ü. Kampüsünde ölçülen saatlik toplam ışınım değerleriyle, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nun saatlik bulutluluk gözlemlerinden yararlanılarak belirlenmiştir.

## 5.2. Açık Atmosferdeki Saatlik Toplam Işınlama Bulut Etkisi

Bulutlu atmosferde yeryüzeyine gelen toplam ışınım öngörüsü ile ilgili çalışmalarda genel olarak iki yol izlendiği Bölüm 3 de belirtilmişti. Bu yollardan birincisinde, bulutlu atmosfer için, direkt ve yaygın ışınım bileşenleri ayrı ayrı hesaplanmakta ve toplam ışınım bu bileşenlerin toplamı olarak belirlenmektedir [49,51,54]. İkinci yol ise, açık bir atmosferde gelen toplam ışınım bulut etkisi ilave edilerek, bulutlu bir atmosfer için toplam ışınım değerleri hesaplanmaktadır [34,58,60]. Birinci yolda, bulutların geçirgenliği ve bulut albedo değerleri ile ilgili ortalama değerler seçildiğinden model sonuçları ve ölçümler arasındaki fark fazla olmaktadır. Bu sebepten, bu çalışmada çok sayıda gözlem sonucundan yararlanılarak, bulutlu atmosfer için saatlik toplam ışınım öngörüsünün yapıldığı ikinci yol izlenmiştir.

İkinci yolla ilgili çalışmalarda, genellikle bulutlu atmosferde gelen toplam ışınımın, açık günde gelen toplam ışınım oranı ile, bulut kapallılığı arasında lineer veya parabolik bağıntılar kurulmuştur [34,57,58]. Lamb ise, toplam ışınımın, atmosfer dışına gelen ışınım oranı ile sadece güneş yüksekliği arasındaki bağıntıyı çeşitli bulut tipleri için incelemiştir [44]. Kimura ve Stephenson, bulutlu atmosferde gelen toplam ışınımın açık atmosferde gelen toplam ışınım oranı ile bulut kapallılığı arasında ikinci dereceden bir bağıntı ileri sürerek, bu bağıntıyı çeşitli güneş yüksekliği açıları için incelemişlerdir [57].

Bu çalışmada ise, bulutlu atmosfer durumunda ışınımın bulut tarafından azaltılmasında, bulut tipi ve bulut kapallılığının yanısıra, daha önceki çalışmalarda hesaba katılmayan ışınımın geliş yönünü belirleyen zenit açısının da etkisi gözönüne alınmıştır. Bu nedenle, bulutlu atmosferde gelen saatlik toplam ışınımın, açık gün için tahmin

edilen saatlik toplam ışınım oranı ile bulut kapalılığı arasında, birçok çalışmada ileri sürülen ve sadece bulutluluğa bağlı ikinci dereceden bir regresyon bağıntısına, zenit açısı terimi de ilave edilmiştir. Böylece sözkonusu oran ile bulut kapalılığı ve zenit açısı arasında

$$\frac{G_b}{G} = a_1 + a_2 C^2 \cos Z + a_3 C + a_4 \cos Z \quad (5.1)$$

şeklinde bir çoklu regresyon bağıntısı geliştirilmiştir. Burada,  $G_b$ , bulutlu atmosfer durumunda ölçülen saatlik toplam ışınım,  $G$ , açık atmosfer durumunda öngörülen saatlik toplam ışınım,  $C$ , bulut kapalılığı,  $Z$ , zenit açısı ve  $a_1, a_2, a_3, a_4$  sabit katsayılarıdır. Açık atmosfer durumunda yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım ( $G$ ) değerleri için Bölüm 4 de (İstanbul için) hesaplanan model sonuçları kullanılmıştır.

(5.1) çoklu regresyon bağıntısı, alçak, orta ve yüksek bulut tipleri ve çeşitli zenit açısı sınıfları için incelenmiştir. Çalışmada alçak bulut olarak cumulus (Cu), stratus (St), stratocumulus (Sc), cumulonimbus (Cb), orta bulut olarak, altostratus (As), altocumulus (Ac), yüksek bulut olarak, cirrus (Ci), cirrostratus (Cs) bulutları gözönüne alınmıştır.

Çalışmada, 668 er adet saatlik bulut kapalılığı ve saatlik toplam ışınım ölçüm değerleri kullanılmıştır. Sözkonusu değerler Ek C de Tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca herbir saatlik periyot için ortalama  $\cos Z$  değerleri ile  $G_b/G$  oranları hesaplanmıştır. Toplam bulutluluk gözlemleri GMT (Greenwich Mean Time) zamanına göre verildiğinden, öncelikle memleket saatine göre yeniden düzenlenmiştir. Bulut kapalılığı değerleri 8 de kapalılık olarak ifade edilmiştir. Atmosferde sadece alçak, orta ve yüksek bulut tipinde tek bir bulut tabakasının mevcut olduğu varsayılmıştır. Bulutlu atmosferde bir saatlik peri-

yot sonunda ölçülen toplam ışınım değerlerine karşılık, toplam bulutluluk için, sözkonusu periyot başlangıcında gözlenen değer alınmıştır. Örneğin, memleket saatine göre 10-11 arasında kaydedilen toplam ışınım için saat 10 da gözlenen toplam bulut kapalılığı değeri seçilmiştir. Bir saatlik periyot başında gözlenen bulut kapalılığının, periyot süresince değişmediği varsayılmıştır. Saatlik periyodun ortalama bulut kapalılığı alınarak da hesaplama yapılmış, ancak sonuçtaki değişim çok az olmuştur. Ayrıca, (5.1) regresyon denkleminin açık atmosfer koşulunu da göz önüne almak amacıyla, her bulut kategorisinde  $C = 0$  (açık atmosfer) koşulu ile ilgili veriler de hesaba katılmıştır. Alçak, orta ve yüksek bulut kategorilerine göre ayrılan veriler, daha sonra, ışınımın aldığı yolun etkisini ilave etmek amacıyla, zenit açısının  $Z \leq 30^\circ$ ,  $30^\circ < Z \leq 50^\circ$ ,  $50^\circ < Z \leq 70^\circ$  ve  $Z > 70^\circ$  sınıflarına göre gruplandırılmışlardır.

Bulutlu bir atmosferde gelen saatlik toplam ışınımın, açık günde gelen toplam ışınımına oranı ( $G_b/G$ ) ile bulut kapalılığı ve ışının zenit açısı arasında (5.1) bağıntısıyla verilen ilişkiyi kurmak için en küçük kareler yöntemiyle belirlenen

$$\sum_i \left( \frac{G_{bi}}{G_i} \right) = a_1 N + a_2 \sum_i (C_i^2 \cos Z_i) + a_3 \sum_i C_i^2 + a_4 \sum_i \cos Z_i$$

$$\sum_i \left( \frac{G_{bi}}{G_i} C_i^2 \cos Z_i \right) = a_1 \sum_i (C_i^2 \cos Z_i) + a_2 \sum_i (C_i^2 \cos Z_i)^2 + a_3 \sum_i (C_i^4 \cos Z_i) + a_4 \sum_i (C_i \cos Z_i)^2 \quad (5.2)$$

$$\sum_i \left( \frac{G_{bi}}{G_i} C_i^2 \right) = a_1 \sum_i C_i^2 + a_2 \sum_i (C_i^4 \cos Z_i) + a_3 \sum_i C_i^4 + a_4 \sum_i (C_i^2 \cos Z_i)$$

$$\sum_i \left( \frac{G_{bi}}{G_i} \right) \cos Z_i = a_1 \sum_i \cos Z_i + a_2 \sum_i (C_i \cos Z_i)^2$$

$$+ a_3 \sum_i (C_i^2 \cos Z_i) + a_4 \sum_i (\cos Z_i)^2$$

denklem takımından yararlanılmıştır. Denklem takımı, daha önce sözü edilen herbir bulut tipi ve zenit açısı sınıfları için Gauss-Siedel yöntemi ile hazırlanan bilgisayar programı ile çözülmüştür (Ek B.1).

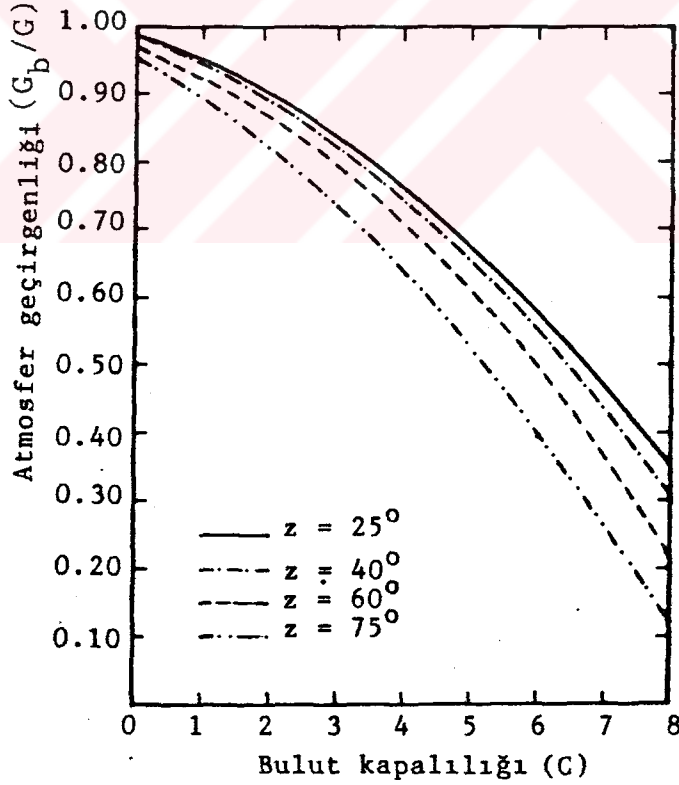
Atmosferde sadece alçak bulutların bulunduğu durumda çeşitli zenit açısı sınıfları için yukarıdaki denklem takımı yardımıyla hesaplanan (5.1) bağıntısındaki katsayılar ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) ve çoklu ilişki katsayıları (R) ile tahminin standart hataları (S) ve veri sayısı (N) Tablo 5.1 de verilmiştir. Bu sınıfta toplam 526 veri gözönüne alınmıştır. (5.1) bağıntısı, Tablo 5.1 deki katsayılar kullanılarak, zenit açısının  $25^\circ, 40^\circ, 60^\circ$  ve  $75^\circ$  değerleri için çizilmiş olup, Şekil 5.1 de verilmiştir. Burada, atmosferde alçak bulut olduğu durumda,  $G_b/G$  oranları bulut kapalılığına bağlı olarak, çeşitli zenit açıları için gösterilmiştir.

Atmosferde sadece orta bulutların bulunduğu durum için, toplam olarak 70 adet saatlik bulut kapalılığı ve toplam ışınım verisi gözönüne alınmıştır. Orta bulut tipi için de benzer şekilde, çeşitli zenit açısı sınıfları için yapılan hesaplamalar sonucu (5.1) bağıntısındaki katsayılar, çoklu korelasyon katsayıları tahminin standart hataları Tablo 5.2 de verilmiştir. N, belirlenen zenit açısı aralığındaki veri sayısıdır. Bu bulut kategorisinde zenit açısının  $Z \leq 30^\circ$  değerleri için veri sayısı az olduğundan hesaplama yapılamamıştır. Orta bulut tipi için, bulut kapalılığı ve  $(G_b/G)$  oranı arasındaki ilişki, Tablo 5.2 deki katsayılardan yararlanılarak ve zenit açısının  $Z = 40^\circ, 60^\circ$  ve  $75^\circ$  değerleri için Şekil 5.2 de gösterilmiştir.

Tablo 5.1

Alçak bulut tipi için, çeşitli zenit açısı sınıflarındaki veri sayısı (N), (5.1) bağıntısındaki katsayılar ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$ ), çoklu ilişki katsayıları (R) ve tahminin standart hatası (S) değerleri.

Zenit Açısı	N	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	R	S
$Z \leq 30$	63	1.130	-0.421	-0.258	-0.155	0.901	0.005
$30^\circ < Z \leq 50^\circ$	210	0.887	-0.573	-0.236	0.128	0.859	0.014
$50^\circ < Z \leq 70$	174	0.747	-0.986	-0.250	0.434	0.898	0.015
$Z > 70^\circ$	79	0.824	-1.304	-0.509	0.544	0.899	0.010



Şekil 5.1

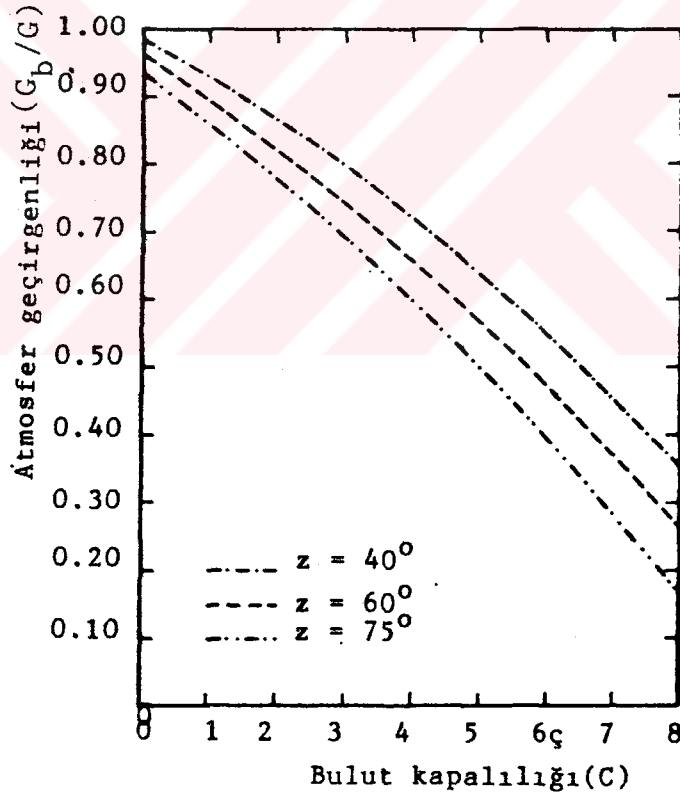
Alçak bulut tipi durumunda ölçülen saatlik toplam ışınımın bulutsuz atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınım oranının ( $G_b/G$ ) çeşitli zenit açısı değerleri için bulut kapalılığı ile değişimi.



Tablo-5.2

Orta bulut tipi için çeşitli zenit açısı sınıflarındaki veri sayısı (N), (5.1) bağıntısındaki katsayılar ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$ ), çoklu ilişki katsayısı (R) ve tahminin standart hatası (S) değerleri.

Zenit açısı	N	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	R	S
$30 < Z \leq 50$	25	0.779	-0.278	-0.428	0.271	0.878	0.017
$50 < Z \leq 70$	23	0.883	-0.321	-0.537	0.175	0.929	0.005
$Z > 70$	22	0.926	-0.830	-0.575	0.042	0.944	0.003



Şekil 5.2

Orta bulut durumunda ölçülen saatlik toplam ışınımın, bulutsuz atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınım oranının ( $G_b/G$ ) çeşitli zenit açısı değerleri için bulut kapallılığı ile değişimi.

Atmosferde sadece yüksek bulutların bulunduğu durum için de toplam 72 adet saatlik veri kullanılmıştır. Diğer bulut tiplerinde olduğu gibi, benzer şekilde yapılan hesaplamalardan elde edilen, (5.1) bağıntısındaki katsayılar, çoklu regresyon katsayıları, tahminin standart hatası değerleri Tablo 5.3 de verilmiştir. N, çeşitli zenit açısı sınıflarındaki veri sayısıdır.

Yüksek bulutluluk durumunda, ( $G_p/G$ ) oranı ile bulut kapallılığı arasında (5.1) bağıntısı ile ifade edilen ilişki, zenit açısının  $Z = 25^\circ$ ,  $40^\circ$  ve  $60^\circ$  değerleri için Şekil 5.3 de gösterilmiştir. Burada ise zenit açısının  $Z > 70^\circ$  değerleri için yeterli veri olmadığından hesaplama yapılamamıştır.

Tablo - 5.3

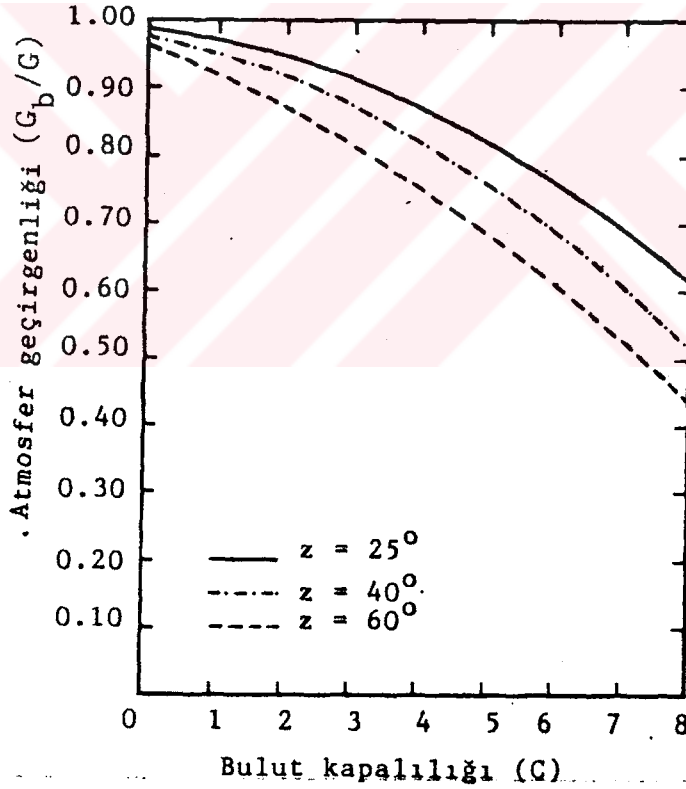
Yüksek bulut tipi için çeşitli zenit açısı sınıflarındaki veri sayısı (N), (5.1) bağıntısındaki katsayılar ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ), çoklu ilişki katsayısı (R) ve tahminin standart hatası (S) değerleri.

Zenit açısı	N	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	R	S
$Z \leq 30^\circ$	19	0.955	-0.307	-0.088	0.036	0.958	0.001
$30^\circ < Z \leq 50^\circ$	28	0.834	-0.411	-0.137	0.182	0.912	0.007
$50^\circ < Z \leq 70^\circ$	25	1.011	-0.357	-0.352	-0.073	0.926	0.004

Alçak, orta ve yüksek bulut tiplerine ait tablolardaki çoklu ilişki katsayısı ve tahminin standart hatası değerlerinden görüleceği gibi, çeşitli zenit açıları sınıflarına ait verilerle, (5.1) bağıntısıyla sunulan eğri iyi bir uyum sağlamıştır. Bulut ayırımı yapmaksızın ( $G_p/G$ ) oranı, bulutluluk ve  $\cos Z$  değişkenleri arasındaki çoklu ilişki katsayısı ortalama olarak 0.910, tahminin standart hatası ise ortalama  $0.008 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$  olarak hesaplanmıştır.

Sözkonusu değerler sırasıyla alçak bulutlar için 0.889 ve 0.011 MJ/m<sup>2</sup>sa, orta bulutlar için 0.917 ve 0.008 MJ/m<sup>2</sup>sa, yüksek bulutlar için ise 0.932 ve 0.004 MJ/m<sup>2</sup>sa olarak elde edilmiştir.

Alçak bulut durumunda, diğer bulutlara nazaran ilişki katsayısı daha küçük, tahminin standart hatanın değeri daha yüksektir. Bu bulut kategorisinde cumulus, stratus, stratocumulus, cumulonimbus olmak üzere dört bulut tipine ait veriler gözönüne alınmıştır. Diğer bulut kategorisinde ikişer tip bulut sözkonusudur. Ayrıca, alçak bulutlar için gözönüne alınan veriler, diğer bulut tiplerine göre daha fazladır.



Şekil 5.3

Yüksek bulut durumunda ölçülen saatlik toplam ışınımın, bulutsuz atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınım oranının ( $G_b/G$ ), çeşitli zenit açısı değerleri için bulut kapalılığı ile değişimi.

Bulutlu bir atmosferde ölçülen saatlik toplam ışınımın, açık atmosfer için hesaplanan saatlik toplam ışınım oranı ( $G_b/G$ ),  $C = 0$  (bulutsuz atmosfer şartında), açık atmosferde ölçülen değerin, aynı atmosfer şartında hesaplanan değere oranı olmaktadır. Bu oran, ortalama olarak,  $Z = 25^\circ$  için 0.99,  $Z = 40^\circ$  için 0.98,  $Z = 60^\circ$  için 0.96,  $Z = 75^\circ$  için 0.95 olarak elde edilmiştir. Zenit açısı arttıkça açık atmosfer için ölçülen toplam ışınım değerlerinin, hesaplanan değere oranı azalmakta, yani toplam ışınım, tahmin edilenden daha az ölçülmektedir. Bunun sebebi, daha önce açık atmosfer modeli için de belirtildiği gibi güneşin doğuş ve batışı sırasında pus, duman gibi faktörlerin eklenmesiyle absorpsiyon ve saçılma etkilerinin artmasıdır.

Bu çalışmada hesaplanan  $G_b/G$  oranları, fiziksel olarak bulutlu bir atmosferde, sadece bulutlar tarafından azaltıldıktan sonra iletilen enerji oranını verir. Tamamen bulutlarla kapalı bir atmosfer ( $C = 8$ ) söz konusu olduğunda bu oran, bulut geçirgenliği olarak tanımlanır. Yapılan çalışmalarda çeşitli bulut tipleri için tamamen kapalı bulutlu atmosfer durumunda bulut geçirgenlik değerleri incelenmiştir. [60,64]. Bu çalışmada da çeşitli bulut kapalılığı değerleri için bulut geçirgenlikleri hesaplanabilmektedir.

