



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ**  
**2021 - 2022**

**Διπλωματική Εργασία**

**Τα αντηλιακά προϊόντα στο υδάτινο περιβάλλον**

**Συγγραφέας:**

**Αναστασοπούλου Μαρία**

**Αριθμός Μητρώου: mery 21035**

**Επιβλέπουσα:**

**Δαμικούκα Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια**

**Αθήνα, Ιούλιος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF PUBLIC HEALTH**  
**DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH POLICY**

**POSTGRADUATE PROGRAM (MSc)**  
**OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HEALTH**  
**2021 – 2022**

**Diploma Thesis**

**Sunscreens in the aquatic environment**

**Author:**

**Anastasopoulou Maria**

**Registration Number: mepy 21035**

**Supervisor:**

**Damikouka Ioanna, Assistant Professor**

**Athens, July 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ**

**Τα αντηλιακά στο υδάτινο περιβάλλον**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>α/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	Δαμικούκα Ιωάννα	Επίκουρη Καθηγήτρια	
2	Εβρένογλου Λευκοθέα	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια	
3	Κάβουρα Όλγα	Επίκουρη Καθηγήτρια	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αναστασοπούλου Μαρία του Χρήστου, με αριθμό μητρώου mery 21035, φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Επαγγελματική και Περιβαλλοντική Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

*\*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 12 μήνες και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.*

Η Δηλούσα

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ



**\* Εάν κάποιος επιθυμεί απαγόρευση πρόσβασης στην εργασία για χρονικό διάστημα 6-12 μηνών (embargo), θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6).**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεκπεραιώθηκε στη Σχολή Δημόσιας Υγείας, στο Τμήμα Πολιτικών Δημόσιας Υγείας, στην ειδίκευση Υγιεινή Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κατά το έτος 2022-2023.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα για την εργασία αυτή, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Δημόσιας Υγείας, κυρία Δαμικούκα Ιωάννα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση του παρόντος αντικειμένου, αλλά κυρίως για την καθοδήγηση και συνεργασία της.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τις κ. Κάβουρα Όλγα και κ. Εβρένογλου Λευκοθέα που σαν μέλη της τριμελούς επιτροπής, αφιέρωσαν χρόνο και ενέργεια στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αντηλιακά προκαλούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στους επιστήμονες για δυο διαφορετικούς λόγους. Ο πρώτος αφορά την εφαρμογή των προϊόντων αυτών για την πρόληψη του καρκίνου του δέρματος και η δεύτερη αφορά τις δυσμενείς οικολογικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τα αντηλιακά φίλτρα.

Η ανάπτυξη του τουρισμού συχνά αποτελεί απειλή για την ποιότητα του νερού, της βιοποικιλότητας και των φυσικών πόρων των θαλάσσιων περιοχών. Η βιώσιμη ανάπτυξη τους και η αειφόρος χρήση ωκεανών και θαλασσών θεωρείται προτεραιότητα από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, διερευνήθηκε η εμφάνιση αντηλιακών προϊόντων στο υδάτινο περιβάλλον η απελευθέρωση και η συμπεριφορά των συστατικών των αντηλιακών στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και τα πιθανά προβλήματα που προκαλούνται από την αυξανόμενη χρήση αντηλιακών, στα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Χημικά φίλτρα, όπως η οξυβενζόνη, το οκτοκρυλένιο κ.ά., καθώς και ανόργανα όπως το διοξείδιο του τιτανίου, χρησιμοποιούνται ευρέως στην παρασκευή αντηλιακών και άλλων προϊόντων προσωπικής φροντίδας.

Η αλόγιστη χρήση τους και το χημικό τους προφίλ, προκαλούν έντονη ρύπανση στο υδάτινο περιβάλλον με αποτέλεσμα να απειλούν την ανάπτυξη και την επιβίωση των θαλάσσιων οργανισμών. Οι ουσίες αυτές μέσω της τροφής εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Για αυτό το λόγο όλες οι χώρες έχουν θεσπίσει κανονισμούς που καθορίζουν τις απαιτήσεις για την ασφάλεια των καλλυντικών προϊόντων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η επιστημονική κοινότητα και οι εταιρείες παραγωγής καλλυντικών, λαμβάνοντας υπ' όψη την προστασία του δέρματος από την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες στρέφονται όλο και περισσότερο σε εναλλακτικά προϊόντα αντηλιακής προστασίας φυσικής προέλευσης.

Λέξεις - κλειδιά: Ήλιος, Ηλιακή ακτινοβολία, Αντηλιακά, Υδάτινο περιβάλλον, Ρύπανση Υδάτων.

## **ABSTRACT**

Sunscreens are of particular interest to scientists for two different reasons. The first concerns the application of these products for the prevention of skin cancer and the second concerns the adverse ecological effects caused by sunscreen filters.

The development of tourism often poses a threat to the quality of water, biodiversity and natural resources of marine areas. Their sustainable development and the sustainable use of oceans and seas is considered a priority by the European Union.

Through a literature review, the occurrence of sunscreen products in the aquatic environment, the release and behavior of sunscreen ingredients in the marine environment, and the potential problems caused by the increasing use of sunscreens in marine ecosystems were investigated.

Chemical filters such as oxybenzone, octocrylene, etc., as well as inorganic ones such as titanium dioxide, are widely used in the manufacture of sunscreens and other personal care products.

Their indiscriminate use and their chemical profile cause severe pollution of the aquatic environment, threatening the growth and survival of marine organisms. These substances enter the food chain through food. For this reason, all countries have adopted regulations setting out the requirements for the safety of cosmetic products for humans and the environment.

The scientific community and cosmetic companies, taking into account the protection of the skin from solar radiation as well as environmental concerns, are increasingly turning to alternative sun protection products of natural origin.

Key - words: Sun, Solar Radiation, Sunscreens, Aquatic Environment, Water Pollution.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	X
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	XI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	XI
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	XII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	4
1.1 ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ.....	6
1.2 ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	7
1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ UV.....	9
1.4 UVA ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	11
1.5 UVB ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	11
1.6 UVC ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ.....	13
2.1 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	16
2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ SPF.....	18
2.3 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.....	20
2.3.1 ΟΞΥΒΕΝΖΟΝΗ.....	21
2.3.2 ΟΚΤΙΝΟΞΑΤΗ.....	23
2.3.3 ΑΒΟΒΕΝΖΟΝΗ.....	24



2.3.4 ΟΚΤΟΚΡΥΛΕΝΙΟ.....	26
2.3.5 ΣΑΛΥΚΙΛΙΚΑ .....	27
2.3.6 ΤΡΙΑΖΟΝΕΣ ΚΑΙ ΤΡΙΑΖΙΝΕΣ.....	28
2.4 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ .....	29
2.4.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ.....	30
2.4.2 ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	34
3.1 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΤΗΛΙΑΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΗ .....	37
3.2 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	38
3.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΟΡΑΛΛΙΑ .....	43
3.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΥΚΗ ΚΑΙ ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ΦΥΤΑ .....	47
3.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ, ΤΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΧΕΛΩΝΕΣ.....	49
3.2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΜΑΛΑΚΙΑ.....	52
3.2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΧΙΝΟΔΕΡΜΑ .....	54
3.2.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΑΡΚΙΝΟΕΙΔΗ .....	55
3.3 ΒΙΟΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ.....	56
3.4 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ .....	59
3.5 ECOSUNPASS.....	62
3.6 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ.....	62
3.7 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	65
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Το ηλιακό φάσμα (Πηγή:Karen Walsh,2015).....	5
Εικόνα 1.2: Επίπεδα UV και μέτρα προστασίας (Πηγή: WHO 2002).....	10
Εικόνα 1.3: Είδη υπεριώδους ακτινοβολίας και η επίδραση τους στο δέρμα (Πηγή: Araújo,2022).....	12
Εικόνα 2.4: Τα συστατικά ενός τυπικού αντηλιακού και οι λειτουργίες του (Πηγή: Osterwalderetal.,2014).....	15
Εικόνα 2.5: Τρόπος δράσης ανόργανων και οργανικών αντηλιακών φίλτρων στην επιδερμίδα (Πηγή: AnnedeSilvaetal.,2021).....	21
Εικόνα 3.6: Τα ντους στη παραλία αποστραγγίζονται πίσω στα παράκτια ύδατα (Πηγή: Downs et al.,2022).....	34
Εικόνα 3.7: Επίδραση αντηλιακών μετά από 24 ώρες A: Υγιές κοράλλι Acroporadivariicata B: σε θερμοκρασία 28o C και C: σε θερμοκρασία 30oC (Πηγή: Danovaro et al., 2008).....	46
Εικόνα 3.8: Βιομεγέθυνση και βιοσυσσώρευση κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας (Πηγή: Silva et al., 2022).....	57

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1.1: Αρνητικές και θετικές επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας (Πηγή: H. van der Rhee et al., 2016).....	9
Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση αντηλιακών φίλτρων (Πηγή: Guan et al., 2021).....	17
Πίνακας 3.3: Κατάλογος των φίλτρων UV που επιτρέπονται στα καλλυντικά προϊόντα παράρτημα V του κανονισμού 1223/2009 (επικαιροποιημένος 17/12/2022) (Πηγή: EU 2022).....	67

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 2.1: Απεικόνιση του SPF (Πηγή: Osterwalder & Herzog, 2009).....	20
Διάγραμμα 2.2: Συχνότητα χρήσης των φίλτρων UV που περιέχονται στα αντηλιακά για ενήλικες το 2015 και το 2021 στην Ευρωπαϊκή Ένωση με πρωτοπόρο την αβοβενζόνη (Πηγή: Jesus et al. 2022).....	25
Διάγραμμα 3.3: Άμεση, έμμεση και συνολική εκτιμωμένη αντηλιακή μόλυνση του καρστικού υδροφορέα στη Quintanaroo, στο Μεξικό (Πηγή: Casa-Belram et al., 2020).....	37
Διάγραμμα 3.4: : Συγκέντρωση οξυβενζόνης στο Trunkbay (Virginislands) (Πηγή: Downset al., 2016).....	40

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

**ECHA** European Chemicals Agency (Ευρωπαϊκός οργανισμός Χημικών προϊόντων)

**ΕΔΑΕ** Ελληνική Δερματολογική και Αφροδιδιολογική Εταιρεία

**ESP** ECO SUN PASS

**EU** European Union (Ευρωπαϊκή Ένωση)

**GHS** (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)  
Παγκόσμιο Εναρμονισμένο Σύστημα Ταξινόμησης και Επισήμανσης Χημικών  
Προϊόντων

**GRASE** Generally Recognized As Safe and Effective (γενικά αναγνωρίζονται ως  
ασφαλή και αποτελεσματικά)

**IARC** International Agency for Research on Cancer (Διεθνής Οργανισμός για την  
έρευνα του καρκίνου)

**REACH** Registration, Evaluation, Authorisation, Restriction of Chemicals  
(Καταχώριση, Αξιολόγηση, Αδειοδότηση και Περιορισμοί των Χημικών Προϊόντων)

**SPF** SUN PROTECTION FACTOR (Δείκτη Ηλιακής Προστασίας)

**UNEP** United Nations Environment Programme (Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα  
Ηνωμένων Εθνών)

**UV** Ultraviolet (Υπεριώδης)

**WMO** World Meteorological Organization (Παγκόσμιος Μετεωρολογικός  
Οργανισμός)

**ΔΟΕ** Διεθνή Οργάνωση Εργασίας

**ΠΟΥ** Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ήλιος αποτελεί πηγή φωτός, ζωής και ενέργειας από τα αρχαία χρόνια. Σε όλους τους πολιτισμούς είχε μια ξεχωριστή θέση, ήταν αντικείμενο λατρείας και θαυμασμού. Δρα ευεργετικά απέναντι στον άνθρωπο όταν η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία γίνεται με σύνεση και μέτρο ([www.edae.gr/visitors/o-karkinos-tou-dermatos/](http://www.edae.gr/visitors/o-karkinos-tou-dermatos/)).

Προσφέρει σημαντικά οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό. Η παραγωγή βιταμίνης D, η αύξηση της σεροτονίνης, η βοήθεια στην απορρόφηση του ασβεστίου, η ενίσχυση του ανοσοποιητικού μας συστήματος είναι κάποια από αυτά ( Sánchez et al., 2015).

Το δέρμα μας καθημερινά εκτίθεται σε διάφορους περιβαλλοντικούς κινδύνους, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, ο καπνός του τσιγάρου, οι ρύποι της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα όλα τα παραπάνω προκαλούν ελεύθερες ρίζες, οι οποίες είναι ασταθή μόρια, φορτισμένα μόρια οξυγόνου, που αντιδρούν γρήγορα με άλλες ενώσεις, γίνονται τοξικές και επηρεάζουν αρνητικά τη δομή στήριξής του δέρματός μας. Κατά συνέπεια διαταράσσεται η ισορροπία της επιδερμίδας μας και επιταχύνεται η γήρανση της (Farris & Valacchi, 2022).

Η υπερβολική έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο ή περισσότερο σοβαρές βλάβες. Ο ήλιος είναι υπεύθυνος για το ηλιακό έγκαυμα, τη φωτογύρανση, τις φωτοαλλεργίες και άλλα προβλήματα αισθητικής φύσης όπως δυσχρωμίες, πανάδες, φακίδες και ευρυαγγείες. Είναι δυνατόν να πυροδοτήσει ή να επιδεινώσει προϋπάρχουσες παθήσεις όπως αυτοάνοσα, φωτοευαίσθητες δερματικές νόσους και φωτοδερματοπάθειες. Οι βλάβες που δημιουργούνται στο δέρμα είναι αθροιστικές και δεν αποκαθίστανται εύκολα με την πάροδο του χρόνου. Το 80% των μελανωμάτων αναπτύσσονται σε χώρες όπου τα περισσότερα άτομα με ανοιχτόχρωμο δέρμα έχουν έντονη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, συχνά κατά τη διάρκεια σύντομων διακοπών. Η διαλείπουσα έντονη έκθεση στον ήλιο και το ιστορικό ηλιακού εγκαύματος, ειδικά στην παιδική ηλικία, αποτελούν ισχυρούς παράγοντες κινδύνου για μελάνωμα (Goon, 2021).

Ένα σοβαρό ηλιακό έγκαυμα στην παιδική ηλικία ή την εφηβεία διπλασιάζει την πιθανότητα εμφάνισης μελανώματος. Ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου του δέρματος αυξάνεται όταν πάθουμε πέντε ή και περισσότερα ηλιακά εγκαύματα μεταξύ 15 και 20 ετών ([www.edae.gr/visitors/o-karkinos-tou-dermatos/](http://www.edae.gr/visitors/o-karkinos-tou-dermatos/)).

Ο ήλιος μπορεί να ευθύνεται μακροπρόθεσμα και για πολλές παθήσεις των οφθαλμών. Και σε αυτή τη περίπτωση δρα συσσωρευτικά(De Silva et al.,2021).

Το 2020, διαγνώστηκαν σε όλο τον κόσμο, πάνω από 1,5 εκατομμύριο περιπτώσεις καρκίνου του δέρματος και αναφέρθηκαν περισσότεροι από 120.000 θάνατοι που σχετίζονται με τον καρκίνο του δέρματος (WHO, 2022).

Η ανάγκη προστασίας του δέρματος δημιούργησε την παραγωγή των αντηλιακών προϊόντων. Οι τεχνολογίες τους διαρκώς βελτιώνονται με αποτέλεσμα τα αντηλιακά σκευάσματα να προστατεύουν αποτελεσματικά το δέρμα από τις βλαβερές ακτίνες του ήλιου (Sánchez et al., 2015).

Τα αντηλιακά προϊόντα σχεδιάζονται από τις βιομηχανίες καλλυντικών με τέτοιο τρόπο ώστε σύνθεση τους και η αποτελεσματικότητά τους να εμποδίζουν τις ακτίνες UV να εισέλθουν στο δέρμα και ταυτόχρονα να είναι σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς της κάθε χώρας στην οποία κυκλοφορούν (Labille et al, 2020).

Η χρήση τους είναι επιτακτική για την υγεία του πληθυσμού όμως η αντηλιακή σύνθεση τους πρέπει να διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Μερικές φορές όμως τα συστατικά τους αποδεικνύονται ιδιαίτερα επιβλαβή για τα υδάτινα οικοσυστήματα και κατ' επέκταση για τον άνθρωπο ( Sánchez et al., 2015).

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο παράκτιος τουρισμός αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες και ταχύτερα αναπτυσσόμενες δραστηριότητες στον κόσμο. Τα αντηλιακά προϊόντα χρησιμοποιούνται για σχεδόν 80 χρόνια. Παρ' όλα αυτά η επίδραση τους, ως πηγή εισαγόμενων χημικών ουσιών σε όλο το παράκτιο θαλάσσιο σύστημα, δεν έχει ακόμη αντιμετωπιστεί (Tovar-Sánchez & Sánchez-Quiles, 2013).

Οι καταναλωτές είναι πλέον επιφυλακτικοί απέναντι στα συστατικά των αντηλιακών προϊόντων και συγκεκριμένα των χημικών ουσιών που περιέχουν, καθώς διαρκώς ενημερώνονται και ευαισθητοποιούνται σχετικά με την τοξικότητα τους και την συνολική επίδραση στην υγεία τους και στο περιβάλλον (Labille et al., 2020).

Η εργασία αυτή ερευνά αρχικά τον ήλιο, την ηλιακή ακτινοβολία, τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις του στον ανθρώπινο οργανισμό.

Στη συνέχεια αναπτύσσεται το θέμα των αντηλιακών φίλτρων, οργανικών και ανόργανων, αξιολογείται η αποτελεσματικότητά τους και ερευνάται η παρουσία τους στο νερό. Τα αντηλιακά επιδρούν στους θαλάσσιους οργανισμούς, τους επηρεάζουν και καταλήγουν μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο.

Αμέσως μετά εξετάζεται η ρύπανση των θαλασσών από τις συσκευασίες των προϊόντων ενώ γίνεται αναφορά στις καινούργιες επιστημονικές έρευνες σε καλλυντικά προϊόντα και συσκευασίες φιλικά προς τον άνθρωπο και τη φύση.

Τέλος αναφέρονται τα προσωπικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την συγκεκριμένη έρευνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο ήλιος είναι μια μεγάλη πύρινη φωτεινή σφαίρα του ηλιακού μας συστήματος γεμάτη από αέρια, διαμέτρου  $1,4 \times 10^6$  χιλιομέτρων. Αποτελείται από 70% υδρογόνο, 28% ήλιο και 2% από τα υπόλοιπα στοιχεία, άζωτο, οξυγόνο, νέον, σίδηρο, πυρίτιο, μαγνήσιο και θείο. Η ενέργεια του είναι αυτή που ρυθμίζει όλες τις διαδικασίες της ζωής στον πλανήτη μας, φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Η μάζα του είναι 333.000 φορές τη μάζα της γης και η ακτίνα του, 696.000 χιλιόμετρα, δηλαδή 109 φορές την ακτίνα της γης. Η απόσταση του ήλιου από τη γη είναι 149,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα, ενώ η διάρκεια ζωής του υπολογίζεται στα 10 δισεκατομμύρια χρόνια (Γεωργόπουλος, 2019).

Βρίσκεται πιο κοντά στη γη από οποιοδήποτε άλλο αστέρι. Το ταξίδι μέχρι τον ήλιο, με αυτοκίνητο, σταθερής ταχύτητας 100 χιλιομέτρων την ώρα, θα διαρκούσε 171 χρόνια. Η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το φως είναι κατά προσέγγιση 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Για να φτάσει η ακτινοβολία του ήλιου στη γη απαιτούνται 8.5 περίπου λεπτά. Αυτό σημαίνει πως η εικόνα που φαίνεται είναι η εικόνα που είχε ο ήλιος περίπου πριν από 8.5 λεπτά (Γεωργίου & Καρουάνου, 2022).

Για το σύμπαν δεν είναι μοναδικός, αφού υπάρχουν παρόμοια δισεκατομμύρια τέτοια άστρα στο γαλαξία μας. Όμως είναι μοναδικός για τον πλανήτη μας. Ο ήλιος σε συνδυασμό με την ατμόσφαιρα της γης επιτρέπει την ύπαρξη ζωής σε αυτήν (Χαλδούπης, 2015).

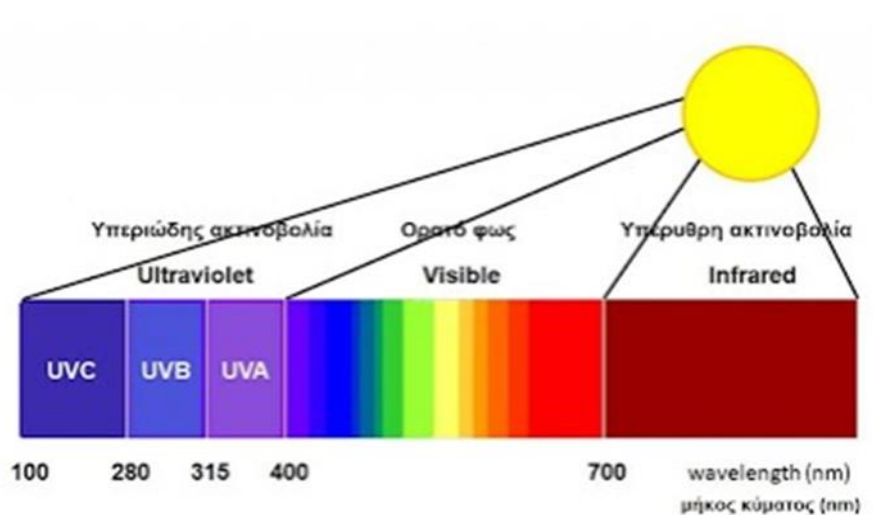
Με τη χρήση του τηλεσκοπίου, διακρίνονται στη φωτόσφαιρα του ήλιου μικρές και μεγάλες κυκλικές επιφάνειες, οι ηλιακές κηλίδες. Η διάμετρος της μεγαλύτερης κηλίδας μπορεί να φτάσει τα 40.000 χιλιόμετρα. Η ύπαρξη τους οφείλεται στην έντονη μαγνητική δραστηριότητα του ήλιου. Στις συγκεκριμένες περιοχές το μαγνητικό πεδίο είναι ισχυρό. Αυτό αυξάνει τη μαγνητική πίεση και περιορίζει τη κίνηση του καυτού πλάσματος από τον πυρήνα προς τη φωτόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου ( $5504^{\circ}\text{C}$ ) είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία των ηλιακών κηλίδων ( $3600^{\circ}\text{C}$ ) (Γεωργίου & Καρουάνου, 2022).



Η φωτόσφαιρα αποτελεί το φλοιό του ήλιου, έχει πάχος μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Η θερμοκρασία του αυξάνεται στα βαθύτερα στρώματα του κατά δεκαπέντε με είκοσι φορές εξαιτίας των ατομικών και πυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του. Η ενέργεια μεταφέρεται μέσω της ακτινοβολίας και των θερμικών ρευμάτων από το εσωτερικό του ήλιου στη φωτόσφαιρα και στη πορεία εκπέμπεται ως ηλεκτρομαγνητική και σωματιδιακή ακτινοβολία στο σύμπαν (Χαλδούπης, 2015).

Στη γη φτάνει μόνο το ένα δισεκατομμυριοστό της συνολικής του ενέργειας, η οποία παράγεται από τη σύντηξη τεσσάρων ατόμων υδρογόνου με ένα άτομο ήλιου ( $4\text{H} \rightarrow \text{He} + \delta\text{E}$ ) (Holliman et al., 2017).

Από το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος, το 39% περίπου βρίσκεται στη περιοχή του ορατού φάσματος, το 53% στο υπέρυθρο και το υπόλοιπο 8% στο υπεριώδες (εικόνα 1) (Karen Walsh, 2015).



Εικόνα 1: Το ηλιακό φάσμα (Karen Walsh, 2015)

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με βάση τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, χωρίζεται σε κοσμικές ακτίνες, ακτίνες γ, ακτίνες χ, υπεριώδης UV, ορατή VIS, υπέρυθρη IR ακτινοβολία, μικροκύματα και ραδιοκύματα (Whitaker, 2017).

Η ηλιακή ακτινοβολία που αγγίζει τα σύνορα της γήινης ατμόσφαιρας είναι σχετικά σταθερή και πολύ διαφορετική από την ηλιακή ακτινοβολία που καταλήγει στην επιφάνεια της γης (Γεωργόπουλος, 2019).

Η τελευταία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και συγκεκριμένα από :

- Το υψόμετρο του ήλιου: όσο υψηλότερος είναι ο ήλιος στον ουρανό, τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο UV. Τα επίπεδα UV ποικίλλουν ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την ώρα του χρόνου.
- Το γεωγραφικό πλάτος: όσο πιο κοντά στον ισημερινό, τόσο υψηλότερα είναι τα επίπεδα UV.
- Το υψόμετρο: Τα επίπεδα UV αυξάνονται με το υψόμετρο καθώς ο αέρας είναι πιο αραιός και απορροφάται λιγότερη UV.
- Η συννεφιά: Τα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας είναι χαμηλότερα κάτω από συννεφιασμένο ουρανό, αλλά μπορεί να είναι υψηλά ακόμη και με νέφωση.
- Το όζον: Το πάχος του στρατοσφαιρικού όζοντος παίζει σημαντικό ρόλο. Ένα ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου αφομοιώνεται από το όζον, ενώ όταν υπάρχει λιγότερο όζον στο στρώμα της ατμόσφαιρας, η ακτινοβολία που φτάνει στη γη είναι αυξημένη.
- Η αντανάκλαση: οι ανακλαστικές επιφάνειες, όπως το νερό, η άμμος και το φρέσκο χιόνι, αυξάνουν το επίπεδο UV.
- Η κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένων των διακυμάνσεων του όζοντος και της νεφοκάλυψης, αναμένεται να επηρεάσει τα επίπεδα UV στην επιφάνεια της γης (Holliman et al., 2017).

Ειδικά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται δραματική αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη εξαιτίας της ελάττωσης του στρώματος του όζοντος (Araújo et al., 2022).

## **1.1 ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ**

Το ηλιακό φως διεγείρει την κυκλοφορία του αίματος και την υγεία των οστών, καθώς η έκθεση σε αυτό, προκαλεί παραγωγή βιταμίνης D στο ανθρώπινο

σώμα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), 5 έως 15 λεπτά έκθεσης στον ήλιο την εβδομάδα είναι αρκετά για να διατηρηθούν υγιή επίπεδα βιταμίνης D στο σώμα (Araújo et al., 2022).

Επαρκή επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας είναι επίσης απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. Αυτοάνοσες νόσοι όπως ο λύκος, η ψωρίαση, η λεύκη κ.ά., μπορούν να αντιμετωπιστούν με UV ακτινοβολία (Araújo et al., 2022).

Εκτός της σύνθεσης της βιταμίνης D και της πρόληψης και θεραπείας των συναισθηματικών διαταραχών, οι οποίες αποτελούν τις καθιερωμένες θετικές επιδράσεις του ήλιου, κατά τις τελευταίες δεκαετίες ανακαλύφθηκαν κι άλλες ευνοϊκές συσχετίσεις (πίνακας 1) (H. Van der Rhee et al., 2016).

Γενικά, η ισορροπημένη έκθεση στο ηλιακό φως είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη αξιοποίηση των θετικών επιδράσεων στην υγεία χωρίς να επιβαρύνεται άσκοπα το δέρμα (Stiefel & Schwack, 2015).

## **1.2 ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (UV)**

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπεται σε μήκη κύματος που δεν είναι ορατά από το ανθρώπινο μάτι και βρίσκονται μεταξύ 100 και 400nm. Είναι βιολογικά επιβλαβής, καταστρέφει το DNA των κυττάρων και μπορεί να προκαλέσει γενετικά ελαττώματα σε εξωτερικές επιφάνειες εάν ληφθεί σε υψηλές δόσεις. Η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να βλάψει το ανθρώπινο δέρμα, προκαλώντας ελαφρά ερυθρότητα σε εγκαύματα με την πάροδο του χρόνου. Μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ενόχληση, κρεατοελιές, κηλίδες, ακόμη και καρκίνο του δέρματος. Όταν το σώμα αντιλαμβάνεται τη βλάβη από το ηλιακό φως, τη στέλνει στα προσβεβλημένα κύτταρα για να αποφευχθεί περαιτέρω βλάβη και σκουραίνει το δέρμα (Araújo et al., 2022).

Η υπεριώδης UV ακτινοβολία είναι μικρής έντασης, δεν είναι ούτε ορατή, ούτε αισθητή. Υπάρχουν άνθρωποι που εκτίθενται σε τεχνητές πηγές UV, στην ιατρική, στη βιομηχανία, στην απολύμανση κ.ά., όμως όλοι εκτιθέμεθα στην ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (WHO,2022).

Η επαγγελματική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί ένα επίκαιρο πρόβλημα, καθώς και η γεωγραφική διακύμανση της έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτά τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά καθορίζουν τα επίπεδα κινδύνου που απασχολούν τις υπηρεσίες ασφάλειας και υγείας στην εργασία (Grandi et al., 2016).

