

Güneş Kaynaklı Ultraviyole Radyasyonunun Karasal Ekosistemler Üzerine Etkileri

Nihal KENAR¹, Osman KETENOĞLU

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06100 Tandoğan, ANKARA

Özet: Atmosferdeki ozon yoğunluğunun azalışı sebebiyle artan ultraviyole radyasyon miktarı, canlıları ve ekosistem yapısını etkilemektedir. Atmosfer bileşenleri, bulut örtüsü, yükseklik, albedo, güneş ışınlarının eğimi ve bitki kanopi şekli gibi parametreler, yeryüzüne ulaşan ultraviyole ışınlarının miktarında değişimlere yol açmaktadır. Ultraviyole ışınlarının yoğunluğundaki artış, canlılarda aktif oksijen türevlerinin üretimine, serbest radikallerin oluşmasına, DNA hasarına ve bitkiler için fotosentezin kısmi engellenmesine sebep olmaktadır. Bunun yanında ultraviyole radyasyonu, ekosistem seviyesinde türlerin rekabet dengesini, simbiyotik ilişkileri, biyojeokimyasal döngüleri ve fitoplankton verimliliğini etkilemektedir. Sonuç olarak güneş kaynaklı UV radyasyonunun artışı, doğal dengenin bozulmasına neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ultraviyole radyasyon, karasal ekosistemler, ozon azalımı

Solar Ultraviolet Radiation Effects On Terrestrial Ecosystems

Abstract: The amount of enhanced solar ultraviolet radiation because of ozone depletion in the atmosphere affects organisms and structure of ecosystems. Parameters as atmospheric components, cloud cover, altitude, albedo, solar gradient and plant canopies causes alteration in the amount of ultraviolet radiation arriving at the earth. Increased of ultraviolet radiation induces products of active oxygen species, formation of free radicals, DNA damages and detention of photosynthesis partly. Besides, ultraviolet radiation imprints competition balance of species, symbiotic relationships, biogeochemical cycles and phytoplankton productivity at the ecosystem level. As a result, increased of solar ultraviolet radiation provokes breakdown of natural balance.

Key Words: Ultraviolet radiation, terrestrial ecosystems, ozone depletion

1. Giriş

Atmosfer, dünyayı çevreleyerek canlıların yaşamlarını sürdürmelerine olanak sağlamaktadır. İnsan aktivitesiyle oluşan çeşitli kimyasalların atmosferle etkileşimi sebebiyle havanın doğal yapısında değişimler ve bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Atmosferin olumsuz değişimi, doğal dengeyi, ekosistemleri ve neticede insanı da etkilemektedir.

Atmosfer kirliliğinin iki temel küresel etkisi bulunmaktadır. Bunlardan ilki; atmosferdeki endüstriyel bazlı CO₂ miktarının artmasıyla dünya sıcaklığının sürekli ve olumsuz şekilde yükselmesidir. Diğer ise, kimyasal kaynaklı kloroflorokarbonların, halonların ve türevlerinin, güneşten gelen ve canlı yaşamını çoğu zaman olumsuz etkileyen ultraviyole ışınlarından

¹ E-mail: nihalkenar@yahoo.com

koruyan stratosferik ozon tabakasının tahribatına yol açmalarıdır. Bu sebeplerden ötürü ekvator bölgeleri dışında kalan bölgelerde ozon yoğunlukları çeşitli faktörlere bağlı olarak azalmaktadır. Bu azalma her 10 yılda yaklaşık % 3 kadardır [1]. Bunun sonucu olarak yeryüzüne ulaşan, güneş kaynaklı UV-B ışınlarında artış gözlenmektedir ve bu sebeple karasal ve denizel ekosistemlerin bu fotokimyasal değişimden etkileneceği bilinmektedir.

2. Ekosistemlere UV Radyasyon Akışını Belirleyen Faktörler

UV-B' nin yeryüzüne akışı hem atmosferik hem de jeofiziksel parametrelerin bir fonksiyonudur [2]. Atmosferik parametreler; atmosfer bileşenlerini ve bulut örtüsünü içermektedir.

2.1 Atmosfer Bileşenleri

Atmosfere gelen güneş ışınlarının dağılıma, yansıma ve emilim sebebiyle yeryüzüne ulaşmaları belli ölçüde engellenir. Yeryüzüne ulaşan oranı, "transmisyon" yani "geçirme katsayısı" olarak adlandırılır. Güneş ışınlarının dalga boyları değiştikçe transmisyon da buna bağlı olarak değişmektedir. Atmosferde en fazla difüzyona uğrayan ışınlar kısa dalga boylarına sahip UV ışınlarıdır. UV-B ışınları olarak adlandırılan bu ışınların yeryüzüne ulaşan miktarı ozon yoğunluğuna bağlıdır. Zararlı UV radyasyona karşı filtre görevi gösteren stratosferik ozonun büyük bir kısmı, tropikal bölgelerde atmosferin 10 ile 30. km' leri arasında oluşarak, stratosferdeki hava hareketleriyle kutuplara doğru taşınmakta ve kutba yakın bölgelerde de toplam ozon en yüksek seviyelere ulaşmaktadır [3]. Ayrıca, ozon güneş enerjisini soğurduğu için, ozon tabakası üst stratosferik sıcaklığın önemli bir kontrol faktörüdür [4]. Bu nedenle, ozon tabakası geniş ölçüde stratosferdeki sıcaklık profilini ve genel sirkülasyonu sabitleştirir [5]. Ozonun küresel kütlesi nispeten sabittir ve yaklaşık 3 milyar tondur ve bunun anlamı da güneş, her gün yaklaşık ozon tabakasının % 12' sini üretmektedir [6].

Ozon tabakası, 0 C' de 1 atmosfer basınç altında 3 mm kalınlığındadır. Bu da 300 DU (Dobson unit)' e takabül etmektedir. Farman *et al.* (1985)' e göre; 1974 yılından beri stratosferik ozon tabakasının kalınlığı tropikal bölgeler hariç tüm enlemlerde her yıl yaklaşık % 0,5 oranında azalmaktadır [7]. Buna bağlı olarak, Madronich *et al.* (1998) ve WMO (2003)' ya göre; yüzeysel UV-B radyasyonu her yıl yaklaşık % 5 oranında artmaktadır [7]. Şekil 1' de yıllara bağlı olarak toplam ozon miktarındaki değişimler görülmektedir.