Genel olarak, bütün bulut tiplerinde  $G_b/G$  oranı, sabit bir bulut kapalılığı için, zenit açısı büyüdükçe azalmaktadır. Alçak bulutlar için  $C=8$  durumunda zenit açısı  $Z=25^\circ$  iken, bulut geçirgenliği ( $G_b/G$ ) 0.35,  $Z=75^\circ$  iken bulut geçirgenliği 0.12 olmuştur. Bu durumda, bulut geçirgenliği, güneş ışınımının aldığı yolun artmasından dolayı 0.23 kadar azalmıştır. (Azalma oranı ise %66 dır.)

Alçak bulutlar, yeryüzeyine ulaşan güneş ışınımının azalmasına en çok etkili olan bulutlardır. Alçak bulutların kalınlıkları genellikle 200-800m. arasında de-

ğişmektedir. Cumulus ve cumulonimbus bulutlarının kalınlıkları ise birkaç kilometreye kadar ulaşabilmektedir. Kalın bulutlar, üzerlerine gelen güneş ışınımını da kuvvetli bir şekilde yansıtırlar. Alçak bulutlar daha kalın olduklarından ve daha büyük sıvı su damlacıkları (1 - 60  $\mu\text{m}$ .) taşıdıklarından güneş ışınımını diğer bulutlara nazaran daha az geçirirler. Şekil 5.1 den görüleceği gibi yaklaşık  $C > 4$  kapalılık için geçirgenlik daha hızlı azalmaktadır. Bu çalışmada alçak bulutların  $C = 8$  koşulundaki geçirgenlikleri zenit açısının sırasıyla  $25^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $75^\circ$  değerleri için 0.35, 0.31, 0.22 ve 0.12 olarak hesaplanmıştır. Alçak bulutlar için ortalama geçirgenlik değeri 0.25 olarak alınabilir.

Orta bulutlar atmosferde genellikle yatay olarak yaygın bir şekilde bulunurlar. Bu sebepten sözkonusu bulut kategorisinde gözönüne alınan verilerde, toplam bulut kapalılığı  $C = 3$  den fazladır. Orta bulutların kalınlıkları ortalama olarak 200-700 m. arasında değişmektedir. Ancak altostratus tipi bulutların kalınlıklarının 1-2 km. ye kadar ulaştığı belirtilmektedir. Altostratusların bazılarında kalın plaka şeklinde buz kristallerine rastlanmış olmakla beraber genellikle orta bulutlar, yarıçapı 5-24  $\mu\text{m}$ . arasında değişen sıvı su damlacıkları içermektedirler. Alçak bulutlara nazaran, bu bulutlarda su damlacığı boyutları daha küçüktür. Yapılan hesaplamalarda  $C = 8$  için tanımlanan orta bulut geçirgenlikleri,  $Z = 40^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $75^\circ$  lik zenit açıları için, sırasıyla 0.35, 0.27 ve 0.17 olup, ortalama olarak 0.26 dır.

Bu çalışmada elde edilen bulut geçirgenliği değerleri ile bu konuda çeşitli ölçüm ve hesaplama yöntemleri kullanılarak yapılan diğer çalışma sonuçları Tablo 5.4 de karşılaştırılmıştır [64]. Bu tabloda, bulut geçirgenliğinin minimum ve maksimum değerleri, bulut tiplerinin yanı sıra güneş ışınımının aldığı yola da bağlıdır. Işınımın aldığı yol arttıkça (zenit açısı büyüdükçe) bulut geçir-

genliği azalmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulut geçirgenliği değerleri, diğer çalışmalarda sunulan geçirgenlik değerlerine yakındır. Tablo 5.4 de verilen geçirgenlik değerleri çeşitli yerlerdeki (farklı enlemlerdeki) ölçümlerden elde edilmiştir. Bulutların geçirgenlik özellikleri buldukları iklim kuşaklarına (polar, ekvatoriyel v.b.) göre de değişebilir.

Tablo - 5.4

Çeşitli kaynaklara göre bulut geçirgenlikleri (%).

Kaynak	Alçak Bulut (St,Sc,Cu)	Orta Bulut (As,Ac)	Yüksek Bulut (Cc,Cs,Ci)
Haurwitz (List,1966)	24 - 35	41 - 52	65 - 85
Houghton (1954)	23	48	78
Vonder Haar and Cox (1977)	15 - 50	25 - 55	-
Liou (1976)	10 - 49	14 - 28	-
Kasten and Czeplak 1980)	16 - 18	25 - 27	61
Makareusky (1969)	-	10 - 35	46 - 84
Bu alışma	12 - 35	17 - 35	44 - 62

### 5.3. Model Sonuçları ile Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bulutlu atmosfer durumunda ölçüm yapılan saatlik periyotlar için bu çalışmada sunulan model uygulanarak, ölçülen ve hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar için, alçak, orta ve yüksek bulutluluk şartlarına ve zenit açısı değerlerine göre (5.1) bağıntısı ile beraber Tablo 5.1, 5.2 ve 5.3 deki katsayılar kullanılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasındaki istatistiksel hesaplamalar alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için ayrı ayrı yapılmış olup, sonuçlar Tablo 5.5 de verilmiştir.

Tablo - 5.5

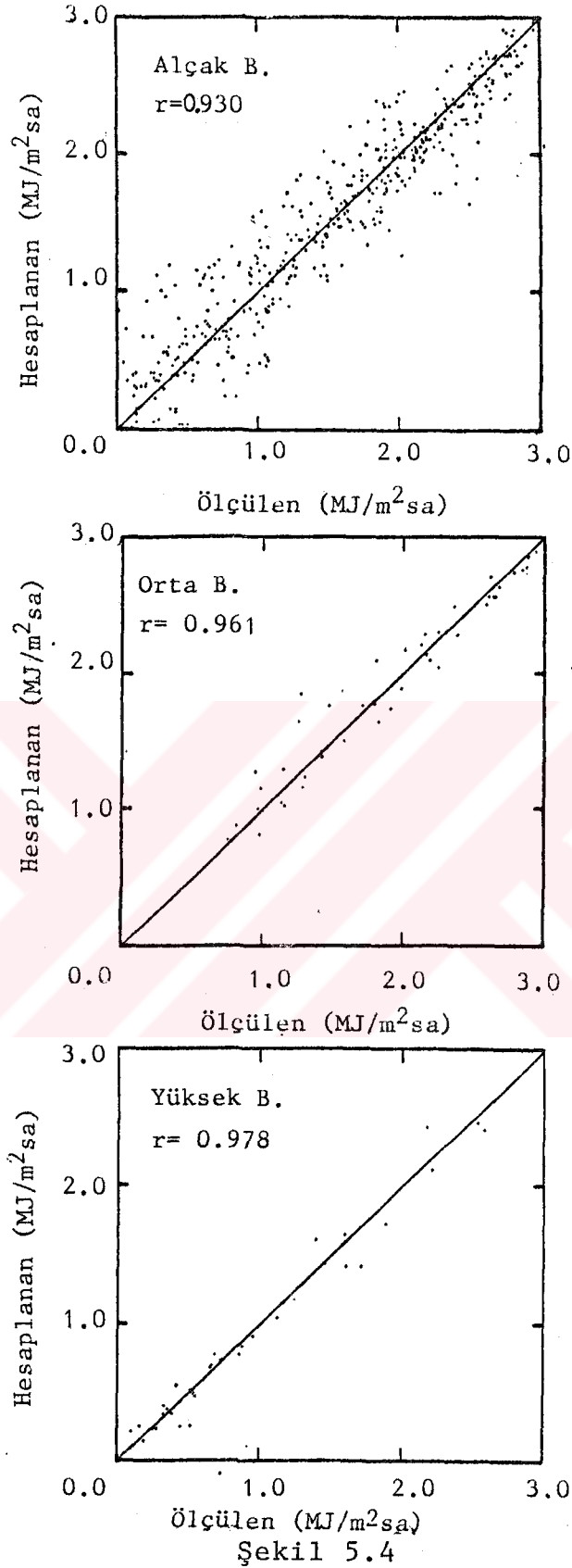
Bulutlu atmosfer için ölçülen ve hesaplanan saatlik ışınım değerleri için istatistiksel sonuçlar.

	Alçak Bulut	Orta Bulut	Yüksek Bulut
Veri sayısı(N)	437	45	46
İlişki katsayısı (r)	0.930	0.961	0.978
Ortalama Hata	-0.008 MJ/m <sup>2</sup> sa	-0.017 MJ/m <sup>2</sup> sa	0.010 MJ/m <sup>2</sup> sa
Karesel Ortalama hata (RMSE)	0.290 MJ/m <sup>2</sup> sa	0.107 MJ/m <sup>2</sup> sa	0.163 MJ/m <sup>2</sup> sa
Bağıl hata	0.192	0.128	0.084

Her üç bulut tipi için de ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasında oldukça iyi bir ilişki vardır. Alçak bulutlar için 0.930 , orta bulutlar için 0.961 ve yüksek bulutlar için 0.978 olmak üzere, ilişki katsayısı 0.956 dır. Hesaplanan ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması, üç bulut tipi için de Şekil 5.4 de verilmiştir.

Ortalama hatanın negatif çıkması, hesaplanan saatlik toplam ışınım değerlerinin ölçülen değerlerden daha yüksek olmasını göstermektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ileri sürülen modellerin işlerliğini incelemek için bağıl hata değerleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada model sonuçları ile ölçümler arasındaki bağıl hata değerleri, sırasıyla alçak bulut için % 19.2, orta bulut için % 12.8, yüksek bulut için % 8.4 olarak elde edilmiştir. Ortalama bağıl hata % 13.3 dür.

Won tarafından bulutlu atmosfer için ileri sürülen saatlik toplam ışınım model sonuçları için ortalama bağıl hata % 22, ortalama hatanın mutlak değeri olarak da 0.240 MJ/m<sup>2</sup>sa. değerleri verilmiştir. İlişki katsayısı ise



Şekil 5.4

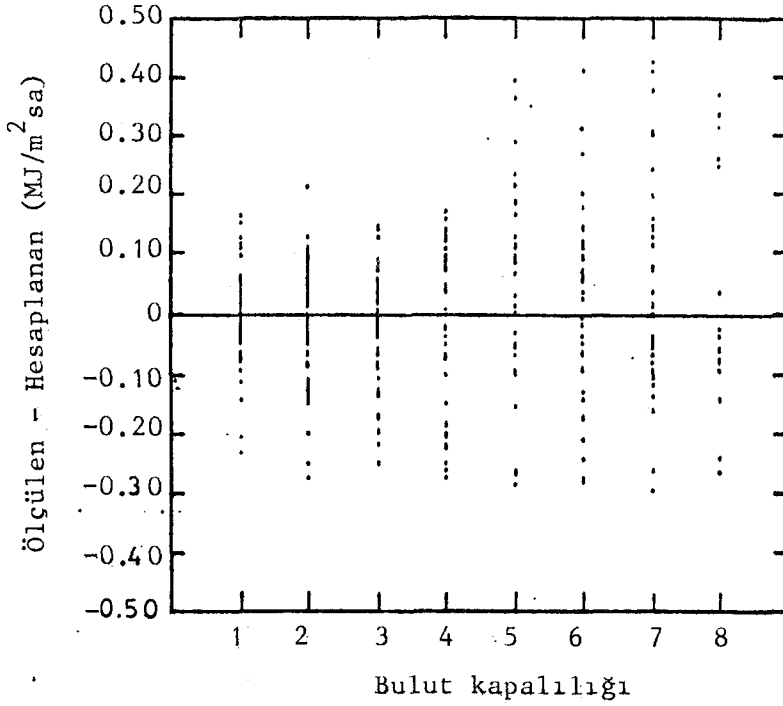
Alçak, orta ve yüksek bulutluluk şartlarında ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması.



çeşitli istasyonlar için 0.93 - 0.96 arasındadır [58]. Atwater ve Ball tarafından yapılan çalışmada ise saatlik olarak ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki katsayısı 0.88 - 0.90, ortalama bağıl hata ise % 19 - 34 sınırları arasındadır [62]. Diğer birçok çalışmada ölçülen ve hesaplanan değerler, günlük toplam ışınım değerleri olduğundan saatlik hesaplama sonuçlarıyla karşılaştırılamamıştır. Günlük toplam ışınım öngörüsünde yapılan hata küçük olmaktadır. Periyot büyüdükçe, bağıl hata değeri küçülmektedir [17,49]. Bu tezde ileri sürülen modelin hata değerleri diğer çalışmalara nazaran oldukça küçüktür.

Ayrıca, bulutlu atmosfer durumunda ölçülen ve hesaplanan değerlere, ortalamaların eşitliği hipotezi için Student t -testi, varyansların eşitliği hipotezi için Snedecor F-Testi uygulanmıştır. Bu testleri uygulamak için veriler, zenit açılarına göre dört sınıfa ( $Z \leq 30^\circ$ ,  $30^\circ < Z \leq 50^\circ$ ,  $50^\circ < Z \leq 70^\circ$  ve  $Z > 70^\circ$ ), bulutluluk miktarlarına göre de dört sınıfa (1-2, 3-4, 5-6, 7-8) olmak üzere 16 sınıfa ayrılmışlardır. Yapılan hesaplamalarda, ortalamaların eşitliği hipotezinde anlamlılık % 5 (güven derecesi 0.975), varyansların eşitliği hipotezinde ise, üç sınıf dışında (13 sınıf için) anlamlılık % 5 kabul edilmiştir. Snedecor F-Testine göre varyansların eşitliği hipotezinin kabul edilmediği üç sınıfta, zenit açısı  $Z > 50^\circ$  ve bulut kapallılığı 7-8 dir. Zenit açısı büyüdükçe ışınımın aldığı yol artmakta ve daha fazla azalmaya uğramaktadır. Yol etkisine, 7-8 kapalı bulut varlığı da eklendiğinde, yansıma, absorpsiyon ve saçılma etkileri daha fazla olmaktadır. Bu sebeplerden hesaplanan ve ölçülen değerlerin varyansları arasında fark oluşmuştur.

Alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için ölçülen saatlik toplam ışınım ile aynı periyot için hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasındaki farkın bulut kapallılığına bağlı olarak değişimi Şekil 5.5 de gösterilmiştir.



Şekil 5.5

Ölçülen ve hesaplanan toplam ışınım değerleri arasındaki farkın, bulut kapalılığına göre değişimi.

Şekil 5.5 den görüldüğü gibi 1, 2, 3 ve 4 kapalılık için ölçülen ve hesaplanan değerlerin farkı  $(-0.30) - (0.20)$  MJ/m<sup>2</sup>sa. arasında değişmektedir. 5, 6, 7 ve 8 kapalılıkta söz konusu fark  $(-0.30) - (0.43)$  MJ/m<sup>2</sup>sa. arasındadır. Bulut kapalılığı arttıkça ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki fark da artmaktadır.

### 5.2.2. Diğer Modellerle Karşılaştırma

Bu çalışmada sunulan bulutlu atmosferde saatlik toplam ışınım modeli sonuçlarıyla, Hay, Kimura ve Stephenson tarafından ileri sürülen iki model karşılaştırılmıştır.

Hay'in modeli parametrik bir model olup, saatlik toplam ışınım, aynı periyottaki bulut etkisinde direkt ve yaygın ışınımın ayrı ayrı hesaplanmasından elde edilmiştir (Bölüm 3.3). Bu modelde, saatlik toplam ışınım değer-

leri,

$$G_b = G [(1-C) + T_b.C] / (1-\alpha_y \cdot \alpha_b.C)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Açık günde gelebilecek saatlik toplam ışınım değerleri (G), Hay tarafından önerilen yöntemle elde edilmiştir [14,59]. Bulut geçirgenlikleri ( $T_b$ ),

$$T_b = A \exp (-Bm_r)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada A ve B katsayıları, alçak bulutlar için sırasıyla, ortalama olarak 0.368 ve 0.045, orta bulutlar için 0.485 ve 0.029, yüksek bulutlar için 0.879 ve 0.055 olarak alınmıştır. [59,62]. Yeryüzeyinin albedosu ( $\alpha_y$ ), 0.40, bulut taban albedoları, yine alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için sırasıyla 0.51, 0.50 ve 0.20 olarak kabul edilmiştir [59].

Karşılaştırılan diğer model, Kimura ve Stephenson tarafından ileri sürülmüş olup, çeşitli araştırmacılar bu modeli değişik yerlere uygulamışlardır [34,57,58]. Burada saatlik toplam ışınım, açık atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınımına sadece bulutluluk etkisi ilave edilerek,

$$G_b = G (a_1 + a_2C + a_3C^2)$$

şeklinde verilmiştir. Bu ifadede zenit açısı etkisi gözönüne alınmamıştır. İki model arasındaki karşılaştırmayı yapabilmek için yukarıdaki bağıntı, bu çalışmada kullanılan verilere uygulanmıştır. Her bulut tipi için ayrı ayrı yapılan hesaplama sonuçları ekte Tablo C.2 de verilmiştir.

Saatlik toplam ışınım ve bulutluluk verisinin sürekli olduğu üç gün seçilerek, bu günlere ait ölçüm değerleri ve bu çalışmada sunulan modelden hesaplanan değerler ile yukarıda sözedilen modellerin sonuçları alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için ayrı ayrı Tablo 5.6, 5.7 ve

5.8 de karşılaştırılmıştır.

Tablo - 5.6

Atmosferde sadece alçak bulut varlığında, Hay, Kimura ve Stephenson modellerinin sonuçlarıyla, bu çalışmada sunulan modelin sonuçlarının, ölçüm değerlerinin ve karesel ortalama hataların karşılaştırılması 8 Mart 1985.

Saat	Bulut Kapalılığı (C)	Ölçülen	Toplam Işınım (MJ/m <sup>2</sup> sa)		Tezde sunulan model
			Hay mod.	Kim ve Step.Mod.	
8-9	7	0.415	0.760	0.564	0.505
9-10	7	0.546	1.170	0.684	0.662
10-11	7	1.037	1.430	0.841	0.943
11-12	7	0.900	1.580	1.325	1.177
12-13	7	0.959	1.560	1.217	1.172
13-14	7	0.490	1.415	0.824	0.736
14-15	7	0.664	1.130	0.657	0.645
15-16	7	0.419	0.735	0.365	0.474
16-17	7	0.300	0.270	0.108	0.134
17-18	7	0.131	0.010	0.001	0.048
Karesel ortalama hata			0.528	0.266	0.181

Tablodan görüldüğü gibi bütün bulut tiplerinde Hay modelinden hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri genellikle hem ölçülen değerlerden hem de diğer model sonuçlarından daha yüksektir. Modellerden tahmin edilen saatlik toplam ışınımın ölçülen değerlerden farkını belirlemek için karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.

Hay modelinden hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri için karesel ortalama hata en fazla olup, bu çalışmada sunulan modelin alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için karesel ortalama hata değerleri diğer iki modele nazaran daha düşüktür. Kimura ve Stephenson modelinde bulutlu atmosferde gelen toplam ışınımın, açık atmosferde öngörülen ışınım oranı ile sadece bulut kapalılığı ara-

Tablo 5 - 7

Atmosferde sadece orta bulut varlığında, ölçülen değerlerle, model sonuçlarının ve karesel ortalama hata değerlerinin karşılaştırılması, 19 Ocak, 1985.

Saat	Bulut Kapalılığı (C)	Ölçülen	Toplam ışınım (MJ/M <sup>2</sup> sa)		Bu çalışma
			Hay mod.	Kim ve Step.mod.	
8-9	8	0.046	0.125	0.025	0.057
9-10	8	0.155	0.520	0.096	0.124
10-11	8	0.361	0.900	0.300	0.392
11-12	8	0.553	1.130	0.355	0.477
14-15	6	0.651	1.100	0.819	0.697
15-16	6	0.255	0.740	0.483	0.427
16-17	4	0.107	0.300	0.329	0.242
Karesel ortalama hata			0.420	0.139	0.091

Tablo - 5.8

Atmosferde sadece yüksek bulut varlığında, ölçülen değerlerle, model sonuçlarının ve karesel ortalama hata değerlerinin karşılaştırılması, 14 Haziran 1985.

Saat	Bulut Kapalılığı (C)	Ölçülen	Toplam Işınım (MJ/m <sup>2</sup> sa)		Bu çalışma
			Hay mod.	Kim ve Step.M.	
9-10	3	1.790	1.627	1.350	1.327
10-11	2	2.144	2.200	2.041	2.274
11-12	2	2.600	2.680	2.353	2.547
12-13	7	1.603	2.845	1.834	1.785
13-14	5	2.263	2.985	2.580	2.545
14-15	6	2.101	2.854	2.332	2.282
15-16	6	2.308	2.560	1.781	1.856
16-17	2	2.099	2.185	2.000	2.036
17-18	1	1.538	1.613	1.505	1.499
Karesel Ortalama hata			0.552	0.301	0.251

sında bir ilişki vardır. Bu çalışmada ise sözkonusu oran ile bulut kapalılığı ve ışının zenit açısı arasındaki ilişki gözönüne alınmıştır. Sonuç olarak, bulut kapalılığına, zenit açısı etkisi de katılarak ölçüm değerine daha yakın bir değer elde edilebilmektedir.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu çalışmada, birinci aşamada İstanbul için açık bir atmosferde yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım öngörüsü için parametrik bir model sunulmuştur. İkinci aşamada ise, açık atmosfer modelinden elde edilen değerlere, bulut kapalılığı ve zenit açısı etkisi ilave edilerek bulutlu bir atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınım öngörüsü için bağıntılar verilmiştir.

#### 6.1. Açık Atmosferde Saatlik Toplam Işınım Modeli Sonuçları

Açık atmosfer durumunda yeryüzeyine gelebilecek toplam ışınımı veren modelde, atmosferde güneş ışınımını azaltıcı faktörler olarak ozon, yağışa geçebilir su buharı ve aerosoller gözönüne alınmıştır. Bu sebepten öncelikle sözkonusu atmosfer bileşenlerinin miktarlarının hesaplanmasına çalışılmıştır. Ozon miktarı için, yıllık ortalama değer 0.33 cm. olarak alınmıştır. Yağışa geçebilir subuharı miktarının hesaplanması için Göztepe Meteoroloji İstasyonunun 10 yıllık (1975-1984) radyosonde verilerinden yararlanılmıştır. Her yıl için hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı ve çalışmada kullanılan 10 yıllık aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı değerleri Tablo A.1 de verilmiştir. Ortalama değerlerden, en düşük yağışa geçebilir subuharı miktarı Şubat ayı için 1.198 cm., en yüksek yağışa geçebilir subuharı miktarı ise, Temmuz ayın-

da 2.854 cm. olarak hesaplanmıştır. İstanbul için uzun yıllar ortalaması 1.931 cm. dir.