Τα νεαρά άτομα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις βλαπτικές συνέπειες της υπεριώδους ακτινοβολίας λόγω της δομής του δέρματος και των ματιών τους. Τα ηλιακά εγκαύματα στην παιδική ηλικία οδηγούν σε υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου του δέρματος στη μετέπειτα ζωή. Επίσης, ισχυρή ποσότητα UV ακτινοβολίας μπορεί να βλάψει τον αμφιβληστροειδή τους. Τα άτομα με ανοιχτόχρωμο δέρμα είναι πιο ευάλωτα στα ηλιακά εγκαύματα και έχουν υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου του δέρματος από τα άτομα με σκούρο δέρμα. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα άτομα με πιο σκουρόχρωμο δέρμα δεν κινδυνεύουν. Και αυτά μπορούν να αναπτύξουν δυνητικά καρκίνους του δέρματος. Αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης της νόσου έχουν τα άτομα που λαμβάνουν φωτοευαισθητοποιητικά φάρμακα και έχουν οικογενειακό ιστορικό καρκίνου του δέρματος. Οι εργαζόμενοι σε εξωτερικούς υπαίθριους χώρους κατά τη διάρκεια της ημέρας, εκτίθενται στην υπεριώδη ακτινοβολία και παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο ανάπτυξης κακοήθους μελανώματος και μη μελανωματικού καρκίνου του δέρματος (WHO, 2022).

Η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία προκαλεί βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (πίνακας 1).

- Άμεσες επιβλαβείς δράσεις: κοκκίνισμα του δέρματος (ηλιακό ερύθημα), κηλίδες, πανάδες, ήπια και σοβαρά εγκαύματα.
- Μεσοπρόθεσμες επιπτώσεις: πρόωρη γήρανση, αλλαγές στο DNA, καρκίνος του δέρματος (Araújo, 2022).

Πίνακας 1: Αρνητικές και θετικές επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας

ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ	ΘΕΤΙΚΕΣ
<p><b>ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Βασιλοκυτταρικό καρκίνωμα</li> <li>• Ακανθοκυτταρικό καρκίνωμα</li> <li>• Μελάνωμα</li> </ul> <p><b>ΦΩΤΟΘΕΡΜΙΕΣ π.χ.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελαφρύ ερύθημα</li> <li>• Ηλιακή κνίδωση</li> <li>• Φωτοαλλεργίες και τοξικές αντιδράσεις</li> </ul> <p><b>ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ π.χ.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ροδόχρους ακμή</li> <li>• Χρόνιος δισκοειδής ερυθηματώδης λύκος</li> </ul> <p><b>ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΩΝ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Καταρράκτης</li> </ul>	<p><b>ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΘΕΡΑΠΕΙΑ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΔΕΡΜΑΤΟΣ π.χ.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ψωρίαση</li> <li>• Έκζεμα</li> <li>• Λεύκη</li> <li>• Ακμή</li> </ul> <p><b>ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΤΑΜΙΝΗΣ D, ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΟΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΥΩΝ</b></p> <p><b>ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΘΕΡΑΠΕΙΑ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ</b></p> <p><b>ΠΡΟΛΗΨΗ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ π.χ.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Παχέος εντέρου</li> <li>• Καρκίνου στήθους και προστάτη</li> <li>• Λέμφωμα non-Hodgkin</li> </ul>

(H. Van der Rhee et al., 2016)

Η ανάγκη προστασίας του δέρματος από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι επιβεβλημένη όχι μόνο για τη διατήρηση της εμφάνισης του δέρματος αλλά και για τη βελτίωση της διάρκειας της ζωής (Farris & Valacchi, 2022).

### 1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ UV

Σε αρκετές χώρες του κόσμου αναφέρεται σε καθημερινή βάση, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο, στα δελτία καιρού, ο δείκτης UV. Ο δείκτης αυτός μετρά τη δύναμη της ακτινοβολίας UV που προέρχεται από τον ήλιο σε συγκεκριμένο τόπο. Παρουσιάζει τις προβλέψεις για τον κίνδυνο της υπερβολικής έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία (Araújo, 2022).

Στην εικόνα 2 εξηγούνται τα επίπεδα του δείκτη UV και παρέχονται σχετικές προτάσεις για τα απαραίτητα μέτρα προστασίας (WHO, 2002).

Τα επίπεδα ακτινοβολίας στη γη κατά τη διάρκεια του χρόνου έχουν δραματικά αυξηθεί. Το 1994, στη Νέα Υόρκη, η πρόβλεψη για τον αριθμό των ημερών ανά έτος με υψηλό κίνδυνο έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία ήταν 29 ενώ το 2017, ο αντίστοιχος αριθμός ήταν 66 ημέρες, ενώ ακόμη 58 μέρες προβλεπόταν ότι θα παρουσίαζαν πολύ υψηλά επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας (Αραújo, 2022).



Εικόνα 2: Επίπεδα UV και μέτρα προστασίας (WHO, 2002).

Ο ΠΟΥ σε συνεργασία με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και τη Διεθνή Οργάνωση Εργασίας (ΔΟΕ), δημιούργησε την εφαρμογή Sun Smart Global UV. Η εφαρμογή αυτή έχει σαν στόχο να βοηθήσει ανθρώπους από όλο τον κόσμο, να μαθαίνουν πότε απαιτείται να χρησιμοποιούν αντηλιακή προστασία, δίνοντας εθνικές και τοπικές πενταήμερες προβλέψεις ταυτόχρονα καιρού και UV ακτινοβολίας. Η Sun Smart Global UV είναι δωρεάν μέσω των εφαρμογών των κινητών τηλεφώνων, διαθέσιμη σε πολλές γλώσσες και ο σκοπός της δημιουργίας της είναι να μειωθούν τα περιστατικά που προκαλούνται από τις βλαβερές συνέπειες της υπεριώδους ακτινοβολίας στο δέρμα και τα μάτια (WHO, 2002).

## 1.4 UVA ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το μήκος κύματος της είναι μεταξύ 320-400 nm και σε ένα βαθμό απορροφάται από το όζον της ατμόσφαιρας. Αποτελεί το 6,2% της ολικής ηλιακής ενέργειας. Το καλοκαίρι και συγκεκριμένα τις μεσημεριανές ώρες που διακρίνονται για την έντονη ηλιοφάνεια, η ακτινοβολία που φτάνει στη γη αποτελεί το 80%. Η έντασή της είναι τόσο μεγάλη ώστε μπορεί να προκαλέσει οξειδωτικές βλάβες ενώ η χρόνια έκθεσή της προκαλεί ρυτίδες στο δέρμα (Whitaker, 2017).

Για αυτό το λόγο ονομάζονται και «ακτίνες γήρανσης», διαπερνούν το χόριο του δέρματος και προκαλούν πανάδες και κηλίδες (εικόνα 3). Συνδέονται επίσης με την ανάπτυξη παθολογιών του δέρματος (Αγαύιο, 2022).

## 1.5 UVB ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το μήκος κύματος της κυμαίνεται μεταξύ 290-320 nm. Απορροφάται κατά 98% στη στρατόσφαιρα μέσω της φωτόλυσης του όζοντος, ενώ το υπόλοιπο 2% φτάνει στην τροπόσφαιρα και στο έδαφος όπου συμμετέχει σε φωτοχημικές διαδικασίες. Με τη βοήθεια της παράγεται η βιταμίνη D, πολύ σημαντική για την ανάπτυξη του ανθρώπινου οργανισμού. Αποτελεί το 5% της συνολικής υπεριώδους ακτινοβολίας. Ωστόσο η χρόνια έκθεσή της προκαλεί δερματικές και οφθαλμολογικές παθήσεις καθώς επίσης και την εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος (Whitaker, 2017).

Η εκτεταμένη έκθεση στον ήλιο, λόγω της προσωρινής διεύρυνσης των αιμοφόρων αγγείων και της αύξησης της κυκλοφορίας, κοκκινίζει άμεσα το δέρμα. Το έντονο ερύθημα, ακολουθεί το ηλιακό έγκαυμα (εικόνα 3), δηλαδή φλεγμονώδη αντίδραση του δέρματος (ισχυρή βλάβη στα κύτταρα), η οποία πιθανόν να συνοδεύεται με οίδημα, κνησμό ή ακόμη και φουσκάλες (Stiefel & Schwack, 2015).

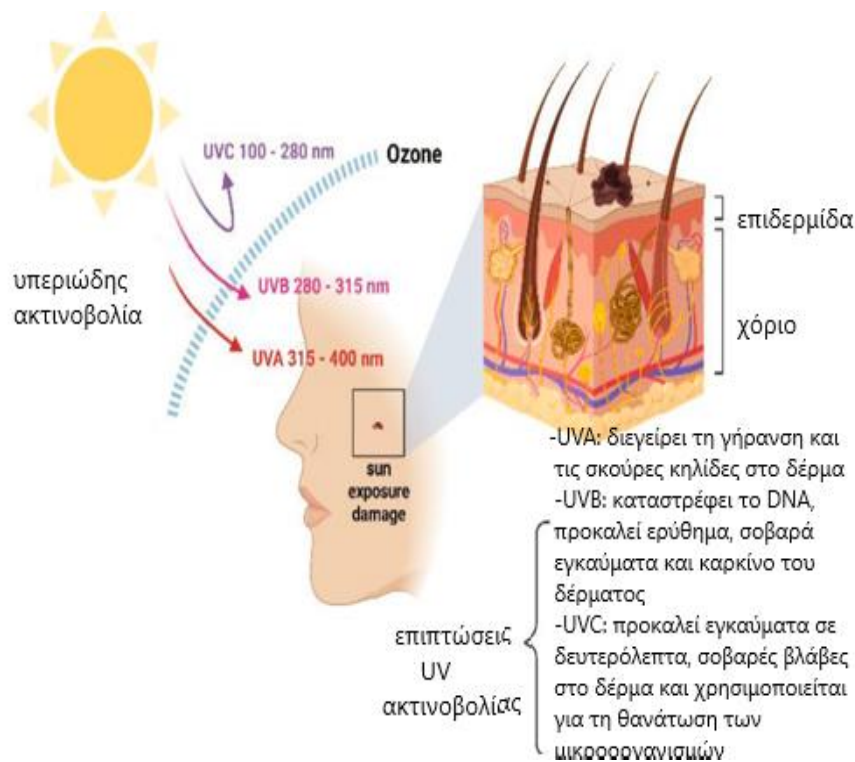
Ονομάζεται επίσης και ηλιακή ακτινοβολία βραχέων κυμάτων. Μπορεί να διεισδύσει 20 έως 30 μέτρα στο νερό του ωκεανού και να προκαλέσει σοβαρές επιβλαβείς επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς. Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα υπήρξε μεγάλη ανησυχία για την αύξηση της ακτινοβολίας UVB και τις

συνέπειές της στη βιόσφαιρα. Τα τελευταία χρόνια όμως, λόγω της εφαρμογής του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, η στιβάδα του όζοντος δείχνει να έχει βελτιωθεί (Αραújo, 2022).

## 1.6 UVC ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το μήκος κύματος της βρίσκεται μεταξύ 100-290nm. Ευτυχώς απορροφάται από το όζον (στην κατώτερη θερμόσφαιρα και τροπόσφαιρα μέσω της φωτόλυσης του οξυγόνου και του όζοντος) γιατί διαφορετικά θα αποτελούσε απειλή για τη ζωή στον πλανήτη (Whitaker, 2017).

Θα μπορούσε να προκαλέσει εγκαύματα σε δευτερόλεπτα, σοβαρές βλάβες στο δέρμα ενώ χρησιμοποιείται με σκοπό την αποστείρωση (εικόνα 3) (Αραújo, 2022).



Εικόνα 3: Είδη υπεριώδους ακτινοβολίας και η επίδραση τους στο δέρμα (Αραújo, 2022)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Η ανάγκη των αρχαίων πολιτισμών να προστατέψουν το δέρμα τους οδήγησε στη δημιουργία των πρώτων αντηλιακών που χρησιμοποιήθηκαν από τους Έλληνες, τους Αιγύπτιους και τους Ρωμαίους. Το ελαιόλαδο ήταν το βασικό τους συστατικό (Sánchez et al., 2015).

Η ανάγκη δημιουργίας αγοράς για τα προϊόντα αντηλιακής προστασίας δημιουργήθηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Μέχρι τότε το χλωμό χρώμα του δέρματος θεωρούνταν κομψό και αριστοκρατικό ενώ θεωρούσαν ότι η ηλιακή θερμότητα ήταν η πραγματική αιτία του προβλήματος. Οι Karl Eilham Hausser και Wilhelm Vahle , το 1922 ήταν οι πρώτοι που παρατήρησαν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία μεταξύ 280-315 nm ήταν υπεύθυνη για το ηλιακό έγκαυμα (Stiefel & Schwack, 2015).

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ανοίγει το κεφάλαιο της έρευνας για την αντηλιακή προστασία και το 1928 το πρώτο αντηλιακό είναι διαθέσιμο στο εμπόριο ( Sánchez et al., 2015).

Λόγω της επιτυχίας των πρώτων αντηλιακών, μειώθηκε ο φόβος για τα ηλιακά εγκαύματα και η ηλιοθεραπεία έγινε όλο και πιο δημοφιλής (Stiefel & Schwack, 2015).

Από τότε και ως σήμερα οι εταιρείες καλλυντικών έχουν δημιουργήσει μια μεγάλη γκάμα προϊόντων (κρέμες, λάδι, γέλη (gels), spray, ράβδοι (sticks), καθώς επίσης καλλυντικά για μετά τον ήλιο και προϊόντα μαυρίσματος (Sánchez et al., 2015).

Η χρήση των αντηλιακών προϊόντων εξυπηρετεί τη προστασία όχι μόνο από το ερύθημα που προκαλεί η υπεριώδης ακτινοβολία αλλά και για βλάβες ευρέως φάσματος, όπως η φωτογήρανση, η δυσχρωμία, η βλάβη του DNA, η φωτοκαρκινογένεση. Η προσπάθεια της βιομηχανίας των αντηλιακών είναι να παρέχουν την ευρύτερη δυνατή κάλυψη και ταυτόχρονα να είναι ελκυστικά (Guan et al., 2021).

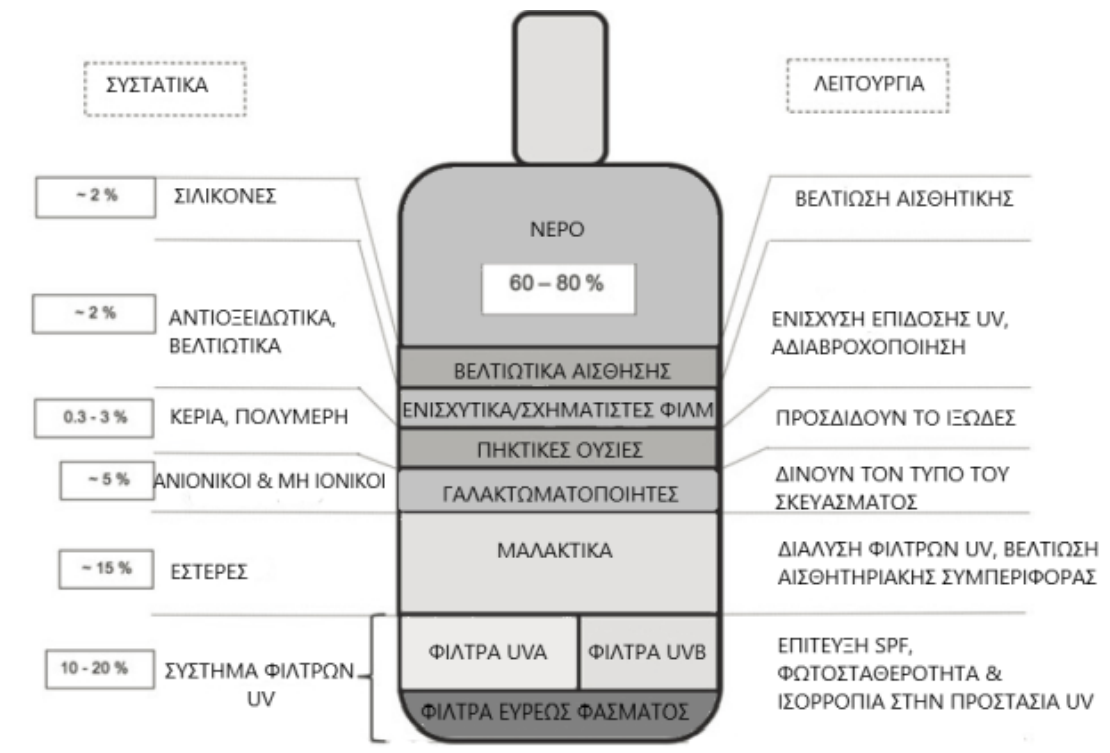
Τα αντηλιακά προτείνονται και συνιστώνται από σημαντικούς παγκόσμιους οργανισμούς όπως ο ΠΟΥ, το Ευρωπαϊκό Κέντρο Ελέγχου και πρόληψης ασθενειών, η Αμερικανική Αντικαρκινική Εταιρεία, η Αμερικανική Ακαδημία Δερματολογίας, το Ίδρυμα για τον καρκίνο του δέρματος (Adler & DeLeo, 2020).

Συγκεκριμένα ο ΠΟΥ προτρέπει στη χρησιμοποίηση των αντηλιακών στον ευρύτερο πληθυσμό και ιδιαίτερα στα μικρά παιδιά με στόχο την προστασίας τους από τις βλαβερές επιπτώσεις του ήλιου που μακροπρόθεσμα μπορούν να δημιουργήσουν πολλά προβλήματα στην υγεία τους (Pawlowski et al., 2021).

Παρά το γεγονός ότι η παγκόσμια αγορά καλλυντικών μειώθηκε το 2020 κατά 8%, σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά, ως συνέπεια της πανδημίας του COVID-19, τα καλλυντικά προϊόντα αντιπροσωπεύουν περίπου το 42% της παγκόσμιας αγοράς. Η ηλιακή προστασία αποτελεί μια ταχέως αναπτυσσόμενη παγκόσμια αγορά αντηλιακής φροντίδας, η οποία απέφερε έσοδα 9,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων (USD) το 2020. Η παγκόσμια αγορά αντηλιακών προβλέπεται να αυξηθεί από 691,6 εκατομμύρια δολάρια (USD) το 2021 σε 787,0 εκατομμύρια δολάρια (USD) έως το 2026, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 2,6% για την περίοδο 2021–2026 (Ruiz-Gutiérrez et al., 2022).

Τα αντηλιακά προλαμβάνουν και ελαχιστοποιούν την αρνητική επίδραση του υπεριώδους φωτός (ηλιακό έγκαυμα, γήρανση του δέρματος κ.ά.) μέσω της ικανότητάς τους να απορροφούν, να αντανακλούν και να διαχέουν τις ηλιακές ακτίνες (Ngoc et al., 2019).

Πρόκειται για πολύπλοκα μίγματα που περιέχουν φίλτρα UV, καθώς επίσης και μαλακτικά, γαλακτωματοποιητές, πηκτικές ουσίες, βελτιωτικά της αίσθησης, συντηρητικά, αντιμικροβιακούς παράγοντες, αντιοξειδωτικές ουσίες όπως πολυφαινόλες, μέταλλα, γλυκερίνη, βιταμίνες κ.ά. (εικόνα 4)(Pawlowski et al., 2021).



ΕΙΚΟΝΑ 4: Τα συστατικά ενός τυπικού αντηλιακού και οι λειτουργίες του (Osterwalder et al., 2014)

Αν και το σώμα μας παράγει φυσικά αντιοξειδωτικά, στα αντηλιακά έχουν προστεθεί πρόσθετες τέτοιες ουσίες, με σκοπό τη συμπλήρωση των δικών μας αποθεμάτων. Ο στόχος τους είναι να ενισχύσουν τη φωτοπροστασία και τη φωτογήρανση καθώς επίσης και τη μείωση του οξειδωτικού στρες. Η βιταμίνες Α, C και E, τα παράγωγά τους, ρετινοειδή και καροτονοειδή, τα εκχυλίσματα αιθέριων ελαίων, η μελατονίνη, τα εκχυλίσματα φυκιών, είναι όλα ουσίες που οδηγούν στην αύξηση της παραγωγής του κολλαγόνου (Guan et al., 2021).

Συνήθως δύο ή περισσότερα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας συνδυάζονται σε ένα αντηλιακό προϊόν για να επιτευχθεί υψηλή αντηλιακή προστασία. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται σε αντηλιακά προϊόντα αποτελούν τα βασικά συστατικά τους και μπορούν να φτάνουν σε περιεκτικότητα 30% του τελικού προϊόντος (Duis et al., 2022 ; Pawlowski et al., 2021).

## 2.1 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Αν και η σύνθεση κάθε προϊόντος είναι διαφορετική, όλα συνδυάζουν πολλά φίλτρα UV, είτε οργανικά είτε ανόργανα είτε συνδυασμούς και των δυο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις (ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον) είναι χαμηλότερες από αυτές που θα απαιτούσε ένα προστατευτικό για να παρέχει αποτελεσματική προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπλέον, με τη χρήση διαφορετικών τύπων φίλτρων UV, επιτυγχάνεται ένα ευρύτερο φάσμα προστασίας (Ruiz-Gutiérrez et al., 2022).

Τα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας, εκτός από μια ευρεία επιλογή αντηλιακών συνθέσεων, βρίσκονται σε μια ποικιλία προϊόντων περιποίησης μαλλιών και δέρματος, καλλυντικών, εντομοαπωθητικών, ειδών οικιακής χρήσης και εμπορικών και βιομηχανικών προϊόντων (Stiefel & Schwack, 2015).

Οι συστάσεις για τη χρήση των αντηλιακών έχουν εξελιχθεί με το πέρασμα του χρόνου από τη διαλείπουσα χρήση που προοριζόταν σε περιόδους υψηλής έκθεσης στον ήλιο, στην καθημερινή και επαναληπτική εφαρμογή (Adler & DeLeo, 2020).

Η αυξημένη χρήση των αντηλιακών, προκαλεί παγκόσμια ανησυχία στην επιστημονική κοινότητα όσον αφορά την ασφάλεια και την πιθανή τοξικότητα στους ανθρώπους και το περιβάλλον (Adler & DeLeo, 2020).

Ο Διεθνής Οργανισμός για την έρευνα του καρκίνου (IARC), ο οποίος συντονίζει τις έρευνες και τις επιδημιολογικές μελέτες ανά τον κόσμο για τον καρκίνο, αξιολογεί χημικές ουσίες, πολύπλοκα μείγματα, φυσικούς και βιολογικούς παράγοντες, φαρμακευτικά προϊόντα κ.ά., ως αναφορά τον κίνδυνο καρκινογένεσης. Από το 1971 έχουν αξιολογηθεί περισσότερες από 1000 ουσίες, ενώ το 2019 συστάθηκαν οι μονογραφίες IARC (IARC monographs), όπου αναφέρονται οι εξεταζόμενοι παράγοντες και ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες:

Ομάδα 1: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ουσίες όταν υπάρχουν επαρκή στοιχεία καρκινογένεσης στον άνθρωπο.

Ομάδα 2Α: Περιλαμβάνει παράγοντες οι οποίοι μάλλον προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο, υπάρχουν ενδείξεις καρκινογένεσης σε πειραματόζωα αλλά όχι στον άνθρωπο.

Ομάδα 2Β: Πιθανόν καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο, μιας και υπάρχουν επαρκή στοιχεία καρκινογένεσης σε πειραματόζωα και περιορισμένες ενδείξεις για τον άνθρωπο.

Ομάδα 3: Οι ουσίες που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία δεν ταξινομούνται ως προς την καρκινογόνο δράση τους για τον άνθρωπο (WHO, 2019).

Ο οργανισμός τροφίμων και φαρμάκων FDA των Ηνωμένων Πολιτειών το 2019 λαμβάνοντας υπ' όψη την ασφάλεια για τον άνθρωπο, και την ασφάλεια για το περιβάλλον διαχώρισε τα αντηλιακά φίλτρα σε τρεις κατηγορίες (πίνακας 2).

Κατηγορία I: GRASE (Generally Recognized As Safe and Effective): γενικά αναγνωρίζονται ως ασφαλή και αποτελεσματικά.

Κατηγορία II: non GRASE: μη ασφαλή.

Κατηγορία III: non GRASE: απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση (Guan et al., 2021).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Κατηγοριοποίηση αντηλιακών φίλτρων (Guan et al., 2021)

Αντηλιακά φίλτρα	Κατηγορίες	Μέγιστη Συγκέντρωση	Μέγιστη Απορρόφηση (nm)	Προστασία από
<b>Ανόργανα φίλτρα</b>				
Διοξείδιο του τιτανίου	GRASE (I)	25	Εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων	UVB, UVA2, UVA1, ορατό φως
Οξειδίο του ψευδαργύρου	GRASE (I)	25	Εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων	UVB, UVA2, UVA1, ορατό φως
<b>Οργανικά φίλτρα</b>				
<b>Βενζοφαινόνες</b>				
Διοξεβενζόνες (βενζοφαινόνες-8)	Non GRASE (III)	3	352	UVB, UVA2
Οξυβενζόνες (βενζοφαινόνες-3)	Non GRASE (III)	6	288, 325	UVB, UVA2
Σουλισοβενζόνες (βενζοφαινόνες -	Non GRASE	10	366	UVB, UVA2

Αντηλιακά φίλτρα	Κατηγορίες	Μέγιστη Συγκέντρωση	Μέγιστη Απορρόφηση (nm)	Προστασία από
4)	(III)			
Κιναμάτες (Cinnamates)				
Κινοζάτες (cinoxate)	Non GRASE (III)	3	289	UVB
Οκτινοζάτες (octyl methoxycinnamate, Parsol MCX)	Non GRASE (III)	8	311	UVB, UVA2
Άλλες				
Βουτυλομεθοξυδιβενζοϋλο-μεθάνιο (αβοβενζόνη, Parsol 1789)	Non GRASE (III)	3	360	UVA1
Ecamsule (τερεφθαλυλιδενοδοικαμφορι-κό σουλφονικό οξύ)	Χωρίς αξιολόγηση	3	Δεν εφαρμόζεται	UVA1, UVA2
Ensilizole (σουλφονικό οξύ φαινυλοβενζιμιδαζόλης)	Non GRASE (III)	4	310	UVB, UVA2
Meradimate (ανθρανιλικό μεθύλιο)	Non GRASE (III)	5	340	UVA1, UVA2
Οκτοκρυλένιο	Non GRASE (III)	10	303	UVB, UVA2
PABA παράγωγα				
PadimateO (διμεθυλο-οκτύλιο PABA)	Non GRASE (III)	8	311	UVB
Παρα-αμινοβενζοϊκό οξύ (PABA)	Non GRASE (II)	15	283	UVB
Σαλικυλικά				
Homosalate (σαλικυλικό μεθύλιο)	Non GRASE (III)	15	306	UVB, UVA2
Octisalate (σαλικυλικό οκτύλιο)	Non GRASE (III)	5	307	UVB, UVA2
Σαλικυλική τρολαμίνη (TEA salicylate)	Non GRASE (II)	12	260–355	UVB

## 2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ SPF (SUN PROTECTION FACTOR)

Όλα τα αντηλιακά που κυκλοφορούν έχουν δείκτη ηλιακής προστασίας, τον SPF (SunProtectionFactor). Δημιουργήθηκε από τον Αυστριακό επιστήμονα FranzGreiter, με σκοπό τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των αντηλιακών προϊόντων. Ο Greiter, αντιμετώπιζε ο ίδιος σοβαρά ηλιακά εγκαύματα κατά την

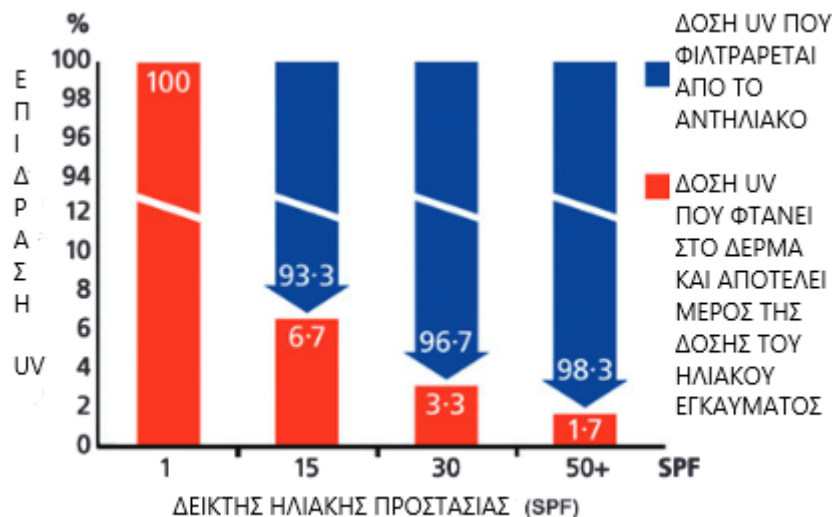
ενασχόλησή του με την ορειβασία στα Αυστριακά βουνά (Osterwalder & Herzog, 2009).

Ο δείκτης αυτός προσδιορίζει την αναλογία μεταξύ του χρόνου που χρειάζεται η ακτινοβολία του ήλιου να προκαλέσει ερύθημα και του χρόνου που απαιτείται να προκαλέσει ερύθημα σε δέρμα που έχουμε εφαρμόσει το αντηλιακό προϊόν. Οι δερματολόγοι συνιστούν για την καλύτερη προστασία μας να ανανεώνεται το αντηλιακό κάθε δυο ώρες (Pawlowski et al., 2021).

Ένας δεύτερος πιο αυστηρός ορισμός, αναφέρει ότι ο SPF είναι ο λόγος της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας ενέργειας υπεριώδους ακτινοβολίας που χρειάζεται για να παραχθεί ένα ελάχιστο ερύθημα σε δέρμα προστατευμένο με αντηλιακό προς τη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη παραγωγή του ίδιου ερυθήματος σε απροστάτευτο δέρμα (Osterwalder & Herzog, 2009).

Όλα τα εμπορικά προϊόντα, σύμφωνα με τον FDA υποχρεούνται να φέρουν ετικέτα με τιμές SPF. Οι τιμές SPF είναι από 6–10, 15–25, 30–50 και 50+, που αντιστοιχούν σε χαμηλή, μεσαία, υψηλή και πολύ υψηλή προστασία, αντίστοιχα (Ngoc et al., 2019).