Ozon azalmasına sebep olan maddelerden üretilen kloroflorokarbonlar, klima ve buzdolaplarında; halonlar adı verilen bromlu maddeler, yangın söndürmede; karbontetraklorür, kuru temizlemede ve boya çözücülerde; metil kloroform, kaplamalarda çözücü olarak hidrobromoflorokarbonlar ise spreylerde püskürtücü olarak kullanılmaktadırlar. Bunun yanında, ozon incilmesi özellikle kutup bölgelerinde yüksek atmosferdeki sıcaklığın düşmesine ve kutupsal stratosferik bulut oluşumuna bağlı olarak gerçekleşmektedir. Buna göre; ozon molekülleri kutupsal vorteksin meydana getirdiği şiddetli sıcaklık düşmesi sebebiyle atmosferdeki klor ve brom molekülleriyle tepkimeye girer ve bunun sonucunda parçalanarak yok olurlar. Atmosferdeki 300 DU olarak belirlenen ozon yoğunluğunun 220 DU altına düşmesi ozon incilmesi olarak kabul edilmektedir.

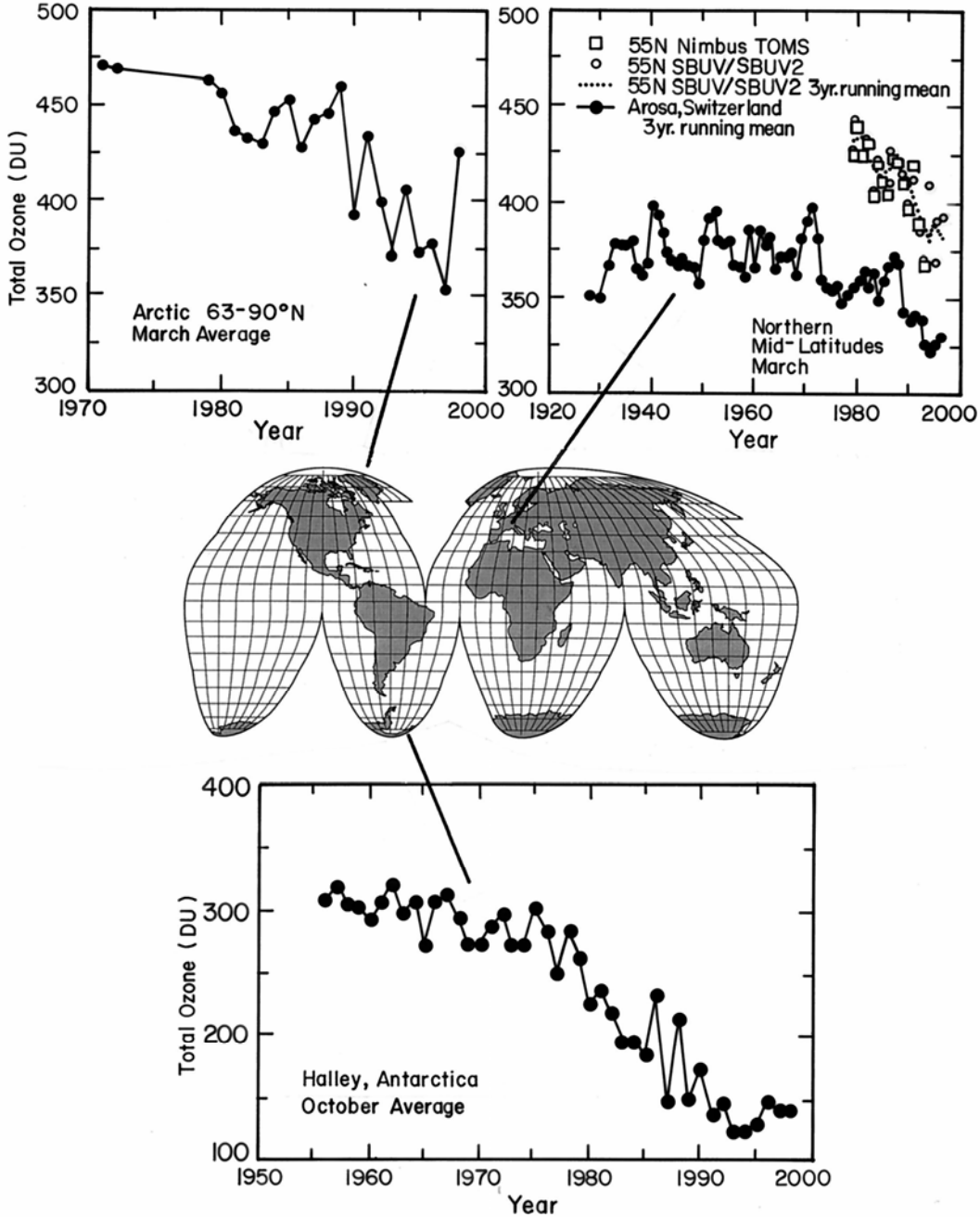
2.2 Bulut Örtüsü

Atmosferde bulunan su buharı diğer gazlara göre güneş enerjisini altı kat daha fazla absorbe eder (Akman, 1999) ve atmosferdeki her bir su damlacığı gelen UV radyasyonun bir kısmını uzaya geri gönderir. Bu nedenle troposfer tabakasında bulunan bulutluluk ve nem güneş kaynaklı radyasyon açısından önemlidir. Bulut örtüsü, yere ulaşan UV radyasyon miktarını azaltmaktadır. UV radyasyon miktarındaki azalma ise, bulut çeşidine ve bulutun kalınlığına bağlıdır. İnce bulutlar UV radyasyonunun yaklaşık % 35-50' sini, kalın ve yoğun bulutlar % 70-90' ını geri yansıtmaktadırlar.

Jeofiziksel parametreler; mevsimlere ve enlemlere bağlı olarak değişen güneş ışınlarının eğimi, yüzey albedosu, yükseklik ve bitki kanopi şeklindedir.

2.3 Güneş Işınlarnın Eğimi

Güneş ışınları yüzeye dik geldiğinde ve ışınların atmosferde daha kısa yol almaları sebebiyle UV radyasyon da bu durumda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı, dünyanın güneş etrafındaki yıllık hareketine ve enlemlere göre değişmektedir. Yılda iki kez güneşi dik açıyla alan ekvator bölgeleri, yüksek enlemler kutup bölgelerine oranla daha fazla güneş radyasyonuna maruz kalmaktadır. Ayrıca sıcak enlemlerde, uzun dönemli gün ışığının ve yerel öğleye yakın zamanlarda yüksek güneş irtifasının sonucu olarak yaz mevsiminde en fazladır [2]. Şekil 2' de Kuzey Yarımküre' de, 45. enlem üzerinde bulunan bir istasyona ait günlük net radyasyon değişimi görülmektedir.