Atmosferdeki aerosol miktarı ile ilgili aerosol parametresi değerleri, model ve ölçüm sonuçlarından yararlanılarak aylık ortalama değerler halinde hesaplanmıştır. En yüksek aerosol parametresi değeri Ocak ayında 0.95, en düşük aerosol parametresi değeri ise Haziran ve Temmuz aylarında 0.82 olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama değer ise 0.88 olarak alınmıştır. Düşük aerosol parametresi değerlerinde, aerosollerle ilgili atmosfer geçirgenliği daha azdır. Hesap sonuçlarına göre atmosferdeki aerosol miktarının ışınım geçirgenliğini önemli bir şekilde etkilediği anlaşılmaktadır.

Yeryüzeyine ulaşan direkt ışınım, ozon tarafından absorpsiyon, hava molekülleri tarafından saçılma, aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılma etkileriyle ilgili geçirgenlik fonksiyonları yardımıyla hesaplanmıştır. Saatlik yaygın ışınım değerleri ise, moleküller ve aerosoller tarafından ileriye doğru saçılma faktörünün 0.6, geriye doğru saçılma faktörününün 0.4 olduğu bir atmosfer modeli için hesaplanmıştır. Saatlik toplam ışınım değerleri ise, direkt ve yaygın ışınımın toplamı olarak elde edilmiştir. İstanbul'da açık bir atmosferde gelebilecek saatlik toplam ışınım değerleri, güneşin doğuş ve batış saatleri gözönüne alınarak yıl boyunca her gün için, hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo B.1-B.2 de aylık tablolar halinde verilmiştir.

Çalışmada sunulan, açık atmosferde toplam ışınım modelinin işlerliğini incelemek için 97 adet saatlik toplam ışınım ölçümü ile aynı periyot için modelden hesaplanan değerler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki katsayısı 0.986, ortalama hata  $0.034 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , karesel ortalama hata  $0.106 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$  olarak elde edilmiştir. Saatlik toplam ışınım öngörüsündeki bağıl hata ise, % 4.5 olarak hesaplan-



mıştır. Zenit açısının küçük değerleri için hesaplanan saatlik toplam ışınlam değerleri ölçülen değerlere daha yakın olmaktadır. Güneşin doğuş ve batışı esnasında (yani, büyük zenit açılarındaki) pus, duman etkilerinden dolayı hesaplanan değerlerden daha küçük değerler ölçülmüştür.

Ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınlam değerlerinin ortalamalarının eşitliği hipotezi için Student t-testi, varyanslarının eşitliği hipotezi için Snedecor F-testi uygulanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan değerler, zenit açısının  $z \leq 30^\circ$ ,  $30^\circ < z \leq 50^\circ$ ,  $50^\circ < z \leq 70^\circ$ ,  $z > 70^\circ$  değerleri için dört sınıfta test edilmişlerdir. Sonuçta ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınlam değerlerinin ortalamalarının ve varyanslarının eşitliği hipotezlerinde anlam derecesi % 5 kabul edilmiştir.

Ozon, yağışa geçebilir subuharı miktarı, aerosoller parametresi ile ilgili sırasıyla  $u_{oz} = 0.33$  cm,  $u_w = 1.900$  cm,  $k = 0.88$  yıllık ortalama değerleri kullanılarak, ozon absorpsiyonu, hava molekülleri tarafından saçılma, subuharı ve aerosoller tarafından toplam azaltılmayla ilgili atmosfer geçirgenlikleri zenit açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Zenit açısının  $z \leq 70^\circ$  değerleri için ozon absorpsiyonu ile ilgili atmosfer geçirgenliği 0.99 dur. Atmosferik geçirgenliği en fazla etkileyen faktör aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılmadır. İstanbul için güneşin en dik geldiği 21 Haziran güneş öğlesinde zenit açısı,  $z = 17.54^\circ$  dir. Söz konusu zenit açısında, moleküler saçılmayla ilgili geçirgenlik, % 89, subuharı absorpsiyonu ve saçılmasıyla ilgili geçirgenlik % 91, aerosoller tarafından absorpsiyon ve saçılmayla ilgili geçirgenlik ise % 77 olarak hesaplanmıştır. Direkt ışınlam için atmosfer geçirgenliği ( $z = 17.54$  değeri için) % 62, toplam ışınlam için atmosfer geçirgenliği, aynı zenit açısında % 64 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada sunulan "açık atmosfer modelinin" sonuçları, Paltridge ve Platt ile Suckling ve Hay tarafın-

dan ileri sürülen iki modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 5 Nisan ve 11 Temmuz 1984 günlerine ait değerler örnek olarak verilmiştir. 5 Nisan için ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasındaki karesel ortalama hata Paltridge ve Platt modeli için  $0.234 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$ , Suckling ve Hay modeli için  $0.196 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$ , bu çalışmada sunulan model için de  $0.168 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$  dir. 11 Temmuz günü için yapılan hesaplamalarda, karesel ortalama hata değeri Paltridge ve Platt modeli için  $0.618 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$ , Suckling ve Hay modeli için  $0.312 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$ , bu çalışmada sunulan model için ise  $0.085$  olarak hesaplanmıştır.

## 6.2. Bulutlu Atmosferde Saatlik Toplam Işınım Modeli Sonuçları

Tezde bulutlu atmosferde yeryüzeyine gelebilecek saatlik toplam ışınım değerlerini hesaplamak için, bulutlu atmosferde ölçülen saatlik toplam ışınımın, açık günde gelebilecek saatlik toplam ışınımına oranı ( $G_b/G$ ) ile, aynı periyottaki bulut kapallılığı ( $C$ ), ve ışının ortalama zenit açısı ( $Z$ ) arasında

$$G_b/G = a_1 + a_2 C^2 \cos Z + a_3 C + a_4 \cos Z$$

şeklinde bir çoklu regresyon bağıntısı ileri sürülmüştür. Söz konusu bağıntı alçak, orta ve yüksek bulut tipleri ve çeşitli zenit açısı değerleri için incelenmiştir.

Atmosferde sadece alçak bulut olduğu durumda, yukarıda verilen bağıntı, zenit açısının  $z \leq 30^\circ$  koşulunda

$$G_b/G = 1.130 - 0.421 C^2 \cos Z - 0.258C - 0.155 \cos Z$$

$30^\circ < z \leq 50^\circ$  koşulunda,

$$G_b/G = 0.887 - 0.573 C^2 \cos Z - 0.236C + 0.128 \cos Z$$

$50^{\circ} < z \leq 70^{\circ}$  koşulunda,

$$G_b/G = 0.747 - 0.986C^2 \cos Z - 0.250C + 0.434 \cos Z$$

$z > 70^{\circ}$  koşulunda,

$$G_b/G = 0.824 - 1.304C^2 \cos Z - 0.509C + 0.544 \cos Z$$

şeklinde hesaplanmıştır. Alçak bulut için verilen geçirgenlik eğrileri ile ilgili ortalama çoklu ilişki katsayısı ve tahminin standart hatası sırasıyla 0.889, 0.011 MJ/m<sup>2</sup>sa olarak elde edilmiştir.

Orta bulut durumunda ise, zenit açısının  $30^{\circ} < z \leq 50^{\circ}$  koşulu için,

$$G_b/G = 0.779 - 0.278C^2 \cos Z - 0.428C + 0.271 \cos Z$$

$50^{\circ} < z \leq 70^{\circ}$  koşulu için,

$$G_b/G = 0.883 - 0.321C^2 \cos Z - 0.537C + 0.175 \cos Z$$

$z > 70^{\circ}$  için,

$$G_b/G = 0.926 - 0.830C^2 \cos Z - 0.575C + 0.042 \cos Z$$

bağıntıları verilmiştir. Ortalama ilişki katsayısı ve tahminin standart hatası sırasıyla 0.917, 0.008 MJ/m<sup>2</sup>sa olarak hesaplanmıştır.

Atmosferde sadece yüksek bulut olduğu durumda zenit açısının  $z \leq 30^{\circ}$  koşulu için bağıntılar,

$$G_b/G = 0.955 - 0.307C^2 \cos Z - 0.088C + 0.036 \cos Z$$

$30^{\circ} < z \leq 50^{\circ}$  koşulu için,

$$G_b/G = 0.834 - 0.411C^2 \cos Z - 0.137C + 0.182 \cos Z$$

$50^\circ < z \leq 70^\circ$  koşulu için

$$G_b/G = 1.011 - 0.357C^2 \cos Z - 0.352C + 0.073 \cos Z$$

şeklinde elde edilmiştir. Bağıntılarla ilgili ortalama ilişki katsayısı ve tahminin standart hatası sırasıyla 0.932 ve  $0.004 \text{ MJ/m}^2$  sa olarak hesaplanmıştır.

Tamamen bulutlarla kapalı bir atmosferde ( $C = 8$ ) yeryüzeyine gelen toplam ışınımın, açık atmosferde gelebilecek toplam ışınım oranı ( $G_b/G$ ), bulut geçirgenliği olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, alçak bulut tipi için bulut geçirgenliği değerleri, zenit açısının  $25^\circ$ ,  $40^\circ$   $60^\circ$  ve  $75^\circ$  değerleri için sırasıyla, 0.35, 0.31, 0.22 ve 0.12 olarak hesaplanmıştır. Alçak bulutların ortalama geçirgenliği ortalama olarak 0.25 dir. Orta bulut tipinde  $40^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $75^\circ$  lik zenit açılarındaki geçirgenlik değerleri sırasıyla 0.35, 0.27 ve 0.17 olup ortalama olarak 0.26 dır. Yüksek bulut tipi için ise geçirgenlik değerleri zenit açısının  $25^\circ$ ,  $40^\circ$  ve  $60^\circ$  değerleri için sırasıyla, 0.62, 0.52 ve 0.44 olarak elde edilmiştir. Yüksek bulut tipi için ortalama geçirgenlik 0.53 dür. Sonuç olarak, alçak bulutların geçirgenliğinin en az olduğu ve bulut geçirgenliğinin zenit açısının artmasıyla azaldığı görülmektedir.

Bulutlu atmosferde (alçak, orta ve yüksek bulut tipleri için) çeşitli bulut kapalılıklarında saatlik toplam ışınım ölçümleriyle, hesaplanmış değerler karşılaştırılmıştır. İlişki katsayıları alçak bulutlar için 0.930, orta bulutlar için 0.961, yüksek bulutlar için 0.978 olmak üzere ortalama ilişki katsayısı 0.956 olarak hesaplanmıştır. Bağıl hata değeri alçak bulutlar için % 19.2, orta bulutlar için % 12.8, yüksek bulutlar için % 8.4 olmak üzere, ortalama % 13.3 dür.

Ölçülen ve hesaplanan saatlik toplam ışınım değerleri arasında Student-t ve Snecedor F-testleri uygulanmıştır. Bu testler dört zenit açısı sınıfı ( $z \leq 30^\circ$ ,  $30^\circ < z \leq 50^\circ$ ,  $50^\circ < z \leq 70^\circ$  ve  $z > 70^\circ$ ) ve dört bulutluluk sınıfı (1-2, 3-4, 5-6, 7-8) gözönüne alınmasıyla 16 sınıf için yapılmıştır. Student t-testinde bütün sınıflarda, Snedecor F-testinde zenit açısının  $50^\circ$  den büyük, bulut kapalılığının da 7-8 olduğu üç sınıf dışında anlam derecesi % 5 olarak kabul edilmiştir. Diğerleri için anlam derecesi % 5 den büyüktür. Bulut kapalılığı ve zenit açısı değerleri arttıkça ölçülen ve hesaplanan toplam ışınım değerleri arasındaki fark da artmaktadır.

Bu çalışmada bulutlu atmosfer için verilen model Hay, Kimura ve Stephenson tarafından ileri sürülen iki modelle karşılaştırılmıştır. Örnek olarak seçilen üç gün (8 Mart, 19 Ocak, 14 Haziran) için model sonuçları ve ölçüm sonuçları arasındaki karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata değerlerinin üç günlük ortalaması, Hay için  $0.500 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , Kimura ve Stephenson'un modeli için  $0.235 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , bu çalışmada sunulan model için  $0.174 \text{ MJ/m}^2\text{sa}$ , olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak bu çalışmada sunulan modellerden açık ve bulutlu atmosferde saatlik ışınım öngörüsü için yararlanabilir. Özellikle açık atmosfer modelinin uygulanması istendiğinde, seçilen bölgenin atmosferine ait ozon, subuharı miktarı ve aerosol parametresi ile ilgili bilgilerin verilmesi gerekir. Ayrıca, bu çalışmada güneş ışınımının atmosfer tarafından azaltılmasında ozon, kuru hava molekülleri, subuharı, aerosoller ve bulutların etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmaya dayanarak aşağıdaki öneriler ileri sürülebilir :

Bir bölgede güneş enerjisinden en iyi şekilde ya-

rarlanmak için, bölgenin güneş ışınımı klimatolojisinin belirlenmesi gerekir. Bunun için de uzun süreli ve hassas bir şekilde ölçülmüş güneş ışınımı verisine ihtiyaç vardır. Güneş ışınımı ölçülen istasyonların çok sayıda olması da, bölgenin ışınım potansiyelini ve yapılacak öngörülerini sağlıklı bir şekilde belirlemede etkilidir. Direkt, yaygın ve toplam ışınımın çeşitli spektral bantlarda ölçülmesi atmosfer bileşenlerinin miktarları hakkında bilgi verir. Ayrıca direkt yaygın ve toplam ışınım ölçülen istasyonlarda, bu değerlerle sıkı ilişkide olan, güneşlenme süresi, sıcaklık, bağıl nem, bulut kapalılığı, bulut tipi ve kalınlığı gibi parametreler eş zamanlı olarak kaydedilmektedir. Özellikle ülkemizde güneş ışınımı ölçümü ile ilgili istasyonlar oldukça yetersizdir. Yukarıda belirtilen hususlar gözönüne alınarak hassas aletlerle donatılmış bir güneş ışınımı ölçüm şebekesinin kurulması bu konuda yapılacak çalışmalarını hızlandıracak ve yeni çalışmalara ışık tutacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Zamansal ve Alansal Dağılımı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara, 1983.
- [2] ÜLTANIR, M.Ö., Türkiye'nin Enerji Planlaması ve Politikası Kapsamında Güneş Enerjisinin Yeri Nedir ve Ne Olmalıdır"? Güneş Enerjisi Konferansı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Direktörlüğü, Ankara, 137-160, 1984.
- [3] COULSON, K.C., Solar and Terrestrial Radiation, Academic Press, 1975.
- [4] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., Solar Energy Thermal Processes, John Willey Sons, 1974.
- [5] THEKAEKARA, M.P., Survey of Quantitative Data on the Solar Energy and Its Spectral Distribution, Heliotechnique and Development, NASA, 47-71, 1975.
- [6] LIOU, K.N., An Introduction to Atmospheric Radiation, Academic Press, 1980.
- [7] KONDRATYEV, K.Y., Radiation in the Atmosphere, Academic Press, 1969.
- [8] ROBINSON, N., Solar Radiation, Elsevier Publishing Company, 1966.
- [9] MANABE, S. and F.R. STRICKLER, Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Convective Adjustment Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.21, 361-385, 1964.
- [10] LACIS, A.A. and J.E. HANSEN, A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere, Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.31, 118-133, 1974.

- [11] PALTRIDGE, G.W., C.M.R. PLATT, Radiative Processes in Meteorology and Climatology, Elsevier Publishing Company, 1976.
- [12] YAMAMATO, G., Direct Absorbtion of Solar Radiation by Atmospheric Water Vapor, Carbon Dioxide and Molecular Oxygen, Journ.of the Atmospheric Sciences, Vol.19, 182-188, 1962.
- [13] KRATZ, D.P. and R.D. CESS, Solar Absorbtion by Atmospheric Water Vapor : A Comparison of Radiation Model, Tellus Vol. 37 B, 53-63, 1985.
- [14] Define, Develop and Establish a Merged Solar and Meteorological Computer Data Base, Report No 80-8, Atmospheric Environment Service, Canadian Climate Centre, 1980.
- [15] YAMAMATO, G. and M. TANAKA, Increase of Global Albedo Due to Air Pollution, Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.29, 1405-1412, 1972.
- [16] IQBAL, M., An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, 1983.
- [17] DAVIES, A. John, Models for Estimating Incoming Solar Irradiance, Atmospheric Environment service Report, No.81-2, 1981.
- [18] LIU, B. and R. JORDAN, The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Solar Energy, Vol.4, 1-19, 1960.
- [19] CHOUDHURY, N.K.D., Solar Radiation at New Delhi Solar Energy, Vol.1 44-52, 1962.
- [20] GORDON, M.J. and M.HOCHMAN, On Correlation Between Beam and Global Radiation, Solar Energy, Vol.32, 329-336, 1984.
- [21] GARRISON, J.D. A Study of Solar Irradiation Data for Six Sites, Solar Energy, Vol. 23, 237-249, 1984.
- [22] BAKER- B.C., Evaluation of the Estimation of Diffuse Irradiance from Global and Direct Normal Irradiance Measurements, Solar Energy, Vol 32, 25-31, 1984.
- [23] BARTOLI, B., V.CUOMU, U. AMATO- Diffuse and Beam Components of Daily Global Radiation in Genova and Macerata, Solar Energy, Vol.28 307-311, 1982.



- [24] GARRISON, J.D., A Study of the Division of Global Irradiance into Direct and Diffuse Irradiance at Thirty-three U.S. Sites, Solar Energy, Vol.35, 341-351, 1985.
- [25] KING, R. and R.O. BUCKIUS, Direct Solar Transmittance for Clear Sky, Solar Energy, Vol.22, 297-301, 1979.
- [26] KILIÇ, A., Direkt Güneş Işınımı Tayini İçin Yeni Bir Metod, Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1982.
- [27] BARLA, M.C., Türkiye'de Global Güneş Reyonmanından Yararlanma Olasılığı, Doktora Tezi, İ.T.Ü
- [28] FLOCAS, A.A., Estimation and Prediction of Global Solar Radiation Over Greece, Solar Energy Vol.24, 63,70, 1980.
- [29] EDWARDS, P.R. and T.J. Lyons, Estimating Global Solar Irradiance for Western Australia Part II, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.B., Vol.30, 37-382, 1982.
- [30] KHOGALİ, A., M.R.RAMADAN, Global and Diffuse solar Irradiance in Yemen, Solar Energy, Vol.31 55-62, 1983.
- [31] HUTCHINSON, M.F., T.H.BOOTH, Estimating Monthly Mean Values of Daily Total Solar Radiation for Australia, Solar Energy, Vol.32, 277-290, 1984.
- [32] MANI, A., S.RANGARAJAN, Techniques for the Precise Estimation of Hourly Values of Global, Diffuse and Direct Solar Radiation, Solar Energy, Vol.31, 577-595, 1983.
- [33] NORRIS, D.J., Correlation of Solar Radiation With Clouds, Solar Energy, Vol.12, 107-112, 1968.
- [34] KATSAROS, K.B. and R.J. LIND, Comparison of Parameterization of Radiative Fluxes at the Air-Sea Interface to Measurements, No.462, University of Washington, 1984.
- [35] ERBS, D.G., S.A. KLEIN, J.A. DUFFIE, Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly Daily and Monthly-Average Global Radiation Solar Energy Vol.28, 293-302, 1982.