Ένα αντηλιακό με δείκτη προστασίας 60, δεν σημαίνει ότι προστατεύει διπλά από ένα άλλο με SPF 30. Η προστασία που προσφέρουν είναι η ίδια, απλώς η προστασία που προσφέρει ένας μεγαλύτερος δείκτης διαρκεί περισσότερο χρόνο. Το δεύτερο προϊόν συγκεκριμένα, όπως φαίνεται παρακάτω (διάγραμμα 1), απορροφά το 96,7% των βλαβερών ακτινώνUV, ενώ το πρώτο απορροφά το 98,3%, δηλαδή 1,6% περισσότερο (Osterwalder & Herzog, 2009).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Απεικόνιση του SPF (Osterwalder & Herzog, 2009)

## 2.3 ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Τα οργανικά ή αλλιώς χημικά αντηλιακά φίλτρα απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία, τη μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια η οποία και απελευθερώνεται (εικόνα 5). Κατά τη παραπάνω διαδικασία η ηλιακή ενέργεια διεγείρει τα ηλεκτρόνια στα φίλτρα, τα τελευταία γίνονται ουδέτερα, εκλύεται αμελητέα ποσότητα θερμότητας, η οποία δεν επηρεάζει το δέρμα (Sánchez et al., 2015).

Οι ενώσεις αυτές χάρη στους διπλούς δεσμούς άνθρακα με καρβονυλικές μονάδες έχουν την ικανότητα να εξασθενούν τη μετάδοση των ηλιακών φωτονίων που φτάνουν στη γη. Όταν η υπεριώδης ακτινοβολία διεισδύσει στα μόρια των αντηλιακών φίλτρων, αυτά προσλαμβάνουν ενέργεια την οποία και απελευθερώνουν ως φθορισμό ή θερμότητα (Caloni et al., 2021).

Διακρίνονται ανάλογα με το βαθμό απορρόφησης της αντίστοιχης ακτινοβολίας σε UVA και UVB. Τέτοια είναι τα παράγωγα βενζοφαινόνης, κινναμωνικού οξέος, καμφοράς, τα σαλικυλικά, το αμινοβενζοϊκό οξύ κ.ά. (Sánchez et al., 2015).

Παρουσιάζουν πλεονεκτήματα καθ' ότι συγκροτούν σταθερές ενώσεις, σχετικά ασφαλείς στη χρήσης τους. Παρέχουν ευρέως φάσματος απορρόφησης της ακτινοβολίας καθώς και αυξημένες τιμές SPF. Υπάρχουν όμως οργανικά φίλτρα τα



οποία μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιδράσεις στον άνθρωπο, όπως ερεθισμούς, εκζεματικές δερματίτιδες, αίσθημα καύσου και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του δέρματος (Caloni et al., 2021).



ΕΙΚΟΝΑ 5: Τρόπος δράσης ανόργανων και οργανικών αντηλιακών φίλτρων στην επιδερμίδα (Anne de Silva et al., 2021)

### 2.3.1. ΟΞΥΒΕΝΖΟΝΗ

Η οξυβενζόνη είναι ένα κοινό συστατικό σε αντηλιακά και άλλα προϊόντα προσωπικής φροντίδας η οποία ανήκει στα παράγωγα της βενζοφαινόνης και ονομάζεται βενζοφαινόνη 3 (BP3). Πρόκειται για αρωματική κετόνη σταθερή και αποτελεσματική στην απορρόφηση και τον αποκλεισμό των επιβλαβών υπεριωδών (UV) ακτινών από τον ήλιο, όμως όχι τόσο όσο η αβοβενζόνη και τα ανόργανα, διοξείδιο του τιτανίου και οξείδιο του ψευδαργύρου. Απορροφά τιμές ακτινοβολίας από 270 ως 350 nm. Απαντάται σε συγκεντρώσεις 6% στα αντηλιακά είδη και σε 0.5% σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας ως σταθεροποιητής για να μειώσει τις αλλαγές στο άρωμα και την οσμή. Είναι συστατικό σε πάνω από 2000 σκευάσματα (για τα μαλλιά, το σώμα, κρέμες, αρώματα, κραγιόν κ.ά.) (DiNardo & Downs, 2018).

Έχει εγκριθεί από τον FDA και χρησιμοποιείται ως έμμεσο πρόσθετο τροφίμων, στις πλαστικές επιφάνειες επίστρωσης των συσκευασιών τροφίμων για την απορρόφηση του υπεριώδους φωτός. Το 1990 η παραγωγή της οξυβενζόνης

στις ΗΠΑ έφτανε τα 450.000 κιλά το χρόνο, ενώ στη Κίνα παράγονται 4000 τόνοι βενζοφαινών ετησίως (Li et al., 2016).

Τα αντηλιακά για να είναι αποτελεσματικά πρέπει να είναι φτιαγμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένουν στην επιφάνεια του δέρματος για να μειώσουν τη διείσδυση της UV ακτινοβολίας σε αυτό. Η οξυβενζόνη παρουσιάζει μικρή απορρόφηση της τάξεως του 4% ενώ το υπόλοιπο 96% είναι διαθέσιμο να ξεπλυθεί και να εισέλθει σε διάφορους υδάτινους οδούς (Downs et al., 2016).

Στους ανθρώπους η χημική αυτή ουσία αποτελεί ένα από τα πιο συχνά επιβεβαιωμένα αλλεργιογόνα. Προκαλεί φωτοαλλεργία, κνίδωση σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό και σε λιγότερες περιπτώσεις αναφυλαξία. Η Αμερικάνικη Εταιρεία Δερματίτιδας (ACDS) ανακοίνωσε τις βενζοφαινόες ως αλλεργιογόνα της χρονιάς για το έτος 2014, ενώ σύμφωνα με τον FDA ανήκει στην κατηγορία III (non GRASE) και απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση για την ασφάλεια της υγείας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Η οξυβενζόνη αποτέλεσε το πιο συχνό αντιδρώντα παράγοντα που βρέθηκε στο 68% των 201 αντηλιακών που μελετήθηκαν (Di Nardo & Downs, 2018; Guan et al., 2021).

Η κολύμβηση σε χλωριωμένες πισίνες είναι ανησυχητική. Το χλώριο αντιδρά με την οξυβενζόνη με αποτέλεσμα να προκύπτει χλωριωμένη οξυβενζόνη, η οποία αποτελεί δυνητική απειλή για την ασφάλεια του νερού. Σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας, παρατηρήθηκαν υψηλά επίπεδα οξυβενζόνης τόσο στο ακατέργαστο, στο επεξεργασμένο όσο και στο χλωριωμένο νερό, γεγονός που υποδεικνύει ότι το σύστημα αποτυγχάνει να απομακρύνει επιτυχώς την οξυβενζόνη μέσω της διαδικασίας επεξεργασίας του νερού. Η οξυβενζόνη δεν ήταν ποσοτικά προσδιορίσιμη το χειμώνα, αλλά το καλοκαίρι, τα επίπεδά της ήταν αυξημένα, καθώς πρόκειται για μια τροπική χώρα, με μεγάλη κατανάλωση προϊόντων που περιέχουν φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας (Ge et al., 2019; Da Silva et al., 2015).

Η οξυβενζόνη μεταβολίζεται σε δύο φάσεις και απεκκρίνεται από τον οργανισμό μέσω των ούρων τα οποία εισέρχονται στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων μέσω του αστικού δικτύου αποχέτευσης. Και επειδή η πλήρης

απομάκρυνση από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων είναι αδύνατη με τις παρούσες τεχνολογίες, απελευθερώνεται στο υδάτινο περιβάλλον (Li et al., 2016).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει κατατάξει την οξυβενζόνη στην κατηγορία 2 των τοξικών για την αναπαραγωγή, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει υποψία ότι προκαλεί βλάβη στην ανθρώπινη αναπαραγωγή. Γυναίκες με υψηλές συγκεντρώσεις βενζοφαινόνης στα ούρα δυσκολεύτηκαν να μείνουν έγκυες, ενώ οι αντίστοιχοι άνδρες παρουσίαζαν προβλήματα με το σπέρμα τους. Η Αμερικανική Ακαδημία Παιδιατρικής συνέστησε στους γονείς να αποφεύγουν τη χρήση αντηλιακών που περιέχουν οξυβενζόνη στα παιδιά τους λόγω ανησυχιών για τις πιθανές επιπτώσεις της στην υγεία. Επίσης έχει συνδεθεί με τη νόσο Hirschprung, πάθηση του παχέος εντέρου που συναντάται στα νεογνά όταν κάποια νευρικά κύτταρα που βρίσκονται στο τοίχωμα του εντέρου δεν αναπτύσσονται σωστά (Di Nardo & Downs, 2018; Mac Vicar et al., 2022).

### **2.3.2 ΟΚΤΙΝΟΞΑΤΗ**

Η οκτινοξάτη (EHMC) ανήκει στα παράγωγα του κινναμωμικού οξέος και απορροφά ακτινοβολία από 270 ως 328 nm. Αποτελεί ένα από τα πιο κοινά φίλτρα UVB και χρησιμοποιείται παγκοσμίως συχνά σε συνδυασμό με άλλα της ίδιας κατηγορίας για την επίτευξη υψηλών τιμών SPF (Burns et al., 2022).

Το 1994 αποτελούσε συστατικό του 65% του συνόλου των αντηλιακών που κυκλοφορούσαν στην αγορά, ενώ εξακολουθεί ακόμη και σήμερα να είναι ένα από τα σημαντικότερα φίλτρα UVB σε προϊόντα καθημερινής φροντίδας. Αποτελεί σταθεροποιητή σε προστατευτικές πλαστικές επικαλύψεις (Stiefel & Schwack, 2015).

Η οκτινοξάτη είναι εγκεκριμένη από την Ευρωπαϊκή Ένωση για χρήση σε όλα τα καλλυντικά προϊόντα έως και 10%, και είναι ουσία υψηλού όγκου παραγωγής (η παραγωγή της στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι πάνω από 1000 τόνοι/έτος). Στις ΗΠΑ, ο FDA, την κατηγοριοποιεί στις non GRASE ουσίες, στη κατηγορία III, και οι επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις είναι 7,5%. Έχει συμπεριληφθεί στην 1η λίστα παρακολούθησης των πιθανών ρύπων του νερού σύμφωνα με την Οδηγία

Περιβαλλοντικών Προτύπων Ποιότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και επί του παρόντος βρίσκεται υπό αξιολόγηση για περιβαλλοντικούς κινδύνους και ενδοκρινικές διαταραχές (D'Amico et al., 2022; Guan et al., 2021).

Συνολικά είναι λιγότερο τοξική σε σχέση με την οξυβενζόνη εξαιτίας της ψηλότερης φωτοευαισθησίας της και αντικατέστησε επιτυχώς το π-αμινοβενζοϊκό οξύ μετά την απαγόρευσή του. Έχει βρεθεί ότι απορροφάται μέσω του δέρματος και ανιχνεύθηκε σε ούρα, αίμα και μητρικό γάλα. Περιπτώσεις αλλεργίας είναι σπάνιες στον γενικό πληθυσμό (Stiefel & Schwack, 2015).

Η οκτινοξάτη έχει βρεθεί στο χιόνι της Ανταρκτικής και η παρουσία της εκεί εξηγείται με τρεις τρόπους:

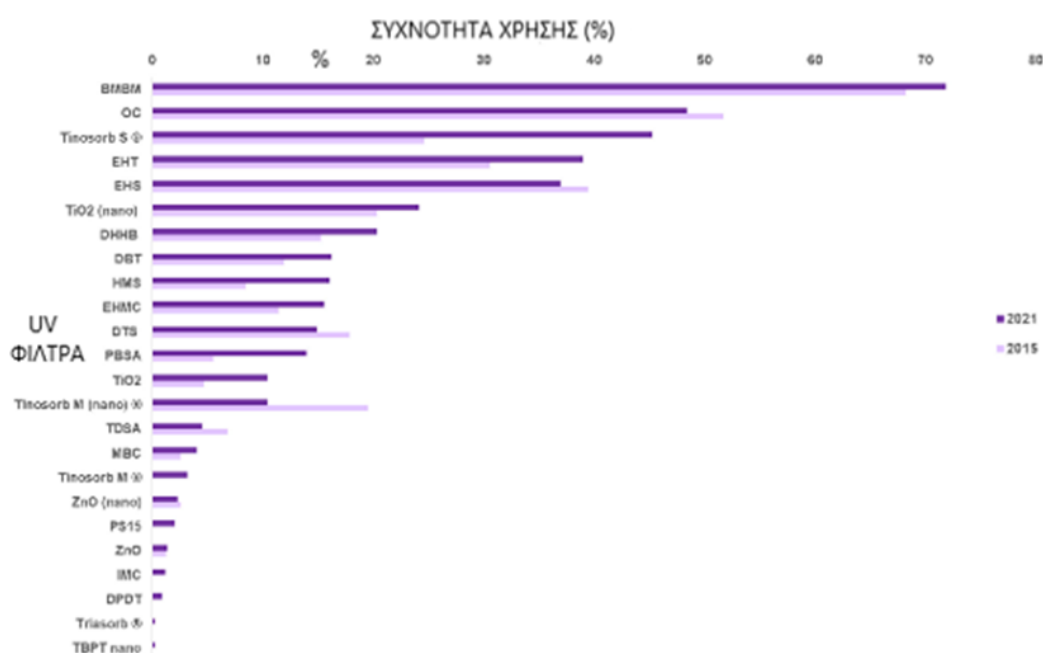
- η ουσία εισέρχεται στο περιβάλλον μέσω άμεσων τοπικών εισροών.
- προσμείξεις από τοπικά hotspots (π.χ. επιστημονικοί σταθμοί, τουριστικά πλοία) μεταφέρονται από τοπικούς ανέμους και εναποτίθενται σχετικά πιο μακριά από την πηγή μόλυνσης
- Η ΕΗΜC εισέρχεται στην ατμόσφαιρα σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη και μεταφέρεται μέσω μεγάλης εμβέλειας με ατμοσφαιρικές διαδικασίες μεταφοράς (D'Amico et al., 2022).

### **2.3.3 ABOBENZONH**

Η αβοβενζόνη (BMDBM) είναι μια χημική ένωση που χρησιμοποιείται συνήθως σε αντηλιακά και άλλα προϊόντα περιποίησης δέρματος ως απορροφητής UVA. Επίσης μερικές φορές αναφέρεται ως Parsol 1789, το οποίο είναι το εμπορικό σήμα για το συστατικό. Η αβοβενζόνη δρα απορροφώντας την ακτινοβολία UVA και μετατρέποντάς την σε λιγότερο επιβλαβή μορφή ενέργειας. Θεωρείται ότι είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς απορροφητές UVA που διατίθενται και χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα φίλτρα UV για την παροχή προστασίας ευρέος φάσματος έναντι της ακτινοβολίας UVA και UVB. Ένα πλεονέκτημα της είναι ότι είναι σχετικά σταθερή και δεν διασπάται γρήγορα όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως, κάτι που μπορεί να είναι πρόβλημα με ορισμένα άλλα

φίλτρα UVA. Ωστόσο, μπορεί να υποβαθμιστεί με την πάροδο του χρόνου και να χάσει την αποτελεσματικότητά της (Latha et al., 2013).

Η αβοβενζόνη, το 2021 στην Πορτογαλία αναδεικνύεται ως το φίλτρο που χρησιμοποιείται μακράν περισσότερο ( $\geq 75\%$ ), σε αντηλιακά για ενήλικες, στην αγορά της Πορτογαλίας η οποία είναι αντιπροσωπευτική της Ευρωπαϊκής αγοράς (διάγραμμα 2)(Jesus et al., 2022).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Συχνότητα χρήσης των φίλτρων UV που περιέχονται στα αντηλιακά για ενήλικες το 2015 και το 2021 στην Ευρωπαϊκή Ένωση με πρωτοπόρο την αβοβενζόνη (Jesus et al. 2022)

Η αβοβενζόνη ανήκει στα παράγωγα του διβενζουλομεθανίου και είναι το πιο κοινό φίλτρο UVA σε καλλυντικά προϊόντα. Συμπεριλαμβάνεται περίπου στο 80% των αντηλιακών προϊόντων στη Γερμανία. Έχει αντικαταστήσει το πρώην 4-ισοπροπυλοδιβενζουλομεθάνιο (I-DBM), η παραγωγή του οποίου διακόπηκε το 1993 λόγω του υψηλού φωτοαλλεργικού δυναμικού του. Ωστόσο, η αβοβενζόνη είναι επίσης ένα γνωστό αλλεργιογόνο επαφής μεταξύ των φίλτρων UV. Όταν

χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την αιθυλεξυλική μεθοξυκίνη-ναμική (EHMC), είναι φωτοασταθής. Τα προϊόντα φωτοαποδόμησης που προκύπτουν έχουν επίσης ένα συγκεκριμένο δυναμικό αντίδρασης και μπορεί να προκαλέσουν επίσης, αλλεργίες εξ επαφής. Ωστόσο, όταν συνδυάζεται με άλλα κατάλληλα φίλτρα UV, για παράδειγμα με οκτοκρυλένιο (OCR), η φωτοαποδόμηση μειώνεται αρκετά (Stiefel & Schwack, 2015).

Η αβοβενζόνη είναι στο Παγκόσμιο Εναρμονισμένο Σύστημα Ταξινόμησης και Επισήμανσης Χημικών Προϊόντων GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) ως χημική ουσία, καρκινογόνα για τον άνθρωπο, που προκαλεί μακροχρόνιους περιβαλλοντικούς κινδύνους, χωρίς να έχει καθοριστεί ελάχιστη τοξική δόση ενώ ανήκει στην κατηγορία III, σύμφωνα με τον FDA και χρειάζεται να διερευνηθεί περισσότερο (Hayden et al., 2005; Guan et al., 2021).

#### **2.3.4 ΟΚΤΟΚΡΥΛΕΝΙΟ**

Το οκτοκρυλένιο (OCR) είναι ένα κοινό χημικό συστατικό που χρησιμοποιείται σε αντηλιακά και άλλα προϊόντα προσωπικής φροντίδας ως φίλτρο UV. Είναι ιδιαίτερα σταθερό αντηλιακό φίλτρο το οποίο απορροφά ακτινοβολία μεταξύ 260 ως 340 nm, με μέγιστη απορρόφηση τα 303 nm. Είναι αποτελεσματικό στην απορρόφηση και το φιλτράρισμα της ακτινοβολίας UVA και UVB από τον ήλιο. Χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με άλλα αντηλιακά φίλτρα για να παρέχει προστασία ευρέος φάσματος από τις βλαβερές ακτίνες του ήλιου. Χρησιμοποιείται επίσης συνήθως σε προϊόντα περιποίησης δέρματος και καλλυντικών ως φωτοσταθεροποιητής, ο οποίος βοηθά στην πρόληψη της υποβάθμισης άλλων αντηλιακών συστατικών όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως (Avenel-Audran et al., 2010).

Ταξινομείται από το GHS ως δυνητικός μακροχρόνιος περιβαλλοντικός κίνδυνος με τοξική μακροχρόνια βλάβη στην υδρόβια ζωή, με τη σύμφωνη γνώμη του FDA, που το τοποθετεί στα αντηλιακά φίλτρα που απαιτούν περισσότερη διερεύνηση (Hayden et al., 2005; Guan et al., 2021).

Ενώ το Οκτοκρυλένιο θεωρείται ασφαλές και αποτελεσματικό αντηλιακό συστατικό από πολλούς ρυθμιστικούς φορείς, υπάρχουν ορισμένες ανησυχίες σχετικά με τη δυνατότητά του να προκαλέσει δερματικές αλλεργίες και ορμονικές διαταραχές. Ορισμένες μελέτες έχουν συμπεράνει ότι μπορεί να έχει οιστρογονικές επιδράσεις και θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει την ορμονική ισορροπία του σώματος (Avenel-Audran et al., 2010).

### **2.3.5 ΣΑΛΙΚΥΛΙΚΑ**

Τα σαλικυλικά παράγωγα είναι μια κατηγορία οργανικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αντηλιακά για την ικανότητά τους να απορροφούν την ακτινοβολία UVB. Το πιο κοινό σαλικυλικό παράγωγο που χρησιμοποιείται στα αντηλιακά είναι το οκτυλοσαλικυλικό. Τα σαλικυλικά παράγωγα δρουν απορροφώντας την UVB ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα, η οποία στη συνέχεια διαχέεται από το δέρμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλους αντηλιακούς παράγοντες, όπως η αβοβενζόνη, για να παρέχουν προστασία ευρέος φάσματος έναντι της ακτινοβολίας UVA και UVB (Latha et al., 2013).

Το σαλικυλικό οκτύλιο θεωρείται ασφαλές και αποτελεσματικό όταν χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες. Ωστόσο, όπως όλα τα συστατικά του αντηλιακού, μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό του δέρματος ή αλλεργικές αντιδράσεις σε μερικούς ανθρώπους. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι τα σαλικυλικά παράγωγα μπορούν να διασπαστούν με την πάροδο του χρόνου όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως, γεγονός που μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά τους. Εκτός από τη χρήση τους σε αντηλιακά, τα σαλικυλικά παράγωγα χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία άλλων καλλυντικών και προϊόντων προσωπικής φροντίδας, όπως ενυδατικές κρέμες, προϊόντα για τα χείλη και τα μαλλιά. Χρησιμοποιούνται επίσης σε ορισμένα φαρμακευτικά προϊόντα, όπως τοπικά αναλγητικά (Rai et al., 2012).

Από τα σαλικυλικά, το σαλικυλικό οκτύλιο και το σαλικυλικό μεθύλιο χαρακτηρίζονται από τον FDA, non Grace, δηλαδή χρειάζεται να αξιολογηθούν

περαιτέρω σε αντίθεση με την σαλικυλική τρολαμίνη που ανήκει στα μη ασφαλή αντηλιακά φίλτρα (Guan et al., 2021).

### **2.3.6 ΤΡΙΑΖΟΝΕΣ & ΤΡΙΑΖΙΝΕΣ**

Οι τριαζόνες και οι τριαζίνες έχουν επίσης μελετηθεί ως πιθανά φίλτρα για τον ήλιο λόγω της ικανότητάς τους να απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία. Έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά αντηλιακά φίλτρα, όπως καλύτερη φωτοσταθερότητα, ευρέως φάσματος προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και χαμηλότερη τοξικότητα. Οι τριαζόνες μπορούν να ενσωματωθούν σε αντηλιακά με την ανάμειξή τους με άλλα συστατικά όπως μαλακτικά, διαλύτες και σταθεροποιητές. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα των τριαζονών ως αντηλιακών φίλτρων στην προστασία του δέρματος από την υπεριώδη ακτινοβολία. Οι τριαζόνες έχουν επίσης βρεθεί ότι δεν είναι ερεθιστικές για το δέρμα και έχουν χαμηλή πιθανότητα αλλεργικών αντιδράσεων (Sobanska & Ryzowski, 2012).

Δύο από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τέτοιες ουσίες στα αντηλιακά είναι η αιθυλοεξυλοτριαζόνη (EHT), γνωστή και ως οκτυλοτριαζόνη και η διαιθυλοεξυλοξυφαινόλη μεθοξυφαινυλοτριαζίνη (BEMT). Οι τριαζόνες και οι τριαζίνες χαρακτηρίζονται ως αποτελεσματικά, προς το παρόν ασφαλή και πιο οικολογικά συμβατά αντηλιακά φίλτρα, με πολλαπλές εφαρμογές στη βιομηχανία καλλυντικών και προϊόντων προσωπικής περιποίησης, χωρίς όμως πολλές μελέτες στο ενεργητικό τους. Σταδιακά αντικαθιστούν τα οργανικά φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας «παλιάς γενιάς», όπως την οξυβενζόνη και την οκτινοξάτη (Varrella et al., 2022; Santander & Luesma, 2023).

Λόγω των διαφόρων θετικών ιδιοτήτων τους, οι τριαζόνες ενσωματώνονται σε όλο και περισσότερα προϊόντα αντηλιακής προστασίας και περιποίησης της επιδερμίδας. Πρόσφατα, η τρισδιφαινυλοτριαζίνη (Tinosorb A2B) προστέθηκε στο παράρτημα VI του κανονισμού της ΕΕ για τα καλλυντικά. Πρόκειται για το πρώτο φίλτρο υπεριώδους ακτινοβολίας με μέγεθος σωματιδίων κάτω των 100 nm που έχει εγκριθεί ρητά για χρήση στα ευρωπαϊκά καλλυντικά. Πρόκειται για ένα



υδατοδιασπώμενο, ευρέως φάσματος, μικροσκοπικό φίλτρο υπεριώδους ακτινοβολίας που προστατεύει το δέρμα ειδικά από την υπεριώδη ακτινοβολία μεταξύ 290 και 340 nm, καλύπτοντας έτσι το κενό μεταξύ των "κλασικών", καθαρών φίλτρων UVA ή UVB (Stiefel & Schwack, 2015).

## 2.4 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Όταν τα αντηλιακά έχουν ανόργανα UV φίλτρα, η υπεριώδης ακτινοβολία αντανακλάται από την επιδερμίδα (εικόνα 5). Ονομάζονται επίσης φυσικά ή ορυκτά φίλτρα ενώ λειτουργούν μέσω δύο μηχανισμών.

- οι κρύσταλλοι διαθλούν και διασκορπίζουν ένα σημαντικό μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας.
- τα ίδια τα μόρια φτάνουν σε διεγερμένη κατάσταση και στη συνέχεια αποδιεγείρονται με τον ίδιο τρόπο όπως τα οργανικά φίλτρα (Caloni et al., 2021).

Είναι αρκετά αποτελεσματικά, σταθερά και ασφαλή σε σχέση με τα οργανικά φίλτρα, όμως οι καταναλωτές δεν τα προτιμούν καθώς κατά τη χρήσης τους αφήνουν λευκές χρωστικές ουσίες οι οποίες λερώνουν τα ρούχα.

Πρόκειται για ενώσεις του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ), του ψευδαργύρου ( $\text{ZnO}$ ), του σιδήρου, του μαγνησίου ( $\text{MgCO}_3$ ), του ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) κ.ά.. Τα οξείδια του τιτανίου είναι ικανά να αντιμετωπίσουν τη UVB ακτινοβολία, τα οξείδια του ψευδαργύρου, τη UVA, ενώ αποτελούν τα δύο ορυκτά φίλτρα ευρέως εγκεκριμένα και χρησιμοποιούμενα σε όλο τον κόσμο (Sánchez et al., 2015).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 χρησιμοποιούνται στη νανομετρική τους μορφή. Οι καινούργιες τεχνολογίες βοηθούν στη μείωση της αντανάκλασης του ορατού φωτός, είναι περισσότερο διαφανή σε όλο το δέρμα, ενισχύουν την αισθητική τους εικόνα και βελτιώνουν τη τιμή του SPF (Ngoc et al., 2019).

### 2.4.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ & ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα ανόργανα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας είναι το διοξείδιο του τιτανίου ( $\text{TiO}_2$ ) και το οξείδιο του ψευδαργύρου ( $\text{ZnO}$ ). Πρόκειται για λευκές κονιορτοποιημένες χρωστικές ουσίες οι οποίες χρησιμοποιούνται επίσης σε προϊόντα προσωπικής υγιεινής καθώς και σε χρώματα, επιχρίσματα, πλαστικά και άλλα υλικά. Επιτρέπεται να βρίσκονται σε συγκεντρώσεις 25% του τελικού προϊόντος (Battistin et al., 2022).

Το διοξείδιο του τιτανίου απαντάται σε τρεις κρυσταλλικές μορφές, την ανάταση (τετραγωνική), το μπρουκίτη (ορθορομβική) και το ρουτίλιο (τετραγωνική). Το καθένα έχει διαφορετικές ιδιότητες εξασθένησης της υπεριώδους ακτινοβολίας με καλύτερο το ρουτίλιο λόγω της υψηλότερης απορρόφησης σε σχέση με τα άλλα (Stiefel & Schwack, 2015).

Το οξείδιο του ψευδαργύρου έχει σαφή πλεονεκτήματα και ευρύ φάσμα απορρόφησης με μήκος κύματος τα 425 nm. Όμως όταν χρησιμοποιούνται και τα δυο ανόργανα φίλτρα σε συνδυασμό προσφέρουν ενισχυμένη προστασία (Labille et al., 2020).

Τα  $\text{ZnO}$  και  $\text{TiO}_2$  χρησιμοποιούνται σε αντηλιακά από τη δεκαετία του 1980. Συνήθως, το μέγεθος τους κυμαίνεται από 200-400 nm και 150-300 nm, αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο μέγεθος των σωματιδίων ευθύνεται για τη λευκή υφή, σαν κιμωλία, στην επιφάνεια του δέρματος, καθώς τα σωματίδια αυτά αντανακλούν το προσπίπτον ορατό φως, το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα ως λευκό (Schneider & Lim, 2019).

Μεταξύ των διαθέσιμων μορφών ανόργανων φίλτρων υπεριώδους ακτινοβολίας, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μεταξύ 2015 και 2021 έδειξαν μια αυξανόμενη τάση προς τη χρήση του διοξειδίου του τιτανίου (διάγραμμα 2) φθάνοντας σε συχνότητα χρήσης 24,1% και 10,4% το 2021 για τις νανο- και μη νανο-μορφές του, αντίστοιχα (Jesus et al., 2022).