Şekil 1 Çeşitli mevkilerdeki toplam ozon gözlemleri [8]

Uydu verileri bölgesel ve aylık ortalama değerler alınarak değerlendirilmiştir. Halley Araştırma İstasyonu'ndan alınan Antarktik veriler, Farman *et al.* (1985), Jones and Shanklin (1995) tarafından, Arktik uydu gözlem verileri, Newman *et al.* (1997) tarafından, İsviçre Arosa uydu gözlem verileri Hollandsworth *et al.* (1995) tarafından yorumlanmıştır.

2.4 Yüzey Albedosu

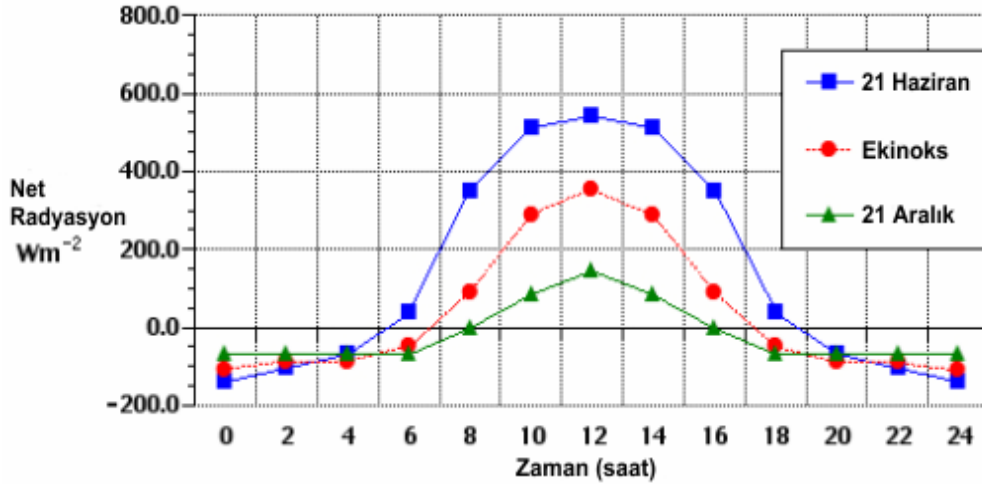
Difüzyona uğrayan ve bu sayede toprağa ulaşan ışınlar ile güneşten doğrudan gelen ışınların dünya yüzeyinden geri yansıyan yüzde miktarına "albedo" denir. Dünyanın albedosu % 36' dır. Işınımın dalga boyu arttıkça albedo da buna bağlı olarak yükselmektedir. Karasal alanlarda albedo, denizel ortamlara göre daha fazladır. Fresiter *and* Grewe (1995)' e göre; toprak için albedo değerleri toprağın yapısına, yüzey engebesine ve nem bileşiğine göre % 4-25 arasında değişmektedir. Vejetasyon örtüsünün albedo ortalaması için verilen değerler, vejetasyon tipine ve yaşına bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık % 2' dir [2].

2.5 Yükseklik

UV radyasyonu, incelen atmosferde daha az dağılım ve absorpsiyon gösterdiği için yükseklikle birlikte artmaktadır. Aynı zamanda deniz seviyesinden yükseltilenlere çıkıldıkça hava daha kurak ve berrak olacağı için güneş ışınlarının geçişi buna bağlı olarak artmaktadır. Yapılan araştırmalara göre; UV radyasyonu her 1000 metrede ortalama % 10 oranında artış göstermektedir. Blumthaler, Ambach *and* Ellinger (1997)' a göre; bu artış kışın her 1000 metrede % 20, yazın % 15 civarındadır [2]. Bu nedenle, dağlık alanlar düzlüklere göre daha fazla UV radyasyonuna maruz kalmaktadırlar.

2.6 Bitki Kanopi Şekli

Bitki kanopilerine ulaşan UV radyasyonu vejetasyon tarafından absorbe edilmekte, yansıtılmakta ve yayılmaktadır. Güneş yüksekliği, bitkilerin ve toprağın ışığı geçirme özelliği, yaprak alanı ve açıları, çevreye uyum, komşu bitkilerin diğerlerini gölgelemesi, eğim, albedo oranı, yaprağın radyasyonu yayma ve yansıtma derecesi gibi pek çok faktör kanopiye ışığın nüfuzunu etkileyebilmektedir. Örneğin, UV-B nüfuzu kapalı orman kanopilerinde %1-2' den daha az iken, yapraksız kanopilerde UV-B radyasyonunun emilimi %30 olabilmektedir [9]. Parisi *and* Wong (1994)' a göre; yarı küresel, konik ve sivri tepeli kanopilerin, UV radyasyonunun etkisini orman altında sırayla %40, %65, % 83 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Day, Vogelmann *and* DeLucia (1992)' nin incelemelerine göre; UV-B radyasyonunu, konifer yapraklarına, otsu dikotil yapraklarından daha az nüfuz etmektedir [2].



Şekil 2. Günlük net radyasyon değişimi (www.meteor.gov.tr)

3. Artan UV Radyasyonu ve Ekosistemler

Stratosferik ozon azalmasına bağlı olarak artan UV radyasyonu, bitkilerin, mikroorganizmaların ve bazı hayvanların faaliyetleri aracılığıyla karasal ekosistemler üzerinde çeşitli etkiler gösterebilir [10]. Bu etkiler, kimyasal kompozisyonda, bitki formlarında ve abiyotik çevredeki değişimler aracılığıyla görülebilmektedir.

3.1 UV Radyasyonunun Organizma Düzeyinde Etkileri

Artan UV-B radyasyonunun organizmalara doğrudan ve dolaylı pek çok etkisi vardır. Organizmalar UV-B radyasyonundan korunma ve radyasyonun etkilerini azaltıcı mekanizmalar geliştirmelerine rağmen, çeşitli etmenler sebebiyle ozon tabakasındaki azalma ve bunun sonucunda UV ışınlarının, eskisine oranla daha yoğun hissedilmesi yapılarında bir takım değişimlere neden olmaktadır. Genel zararlı etkiler; aktif oksijen türevlerinin üretimini, serbest radikalleri ve DNA hasarını ve bitkiler için fotosentezin kısmi engellenmesini içermektedir [10].