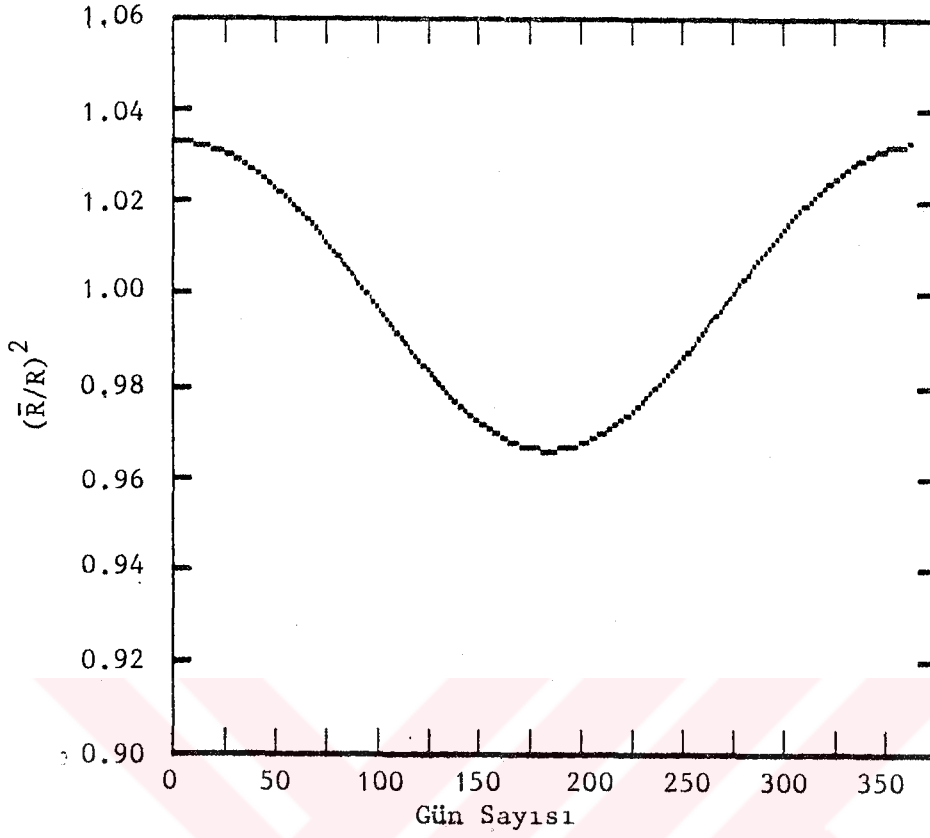
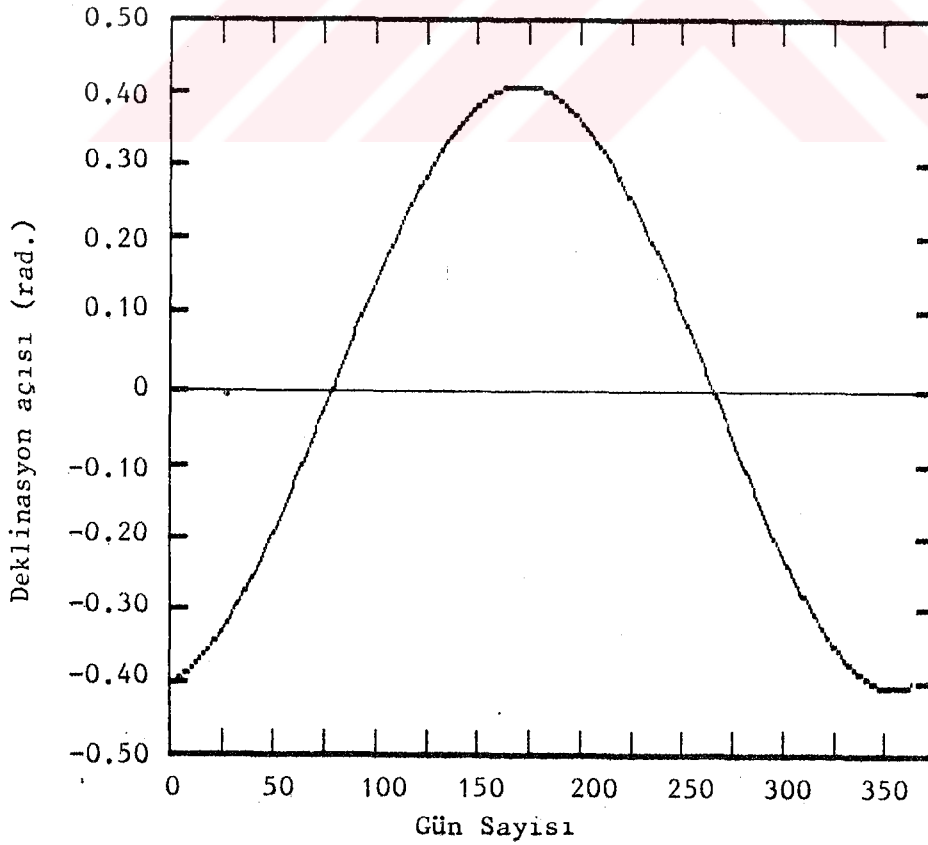
- [36] IDERIAH, F.J.K., On the Relationship Between Diffuse and Global Solar Radiation, Solar Energy, Vol.31, 119-124, 1983.
- [37] SMIETANA, P.J., J.R. FLOCCHINI, A New Look at the Correlation of  $K_d$  and  $K_t$  Ratios and at Global Solar Radiation Tilt Models Using One-Minute Measurements, Solar Energy, Vol.32, 99-107, 1984.
- [38] NAGARAJA, C.R., A.B. WILLIAM and Y.L. TAE, The Diffuse Component of the Daily Global Solar Irradiation at Corvallis, Oregon (U.S.A.) Solar Energy, Vol.32, 637-641, 1984.
- [39] Güneş Enerjisi ve Meteorolojik Uygulamasına Giriş, MBEAE/MESB, TUBITAK, 1982.
- [40] ONYANGO, F., On the Estimation of Global Solar Insolation, Solar Energy, Vol.31, 69-71, 1983.
- [41] AHMAD, I., N.HAMADANI, Solar Radiation Maps for Iraq, Solar Energy, Vol.31, 29-44, 1983.
- [42] DUGAS, W. and M. HEUER, Relationship Between Measured and Satellite-Estimated Solar Irradiance in Texas, Journ. of Climate and Applied Met. Vol.24, 751-757, 1985.
- [43] ATWATER, A.M. and S.P. BROWN, Numerical Computations of the Latitudinal Variation of Solar Radiation for an Atmosphere of Varying Opacity, Journ. of Applied Metl. Vol.13, 289-279, 1974.
- [44] LUMB. F.E., The Influence of Clouds on Hourly Amount of Total Solar Radiation at the Sea Surface, Quart.Journ. Royal Meteorology Society, 90, 43-54, 1964.
- [45] EXELL, R.H.B. A Mathematical Model for Solar Radiation in South-East Asia, Solar Energy, Vol. 26, 161-168, 1981.
- [46] ADAWI, M.K., M.N.NIKLAWI, A.A.KUTUB, Estimation of the Hourly Solar Irradiance on a Horizontal Surface, Solar Energy, Vol.36, 129-134, 1986.
- [47] DAVIES- J.A., W.SHERTZER, M.NUNEZ, Estimating Global Solar radiation, Boundary Layer Meteorology, Vol.9, 33-52, 1975.

- [48] DAVIES, A.J., Models for Estimating Incoming Solar Irradiance, Canadian Climate Centre, Report No.81-2, Atmospheric Environment Service, 1981.
- [49] DAVIES, J.A. and D.MCKAY, Estimating Solar Irradiance and Components, Solar Energy, Vol.29, 55-64, 1982.
- [50] SUCKLING, P.W. and J.E. HAY, Modelling, Direct, Diffuse and Total Solar Radiation for Cloudless Days, Atmosphere, Vol.14, 298-308, 1976.
- [51] HOYT, D.V., A Model for the Calculation of Solar Global Insolation, Solar Energy, Vol. 21, 27-35, 1978.
- [52] CHOUDHURY, B., A Parameterized Model for Global Insolation Under Partially Cloudy Skies, Solar Energy, Vol.29, 479-486, 1982.
- [53] SHERRY, J.E. and C.G.JUSTUS, A Simple Hourly Clear-Sky Solar Radiation Model Based on Meteorological Parameters, Solar Energy Vol.30, 425-431, 1983.
- [54] KAMADA, R.F. and R.G. FLOCCHINI, Gaussian Solar Flux Model, Solar Energy, Vol.36, 73-87, 1986.
- [55] HANSEN, V., Spectral Distribution of Solar Radiation on Clear Days. A Comparison Between Measurements and model Estimates, Solar Energy, Vol.23, 772,780, 1984.
- [56] JUSTUS, C.G. and M.V. PARIS, A Model for solar Spectral Irradiance and radiance at the Bottom and Top of a Cloudless Atmosphere, Journ.of Climate and Applied, Meteorology, Vol.24, 193-205, 1985.
- [57] KIMURA, K. and D.G. STEPHENSON, Solar Radiation on Cloudy Days, Research Paper No.418 of the Divison of Building Research, National Research Council of Canada, 1969.
- [58] WON, T.K., The Simulation of Hourly Global radiation from Hourly Reported Meteorological Parameters-Canadian Prairie Area, 3rd Annual General Meeting and Conference Solar Energy Society of Canada, 1977.

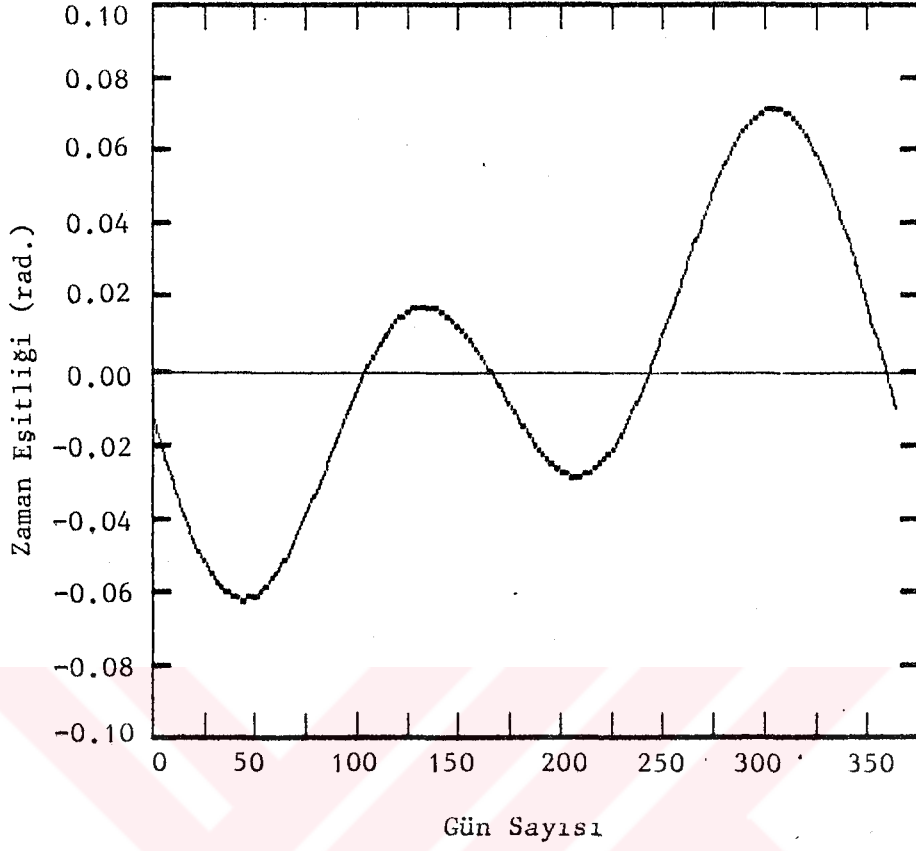
- [59] SUCKLING, P.W. and J.E. HAY, A Cloud Layer-Sunshine Model for Estimating Direct, Diffuse and Total solar Radiation, Atmosphere, Vol.15 194-207, 1977.
- [60] KASTEN, F., G.CZEPLAK, Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud Solar Energy, Vol.24, 177-189, 1980.
- [61] CHOUDHURY, B., A Parameterized Model for Global Insolation Under Partially Cloudy Skies, Solar Energy, Vol.29, 279-486, 1982.
- [62] ATWATER, M.A. and J.T. BALL, A Numerical Solar Radiation Model Based on Standard Meteorological Observations, Solar Energy, Vol.21, 163-170, 1978.
- [63] FEIGELSON, E.M., Preliminary Radiation Model of a Cloudy Atmosphere Part I - Structure of Clouds and Solar Radiation, Beitr. Phys. Atmosph. Vol.51, 203-229, 1978.
- [64] ATWATER, M.A. and J.T.BALL, A Surface solar Radiation Model for Cloudy Atmospheres, Monthly, Weather Review, Vol.109, 878-888, 1981.
- [65] LENOBLE, J., Radiative Transfer in Scattering and Absorbing Atmospheres : Standard Computational Procedures, A Deepak Publishing, 1985.
- [66] BRASLAU, N. and J.V. DAVE, Effect of Aerosols on the Transfer of Solar Energy Through Realistic Model Atmospheres, Part I, Non-absorbing Aerosols, Journ. Applied Met. Vol.12, 601-615, 1973.
- [67] DAVE, J.V. and N.BRASLAU, Effect of Cloudiness on the Transfer of Solar Energy Through Realistic Model Atmospheres, Journ. Applied Met. Vol.14, 388-395, 1975.
- [68] LIOU, K.N. and T.SASAMORI, On the Transfer of Solar radiation in Aerosol Atmospheres, Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.32, 2166-2177, 1975.
- [69] LIOU, K.N., On the Absorption, Reflection and Transmission of Solar Radiation in Cloudy Atmospheres, Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.33, 798-805, 1976.

- [70] ABUR, G., Solar Energy Distribution in Turkey, Kandilli Rasathanesi, İstanbul, 1978.
- [71] GÜRER, I., A.ARIKAN, E.BAYAR and N.ERKUS, Monitoring and Use of Solar Energy in Turkey, İzmir International Symposium II on Solar Energy Fundamentals and Applications, İzmir, 1979.
- [72] Smithsonian Meteorological Tables, Smithsonian Institution, 1951.
- [73] IGY Instruction Manual, Radiation Instruments and Measurements, Part VI, Pergamon Press
- [74] DOPPLICK, T.G., Radiative Heating of the Global Atmosphere, Journ. of the Atmospheric Sciences, Vol.29, 1278-1294, 1972.
- [75] SEINFELD, J.H. Air Pollution Physical and Chemical Fundamentals, McGraw Hill Book Company, 1975.
- [76] TURNER, W.D. and A.MUJAHID, The Estimation of Hourly Global Solar Radiation Using a Cloud Cover Model Developed at Blytheville, Arkansas, Journ.of Climate and Applied Meteorology, Vol.23, 781-786, 1984.
- [77] DOPPLICK, T., Radiative Heating of the Global Atmosphere, Journ. of Atmospheric Sciences, Vol. 29, 1278-1294, 1972.
- [78] MANI, A. and O.CHACKO, Attenuation of Solar Radiation in the Atmosphere, Solar Energy, Vol.24, 347-349, 1980.
- [79] HAY, J.E., Precipitable Water Over Canada, Atmosphere Vol.8, 128-143, 1970.

EK - A

Şekil A.1-  $(\bar{R}/R)^2$  değerlerinin yıl boyunca değişimi

Şekil A.2- deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi



Şekil A.3- Zaman eşitliğinin yıl boyunca değişimi

TABLO - A.1

Göstepe Meteoroloji İstasyonunun radyosonde verilerinden hesaplanan aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı (cm) değerleri

Aylar	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Ort.
Ocak	1.160	1.182	1.227	1.322	1.257	1.238	1.241	1.155	1.081	1.361	1.222
Şubat	1.180	1.032	1.292	1.471	1.443	1.108	1.198	1.063	0.990	1.198	1.198
Mart	1.478	1.268	1.157	1.356	1.551	1.432	1.216	1.127	1.250	1.352	1.319
Nisan	1.820	1.622	1.272	1.531	1.581	1.370	1.243	1.654	1.792	1.534	1.542
Mayıs	2.104	2.011	1.853	1.881	2.443	1.795	1.654	2.262	2.368	2.077	2.045
Haziran	2.520	2.398	2.244	2.389	2.753	2.394	2.003	2.459	2.559	2.206	2.393
Temmuz	2.485	2.845	2.133	2.813	2.975	2.690	3.440	3.092	3.352	2.713	2.854
Ağustos	2.955	2.729	2.359	2.467	3.309	2.652	2.994	3.134	3.132	2.526	2.826
Eylül	2.408	2.521	2.236	-	2.698	2.124	2.797	2.882	2.422	2.374	2.496
Ekim	2.318	2.551	1.652	1.962	2.361	2.182	2.255	2.501	2.110	2.178	2.207
Kasım	1.439	1.822	1.958	-	1.976	1.872	1.305	1.479	1.593	-	1.681
Aralık	1.460	1.414	1.322	1.450	1.519	1.356	1.348	-	1.492	1.185	1.394



## EK B - 1 Bilgisayar Programı

```

*****
**      AGIK ATMOSFERDE SAATLIK TOPLAM ISINIM MODELİ      **
**      GUN IS TERIMLERI                                     **
**      FI : ENLEM DERJESİ (RAD)                            **
**      SO : STANDART BOYLAM (DER)                          **
**      YO : YEREL BOYLAM (DER)                             **
**      SC : GUNES SABITI (MJ/M2 SA)                         **
**      YSI : YASISA GEÇEBİLİR SUDUARI MIKTARI (CM)         **
**      X : APOSOUL PARAMETRESİ                             **
**      P : YOZEY BASINCI (KPA)                             **
**      TT : YOZEY SICAKLIĞI ( K)                            **
**      XH : MINIMUM SAAT ACISI (RAD)                       **
**      SA : YOZEY ALBEDOSU                                 **
**      GUN IS TERIMI                                        **
**      TRAD : SAATLIK TOPLAM ISINIM (MJ/M2 SA)            **
*****
DIMENSION ST(30),TST(30),H(30),CZ(30),OH(30),OMR(30),TWA(30)
DIMENSION TWS(30),TR(30),TWA1(30),TWS1(30),TAA(30),TAS(30)
DIMENSION AB(30),AC(30),AD(30),AE(30),YAY1(30),YAY2(30),YAY3(30)
DIMENSION YAY4(30),YAY5(30),BIA(30),YAY(30),TRAD(30),ATD(30)
DIMENSION OZ(30),O1(30),O2(30),O3(30),OA(30),TO(30),TA(30)

DATA FI,SO,YO,SC,XH/0.715,45.00,29.07,4.871,1.15/
DATA YSI,X,P,TT,SA/1.222,0.95,101.3,280.1,0.40/

WRITE(6,18)
18 FORMAT('-----',/)
*
WRITE(6,14)
14 FORMAT('PARALEL',50X,'SAAT',/)
WRITE(6,17)
17 FORMAT('GON',2X,'5-6',4X,'6-7',4X,'7-8',4X,'8-9',2X,'9-10',
*2X,'10-11',2X,'11-12',2X,'12-13',2X,'13-14',2X,'14-15',2X,'15-16',
*2X,'16-17',2X,'17-18',2X,'18-19',2X,'19-20',2X,'20-21',/,)
*
SD=15-IDA=0,30
PY=3.14159
TCT=(2*3.14*IDA)/365
CA=COS(TCT)
SA=SIN(TCT)
TCT2=2.*TCT
C2A=COS(TCT2)
S2A=SIN(TCT2)
TCT3=3.*TCT
C3A=COS(TCT3)
S3A=SIN(TCT3)

ZAMAN ESITLIGI
TE=0.093075+0.001869*CA-0.032077*SA-0.14615*C2A-0.040849*S2A
TE=TE*120*4/PY
CV=PY/190
OD=25 K=5.21
ST(K)=K+0.5
TST(K)=ST(K)+(TE/60)-((30.00-29.07)/15.)
H(K)=ABS(12.-TST(K))*15.*CV

DEFLEKASYON ACISI
DLA=0.002018-0.290912*CA+0.070257*SA-0.006759*C2A+0.000907*S2A
+0.002697*C3A+0.001480*S3A
AA=SIN(DLA)*SIN(DEK)
BB=COS(DLA)*COS(DEK)
IF (H(K).LE.XH) GO TO 20
GO TO 34
20 CZ(K)=AA+BB*COS(H(K))

OPTIK HAVA KUTLESİ
OH(K)=25./((1224.*(CZ(K)**2.))+1.)**0.5)
OM(K)=OMR(K)*(P/101.3)
CF=1.00011+0.034221*CA+0.00128*SA-0.000719*C2A+0.000077*S2A
DIO=SC*CF
ATD(K)=DIO*CZ(K)
AB(K)=OH(K)**0.3
AC(K)=OH(K)**2
AD(K)=OH(K)**3
AE(K)=OH(K)**4

OZUN OLUCUGUNLIGI
OZ(K)=0.32*OH(K)
O1(K)=0.1082/(1+13.86*OZ(K))**0.805
O2(K)=(0.00659*OZ(K))/(1+(10.36*OZ(K))**2)

```

```

D3(K)=(0.002118*CZ(K))/(1+0.0042*CZ(K)+0.00000323*(CZ(K)**2))
DA(K)=D1(K)+D2(K)+D3(K)
DO(K)=1-DA(K)
C
C SUPUNARI TARAFINDAN GECIRGENLIK
C
YS=YS1*(IP/101.3)**0.75)*((273/TT)**0.5)
TWA(K)=1-(0.039*(YS**0.3)+AS(K))
TWS(K)=1-(0.0225*YS*OH(K))
C
C RAYLEIGH SACILMASI
C
TR(K)=0.972-0.032(2*DM(K)+0.00933*AC(K)-0.00095*AD(K)+0.0000437
+*AF(K))
THA1(K)=1-(0.039*(YS**0.3)*(1.66**0.3))
TWS1(K)=1-(0.0225*(YS*1.66))
TR1=0.857
C
C AEROSOLLER TARAFINDAN GECIRGENLIK
C
TAA(K)=X**OH(K)
TAS(K)=X**OH(K)
TAS1=X**1.66
TAA1=X**1.66
C
C TOPLAM ISIRIMIN HESAPLANMASI
C
DIR(K)=DID*CZ(K)*TWA(K)*TAA(K)*TWS(K)*TR(K)*TAS(K)*TO(K)
YAY1(K)=1-(TWS(K)*TR(K)*TAS(K))
YAY2(K)=0.60*DID*CZ(K)*TWA(K)*TAA(K)*YAY1(K)
YAY3(K)=0.40*(DIR(K)+YAY2(K))
YAY4(K)=1-TWS1(K)*TR1*TAS1
YAY5(K)=YAY3(K)*0.40*THA1(K)*TAA1*YAY4(K)
YAY(K)=YAY2(K)+YAY5(K)
TRAD(K)=DIR(K)+YAY(K)
GO TO 35
34 TRAD(K)=0.
35 CONTINUE
WRITE (6,63) IDA, (TRAD(K), K=5,21)
63 FORMAT (13,10F7.3)
15 CONTINUE
STOP
END