## 2.4.2 ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα τελευταία χρόνια, τα νανοσωματίδια χρησιμοποιούνται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο, στη βιομηχανία των καλλυντικών λόγω των ενισχυμένων χημικών, φυσικών και βιολογικών ιδιοτήτων που επιτυγχάνονται, συμπεριλαμβανομένων του χρώματος, της διαλυτότητας και της διαφάνειας. Βρίσκονται σε προϊόντα προσωπικής υγιεινής, όπως αντηλιακά, πούδρες, lip balms και lip-sticks, βερνίκια νυχιών, οδοντόκρεμες, σαπούνια, αρώματα, σκιές ματιών και προϊόντα μαλλιών, καθώς παρέχουν βελτιωμένη προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία μαζί με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Αναφέρονται σε σωματίδια με διάμετρο <100 nm, τα οποία είναι αρκετά μικρά ώστε να μην ανιχνεύονται από τα συμβατικά μικροσκόπια. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα αντηλιακά σκευάσματα είναι διαφανή πάνω στο δέρμα. Τα νανοσωματίδια αποτελούν έναν τομέα συνεχιζόμενης διερεύνησης και έρευνας. Το 2002 δημοσιεύθηκαν πάνω από 22 000 άρθρα και 1900 διπλώματα ευρεσιτεχνίας σε σύγκριση με μόλις 1000 άρθρα 12 χρόνια πριν (Schneider & Lim, 2019).

Τα νανοσωματίδια οξειδίων μετάλλων αποκτούν αρμοδιότητα ως βασικά βιομηχανικά συστατικά, προχωρώντας προς μια αξιοσημείωτη αύξηση των εφαρμογών τους. Τα νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου και οξειδίου του τιτανίου είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα νανοσωματίδια οξειδίου του μετάλλου (Subramaniam et al., 2019).

Η ετήσια παραγωγή των νανοσωματιδίων του διοξειδίου του τιτανίου, το 2012 ήταν 3000 τόνοι το χρόνο. Το 65% της παραγωγής, χρησιμοποιούταν σε καλλυντικά προσωπικής φροντίδας. Η παραγωγή του διαρκώς αυξάνεται και αναμένεται να φτάσει, μέχρι το 2025 σε 60.000 τόνους το χρόνο (Abdel-Latif et al., 2020).

Προέρχονται από την τροποποίηση των ατομικών και μοριακών ιδιοτήτων των βασικών στοιχείων. Οι διακριτοί τύποι νανοϋλικών που χρησιμοποιούνται στα καλλυντικά περιλαμβάνουν νανοςώματα, λιποσώματα, ανόργανες ενώσεις, μέταλλα, δενδριμερή και στερεά νανοσωματίδια λιπιδίων (Wang, 2004).

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της χρήσης των νανοσωματιδίων οξειδίων μετάλλων είναι η υψηλή φωτοσταθερότητα και οι ιδιότητες διασποράς. Τα νανοσωματίδια του διοξειδίου του τιτανίου είναι πιο αποτελεσματικά στην παρεμπόδιση της ακτινοβολίας UV-B και του οξειδίου του ψευδαργύρου στην ακτινοβολία UV-A, επομένως η αθροιστική αλληλεπίδραση αυτών των σωματιδίων στα διάφορα αντηλιακά, εξασφαλίζει ένα ευρύ φάσμα προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία (Nohynek et al., 2008).

Τα πρωτογενή σωματίδια των νανοσωματιδίων έχουν μέγεθος 5-20 nm. Όταν τίθενται σε εναιώρημα, συνδέονται μεταξύ τους μέσω των εγγενών χημικών και φυσικών ιδιοτήτων τους σχηματίζοντας συσσωματώματα. Τα συσσωματώματα κυμαίνονται σε μέγεθος από 30 έως 150 nm και αποτελούν την πιο κοινή φυσική εκδήλωση του ZnO και του TiO<sub>2</sub> στα αντηλιακά (Slomberg et al., 2021).

Το ZnO και το TiO<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται στα αντηλιακά, καθώς αντανακλούν και απορροφούν τα φωτόνια της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ικανότητα αυτών των σωματιδίων να προστατεύουν από την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος των σωματιδίων. Το ZnO έχει επίπεδη καμπύλη απορρόφησης σε όλο το φάσμα UVA και UVB. Το φάσμα απορρόφησης του TiO<sub>2</sub> μετατοπίζεται σε ένα φάσμα κυρίως UVB καθώς μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων. Όταν χρησιμοποιούνται μαζί, το ZnO και το TiO<sub>2</sub> παρέχουν καλή προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία. Τα νανοσωματίδια ZnO και TiO<sub>2</sub> μπορούν να επικαλυφθούν με διάφορα προϊόντα. Το διοξείδιο του πυριτίου θεωρείται ότι είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές επικαλύψεις για την αποτροπή ενός φωτοκαταλυτικού συμβάντος.

Τα νανοσωματίδια ZnO και TiO<sub>2</sub> έχουν τα πλεονεκτήματα ενός μη λιπαρού σκευάσματος που είναι διαφανές, φθηνό και δεν υποβαθμίζεται με την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία (Schneider & Lim, 2019).

Προβληματισμός για τη χρήση τους υφίσταται στα προϊόντα ψεκασμού, επειδή υπάρχουν ενδείξεις ότι τα σωματίδια αυτά μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στους πνεύμονες κατά την εισπνοή. Εξίσου ανησυχία, υπάρχει σχετικά με το ενδεχόμενο τα νανοσωματίδια, εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους, να

διεισδύουν στο κατεστραμμένο λόγω ηλικίας δέρμα, και να προκαλούν πιθανές τοξικολογικές επιδράσεις. Ωστόσο οι τελευταίες μελέτες δείχνουν πως επειδή τείνουν να συσσωρεύονται σε μεγαλύτερες δομές, μειώνεται η ικανότητα διείσδυσης στο δέρμα. Σε γενικές γραμμές η χρήση τους σε προϊόντα αντηλιακής προστασίας θεωρείται ασφαλής και αποτελεσματική και ταξινομούνται σύμφωνα με τον FDA, στην κατηγορία I (Stiefel et al., 2015; Guan et al., 2021).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΑΝΤΗΛΙΑΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα τελευταία χρόνια ο τουρισμός γνωρίζει τεράστια ανάπτυξη και κατατάσσεται στους συνεχώς αυξανόμενους οικονομικούς τομείς. Μέχρι το 2035, υπολογίζεται ότι ο ρυθμός του παγκόσμιου τουρισμού θα αυξηθεί κατά 179%. Το 2017 η Μεσόγειος μόνο κατακλύστηκε με πάνω από 267 εκατομμύρια ταξιδιώτες (Caloni et al., 2021).

Τα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας που βρίσκονται στα αντηλιακά, σχετικά πρόσφατα εντοπίστηκαν ως αναδυόμενοι ρύποι στα υδάτινα περιβάλλοντα (στο νερό, τα ιζήματα και τους ζωικούς ιστούς), καθώς διαρκώς αυξάνονται στο θαλάσσιο περιβάλλον με αρνητικές επιπτώσεις (Caloni et al., 2021).



ΕΙΚΟΝΑ 6: Τα ντους στη παραλία αποστραγγίζονται πίσω στα παράκτια ύδατα (Downs et al., 2022)

Τα αντηλιακά είναι τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται όλο το χρόνο με μεγαλύτερη συχνότητα την καλοκαιρινή περίοδο. Η χρήση τους είναι αυξημένη και επιτακτική. Και για αυτό πλέον αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο. Φτάνουν στα υδάτινα περιβάλλοντα:

- Κατά την επάλειψή τους στο δέρμα, απορροφούνται και αποβάλλονται μέσω των ούρων στις υδραυλικές εγκαταστάσεις.
- Ξεπλένονται από το δέρμα κατά τη διάρκεια του μπάνιου μας σε ωκεανούς, λίμνες, ποτάμια, πισίνες ή ντους (εικόνα 6).
- Επιστρέφουν στη φύση από την ελλιπή επεξεργασία των οικιακών και βιομηχανικών (εργοστασίων καλλυντικών) αποβλήτων (Ouchene et al., 2019)
- Μεταφέρονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, χωρίς καμία επεξεργασία, ιδιαίτερα σε νησιωτικά κράτη, τα οποία δεν διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Amine et al., 2012).

Κάθε φορά που πλένουμε το πρόσωπό μας, όταν απολαμβάνουμε τα θαλάσσια μπάνια μας, τις βουτιές μας, ακόμη και όταν πλένουμε τα ρούχα μας εισάγουμε τοξικές χημικές ουσίες στο νερό και στις θάλασσες. Οι τοξικές ουσίες φτάνουν στα υδάτινο περιβάλλον όχι μόνο από την άμεση διάλυσή τους στη θάλασσα αλλά και έμμεσα εξαιτίας των μερικών επεξεργασμένων λυμάτων από τις μονάδες επεξεργασίας (Saner, 2021).

Η αντηλιακή ρύπανση στα υδάτινα οικοσυστήματα, ιδιαίτερα στους παραθαλάσσιους τουριστικούς προορισμούς είναι αυξημένη κι έχει άμεση σχέση με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Υπολογίζεται ότι 1,2 γραμμάρια αντηλιακού ανά άτομο χρησιμοποιείται καθημερινά ενώ η προτεινόμενη δόση είναι 2 mg/cm<sup>2</sup> δέρματος, δηλαδή 30 ml. Οι οδηγίες προτρέπουν στην επαναλαμβανόμενη χρήση τους ανά δύο ώρες. Περίπου το 25% του συνολικού αντηλιακού που εφαρμόζουμε διαλύεται στο νερό (Casa-Belram et al., 2020).

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες μελέτες δείχνουν μεγάλες συγκεντρώσεις οργανικών και ανόργανων συστατικών των αντηλιακών προϊόντων στο 95% των λυμάτων και στο 86% των επιφανειακών υδάτων. Τα αντηλιακά φίλτρα καθώς και άλλες τοξικές ενώσεις εντοπίζονται στα θαλάσσια οικοσυστήματα, στις πισίνες, στα υπόγεια ύδατα και στο νερό της βρύσης (Casa-Belram et al., 2020).

Στις περιοχές με αυξημένη τουριστική κίνηση η ρύπανση είναι ακόμη πιο έντονη με ότι συνεπάγεται αυτό. Η Cinzia Corinaldesi, αναπληρώτρια καθηγήτρια

οικολογίας στο Πολυτεχνείο του Marche στην Αγκόνα της Ιταλίας, εκτίμησε ότι 20.000 τόνοι αντηλιακού ξεπλένονται κάθε χρόνο μόνο στη βόρεια Μεσόγειο, ενώ στη Γαλλία έρευνα έδειξε ότι από 3000 λουόμενους, απελευθερώνονται κατά μέσο όρο 52,5 κιλά αντηλιακού προϊόντος την ημέρα (Yuan et al., 2022).

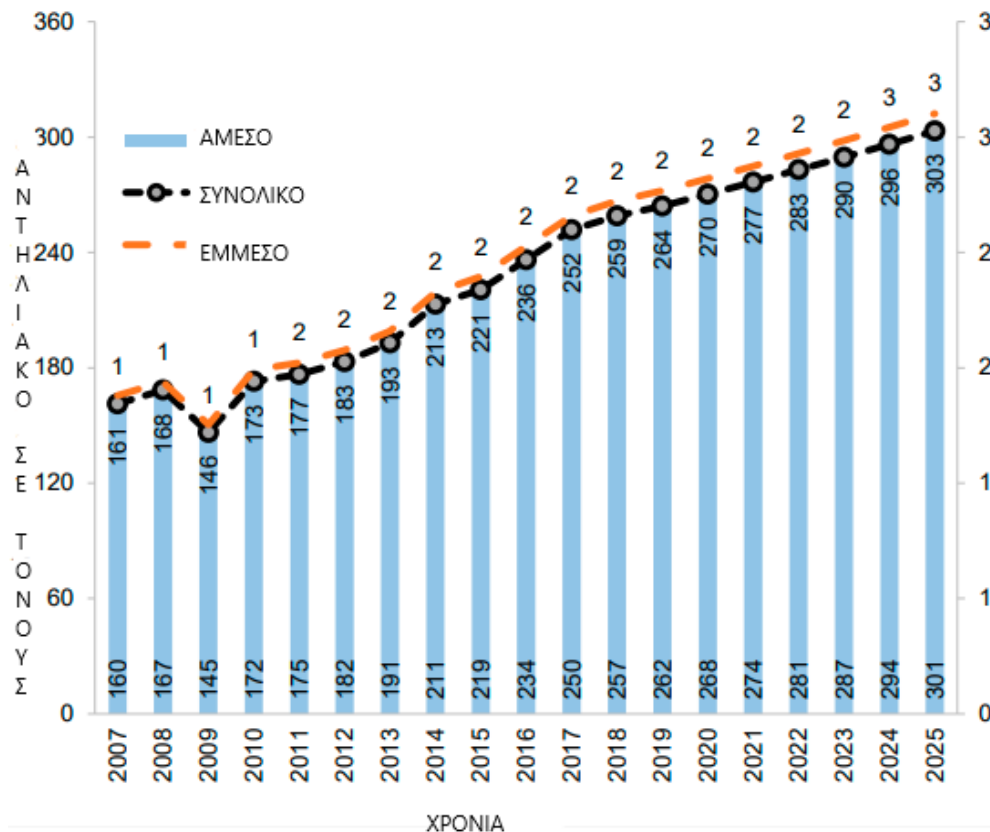
Εξαρτάται επίσης από τη ποσότητα αλλά και το τύπο του αντηλιακού που εφαρμόζεται, καθώς και από το χρόνο που περνούν οι λουόμενοι στο νερό. Η εφαρμογή αντηλιακού σε σπρέι, μπορεί να οδηγήσει σε διασπορά αερολύματος με άμεση εναπόθεση στο νερό ή την άμμο. Το 50% με 60% του αντηλιακού με ψεκάσμο, μπορεί να εισέλθει στο περιβάλλον (Broussard et al., 2020).

Στην ουσία το μέγεθος της ρύπανσης στο υδάτινο περιβάλλον είναι άγνωστο. Η εκτίμηση μιας έρευνας που πραγματοποιήθηκε το 2020 στην Καραϊβική έδειξε ότι η περιοχή Quintana Roo, θα λάβει 4367,25 τόνους χημικών ουσιών από αντηλιακά που εφαρμόζονται από τουρίστες και κατοίκους από το 2007 ως το 2025. Σχεδόν το 90% των ατόμων αυτών χρησιμοποιεί αντηλιακό προϊόν. Από 54 αντηλιακά σκευάσματα που χρησιμοποιούνταν το 13% αυτών είναι βιοδιασπώμενα. Εντοπίστηκαν 410,12 τόνοι της χημικής ουσίας βενζοφαινόνης, ενώ έντονη ήταν η παρουσία των φυσικών αντηλιακών φίλτρων, οξειδίου του ψευδαργύρου (181,95 τόνοι) και οξειδίου του τιτανίου (165,41 τόνοι). Η μόλυνση προκαλείται με άμεσο ή έμμεσο τρόπο από τα αντηλιακά (διάγραμμα 3). Η επεξεργασία των αποβλήτων στην πολιτεία της Quintana Roo καλύπτει μόνο το 68%, ενώ τα εναπομείναντα ανεπεξέργαστα νερά εισέρχονται ξανά στο σύστημα ύδρευσης. Τα 54,93 εκατομμύρια κυβικών μέτρων μολυσμένων λυμάτων πηγαίνουν απευθείας στον υδροφόρο ορίζοντα (Casas-Beltran et al., 2020).

Δυστυχώς τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτυγχάνουν να απομακρύνουν τα αντηλιακά φίλτρα και με αυτό τον τρόπο συσσωρεύονται και επηρεάζουν τους θαλάσσιους οργανισμούς (Ouchene et al., 2019).

Όμως συνολικά για να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι που εγκυμονούν θα πρέπει να εξεταστούν τα αντηλιακά προϊόντα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, όχι μόνο οι χρήσεις τους, αλλά η κατασκευή τους και η απόρριψή τους στο τέλος ζωής τους (Labille et al., 2020).





Διάγραμμα 3: Άμεση, έμμεση και συνολική εκτιμωμένη αντηλιακή μόλυνση του καρστικού υδροφορέα στη Quintanaroo, στο Μεξικό ( Casa-Belram et al., 2020)

### 3.1 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΤΗΛΙΑΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

Η απελευθέρωση αντηλιακών φίλτρων στο περιβάλλον εξαρτάται από τις ιδιότητες των συστατικών του αντηλιακού, τα χαρακτηριστικά του μέσου υποδοχής και μια σειρά φυσικοχημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Όλες αυτές οι διεργασίες μπορούν να προκαλέσουν τα συστατικά να παραμείνουν αμετάβλητα, να αλλάξουν την εξειδίκευσή τους ή ακόμη και να μετατραπούν σε άλλες ενώσεις. Μόλις βρεθούν στο περιβάλλον, τα αρχικά ή μετασχηματισμένα συστατικά μπορούν

να αλληλοεπιδράσουν άμεσα ή έμμεσα με το περιβάλλον και τη θαλάσσια ζωή, προκαλώντας μια σειρά από δυσμενείς επιπτώσεις (Ruiz-Gutiérrez et al., 2022).

Η φωτοσταθερότητα των οργανικών φίλτρων μειώνεται όταν αυτά έρθουν σε επαφή με το νερό, μέσω της άμεσης ή της έμμεσης φωτόλυσης με αποτέλεσμα πιθανόν να σχηματίζονται επιβλαβή υποπροϊόντα. Η άμεση φωτόλυση πραγματοποιείται μέσω των αντιδράσεων με την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ η έμμεση επηρεάζεται από τα δραστικά είδη οξυγόνου και τις ανόργανες ενώσεις. Σε χλωριωμένα νερά, η φωτόλυση είναι επικίνδυνη γιατί τα υποπροϊόντα που σχηματίζονται είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο (Sánchez-Quiles & Tovar-Sánchez, 2015).

Όσον αφορά τα ανόργανα αντηλιακά φίλτρα και συγκεκριμένα το διοξείδιο του τιτανίου μπορεί μέσω της φωτόλυσης να δημιουργήσει επίσης δραστικά είδη οξυγόνου, τα οποία θα μπορούσαν να βλάψουν την περιβαλλοντική χλωρίδα (Slomberg et al., 2021).

Ενώ τα νανοσωματίδια, όταν αντιδρούν με άλλες ενώσεις (όπως βαρέα μέταλλα ή οργανική ύλη), έχουν τη τάση να συσσωρεύονται και να σχηματίζουν συσσωματώματα, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά για τους οργανισμούς στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η συμπεριφορά τους, δηλαδή η περαιτέρω συσσωμάτωση επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το PH, τη θερμοκρασία, τη περιεκτικότητα σε οξυγόνο, την ιοντική ισχύ και τη συγκέντρωση οργανικής ύλης (Abdel-Latif et al., 2020).

### **3.2 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Τα τελευταία χρόνια, μετά τη μεγάλη αύξηση πληθυσμού των τουριστών σε όλο τον κόσμο, η επιστημονική κοινότητα εντατικοποιεί τους ελέγχους και τις μελέτες που αφορούν στην ύπαρξη οργανικών και ανόργανων αντηλιακών φίλτρων στο υδάτινο περιβάλλον. Εντοπίζονται με δειγματοληψίες νερού από διάφορα μέρη, ενώ η συγκέντρωσή τους ποικίλλει και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η περιοχή (κοντά ή μακριά από την ακτογραμμή), η ημερομηνία (εποχή του

χρόνου), η ώρα που γίνεται η δειγματοληψία (μέρα ή νύχτα) και η επισκεψιμότητά της. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις φίλτρων που ανιχνεύονται στα θαλάσσια ύδατα αφορούν παραλίες που βρίσκονται στη Χαβάη, στο νησί Οκινάουα, στους Παρθένους Νήσους, στη Μαγιόρκα, στη Μεσόγειο και τη νότια Βαλτική θάλασσα (Chatzigianni et al., 2022).

Τουλάχιστον οχτώ φίλτρα έχουν βρεθεί σε επιφανειακό θαλασσινό νερό, σε ίζημα και σε κοραλλιογενή ιστό από 19 τοποθεσίες στη Χαβάη, με υψηλότερη την οξυβενζόνη. Τα δείγματα από τις παραλίες έδειξαν αυξημένες τιμές οξυβενζόνης, ακόμη και πολύ νωρίς το πρωί, πριν προλάβουν οι κολυμβητές να κατακλύσουν τις παραλίες (Sánchez et al., 2015; Mitchelmore et al., 2019).

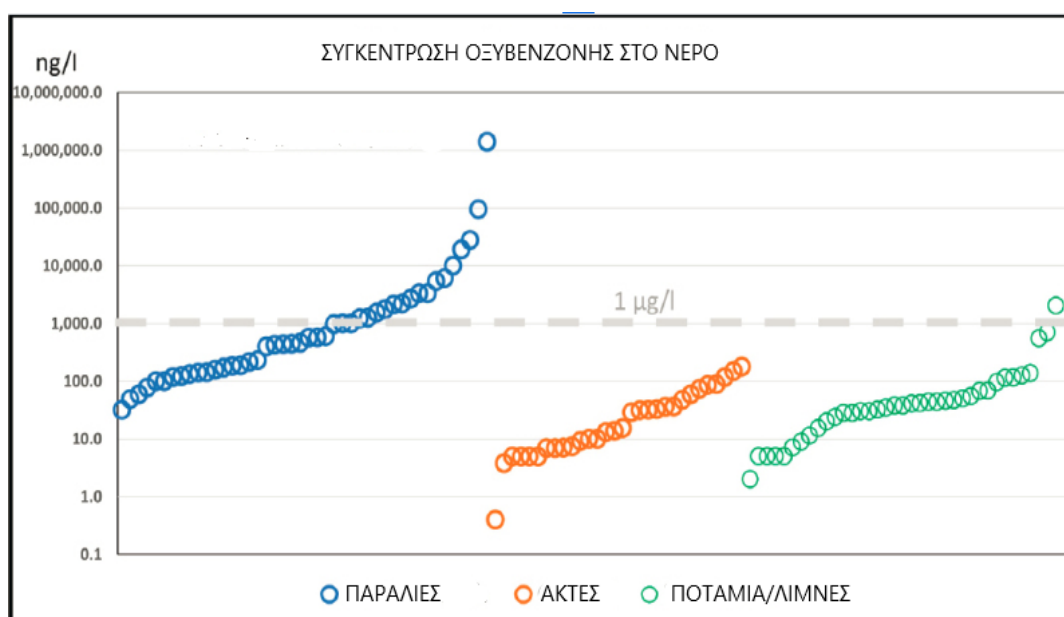
Η οξυβενζόνη αποτελεί ένα από τα πιο συχνά εμφανιζόμενα οργανικά αντηλιακά φίλτρα στα θαλάσσια ύδατα με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Υπάρχουν περισσότερες μελέτες και μετρήσεις καθώς πρόκειται για ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα φίλτρα στις ΗΠΑ (εκτός από τα αντηλιακά, βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα είδη προσωπικής περιποίησης). Είναι ιδιαίτερα διαλυτή ουσία στο νερό και βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στις παραλίες παρά σε παράκτιες περιοχές, λίμνες ή ποτάμια (διάγραμμα 4) (Downs et al., 2022).

Μια μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Archives of Environmental Contamination and Toxicology διαπίστωσε ότι η οξυβενζόνη ήταν παρούσα σε πάνω από το 75% των δειγμάτων νερού που ελήφθησαν από τη Χαβάη και την Καραϊβική. Ομοίως, μια μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Environmental Pollution διαπίστωσε ότι η οξυβενζόνη ήταν παρούσα σε υψηλές συγκεντρώσεις στα νερά που περιβάλλουν δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς, όπως το Κανκούν, το Μεξικό και τα νησιά Φίτζι. Εκτιμάται ότι από το 2017 και κάθε χρόνο 8000-16000 τόνοι αντηλιακού με οξυβενζόνη εισέρχονται σε κοραλλιογενείς υφάλους (Shinn, H., 2022).

Υψηλές συγκεντρώσεις οξυβενζόνης βρέθηκαν σε επιφανειακά δείγματα νερού στη Βόρειο Αμερικάνικη Αρκτική περιοχή, γεγονός που υποδηλώνει τη μετακίνηση των τοξικών χημικών ουσιών (Tsui et al., 2014).

Εντοπίζεται όχι μόνο στο υδάτινο περιβάλλον αλλά και σε δείγματα ιζημάτων και χώματος, η παρουσία της οποίας είναι επικίνδυνη για τους βενθικούς οργανισμούς (Slomberg et al., 2020).

Στα παράκτια μεσογειακά οικοσυστήματα αναφέρονται υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών φίλτρων, ιδιαίτερα βενζοφαινόνης και μεθυλοβενζολικής καμφοράς καθώς και ποσότητες ανόργανων διοξειδίου του τιτανίου και οξειδίου του ψευδαργύρου τα οποία αποτελούν απειλή για όλα τα ζώα του υδάτινου περιβάλλοντος (Agawin et al., 2022).



Διάγραμμα 4: Συγκέντρωση οξυβενζόνης στο Trunkbay (Virginislands) (Downs et al., 2016)

Η οξυβενζόνη μεταβολίζεται στο νερό σε βενζοφαινόνη 1, ουσία ακόμη πιο τοξική από την αρχική. Στα θαλάσσια δείγματα η μέγιστη συγκέντρωση της έχει φτάσει τα 577.5 mg/L (Teoh et al., 2020).

Εντοπίστηκε επίσης στη Νοτιοδυτική Ισπανία, στο Εθνικό πάρκο Donana, σε μη εκκολαφθέντα αυγά, επτά διαφορετικών ειδών άγριων πτηνών. Οι ενώσεις μεταφέρθηκαν από τη μητέρα στα αυγά (Molins-Delgado et al., 2017).

Η οκτινοξάτη, το οκτοκρυλένιο και η οξυβενζόνη βρέθηκαν σε ψάρια (*Andalusianbarbel*) ποταμών στην Ισπανία σε ποσότητες 200, 30 και 24 ng/g (νανογραμμάρια ανά γραμμάριο ιστού) αντίστοιχα. Εξαιτίας της λιποφιλικότητάς τους, τείνουν να συσσωρεύονται σε ζωντανούς οργανισμούς. Εντοπίζονται και σε δείγματα ιζημάτων και χώματος, η παρουσία των οποίων είναι επικίνδυνη για τους βενθικούς οργανισμούς (Slomberg et al., 2020; Gago-Ferrero et al., 2015).

Το οκτοκρυλένιο εντοπίζεται συχνότερα, εξαιτίας της λιποφιλικότητάς του, σε ιζήματα γλυκού νερού, εκβολών ποταμών και θαλάσσιων υδάτων, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις κοντά σε βιομηχανικές περιοχές (Muz et al., 2020).

Μετρήθηκε επίσης, στον ηπατικό ιστό δελφινιών στη Βραζιλία, σε ποσότητα ως και 782 ng/g. Ανιχνεύθηκε σε μητέρες και έμβρυα, με υψηλότερη επιβάρυνση ακόμη και είκοσι φορές περισσότερο στα έμβρυα. Η μόλυνση μεταφέρθηκε μέσω του πλακούντα (Alonso et al., 2015).

Σε δέκα τοποθεσίες κατά μήκος του Ατλαντικού και της Μεσογείου στη Γαλλία, ελήφθησαν δείγματα θαλάσσιων μυδιών. Σε αυτά εντοπίστηκαν μετρήσιμες συγκεντρώσεις οκτινοξάτης και οκτοκρυλένιου. Οι συγκεντρώσεις αυτές παρουσίασαν αύξηση τη καλοκαιρινή περίοδο (Bachelot et al., 2012).

Ενώ βενζοτρίαζόλες εντοπίστηκαν στις ακτές της Ιαπωνίας, σε ψάρια, μύδια, πουλιά και σφυροκέφαλους καρχαρίες σε συγκεντρώσεις 7,9 ως 720 ng/g (Nakata et al., 2009).

Ποσότητες οκτοκρυλενίου και οξυβενζόνης της τάξης του 8,1 και 9 ng/L, μετρήθηκαν σε κοραλλιογενείς υφάλους στην Ιαπωνία, 500 μέτρα μακριά από την παραλία όπου βρίσκονταν κολυμβητές, υποδεικνύοντας τη μεταφορά των χημικών ουσιών (Abou-Dahech et al., 2022).

Σε σύγκριση με τα οργανικά φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας για τα οποία υπάρχουν παρατηρήσεις σχετικά με τις συγκεντρώσεις στα επιφανειακά ύδατα, τα δεδομένα είναι περιορισμένα για την επίδραση των ανόργανων φίλτρων UV τιτανίου και ψευδαργύρου στο περιβάλλον.

Όμως εξαιτίας της συνεχόμενης αύξησης της παραγωγής και χρήσης του διοξειδίου του τιτανίου, παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσής του, στα 21 ng/L στα επιφανειακά ύδατα και στα 4 µg/L τις εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων , μετά την επεξεργασία. Τα νανοσωματίδια του οξειδίου του τιτανίου έχουν τη τάση να καθιζάνουν κι έτσι συσσωρεύονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ιζήματα, απ' ότι στο υπερκείμενο νερό. Αλληλοεπιδρούν με άλλους ρυπαντές, όπως βαρέα μέταλλα, χαλκό, ψευδάργυρο, κάδμιο, σχηματίζοντας επικίνδυνα περιβαλλοντικά μίγματα (Abdel-Latif et al., 2020).

Στις ΗΠΑ εκατοντάδες τόνοι διοξειδίου του τιτανίου και οξειδίου του ψευδαργύρου, απορρίπτονται στο περιβάλλον κάθε χρόνο. Έχουν ανιχνευθεί στη θάλασσα, στα ιζήματα και στους οργανισμούς σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις. Στις περιοχές των υφάλων υπολογίζεται ότι έχουν απελευθερωθεί από τα αντηλιακά 36-56 τόνοι διοξειδίου του τιτανίου, ενώ στα νερά της λίμνης του Παλιού Δούναβη στην Αυστρία, εντοπίστηκαν 94,5 κιλά (Yuan et al., 2022).