3.1.1 Bitkilerin Yanıtları

Artan UV radyasyonu, bitkilerde büyüme inhibisyonuna, anatomik ve morfolojik değişimlere, flavonoidlerdeki artışa, polen tüpü büyümesinin inhibisyonuna yol açabilmektedir [11].

Bitkilerin, organizmaya zarar verici etkisi olan UV-B radyasyonuna karşı çok sayıda savunma ve onarım mekanizmaları geliştirdiği bilinmektedir. Mumsu ve reçineli yüzey yapıları ve tüyler, özellikle flavonoidleri ve fenolik asitleri içeren ikincil metabolitler ve aktif olmayan oksijen türlerinin hasarından koruyan antioksidanlar, bitkilerin savunma mekanizmalarına örnek oluştururken, biyomoleküllerin onarım reaksiyonları ve farklı koruyucu bileşiklerin tetiklenmesi de tamir mekanizmaları arasında sayılabilir [12].

Moleküler düzeyde UV radyasyonu, organizmalar için ölümcül rol oynamaktadır. Bir fotonun bir moleküle çarpması organizmaya çeşitli zararlar verebilmektedir. UV radyasyonunun bilinen en yaygın DNA hasarı "siklobütan primidin dimeri" ve "(6-4) foto-ürün" olan primidin adüksiyonlarıdır. Bu hasar, aynı zincirdeki komşu pirimidinleri birleştirerek DNA'nın heliks yapısını bozmaktadır. Ancak organizma sahip olduğu fotolizaz enzimi yardımıyla uygun sıcaklıkta hasarı etkin bir şekilde onarabilmektedir. Buna rağmen, UV radyasyonunun organizma üzerindeki nüfuzu ve düşük sıcaklık bu onarımı engelleyebilmekte veya yavaşlatabilmektedir. Bu nedenle, soğuk bölge bitkileri, soğukkanlı hayvanlar ve mikroorganizmalar bu hasar ve onarım dengesinden diğer bölgelerdeki canlılara oranla daha yoksundurlar ve maalesef bu soğuk bölgeler ozon azalmasının en fazla görüldüğü yerlerdir [10]. Bitki türlerinin UV-B radyasyonuna yanıtları pigmentlerde ve bitki yapılarındaki farklılıklar nedeniyle oldukça çeşitli olabilmektedir. Açık arazilerde ve kapalı alanlarda yapılan çalışmalar, hem spektral bölge (UV-A: 315-400 nm) hem de görünür bölge (400-700 nm) radyasyonu arasında gerçeğe yakın bir dengenin devam etmesi gerektiğini göstermiştir. Örneğin, fotosentezde kullanılan fotosentetik aktivite radyasyonu (PAR) ve UV-A radyasyon nüfuzu düşükse UV-B radyasyonunun etkileri daha şiddetli olabilmektedir [10]. Ayrıca sıcaklık, besin ve su gibi faktörlerin de etkisiyle bitkilerin UV-B radyasyonuna yanıtları değişmektedir.

UV-B radyasyonunun nüfuzu, odunsu dikotiledonlara, monokotil bitkilere ve konifere oranla otsu dikotiledonlarda daha fazladır ve ayrıca yaprak yaşıyla da değişen bu nüfuzun, bazı genç konifer yapraklarında olgun yapraklara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir [10]. Ayrıca Day (1993), yaprağın fotosentetik mezofil tabakasına ulaşan UV-B radyasyon miktarının, herdem yeşil konifere göre, yaprak dökme- geniş yapraklı türlerde daha fazla olduğunu belirtmiştir ve bu da yaprak dökme türlerin artan UV-B radyasyonuna daha duyarlı olduğunu göstermektedir [12].

Phoenix (2000)' in arazi çalışmasında, kutup altı bölgelerde bodur çalı bitkilerinden olan *Vaccinium uliginosum* ve *V. myrtillus* türlerinin gövde uzunluğunun, dallanmanın, yaprak kalınlığının, çiçeklenmenin, meyve üretiminin, fenolojinin ve toplam UV-B absorblayan bileşiklerin doğal UV radyasyonundan büyük ölçüde etkilendiklerini belirtmiştir. *Vaccinium uliginosum* ve *V. myrtillus* artırılmış UV-B radyasyonuna karşı az tepki gösterirken, *V. vitis-idaea* ve *Empetrum hermaphroditum* artırılmış UV-B radyasyonuna karşı hiçbir tepki vermemişlerdir. Bu çalışma, Arktik türlerin, artırılmış UV-B radyasyonuna sanılandan daha toleranslı olduklarını ve UV-B absorblayan bileşiklerin üretiminin, laboratuvar çalışmalarından beklendiği gibi UV-B miktarıyla basit bir ilişki içinde olmadığını göstermektedir [13]. Tablo 1' de bu türlerin UV-B radyasyonuna karşı tepkileri görülmektedir.

Antonelli *et al.* (1998), Newsham *et al.* (1999) ve Keiller *and* Holmes (2001) ise, açık alanda yapılan arazi çalışmalarında yaprak büyüklüğünün, artan UV-B radyasyonu sebebiyle sürekli

olarak azaldığını belirtmişlerdir [12]. Böylece yaprak dokularına UV-B girişi seyreltilmektedir. Bunun dışında bazı yaprak dökme türler, yaprak kalınlıklarını artırarak UV-B radyasyonunun hücre tabakalarındaki nüfuzunu azaltmaktadırlar. Ayrıca, Rozema (1993, 1995) yaprak kalınlığının çoğu kez atmosferik CO₂ oranının yükselmesiyle de arttığını bildirmiştir [14].