```

```

*****
**      BULUTLU ATMOSFER KOSULUNDA SAATLIK TOPLAM ISINIM TAHMINI      **
**      İÇİN ÇOKLU REGRESYON BAĞINTISI                                **
**      *                                                                 **
**      GİRİŞ TERİMLERİ                                             **
**      N1 : VERİ SAYISI                                           **
**      C(I) : BULUT KAPALILIĞI VERİSİ (1/8)                       **
**      X1(I) : BULUTLU ATMOSFERDE ÖLÇÜLEN TOPLAM ISINIMIN AÇIK    **
**            ATMOSFER İÇİN HESAPLANAN DEĞERE ORANI                **
**      CZ(I) : ZENİT AÇISININ COSİNSÜ                               **
**      CO : SABİT BİR COSZ DEĞERİ                                  **
**      CT(LL) : BULUT KAPALILIĞI (1-8)                             **
**      *                                                                 **
**      ÇIKIŞ TERİMLERİ                                             **
**      COR : ÇOKLU İLİŞKİ KATSAYISI                                **
**      TSH : TAHMİNİN STANDART HATASI                              **
**      X(I) : ÇOKLU REGRESYON BAĞINTISININ KATSAYILARI           **
**      C(LL) : VERİLEN BİR COSZ DEĞERİ İÇİN BULUT KAPALILIĞINA  **
**            BAĞLI SECİRGENLİK ORANLARI                           **
*****
DIMENSION X1(300),X2(300),X3(300),X4(300),C(300),CZ(300)
DIMENSION A(20,20),B(20),X(20),CT(20),CC(20),G(20),C2(20),HG(300)
READ (5,4) N1
4 FORMAT (15)
READ (5,5) (C(I),I=1,N1)
5 FORMAT (4)F2.0)
READ (5,6) (X1(I),I=1,N1)
6 FORMAT (10)F3.3)
READ (5,7) (CZ(I),I=1,N1)
7 FORMAT (10)F3.3)
DO 15 I=1,N1
X2(I)=(C(I)/8.)*2*CZ(I)
X3(I)=(C(I)/8.)
X4(I)=CZ(I)
C2(I)=C(I)/8.
15 CONTINUE
TX1=0.
TX12=0.
TX2=0.
TX3=0.
TX4=0.
TX1X2=0.
TX22=0.
TX2X4=0.
TX1X3=0.
TX32=0.
TX3X4=0.
TX1X4=0.
TX42=0.
TX2X3=0.
DO 25 I=1,N1
TX12=TX12+X1(I)**2
TX1=TX1+X1(I)
TX2=TX2+X2(I)
TX3=TX3+X3(I)
TX4=TX4+X4(I)
TX1X2=TX1X2+X1(I)*X2(I)
TX22=TX22+X2(I)**2
TX2X3=TX2X3+X2(I)*X3(I)
TX2X4=TX2X4+X2(I)*X4(I)
TX1X3=TX1X3+X1(I)*X3(I)
TX32=TX32+X3(I)**2
TX3X4=TX3X4+X3(I)*X4(I)
TX1X4=TX1X4+X1(I)*X4(I)
TX42=TX42+X4(I)**2
25 CONTINUE
A(1,1)=N1
A(1,2)=TX2
A(1,3)=TX3
A(1,4)=TX4
A(2,1)=A(1,2)
A(2,2)=TX22
A(2,3)=TX2X3
A(2,4)=TX2X4
A(3,1)=TX3
A(3,2)=A(2,3)
A(3,3)=TX32
A(3,4)=TX3X4
A(4,1)=TX4
A(4,2)=TX2X4
A(4,3)=A(3,4)
A(4,4)=TX42
B(1)=TX1
B(2)=TX1X2
B(3)=TX1X3
B(4)=TX1X4

```

C ÇOKLU İLİSKİ KATSAYILARININ HESAPLANMASI

```

C
R12=(N1*TX1X2-TX1*TX2)/SQRT((N1*TX12-TX1**2)*(N1*TX22-TX2**2))
R13=(N1*TX1X3-TX1*TX3)/SQRT((N1*TX12-TX1**2)*(N1*TX32-TX3**2))
R23=(N1*TX2X3-TX2*TX3)/SQRT((N1*TX22-TX2**2)*(N1*TX32-TX3**2))
R14=(N1*TX1X4-TX1*TX4)/SQRT((N1*TX12-TX1**2)*(N1*TX42-TX4**2))
R34=(N1*TX3X4-TX3*TX4)/SQRT((N1*TX32-TX3**2)*(N1*TX42-TX4**2))
R24=(N1*TX2X4-TX2*TX4)/SQRT((N1*TX22-TX2**2)*(N1*TX42-TX4**2))
R132=(R13-R12*R23)/SQRT((1-R12**2)*(1-R23**2))
R143=(R14-R13*R23)/SQRT((1-R13**2)*(1-R23**2))
R123=(R13-R13*R23)/SQRT((1-R13**2)*(1-R23**2))
R243=(R24-R23*R34)/SQRT((1-R23**2)*(1-R34**2))
R1423=(R143-R123*R243)/SQRT((1-R123**2)*(1-R243**2))
COR=SQRT(1-(1-R12**2)*(1-R132**2)*(1-R1423**2))
WRITE(6,10) COR
10 FORMAT(F10.6,/)

```

C GAUSS-SİLDEL YÖNTEMİ İLE ÇOKLU REGRESYON BAĞINTISININ KATSAYILARININ HESAPLANMASI

```

C
8 READ(5,3) N, KK
FORMAT(2I4)
NE1=N-1
DO 20 I=1, NE1
IA1=I+1
B(J)=0.
DO 22 J=IA1, N
PIV=A(J, I)/A(I, I)
A(J, I)=0.0
DO 24 K=IA1, N
A(J, K)=A(J, K)-A(I, K)*PIV
24 CONTINUE
B(J)=B(J)-B(I)*PIV
22 CONTINUE
20 CONTINUE
X(N)=B(N)/A(N, N)
DO 30 J=1, NE1
NEJ=N-J
L=NEJ+1
TOP=0.
DO 32 I=L, N
TOP=TOP+A(NEJ, I)*X(I)
32 CONTINUE
X(NEJ)=(B(NEJ)-TOP)/A(NEJ, NEJ)
30 CONTINUE
WRITE(6,11)
11 FORMAT('KATSAYILAR')
WRITE(6,21)(X(I), I=1, N)
21 FORMAT(4F14.3)
READ(5,35) (CT(LL), LL=1, KK)
35 FORMAT(9F2.0)
READ(5,36) CD
36 FORMAT(F5.3)

```

C ÇEÇİRGENLİK ORANI

```

C
DO 50 LL=1, KK
CC(LL)=CT(LL)/CD.
G(LL)=X(1)+X(2)*(CC(LL)**2)*CD+X(3)*CC(LL)+X(4)*CD
50 CONTINUE
C
TAHMİNİN STANDART HATAS9
TS=0
DO 45 I=1, N1
HG(I)=X(1)+X(2)*(C2(I)**2)*CZ(I)+X(3)*C2(I)+X(4)*CZ(I)
45 TS=TSH+((X1(I)-HG(I))**2)
TSH=SQRT(TS)/N1
WRITE(6,54)
54 FORMAT('ÇEÇİRGENLİK ORANI',/)
WRITE(6,55) (G(LL), LL=1, KK)
55 FORMAT(5X, F10.3)
WRITE(6,60) TSH
60 FORMAT('TAHMİNİN STANDART HATASI:', F10.6)
STOP
END

```

TABLO B - 1  
OCAK AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİN DEĞERLERİ

OCAK	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
0	0.000	0.000	0.000	0.122	0.675	1.133	1.524	1.658	1.573	1.276	0.800	0.232	0.000	0.000	0.000	0.000				
1	0.000	0.000	0.000	0.122	0.675	1.185	1.523	1.663	1.580	1.285	0.809	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000				
2	0.000	0.000	0.000	0.122	0.677	1.108	1.532	1.670	1.587	1.293	0.818	0.247	0.000	0.000	0.000	0.000				
3	0.000	0.000	0.000	0.123	0.679	1.192	1.538	1.676	1.595	1.302	0.827	0.255	0.000	0.000	0.000	0.000				
4	0.000	0.000	0.000	0.124	0.683	1.197	1.544	1.684	1.604	1.311	0.837	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000				
5	0.000	0.000	0.000	0.126	0.687	1.202	1.550	1.691	1.612	1.320	0.846	0.270	0.000	0.000	0.000	0.000				
6	0.000	0.000	0.000	0.128	0.691	1.208	1.558	1.700	1.621	1.330	0.855	0.278	0.000	0.000	0.000	0.000				
7	0.000	0.000	0.000	0.131	0.697	1.215	1.566	1.709	1.631	1.339	0.865	0.286	0.000	0.000	0.000	0.000				
8	0.000	0.000	0.000	0.135	0.704	1.223	1.574	1.718	1.641	1.349	0.874	0.293	0.000	0.000	0.000	0.000				
9	0.000	0.000	0.000	0.139	0.711	1.232	1.584	1.728	1.651	1.360	0.884	0.301	0.000	0.000	0.000	0.000				
10	0.000	0.000	0.000	0.144	0.719	1.241	1.594	1.738	1.661	1.370	0.894	0.309	0.000	0.000	0.000	0.000				
11	0.000	0.000	0.000	0.150	0.723	1.251	1.604	1.749	1.672	1.380	0.903	0.316	0.000	0.000	0.000	0.000				
12	0.000	0.000	0.000	0.156	0.738	1.262	1.616	1.761	1.683	1.391	0.913	0.324	0.000	0.000	0.000	0.000				
13	0.000	0.000	0.000	0.163	0.749	1.273	1.628	1.773	1.695	1.402	0.923	0.332	0.000	0.000	0.000	0.000				
14	0.000	0.000	0.000	0.171	0.760	1.286	1.640	1.785	1.707	1.413	0.933	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000				
15	0.000	0.000	0.000	0.179	0.772	1.299	1.653	1.798	1.719	1.425	0.943	0.347	0.000	0.000	0.000	0.000				
16	0.000	0.000	0.000	0.189	0.785	1.313	1.667	1.811	1.732	1.436	0.953	0.355	0.000	0.000	0.000	0.000				
17	0.000	0.000	0.000	0.199	0.799	1.327	1.682	1.825	1.745	1.448	0.963	0.362	0.000	0.000	0.000	0.000				
18	0.000	0.000	0.000	0.210	0.814	1.343	1.697	1.839	1.758	1.459	0.973	0.370	0.000	0.000	0.000	0.000				
19	0.000	0.000	0.000	0.222	0.830	1.359	1.712	1.854	1.771	1.471	0.983	0.377	0.000	0.000	0.000	0.000				
20	0.000	0.000	0.000	0.234	0.846	1.375	1.728	1.869	1.785	1.483	0.993	0.385	0.000	0.000	0.000	0.000				
21	0.000	0.000	0.000	0.248	0.863	1.393	1.745	1.885	1.799	1.495	1.003	0.392	0.000	0.000	0.000	0.000				
22	0.000	0.000	0.000	0.262	0.881	1.411	1.762	1.901	1.813	1.508	1.013	0.399	0.000	0.000	0.000	0.000				
23	0.000	0.000	0.000	0.277	0.899	1.429	1.780	1.917	1.828	1.520	1.023	0.407	0.000	0.000	0.000	0.000				
24	0.000	0.000	0.000	0.293	0.917	1.449	1.799	1.934	1.842	1.533	1.033	0.414	0.000	0.000	0.000	0.000				
25	0.000	0.000	0.000	0.310	0.939	1.469	1.817	1.951	1.857	1.545	1.043	0.421	0.000	0.000	0.000	0.000				
26	0.000	0.000	0.000	0.329	0.959	1.489	1.837	1.968	1.872	1.558	1.053	0.423	0.000	0.000	0.000	0.000				
27	0.000	0.000	0.000	0.346	0.981	1.510	1.856	1.986	1.888	1.570	1.063	0.434	0.000	0.000	0.000	0.000				
28	0.000	0.000	0.000	0.366	1.003	1.532	1.877	2.004	1.903	1.583	1.073	0.441	0.000	0.000	0.000	0.000				
29	0.000	0.000	0.000	0.386	1.026	1.554	1.897	2.022	1.919	1.596	1.083	0.443	0.000	0.000	0.000	0.000				
30	0.000	0.000	0.000	0.407	1.047	1.577	1.913	2.041	1.935	1.609	1.093	0.454	0.000	0.000	0.000	0.000				

TABLO B - 2  
ŞUBAT AYINA AİT SAATLİK TOPLAM IŞINIM DEĞERLERİ

SÜRAT	SAAT															
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-12	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
31	0.000	0.000	0.000	0.297	1.029	1.551	1.879	2.002	1.900	1.572	1.058	0.428	0.000	0.000	0.000	0.000
32	0.000	0.000	0.000	0.419	1.054	1.575	1.910	2.027	1.916	1.585	1.067	0.434	0.000	0.000	0.000	0.000
33	0.000	0.000	0.000	0.442	1.079	1.599	1.932	2.047	1.932	1.598	1.077	0.440	0.000	0.000	0.000	0.000
34	0.000	0.000	0.000	0.466	1.104	1.624	1.955	2.066	1.948	1.611	1.086	0.446	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.000	0.000	0.000	0.490	1.130	1.649	1.978	2.086	1.964	1.623	1.095	0.452	0.000	0.000	0.000	0.000
36	0.000	0.000	0.009	0.515	1.157	1.674	2.001	2.106	1.981	1.636	1.105	0.458	0.000	0.000	0.000	0.000
37	0.000	0.000	0.016	0.541	1.184	1.700	2.024	2.122	1.997	1.649	1.114	0.463	0.000	0.000	0.000	0.000
38	0.000	0.000	0.024	0.567	1.212	1.726	2.047	2.146	2.014	1.662	1.123	0.469	0.001	0.000	0.000	0.000
39	0.000	0.000	0.033	0.594	1.240	1.753	2.071	2.166	2.030	1.674	1.132	0.474	0.001	0.000	0.000	0.000
40	0.000	0.000	0.043	0.621	1.268	1.780	2.095	2.187	2.047	1.687	1.141	0.480	0.002	0.000	0.000	0.000
41	0.000	0.000	0.055	0.650	1.297	1.807	2.119	2.207	2.062	1.700	1.150	0.485	0.002	0.000	0.000	0.000
42	0.000	0.000	0.069	0.678	1.327	1.834	2.144	2.228	2.080	1.712	1.158	0.490	0.002	0.000	0.000	0.000
43	0.000	0.000	0.084	0.708	1.356	1.862	2.168	2.249	2.097	1.725	1.167	0.495	0.003	0.000	0.000	0.000
44	0.000	0.000	0.100	0.737	1.386	1.890	2.193	2.269	2.113	1.737	1.176	0.500	0.003	0.000	0.000	0.000
45	0.000	0.000	0.119	0.768	1.417	1.918	2.217	2.290	2.130	1.750	1.184	0.505	0.003	0.000	0.000	0.000
46	0.000	0.000	0.139	0.798	1.447	1.946	2.242	2.311	2.146	1.762	1.192	0.510	0.004	0.000	0.000	0.000
47	0.000	0.000	0.160	0.829	1.478	1.974	2.267	2.332	2.163	1.774	1.201	0.515	0.004	0.000	0.000	0.000
48	0.000	0.000	0.183	0.861	1.508	2.003	2.292	2.353	2.179	1.786	1.209	0.520	0.004	0.000	0.000	0.000
49	0.000	0.000	0.207	0.893	1.540	2.032	2.317	2.373	2.196	1.799	1.217	0.524	0.005	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.232	0.925	1.572	2.060	2.342	2.394	2.212	1.811	1.226	0.529	0.005	0.000	0.000	0.000
51	0.000	0.000	0.258	0.957	1.603	2.089	2.367	2.415	2.228	1.823	1.234	0.534	0.006	0.000	0.000	0.000
52	0.000	0.000	0.285	0.990	1.635	2.118	2.392	2.436	2.245	1.835	1.242	0.538	0.006	0.000	0.000	0.000
53	0.000	0.000	0.313	1.022	1.667	2.147	2.417	2.456	2.261	1.847	1.250	0.543	0.007	0.000	0.000	0.000
54	0.000	0.000	0.341	1.055	1.698	2.175	2.442	2.477	2.277	1.858	1.258	0.548	0.008	0.000	0.000	0.000
55	0.000	0.000	0.370	1.089	1.730	2.204	2.467	2.497	2.293	1.870	1.266	0.552	0.008	0.000	0.000	0.000
56	0.000	0.000	0.400	1.122	1.762	2.233	2.492	2.512	2.309	1.882	1.274	0.557	0.009	0.000	0.000	0.000
57	0.000	0.000	0.430	1.155	1.794	2.261	2.516	2.538	2.325	1.893	1.281	0.562	0.009	0.000	0.000	0.000
58	0.000	0.000	0.461	1.188	1.825	2.290	2.541	2.552	2.340	1.905	1.289	0.567	0.010	0.000	0.000	0.000

TABLO B - 3  
MART AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİM DEĞERLERİ

GÜN	MART																		
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21			
59	0.000	0.000	0.375	1.050	1.663	2.114	2.357	2.369	2.151	1.721	1.122	0.445	0.002	0.000	0.000	0.000			
60	0.000	0.000	0.402	1.082	1.693	2.142	2.381	2.389	2.166	1.732	1.130	0.449	0.002	0.000	0.000	0.000			
61	0.000	0.001	0.430	1.114	1.724	2.169	2.404	2.409	2.182	1.743	1.137	0.454	0.002	0.000	0.000	0.000			
62	0.000	0.003	0.459	1.145	1.755	2.197	2.429	2.428	2.197	1.754	1.145	0.459	0.002	0.000	0.000	0.000			
63	0.000	0.007	0.488	1.177	1.785	2.224	2.452	2.447	2.212	1.766	1.153	0.463	0.002	0.000	0.000	0.000			
64	0.000	0.012	0.517	1.209	1.815	2.251	2.475	2.467	2.227	1.777	1.161	0.468	0.004	0.000	0.000	0.000			
65	0.000	0.018	0.546	1.240	1.845	2.278	2.498	2.486	2.242	1.788	1.169	0.473	0.004	0.000	0.000	0.000			
66	0.000	0.027	0.575	1.272	1.875	2.305	2.521	2.505	2.257	1.799	1.176	0.478	0.005	0.000	0.000	0.000			
67	0.000	0.037	0.605	1.303	1.905	2.332	2.544	2.523	2.272	1.810	1.185	0.484	0.005	0.000	0.000	0.000			
68	0.000	0.049	0.634	1.334	1.934	2.358	2.566	2.542	2.286	1.822	1.192	0.489	0.006	0.000	0.000	0.000			
69	0.000	0.062	0.664	1.365	1.963	2.384	2.589	2.560	2.301	1.833	1.201	0.495	0.006	0.000	0.000	0.000			
70	0.000	0.077	0.693	1.396	1.992	2.410	2.611	2.579	2.316	1.844	1.206	0.500	0.007	0.000	0.000	0.000			
71	0.000	0.093	0.723	1.426	2.020	2.435	2.633	2.597	2.330	1.855	1.218	0.506	0.008	0.000	0.000	0.000			
72	0.000	0.110	0.752	1.456	2.049	2.460	2.655	2.615	2.345	1.867	1.227	0.513	0.009	0.000	0.000	0.000			
73	0.000	0.128	0.781	1.486	2.076	2.485	2.676	2.633	2.359	1.878	1.235	0.519	0.010	0.000	0.000	0.000			
74	0.000	0.147	0.810	1.515	2.104	2.510	2.697	2.651	2.374	1.890	1.244	0.526	0.011	0.000	0.000	0.000			
75	0.000	0.166	0.839	1.544	2.131	2.534	2.718	2.668	2.388	1.901	1.254	0.533	0.012	0.000	0.000	0.000			
76	0.000	0.186	0.867	1.573	2.159	2.558	2.739	2.686	2.402	1.913	1.263	0.540	0.014	0.000	0.000	0.000			
77	0.000	0.206	0.895	1.601	2.184	2.581	2.759	2.703	2.417	1.925	1.273	0.547	0.015	0.000	0.000	0.000			
78	0.000	0.227	0.923	1.629	2.210	2.605	2.779	2.720	2.431	1.936	1.282	0.555	0.017	0.000	0.000	0.000			
79	0.000	0.248	0.951	1.656	2.235	2.627	2.799	2.737	2.445	1.948	1.292	0.563	0.019	0.000	0.000	0.000			
80	0.000	0.270	0.978	1.683	2.260	2.650	2.819	2.754	2.460	1.960	1.303	0.571	0.021	0.000	0.000	0.000			
81	0.000	0.291	1.004	1.709	2.285	2.672	2.838	2.771	2.474	1.973	1.313	0.580	0.024	0.000	0.000	0.000			
82	0.000	0.313	1.031	1.735	2.309	2.694	2.857	2.787	2.488	1.985	1.324	0.589	0.026	0.000	0.000	0.000			
83	0.000	0.334	1.056	1.760	2.332	2.715	2.876	2.804	2.502	1.997	1.335	0.598	0.029	0.000	0.000	0.000			
84	0.000	0.356	1.082	1.785	2.355	2.736	2.895	2.820	2.517	2.010	1.346	0.608	0.033	0.000	0.000	0.000			
85	0.000	0.377	1.107	1.810	2.378	2.756	2.912	2.836	2.531	2.023	1.358	0.618	0.036	0.000	0.000	0.000			
86	0.000	0.399	1.131	1.833	2.400	2.777	2.921	2.852	2.545	2.036	1.369	0.628	0.040	0.000	0.000	0.000			
87	0.000	0.419	1.155	1.857	2.422	2.796	2.949	2.868	2.560	2.049	1.381	0.639	0.044	0.000	0.000	0.000			
88	0.000	0.440	1.178	1.879	2.443	2.816	2.966	2.884	2.574	2.062	1.394	0.650	0.049	0.000	0.000	0.000			
89	0.000	0.460	1.201	1.901	2.464	2.834	2.984	2.899	2.588	2.075	1.406	0.661	0.054	0.000	0.000	0.000			



TABLO B - 4  
NİSAN AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİN DEĞERLERİ