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη παραλία La Lave της Μασσαλίας, μετρήθηκαν τα διοξείδιο του τιτανίου και οξείδιο του ψευδαργύρου, σε διαφορετικές αποστάσεις από την ακτογραμμή. Εντοπίστηκαν ποσότητες 20-50 mg/L και 1-3 mg/L. Η πολλαπλάσια συγκέντρωση του διοξειδίου του τιτανίου σε σχέση με το οξείδιο του ψευδαργύρου, πιθανόν οφείλεται στην πιο συχνή χρήση του ως φίλτρο υπεριώδους ακτινοβολίας στα αντηλιακά προϊόντα (Labille et al., 2020).

Τα νανοσωματίδια του ψευδαργύρου φαίνονται να είναι ελαφρώς πιο τοξικά από αυτά του διοξειδίου του τιτανίου στις υψηλότερες συγκεντρώσεις (Hanigan et al., 2018).

Άλλες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στα αντηλιακά, ως συντηρητικά από τα μέσα της δεκαετίας του 1920 είναι τα parabens. Πρόκειται για αναδεδυμένους ρύπους, οι οποίοι αν και είναι βιοδιασπώμενοι, εντοπίζονται στα επιφανειακά νερά και τα ιζήματα, λόγω της υψηλής συμμετοχής τους σε πληθώρα προϊόντων. Τα πρώτα αποτελέσματα που ανέδειξαν την παρουσία τους στο νερό παρουσιάστηκαν το 1996. Ως ενώσεις περιέχουν φαινολικές υδροξυλομάδες,

μπορούν να αντιδράσουν με το ελεύθερο χλώριο, δίνοντας αλογονωμένα προϊόντα (Haman et al., 2015).

Άλλες ουσίες που εντοπίζονται στη θάλασσα και προέχονται από τα αντηλιακά είναι μέταλλα και ανόργανες θρεπτικές ουσίες όπως αλουμίνιο, τιτάνιο, φώσφορος και πυρίτιο. Εκτιμήθηκε ότι σε μια καλοκαιρινή μέρα αυξάνεται η συγκέντρωση του αλουμινίου στη θάλασσα κατά 4% ενώ του τιτανίου κατά 20% (Yuan et al., 2022).

Η βενζοφαινόνη και το διοξείδιο του τιτανίου κατατάσσονται στην κατηγορία 2B κατά IARC, πιθανόν καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο (WHO, 2019).

### **3.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΟΡΑΛΛΙΑ**

Παρά την ευρεία περιβαλλοντική εμφάνιση των φίλτρων UV και των μεταβολίτων τους, λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί που έχουν εξετάσει τις δυσμενείς επιδράσεις τους στους διάφορους οργανισμούς με κυρίαρχες αυτές των κοραλλιών (Molins-Delgado et al., 2018).

Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι είναι ένα από τα πιο ποικιλόμορφα βιολογικά οικοσυστήματα σε όλον τον πλανήτη. Βρίσκονται σε θερμά και ρηχά νερά, συνήθως σε τροπικές περιοχές. Είναι πολύ σημαντικοί για την προστασία των ακτών από τη διάβρωση και για τη παροχή πηγής τροφής για εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο το κόσμο μέσω της αλιείας και του τουρισμού (Moeller et al., 2021).

Ονομάζονται αλλιώς τροπικά δάση της θάλασσας, όχι τόσο για την ποικιλομορφία τους αλλά για τα εκατομμύρια των ειδών που ζουν σε αυτούς. Καλύπτουν το 0,1% του πυθμένα των ωκεανών και αποτελούν το σπίτι μιας τεράστιας ποικιλίας θαλάσσιων ειδών, συμπεριλαμβανομένων ψαριών, θαλάσσιων χελωνιών και πολλών άλλων πλασμάτων. Υπάρχουν 835 είδη κοραλλιών ανά τον κόσμο ενώ η βιοποικιλότητά τους ανέρχεται στα 1-9 εκατομμύρια. Σε διάστημα 15 ετών, υπολογίζεται ότι, εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, υπάρχει μείωση

της τάξης του 30 με 60%, των ειδών των κοραλλιών, η οποία συνοδεύεται με απώλειες περίπου 25% της βιοποικιλότητάς τους (Knowlton et al., 2001).

Η ανάπτυξη ενός κοραλλιογενούς υφάλου είναι μια πολύπλοκη και ιδιαίτερη διαδικασία που απαιτεί πολύ χρόνο. Ο ρυθμός ανάπτυξής τους κυμαίνεται από 0,3-2 εκατοστά το χρόνο. Οι κύριοι κατασκευαστές τους είναι τα σκληρά κοράλλια. Αποτελούνται από βραχώδεις σκελετούς κοραλλιών οι οποίοι δημιουργούνται από πολύποδες κοραλλιών. Οι σκελετοί των νεκρών πολύποδων χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία για τους νέους (Moeller et al., 2021).

Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό τους είναι η στενή διατροφική σχέση και ύπαρξη μεταξύ των κοραλλιών και των μονοκύτταρων φωτοσυνθετικών φυκιών που κατοικούν σε αυτά και ονομάζονται *zooxanthellae*. Τα κοράλλια προσφέρουν κατοικία και προϊόντα απέκκρισης ενώ οι φιλοξενούμενοί τους φωτοσυνθετικά προϊόντα (σάκχαρα που παράγονται κατά τη φωτοσύνθεση). Όλα τα κοράλλια που δημιουργούν υφάλους εξαρτώνται από τις *zooxanthellae* τους, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τα υψηλά ποσοστά ασβεστοποίησης. Αυτή η σχέση ισορροπίας μεταξύ τους είναι ευαίσθητη και μπορεί να διαταραχθεί ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως αύξηση της θερμοκρασίας και διακύμανση των επιπέδων αλατότητας και pH (Knowlton et al., 2001; Chatzigianni et al., 2022).

Ο πιο σημαντικός παράγοντας παγκοσμίως που συμβάλλει στην απειλή αυτών των οικοσυστημάτων είναι η κλιματική αλλαγή. Ενώ σε τοπικό επίπεδο, οι άμεσες ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι αυτές που συνεισφέρουν στην απώλεια των κοραλλιών, όπως η διάβρωση των ακτών από την αποψίλωση των δασών, η υπεραλίευση και οι καταστροφικές μέθοδοι αλιείας, η υδατοκαλλιέργεια, οι χημικές βιομηχανίες και τα κακώς επεξεργασμένα λύματα και τα τελευταία χρόνια, τα φίλτρα UV (Hughes et al., 2017).

Τις τελευταίες δεκαετίες ο συνδυασμός των παραπάνω στρεσογόνων παραγόντων με τις υψηλές θερμοκρασίες που καταγράφονται, προκαλεί την αποβολή των συμβιωτικών φυκιών, κατ' επέκταση τη μείωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών με αποτέλεσμα τη λεύκανση των κοραλλιών. Το σοβαρό και συχνό θερμικό στρες μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη βλάβη. Τα λευκασμένα

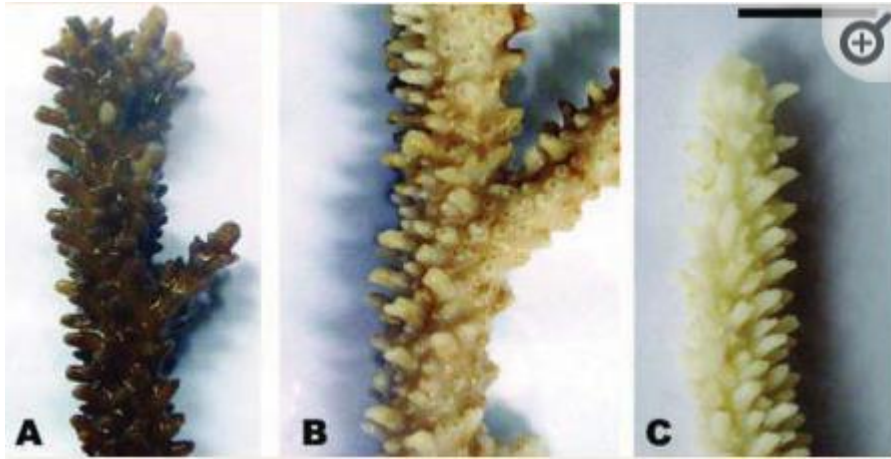


κοράλλια μπορούν να επιβιώσουν χωρίς τις *zooxanthellae* για εβδομάδες ή μερικές φορές μήνες, αλλά η ανάπτυξη και η αναπαραγωγική τους διαδικασία μειώνονται και τελικά πεθαίνουν. Οι μελέτες δείχνουν ότι όλα τα κοράλλια στον κόσμο πιθανόν να απειληθούν ως το 2050 (He, 2023).

Το 10% των παγκόσμιων τουριστών, το 2004, υπολογίστηκε ότι επισκέφτηκε τους κοραλλιογενείς υφάλους. Χρησιμοποίησαν από 16.000-25.000 τόνους αντηλιακών και απελευθέρωσαν στη θάλασσα 4000-6000 τόνους τέτοιων προϊόντων. Εργαστηριακά πειράματα έχουν δείξει ότι οι παραπάνω χημικές ουσίες σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες και την αυξημένη ποσότητα, προκαλούν οξειδωτικό στρες. Το 10% των παγκόσμιων υφάλων απειλείται από τη λεύκανση των κοραλλιών που προκαλείται από τα αντηλιακά (Danovaro et al., 2008; He, 2023).

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη αντηλιακού, ακόμη και σε μικρή ποσότητα (10 μl/L), προκάλεσε την απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας κοραλλιογενούς βλεννογόνου, το οποίο αποτελείτο από *zooxanthellae* και κοραλλιογενή ιστό και τη λεύκανση σκληρών κοραλλιών μέσα σε 24 ώρες (εικόνα 7). Σε αυτό βοήθησαν επιπλέον και οι διαφορετικές θερμοκρασίες. Μεταξύ των συστατικών που δοκιμάστηκαν, το butylparaben (βουτυλοπαραμπεν), το αιθυλεξυλομεθοξικιναμικό άλας, η βενζοφαινόνη-3 και η 4-μεθυλοβενζυλιδενική καμφορά, προκάλεσαν πλήρη λεύκανση ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (Danovaro et al., 2008).

Μελέτες έχουν τεκμηριώσει ότι τα παράγωγα της βενζοφαινόνης προκαλούν θνησιμότητα των κυττάρων των κοραλλιών σε πολύ χαμηλά περιβαλλοντικά επίπεδα (62 ng/L). Εκτός από τη λεύκανση και τη θνησιμότητα, προκαλούν επίσης βλάβες στο DNA και ενδοκρινικές διαταραχές, καθώς και παραμορφώσεις (Molins-Delgado et al., 2018; Chatzigianni et al., 2022).



Εικόνα 7: Επίδραση αντηλιακών μετά από 24 ώρες A: Υγιές κοράλλι *Acropora radicularis* B: σε θερμοκρασία 28o C και C: σε θερμοκρασία 30oC (Danovaro et al., 2008).

Οι κοραλλιογενή υφάλοι έχουν υψηλή ευαισθησία ως προς την οξυβενζόνη. Η αυξημένη ποσότητα της σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν προκάλεσε βλάβες στο DNA, διαταράσσοντας το ορμονικό τους σύστημα με αποτέλεσμα να καταστρέφουν τις προνύμφες των κοραλλιών και να προκαλούν αυξημένο ρυθμό λεύκανσης κοραλλιών. Τους προκαλούν ιογενείς λοιμώξεις. Η οξυβενζόνη αποτελεί φωτοτοξικό, γονοτοξικό παράγοντα καθώς και σκελετικό ενδοκρινικό διαταρακτική των κοραλλιών με αποτέλεσμα να προκαλεί λεύκανση και θάνατο σε συγκεντρώσεις 33 και 50 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) (Teoh et al., 2020; Scheele, 2023).

Η οκτινοξάτη όπως και η οξυβενζόνη μειώνουν την ικανότητα των κοραλλιών να προσαρμόζονται στις κλιματικές μεταβολές και βλάπτουν την πρόσθετη πρόσληψη νέων κοραλλιών (Slomberg et al., 2020).

Εκτός από τα οργανικά φίλτρα, και τα ανόργανα προκαλούν προβλήματα στους κοραλλιογενούς υφάλους. Στο εργαστήριο, τα κοράλλια της Καραϊβικής (*Montastraea faveolata*) εκτέθηκαν σε νανοσωματίδια  $TiO_2$  σε συγκεντρώσεις 0,1 και 10 mg/L για 17 ημέρες. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, το κοράλλι απώθησε τα φύκια του με αποκορύφωμα τη λεύκανση. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, φάνηκε να προσαρμόζεται στο στρες και να ανακάμπτει. Σε εργαστηριακές συνθήκες, τα νανοσωματίδια  $ZnO$  προκάλεσαν σοβαρή και ταχεία λεύκανση των

κοραλλιών. Το TiO<sub>2</sub> μπορεί να είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον, αν και πρέπει να γίνουν περισσότερες μελέτες προτού εξαχθούν σαφή συμπεράσματα (Schneider & Lim, 2019).

### 3.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΥΚΗ ΚΑΙ ΤΑ ΥΔΡΟΒΙΑ ΦΥΤΑ

Τα φύκη είναι μια μεγάλη κατηγορία αυτότροφων, μονοκυτταρικών ή πολυκυτταρικών οργανισμών σε ποικίλα σχήματα και μεγέθη. Ζουν στον πλανήτη μας εδώ και 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Μέσω της φωτοσύνθεσης παράγουν πολύ σημαντικές ενώσεις καθώς και τη δική τους τροφή. Ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τα μακροφύκη (macroalgae), των οποίων το μέγεθος είναι από μερικά εκατοστά ως και πολλά μέτρα και τα μικροφύκη ή φυτοπλαγκτόν (microalgae), τα οποία έχουν μήκος από 0,2 μm ως και 200 μm (Barsanti and Gualtieri, 2006).

Τα φύκη απαντώνται σε όλα τα οικοσυστήματα, υδρόβια και χερσαία. Στη θάλασσα υπάρχουν τα μακροφύκη που βρίσκονται στην παραλιακή ζώνη, το φυτοπλαγκτόν, στα επιφανειακά ύδατα, καθώς και τα βενθικά μικροφύκη. Αποτελούν τροφή για πάρα πολλά είδη στα θαλάσσια περιβάλλοντα, συμβάλλουν στη διατήρηση του υδάτινου οικοσυστήματος, παράγουν πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, αντιοξειδωτικά, χρωστικές ουσίες και λιπαρά οξέα ενώ μέσω της φωτοσύνθεσης, με τη βοήθεια του ήλιου, εφοδιάζουν την ατμόσφαιρα τουλάχιστον με το 50% του συνόλου της παραγωγής του οξυγόνου (Reynolds, 2006; Ghazaei & Shariati, 2020).

Οι κύριες ομάδες φυκών ταξινομούνται κυρίως με βάση τον χρωματισμό τους, καθώς επίσης τη χημική φύση του φωτοσυνθετικού προϊόντος, τα χαρακτηριστικά των χλωροπλαστών, της χημείας και της δομής του κυτταρικού τοιχώματος ή και άλλων ειδικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν. Τέτοια είναι τα Κυανοβακτήρια (*Cyanobacteria*), τα Χλωρόφυτα (*Chlorophyta*), τα Ροδόφυτα (*Rhodophyta*), τα Γλαυκόφυτα (*Glaucophyta*), τα Κρυπτόφυτα (*Cryptophyta*), τα Χαρόφυτα (*Charophyta*), τα Απτόφυτα (*Haptophyta*), τα Ωχροφύτα (*Ochrophyta*), τα Κερκόζωα (*Cercozoa*), τα Μισόζωα (*Myzozoa*) και τα Ευγληνόφυτα (*Euglenozoa*), (Barsanti & Gualtieri, 2006).

Τα μικροφύκη που υπάρχουν στη θάλασσα καθώς και τα μακροφύκη είναι βασικά συστατικά της κοινότητας του μικροβιόκοσμου. Αποτελούν τη βάση των υδάτινων τροφικών δικτύων και οποιαδήποτε αλλαγή στον φυσικό πληθυσμό τους μπορεί να επηρεάσει τη δομή του υδάτινου βιόκοσμου. Στο υδάτινο περιβάλλον εντοπίζονται 1800 διαφορετικά καφέ μακροφύκη, 6200 κόκκινα και 1800 πράσινα μακροφύκη (Labille et al., 2020; Pereira, 2021).

Η διαφορετική ευαισθησία των μικροφυκών στα αντηλιακά μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στη δυναμική των πληθυσμών του φυτοπλαγκτού και να προκαλέσει ανεπιθύμητες οικολογικές επιπτώσεις (Sendra et al., 2017).

Η οξυβενζόνη, έχει επιβεβαιωθεί ότι δημιουργεί δυσμενείς και χρόνιες επιπτώσεις στα φύκια. Μετά από έκθεση είκοσι ημερών σε συγκέντρωση 22,8 ng/L οξυβενζόνης, ανεστάλη σημαντικά η ανάπτυξη και η σύνθεση χλωροφύλλης. Προκάλεσε τοξικότητα, επηρέασε την παραγωγή χρωστικών ουσιών και άλλαξε τη δομή των κυττάρων (Teoh et al., 2020; Scheele et al., 2023).

Λίγες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην τοξικότητα των ανόργανων UV φίλτρων στα θαλάσσια φύκια. Τα πιο κοινά όπως έχει αναφερθεί είναι το οξείδιο του ψευδαργύρου και το διοξείδιο του τιτανίου. Και τα δύο έχουν παρόμοια συμπεριφορά στο υδάτινο περιβάλλον και δημιουργούν επίσης προβλήματα. Το  $n\text{TiO}_2$  μπορεί να προσκολληθεί σε υδρόβιους οργανισμούς όπως τα μικροφύκη *Pseudokirchneriella subcapitata* και η προσκόλληση αυτή να μεταβάλει τη σταθερότητα της διασποράς των νανοσωματιδίων του, να προσληφθούν από άλλους οργανισμούς οδηγώντας σε πιθανή βιοσυσσώρευση στους ιστούς. Αντίστοιχα μπορεί να λειτουργήσει και το οξείδιο του ψευδαργύρου (Abdel-Latif et al., 2020; Yuan et al., 2022).

Λόγω των φωτοχημικών ιδιοτήτων του, το  $n\text{TiO}_2$  παράγει υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{H}_2\text{O}_2$  (υπεροξειδίου του υδρογόνου), με αποτέλεσμα να προκαλεί τοξικές επιδράσεις όπως βλάβη στις κυτταρικές μεμβράνες ή στα κυτταρικά τοιχώματα, αναστολή στην παραγωγή φωτοσυνθετικών χρωστικών, όπως η χλωροφύλλη, και ως εκ τούτου να επηρεάζει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης

καθώς και τη μείωση της αναλογίας υγιών κυττάρων σε πληθυσμούς μικροφυκών (Yuan et al., 2022; Chatzigianni et al., 2022).

Υπάρχουν λίγες μελέτες που αφορούν τη τοξικότητα των αντηλιακών φίλτρων στα υδρόβια φυτά. Αυτές έχουν δείξει ότι τα οργανικά φίλτρα, όπως το οκτοκρυλένιο και η σουλισοβενζόνη όταν προσληφθούν, μετασχηματίζουν τα ριζικά τους συστήματα. Προκαλούν αναστολή της ανάπτυξης τους, οξειδωτικό στρες και δυσλειτουργία στη φωτοσύνθεση (Zhong et al., 2020).

Ομοίως τα νανοσωματίδια των ανόργανων φίλτρων φαίνονται να εισέρχονται από τις ρίζες στα υδρόβια φυτά, και ειδικά αυτά του οξειδίου του ψευδαργύρου, προκαλούν μειωμένη ανάπτυξη, οξειδωτική βλάβη και γονοτοξικότητα (Janani et al., 2021).

### **3.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΨΑΡΙΑ, ΤΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΧΕΛΩΝΕΣ**

Όπως όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί τα ψάρια παρουσιάζουν απέραντη ποικιλία μορφολογικών, ανατομικών, βιολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών. Πρόκειται για τα μόνα ζώα που ζουν στο θαλάσσιο περιβάλλον και έχουν σπονδυλική στήλη. Η παρουσία των χημικών ουσιών στα ψάρια είναι πολύ ανησυχητική, καθώς εμφανίζουν ορμονική δράση (Molins-Delgado et al., 2018).

Οι οργανικές ενώσεις παρουσιάζουν ορμονικές αλλαγές στα ψάρια, με αποτέλεσμα την αλλαγή φύλου, κατά την οποία τα αρσενικά ψάρια αποκτούν θηλυκά χαρακτηριστικά και τα θηλυκά παρουσιάζουν μειωμένη παραγωγή αυγών και εκκόλαψη εμβρύων. Συγκεκριμένα οιστρογονικές και αντιανδρογονικές δραστηριότητες έχουν αναφερθεί για τα παράγωγα του κινναμωνικού οξέος, των βενζοφαινών και του 4-μεθυλοβενζυλιδενικού (4MBC) σε *in vitro* και *in vivo* μελέτες. Οι μεταβολίτες μπορεί να είναι ακόμη πιο τοξικοί από τις μητρικές ενώσεις (Molins-Delgado et al., 2018).

Στο *Mugil liza*, σε ένα είδος κέφαλου που βρίσκεται στη Βραζιλία, εντοπίστηκαν αντηλιακά φίλτρα (OC, 4MBC και EHMC), περισσότερο στο ήπαρ και

λιγότερο στους μυς και τα βράγχια. Οι μέσες συγκεντρώσεις ήταν 11 φορές ψηλότερες στο συκώτι των ψαριών από αυτές που μετρήθηκαν στους μύες και 5 φορές στα βράγχια. Τα βράγχια αποτελούν μία από τις κύριες εισόδου ενώσεων ενώ το συκώτι δρα ως αποτοξινωτικό όργανο. Από αυτό το σημείο εισόδου, οι ρύποι μπορούν να φτάσουν στους ιστούς και να υποστούν μεταβολικές διεργασίες. Αυτό εξηγεί τα χαμηλότερα επίπεδα των μεταβολιτών που βρέθηκαν τόσο στους μύες όσο και στα βράγχια. Τα φίλτρα τείνουν να συσσωρεύονται κατά προτίμηση στους μυς, που είναι το κύριο εδώδιμο μέρος των ψαριών. Εκτός από τους μυς, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το συκώτι του *Mugil liza* καταναλώνεται συχνά στη Βραζιλία (Molins-Delgado et al., 2018).

Η οξυβενζόνη, από τα πιο κοινά αντηλιακά φίλτρα, αποτελεί ενδοκρινικό παράγοντα διαταραχής και προκαλεί μείωση της παραγωγής των αυγών στα ψάρια. Σε εργαστηριακές μελέτες στο *Danio rerio* (ψάρι ζέβρα), προκάλεσε διαταραχές στη συμπεριφορά και αύξησε τη θνησιμότητα. Το *Amphiprionocellaris* (ψάρι κλόουν) που εκτέθηκε σε 100 mg/L OBZ σε αντηλιακό (SPF 30) είχε 25% θνησιμότητα μετά από 97 ώρες δοκιμής. Το 100% των ψαριών απέτυχε να τραφεί κατά τις πρώτες 49 ώρες του πειράματος και όλα τα ψάρια επέδειξαν μη φυσιολογική συμπεριφορά κολύμβησης κατά τη διάρκεια της δοκιμής και καρδιοαναπνευστικό στρες (Scheele et al., 2023; Teoh et al., 2020).

Συγκεντρώσεις BP3, EHMC και OC εντοπίστηκαν σε ψάρια ποταμών στην Ισπανία (*Luciobarbus sclateri* και *Cyprinus carpio*), ενώ στο Τέξας των ΗΠΑ βρέθηκαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βενζοφαινόνης στα ψάρια (*Lepomis macrochirus*) (Molins-Delgado et al., 2018).

Κατά την ανάλυση του θαλάσσιου μπακαλιάρου στη Νορβηγία, διαπίστωσαν ότι υπήρχε τουλάχιστον 1 φίλτρο UV σε όλα τα δείγματα ψαριού. Επιπλέον, το οκτοκρυσταλλικό ήταν παρών στο 80% των συκωτιών μπακαλιάρου με μέγιστη τα 12 µg/g (Avenel-Audran et al., 2010).

Δείγματα που συλλέχθηκαν 3 και 7 ημέρες μετά την έγχυση ταυτόχρονα δύο UV φίλτρων στο καλκάνι (*Scophthalmus maximus*), οξυβενζόνης και διοξειδίου του τιτανίου έδειξαν ότι δεν προκάλεσαν σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά ή στη

λειτουργία των νεφρών και του εγκεφάλου, αλλά παρατηρήθηκε ότι η παρουσία και των δύο αυτών χημικών ουσιών ανέστειλε τον αερόβιο ηπατικό μεταβολισμό. Η συνδυασμένη έκθεση στα φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας δεν παρουσίασε αύξηση της τοξικότητας σε σύγκριση με τις μεμονωμένες εκθέσεις (Carvalho et al., 2021).

Υπάρχουν μελέτες που έχουν αξιολογήσει τον κίνδυνο για τα υδρόβια ζώα από τα νανοσωματίδια. *In vitro*, τα έμβρυα *Zebrafish* λούστηκαν σε διαλύματα νανοσωματιδίων ZnO και TiO<sub>2</sub> (εξαγόμενα από αντηλιακά) σε >1 mg/L, που είναι πολύ υψηλότερο από τις τρέχουσες περιβαλλοντικές εκτιμήσεις. Αυτά τα *Zebrafish* έδειξαν ανώμαλη εμβρυογένεση και ακόμη και θνησιμότητα, η οποία πιστεύεται ότι οφείλεται σε αυξημένες συγκεντρώσεις Zn<sup>2+</sup> αλλά όχι ειδικά στα νανοσωματίδια. Μια άλλη μελέτη *in vitro* διαπίστωσε ότι τα νανοσωματίδια ZnO ήταν πιο τοξικά για το *zebrafish* από το Zn<sup>2+</sup> μόνο. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός Zn<sup>2+</sup> σε συνδυασμό με νανοσωματίδια ZnO είναι ο πιο τοξικός για αυτά τα ζώα ενώ είναι ακόμη περισσότερο τοξικά από τα νανοσωματίδια του τιτανίου. Επιπλέον υπήρχαν ενδείξεις οξειδωτικού και κυτταρικού στρες στα βράγχιά τους (Schneider & Lim, 2019; Labille et al., 2020; Hanigan et al., 2018).

Κατά την έκθεση 50 mg/L διοξειδίου του τιτανίου σε νεαρά ψάρια διαπιστώθηκε ότι μειώθηκαν τα λευκά αιμοσφαίρια. Σε μικρή έκθεση δεν επηρεάστηκαν ερυθρά αιμοσφαίρια. Ενώ σε χρόνια έκθεση παρατηρήθηκε μείωση των λευκών, των ερυθρών και των λεμφοκυττάρων, επηρεάζοντας το ανοσοποιητικό τους σύστημα. Στο ήπαρ αλλάζουν οι μεταβολικές διεργασίες και οι χημικές ουσίες συσσωρεύονται στους μύες και τον εγκέφαλο (Abou-Dahech et al., 2022).

Τα κοινά αντηλιακά φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι επικίνδυνα για τα ψάρια. Συμπερασματικά :

- Μειώνουν τη γονιμότητα και την αναπαραγωγή, επηρεάζοντας τις αναπαραγωγικές επιδράσεις της βιτελλογενίνης.
- Αλλάζουν τη λειτουργία του εγκεφάλου και του συκωτιού.

- Προκαλούν μετάλλαξη γονιδίων, καρδιοαναπνευστικό και οξειδωτικό στρες, νευροτοξικότητα.
- Διαταράσσουν το ανοσοποιητικό (Abou-Dahech et al., 2022).

Τα αντηλιακά φίλτρα επηρεάζουν και τα υδρόβια θηλαστικά. Οι κύριες οδοί έκθεσης των δελφινιών είναι μέσω της διατροφής και μέσω της μητρικής μεταφοράς. Τα αντηλιακά φίλτρα περνάνε από τον πλακούντα της μητέρας στα έμβρυα, και βρίσκονται σε αυτά σε υψηλότερα ποσοστά, ενώ το όργανο με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι οι μύες. Η έκθεση ενός εγκύου δελφινιού σε χημικές ουσίες, αποτελεί απειλή για την υγεία του εμβρύου και για τη μετέπειτα ανάπτυξή του, αποκτώντας ευαισθησία στις λοιμώξεις κατά την ενήλικη ζωή του (Alonso et al., 2015).

Στις χελώνες *caretta caretta* και συγκεκριμένα στην κυκλοφορία του αίματος τους, έχουν βρεθεί ίχνη UV φίλτρων, όπως τα ομοσαλατικά, το σαλικυλικό αιθύλιο, η ενσουλιζόλη, η βενζοφαινόνη 3, στο 37% των ζώων που εξετάστηκαν. Ενώ στο συκώτι και τον πλακούντα των δελφινιών *Pontoporia blainvillei*, βρέθηκε οκτοκρυλένιο (Chatzigianni et al., 2022).