Tablo 1. Tundra bodur bitkilerinde UV-B etkileri [13]

Tepki	<i>Vaccinium myrtillus</i>		<i>Vaccinium uliginosum</i>		<i>V. vitis-idaea</i>		<i>Empetrum hermaphroditum</i>	
	Doğal UV	Artırılmış UV	Doğal UV	Artırılmış UV	Doğal UV	Artırılmış UV	Doğal UV	Artırılmış UV
Gövde uzunluğu	-	↓	0	0	0	0	0	0
Dallanma	-	0	0	0	0	0	0	0
Yaprak kalınlığı	-	↑	0	0	0	0	-	-
Çiçeklenme	-	↑	↑	-	0	0	-	-
Meyve Üretimi	-	↑	0	-	0	0	0	0
Fenoloji	-	0	0	0	0	0	0	0
Toplam UV-B Absorblayan Bileşikler	-	↓	↓	↓	↓	0	0	0

(↑= artış, ↓= azalış, 0= etki yok, - = bilgi yok)

Nagel *et al.* (1998), UV-B radyasyonu sonucunda *Q. robur* ve *Populus trichocarpa* yapraklarda palizat parankimasi kalınlığının arttığını, Kostina *et al.* (2001) ise, sünger parankimasına ve hücreler arası boşluğa sahip *Betula pendula* yapraklarının kalınlaştığını belirtmiştir [12]. UV radyasyonunun bitki türleri üzerinde olumlu bir etkisi ise, iki Akdenizli çam türü olan *Pinus pinea* ve *Pinus halepensis*' in yapraklarındaki kutikula tabakasının kalınlaşmasından dolayı, kuraklık toleranslarının artışıdır [17].

UV-B radyasyonu çiçeklenme zamanının yanı sıra, belli türlerdeki çiçeklerin sayısını da değiştirebilir. Bunun yanında bitkilerin üreme organları, UV-B radyasyonunun zararlı etkilerine duyarlı olabilmektedirler. Ancak, polen ve ovül, sepal, petal ve ovaryum gibi bitkilerin üreme kısımlarının çoğu güneş kaynaklı UV-B radyasyonuna karşı korunmuş durumdadır. Örneğin, anter duvarları UV-B radyasyonunun %98' inden daha fazlasını absorbe edebilmekte ve polen duvarları tozlaşma süresince radyasyondan korumayı sağlayan UV-B absorblayan bileşikler içermektedir [10]. Bazı deneylerde polenin stigmaya transferinden sonra UV-B radyasyonuna duyarlı olabileceği saptanmıştır ancak bunun çimlenmeyi etkilemediği düşünülmektedir. Buna rağmen, pek çok türün polen tüpü büyüme hızı yavaşlayabilir.

Eşeyssel üreyen tek yıllık çöl bitkilerinde büyüme üzerine UV-B radyasyonu etkilerinin sonraki jenerasyonlarda biriktiği bilinmektedir. Bunun yanında, UV-B radyasyonuna maruz kalmış dört nesilden sonra etkiler, UV-B radyasyonuna maruz kalmamış beşinci nesil üzerinde de devam etmektedir [10].

3.1.2 Mikroorganizmaların Yanıtları

Birçok mikroorganizma UV radyasyonuna doğrudan maruz kalmamalarına rağmen, bir kısmı tümüyle ya da hayat döngülerinin bir bölümünde bu etkiden kaçamazlar. Örneğin, karasal ekosistemlerde yaprak yüzeyinde yaşayan mikroorganizmalar UV radyasyonuna maruz kalmaktadırlar. Sundin *and* Jacobs (1999, 2001) seleksiyonu etkileyen UV radyasyonunun yaprak yüzey florasının tür ve genotipik kompozisyonunda ölçülebilir değişimlere sebep olduğunu belirtmişlerdir [9]. Sürgünleri yüksek UV-B radyasyonuna maruz kalmış bitkilerin kökleriyle etkileşimde olan mikroorganizmalar da radyasyondan dolayı olarak etkilenmektedir [10].

Pek çok fungi ve bakteri spor oluşumu ve dağılımı süreci boyunca UV radyasyonuna karşı savunmasızlardır ve Rothschild (1999)' a göre; çoğu mikroorganizma üzerine UV radyasyonunun temel etkisi mutasyonların meydana gelmesiyle kalıtsal değişimlere ve genetik varyasyonlara yol açabilen DNA hasarıdır [9]. Ancak UV radyasyonunun mikroorganizmalar üzerindeki zararları ya da yararları dalga boyuna göre değişmektedir. Örneğin, UV-A' nın spesifik dalga boyları pek çok fungi türünde spor oluşumunu başlatan fotomorfogenik etkilere sahiptir [9].

3.1.3 Hayvanların Yanıtları

Karasal hayvanlar UV radyasyonunun zararlarından dış iskeletleri, postları, tüyleri ve UV hasarını onarıcı mekanizmaları yardımıyla korunmaktadırlar. Örneğin, kutup bölgelerinde yaşayan türlerin beyaz renkli kış tüyleri ve kürklerinin UV-B radyasyonunu yansıttığı ve yine bu türlerin kutup ikliminde hayatta kalmaları için gözlerinin UV-B radyasyonuna son derece iyi adapte olması gerektiği düşünülmektedir. Leinaas (2002), omurgasızların siyahımsı formlarının termoregülasyonda ve UV-B radyasyonundan korunmada pek çok avantaja sahip olduklarını belirtmiştir [13].

Balıklardan memelilere kadar pek çok hayvanda, laboratuvar koşulları altında deri kanseri vakalarının görülebileceği ve özellikle evcil hayvanların az pigmentli vücutlarında bu tür belirtilere rastlanabileceği deneysel olarak da kanıtlanmıştır [10]. Leinaas (2002) tarafından, Svalbard' ta *Collembola* takımının dört üyesinin UV-B toleransının belirlenmesi için yapılan bir deneyde, nemli kıyı habitatlarında yaşayan pigmentli bir böcek türü olan *Hypogastrura viatica*' ya ve pigmentless bir toprak canlısı olan *Onychiurus groenlandicus*' ya Güney Norveç' te hemen hemen yazın açık gökyüzü koşullarına eşit, günde 12-14 saat 300-320 nm dalga boyunda 0,5 Wm⁻² radyasyon miktarı uygulanmıştır. Deney sonucunda, *O. groenlandicus*' un bir hafta içinde % 100 ölüm oranına sahip olduğu ve *H. viatica*' nın etkilenmemiş olduğu gözlemlenmiştir [13]. Pek çok hayvanın, doğal çevrelerinde UV hasarının etkilerini azaltan evrimleşmiş mekanizmalara sahip oldukları ve UV' yi görüş sistemleri için kullandıkları düşünülmektedir. Hunt *et al.* (2001) ve Kevan, *et al.* (2001)' a göre; UV görüşü hem omurgalılarda hem de omurgasızlarda besin aramada ve eş seçiminde anahtar olabilmektedir ve Briscoe *and* Chittka (2001), filogenetik analizlerin böceklerin UV görüşünün 350 milyon yıllık olabileceğini ileri sürmektedirler. Yine Kevan, *et al.* (2001) "UV görüşünün evrimini bitkiler ve hayvanlar arasındaki besinsel işbirliğinin gelişiminde uzun dönemli evrimsel bir öneme sahip olduğunu" belirtmiştir [9].