GÜN	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
90	0.001	0.393	1.077	1.776	2.326	2.690	2.835	2.751	2.443	1.938	1.286	0.576	0.038	0.000	0.000	0.000				
91	0.002	0.416	1.118	1.796	2.345	2.708	2.852	2.766	2.457	1.951	1.299	0.587	0.042	0.000	0.000	0.000				
92	0.004	0.434	1.138	1.816	2.364	2.725	2.868	2.781	2.471	1.965	1.312	0.599	0.047	0.000	0.000	0.000				
93	0.006	0.451	1.157	1.836	2.382	2.742	2.884	2.796	2.486	1.979	1.325	0.611	0.052	0.000	0.000	0.000				
94	0.008	0.468	1.177	1.854	2.400	2.759	2.900	2.811	2.500	1.993	1.339	0.623	0.058	0.000	0.000	0.000				
95	0.011	0.484	1.195	1.872	2.417	2.775	2.915	2.826	2.514	2.007	1.353	0.636	0.064	0.000	0.000	0.000				
96	0.015	0.500	1.213	1.890	2.434	2.791	2.930	2.840	2.529	2.021	1.367	0.649	0.070	0.000	0.000	0.000				
97	0.019	0.516	1.230	1.907	2.450	2.807	2.945	2.855	2.543	2.036	1.382	0.663	0.077	0.000	0.000	0.000				
98	0.023	0.531	1.247	1.923	2.466	2.822	2.960	2.869	2.558	2.051	1.396	0.677	0.085	0.000	0.000	0.000				
99	0.028	0.546	1.263	1.939	2.481	2.836	2.974	2.884	2.572	2.066	1.411	0.691	0.092	0.000	0.000	0.000				
100	0.033	0.560	1.278	1.954	2.496	2.850	2.988	2.898	2.587	2.081	1.427	0.706	0.101	0.000	0.000	0.000				
101	0.038	0.574	1.293	1.969	2.510	2.864	3.002	2.912	2.601	2.096	1.443	0.721	0.110	0.000	0.000	0.000				
102	0.043	0.587	1.307	1.983	2.523	2.877	3.015	2.926	2.616	2.111	1.459	0.737	0.119	0.000	0.000	0.000				
103	0.049	0.599	1.320	1.996	2.536	2.890	3.028	2.939	2.630	2.127	1.475	0.753	0.129	0.000	0.000	0.000				
104	0.054	0.611	1.333	2.008	2.549	2.903	3.041	2.953	2.645	2.142	1.491	0.769	0.140	0.000	0.000	0.000				
105	0.059	0.623	1.345	2.020	2.561	2.915	3.054	2.966	2.659	2.158	1.508	0.785	0.151	0.000	0.000	0.000				
106	0.065	0.634	1.357	2.032	2.572	2.927	3.066	2.980	2.674	2.174	1.525	0.802	0.162	0.000	0.000	0.000				
107	0.070	0.644	1.368	2.043	2.583	2.938	3.078	2.993	2.689	2.190	1.542	0.819	0.174	0.000	0.000	0.000				
108	0.075	0.654	1.378	2.053	2.593	2.949	3.090	3.006	2.703	2.206	1.560	0.837	0.187	0.000	0.000	0.000				
109	0.000	0.061	0.663	1.388	2.062	2.603	2.959	3.102	3.019	2.718	2.222	1.577	0.855	0.200	0.000	0.000				
110	0.000	0.086	0.672	1.397	2.071	2.612	2.969	3.113	3.032	2.732	2.239	1.595	0.873	0.214	0.000	0.000				
111	0.000	0.090	0.680	1.405	2.080	2.621	2.979	3.124	3.044	2.742	2.255	1.613	0.891	0.228	0.000	0.000				
112	0.000	0.095	0.688	1.413	2.087	2.629	2.988	3.134	3.057	2.761	2.272	1.632	0.910	0.242	0.000	0.000				
113	0.000	0.099	0.695	1.420	2.095	2.637	2.997	3.145	3.069	2.776	2.289	1.650	0.929	0.257	0.000	0.000				
114	0.000	0.104	0.701	1.426	2.101	2.644	3.005	3.155	3.081	2.790	2.305	1.669	0.948	0.272	0.000	0.000				
115	0.000	0.107	0.707	1.432	2.107	2.651	3.013	3.164	3.093	2.804	2.322	1.687	0.968	0.289	0.000	0.000				
116	0.000	0.111	0.713	1.438	2.113	2.657	3.020	3.174	3.105	2.819	2.339	1.706	0.988	0.305	0.000	0.000				
117	0.000	0.114	0.718	1.442	2.118	2.662	3.027	3.183	3.116	2.833	2.356	1.725	1.008	0.322	0.000	0.000				
118	0.000	0.116	0.722	1.447	2.122	2.668	3.034	3.191	3.127	2.847	2.372	1.744	1.028	0.339	0.000	0.000				
119	0.000	0.120	0.726	1.450	2.126	2.672	3.040	3.200	3.139	2.861	2.389	1.764	1.048	0.356	0.000	0.000				



TABLO B - 5

## MAYIS AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİM DEĞERLERİ

MAYIS GÜN	SAAT																		
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21			
120	0.000	0.082	0.003	1.279	1.727	2.462	2.824	2.963	2.925	2.656	2.193	1.595	0.917	0.236	0.000	0.000			
121	0.000	0.303	0.605	1.292	1.932	2.466	2.929	2.990	2.930	2.670	2.215	1.614	0.926	0.203	0.000	0.000			
122	0.000	0.085	0.037	1.234	1.924	2.479	2.834	2.990	2.946	2.683	2.231	1.633	0.955	0.319	0.000	0.000			
123	0.000	0.066	0.039	1.205	1.936	2.472	2.839	3.005	2.956	2.696	2.240	1.652	0.775	0.230	0.000	0.000			
124	0.000	0.067	0.610	1.296	1.937	2.474	2.843	3.012	2.966	2.710	2.264	1.670	0.975	0.353	0.000	0.000			
125	0.000	0.008	0.611	1.296	1.938	2.476	2.947	3.019	2.976	2.723	2.280	1.689	1.015	0.370	0.000	0.000			
126	0.000	0.089	0.611	1.294	1.938	2.477	2.851	3.025	2.986	2.736	2.277	1.708	1.035	0.387	0.009	0.000			
127	0.000	0.089	0.611	1.296	1.938	2.479	2.854	3.031	2.995	2.749	2.313	1.727	1.055	0.404	0.012	0.000			
128	0.000	0.090	0.612	1.285	1.939	2.479	2.857	3.037	3.004	2.761	2.329	1.746	1.075	0.422	0.017	0.000			
129	0.000	0.090	0.612	1.293	1.939	2.479	2.859	3.042	3.013	2.774	2.345	1.765	1.095	0.440	0.021	0.000			
130	0.000	0.091	0.614	1.281	1.940	2.479	2.862	3.047	3.021	2.786	2.360	1.783	1.115	0.458	0.027	0.000			
131	0.000	0.092	0.614	1.279	1.942	2.479	2.863	3.052	3.030	2.798	2.376	1.802	1.135	0.476	0.033	0.000			
132	0.000	0.093	0.615	1.276	1.942	2.480	2.865	3.057	3.038	2.810	2.372	1.820	1.156	0.495	0.040	0.000			
133	0.000	0.094	0.615	1.273	1.943	2.482	2.866	3.061	3.046	2.822	2.407	1.839	1.176	0.513	0.048	0.000			
134	0.000	0.094	0.616	1.270	1.944	2.484	2.867	3.065	3.054	2.833	2.422	1.857	1.196	0.532	0.056	0.000			
135	0.000	0.095	0.617	1.266	1.946	2.484	2.867	3.069	3.061	2.844	2.437	1.875	1.216	0.550	0.064	0.000			
136	0.000	0.096	0.618	1.262	1.946	2.486	2.867	3.072	3.068	2.855	2.452	1.893	1.235	0.569	0.074	0.000			
137	0.000	0.096	0.619	1.257	1.947	2.486	2.867	3.075	3.075	2.866	2.467	1.911	1.255	0.588	0.083	0.000			
138	0.000	0.097	0.619	1.253	1.949	2.488	2.867	3.078	3.082	2.877	2.481	1.929	1.275	0.607	0.092	0.000			
139	0.000	0.097	0.620	1.248	1.950	2.489	2.868	3.081	3.088	2.887	2.495	1.946	1.294	0.625	0.104	0.000			
140	0.000	0.098	0.621	1.242	1.950	2.490	2.869	3.083	3.094	2.897	2.509	1.963	1.313	0.644	0.115	0.000			
141	0.000	0.099	0.621	1.237	1.952	2.490	2.871	3.085	3.100	2.907	2.523	1.980	1.332	0.662	0.126	0.000			
142	0.000	0.100	0.622	1.231	1.953	2.491	2.871	3.087	3.105	2.917	2.537	1.997	1.351	0.681	0.138	0.000			
143	0.000	0.101	0.624	1.225	1.954	2.493	2.873	3.088	3.111	2.926	2.550	2.014	1.370	0.699	0.150	0.000			
144	0.000	0.102	0.625	1.218	1.954	2.493	2.874	3.090	3.116	2.935	2.563	2.030	1.388	0.717	0.162	0.000			
145	0.000	0.103	0.627	1.212	1.955	2.494	2.876	3.091	3.121	2.944	2.575	2.046	1.406	0.735	0.174	0.000			
146	0.000	0.104	0.627	1.205	1.956	2.495	2.876	3.092	3.125	2.953	2.588	2.061	1.424	0.753	0.186	0.000			
147	0.000	0.105	0.628	1.198	1.957	2.496	2.877	3.093	3.130	2.961	2.600	2.077	1.442	0.771	0.199	0.000			
148	0.000	0.106	0.629	1.191	1.957	2.496	2.879	3.093	3.134	2.969	2.612	2.092	1.459	0.780	0.211	0.000			
149	0.000	0.106	0.631	1.184	1.959	2.498	2.879	3.094	3.138	2.977	2.623	2.107	1.476	0.805	0.224	0.000			
150	0.000	0.107	0.631	1.177	1.959	2.499	2.881	3.095	3.141	2.984	2.634	2.121	1.493	0.822	0.236	0.000			

TABLO B - 6  
HAZİRAN AYINA AİT SAATLİK TOPLAM IŞINIM DEĞERLERİ

GÜN	HAZİRAN																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
151	0.000	0.051	0.490	1.125	1.775	2.345	2.776	3.027	3.079	2.927	2.583	2.078	1.459	0.801	0.220	0.000				
152	0.000	0.049	0.484	1.117	1.768	2.340	2.772	3.027	3.082	2.934	2.584	2.091	1.474	0.816	0.242	0.000				
153	0.000	0.047	0.478	1.110	1.761	2.334	2.769	3.026	3.085	2.941	2.604	2.104	1.490	0.822	0.254	0.001				
154	0.000	0.045	0.472	1.103	1.753	2.328	2.765	3.026	3.088	2.947	2.614	2.117	1.504	0.847	0.266	0.001				
155	0.000	0.043	0.466	1.095	1.746	2.322	2.761	3.025	3.091	2.953	2.623	2.130	1.519	0.862	0.277	0.002				
156	0.000	0.041	0.460	1.088	1.738	2.315	2.757	3.024	3.093	2.959	2.632	2.142	1.533	0.877	0.288	0.002				
157	0.000	0.039	0.454	1.080	1.731	2.307	2.753	3.022	3.095	2.964	2.641	2.154	1.547	0.891	0.300	0.003				
158	0.000	0.037	0.448	1.072	1.723	2.303	2.749	3.021	3.097	2.970	2.650	2.165	1.560	0.904	0.311	0.005				
159	0.000	0.035	0.442	1.065	1.716	2.297	2.745	3.020	3.099	2.975	2.658	2.176	1.573	0.918	0.321	0.006				
160	0.000	0.033	0.435	1.057	1.708	2.290	2.741	3.018	3.100	2.979	2.666	2.186	1.585	0.930	0.332	0.008				
161	0.000	0.031	0.429	1.050	1.701	2.284	2.736	3.017	3.101	2.984	2.672	2.196	1.597	0.943	0.342	0.009				
162	0.000	0.029	0.423	1.042	1.693	2.278	2.732	3.015	3.102	2.988	2.680	2.206	1.609	0.955	0.352	0.011				
163	0.000	0.028	0.417	1.035	1.686	2.271	2.727	3.013	3.103	2.992	2.687	2.215	1.620	0.966	0.361	0.013				
164	0.000	0.026	0.412	1.027	1.679	2.265	2.723	3.011	3.104	2.995	2.694	2.224	1.630	0.977	0.370	0.015				
165	0.000	0.024	0.406	1.020	1.671	2.259	2.719	3.009	3.105	2.999	2.700	2.232	1.640	0.988	0.379	0.017				
166	0.000	0.023	0.400	1.013	1.664	2.253	2.714	3.007	3.105	3.002	2.705	2.240	1.649	0.990	0.387	0.019				
167	0.000	0.021	0.394	1.005	1.657	2.246	2.710	3.004	3.105	3.005	2.711	2.248	1.658	1.007	0.395	0.022				
168	0.000	0.020	0.389	0.998	1.650	2.240	2.705	3.002	3.106	3.007	2.716	2.255	1.667	1.016	0.403	0.024				
169	0.000	0.018	0.383	0.991	1.643	2.234	2.701	3.000	3.105	3.010	2.720	2.261	1.675	1.024	0.410	0.026				
170	0.000	0.017	0.378	0.985	1.636	2.229	2.697	2.997	3.105	3.012	2.724	2.267	1.682	1.032	0.417	0.028				
171	0.000	0.016	0.372	0.978	1.630	2.223	2.692	2.995	3.105	3.014	2.728	2.273	1.689	1.039	0.423	0.030				
172	0.000	0.015	0.367	0.971	1.623	2.217	2.688	2.992	3.104	3.015	2.732	2.278	1.695	1.046	0.428	0.032				
173	0.000	0.014	0.362	0.965	1.617	2.212	2.684	2.990	3.104	3.016	2.735	2.283	1.701	1.052	0.433	0.033				
174	0.000	0.013	0.357	0.959	1.610	2.206	2.680	2.987	3.103	3.018	2.738	2.287	1.706	1.057	0.438	0.035				
175	0.000	0.012	0.352	0.953	1.604	2.201	2.676	2.985	3.102	3.018	2.740	2.290	1.710	1.062	0.442	0.036				
176	0.000	0.011	0.347	0.947	1.599	2.196	2.672	2.982	3.101	3.019	2.742	2.294	1.714	1.066	0.446	0.038				
177	0.000	0.010	0.342	0.941	1.593	2.191	2.668	2.980	3.100	3.019	2.744	2.296	1.718	1.070	0.449	0.039				
178	0.000	0.009	0.338	0.935	1.587	2.186	2.664	2.977	3.099	3.019	2.745	2.298	1.720	1.072	0.451	0.039				
179	0.000	0.008	0.334	0.930	1.582	2.181	2.660	2.975	3.098	3.019	2.746	2.300	1.723	1.075	0.453	0.040				
180	0.000	0.007	0.329	0.925	1.577	2.177	2.657	2.972	3.096	3.019	2.746	2.301	1.724	1.076	0.454	0.040				

TABLO - B. - 7  
TEMMUZ AYINA AİT SAATLİK TOPLAM IŞINIM DEĞERLERİ

TEMMUZ GÜN	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
181	0.000	0.007	0.322	0.911	1.560	2.159	2.639	2.953	3.078	3.002	2.731	2.289	1.713	1.068	0.450	0.040				
182	0.000	0.036	0.318	0.907	1.556	2.155	2.635	2.951	3.076	3.001	2.730	2.288	1.713	1.067	0.450	0.040				
183	0.000	0.036	0.314	0.902	1.551	2.151	2.631	2.948	3.075	3.000	2.730	2.287	1.713	1.066	0.450	0.040				
184	0.000	0.005	0.310	0.898	1.547	2.147	2.628	2.946	3.073	2.998	2.729	2.287	1.712	1.067	0.449	0.039				
185	0.000	0.005	0.307	0.893	1.543	2.143	2.625	2.943	3.071	2.997	2.727	2.285	1.711	1.066	0.447	0.039				
186	0.000	0.004	0.304	0.890	1.539	2.140	2.622	2.941	3.069	2.995	2.725	2.283	1.709	1.064	0.445	0.038				
187	0.000	0.004	0.300	0.886	1.536	2.137	2.620	2.939	3.066	2.993	2.723	2.281	1.706	1.061	0.442	0.036				
188	0.000	0.004	0.297	0.882	1.532	2.134	2.617	2.936	3.064	2.990	2.721	2.278	1.703	1.057	0.439	0.035				
189	0.000	0.003	0.295	0.879	1.529	2.131	2.614	2.934	3.062	2.988	2.718	2.275	1.699	1.052	0.435	0.034				
190	0.000	0.003	0.292	0.876	1.527	2.128	2.612	2.931	3.059	2.985	2.714	2.271	1.695	1.048	0.431	0.032				
191	0.000	0.003	0.289	0.873	1.524	2.126	2.610	2.929	3.056	2.982	2.710	2.266	1.689	1.043	0.426	0.030				
192	0.000	0.002	0.287	0.871	1.522	2.124	2.608	2.927	3.054	2.978	2.706	2.261	1.684	1.037	0.420	0.028				
193	0.000	0.002	0.285	0.868	1.519	2.122	2.606	2.924	3.051	2.974	2.702	2.256	1.677	1.033	0.414	0.026				
194	0.000	0.002	0.283	0.866	1.518	2.120	2.604	2.922	3.048	2.970	2.697	2.249	1.670	1.022	0.407	0.024				
195	0.000	0.002	0.281	0.864	1.516	2.119	2.602	2.920	3.044	2.966	2.691	2.243	1.663	1.014	0.400	0.022				
196	0.000	0.002	0.279	0.862	1.514	2.117	2.600	2.917	3.041	2.962	2.685	2.236	1.654	1.005	0.392	0.019				
197	0.000	0.002	0.278	0.861	1.513	2.116	2.599	2.915	3.038	2.957	2.679	2.228	1.645	0.996	0.384	0.017				
198	0.000	0.001	0.276	0.860	1.512	2.115	2.597	2.912	3.034	2.952	2.672	2.220	1.636	0.986	0.375	0.015				
199	0.000	0.001	0.275	0.859	1.512	2.114	2.596	2.910	3.030	2.946	2.665	2.211	1.626	0.975	0.366	0.013				
200	0.000	0.001	0.274	0.858	1.511	2.113	2.594	2.908	3.026	2.941	2.658	2.202	1.615	0.964	0.356	0.011				
201	0.000	0.001	0.273	0.857	1.511	2.113	2.593	2.905	3.022	2.935	2.650	2.192	1.603	0.952	0.346	0.009				
202	0.000	0.001	0.272	0.857	1.511	2.113	2.592	2.903	3.018	2.928	2.641	2.181	1.591	0.939	0.336	0.007				
203	0.000	0.001	0.271	0.857	1.511	2.112	2.591	2.900	3.014	2.922	2.632	2.170	1.579	0.926	0.325	0.005				
204	0.000	0.001	0.271	0.857	1.511	2.112	2.590	2.898	3.009	2.915	2.623	2.159	1.566	0.912	0.313	0.004				
205	0.000	0.001	0.271	0.857	1.512	2.112	2.589	2.895	3.004	2.908	2.613	2.147	1.552	0.898	0.302	0.003				
206	0.000	0.001	0.270	0.858	1.512	2.113	2.588	2.892	2.999	2.900	2.603	2.134	1.537	0.883	0.290	0.002				
207	0.000	0.001	0.270	0.858	1.513	2.113	2.587	2.889	2.994	2.892	2.593	2.121	1.522	0.868	0.277	0.001				
208	0.000	0.001	0.270	0.859	1.514	2.113	2.586	2.886	2.989	2.884	2.581	2.107	1.507	0.851	0.265	0.001				
209	0.000	0.001	0.270	0.860	1.515	2.114	2.585	2.883	2.983	2.876	2.570	2.093	1.490	0.835	0.252	0.000				
210	0.000	0.001	0.271	0.861	1.517	2.115	2.584	2.880	2.977	2.867	2.558	2.078	1.474	0.818	0.239	0.000				
211	0.000	0.001	0.271	0.863	1.518	2.115	2.583	2.877	2.971	2.857	2.545	2.062	1.456	0.800	0.226	0.000				

TABLO B - 8  
AĞUSTOS AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİM DEĞERLERİ