### 3.2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΜΑΛΑΚΙΑ

Τα μαλάκια αποτελούν μια μεγάλη ομάδα ασπόνδυλων ζώων, στην οποία ανήκουν πάνω από 100.000 είδη. Διακρίνονται στα γαστερόποδα (σαλιγκάρια, γυμνοσάλιαγκες, πεταλίδες κ.ά.), στα δίθυρα (μύδια, χτένια, στρείδια κ.ά.), στα κεφαλόποδα (καλαμάρια, χταπόδια, σουπιές κ.ά.), στα κυλινδροφόρα, στα πεπλατησμένα, στα ωσειδή, στα μονοπλακοφόρα και στα πολυπλακοφόρα. Ζουν στις θάλασσες, στους ωκεανούς αλλά και στα γλυκά νερά. Είναι ευαίσθητα στις αλλαγές της ποιότητας του νερού και των βιοτόπων όπου ζουν και αναπαράγονται (Wanninger & Wollesen, 2019).

Η οξυβενζόνη προκαλεί προβλήματα σε συγκεντρώσεις 0.50 – 1, 9 mg/L. Ενώ τα υψηλότερα επίπεδα οργανικών ουσιών παρατηρήθηκαν το καλοκαίρι γεγονός



που υποδηλώνει την πιθανή επίδραση της εποχικότητας (Teoh et al., 2020; Scheele et al., 2023).

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις Γαλλικές ακτές της Μεσογείου και του Ατλαντικού, διερευνήθηκαν τα μύδια *Wild Mytilus edulis* και *Mytilus galloprovincialis*, από δέκα τοποθεσίες. Στους ιστούς τους βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες οκτοκυρλενίου και οκτινοζάτης με αυξητική τάση και βιοσυσσώρευση την καλοκαιρινή περίοδο (Bachelot et al., 2012).

Μια άλλη εργαστηριακή μελέτη διαπίστωσε ότι η έκθεση σε 82 ng/g OBZ παρουσία με μικροπλαστικά πολυαιθυλενίου, για 7 ημέρες προκάλεσε οξειδωτικό στρες και στη συνέχεια οξειδωτική βλάβη στον πεπτικό αδένα του μυδιού *Scrobicularia plana*. Αυτό υποδηλώνει ότι η αλληλεπίδραση με άλλους ρυπαντές, όπως τα μικροπλαστικά, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη (Scheele et al., 2023).

Τα δίθυρα μαλάκια είναι σημαντικός βιοδείκτης της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Φιλτράρουν μεγάλες ποσότητες νερού και συλλέγουν μικροφύκη, ιζήματα, βακτήρια καθώς και τους ρύπους που υπάρχουν. Εξαιτίας της διηθητικής τους συμπεριφοράς, έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν τοξικές ουσίες στους ιστούς τους. Τα νανοσωματίδια μέσω της κατάποσης, μεταφέρονται στο πεπτικό σύστημα και επηρεάζουν σημαντικές δραστηριότητες όπως η πρόσληψη τροφής. Είναι σχετικά ανθεκτικά σε ένα ευρύ φάσμα ρύπων και παραγόντων περιβαλλοντικού στρες, γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να συσσωρεύουν υψηλές ποσότητες ρύπων πριν παρουσιάσουν αρνητικές επιπτώσεις. Είναι δυνατόν να καταλήξουν στην αιμόλεφο, η οποία είναι υπεύθυνη για την παραγωγή ενώσεων που προστατεύουν το ζώο και να επηρεάσουν την πρόσληψη της τροφής τους. Επίσης αλληλοεπιδρούν με βαρέα μέταλλα ή άλλες οργανικές ουσίες και να ενισχύεται η συσσώρευση και η τοξικότητα. Στα ζώα αυτά, η έκθεση σε n-TiO<sub>2</sub> οδηγεί σε οξειδωτικό στρες, ανοσοτοξικότητα, νευροτοξικότητα και γονοτοξικότητα, καθώς και σε συμπεριφορικές και φυσιολογικές αλλαγές (Abdel-Latif et al., 2020; Chatzigianni et al., 2022).

Τα μύδια έχουν την τάση να προσκολλούνται σε επιφάνειες, όπως βράχους ή άλλα μύδια, με σκοπό τη σταθερότητα και την ασφάλεια. Αυτό το πετυχαίνουν μα

τα byssus, πρωτεϊνικά νημάτια που εκκρίνονται από το ζώο. Κατά την έκθεση στα νανοσωματίδια των ανόργανων φίλτρων, τα νημάτια είναι δυνατόν να μειωθούν ή να εξαφανιστούν με αποτέλεσμα αυτό να αποβεί μοιραίο για τα μύδια, καθώς κινδυνεύει η επιβίωση και η αναπαραγωγή τους (Chatzigianni et al., 2022).

Μελέτες έδειξαν ότι η έκθεση ανόργανων φίλτρων στο χτένι *Chlamysfarreri*, προκάλεσε οξειδωτικό στρες, αλλαγές στα βράγχια και το πεπτικό σύστημα, στο μύδι *Ruditapesdecussates*, αύξηση των αντιοξειδωτικών ενζύμων ενώ στο μύδι *Mytilusgalloprovincialis* που ζει στη Μεσόγειο θάλασσα, επηρεάστηκαν οι μεταλοθειονίνες, πρωτεΐνες που το προστατεύουν από την τοξικότητα και τα μέταλλα (Chatzigianni et al., 2022).

Τέλος όταν μελετήθηκε το κοινό χταπόδι (*octopusvulgaris*) σε επαφή με το διοξείδιο του τιτανίου, αυξήθηκε στην αιμόλεφο, η λυσοζύμη, ένα ένζυμο που σχετίζεται με λοιμώξεις (Chatzigianni et al., 2022).

### **3.2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΧΙΝΟΔΕΡΜΑ**

Τα εχινόδερμα είναι ασπόνδυλα είδη που ζουν αποκλειστικά στη θάλασσα. Αποτελούνται από 13.000 εξαφανισμένα είδη και 7000 υπάρχοντα, τα οποία διακρίνονται σε εχινοειδή, αστεροειδή, οφιοροειδή, ολοθουροειδή και κρινοειδή με κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι οι αστερίες, οι αχινοί, τα ολοθούρια. Το όνομά τους το πήραν από την εμφάνισή τους καθώς εξαιτίας της ύπαρξης αγκαθιών, εξογκωμάτων ή προεκβολών στο σώμα τους, έχουν αγκαθωτή εμφάνιση. Παρουσιάζουν μεταξύ τους ακτινωτή συμμετρία και έχουν ασβεστολιθικό σκελετό. Τα πόδια τους ξεκινούν από την επιφάνεια του σώματός τους, είναι σωληνοειδή και χρησιμεύουν στην αναπνοή και την κίνηση (Lamare et al., 2011).

Τα αντηλιακά είναι τοξικά για τους αχινοί, των οποίων η εμβρυϊκή ανάπτυξη αναστέλλεται από τη βενζοφαινόνη, ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης. Ενώ οι χειρότερες επιδράσεις προκάλεσαν μη ανεπτυγμένα έμβρυα

με φυσαλίδες στην επιφάνειά τους και θάνατο λόγω νέκρωσης (Corinaldesi et al., 2017).

Τα νανοσωματίδια του οξειδίου του τιτανίου που απελευθερώνονται από τα αντηλιακά βλάπτουν την ανάπτυξη του, με τις αλλαγές στην ακετυλοχολινεστεράση, και του προκαλούν δυσπλασίες λόγω μείωσης της δραστηριότητας του, εμποδίζοντας τη σωστή ανάπτυξη των προνυμφών του. Σε μελέτη του αχινού *Strongylocentrotus purpuratus*, η ύπαρξή τους επηρεάστηκε ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις του οξειδίου του ψευδαργύρου. Σαν αποτέλεσμα παρατηρήθηκαν μικρότερα άκρα στους αχινούς ή και καθόλου σκελετική ανάπτυξη. Αυτό συμβαίνει διότι, ο ψευδάργυρος στο νερό, επηρεάζει το ανθρακικό ασβέστιο. Η αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου από τα ιόντα ψευδαργύρου, μειώνει την ασβεστοποίηση του σκελετού (Molins-Delgado et al., 2018; Yuan et al., 2022; Chatzigianni et al., 2022).

### 3.2.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΑΡΚΙΝΟΕΙΔΗ

Τα καρκινοειδή είναι μια μεγάλη ομάδα αρθροπόδων που απαντώνται σε διάφορα υδάτινα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένου του ωκεανού. Χαρακτηρίζονται από τον σκληρό εξωσκελετό τους, δύο ζεύγη κεραιών και εξειδικευμένα άκρα που συχνά χρησιμοποιούνται για κολύμπι ή περπάτημα. Τα καρκινοειδή διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα θαλάσσια οικοσυστήματα τόσο ως θηρευτές όσο και ως θηράματα. Τέτοια είναι οι γαρίδες, οι αστακοί, τα καβούρια κ.ά..

Τα νανοσωματίδια αποτελούν μεγάλη απειλή για τα καρκινοειδή και γενικά για όλα τα αρθρόποδα. Το οξείδιο του ψευδαργύρου προκαλεί οξειδωτικό στρες ενώ τα νανοσωματίδια του οξειδίου του τιτανίου προκαλούν απωθητικότητα και θνησιμότητα στις γαρίδες (*Palaeomon varians*) και μπορεί να είναι ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για τη μείωση του πληθυσμού τους λόγω των αυξανόμενων συγκεντρώσεων αντηλιακού σε τοπική κλίμακα (Yuan et al., 2022; Chatzigianni et al., 2022).

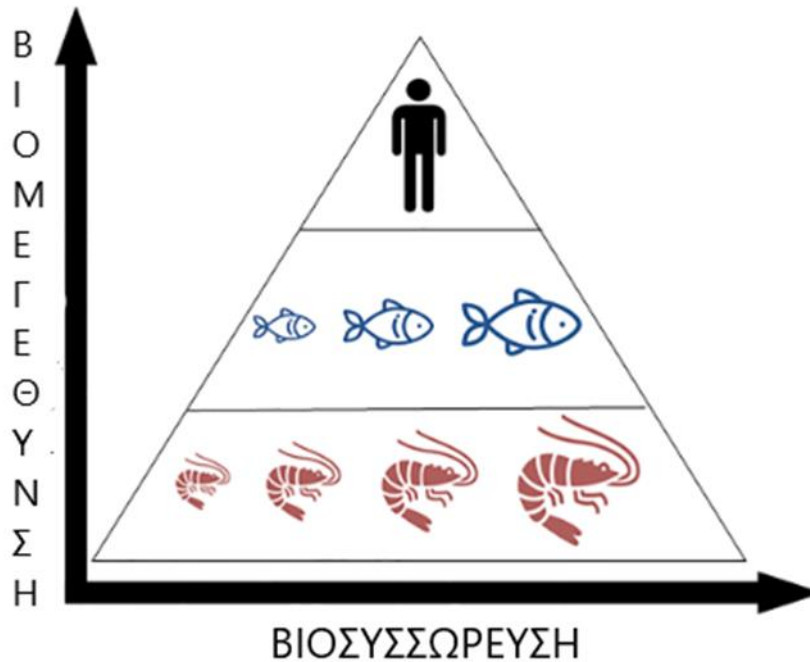
Σε μελέτες του καρκινοειδούς *Daphniamagna*, που χρησιμοποιείται συχνά, εξαιτίας της ανταπόκρισής της σε περιβαλλοντικές αλλαγές, βρέθηκε ότι η αβοβενζόνη και το οκτοκυκλόνιο είναι τοξικά ακόμη και σε περιβαλλοντικά ρεαλιστικές συγκεντρώσεις. Επηρεάζουν προσωρινά τις φωτοτακτικές ικανότητες του οργανισμού και αλλάζουν την αναπαραγωγή του (Boyd et al., 2021).

Σε άλλη μελέτη, όταν το καρκινοειδές *Gammarus fossarum*, ήρθε σε επαφή με το αντηλιακό φίλτρο 3-βενζηλιδενο-καμφορά, επηρεάστηκε η παραγωγή της πρωτεΐνης Hsp 70, η οποία ρυθμίζει τα επίπεδα του στρες στο ζώο. Η μείωση της παραγωγής της, δημιούργησε προβλήματα στη διαχείριση στρεσογόνων καταστάσεων. Επιπλέον προκλήθηκαν ιστοπαθολογικές βλάβες στον πεπτικό τους σωλήνα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η πέψη της τροφής τους (Scheil et al., 2008).

### **3.3 ΒΙΟΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ**

Οι χημικές ουσίες που απελευθερώνονται στο υδάτινο περιβάλλον από τα αντηλιακά προϊόντα, συγκεντρώνονται στους ιστούς των θαλάσσιων οργανισμών και τα επίπεδα αυτών αυξάνονται από έναν κρίκο της τροφικής αλυσίδας σε έναν άλλον. Αυτό ονομάζεται βιομεγέθυνση και συνδέεται άμεσα με τη βιοσυσσωρευση η οποία αποτελεί το φαινόμενο κατά το οποίο οι μη μεταβολιζόμενες χημικές ουσίες, αυξάνονται στους ιστούς των οργανισμών στα διαδοχικά επίπεδα σε μια τροφική αλυσίδα (εικόνα 8)(Narla & Lim, 2020).

Τα οργανικά φίλτρα, όπως έχει αναφερθεί, περισσότερο από τα ανόργανα, εξαιτίας της λιποφυλικότητάς και της διαλυτότητάς τους, έχουν τη τάση να συσσωρεύονται στα υδρόβια είδη. Σε μελέτες που έχουν γίνει για την οξυβενζόνη, έχει εντοπιστεί μεγαλύτερη ποσότητα τέτοιας ουσίας στα ψάρια παρά στο νερό. Οι χημικές ουσίες συγκεντρώνονται σε υψηλότερα επίπεδα καθώς κινούνται ψηλότερα στην τροφική αλυσίδα (Ruiz-Gutiérrez et al., 2022; Di Nardo & Downs, 2018).



Εικόνα 8: Βιομεγέθυνση και βιοσυσσώρευση κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας (Silva et al., 2022)

Και τα ανόργανα όμως φίλτρα συσσωρεύονται στους οργανισμούς. Οι ουσίες αυτές ή τα συσσωματώματά τους μπορούν να προσροφηθούν ή να τυλιχτούν γύρω από το φυτοπλαγκτόν, δηλαδή κατώτερους τροφικά οργανισμούς και τελικά να καταποθούν από μεγαλύτερους. Το ίδιο με τη σειρά τους και οι τελευταίοι, μέσω της σχέσης θηρευτή και θηράματος, από άλλους υψηλότερου τροφικού επιπέδου. Και εξαιτίας της ανθεκτικότητάς και της σταθερότητας των ανόργανων φίλτρων, να προκαλέσουν τη συσσώρευση, τη μεταφορά και τη μεγέθυνση κατά μήκος του τροφικού πλέγματος (Yuan et al., 2022).

Η βιοσυσσώρευση μιας χημικής ουσίας εξαρτάται από την ίδια την ουσία αλλά και από το είδος του οργανισμού, το μέγεθός του (βάρος και μήκος), το ενδιαίτημά του, την περιεκτικότητά του σώματός του σε λιπίδια και τα τροφικά επίπεδα. Σε μελέτη ανάλυσης 3 διαφορετικών θαλάσσιων ειδών και συγκεκριμένα των μυδιών (*Dreissena polymorpha*), των ψαριών (*Barbusbarbus* και *Leuciscus cephalus*) και των κορμοράνων (*Phalacrocoraxsp*), εντοπίστηκαν τιμές οκτινοξάτης έως 22,50 ng/g συγκέντρωσης στα μύδια, έως 300 ng/g στα ψάρια και 700 ng/g

στους ψαροφάγους κορμοράνους. Αυτό σημαίνει την τροφική μεταφορά της οκτινοξάτης στο υδάτινο οικοσύστημα, δηλαδή τη βιοσυσσώρευση της, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης της οκτινοξάτης σε βιοτόπους σε υψηλότερα επίπεδα και υδάτινα τροφικά δίκτυα. Σε μια αντίστοιχη περίπτωση μελέτης ιζημάτων και ψαριών, παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές οκτινοξάτης στα ιζήματα και υψηλότερες στα ψάρια. Η οξυβενζόνη επίσης έχει τη τάση να βιοσυσσωρεύεται σε οργανισμούς όπως τα μικροφύκη τα οποία αποτελούν τη βάση της τροφικής αλυσίδας στη θάλασσα (Silva et al., 2022; Teoh et al., 2020).

Σε εργαστηριακό περιβάλλον πραγματοποιήθηκαν μελέτες σε καραβίδες οι οποίες ήρθαν σε επαφή με πέντε οργανικά αντηλιακά φίλτρα (BP-3, 4-MBC, OCR, EHMC και HMS). Το EHMC και το HMS παρουσίασαν τους υψηλότερους συντελεστές βιοσυσσώρευσης. Στο φυσικό περιβάλλον του κόλπου Guanabara στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, εντοπίστηκαν οργανικά φίλτρα σε δείγματα κεφάλων, τα οποία κατέληξαν μέσω της διατροφής στον άνθρωπο, με εκτιμώμενη ημερήσια πρόσληψη από 0,3 έως 25,2 ng φίλτρων UV. Ο άνθρωπος καταναλώνει ψάρια και θαλασσινά, κατ' επέκταση αντηλιακά φίλτρα, τα οποία πιθανόν να αποτελούν την πιθανή οδό έκθεσης τους σε χημικές ουσίες. Μελέτες έχουν δείξει την παρουσία τέτοιων ουσιών στο μητρικό γάλα, στα ούρα και το πλάσμα με αποτέλεσμα να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων. Ουσίες όπως η οξυβενζόνη διαταράσσουν το ορμονικό σύστημα και υπογραμμίζουν την περαιτέρω τοξική επίδραση της βιομεγέθυνσης στον άνθρωπο. Δυστυχώς τα δεδομένα που υπάρχουν είναι λίγα και για αυτό θα πρέπει να μελετηθεί περισσότερο η τύχη των ενώσεων αυτών στην τροφική αλυσίδα (Caloni et al., 2021).

Συνήθως τα όργανα στα οποία συσσωρεύονται οι χημικές ουσίες στα ψάρια, είναι τα βράγχια, το ήπαρ και ο πεπτικός σωλήνας, όταν η έκθεση γίνεται μέσω της τροφικής αλυσίδας. Οι ουσίες αυτές μεταβολίζονται σε κάποιο βαθμό ή παραμένουν συσσωρευμένες στους ιστούς. Οι καρχαρίες, οι χελώνες, τα πουλιά, τα δελφίνια, εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων που διανύουν έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν διαφορετικά οικοσυστήματα μεταξύ τους συμβάλλοντας έτσι στη βιομεγέθυνση (Giokas et al., 2007).

### 3.4 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ

Τα περισσότερα αντηλιακά προϊόντα που υπάρχουν στην αγορά βρίσκονται σε πλαστικές συσκευασίες. Κατασκευάζονται από συνθετικά πολυμερή με την προσθήκη χημικών πρόσθετων, από πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Τα πλαστικά πήραν αυτό το όνομα γιατί όταν θερμανθούν, μπορούν να πλαστούν και να αποκτήσουν το τελικό τους σχήμα. Τα πιο συνηθισμένα είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυβινοχλωρίδιο (PVC), το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) και το πολυστυρένιο (PS) (Li et al., 2021).

Το πλαστικό είναι ένα πολύ ανθεκτικό προϊόν. Όμως εξαιτίας είτε λόγω μηχανικής τριβής είτε λόγω βιολογικής βιοαποδόμησης μπορεί να διασπαστεί σε μικρότερα σωματίδια τα οποία ονομάζονται μικροπλαστικά. Διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθός τους σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή μικροπλαστικά προκύπτουν από τις βιομηχανίες και έχουν σχήμα κόκκων ή σφαιριδίων ενώ το μέγεθός τους είναι συνήθως κάτω από 5 mm. Επίσης, τα ναοπλαστικά κυρίως, αποτελούν συστατικά προϊόντων προσωπικής φροντίδας, όπως τα αντηλιακά και χρησιμεύουν στην αδιαβροχοποίηση, στη ρύθμιση του ιδρώδους, στη σταθεροποίηση των ουσιών κ.ά.. Τα δευτερογενή μικροπλαστικά προκύπτουν από το σπάσιμο μεγαλύτερων κομματιών (Thompson et al., 2004; Li et al., 2021).

Οι πλαστικές συσκευασίες στη θάλασσα είναι ένα μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα που επηρεάζει τη θαλάσσια ζωή και τα οικοσυστήματα. Μετά τη χρήσης τους, απορρίπτονται ως στερεό αστικό απόβλητο και καταλήγουν στη χωματερή ή στην ανακύκλωση. Το πρόβλημα στη θάλασσα προκαλείται κυρίως από την ακατάλληλη απόρριψη των πλαστικών απορριμμάτων στην ξηρά, τα οποία συχνά καταλήγουν στις υδάτινες οδούς και τελικά στον ωκεανό. Υπάρχει επίσης ανησυχία για την ποσότητα του αντηλιακού η οποία θα παραμείνει στη συσκευασία μετά την απόρριψή της. Υπολογίζεται ότι φτάνει το 10%. Μέχρις στιγμής δεν υπάρχουν στοιχεία που να αφορούν τα υπολείμματα του σκευάσματος. Οι πλαστικές συσκευασίες είναι ιδιαίτερα προβληματικές επειδή είναι ελαφριές και μεταφέρονται εύκολα με τον άνεμο και το νερό. Ακόμη και όταν απορρίπτονται

σωστά, μπορεί να καταλήξουν στον ωκεανό, εάν δεν γίνεται σωστή διαχείριση και ανακύκλωση (Labille et al., 2020 ; Barnes et al., 2022).

Τη δεκαετία του 1950 παράγονταν περίπου 2 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού το χρόνο, ενώ πλέον η παραγωγή έχει γίνει 200 φορές μεγαλύτερη. Σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούνται 380 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού το χρόνο, από τα οποία το 40% αποτελούν συσκευασίες μιας χρήσης. Αυτό σημαίνει ότι καταλήγουν στα απορρίμματα πολύ γρήγορα. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των πλαστικών σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής είναι πολλά, με κύρια το φθινό κόστος των υλικών αυτών, την ανθεκτικότητα, το μικρό τους βάρος, τις θερμομονωτικές και ηλεκτρικές τους ιδιότητες και την ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση (Thompson et al., 2004).

Σύμφωνα με μελέτη των Ηνωμένων Εθνών, υπολογίζεται ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση, παράγονται 27 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού εκ των οποίων το 32,4% ανακυκλώνεται ενώ το 67,6 καταλήγει στις χωματερές ή το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ποσότητες αυξάνονται όσο αυξάνεται ο πληθυσμός και το βιοτικό επίπεδο. Τα απορρίμματα αυτά, τα οποία υπολογίζονται σε 8 εκατομμύρια τόνους, συγκεντρώνονται στη θάλασσα και λόγω της ανθεκτικότητάς τους μπορούν να μείνουν για χρόνια , δεκαετίες ή και αιώνες. Τα συναντούμε σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ενώ τα θαλάσσια ρεύματα μπορούν να τα μετακινήσουν και σε ιδιαίτερα απομακρυσμένες περιοχές όπως η Ανταρκτική. Κατά την τελευταία δεκαετία, οι ποσότητες των απορριμμάτων στους ωκεανούς φαίνεται να έχουν σταθεροποιηθεί ενώ δείχνει να έχουν αυξηθεί στις ακτές (U.N.E., 2016 ; Barnes et al., 2009).

Η θαλάσσια ρύπανση από πλαστικά αποτελεί παγκόσμιο ζήτημα, όμως η Μεσόγειος θάλασσα, η οποία φιλοξενεί το 4% ως το 18% των παγκόσμιων θαλάσσιων ειδών, χαρακτηρίζεται ως μια από τις πιο μολυσμένες θάλασσες. Υπολογίζεται ότι επιπλέουν στην επιφάνειά της μεταξύ 873 ως 2576 τόνους πλαστικών απορριμμάτων (Compa et al., 2019).

Ο μεγάλος όγκος ρύπανσης των πλαστικών που εντοπίζονται στους ωκεανούς αποτελεί απειλή για τη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα. Η κατάποση των πλαστικών από τα θαλάσσια είδη, μπορεί να προκαλέσει άμεση ή έμμεση βλάβη.



Έχουν βρεθεί στο γαστρεντερικό σύστημα πολλών ειδών, ασπόνδυλων, ψαριών, θηλαστικών και πουλιών. Μπορούν να βλάψουν και να σκοτώσουν θαλάσσια ζώα, όπως θαλάσσιες χελώνες, δελφίνια και φάλαινες, τα οποία μπορεί να μπερδέψουν το πλαστικό με τροφή ή να μπλεχτούν σε αυτό (Compa et al., 2019)

Όλοι οι οργανισμοί στη θάλασσα μπορούν να καταπιούν μικροπλαστικά, όπως σκουλήκια, αχιβάδες, μύδια, ψάρια κι έτσι να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα και να καταλήξουν στον άνθρωπο μέσω της καθημερινής διατροφής. Έχουν εντοπιστεί σε θαλασσοπούλια, αστακούς, στρείδια, μύδια, σε διάφορα είδη ψαριών, σε χελώνες, φώκιες, δελφίνια και άλλα είδη. Το 2008, βρέθηκαν στις ακτές της βόρειας Καλιφόρνιας δυο αρσενικές φάλαινες νεκρές από ρήξη στομάχου η οποία προήλθε από κατάποση πολλών και διαφορετικών πλαστικών απορριμμάτων (Jacobsen et al., 2010).

Επειδή τα πλαστικά αργούν να αποδομηθούν είναι πολύ πιθανό να λειτουργήσουν ως φορείς άλλων ρύπων. Στην επιφάνεια των πλαστικών υπολειμμάτων, εξαιτίας της παρουσίας πολλών ρύπων στο περιβάλλον, επικάθονται χημικές ουσίες όπως πολυχλωρίνες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, διχλωροδιφαινύλιο, τριχλωροαιθάνιο, βαρέα μέταλλα κ.ά., με αποτέλεσμα να προκύπτουν μίγματα νέων ρύπων. Αυτό βέβαια εξαρτάται από τους τύπους και τα χαρακτηριστικά των πλαστικών, τις ιδιότητες των χημικών ουσιών καθώς και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Li et al., 2021).

Σε διάφορες μελέτες βρέθηκε ότι όταν θαλάσσια ασπόνδυλα εκτίθενται σε μικροπλαστικά, παρουσιάζουν συμπτώματα τοξικότητας. Παθαίνουν οξειδωτικές στρες και φλεγμονώδεις αντιδράσεις σε διάφορα μέρη του σώματος τους. Τα μικρά σωματίδια μπορούν να βρεθούν στην κυκλοφορία του αίματος, στον εγκέφαλο και σε άλλα όργανα. Έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των θαλάσσιων οργανισμών επηρεάζοντας τη φυσιολογία τους. Κάποια από αυτά είναι προβλήματα στη συμπεριφορά διήθησης των μυδιών, στο ανοσολογικό σύστημα των θηλαστικών, στη φωτοσύνθεση των φυκιών, στην αναπαραγωγή των ψαριών (Bhattacharya, 2016).

### **3.5 ECO SUN PASS**

Τα αντηλιακά προϊόντα, όπως φυσικά και όλα τα καλλυντικά προσωπικής φροντίδας, χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο και η ζήτηση για προϊόντα υψηλής ποιότητας αυξάνεται συνεχώς. Αυτό σημαίνει αντηλιακά που να επιτυγχάνουν απορρόφηση ευρέως φάσματος, φωτοσταθερότητα, καλή επάλειψη στο δέρμα, άριστες αισθητηριακές ιδιότητες κατά τη διάρκεια και μετά την εφαρμογή και μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε το Eco Sun Pass (ESP). Πρόκειται για ένα εργαλείο το οποίο αξιολογεί τον συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο των φίλτρων υπεριώδους ακτινοβολίας, τη συγκέντρωση στο προϊόν σε συνδυασμό με την αποτελεσματικότητά τους, προκειμένου να επιλεγούν τα συστατικά με το καλύτερο οικολογικό αποτύπωμα (Pawlowski et al., 2021).

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αντηλιακά φίλτρα εξετάζονται οι παράμετροι της βιοαποικοδόμησης, της βιοσυσσώρευσης, της οξείας υδατικής τοξικότητας, της χρόνιας υδατικής τοξικότητας, της τοξικότητας των ιζημάτων, της χρόνιας χερσαίας τοξικότητας και της ενδοκρινικής διαταραχής. Συνήθως πιο φιλικά προϊόντα προς το περιβάλλον διαθέτουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις αντηλιακών φίλτρων (Pawlowski et al., 2021; Sohn et al., 2020).

Το Eco Sun Pass χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές φίλτρων υπεριώδους ακτινοβολίας για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας τους. Όμως επειδή ένα αντηλιακό προϊόν δεν περιέχει μόνο φίλτρα άλλα και άλλα βασικά συστατικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση αυτών. Το ESP είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιούν πλέον πολλές εταιρίες για να κατασκευάσουν νέας γενιάς αντηλιακά προϊόντα συνδυάζοντας αποδοτικά φίλτρα UV, φιλικά προς το περιβάλλον (Sohn et al., 2020).

### **3.6 ΑΝΤΗΛΙΑΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ**

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ζήτηση για υψηλής ποιότητας αντηλιακών προϊόντων που να παρέχουν αποτελεσματική προστασία και να είναι

φιλικά προς το περιβάλλον. Έτσι οι επιστήμονες έχουν στραφεί προς τη φύση για να δημιουργήσουν αντηλιακές ενώσεις φυσικής προέλευσης. Οι βοτανικοί παράγοντες περιέχουν μεγάλες ποσότητες αντιοξειδωτικών που μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως ανενεργά συστατικά ενάντια στη φωτογήρανση, τις ρυτίδες κ.ά.. Οι περισσότερες εταιρίες καλλυντικών πλέον δίνουν προτεραιότητα στην ανάπτυξη προϊόντων με βελτιωμένα περιβαλλοντικά αποτυπώματα. Ενθαρρύνεται η ανάπτυξη σκευασμάτων με μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα και άμεσα βιοδιασπώμενων και ταυτόχρονα ο οικολογικός σχεδιασμός συσκευασιών (Labille et al., 2020 ; Ngoc et al., 2019).