3.2 UV-B Radyasyonunun Ekosistem Düzeyinde Etkileri

UV radyasyonu, organizmalar arasındaki besin etkileşimine ve bununla birlikte ekosistem fonksiyonlarının çeşitliliğine de etki etmektedir.

3.2.1 Rekabete Dayanan Denge

Artan UV radyasyonu, güneş ışığı için rekabet edebilen türlerde değişimlere sebep olmaktadır. Örneğin, fotosentezde gerekli olan güneş ışığı için rekabet eden iki türden yalnızca birisi daha fazla güneş ışığı elde etmektedir. Bu nedenle bir tür, yüksek UV-B radyasyonundan kazanç sağlamıştır diğeri ise, zarar görmüştür.

Bitki türlerinin UV-B radyasyonuna tepkilerinin farklı olması nedeniyle bir türdeki verimliliğin azalışı, UV radyasyonuna daha toleranslı olan diğer türlerin de verimliliğinin azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle tür dengesindeki bir değişim, tür kompozisyonundaki değişimlere sebep olacaktır [10].

UV radyasyonu, bitkide çiçeklenme, yaprak yaşlanması gibi fenolojinin değişmesine de sebep olmaktadır. Bir ekosistem içeriğinde bu tür bir değişimin görülmesi rekabet dengesini ya da bitkiler ile onların polinatörleri arasındaki ilişkileri değiştirerek, ekosistem yapısındaki değişimlere yol açabilmektedir [11].

3.2.2 Patojenler, Otobur Böcekler ve Simbiyotik İlişkiler

Seçici filtreler ve çeşitli lamba sistemleriyle yürütülen deneyler, artan UV-B radyasyonunun doğal ve zirai bitki yapraklarıyla beslenen otobur böcekleri azalttığını göstermektedir [10]. Bu azalmanın sebebi, nitrojen, sükröz ya da ikincil metabolitlerin oluşturduğu konakçı kimyasındaki ve doku morfolojisindeki değişimlerdir [11], [9]. McCloud *and* Berenbaum (1994)' un laboratuvar çalışmalarına göre; UV radyasyonu bitki dokularında savunma mekanizmasından sorumlu fototoksik bir madde olan furanokumarin içeriğini yükseltmektedir. Bu toksinleri bitki aracılığıyla bünyesine alan böcek larvaları, büyümelerinin erken safhalarında daha yavaş gelişmektedirler [10]. Hatcher *and* Paul (1994), Grantpettersen *and* Renwick (1996) ve Gwynn *et al.* (1997)' a göre; yine ikincil metabolitlerden biri olan tanenin artışıyla, bitkinin lezzeti ve sindirilebilirliği değişmekte ve bunun sonucunda da UV-B radyasyonu dolaylı olarak otoburluğu ve bitki-hayvan ilişkilerini etkileyebilmektedir [15].

UV-B radyasyonu, bitkiler ve onların polinatörleri arasındaki etkileşiminde de rol oynadığı bilinmektedir. Çiçeklerdeki UV renkliliği, polinatörlerin beslenme davranışlarını etkilemektedir. Örneğin, *Polyommatus icarus* türü kelebeğin larvasının bitki flavonoidlerini bünyesine alması sebebiyle, yetişkinlerinin kanat renginde değişimler görülmektedir. Bu da eş seçimini önemli ölçüde etkilemektedir [9]. Meyvelerdeki UV renkliliği de artan radyasyonla birlikte değişmektedir. Bu da ispinoz gibi bazı tohumla beslenen kuşların yiyecek seçimini etkileyebilmektedir.

Klironomos *and* Allen (1995)' göre; UV-B radyasyonu bitkiler ve mikroorganizmalar arasındaki simbiyotik ilişkileri de etkilemektedir. Örneğin, UV-B radyasyonu *Acer saccharum* filizlerinin mikorizal yapısını değiştirmekte ve bununla birlikte, *A. saccharum*' un kök bölgesinde bakteriler ve mikorhiza olmayan mantarlar artmaktadır [15]. Mikorhiza-bitki ilişkilerindeki değişen denge, fosfat ve azotun kullanılabilirliğini ve sonuç olarak da ekosistemlerin birincil üretimini etkilemektedir.

3.2.3 Biyojeokimyasal Döngüler

Karasal ekosistemlerde biyojeokimyasal döngüleri iki önemli süreç oluşturmaktadır.

- Fotosentezle alınan, toprakta depolanan ve havaya salınmayla geri verilen karbonun çevirimi
- Bitki verimi ve ekosistem verimliliğine bağlı, nitrojen gibi, mineral besin döngüleri

Karasal ekosistemlerde karbonun, nitrojen gazlarının değişimi bu süreçlere bağlıdır. UV radyasyonu toprağın birkaç milimetre üstüne nüfuz etmesine rağmen, bu maruz kalınış, önemli toprak süreçlerini değiştirmektedir. Artan UV-B radyasyonu, bitki köklerinden toprağa bırakılan kimyasalların dengesini, ayrıştırıcı organizmaların büyümesini, ölüm oranlarını ve diğer toprak ayrıştırıcı organizmaları doğrudan etkilemekte bunun sonucunda da farklılaşan mikroorganizma komüniteleri topraktaki çürümeyi değiştirmektedir [16], [9]. Örneğin, Gehrke *et al.* (1996)' nin yapmış olduğu bir deneyde artan UV-B radyasyonu sebebiyle *Vaccinium uliginosum*' un yaprak artıklarındaki lignin içeriği azalmış, selüloz içeriği artmış ve selüloz : lignin oranı azalmıştır. Bununla birlikte, UV-B radyasyonuna maruz kalan bitki artıklarında fungal kolonizasyon azalmıştır [17]. Sonuç olarak, bitki yapısındaki kimyasal bir değişim, topraktaki ayrışmanın oranını ve biyojeokimyasal döngüleri etkileyebilmektedir [10]. Aynı zamanda lignin, selüloza ve diğer bitki polisakkaritlerine oranla daha fazla karbon içerdiğinden, küresel azot döngüsünde ve atmosferik dengenin korunmasında oldukça önemli bir yere sahiptir [11]. Bunun dışında, UV-B radyasyonunun çürüme üzerinde biyolojik olmayan bir etkisi, bitki artıklarının hızlandırılmış fotokimyasal çürümeye sebep olmaktadır.