AĞUSTOS GÜN	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
212	0.000	0.000	0.308	0.929	1.602	2.233	2.680	2.974	3.066	2.948	2.629	2.138	1.519	0.844	0.243	0.000				
213	0.000	0.000	0.308	0.931	1.603	2.297	2.679	2.971	3.059	2.938	2.616	2.121	1.500	0.825	0.229	0.000				
214	0.000	0.000	0.309	0.933	1.605	2.210	2.678	2.967	3.053	2.928	2.602	2.104	1.480	0.806	0.214	0.000				
215	0.000	0.000	0.310	0.935	1.607	2.211	2.677	2.963	3.046	2.917	2.588	2.086	1.461	0.786	0.199	0.000				
216	0.000	0.000	0.311	0.937	1.609	2.212	2.676	2.959	3.038	2.906	2.573	2.068	1.440	0.765	0.185	0.000				
217	0.000	0.000	0.312	0.939	1.612	2.213	2.675	2.955	3.030	2.894	2.557	2.050	1.419	0.744	0.170	0.000				
218	0.000	0.000	0.314	0.941	1.614	2.214	2.674	2.951	3.023	2.882	2.542	2.030	1.398	0.723	0.156	0.000				
219	0.000	0.000	0.315	0.944	1.616	2.215	2.672	2.947	3.014	2.870	2.526	2.011	1.376	0.701	0.142	0.000				
220	0.000	0.000	0.316	0.946	1.618	2.216	2.671	2.942	3.006	2.857	2.509	1.991	1.353	0.677	0.128	0.000				
221	0.000	0.000	0.318	0.949	1.621	2.217	2.669	2.937	2.997	2.844	2.492	1.970	1.330	0.657	0.114	0.000				
222	0.000	0.000	0.319	0.951	1.623	2.217	2.667	2.932	2.988	2.831	2.474	1.949	1.307	0.634	0.101	0.000				
223	0.000	0.000	0.321	0.954	1.625	2.218	2.666	2.926	2.978	2.817	2.456	1.927	1.283	0.612	0.088	0.000				
224	0.000	0.000	0.323	0.956	1.627	2.219	2.664	2.921	2.969	2.803	2.438	1.905	1.259	0.589	0.076	0.000				
225	0.000	0.000	0.324	0.959	1.630	2.219	2.661	2.915	2.958	2.798	2.419	1.883	1.235	0.565	0.065	0.000				
226	0.000	0.000	0.326	0.962	1.632	2.220	2.659	2.909	2.948	2.773	2.400	1.860	1.210	0.542	0.054	0.000				
227	0.000	0.000	0.328	0.964	1.634	2.220	2.656	2.902	2.937	2.758	2.380	1.837	1.185	0.519	0.044	0.000				
228	0.000	0.000	0.330	0.967	1.636	2.220	2.653	2.896	2.926	2.742	2.360	1.813	1.159	0.495	0.035	0.000				
229	0.000	0.000	0.331	0.969	1.638	2.220	2.650	2.889	2.915	2.726	2.339	1.789	1.133	0.472	0.027	0.000				
230	0.000	0.000	0.333	0.972	1.640	2.220	2.647	2.881	2.903	2.710	2.319	1.765	1.107	0.448	0.020	0.000				
231	0.000	0.000	0.335	0.974	1.641	2.220	2.644	2.874	2.891	2.693	2.297	1.740	1.081	0.425	0.014	0.000				
232	0.000	0.000	0.336	0.976	1.643	2.219	2.640	2.866	2.878	2.676	2.276	1.715	1.054	0.402	0.009	0.000				
233	0.000	0.000	0.338	0.979	1.644	2.218	2.636	2.858	2.866	2.658	2.254	1.687	1.027	0.379	0.005	0.000				
234	0.000	0.000	0.339	0.981	1.645	2.217	2.631	2.849	2.853	2.641	2.232	1.664	1.000	0.356	0.003	0.000				
235	0.000	0.000	0.341	0.983	1.646	2.216	2.627	2.841	2.839	2.622	2.209	1.638	0.973	0.333	0.000	0.000				
236	0.000	0.000	0.342	0.984	1.647	2.214	2.622	2.831	2.825	2.604	2.186	1.611	0.946	0.311	0.000	0.000				
237	0.000	0.000	0.343	0.985	1.648	2.212	2.617	2.822	2.811	2.595	2.163	1.588	0.919	0.289	0.000	0.000				
238	0.000	0.000	0.344	0.987	1.649	2.210	2.611	2.812	2.797	2.566	2.139	1.558	0.891	0.267	0.000	0.000				
239	0.000	0.000	0.345	0.989	1.649	2.208	2.605	2.802	2.782	2.546	2.116	1.532	0.864	0.246	0.000	0.000				
240	0.000	0.000	0.346	0.989	1.647	2.205	2.599	2.792	2.767	2.526	2.092	1.505	0.837	0.225	0.000	0.000				
241	0.000	0.000	0.347	0.990	1.647	2.202	2.592	2.781	2.751	2.506	2.067	1.477	0.809	0.205	0.000	0.000				
242	0.000	0.000	0.347	0.990	1.646	2.199	2.585	2.770	2.736	2.486	2.043	1.450	0.782	0.186	0.000	0.000				

TABLO B - 9  
EYLÜL AYINA AİT SAATLİK TOPLAM İŞİNİN DEĞERLERİ

EYLÜL GÜN	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
243	0.000	0.000	0.374	1.069	1.740	2.300	2.688	2.870	2.831	2.574	2.120	1.513	0.824	0.198	0.000	0.000				
244	0.000	0.000	0.394	1.068	1.739	2.296	2.680	2.858	2.815	2.553	2.095	1.485	0.796	0.178	0.000	0.000				
245	0.000	0.000	0.394	1.068	1.737	2.291	2.672	2.846	2.798	2.531	2.070	1.457	0.768	0.158	0.000	0.000				
246	0.000	0.000	0.394	1.067	1.734	2.286	2.664	2.834	2.781	2.510	2.044	1.429	0.740	0.000	0.000	0.000				
247	0.000	0.000	0.393	1.066	1.732	2.281	2.655	2.821	2.763	2.488	2.019	1.400	0.712	0.000	0.000	0.000				
248	0.000	0.000	0.392	1.065	1.729	2.275	2.646	2.807	2.746	2.466	1.993	1.372	0.684	0.000	0.000	0.000				
249	0.000	0.000	0.391	1.063	1.725	2.269	2.637	2.794	2.728	2.444	1.967	1.344	0.657	0.000	0.000	0.000				
250	0.000	0.000	0.390	1.061	1.722	2.263	2.627	2.780	2.710	2.422	1.941	1.316	0.630	0.000	0.000	0.000				
251	0.000	0.000	0.388	1.058	1.717	2.256	2.617	2.766	2.691	2.399	1.915	1.288	0.603	0.000	0.000	0.000				
252	0.000	0.000	0.386	1.055	1.713	2.249	2.606	2.751	2.673	2.377	1.889	1.260	0.577	0.000	0.000	0.000				
253	0.000	0.000	0.384	1.052	1.707	2.241	2.595	2.736	2.654	2.354	1.863	1.232	0.551	0.000	0.000	0.000				
254	0.000	0.000	0.381	1.048	1.702	2.233	2.584	2.721	2.635	2.331	1.837	1.205	0.526	0.000	0.000	0.000				
255	0.000	0.000	0.378	1.044	1.696	2.224	2.572	2.706	2.615	2.308	1.811	1.177	0.501	0.000	0.000	0.000				
256	0.000	0.000	0.375	1.039	1.689	2.216	2.560	2.690	2.596	2.285	1.785	1.150	0.476	0.000	0.000	0.000				
257	0.000	0.000	0.371	1.034	1.682	2.206	2.547	2.674	2.576	2.262	1.760	1.123	0.452	0.000	0.000	0.000				
258	0.000	0.000	0.367	1.028	1.675	2.196	2.534	2.658	2.557	2.239	1.734	1.096	0.428	0.000	0.000	0.000				
259	0.000	0.000	0.363	1.022	1.667	2.186	2.521	2.642	2.537	2.216	1.708	1.070	0.405	0.000	0.000	0.000				
260	0.000	0.000	0.358	1.016	1.659	2.175	2.508	2.625	2.517	2.193	1.683	1.043	0.383	0.000	0.000	0.000				
261	0.000	0.000	0.353	1.009	1.650	2.164	2.494	2.608	2.496	2.170	1.657	1.017	0.361	0.000	0.000	0.000				
262	0.000	0.000	0.348	1.001	1.640	2.152	2.479	2.590	2.476	2.146	1.632	0.992	0.339	0.000	0.000	0.000				
263	0.000	0.000	0.342	0.993	1.631	2.140	2.465	2.573	2.456	2.123	1.607	0.967	0.319	0.000	0.000	0.000				
264	0.000	0.000	0.336	0.985	1.620	2.128	2.450	2.555	2.435	2.100	1.583	0.942	0.299	0.000	0.000	0.000				
265	0.000	0.000	0.329	0.976	1.609	2.115	2.434	2.537	2.415	2.078	1.558	0.917	0.280	0.000	0.000	0.000				
266	0.000	0.000	0.322	0.966	1.598	2.102	2.419	2.519	2.394	2.055	1.534	0.893	0.261	0.000	0.000	0.000				
267	0.000	0.000	0.315	0.956	1.584	2.088	2.403	2.501	2.373	2.032	1.510	0.869	0.243	0.000	0.000	0.000				
268	0.000	0.000	0.307	0.946	1.574	2.073	2.386	2.482	2.353	2.009	1.486	0.846	0.226	0.000	0.000	0.000				
269	0.000	0.000	0.299	0.935	1.561	2.059	2.370	2.464	2.332	1.987	1.462	0.823	0.209	0.000	0.000	0.000				
270	0.000	0.000	0.291	0.923	1.548	2.044	2.353	2.445	2.311	1.965	1.439	0.801	0.194	0.000	0.000	0.000				
271	0.000	0.000	0.282	0.911	1.534	2.028	2.336	2.426	2.291	1.943	1.416	0.779	0.179	0.000	0.000	0.000				
272	0.000	0.000	0.273	0.898	1.519	2.012	2.318	2.407	2.270	1.921	1.394	0.758	0.164	0.000	0.000	0.000				

TABLO B - 10  
EKİM AYINA AİT SAATLİK TOPLAM IŞINIM DEĞERLERİ

EKİM	SAAT																
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	
273	0.000	0.000	0.233	0.922	1.550	2.046	2.352	2.440	2.301	1.948	1.416	0.771	0.164	0.000	0.000	0.000	
274	0.000	0.000	0.273	0.908	1.534	2.029	2.334	2.421	2.280	1.926	1.393	0.750	0.151	0.000	0.000	0.000	
275	0.000	0.000	0.263	0.874	1.518	2.012	2.316	2.401	2.260	1.905	1.372	0.730	0.138	0.000	0.000	0.000	
276	0.000	0.000	0.252	0.879	1.502	1.974	2.297	2.381	2.239	1.884	1.351	0.710	0.126	0.000	0.000	0.000	
277	0.000	0.000	0.242	0.864	1.485	1.976	2.278	2.361	2.218	1.862	1.330	0.691	0.115	0.000	0.000	0.000	
278	0.000	0.000	0.231	0.849	1.468	1.958	2.259	2.341	2.198	1.842	1.309	0.672	0.104	0.000	0.000	0.000	
279	0.000	0.000	0.219	0.833	1.450	1.939	2.239	2.321	2.178	1.821	1.289	0.654	0.074	0.000	0.000	0.000	
280	0.000	0.000	0.208	0.816	1.432	1.920	2.220	2.301	2.157	1.801	1.269	0.636	0.085	0.000	0.000	0.000	
281	0.000	0.000	0.197	0.799	1.413	1.900	2.200	2.281	2.137	1.781	1.250	0.619	0.076	0.000	0.000	0.000	
282	0.000	0.000	0.185	0.782	1.394	1.881	2.180	2.261	2.117	1.761	1.231	0.603	0.067	0.000	0.000	0.000	
283	0.000	0.000	0.173	0.764	1.375	1.861	2.159	2.241	2.097	1.742	1.213	0.587	0.061	0.000	0.000	0.000	
284	0.000	0.000	0.162	0.746	1.355	1.840	2.139	2.220	2.077	1.723	1.195	0.572	0.055	0.000	0.000	0.000	
285	0.000	0.000	0.150	0.729	1.334	1.819	2.118	2.200	2.057	1.704	1.177	0.557	0.049	0.000	0.000	0.000	
286	0.000	0.000	0.138	0.709	1.314	1.798	2.097	2.180	2.038	1.685	1.160	0.542	0.043	0.000	0.000	0.000	
287	0.000	0.000	0.127	0.690	1.293	1.777	2.076	2.159	2.018	1.667	1.144	0.529	0.038	0.000	0.000	0.000	
288	0.000	0.000	0.115	0.670	1.271	1.755	2.055	2.139	1.999	1.649	1.128	0.516	0.034	0.000	0.000	0.000	
289	0.000	0.000	0.104	0.650	1.249	1.733	2.033	2.119	1.980	1.631	1.112	0.503	0.030	0.000	0.000	0.000	
290	0.000	0.000	0.093	0.630	1.227	1.711	2.012	2.098	1.961	1.614	1.097	0.491	0.026	0.000	0.000	0.000	
291	0.000	0.000	0.082	0.610	1.205	1.688	1.990	2.078	1.942	1.597	1.082	0.479	0.023	0.000	0.000	0.000	
292	0.000	0.000	0.072	0.590	1.182	1.666	1.969	2.057	1.924	1.581	1.067	0.463	0.020	0.000	0.000	0.000	
293	0.000	0.000	0.062	0.569	1.159	1.643	1.947	2.037	1.905	1.564	1.054	0.457	0.017	0.000	0.000	0.000	
294	0.000	0.000	0.053	0.548	1.136	1.620	1.925	2.017	1.887	1.548	1.040	0.447	0.015	0.000	0.000	0.000	
295	0.000	0.000	0.044	0.527	1.113	1.596	1.903	1.997	1.869	1.533	1.027	0.438	0.013	0.000	0.000	0.000	
296	0.000	0.000	0.035	0.506	1.089	1.573	1.880	1.976	1.851	1.517	1.015	0.429	0.012	0.000	0.000	0.000	
297	0.000	0.000	0.029	0.485	1.065	1.549	1.858	1.956	1.832	1.502	1.002	0.420	0.010	0.000	0.000	0.000	
298	0.000	0.000	0.022	0.463	1.041	1.525	1.836	1.936	1.816	1.488	0.991	0.412	0.009	0.000	0.000	0.000	
299	0.000	0.000	0.017	0.442	1.017	1.501	1.813	1.916	1.799	1.473	0.978	0.404	0.008	0.000	0.000	0.000	
300	0.000	0.000	0.012	0.421	0.992	1.477	1.791	1.896	1.781	1.459	0.968	0.397	0.007	0.000	0.000	0.000	
301	0.000	0.000	0.008	0.400	0.968	1.453	1.768	1.876	1.765	1.446	0.958	0.390	0.006	0.000	0.000	0.000	
302	0.000	0.000	0.005	0.379	0.943	1.428	1.746	1.856	1.746	1.432	0.948	0.384	0.005	0.000	0.000	0.000	
303	0.000	0.000	0.003	0.358	0.910	1.404	1.723	1.837	1.731	1.419	0.938	0.378	0.005	0.000	0.000	0.000	



TABLO B - 11  
KASIM AYINA AIT SAATLIK TOPLAM ISINIM DEĞERLERİ

KASIP GÜN	SAAT																			
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21				
304	0.000	0.000	0.417	1.010	1.526	1.958	1.977	1.873	1.554	1.056	0.456	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
305	0.000	0.000	0.393	0.992	1.501	1.335	1.957	1.956	1.541	1.047	0.450	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
306	0.000	0.000	0.370	0.966	1.475	1.312	1.327	1.040	1.529	1.038	0.445	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
307	0.000	0.000	0.348	0.939	1.450	1.707	1.718	1.924	1.517	1.029	0.440	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
308	0.000	0.000	0.325	0.913	1.424	1.766	1.898	1.908	1.505	1.021	0.435	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
309	0.000	0.000	0.303	0.887	1.397	1.741	1.378	1.792	1.493	1.014	0.431	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
310	0.000	0.000	0.281	0.860	1.273	1.720	1.359	1.777	1.482	1.006	0.428	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
311	0.000	0.000	0.260	0.834	1.248	1.697	1.340	1.762	1.471	0.999	0.424	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
312	0.000	0.000	0.239	0.808	1.222	1.674	1.821	1.747	1.460	0.993	0.421	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
313	0.000	0.000	0.219	0.782	1.297	1.651	1.302	1.732	1.450	0.986	0.419	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
314	0.000	0.000	0.199	0.756	1.271	1.629	1.783	1.717	1.439	0.980	0.416	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
315	0.000	0.000	0.180	0.730	1.246	1.606	1.764	1.703	1.430	0.975	0.414	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
316	0.000	0.000	0.161	0.705	1.221	1.584	1.746	1.689	1.420	0.969	0.413	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
317	0.000	0.000	0.143	0.679	1.196	1.562	1.727	1.675	1.411	0.965	0.411	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
318	0.000	0.000	0.127	0.654	1.171	1.540	1.709	1.662	1.402	0.960	0.410	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
319	0.000	0.000	0.111	0.629	1.146	1.518	1.691	1.648	1.393	0.956	0.410	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
320	0.000	0.000	0.095	0.605	1.122	1.496	1.674	1.635	1.385	0.952	0.409	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
321	0.000	0.000	0.081	0.581	1.093	1.474	1.656	1.622	1.376	0.948	0.409	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
322	0.000	0.000	0.068	0.557	1.074	1.453	1.639	1.610	1.369	0.944	0.408	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
323	0.000	0.000	0.057	0.533	1.050	1.432	1.622	1.597	1.361	0.941	0.408	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
324	0.000	0.000	0.046	0.510	1.027	1.411	1.605	1.585	1.354	0.938	0.407	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
325	0.000	0.000	0.036	0.487	1.003	1.391	1.589	1.573	1.347	0.936	0.407	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
326	0.000	0.000	0.028	0.465	0.981	1.371	1.572	1.562	1.340	0.934	0.407	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
327	0.000	0.000	0.021	0.443	0.958	1.351	1.557	1.551	1.333	0.932	0.406	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
328	0.000	0.000	0.015	0.422	0.936	1.331	1.541	1.540	1.327	0.930	0.405	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
329	0.000	0.000	0.010	0.401	0.914	1.312	1.526	1.529	1.321	0.928	0.405	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
330	0.000	0.000	0.006	0.381	0.893	1.293	1.511	1.519	1.316	0.927	0.404	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
331	0.000	0.000	0.004	0.361	0.872	1.275	1.496	1.508	1.310	0.926	0.403	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
332	0.000	0.000	0.002	0.342	0.851	1.256	1.482	1.499	1.305	0.926	0.402	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
333	0.000	0.000	0.001	0.324	0.831	1.239	1.468	1.489	1.301	0.925	0.401	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			

TABLO B - 12  
ARALIK AYINA AIT SAATLIK TOPLAM ISINIM DEGERLERI

GÜN	SAAT															
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
334	0.000	0.000	0.000	0.415	0.974	1.406	1.648	1.675	1.484	1.075	0.557	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000
335	0.000	0.000	0.000	0.395	0.953	1.389	1.635	1.666	1.480	1.095	0.561	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000
336	0.000	0.000	0.000	0.376	0.933	1.371	1.622	1.658	1.476	1.095	0.564	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
337	0.000	0.000	0.000	0.357	0.914	1.355	1.609	1.649	1.472	1.096	0.560	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
338	0.000	0.000	0.000	0.338	0.895	1.330	1.596	1.641	1.460	1.097	0.577	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000
339	0.000	0.000	0.000	0.371	0.876	1.322	1.584	1.634	1.466	1.098	0.577	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000
340	0.000	0.000	0.000	0.304	0.855	1.307	1.575	1.627	1.463	1.097	0.591	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000
341	0.000	0.000	0.000	0.285	0.841	1.292	1.562	1.620	1.461	1.101	0.586	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
342	0.000	0.000	0.000	0.272	0.825	1.273	1.551	1.614	1.459	1.103	0.591	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000
343	0.000	0.000	0.000	0.258	0.809	1.265	1.541	1.608	1.457	1.105	0.596	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000
344	0.000	0.000	0.000	0.244	0.793	1.251	1.532	1.602	1.456	1.108	0.602	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000
345	0.000	0.000	0.000	0.230	0.778	1.239	1.523	1.597	1.455	1.110	0.607	0.088	0.000	0.000	0.000	0.000
346	0.000	0.000	0.000	0.218	0.764	1.227	1.514	1.592	1.454	1.113	0.613	0.092	0.000	0.000	0.000	0.000
347	0.000	0.000	0.000	0.206	0.751	1.216	1.506	1.588	1.454	1.116	0.619	0.097	0.000	0.000	0.000	0.000
348	0.000	0.000	0.000	0.195	0.738	1.205	1.499	1.584	1.454	1.120	0.625	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000
349	0.000	0.000	0.000	0.184	0.725	1.195	1.492	1.581	1.454	1.124	0.631	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000
350	0.000	0.000	0.000	0.174	0.714	1.185	1.485	1.578	1.455	1.128	0.637	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000
351	0.000	0.000	0.000	0.165	0.703	1.177	1.480	1.576	1.456	1.132	0.644	0.117	0.000	0.000	0.000	0.000
352	0.000	0.000	0.000	0.157	0.693	1.169	1.475	1.574	1.458	1.136	0.651	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000
353	0.000	0.000	0.000	0.149	0.684	1.161	1.470	1.573	1.459	1.141	0.657	0.128	0.000	0.000	0.000	0.000
354	0.000	0.000	0.000	0.142	0.675	1.154	1.466	1.572	1.462	1.146	0.664	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000
355	0.000	0.000	0.000	0.136	0.667	1.148	1.463	1.572	1.464	1.152	0.672	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000
356	0.000	0.000	0.000	0.130	0.660	1.143	1.460	1.572	1.467	1.157	0.679	0.145	0.000	0.000	0.000	0.000
357	0.000	0.000	0.000	0.125	0.654	1.138	1.458	1.572	1.471	1.163	0.686	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000
358	0.000	0.000	0.000	0.120	0.648	1.134	1.456	1.574	1.475	1.169	0.694	0.153	0.000	0.000	0.000	0.000
359	0.000	0.000	0.000	0.116	0.643	1.131	1.456	1.575	1.479	1.175	0.702	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000
360	0.000	0.000	0.000	0.113	0.639	1.129	1.455	1.578	1.482	1.182	0.710	0.170	0.000	0.000	0.000	0.000
361	0.000	0.000	0.000	0.110	0.636	1.127	1.456	1.580	1.488	1.189	0.718	0.177	0.000	0.000	0.000	0.000
362	0.000	0.000	0.000	0.107	0.633	1.126	1.457	1.584	1.494	1.196	0.726	0.184	0.000	0.000	0.000	0.000
363	0.000	0.000	0.000	0.105	0.631	1.126	1.459	1.588	1.500	1.204	0.734	0.190	0.000	0.000	0.000	0.000
364	0.000	0.000	0.000	0.104	0.630	1.127	1.461	1.592	1.506	1.211	0.743	0.197	0.000	0.000	0.000	0.000



TABLO - B.13  
AÇIK ATMOSFERDE ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN SAATLİK İŞİNİM  
DEĞERLERİ (MJ/m<sup>2</sup>sa)