Η φύση χρησιμοποιεί παρόμοιους τρόπους προστασίας με τα αντηλιακά προϊόντα. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που βασίζονται στο ηλιακό φως για ενέργεια, όπως τα μικροφύκη, πρέπει να προστατεύονται από τη βλαβερή UV ακτινοβολία. Για αυτό τον λόγο ορισμένα φυτά διαθέτουν παχιά, κηρώδη επιδερμίδα η οποία σχηματίζει ένα φυσικό φράγμα και εμποδίζει την ακτινοβολία. Τα φύκια όμως που δεν διαθέτουν αυτό το φράγμα, χρησιμοποιούν άλλες μορφές φωτοπροστασίας. Αναπτύσσουν χημικές ενώσεις, τις mycosporine-like amino acids (MAAs), οι οποίες απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και τη διαχέουν ως θερμότητα, ακριβώς όπως τα οργανικά αντηλιακά φίλτρα. Κάποια σπονδυλωτά επίσης, όπως τα ψάρια ζέβρα, παράγουν μια ένωση που ονομάζεται γκαδουσόλη, η οποία συγγενεύει με τις MAAs και τα προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία (Pandika, 2018).

Ήδη υπάρχουν εταιρείες που χρησιμοποιούν τα πολυκύτταρα φύκια στα αντηλιακά. Τα οξέα που παράγονται έχουν ιδιότητες απορρόφησης της UV ακτινοβολίας και δρουν φωτοπροστατευτικά. Ταυτόχρονα είναι φιλικά προς το περιβάλλον, βιοδιασπώμενα σε σχέση με τα παραδοσιακά αντηλιακά προϊόντα και προσφέρουν λιγότερη μόλυνση στο υδάτινο περιβάλλον. Ταυτόχρονα αναζωογονούν και συσφίγγουν το δέρμα, τονώνουν, εξισορροπούν, αποτοξινώνουν και φυσικά ενυδατώνουν. Στο τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου της Μάλαγας, στην Ισπανία, έχουν αναπτυχθεί ενώσεις από μύκητες και φύκια με καλά αποτελέσματα στον ήλιο και το περιβάλλον. Επί του παρόντος όμως αποτελούν πρόσθετα σε άλλα φίλτρα UV. Όμως ομάδα του Ινστιτούτου Φαρμακευτικής

Επιστήμης του King College του Λονδίνου, παραχώρησε σε αγγλική εταιρεία μελέτες για την ουσία παλυθίνη, που προέρχεται από τα κόκκινα φύκια και προστατεύει από την UVA και την UVB ακτινοβολία και θα αποτελέσει δραστική ουσία σε αντηλιακό προϊόν μέσα στο 2023 (Guan et al., 2021 ; Pandika, 2018 ; Araújo et al., 2022).

Το εκχύλισμα *Polyrodiumleucotomos* προέρχεται από μια τροπική φτέρη που βρίσκεται στη Κεντρική και Νότια Αμερική και έχει αντιοξειδωτικές, χημειοπροστατευτικές, ανοσοτροποποιητικές, αντιφλεγμονώδεις και φωτοπροστατευτικές δράσεις. Και αυτά δρουν επικουρικά σε ήδη υπάρχοντα αντηλιακά φίλτρα. Οι φωτολυάσες επίσης έχουν ευεργετικά αποτελέσματα. Πρόκειται για ένζυμα τα οποία υπάρχουν και λειτουργούν σε πολλά είδη, βακτήρια, μύκητες, φυτά και ζώα. Παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο γιατί αποκαθιστούν τις βλάβες, στα φυτά, που προκαλούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία και έχουν την ικανότητα να επιδιορθώνουν βλάβες στο DNA. Όταν προστίθενται σε αντηλιακά με SPF 50, μειώνουν σημαντικά τους δείκτες φωτογήρανσης και ενισχύουν τα φωτοπροστατευτικά αποτελέσματα (Guan et al., 2021).

Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν τους κόκκους γύρης ως δραστικά φωτοπροστατευτικά συστατικά. Είναι εύκολα διαθέσιμοι, οικονομικά αποδοτικοί, φιλικοί προς το περιβάλλον, ασφαλή για τους ύφαλους. Παρουσιάζουν ευρύ φάσμα απορρόφησης της UVB ακτινοβολίας και χρησιμοποιούνται ως φωτοσταθεροποιητές σε οργανικά φίλτρα όπως η αβοβενζόνη (Tamprucci et al., 2022).

Τα καινοτόμα καινούργια προϊόντα που δημιουργούνται συγκρίνονται ως αναφορά την προστασία που παρέχουν με τα ήδη υπάρχοντα. Η φυσική τους προέλευση δεν τα εξαιρεί από μελέτες που γίνονται για να ελεγχθούν οι ιδιότητές τους. Όμως ακριβώς επειδή βρίσκονται στη φύση, στα φύκια, στα θαλάσσια ζώα ή στα φυτά, δηλαδή αποτελούν ήδη μέρος της ζωής μας, απαλύνει τις ανησυχίες, τις ελαχιστοποιεί χωρίς όμως να τις μηδενίζει (Pandika, 2018).

### 3.7 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Ανάλογα με τις χώρες, τα προϊόντα αντηλιακής προστασίας υπόκεινται σε ρυθμίσεις και αντιμετωπίζονται είτε ως καλλυντικά στην περίπτωση της Ευρώπης, είτε ως μη συνταγογραφούμενα φάρμακα στις ΗΠΑ. Ανεξάρτητα το πώς ρυθμίζονται, κάθε χώρα έχει μια προεγκριμένη λίστα των επιτρεπόμενων UV φίλτρων, αποδεκτές μεθόδους αποτελεσματικότητας λειτουργίας των SPF, και μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις (Labille et al., 2020).

Στην Ευρώπη ο κανονισμός των καλλυντικών 1223/2009, καθορίζει τις απαιτήσεις για την ασφάλεια των καλλυντικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των αντηλιακών και επιτρέπει τη χρήση 28 οργανικών φίλτρων και 2 ανόργανων (παράρτημα VI) (πίνακας 3). Απαιτεί από τους κατασκευαστές να αναγράφουν στις ετικέτες εκτός από την σύνθεση και την παρουσία των νανουλικών. Το παράρτημα αυτό εκτός από τις ουσίες καθορίζει τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις καθώς επίσης, αν χρειάζεται και πρόσθετους όρους χρήσης. Πριν από την τελική έγκριση, τα φίλτρα UV, εξετάζονται ως προς την τοξικολογική τους ασφάλεια και υποβάλλονται σε εκτενείς δοκιμασίες, από ανεξάρτητους Ευρωπαίους εμπειρογνώμονες από τα διάφορα κράτη μέλη, και καταλήγουν σε αποφάσεις στα πλαίσια της συνεδρίασης της Επιστημονικής Επιτροπής για την ασφάλεια των καταναλωτών (SCCS). Τα εγκεκριμένα φίλτρα, ανάλογα με τα δεδομένα, επαναξιολογούνται και ο κατάλογος των επιτρεπόμενων, ενημερώνεται αναλόγως (Labille et al., 2020).

Εκτός των αντηλιακών φίλτρων, τα αντηλιακά περιέχουν και άλλα συστατικά, των οποίων η σύνθεση και η συγκέντρωση ποικίλουν και νομοθετούνται επίσης από τον Κανονισμό (ΕΚ) των καλλυντικών προϊόντων 1223/2009 για την Ευρώπη. Στον ίδιο κανονισμό υπάρχουν:

Παράρτημα II :ουσίες που απαγορεύονται.

Παράρτημα III :ουσίες με περιορισμούς.

Παράρτημα IV :επιτρεπόμενη λίστα χρωστικών.

Παράρτημα V : επιτρεπόμενη λίστα συντηρητικών (ΕΥ, 2022).

Την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ασφάλειας, έχει ο Ευρωπαϊκός οργανισμός Χημικών προϊόντων ECHA (European Chemicals Agency), ο οποίος διαχειρίζεται την εφαρμογή του κανονισμού REACH (Registration, Evaluation, Authorisation, Restriction of Chemicals), της ΕΕ για την καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμούς των χημικών προϊόντων. Ο κανονισμός αυτός θεσπίστηκε με στόχο την καλύτερη προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που μπορεί να ενέχουν τα χημικά προϊόντα και αφορά όλες τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές διεργασίες αλλά και στην καθημερινότητά μας (ECHA, 2007).

Στις ΗΠΑ υπεύθυνος για την σύνθεση και τη συγκέντρωση των συστατικών καλλυντικών στα αντηλιακά του εμπορίου είναι ο οργανισμός FDA. Η ανησυχία για πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αντηλιακών στους κοραλλιογενούς υφάλους, οδήγησε στην απαγόρευση ορισμένων ενεργών συστατικών των αντηλιακών φίλτρων. Τον Ιούλιο του 2018, ο κυβερνήτης της Χαβάης υπέγραψε τον νόμο 2571, της Γερουσίας του Κογκρέσου των ΗΠΑ, επικαλούμενος τις έντονες ανησυχίες για το θαλάσσιο περιβάλλον. Από την 1η Ιανουαρίου 2021, απαγορεύτηκε στην πολιτεία της Χαβάης η πώληση και διανομή προϊόντων αντηλιακής προστασίας που περιέχουν οξυβενζόνη και οκτινοξάτη. Το παράδειγμα αυτό ακολούθησαν οι Παρθένοι Νήσοι των ΗΠΑ, το Παλάου, το Μποναίρ, η Αρούμπα και περιοχές φυσικών καταφυγίων στο Μεξικό. Η Δημοκρατία του Παλάου, από την 1η Ιανουαρίου 2020, απαγόρευσε και στους τουρίστες την εισαγωγή των προϊόντων αυτών (Watkins & Sallach, 2021 ; Adler&De Leo, 2020 ; Narla & Lim, 2020 ; Agawin, et al., 2022).

Στη Χαβάη, η πόλη της Χονολουλού, το 2021, πήρε και άλλα δραστικά μέτρα για την προστασία των κοραλλιογενών υφάλων. Έκλεισε τον κόλπο Hanauma για τους επισκέπτες κάθε Δευτέρα και Τρίτη. Ενώ περιόρισε τον αριθμό της επισκεψιμότητάς, τις υπόλοιπες μέχρι 1000 άτομα ανά ημέρα (Downs et al., 2022).

Οι ΗΠΑ, η Ευρώπη, η Αυστραλία, ο Καναδάς και η Νότια Κορέα, επιτρέπουν τη χρήση του διοξειδίου του τιτανίου σε αντηλιακά με μέγιστη συγκέντρωση 25%. Ο Αμερικάνικος οργανισμός FDA θεωρεί ότι υπάρχουν επαρκή δεδομένα ασφαλείας

για τα ορυκτά φίλτρα, ώστε να είναι ασφαλή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Ο κανονισμός για το διοξείδιο του τιτανίου, δεν κάνει διακρίσεις μεταξύ του συμβατικού και των νανοσωματιδίων, και μεταξύ των διαφορετικών ειδών, ανάτασης και ρουτιλίου, αλλά και ούτε μεταξύ επικαλυμμένων και μη επικαλυμμένων σωματιδίων. Αυτό οδήγησε στις ΗΠΑ, τα τελευταία χρόνια, στην αύξηση της κυκλοφορίας τέτοιων προϊόντων (Labille et al., 2020).

Αντίστοιχες νομοθεσίες για τα αντηλιακά ισχύουν σε όλο τον κόσμο. Όλες περιλαμβάνουν τα επιτρεπόμενα αντηλιακά UV φίλτρων στα προϊόντα τους και τις συγκεντρώσεις τους. Το παράρτημα VI του κανονισμού 1223/2009 της ΕΕ, εφαρμόζεται επίσης στη Νέα Ζηλανδία, σε Αραβικές χώρες της Μέσης Ανατολής, και στην Τουρκία και είναι παρόμοιο με την επιτρεπόμενη αντίστοιχη λίστα της Αυστραλίας, του Καναδά, της Κίνας, του Χονγκ Κονγκ, της Ινδίας, της Ιαπωνίας και της Ταϊβάν (Agawin et al., 2022).

Πίνακας 3: Κατάλογος των φίλτρων UV που επιτρέπονται στα καλλυντικά προϊόντα παράρτημα VI του κανονισμού 1223/2009 (επικαιροποιημένος 17/12/2022)

	Χημική ουσία	Κοινή ονομασία	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση	Άλλες παρατηρήσεις
1	Μεθυλοθειική N,N,N- τριμεθυλ-4-(2-οξοβορν-3-υλιδενομεθυλ)ανιλίνη	Camphor Benzalkonium Methosulfate	6%	
2	2-υδροξυ-βενζοϊκό 3,3,5-τριμεθυλοκυκλοεξυλεστέρας/Homosalate	Homosalate	10%	
3	2-υδροξυ-4-μεθοξυβενζοφαινόνη/Οξυβενζόνη	Benzophenone-3	6%	Όχι περισσότερο από 0,5 % για την προστασία του σκευάσματος του προϊόντος
4	2-φαινυλοβενζιμιδοζολο-5-σουλφονικό οξύ και τα άλατά του με κάλιο, νάτριο και τριαιθανολαμίνη/Ensulizole	Phenylbenzimidazole Sulfonic Acid	8 % (σε οξύ)	
5	3,3'-(1,4-φαινυλενοδιμεθυλενο) δις (7,7-διμεθυλ-2-οξοδικυκλο-[2.2. 1] επτ-1-υλομεθανοσουλφονικό οξύ) και τα άλατά του/Ecamsule	Terephthalylidene Dicamphor Sulfonic Acid	10 % (σε οξύ)	
6	1-(4-τριπ.βουτυλοφαινυλο)-3-(4-μεθοξυφαινυλο)προπανοδιόνη-1,3/	Butyl Methoxydibenzoylmeth	5 %	

	Αβοβενζόνη	ane		
7	α-(2-οξοβορν-3-υλιδενο) τολουολο-4-σουλφονικό οξύ και τα άλατά του/ Αβοβενζόνη	Benzylidene Camphor Sulfonic Acid	6 % (σε οξύ)	
8	2-κυανο-3,3-διφαινυλακρυλικός 2-αιθυλεξυλεστέρας/Οκτοκυρλένιο	Octocrylene	10 % (σε οξύ)	
9	4 Πολυμερές του N-((2 και 4)-[2-οξοβορν-3-υλιδενο]μεθυλο]βενζυλ)ακρυλαμιδίου	Polyacrylamidomethyl Benzylidene Camphor	6%	
10	4-μεθοξυκιναμωμικό 2-αιθυλεξύλιο/Octinoxate	Ethylhexyl Methoxycinnamate	10%	
11	Αιθοξυλιωμένο 4-αμινοβενζοϊκό αιθύλιο/Amiloxate	PEG-25 PABA	10%	
12	4-μεθοξυκιναμωμικό ισοπεντύλιο	Isoamyl p-methoxycinnamate	10%	
13	2,4,6-τριανιλινο-(π-καρβο-2'-αιθυλεξυλ-1'-οξύ)-1,3,5-τριαζίνη	Ethylhexyl Triazone	5%	
14	2-(2H-βενζοτρίαζολ-2- υλ)-4-μεθυλο-6-(2-μεθυλο-3-(1,3,3,3-τετραμεθυλο-1-(τριμεθυλοστυλ)οξύ)δισυλοξανυλο)προπυλο)φαινόλη	Drometrizole Trisiloxane	15%	
15	Δις(2-αιθυλεξυλ) εστέρας του 4,4-((6-((1,1-διμεθυλαιθυλ)αμινο)καρβονυλο)φαινυλ)αμινο) 1,3,5-τριαζινο-2,4-δυλο)διμμινο)διβενζοϊκού οξέος/Isotrizinol (USAN)	Diethylhexyl Butamido Triazone	10%	
16	3-(4'-μεθυλοβενζυλιδενο)-d-1-καμφορά/Enzacamene	4-Methylbenzylidene Camphor	4%	
17	Σαλικυλικό 2-αιθυλεξύλιο/Octisalate	Ethylhexyl Salicylate	5%	
18	4-(διμεθυλαμινο)βενζοϊκό 2-αιθυλεξύλιο/ Padimate O (USAN: BAN)	Ethylhexyl Dimethyl PABA	8%	
19	2-υδροξυ-4-μεθοξυ-βενζοφαινονο-5-σουλφονικό οξύ και το νατρίουχο άλας του/Sulisobenzone	Benzophenone-4, Benzophen one-5	5 % (σε οξύ)	
20	2,2'-μεθυλενο-δις(6- (2H)-βενζοτρίαζολ-2- υλο)-4-(1,1,3,3-τετραμεθυλοβουτυλο)φαινόλη/ Bisotrizole	Methylene Bis-Benzotriazolyl Tetramethylbutylphenol	10%	
20α	2,2'-μεθυλενο-δις(6- (2H)-βενζοτρίαζολ-2- υλο)-4-(1,1,3,3-τετραμεθυλοβουτυλο)φαινόλη/ Bisotrizole	Methylene Bis-Benzotriazolyl Tetramethylbutylphenol (σε νανομορφή)	10%	Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που μπορεί να προκαλέσουν έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής. Επιτρέπονται μόνο νανούλικά που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: — καθαρότητας ≥ 98,5 %, με το κλάσμα του ισομερούς 2,2'-μεθυλενο-δις(6-(2H-βενζοτρίαζολ-2-υλο)-4-(ισοοκτυλο)φαινόλη) να μην υπερβαίνει το 1,5 % — διαλυτότητα



				<p>&lt; 5 ng/L στο νερό σε θερμοκρασία 25 °C: — Συντελεστής κατανομής (Log Pow): 12,7 σε θερμοκρασία 25 °C: — μη επιχρισμένα:</p> <p>— διάμεσο μέγεθος σωματιδίων D50 (το 50 % του αριθμού σωματιδίων έχει διάμετρο χαμηλότερη από την τιμή αυτή): ≥ 120 nm της κατανομής της μάζας και/ή ≥ 60 nm της αριθμητικής κατανομής κατά μέγεθος.</p>
21	Άλας με νάτριο του 2,2'-δισ(1,4-φαιλυλενο)-1H-βενζιμιδαζολο-4,6-δισουλφονικού οξέος/ Bisdisulizole disodium (USAN)	Disodium Phenyl Dibenzimidazole Tetrasulfonate	10 % (σε οξύ)	
22	-2,4-δισ(4-(2-αιθυλεξυλοξυ)-2-υδροξυ)-φαιλυλο)-6-(4-μεθοξυφαιλυλο)-(1,3,5)-τριαζίνη/ βεμοτριζινόλη	Bis-Ethylhexyloxyphenol Methoxyphenyl Triazine	10%	
23	Διαιθυλοβενζαλομηλονική διμεθικόνη	Polysilicone-15	10%	
24	Διοξείδιο του τιτανίου (2 )	Titanium Dioxide	25%	
24α	Διοξείδιο του τιτανίου	Titanium Dioxide (nano)	25%	<p>Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που ενδέχεται να συνεπάγονται έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής. Επιτρέπονται μόνο νανοϋλικά που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: — καθαρότητα ≥ 99 %, — μορφή ρουτιλίου, ή μορφή ρουτιλίου με ανατάση μέχρι 5 %, με κρυσταλλική δομή και φυσική όψη συστάδων σφαιρικού, βελονοειδούς ή λογχοειδούς σχήματος, — διάμεσο μέγεθος σωματιδίων με βάση την αριθμητική κατανομή κατά μέγεθος ≥ 30 nm, — λόγος διαστάσεων από 1 έως 4,5 και ειδικό εμβαδόν κατ' όγκο ≤ 460 m<sup>2</sup> /cm<sup>3</sup>, — επικαλυμμένο με Silica, Hydrated Silica, Alumina, Aluminium Hydroxide, Aluminium</p>

				Stearate, Stearic Acid, Trimethoxycaprylylsilane, Glycerin, Dimethicone, Hydrogen Dimethicone, Simethicone, — φωτοκαταλυτική δραστηριότητα ≤ 10 % σε σύγκριση με το αντίστοιχο μη επικαλυμμένο ή μη νοθευμένο υλικό αναφοράς, — τα νανοσωματίδια είναι φωτοσταθερά στο τελικό σκεύασμα.
25	Βενζοϊκό οξύ, 2-[4-(διαιθυλαμινο)-2-υδροξυβενζοΐλο]-εξυλεστέρας	Diethylamino Hydroxybenzoyl Hexyl Benzoate	10%	
26	2,4,6-τρις [1,1'-διφαινυλ]-4-υλο-1,3,5-τριαζίνη, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ως νανοϋλικού	Tris-biphenyl triazine Tris-biphenyl triazine (nano)	10%	Να μη χρησιμοποιείται σε σπρέι. Επιτρέπονται μόνο νανοϋλικά που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: — διάμεση τιμή μεγέθους πρωτοταγών σωματιδίων > 80 nm, — καθαρότητα ≥ 98 %, — χωρίς επικάλυψη
27	Οξείδιο του ψευδαργύρου	Zinc Oxide	25%	Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που ενδέχεται να συνεπάγονται έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής.
27α	Οξείδιο του ψευδαργύρου	Zinc Oxide (nano)	25%	Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που ενδέχεται να συνεπάγονται έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής. Επιτρέπονται μόνο νανοϋλικά που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:  — Καθαρότητα ≥ 96 %, με κρυσταλλική δομή βουρτσιτή και φυσική όψη συστάδων που είναι ραβδόμορφες, αστεροειδείς και/ή με ισομετρικά σχήματα, με προσμείξεις που συνίστανται μόνο σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ η συνολική αναλογία τυχόν άλλων

				<p>προσμείξεων θα πρέπει να είναι κάτω του 1 %. — Η διάμεση διάμετρος (D50: 50 % του αριθμού σωματιδίων έχουν διάμετρο χαμηλότερη από την τιμή αυτή) της κατανομής μεγέθους του αριθμού σωματιδίων θα πρέπει να είναι πάνω από 30 nm και η D1 (1 % με μέγεθος κάτω από την τιμή αυτή) πάνω από 20nm —</p> <p>Υδατοδιαλυτότητα &lt; 50 mg/L — Χωρίς επικάλυψη ή με επικάλυψη με τριαιθοξυκαπρυλοσιλάνιο, διμεθικόνη, διασταυρούμενο πολυμερές διμεθοξυδιφαινυλοσιλάνιο-τριαιθοξυκαπρυλοσιλάνιο ή με οκτυλοτριαιθοξυσιλάνιο</p>
28	3,3'-(1,4-φαινυλενο)-δισ(5,6-διφαινυλο-1,2,4-τριαζίνη)	Phenylene Bis-Diphenyltriazine	5%	<p>Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που ενδέχεται να συνεπάγονται έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής.</p>
29	2Z)-2-κυανο-2-[3-(3-μεθοξυπροπυλαμινο)κυκλοεξ-2-εν-1-υλιδενο]οξικό 2-αιθοξυαιθύλιο	Methoxypropylamino Cyclohexenylidene Ethoxyethylcyanoacetate	3%	<p>— Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που ενδέχεται να συνεπάγονται έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής. — Να μη χρησιμοποιείται με παράγοντες νιτρόδωσης. Μέγιστη περιεκτικότητα σε νιτροζαμίνη: 50 µg/kg — Να διατηρείται σε περιέκτες απαλλαγμένους από νιτρόδεις ενώσεις</p>
30	1,1'-(1,4-πιπεραζινοδιυλο)δισ[1-[2-(4-διαθυλαμινο)-2-υδροξυβενζοϊλο]φαινυλο]μεθανόνη	Bis-(Diethylamino)hydroxybenzoyl Benzoyl Piperazine	10 % (9)	
30α	1,1'-(1,4-πιπεραζινοδιυλο)δισ[1-[2-(4-διαθυλαμινο)-2-υδροξυβενζοϊλο]φαινυλο]μεθανόνη	Bis-(Diethylamino)hydroxybenzoyl Benzoyl Piperazine (nano)	10 % (9)	<p>Επιτρέπονται μόνο νανοϋλικά που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: — καθαρότητα ≥ 97 % —</p>

				<p>διάμεσο μέγεθος σωματιδίων D50 (το 50 % των σωματιδίων έχει διάμετρο μικρότερη από την τιμή αυτή): <math>\geq 50</math> nm της κατανομής αριθμητικών μεγεθών. Να μη χρησιμοποιείται σε σκευάσματα που μπορεί να προκαλέσουν έκθεση των πνευμόνων του τελικού χρήστη μέσω της εισπνοής</p>
--	--	--	--	--

(EU,2022).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ήλιος είναι αναγκαίος για τον οργανισμό μας, προσφέρει σημαντικά οφέλη (παραγωγή βιταμίνης D, αύξηση σεροτονίνης, ενίσχυση του ανοσοποιητικού), όμως μπορεί να γίνει επικίνδυνος. Η υπερβολική έκθεση, μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερες (πανάδες, φωτοαλλεργίες κ.ά.) ή σοβαρότερες βλάβες (ηλιακό έγκαυμα, καρκίνο του δέρματος). Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, όπου η εμφάνιση αλλά και η προστασία του δέρματος από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, η βιομηχανία των προϊόντων προσωπικής φροντίδας, αναπτύσσεται συνεχώς δαπανώντας δισεκατομμύρια δολάρια. Τα αντηλιακά προϊόντα χρησιμοποιούνται από ανθρώπους σε όλο τον κόσμο, τόσο στην καθημερινή ζωή, όσο και στην παραλία κατά την τουριστική περίοδο. Από την εφεύρεση τους και μετά, έχουν εξελιχθεί και εξελίσσονται συνεχώς για να πετύχουν τη βέλτιστη προστασία, με ολοένα πιο πολύπλοκες συνθέσεις.

Κατά την έρευνα περισσότερο *in vitro* και λιγότερο *in vivo*, η ανάλυση της συμπεριφοράς των αντηλιακών συστατικών στο υδάτινο περιβάλλον, μας επέτρεψε να κατανοήσουμε τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις. Η αλόγιστη χρήση τους σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, αποτελεί τεράστια απειλή για τη θαλάσσια ζωή. Η αύξηση των επιπέδων ρύπανσης, η αρνητική επίδραση στη θαλάσσια βιοποικιλότητα, η βιοσυσσώρευση των χημικών ενώσεων στους ιστούς των οργανισμών καθώς και η βιομεγέθυνση στην τροφική αλυσίδα με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο, ευαισθητοποίησε και οδήγησε στη δημιουργία κανονισμών για τα καλλυντικά προϊόντα. Ανάλογα με τα επιστημονικά δεδομένα οι κανονισμοί αυτοί δύναται να τροποποιηθούν με σκοπό πάντα την προστασία της υγείας των καταναλωτών και του περιβάλλοντος.

Η κακή απόρριψη των συσκευασιών των αντηλιακών, με το υπολειπόμενο προϊόν, που καταλήγουν στη θάλασσα επιβαρύνει ακόμη περισσότερο. Όλα τα παραπάνω οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα στην προσέγγιση νέων τεχνολογιών με αντηλιακά προϊόντα φυσικής προέλευσης και ανακυκλώσιμες συσκευασίες.