Johnson *et al.* (2002)' a göre, UV-B radyasyonunun uzun süreli artışı sonucunda ya da bazen atmosferde CO₂ gazının artışıyla birlikte, mikrobiyal biyomasın C:N oranını önemli ölçüde etkilemekte ve bunun sonucunda da organizmalardaki azotun etkinliği değişebilmektedir. Alexander (1974), Kallio (1974), Lennihan *et al.* (1994), Solheim *et al.* (1996), kutup bölgelerinde biyolojik azot fiksasyonunun, serbest yaşayan ya da diğer organizmalarla -likenler ve karayosunları gibi- birlikte yaşayan siyanobakteriler tarafından gerçekleştirildiğini açıklamışlardır. Sinha *et al.* (2001) *and* Kumar *et al.* (2003) laboratuvar koşullarındaki uzun süreli deneylerde UV-B radyasyonunun, çeşitli siyanobakter türlerinde büyüme inhibisyonuna, CO₂ alınımında azalışa, RuBisCO aktivitesindeki değişimlere ve nitrojenaz enziminin inhibisyonuna

yol açtığını ileri sürmüşlerdir [18]. Bunun sonucunda, Uralets (1991)' in çalışmasında belirtildiği gibi, azot fiksasyonunun yüksek Arktik bölgelerde azaldığı düşünülmektedir [16]. Arktik bölgede azot, çoğunlukla birincil üretimdeki besini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, azot etkinliğindeki bir değişim ekosistem için önemli sonuçlara yol açabilmektedir.

3.2.4 Fitoplanktonlar

Wetzel (1992), fitoplankton komunitelerinin, göllerde, denizlerde ve akarsularda biyomasın üretiminde rol oynadıklarını belirtmiştir [16]. Houghton *and* Woodwell (1989)' e göre; fitoplanktonlar dünyadaki fotosentetik üretimin yarısı olan, yaklaşık 104 gigaton karbon alımından sorumludurlar. Bu nedenle ozon incelmeleri, atmosferik CO₂' in okyanuslara emilimini etkileyebilmektedir. Fitoplanktonlar, az ışıklı sucul habitatlara adapte olmaları sebebiyle, epidermal bir UV korumasından yoksundurlar. Böylece, fitoplankton verimliliğinde küçük bir düşüş bile, planktonik organizmaları, karbon döngüsü süreçlerini ve diğer deniz canlılarını etkileyebilmektedir [19].

3.2.5 Diğer Faktörlerin Etkileşimi

Doğadaki bitkiler ve diğer organizmalar, UV-B radyasyonu, sıcaklık, su gibi tek bir stres faktöründen etkilenmezler. Bunun yerine organizmalar, uyumda rol oynayan su stresi, yüksek atmosferik CO₂, mineraller, ağır metaller, troposferik hava kirliliği ve sıcaklık gibi pek çok faktöre birlikte yanıt verirler. Ayrıca su stresi ve gıda sınırlaması gibi faktörlerin organizmaların UV-B radyasyona yanıtını baskıladığı belirtilmektedir [11]. Bu nedenle, UV-B radyasyonunun etkileşimi büyük ölçüde bu tip faktörler tarafından yükseltilebilir. Örneğin, su stresine sahip bitkilerde daha yüksek yaprak flavonoid konsantrasyonları meydana gelmekte, bu da bitkiye daha yüksek UV-B koruması sağlayabilmektedir. Yüksek CO₂ ise, bazı türler için yüksek UV-B radyasyonuna karşı bir miktar koruma sağladığı ileri sürülmektedir; ancak yüksek UV-B radyasyonu, fotosentezde bazı türlerin yüksek CO₂' ten yararlanma yeteneğini sınırlayabilmektedir. Bunun dışında, UV radyasyonu deneylerinde yüksek seviyedeki ozon konsantrasyonu, bitki dokularındaki UV-B absorblayan pigmentlerin düzeyini düşürerek, büyüme kabinlerinde yetiştirilen çam filizlerinin UV-B radyasyonuna karşı duyarlılığını yükselttiği belirtilmektedir [10].

4. Sonuç

Gelecekteki iklim değişikliği modelleri, karasal ekosistemler için oldukça önemli olan sıcaklık, yağış, yeryüzüne ulaşan radyasyon ve atmosferik CO₂ konsantrasyonunda artış gibi çeşitli parametrelerdeki değişimleri tahmin edebilmektedir. Öngörülen iklim değişikliğiyle birlikte, stratosferik ozon azalımının en önemli sonucu, UV radyasyonunun dünya yüzeyi üzerine transmisyonudur [20]. UV radyasyonu, türlerin, element döngüsüne ve iklimdeki değişimlere yanıtlarını içeren biyolojik sistemlerde değişimlere sebep olmaktadır [21]. Bu değişimler doğrudan; bitkilerde, hayvanlarda ve mikroorganizmalarda fiziksel zararlar ve ikincil bileşiklerin artan üretimiyle birlikte bitki artıklarının çürümesi, dolaylı olarak; ekosistem yapısının ve fonksiyonlarının türler arasındaki değişen rekabet ilişkileri, biyojeokimyasal döngüler üzerinde etkili olabilmektedir [22]. Özellikle, fitoplanktonların UV-B radyasyonundan olumsuz etkilenmeleri, deniz ve okyanuslarda CO₂' in azalışına, buna karşın CO₂ konsantrasyonunun atmosferde artışına sebep olmaktadır. Bu sürecin devam etmesi, dünya ikliminin dengesinin değişmesine neden olacaktır. Bu değişim, doğrudan insan sağlığını etkileyecektir. Çeşitli solunum yolu hastalıkları ve bağışıklık sistemlerinde meydana gelen değişimlerle birlikte, enfeksiyon hastalıkları oluşacağı tahmin edilmektedir. Değişen iklim koşullarından bağımsız olarak, artan UV-B radyasyonunun deri ve cilt kanserlerine ve çeşitli göz hastalıklarına sebebiyet verdiği bilinmektedir.

Ozon azalımına bağlı UV-B radyasyonundaki artış, topraktaki mikroorganizmaların ölümüne sebep olmakla birlikte, tarımsal ürünlerin ve toprağın verimliliğini düşürmektedir. Kadıoğlu (2004), UV-B radyasyonunun A.B.D.' de tarım ve orman alanlarında 2 milyar dolarlık zarara neden olduğunu ve gelecekte de Türkiye' yi etkileyebileceğini belirtmiştir.