Gün	Saat	Ölçülen	Hesapla	Gün	Saat	Ölçülen	Hesapla.	
24 Ocak D = 23	12-13	1.757	1.917	10 Nisan D = 99	8-9	1.537	1.939	
					9-10	2.201	2.481	
5 Şubat D = 35	11-12	1.942	1.978		10-11	2.564	2.836	
	12-13	1.916	2.086		11-12	2.723	2.974	
18 Mart D = 76	11-12	2.622	2.739		12-13	2.838	2.884	
	12-13	2.663	2.686	11 Nisan D = 100	10-11	2.402	2.496	
	13-14	2.466	2.402		11-12	2.769	2.850	
			12-13		2.887	2.988		
2 Nisan D = 91	12-13	2.506	2.852	27 Nisan D = 116	14-15	2.776	2.819	
	13-14	2.731	2.766		3 Mayıs D = 122	12-13	2.969	2.998
	14-15	2.483	2.457			13-14	2.950	2.946
	15-16	2.042	1.951			14 Mayıs D = 133	12-13	2.959
16-17	1.584	1.899	13-14	2.940	3.046			
			14-15	2.799	2.683			
			15-16	2.482	2.231			
5 Nisan D = 94	12-13	2.815	2.811	15 Mayıs D = 134	9-10	1.924	1.924	
	13-14	2.669	2.500		10-11	2.380	2.475	
	14-15	2.203	1.993		11-12	2.735	2.867	
	16-17	0.731	0.623		14-15	2.642	2.833	
					15-16	2.371	2.422	
					16 Mayıs D = 135	9-10	1.915	1.921
6 Nisan D = 95	9-10	2.303	2.417	10-11		2.465	2.473	
	10-11	2.673	2.775	11-12		2.746	2.867	
	11-12	2.782	2.915	12-13	2.904	3.069		
	12-13	2.827	2.826					
	13-14	2.678	2.514					
	14-15	2.313	2.007					
9 Nisan D = 98	9-10	2.426	2.466					
	10-11	2.739	2.822					
	15-16	1.219	1.396					

(Devam)

Gün	Saat	Ölçülen	Hesaplanan	Gün	Saat	Ölçülen	Hesaplanan	
	17-18	1.242	1.216	13 Temmuz	12-13	3.022	2.922	
	18-19	0.602	0.550	D = 194	13-14	3.055	3.048	
19 Mayıs	10-11	2.332	2.465		14-15	2.943	2.970	
D=138	11-12	2.704	2.867		15-16	2.616	2.697	
24 Mayıs	9-10	1.836	1.881		16-17	2.171	2.249	
D=143	10-11	2.276	2.445	23 Ağustos	9-10	1.630	1.646	
	11-12	2.679	2.859	D = 235	D = 236	16-17	1.532	1.638
8 Haziran	10-11	2.381	2.303	3 Eylül	9-10	1.608	1.734	
D=158	11-12	2.756	2.749	D = 246				
	12-13	2.932	3.021	28 Eylül	9-10	1.354	1.534	
	14-15	2.854	2.970	D = 217				
	15-16	2.610	2.650	29 Eylül	9-10	1.475	1.519	
				D = 272	10-11	1.911	2.012	
11 Temmuz	10-11	2.149	2.126	5 Ekim	9-10	1.314	1.468	
D=191	11-12	2.472	2.610	D = 278	10-11	1.838	1.958	
	12-13	3.002	2.929	8 Ekim	14-15	1.754	1.781	
	13-14	3.008	3.056	D = 281				
	14-15	2.893	3.982	20 Ekim	9-10	1.143	1.159	
	15-16	2.609	2.710	D = 293	10-11	1.624	1.643	
	16-17	2.192	2.266		11-12	1.919	1.947	
12 Temmuz	12-13	3.057	2.927		12-13	2.012	2.037	
D=192	13-14	3.054	3.054	23 Kasım	10-11	1.332	1.351	
	14-15	2.927	2.978	D = 327				
	15-16	2.636	2.706	26 Kasım	10-11	1.290	1.293	
	16-17	2.225	2.261	D = 330	12-13	1.453	1.519	
					13-14	1.285	1.316	
				6 Aralık	10-11	1.399	1.307	
				D = 340				
				17 Aralık	11-12	1.381	1.480	
				D = 351				

TABLO - C.1

Saatlik, bulut kapallılığı, bulut tipi ve toplam ışınım değeri (MJ/m<sup>2</sup>sa)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
17 Ağustos. 1984	2 Cu 1.500	3 Cu 1.998	4 Cu 1.476	3 Cu 2.005	2 Cu 2.844	2 Cu 2.726	2 Cu 2.339	2 Cu 1.561			
21 Ağustos	3 Cu 1.337	5 Cu 1.744	5 Cu 1.908	6 Cu 2.247	4 Cu 2.478	3 Cu 2.044	2 Cu 2.038	2 Cu 1.573			
22 Ağustos	-	-	8 Cb,Cu 1.433	7 Cb,Cu 1.529	7 Cb,Cu 1.677	8 Cu 0.643	8 Cu 0.808	5 Cu 1.312	5 Cu 0.630		
23 Ağustos	0 Cu 1.630	3 Cu 1.674	3 Cu 1.625	1 Cu 2.741	1 Cu 2.788	1 Cu 2.619	1 Cu 1.866	0 Cu 1.532			
24 Ağustos	2 Cu 1.432	2 Cu 1.961	2 Cu 2.543	2 Cu 2.882	2 Cu 2.537	2 Cu 2.337	2 Cu 2.393	1 Cu 1.315			
25 Ağustos	6 Ci,Cs 1.620	2 Cu 2.146	1 Cu 2.509	1 Cu 2.676	1 Cu 2.663	1 Cu 2.042	1 Cu 1.839	1 Cu 1.839	7 Ac,As 0.514	7 Ac,As 0.094	
28 Ağustos	-	-	6 Cu,Cs 1.930	6 Cu,Cs 1.639	6 Cu 1.821	4 Cu 2.164	4 Cu 1.870	5 Cu 1.545			

17.8.1984 - 31.10.1984  $\lambda_{st} = 45^\circ$  20.4.1985 - 13.7.1985  $\lambda_{st} = 45^\circ$ 1.11.1984 - 19.4.1985  $\lambda_{st} = 30^\circ$  2.4.1986 - 12.4.1986  $\lambda_{st} = 45^\circ$



(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
30 Eylül	-	1 Cu 1.366	1 Cu 1.860	1 Cu 2.183	1 Cu 2.317	1 Cu 2.163	1 Cu 2.220	1 Cu 1.881	-	-	-
3 Ekim	-	2 Cu 1.138	2 Cu 1.536	2 Cu 1.853	2 Cu 2.216	1 Cu 2.110	2 Cu 1.912	2 Cu 1.594	2 Cu 1.161	3 Cu 0.530	
4 Ekim	-	1 Cu 1.258	1 Cu 1.756	1 Cu 2.113	1 Cu 2.277	1 Cu 2.157	1 Cu 2.077	1 Cu 1.694	1 Cu 1.197	1 Cu 0.578	
5 Ekim	-	0	0	1 Cu 1.968	1 Cu 2.017	1 Cu 2.093	2 Cu 1.993	2 Cu 1.541	2 Cu 1.047	6 Cu 0.252	
6 Ekim	2 Cu 1.118	2 Cu 2.000	2 Cu 1.522	2 Cu 2.011	2 Cu 2.120	1 Cu 2.118	1 Cu 1.890	1 Cu 1.465	2 Cu 0.516	2 Cu 0.431	
7 Ekim	2 Cu 0.680	2 Cu 1.263	1 Cu 1.734	1 Cu 2.052	1 Cu 2.252	1 Cu 2.104	2 Cu 2.051	2 Cu 1.691	2 Cu 1.194	2 Cu 0.532	
8 Ekim	5 SC 0.490	4 Cu 1.079	2 Cu 1.678	1 Cu 1.037	1 Cu 2.191	1 Cu 2.107	0	1 Cu 1.556	1 Cu 1,048	1 Cu 0.465	
11 Ekim	1 Cu 0.580	1 Cu 1.191	1 Cu 1.781	2 Cu 2.109	2 Cu 2.172	1 Cu 12.248	-	-	-	-	-

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
12 Ekim	1 Cu 0.608	1 Cu 1.165	1 Cu 1.705	1 Cu 2.091	1 Cu 2.124	1 Cu 2.202	-	-	1 Cu 1.090	1 Cu 0.468	
20 Ekim	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	
24 Ekim	5 Sc 0.355	5 Sc 0.698	5 Sc 1.117	6 St, Sc 1.084	6 St, Sc 1.167	4 Sc 1.489	-	-	-	6 Ci 0.233	
25 Ekim	2 Cu 0.450	2 Cu 0.908	1 Cu 1.461	2 Cu 1.631	2 Cu 1.977	1 Cu 1.927	1 Cu 1.693	1 Cu 1.311	1 Cu 0.773	1 Cu 0.223	
26 Ekim	4 Sc 0.295	4 Sc 0.995	4 Sc 0.954	5 Cu, Sc 1.242	4 Cu, Sc 1.489	-	-	-	-	-	
27 Ekim	5 Sc 0.228	5 Sc 0.891	5 Cu, Sc 1.510	4 Cu, Sc 1.854	3 Sc 1.629	3 Sc 1.453	3 Sc 1.564	3 Sc 1.273	2 Sc 0.733	6 Cu, Sc 0.211	
29 Ekim	2 Sc 0.308	3 Sc 0.748	6 Cu, Sc 0.776	6 Cu, Sc 1.072	5 Cu, Sc 0.944	6 Cu, Sc 1.208	6 Cu, Sc 0.819	7 Cu, Sc 0.541	8 Cu, Sc 0.242	7 Cu, Sc 0.310	
30 Ekim	6 Sc 0.152	7 Sc 0.112	7 Sc 0.437	7 Sc 0.610	8 As 0.672	8 As 0.588	8 As 0.541	7 As 0.389	7 As 0.197	7 As 0.144	

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
21 Kasım	-	-	7 AS,AC 0.384	7 AS,AC 0.521	7 AS,AC 0.540	7 AS,AC	-	-	-	-	-
23 Kasım	2 Cu	J Cu	0	1 Cu	2 Cu	2 Cu	1 Cu	1 Cu	-	-	-
	0.712	1.121	1.332	1.475	1.079	0.956	0.633	0.346	-	-	-
26 Kasım	-	-	0	1 Cu	0	0	1 Cu	1 Cu	1 Cu	1 Cu	0.037
	-	-	1.290	1.403	1.453	1.285	0.757	0.336	0.037	0.037	0.037
29 Kasım	3 SC	5 SC	8 SC	8 SC	7 SC	6 Cu	6 Cu	6 Cu	-	-	-
	0.126	0.251	0.211	0.211	0.326	0.728	0.375	0.373	-	-	-
1 Aralık	-	-	6 SC	7 SC	7 SC	6 SC	6 SC	6 SC	-	-	-
	-	-	0.541	0.817	0.734	0.707	0.498	0.232	-	-	-
5 Aralık	5 Cu	5 Cu	5 Cu	5 Cu	5 Cu	4 Cu	1 Cu	2 Cu	2 Cu	2 Cu	0.040
	0.987	1.114	1.001	1.001	1.211	1.316	1.000	0.476	0.040	0.040	0.040
6 Aralık	-	-	0	2 Cu	2 Cu	2 Cu	2 Cu	2 Cu	3 Cu	3 Cu	0.039
	-	-	1.399	1.712	1.659	1.431	1.009	0.468	0.039	0.039	0.039
14 Aralık	-	-	-	-	7 AC,AS	7 AC,AS	7 AC,AS	8 AC,AS	8 AC,AS	8 AC,AS	0.006
	-	-	-	-	0.736	0.540	0.270	0.111	0.045	0.045	0.006

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
17 Aralık	-	1 Cu 0.679	1 Cu 1.090	1 Cu 1.090	0 1.381	2 Sc 1.024	2 Sc 0.950	2 Sc 0.639	2 Sc 0.337	4 Sc 0.043	
18 Aralık	-	-	-	6 Ci,Cs 1.031	6 Ci,Cs 1.031	7 Ci,Cs 0.337	7 As 0.272	7 As 0.182			
23 Aralık	-	-	-	6 Cu,Sc 0.568	8 Cu,Sc 0.290	8 Cu,Sc 0.306	-	-			
25 Aralık	6 As 0.159	7 As 0.514	7 As 0.423	7 As 0.272							
19 Ocak 1985	8 As 0.046	8 As 0.361	8 As 0.553	8 As 0.641	8 As 0.641	7 As 0.663	6 As 0.651	6 As 0.255	6 As 0.107		
24 Ocak	-	-	2 Cu 1.607	0 1.757	0 1.757	1 Cu 1.466	2 Cu 1.322	2 Cu 0.720	2 Cu 0.198		
25 Ocak	-	-	-	6 As,Ac 0.293	6 As,Ac 0.293	7 As,Ac 0.190	-	-	-		
1 Şubat	-	-	-	-	-	1 Sc 1.841	4 Sc 0.726	6 Sc 0.252	6 Sc 0.147		



(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
5 Şubat	-	-	-	0	0	3 Cu	2 Cu	2 Cu	1 Cu	-	-
				1.942	1.916	1.509	1.303	0.670	0.413		
6 Mart	-	-	-	-	-	3 Sc	1 Sc	2 Sc	2 Sc	5 Sc	
						1.980	1.888		0.384	0.070	
8 Mart	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu	Sc, Cu
	0.415	0.546	1.037	0.900	0.959	0.490	0.664	0.419	0.300	0.131	
9 Mart	6	5	3	3	2	-	-	-	6	-	
	St, Cu	St, Cu	Cu	Cu	Cu	-	-	-	St, Cu	-	
	0.775	1.409	2.044	2.195	2.450				0.432		
10 Mart	8	7	7	7	7	6	-	-	-	-	
	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	-	-	-	-	
	0.301	0.628	1.448	1.472	1.761	1.230					
12 Mart	-	6	7	7	7	7	6	6	6	-	
		St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	St, Cu	-	
		0.608	0.535	0.875	0.842	0.623	0.719	0.495	0.349		
13 Mart	5	4	3	2	1	1	5	6	7	7	
	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	
	1.063	1.762	2.191	2.421	2.488	2.276	1.846	1.159	0.387	0.147	
14 Mart	7	7	6	6	6	2	2	2	-	-	
	St, Cu	St, Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	-	-	
	0.782	0.977	1.277	1.728	1.544	2.283	1.900	1.420			

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
15 Mart	-	-	4 As 1.817	7 As 0.981	-	-	-	-	-	-
18 Mart	-	-	1 Cu 2.381	0 0 2.622	0 0 2.663	0 0 2.466	1 Cu 1.915	1 Cu 2.449	1 Cu 0.862	
25 Mart	-	-	6 Cu 0.968	6 Cu 1.565	6 Cu 1.310	6 Cu 1.424	-	-	-	
29 Mart	-	-	-	2 Ci 2.191	5 Ci, Cs 1.316	5 Ci, Cs 2.086	5 Ci, Cs 2.675	5 Ci, Cs 2.123	2 Ci 1.499	2 Ci 0.794
4 Nisan	1 Cu 1.509	4 Cu 1.494	5 Cu 1.285	6 Cu 1.033	5 Cu 1.311	4 Cu 1.736	1 Cu 2.202	1 Cu 1.692	1 AC 0.158	2 AC 0.272
5 Nisan	2 Cu 1.403	2 Cu 1.781	2 Cu 2.267	2 Cu 2.488	0 0 2.815	0 0 2.669	0 0 2.203	1 Cu 1.639	0 0 0.731	
6 Nisan	-	0 0.303	0 2.673	0 2.782	0 2.827	0 2.678	0 2.213	1 Cu 1.087	1 Cu 0.456	
9 Nisan	-	0 2.426	0 2.739	1 Cu 2.836	1 Cu 2.847	1 Cu 2.608	1 Cu 2.209	0 0 1.219	-	

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
10 Nisan	6 Ci 1.380	6 Ci 1.868	3 Ci 2.540	5 Ci 2.795	3 Ci 2.593	4 Ci 2.120	7 Ci 2.148	5 Ci 1.861	2 Ci 1.052	4 Ci 0.343	
11 Nisan	1 Ci 1.750	2 Ci 2.334	1 Ci 2.733	1 Ci 2.889	1 Ci 2.820	2 Ci 2.601	3 Ci 2.784	5 Ci 1.298	-		
17 Nisan	-	-	-	-	7 St,Cu 2.017	4 Cu 2.439	4 Cu 2.301	4 Cu 2.789	5 Cu 0.838		
19 Nisan	-	-	6 St 1.189	7 St 2.289	6 St 2.496	6 St 1.866	8 St 0.627	7 St 0.352	-		
20 Nisan	-	-	6 St,Cu 1.586	6 St,Cu 1.263	6 St,Cu 2.052	5 Cu 2.369	5 Cu 1.935	4 Cu 1.526	3 Cu 0.990		
25 Nisan	-	-	-	1 As 2.575	2 Ci 2.875	-	-	-	-		
26 Nisan	-	-	-	-	2 Ci 3.008	1 Ci 3.038	1 Ci 2.768	3 Ci 2.414	3 Ci 1.285	3 Ci 0.744	
27 Nisan	8 As,AC 0.399	6 As,AC 1.705	2 AC 2.002	2 Cu 2.779	2 Cu 2.779	4 Cu 2.751	0 Cu 2.776	1 Cu 2.216	1 Cu 1.733		

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
28 Nisan	1 Cu 2.010	2 Cu 1.992	2 Cu 2.615	1 Cu 2.805	1 Cu 2.027	1 Cu 2.633	1 Cu 2.295	1 Cu 1.401	1 Cu 1.401	-	-
29 Nisan	3 As 1.121	4 As 0.928	-	-	3 As 2.963	3 As 2.527	3 As 1.596	6 Ci, Cs 0.969	6 Ci, Cs 0.465	-	-
3 Mayıs	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-
14 Mayıs	-	-	1 Cu 2.785	1 Cu 2.959	0	0	0	0	1 Cu 2.035	-	-
15 Mayıs	0	0	0	1 Cu 2.740	1 Cu 2.758	0	0	0	2 AC 1.694	2 AC 1.238	-
16 Mayıs	0	0	0	0	1 Cu 2.813	1 Cu 2.685	1 Cu 2.367	1 Cu 1.770	1 Cu 1.770	0	0
19 Mayıs	-	0	0	4 Cu 1.899	4 Cu 1.938	2 Cu 2.337	2 Cu 1.897	2 Cu 1.211	2 Cu 1.395	2 Cu 0.725	-
24 Mayıs	0	0	0	1 Cu 2.837	2 Cu 2.771	2 Cu 2.363	3 Cu 1.553	2 Cu 1.903	2 Cu 1.903	2 Cu 1.056	-

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
25 Mayıs	4 As 0.961	1 As 1.929	1 As 2.350	4 As 1.968	-	-	-	-	-	5 As 0.926	5 As 0.271
28 Mayıs		3 Cu 1.620	3 Cu 1.908	4 Cu 1.654	3 Cu 2.633	5 Cu 2.558	6 Cu 2.883	6 Cu 2.405	6 Cu 1.596		
4 Haziran	-	-	-	2 Cu 2.581	2 Cu 2.833	2 Cu 2.820	2 Cu 2.684	2 Cu 2.391	2 Cu 1.986		
5 Haziran	-	-	-	2 Cu 2.592	3 Cu 2.756	3 Cu 2.932	3 Cu 2.504	3 Cu 2.854	3 Cu 2.610		
8 Haziran	-	-	0	0	0	2 Cu	0	0	-		
13 Haziran	1 Ci 1.500	1 Ci 2.123	-	-	-	-	2.381	2.756	2.932	2.504	2.610
14 Haziran		3 Ci 1.790	2 Ci 2.144	2 Ci 2.600	5 Ci, Cs 1.603	5 Ci, Cs 2.263	6 Ci, Cs 2.101	6 Ci, Cs 2.308	2 Ci 2.099	1 Ci 1.538	
15 Haziran		5 Ci, Cs 1.218	5 Ci, Cs 2.574	6 Ci, Cs 2.254	5 Ci, Cs 2.777	5 Ci, Cs 2.321	-	-	-	-	-

(Devam)

	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
11 Temmuz	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-
			2.149	2.472	3.002	3.008	2.893	2.609	2.192	-	-
12 Temmuz	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
					3.057	3.054	2.927	2.636	2.225		
13 Temmuz	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
					3.022	3.055	2.943	2.616	2.171		
2 Nisan 1986	-	-	-	2 AC	0	0	0	0	0		
				1.525	2.506	2.731	2.438	2.042	1.584		
9 Nisan	-	-	-	-	-	-	-	-	3 Ci	6 Ci	0.375
									0.587		
10 Nisan	0	0	0	0	0	1 Cu	1 Cu	1 Cu	-	-	-
	1.537	2.201	2.564	2.723	2.838	2.610	2.185	1.402	-	-	-
11 Nisan	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
			2.402	2.769	2.887						
12 Nisan	2 Ci	2 Ci	2 Ci	2 Ci	2 Ci	2 Ci	4 Ci	6 Ci, Cs	6 Ci, Cs	6 Ci, Cs	6 Ci, Cs
	2.088	2.412	2.465	2.202	1.843	1.471	0.924	0.633	0.228		

TABLO C - 2

Kimura ve Stephenson tarafından verilen modelin, bu çalışmada kullanılan verilere uygulanması ile elde edilen  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  katsayıları.

		$Z \leq 30^\circ$	$30^\circ < Z \leq 50^\circ$	$50^\circ < Z \leq 70^\circ$	$Z > 70^\circ$
Alçak Bulut	$a_1$	0.992	0.973	0.961	0.889
	$a_2$	-0.283	-0.144	-0.184	-0.003
	$a_3$	-0.342	-0.541	-0.568	-0.865
Orta Bulut	$a_1$	-	0.991	0.975	0.913
	$a_2$	-	-0.446	-0.451	-0.385
	$a_3$	-	-0.209	-0.256	-0.410
Yüksek Bulut	$a_1$	0.985	1.000	0.978	-
	$a_2$	0.032	-0.370	-0.432	-
	$a_3$	-0.528	-0.110	-0.085	-

## ÖZGEÇMİŞ

Sema TOPÇU, 1956 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı, 1974 yılında İ.T.Ü. Temel Bilimler Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümüne girerek, 1979 yılında mezun oldu. Aynı yıl Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde mühendis olarak çalışmaya ve lisans üstü eğitimine başlayarak 1981 yılında Yük.Müh. ünvanını aldı.

1988 yılında ICTP (Uluslararası Teorik Fizik Merkezi) bursu ile İtalya'da (Trieste) organize edilen "Fiziksel Klimatoloji ve Meteoroloji" konusundaki kursa katıldı. Halen İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde yüksek mühendis olarak çalışan Sema TOPÇU evli ve bir çocuk annesidir.