Η ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αντηλιακών φίλτρων καθώς και των συσκευασιών τους, πρέπει να αυξήσει την ευαισθητοποίηση, την ενημέρωση και την εκπαίδευση του πληθυσμού σχετικά με τη σωστή χρήση των προϊόντων προσωπικής φροντίδας και τη σωστή τους απόρριψη αντίστοιχα, ενώ απαιτούνται πρόσθετες έρευνες για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdel-Latif, H.M.R., Dawood, M.A.O., Menanteau-Ledouble, S., El-Matbouli, M., 2020. Environmental transformation of n-TiO<sub>2</sub> in the aquatic systems and their ecotoxicity in bivalve mollusks: A systematic review. *Ecotoxicol Environ Saf* 200, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110776>
2. Abou-Dahech, M., Boddu, S.H., Devi Bachu, R., Babu, R.J., Shahwan, M., Al-Tabakha, M.M., Tiwari, A.K., 2022. A mini-review on limitations associated with UV filters. *Arabian Journal of Chemistry* 15, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104212>
3. Adler, B.L., DeLeo, V.A., 2020. Sunscreen Safety: a Review of Recent Studies on Humans and the Environment. *Curr Derm Rep* 9, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13671-020-00284-4>
4. Agawin, N.S.R., Sunyer-Caldú, A., Díaz-Cruz, M.S., Frank-Comas, A., García-Márquez, M.G., Tovar-Sánchez, A., 2022. Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* accumulates sunscreen UV filters. *Marine Pollution Bulletin* 176, 113417. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113417>
5. Alonso, M.B., Feo, M.L., Corcellas, C., Gago-Ferrero, P., Bertozzi, C.P., Marigo, J., Flach, L., Meirelles, A.C.O., Carvalho, V.L., Azevedo, A.F., Torres, J.P.M., Lailson-Brito, J., Malm, O., Diaz-Cruz, M.S., Eljarrat, E., Barceló, D., 2015a. Toxic heritage: Maternal transfer of pyrethroid insecticides and sunscreen agents in dolphins from Brazil. *Environmental Pollution* 207, 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.039>
6. Alonso, M.B., Feo, M.L., Corcellas, C., Gago-Ferrero, P., Bertozzi, C.P., Marigo, J., Flach, L., Meirelles, A.C.O., Carvalho, V.L., Azevedo, A.F., Torres, J.P.M., Lailson-Brito, J., Malm, O., Diaz-Cruz, M.S., Eljarrat, E., Barceló, D., 2015b. Toxic heritage: Maternal transfer of pyrethroid insecticides and sunscreen agents in dolphins from Brazil. *Environmental Pollution* 207, 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.039>
7. Amine, H., Gomez, E., Halwani, J., Casellas, C., Fenet, H., 2012. UV filters, ethylhexyl methoxycinnamate, octocrylene and ethylhexyl dimethyl PABA from untreated wastewater in sediment from eastern Mediterranean river transition and coastal zones. *Mar Pollut Bull* 64, 2435–2442. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.07.051>
8. Araújo, R.G., Alcantar-Rivera, B., Meléndez-Sánchez, E.R., Martínez-Prado, M.A., Sosa-Hernández, J.E., Iqbal, H.M.N., Parra-Saldivar, R., Martínez-Ruiz, M., 2022. Effects of UV and UV-vis Irradiation on the Production of Microalgae and Macroalgae: New Alternatives to Produce

Photobioprotectors and Biomedical Compounds. *Molecules* 27, 5334.  
<https://doi.org/10.3390/molecules27165334>

9. Avenel-Audran, M., Dutartre, H., Goossens, A., Jeanmougin, M., Comte, C., Bernier, C., Benkalfate, L., Michel, M., Ferrier-Lebouëdec, M.C., Vigan, M., Bourrain, J.L., Outtas, O., Peyron, J.L., Martin, L., 2010. Octocrylene, an Emerging Photoallergen. *Arch Dermatol* 146.  
<https://doi.org/10.1001/archdermatol.2010.132>
10. Bachelot, M., Li, Z., Munaron, D., Le Gall, P., Casellas, C., Fenet, H., Gomez, E., 2012. Organic UV filter concentrations in marine mussels from French coastal regions. *Sci Total Environ* 420, 273–279.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.051>
11. Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 1985–1998.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
12. Barsanti, L., n.d. *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*, Second Edition.
13. Battistin, M., Pascalicchio, P., Tabaro, B., Hasa, D., Bonetto, A., Manfredini, S., Baldisserotto, A., Scarso, A., Ziosi, P., Brunetta, A., Brunetta, F., Vertuani, S., 2022. A Safe-by-Design Approach to “Reef Safe” Sunscreens Based on ZnO and Organic UV Filters. *Antioxidants* 11.  
<https://doi.org/10.3390/antiox11112209>
14. Bhattacharya, P., 2016. A REVIEW ON THE IMPACTS OF MICROPLASTIC BEADS USED IN COSMETICS. *Acta Biomedica Scientia* 2348–2168 3, 47–52.
15. Boyd, A., Stewart, C.B., Philibert, D.A., How, Z.T., El-Din, M.G., Tierney, K.B., Blewett, T.A., 2021. A burning issue: The effect of organic ultraviolet filter exposure on the behaviour and physiology of *Daphnia magna*. *Science of the Total Environment* 750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141707>
16. Broussard, L., Hirner, S., Dellavalle, R.P., Dunnick, C.A., Hugh, J., 2020. Spray sunscreen: Characterizing application area density and implications for sun protection. *J Am Acad Dermatol* 82, 749–751.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaad.2019.07.094>
17. Burns, E.E., Roush, K.S., Csiszar, S.A., Davies, I.A., 2022. Freshwater Environmental Risk Assessment of Down-the-Drain Octinoxate Emissions in the United States. *Environmental Toxicology and Chemistry* 41, 3116–3124.  
<https://doi.org/10.1002/etc.5488>



18. Caloni, S., Durazzano, T., Franci, G., Marsili, L., 2021. Sunscreens' UV Filters Risk for Coastal Marine Environment Biodiversity: A Review. *Diversity* 13, 374. <https://doi.org/10.3390/d13080374>
19. Carvalhais, A., Pereira, B., Sabato, M., Seixas, R., Dolbeth, M., Marques, A., Guilherme, S., Pereira, P., Pacheco, M., Mieirol, C., 2021. Mild Effects of Sunscreen Agents on a Marine Flatfish: Oxidative Stress, Energetic Profiles, Neurotoxicity and Behaviour in Response to Titanium Dioxide Nanoparticles and Oxybenzone. *International Journal of Molecular Sciences* 22, 1567. <https://doi.org/10.3390/ijms22041567>
20. Casas-Beltran, D.A., Hernández-Pedraza, M., Alvarado-Flores, J., 2020. Estimation of the Discharge of Sunscreens in Aquatic Environments of the Mexican Caribbean. *Environments* 7, 15. <https://doi.org/10.3390/environments7020015>
21. Chatzigianni, M., Pavlou, P., Siamidi, A., Vlachou, M., Varvaresou, A., Papageorgiou, S., 2022. Environmental impacts due to the use of sunscreen products: a mini-review. *Ecotoxicology* 31, 1331–1345. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02592-w>
22. Compa, M., Alomar, C., Wilcox, C., van Sebille, E., Lebreton, L., Hardesty, B.D., Deudero, S., 2019. Risk assessment of plastic pollution on marine diversity in the Mediterranean Sea. *Science of The Total Environment* 678, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.355>
23. Corinaldesi, C., Damiani, E., Marcellini, F., Falugi, C., Tiano, L., Brugè, F., Danovaro, R., 2017. Sunscreen products impair the early developmental stages of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Sci Rep* 7, 7815. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08013-x>
24. Da Silva, A.C.P., Santos, B.A.M.C., Castro, H.C., Rodrigues, C.R., 2022. Ethylhexyl methoxycinnamate and butyl methoxydibenzoylmethane: Toxicological effects on marine biota and human concerns. *Journal of Applied Toxicology* 42, 73–86. <https://doi.org/10.1002/jat.4210>
25. Da Silva, C.P., Emídio, E.S., De Marchi, M.R.R., 2015. The occurrence of UV filters in natural and drinking water in São Paulo State (Brazil). *Environ Sci Pollut Res* 22, 19706–19715. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5174-3>
26. D'Amico, M., Gambaro, A., Barbante, C., Barbaro, E., Caiazza, L., Vecchiato, M., 2022. Occurrence of the UV-filter 2-Ethylhexyl 4-methoxycinnamate (EHMC) in Antarctic snow: First results. *Microchemical Journal* 183, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108060>
27. Danovaro, R., Bongiorno, L., Corinaldesi, C., Giovannelli, D., Damiani, E., Astolfi, P., Greci, L., Pusceddu, A., 2008. Sunscreens Cause Coral Bleaching by

Promoting Viral Infections. *Environ Health Perspect* 116, 441–447.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.10966>

28. Della Torre, C., Balbi, T., Grassi, G., Frenzilli, G., Bernardeschi, M., Smerilli, A., Guidi, P., Canesi, L., Nigro, M., Monaci, F., Scarcelli, V., Rocco, L., Focardi, S., Monopoli, M., Corsi, I., 2015. Titanium dioxide nanoparticles modulate the toxicological response to cadmium in the gills of *Mytilus galloprovincialis*. *Journal of Hazardous Materials* 297, 92–100.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.072>
29. DiNardo, J.C., Downs, C.A., 2018. Dermatological and environmental toxicological impact of the sunscreen ingredient oxybenzone/benzophenone-3. *J Cosmet Dermatol* 17, 15–19. <https://doi.org/10.1111/jocd.12449>
30. Downs, C A, Bishop, E., Diaz-Cruz, M.S., Haghshenas, S.A., Stien, D., Rodrigues, A.M.S., Woodley, C.M., Sunyer-Caldú, A., Doust, S.N., Espero, W., Ward, G., Farhangmehr, A., Tabatabaee Samimi, S.M., Risk, M.J., Lebaron, P., DiNardo, J.C., 2022. Oxybenzone contamination from sunscreen pollution and its ecological threat to Hanauma Bay, Oahu, Hawaii, U.S.A. *Chemosphere* 291, 132880. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132880>
31. Downs, C. A., Diaz-Cruz, M.S., White, W.T., Rice, M., Jim, L., Punihaole, C., Dant, M., Gautam, K., Woodley, C.M., Walsh, K.O., Perry, J., Downs, E.M., Bishop, L., Garg, A., King, K., Paltin, T., McKinley, E.B., Beers, A.I., Anbumani, S., Bagshaw, J., 2022. Beach showers as sources of contamination for sunscreen pollution in marine protected areas and areas of intensive beach tourism in Hawaii, USA. *Journal of Hazardous Materials* 438, 129546.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129546>
32. Downs, C.A., Kramarsky-Winter, E., Segal, R., Fauth, J., Knutson, S., Bronstein, O., Ciner, F.R., Jeger, R., Lichtenfeld, Y., Woodley, C.M., Pennington, P., Cadenas, K., Kushmaro, A., Loya, Y., 2016. Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands. *Arch Environ Contam Toxicol* 70, 265–288.  
<https://doi.org/10.1007/s00244-015-0227-7>
33. Duis, K., Junker, T., Coors, A., 2022. Review of the environmental fate and effects of two UV filter substances used in cosmetic products. *Science of The Total Environment* 808, 151931.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151931>
34. Farris, P.K., Valacchi, G., 2022. Ultraviolet Light Protection: Is It Really Enough? *Antioxidants* 11, 1484. <https://doi.org/10.3390/antiox11081484>

35. Fivenson, D., Sabzevari, N., Qiblawi, S., Blitz, J., Norton, B.B., Norton, S.A., 2021. Sunscreens: UV filters to protect us: Part 2-Increasing awareness of UV filters and their potential toxicities to us and our environment. *International Journal of Women's Dermatology, Special Issue on Climate Change & Dermatology* 7, 45–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2020.08.008>
36. Gago-Ferrero, P., Díaz-Cruz, M.S., Barceló, D., 2015. UV filters bioaccumulation in fish from Iberian river basins. *Sci Total Environ* 518–519, 518–525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.026>
37. Ge, J., Huang, D., Han, Z., Wang, Xiaolin, Wang, Xinghao, Wang, Z., 2019. Photochemical behavior of benzophenone sunscreens induced by nitrate in aquatic environments. *Water Research* 153, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.023>
38. Ghazaei, F., Shariati, M., 2020. Effects of titanium nanoparticles on the photosynthesis, respiration, and physiological parameters in *Dunaliella salina* and *Dunaliella tertiolecta*. *Protoplasma* 257, 75–88. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01420-z>
39. Giokas, D.L., Salvador, A., Chisvert, A., 2007. UV filters: From sunscreens to human body and the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 26, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2007.02.012>
40. Goon, P., Banfield, C., Bello, O., Levell, N.J., 2021. Skin cancers in skin types IV–VI: Does the Fitzpatrick scale give a false sense of security? *Skin Health and Disease* 1, e40. <https://doi.org/10.1002/ski2.40>
41. Grandi, C., Borra, M., Militello, A., Polichetti, A., 2016. Impact of climate change on occupational exposure to solar radiation. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità* 52, 343–356.
42. Guan, L.L., Lim, H.W., Mohammad, T.F., 2021. Sunscreens and Photoaging: A Review of Current Literature. *Am J Clin Dermatol* 22, 819–828. <https://doi.org/10.1007/s40257-021-00632-5>
43. Haman, C., Dauchy, X., Rosin, C., Munoz, J.-F., 2015. Occurrence, fate and behavior of parabens in aquatic environments: A review. *Water Research* 68, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.030>
44. Hanigan, D., Truong, L., Schoepf, J., Nosaka, T., Mulchandani, A., Tanguay, R.L., Westerhoff, P., 2018. Trade-offs in ecosystem impacts from nanomaterial versus organic chemical ultraviolet filters in sunscreens. *Water Research* 139, 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.062>

45. Hayden, C.G.J., Cross, S.E., Anderson, C., Saunders, N.A., Roberts, M.S., 2005. Sunscreen penetration of human skin and related keratinocyte toxicity after topical application. *Skin Pharmacol Physiol* 18, 170–174. <https://doi.org/10.1159/000085861>
46. He, T., Tsui, M.M.P., Mayfield, A.B., Liu, P.-J., Chen, T.-H., Wang, L.-H., Fan, T.-Y., Lam, P.K.S., Murphy, M.B., 2023. Organic ultraviolet filter mixture promotes bleaching of reef corals upon the threat of elevated seawater temperature. *Science of The Total Environment* 876, 162744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162744>
47. Holliman, G., Lowe, D., Cohen, H., Felton, S., Raj, K., 2017. Ultraviolet Radiation-Induced Production of Nitric Oxide: A multi-cell and multi-donor analysis. *Scientific Reports* 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11567-5>
48. Hughes, T.P., Barnes, M.L., Bellwood, D.R., Cinner, J.E., Cumming, G.S., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., van de Leemput, I.A., Lough, J.M., Morrison, T.H., Palumbi, S.R., van Nes, E.H., Scheffer, M., 2017. Coral reefs in the Anthropocene. *Nature* 546, 82–90. <https://doi.org/10.1038/nature22901>
49. Jacobsen, J.K., Massey, L., Gulland, F., 2010. Fatal ingestion of floating net debris by two sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Mar Pollut Bull* 60, 765–767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.008>
50. Janani, B., Raju, L.L., Thomas, A.M., Alyemeni, M.N., Dudin, G.A., Wijaya, L., Alsahli, A.A., Ahmad, P., Khan, S.S., 2021. Impact of bovine serum albumin – A protein corona on toxicity of ZnO NPs in environmental model systems of plant, bacteria, algae and crustaceans. *Chemosphere* 270, 128629. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128629>
51. Jesus, A., Augusto, I., Duarte, J., Sousa, E., Cidade, H., Cruz, M.T., Lobo, J.M.S., Almeida, I.F., 2022. Recent Trends on UV filters. *Applied Sciences (Switzerland)* 12. <https://doi.org/10.3390/app122312003>
52. Keller, A.A., Vosti, W., Wang, H., Lazareva, A., 2014. Release of engineered nanomaterials from personal care products throughout their life cycle. *Journal of Nanoparticle Research* 16, 2489. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2489-9>
53. Knowlton, N., 2001. The future of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98, 5419–5425. <https://doi.org/10.1073/pnas.091092998>
54. Labille, J., Catalano, R., Slomberg, D., Motellier, S., Pinsino, A., Hennebert, P., Santaella, C., Bartolomei, V., 2020. Assessing Sunscreen Lifecycle to Minimize Environmental Risk Posed by Nanoparticulate UV-Filters – A Review for Safer-by-Design Products. *Frontiers in Environmental Science* 8.

55. Lamare, M., Burritt, D., Lister, K., 2011. Chapter Four - Ultraviolet Radiation and Echinoderms: Past, Present and Future Perspectives, in: Lesser, M. (Ed.), *Advances in Marine Biology*. Academic Press, pp. 145–187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385536-7.00004-2>
56. Latha, M.S., Martis, J., Shobha, V., Sham Shinde, R., Bangera, S., Krishnankutty, B., Bellary, S., Varughese, S., Rao, P., Naveen Kumar, B.R., 2013. Sunscreening Agents. *J Clin Aesthet Dermatol* 6, 16–26.
57. Lebaron, P., 2022. UV filters and their impact on marine life: state of the science, data gaps, and next steps. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* 36, 22–28. <https://doi.org/10.1111/jdv.18198>
58. Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., Zhang, H., 2021. Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. *Bull Environ Contam Toxicol* 107, 577–584. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02820-1>
59. Li, Y., Qiao, X., Zhou, C., Zhang, Y., Fu, Z., Chen, J., 2016. Photochemical transformation of sunscreen agent benzophenone-3 and its metabolite in surface freshwater and seawater. *Chemosphere* 153, 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.080>
60. Lozano, C., Matallana-Surget, S., Givens, J., Nouet, S., Arbuckle, L., Lambert, Z., Lebaron, P., 2020. Toxicity of UV filters on marine bacteria: Combined effects with damaging solar radiation. *Science of The Total Environment* 722, 137803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137803>
61. MacVicar, A., Stoppelmann, S.J., Broomes, T.J., McCoy, S.J., 2022. Gulf of Mexico coralline algae are robust to sunscreen pollution. *Marine Pollution Bulletin* 181, 113864. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113864>
62. Mitchelmore, C.L., He, K., Gonsior, M., Hain, E., Heyes, A., Clark, C., Younger, R., Schmitt-Kopplin, P., Feerick, A., Conway, A., Blaney, L., 2019. Occurrence and distribution of UV-filters and other anthropogenic contaminants in coastal surface water, sediment, and coral tissue from Hawaii. *Sci Total Environ* 670, 398–410. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.034>
63. Moeller, M., Pawlowski, S., Petersen-Thiery, M., Miller, I.B., Nietzer, S., Heisel-Sure, Y., Kellermann, M.Y., Schupp, P.J., 2021. Challenges in Current Coral Reef Protection – Possible Impacts of UV Filters Used in Sunscreens, a Critical Review. *Frontiers in Marine Science* 8.
64. Molins-Delgado, D., Máñez, M., Andreu, A., Hiraldo, F., Eljarrat, E., Barceló, D., Díaz-Cruz, M.S., 2017. A Potential New Threat to Wild Life: Presence of UV Filters in Bird Eggs from a Preserved Area. *Environ Sci Technol* 51, 10983–10990. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03300>

65. Molins-Delgado, D., Muñoz, R., Nogueira, S., Alonso, M.B., Torres, J.P., Malm, O., Ziolli, R.L., Hauser-Davis, R.A., Eljarrat, E., Barceló, D., Díaz-Cruz, M.S., 2018. Occurrence of organic UV filters and metabolites in lebranche mullet (*Mugil liza*) from Brazil. *Science of The Total Environment* 618, 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.033>
66. Muz, M., Escher, B.I., Jahnke, A., 2020. Bioavailable Environmental Pollutant Patterns in Sediments from Passive Equilibrium Sampling. *Environ. Sci. Technol.* 54, 15861–15871. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05537>
67. Nakata, H., Murata, S., Filatreau, J., 2009. Occurrence and Concentrations of Benzotriazole UV Stabilizers in Marine Organisms and Sediments from the Ariake Sea, Japan. *Environ. Sci. Technol.* 43, 6920–6926. <https://doi.org/10.1021/es900939j>
68. Narla, S., Lim, H.W., 2020. Sunscreen: FDA regulation, and environmental and health impact. *Photochem Photobiol Sci* 19, 66–70. <https://doi.org/10.1039/c9pp00366e>
69. Ngoc, L.T.N., Tran, V.V., Moon, J.-Y., Chae, M., Park, D., Lee, Y.-C., 2019. Recent Trends of Sunscreen Cosmetic: An Update Review. *Cosmetics* 6, 64. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040064>
70. Nohynek, G.J., Dufour, E.K., Roberts, M.S., 2008. Nanotechnology, Cosmetics and the Skin: Is There a Health Risk? *SPP* 21, 136–149. <https://doi.org/10.1159/000131078>
71. Osterwalder, U., Herzog, B., 2009. Sun protection factors: world wide confusion. *British Journal of Dermatology* 161, 13–24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2009.09506.x>
72. Osterwalder, U., Sohn, M., Herzog, B., 2014. Global state of sunscreens. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 30, 62–80. <https://doi.org/10.1111/phpp.12112>
73. Ouchene, L., Litvinov, I.V., Netchiporouk, E., 2019. Hawaii and Other Jurisdictions Ban Oxybenzone or Octinoxate Sunscreens Based on the Confirmed Adverse Environmental Effects of Sunscreen Ingredients on Aquatic Environments. *J Cutan Med Surg* 23, 648–649. <https://doi.org/10.1177/1203475419871592>
74. Pandika, M., 2018. Looking to Nature for New Sunscreens. *ACS Cent Sci* 4, 788–790. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.8b00433>

75. Pawlowski, S., Herzog, B., Sohn, M., Petersen-Thiery, M., Acker, S., 2021. EcoSun Pass: A tool to evaluate the ecofriendliness of UV filters used in sunscreen products. *Int J Cosmet Sci* 43, 201–210. <https://doi.org/10.1111/ics.12681>
76. Pereira, L., 2021. Macroalgae. *Encyclopedia* 1, 177–188. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010017>
77. Pham, D.N., Sokolov, E.P., Falfushynska, H., Sokolova, I.M., 2022. Gone with sunscreens: Responses of blue mussels (*Mytilus edulis*) to a wide concentration range of a UV filter ensulizole. *Chemosphere* 309, 136736. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136736>
78. Programme, U.N.E., 2016. *Marine Plastic Debris and Microplastics: Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change*.
79. Rai, R., Shanmuga, S.C., Srinivas, C., 2012. Update on Photoprotection. *Indian J Dermatol* 57, 335–342. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.100472>
80. Reynolds, C.S., 2006. *The Ecology of Phytoplankton, Ecology, Biodiversity and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
81. Rodríguez-Romero, A., Ruiz-Gutiérrez, G., Viguri, J.R., Tovar-Sánchez, A., 2019. Sunscreens as a New Source of Metals and Nutrients to Coastal Waters. *Environmental Science and Technology* 53, 10177–10187. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02739>
82. Ruiz-Gutiérrez, G., Rodríguez-Romero, A., Tovar-Sánchez, A., Viguri Fuente, J.R., 2022. Analysis and Modeling of Sunscreen Ingredients' Behavior in an Aquatic Environment. *Oceans* 3, 340–363. <https://doi.org/10.3390/oceans3030024>
83. Sánchez-Quiles, D., Tovar-Sánchez, A., 2015. Are sunscreens a new environmental risk associated with coastal tourism? *Environment International* 83, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.007>
84. Saner, E., 2021. Lotion in the ocean: is your sunscreen killing the sea? *The Guardian*.
85. Santander Ballestín, S., Luesma Bartolomé, M.J., 2023. Toxicity of Different Chemical Components in Sun Cream Filters and Their Impact on Human Health: A Review. *Applied Sciences* 13, 712. <https://doi.org/10.3390/app13020712>

86. Scheele, A., Sutter, K., Karatum, O., Danley-Thomson, A.A., Redfern, L.K., 2023. Environmental impacts of the ultraviolet filter oxybenzone. *Science of The Total Environment* 863, 160966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160966>
87. Scheil, V., Triebkorn, R., Köhler, H.-R., 2008. Cellular and Stress Protein Responses to the UV Filter 3-Benzylidene Camphor in the Amphipod Crustacean *Gammarus fossarum* (Koch 1835). *Arch Environ Contam Toxicol* 54, 684–689. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-9072-7>
88. Schneider, S.L., Lim, H.W., 2019a. A review of inorganic UV filters zinc oxide and titanium dioxide. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 35, 442–446. <https://doi.org/10.1111/phpp.12439>
89. Schneider, S.L., Lim, H.W., 2019b. Review of environmental effects of oxybenzone and other sunscreen active ingredients. *Journal of the American Academy of Dermatology* 80, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.06.033>
90. Shinn, H., n.d. The Effects of Ultraviolet Filters and Sunscreen on Corals and Aquatic Ecosystems. <https://doi.org/10.25923/HHRP-XQ11>
91. Silva, A.C.P., Santos, B.A.M.C., Castro, H.C., Rodrigues, C.R., 2022. Ethylhexyl methoxycinnamate and butyl methoxydibenzoylmethane: Toxicological effects on marine biota and human concerns. *J Appl Toxicol* 42, 73–86. <https://doi.org/10.1002/jat.4210>
92. Slomberg, D.L., Catalano, R., Bartolomei, V., Labille, J., 2021. Release and fate of nanoparticulate TiO<sub>2</sub> UV filters from sunscreen: Effects of particle coating and formulation type. *Environmental Pollution* 271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116263>
93. Sobanska, A.W., Pyzowski, J., 2012. Quantification of sunscreen ethylhexyl triazone in topical skin-care products by normal-phase TLC/densitometry. *ScientificWorldJournal* 2012, 807516. <https://doi.org/10.1100/2012/807516>
94. Sohn, M., Krus, S., Schnyder, M., Acker, S., Petersen-Thiery, M., Pawlowski, S., Herzog, B., n.d. How to Overcome the New Challenges in Sun Care.
95. Stiefel, C., Schwack, W., 2015. Photoprotection in changing times - UV filter efficacy and safety, sensitization processes and regulatory aspects. *Int J Cosmet Sci* 37, 2–30. <https://doi.org/10.1111/ics.12165>
96. Subramaniam, V.D., Prasad, S.V., Banerjee, A., Gopinath, M., Murugesan, R., Marotta, F., Sun, X.-F., Pathak, S., 2019. Health hazards of nanoparticles:



- understanding the toxicity mechanism of nanosized ZnO in cosmetic products. *Drug and Chemical Toxicology* 42, 84–93.  
<https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1491987>
97. Suhendra, E., Chang, C.-H., Hou, W.-C., Hsieh, Y.-C., 2020. A Review on the Environmental Fate Models for Predicting the Distribution of Engineered Nanomaterials in Surface Waters. *International Journal of Molecular Sciences* 21, 4554. <https://doi.org/10.3390/ijms21124554>
98. Tampucci, S., Tofani, G., Chetoni, P., Di Gangi, M., Mezzetta, A., Paganini, V., Burgalassi, S., Pomelli, C.S., Monti, D., 2022. Sporopollenin Microcapsule: Sunscreen Delivery System with Photoprotective Properties. *Pharmaceutics* 14. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14102041>
99. Teoh, M.-L., Sanusi, N.S., Wong, C.-Y., 2020. Effects of the sunscreen ultraviolet filter, oxybenzone, on green microalgae 31.
100. Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
101. Tovar-Sánchez, A., Sánchez-Quiles, D., Basterretxea, G., Benedé, J.L., Chisvert, A., Salvador, A., Moreno-Garrido, I., Blasco, J., 2013. Sunscreen Products as Emerging Pollutants to Coastal Waters. *PLOS ONE* 8, e65451. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065451>
102. Tsui, M.M.P., Leung, H.W., Wai, T.-C., Yamashita, N., Taniyasu, S., Liu, W., Lam, P.K.S., Murphy, M.B., 2014. Occurrence, distribution and ecological risk assessment of multiple classes of UV filters in surface waters from different countries. *Water Research* 67, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.013>
103. Van der Rhee, H.J., de Vries, E., Coebergh, J.W., 2016. Regular sun exposure benefits health. *Medical Hypotheses* 97, 34–37. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2016.10.011>
104. Varrella, S., Danovaro, R., Corinaldesi, C., 2022. Assessing the eco-compatibility of new generation sunscreen products through a combined microscopic-molecular approach. *Environmental Pollution* 314, 120212. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120212>
105. Wang, Z.L., 2004. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. *J. Phys.: Condens. Matter* 16, R829. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/16/25/R01>

106. Wanninger, A., Wollesen, T., 2019. The evolution of molluscs. *Biol Rev Camb Philos Soc* 94, 102–115. <https://doi.org/10.1111/brv.12439>
107. Watkins, Y.S.D., Sallach, J.B., 2021. Investigating the exposure and impact of chemical UV filters on coral reef ecosystems: Review and research gap prioritization. *Integr Environ Assess Manag* 17, 967–981. <https://doi.org/10.1002/ieam.4411>
108. Whitaker, J.C., 2017. The RF transmission systems handbook, The RF Transmission Systems Handbook. <https://doi.org/10.1201/9781420041132>
109. Yuan, S., Huang, J., Jiang, X., Huang, Y., Zhu, X., Cai, Z., 2022. Environmental Fate and Toxicity of Sunscreen-Derived Inorganic Ultraviolet Filters in Aquatic Environments: A Review. *Nanomaterials* 12, 699. <https://doi.org/10.3390/nano12040699>
110. Zhong, X., Downs, C.A., Li, Yuting, Zhang, Z., Li, Yiman, Liu, B., Gao, H., Li, Q., 2020. Comparison of toxicological effects of oxybenzone, avobenzone, octocrylene, and octinoxate sunscreen ingredients on cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). *Science of The Total Environment* 714, 136879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136879>
111. Γεωργίου, Ε., Καρουάνου, Ν., Λεβαντόβσκι, Ν., Μιχαλοπούλου, Μ., Μυλωνά, Μ., Παπαντωνάκης, Ν., Σταματιάδη, Δ., Στράτζαλης, Ν., Σούπος, Χ., 2022. ΗΛΙΟΣ: ΤΟΦΩΤΕΙΝΟΜΑΣΑΣΤΕΡΙ. *Open Schools Journal for Open Science* 5. <https://doi.org/10.12681/osj.32316>
112. Γεωργόπουλος, Α., Παρασκευοπούλου, Ε., Μπίλιας, Κ., 2020. Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας. *Open Schools Journal for Open Science* 3. <https://doi.org/10.12681/osj.24343>
113. Χαλδούπης, Χ., (2015) Introduction to Atmospheric Physics. Ανάκτηση 14 Μαΐου 2023 από <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3273/9/Haldoupis-Final%20Book-June16-KOY.pdf>
114. <https://www.edae.gr/visitors/o-karkinos-tou-dermatos/>
115. Walsh K. (2015) UV radiation and the eye. Ανάκτηση 2 Μαρτίου 2023 από [https://www.jnjvisioncare.de/sites/default/files/public/emea/documents/tvc\\_i\\_uv\\_radiation\\_and\\_the\\_eye.pdf](https://www.jnjvisioncare.de/sites/default/files/public/emea/documents/tvc_i_uv_radiation_and_the_eye.pdf)
116. WHO (2022) Ultraviolet Key factors. Ανάκτηση 2 Μαρτίου 2023 από <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>

117. WHO (2002) Global Solar UV Index. Ανάκτηση 2 Μαρτίου 2023 από <https://www.who.int/publications/i/item/9241590076>
118. WHO (2019) IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. Ανάκτηση 19 Απριλίου 2023 από [https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/QA\\_ENG.pdf](https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/QA_ENG.pdf)
119. ECHA (2007) Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Regulation. Ανάκτηση 14 Μαΐου 2023 από <https://echa.europa.eu/el/information-on-chemicals>
120. EU (2022). Επικαιροποιημένος κανονισμός (ΕΚ) αριθ.1223/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. Ανάκτηση 14 Μαΐου 2023 από <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1223-20221217>