UV radyasyonunun canlılar ve biyolojik sistemlere etkilerini araştıran çalışmalar yeterli düzeyde olmamakla birlikte, gün geçtikçe artmaktadır. Ancak, ozon azalışındaki yirmi beş yıllık süreçte, UV-B radyasyonunun insan yaşamını yönlendiren bitkiler üzerindeki etkilerine daha fazla önem

verilmiştir ve bu tür çalışmaların artması gelecekte toplumların kalkınması ve doğal dengenin korunması açısından gereklidir.

Kaynaklar

1. Akman, Y., Ketenoglu, O., Kurt. L., Evren, H. ve Düzenli, S., **Çevre Kirliliği, Çevre Biyolojisi**. Palme Yayınları, Ankara, (2000).
2. Cockell, C., Blaustein, A. R., **Ecosystems, Evolution and Ultraviolet Radiation**, Springer, (2001).
3. Acar, Y., Ekici, M., **Kutuplardaki ozon incelməsi**, (2009). <http://www.meteor.gov.tr>. Erişim Tarihi: 02.03.2009.
4. Ghetti, F., Checcucci, G. and Bornman, J. F., **Environmental UV radiation : impacts on ecosystems and human healths and predictive models**, Nato Science Series, IV. Earth and Environmental Science (vol. 57), Italy, (2001).
5. Zerefos, C. S., Bais, A. F., **Solar ultraviolet radiation: modelling, measurements, and effects**, NATO ASI Series I: Global Environmental Change 52; 332p., (1997).
6. Newman, P. A., **Stratospheric Ozone**, Elektronik Kitap, (2003). http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_1/index.htm. Erişim Tarihi: 02.03.2009
7. Rozema, J., Boelen, P., Blokker, P., **Depletion of stratospheric ozone over the Antarctic and Arctic: Responses of plants of polar terrestrial ecosystems to enhanced UV-B, an overview**, Environmental Pollution, 137, 428-442, (2005).
8. Solomon, S., **Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history**, Review of Geophysics, 37, 275-316, (1999).
9. Paul, N. D., Gwynn-Jones, D., **Ecological roles of solar UV radiation : towards an integrated approach**, Trends in Ecology and Evolution, 18 (1), 48-55, (2003).
10. Caldwell, M. M., Björn, L. O., Bornman, J. F., Flint, S. D., Kulandaivelu, G., Teramura, A. H. and Tevini, M. (1998). **Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems**, Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 46, 40-52.
11. Caldwell, M. M., Flint, S.D., **Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystems**, Climatic Change, 28, 375-394, Netherlands, (1994).
12. Tiitto, R. J., Hagmann, H., Aphalo, P. J., Lavola, A., Tgelberg, R. and Veteli, T., **Growth and defense in deciduous trees and shrubs under UV-B**, Environmental Pollution, 137, 404-414, (2005).
13. Callaghan, T. V., Björn, L. O., Chernov Y., Chapin T., Christensen T. R., Huntley B., Ims, R. A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster J., Jónsdóttir, I. S., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E. and Zöckler C., **Responses to projected changes in climate and UV-B at the species level**, Ambio, 33 (7), 418-435, (2004).
14. Rozema, J., Lenssen, G. M., Van de Staaij, J. W. M., Tossierams, M., Visser, A. J. and Broekman, R. A., **Effects of UV-B radiation on terrestrial plants and ecosystems: interaction with CO enrichment**, Plant Ecology, 128, 183-191, (1997).
15. Rozema, J., Van de Staaij, J., Björn, L. O., Caldwell, M., **UV as an environmental factor in plant life: stress and regulation**, Tree, 12 (1), 22-28, (1997).
16. Zepp, R.G., Callaghan, T.V. and Erickson, D. J., **Effects of enhanced solar ultraviolet radiation on biogeochemical cycles**, Journal of Photochemistry and Photobiology, 46; 69-82, (1998).
17. Björn, L. O., Callaghan T. V., Johnsen, I., Lee, J.A., Manetas, Y., Paul, N. D., Sonesson, M., Wellburn, A. R., Coop, D., Heide-Jørgensen, H. S., Gehrke, C., Gwynn-Jones, Johanson, D. U., Kyparissis, A., Levizou, E., Nikolopoulos, D., Petropoulou, Y. and Stephanou, M., **The effects of UV-B radiation on European heathland species**, Plant Ecology, 128, 253-264, (1997).
18. Solheim B., Zielke M., Bjerke J. W. and J., **Effects of enhanced UV-B radiation on nitrogen fixation in arctic ecosystems**, Plant Ecology, 182, 109-118, (2006).
19. Davidson, A.T., **The impact of UV-B radiation on marine plankton**, Mutation Research, 422, 119-129, (1998).
20. Rousseaux, M. C., Ballare, C. L., Giordano, C. V., Scopel, A. L., Zima, A. M., Szwarcberg-Bracchitta, M., Searles, P. S., Caldwell, M. M. and Diaz, S. B., **Ozone depletion and UVB radiation: Impact on plant DNA damage in southern South America**, PNAS, 96 (26), 15310-15315, (1999).

21. Zepp, R. G., Callaghan, T. V. and Erickson D. J., **Interactive effects of ozone depletion and climate change on biogeochemical cycles**, Photochem. Photobiol. Sci., 2, 51–61, (2003).
22. Milchunas, D. G., King, J. Y., Mosier, A. R., Moore, J. C., Morgan, J. A., Quirk, M. H., Slusser, J. R., **UV radiation effects on plant growth and forage quality in a shortgrass steppe ecosystem**, Photochemistry and Photobiology, 79 (5), 404 – 410, (2004).
23. Akman, Y., **İklim ve Biyoiklim**, Kariyer Matbaacılık, 350 s., Ankara, (1999).
24. <http://www.meteor.gov.tr>. Erişim Tarihi: 02.03.2009.
25. Kadioğlu, M., **Küresel iklim değişimi ve Türkiye**, İ.T.Ü. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 82,5-11, (2004).
26. Öztürk, Münir A., Seçmen, Ö., **Bitki Ekolojisi**, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, (2004).
27. Grant, R. H., **Partitioning of biologically active radiation in plant canopies**, International Journal of Meteorology, 40, 26-40, (1997).
28. Lud, D. Huiskes, A. H. L., Moerdijk, T. C. W. and Rozema J., **The effects of altered levels of UV-B radiation on an Antarctic grass and lichen**, Plant Ecology, 154, 89-99, (2001).

