

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Καταγραφή Και Ανάλυση Των Διεθνών Συμφωνιών Για Τη
Μείωση Των Αερίων Που Επιδρούν Στην Τρύπα Του Όζοντος**

Ελεονώρα Παπαπάνου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Ευθύμιος Ζέρβας**

Μάιος 2019

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Καταγραφή Και Ανάλυση Των Διεθνών Συμφωνιών Για Τη
Μείωση Των Αερίων Που Επιδρούν Στην Τρύπα Του Όζοντος**

Ελεονώρα Παπαπάνου

**Επιβλέπων Καθηγητής
Ευθύμιος Ζέρβας**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2019

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Στην παρούσα ερευνητική εργασία έγινε η καταγραφή και η ανάλυση των διεθνών συμφωνιών : Σύμβαση της Βιέννης, Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ με τις Τροποποιήσεις του και των Ευρωπαϊκών Κανονισμών, που υιοθετήθηκαν για την μείωση των αερίων που επιδρούν στο φαινόμενο της τρύπας του όζοντος. Ο σκοπός ήταν, μέσω της αξιολόγησης των συμφωνιών και των αποτελεσμάτων τους στην αναστροφή του επικίνδυνου φαινομένου της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος, να αναδειχθούν τα πιθανά κενά των συμφωνιών για την αναγκαιότητα ή μη σύναψης νέων διακρατικών συμφωνιών για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Τα δεδομένα της παρούσας διατριβής προήλθαν από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία ενώ τα πλήρη κείμενα των συμφωνιών, εντοπίστηκαν στη νομοθεσία, σε επίσημους διαδικτυακούς τόπους. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των συμφωνιών, έγινε με κριτήρια : τις επιπτώσεις των μέτρων του ελέγχου της παραγωγής και κατανάλωσης των ODS, στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία, το ποσοστό συμμόρφωσης των μερών, την χρονική στιγμή της σύναψης της κάθε συμφωνίας και το αν οι συμφωνίες κατά τη δημιουργία τους υιοθέτησαν κάποια πρωτοποριακή αρχή. Από την αξιολόγηση των συμφωνιών προέκυψε ότι οι συμφωνίες ήταν επιτυχείς καθώς κατάφεραν τη σταδιακή κατάργηση του 98% των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον και η συμμόρφωση των μερών ήταν άνω του 98%. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του στρατοσφαιρικού όζοντος κατά 1-3% ανά δεκαετία από 2000, στην ανώτερη στρατόσφαιρα, εκτός των πολικών περιοχών και μικρή μείωση της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική, το μήνα Σεπτέμβριο. Τα μοντέλα πρόβλεψης προβλέπουν ότι η τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική αναμένεται να κλείσει σταδιακά και το ολικό όζον την περίοδο της άνοιξης να επιστρέψει στις τιμές του 1980 στη δεκαετία του 2060. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η κύρια συμφωνία για το όζον, μέσω της διαδικασίας των τροποποιήσεων του, αποτελεί το καταλληλότερο εργαλείο για λήψη μέτρων ώστε να αντιμετωπιστούν, οι παράγοντες που αναστέλλουν την ανάκτηση της στιβάδας και δεν έχουν αντιμετωπιστεί από τις ισχύουσες συμφωνίες, όπως: οι εκπομπές από τις «ODS banks», το παράνομο εμπόριο των ODS, οι άγνωστες πηγές CCl₄, το N₂O που αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εναπομένουσες ανθρωπογενείς απειλές για το στρατοσφαιρικό όζον και για το κλίμα, την αυξημένη παραγωγή και κατανάλωση των HCFCs στις αναπτυσσόμενες χώρες και τις εκπομπές από τις χρήσεις που εξαιρούνται.

Λέξεις κλειδιά: ozone layer, ozone and stratospheric chemistry, treaties for ozone, impacts of ozone depletion, Antarctic ozone hole, Ozone depleting substances, Vienna Convention, Montreal Protocol benefits κλπ.

Abstract

In the present research work, we have recorded and analyzed the following international agreements: Vienna Convention, Montreal Protocol with its Amendments and European Regulations, adopted for the reduction of ozone-depleting gases. The aim was to evaluate the agreements and their effects on the reversal of the dangerous phenomenon of ozone depletion in order to identify possible loopholes in the agreements, and, thereby, to examine whether new transnational agreements dealing with the phenomenon are necessary to be made or not. The data of this dissertation came from the Greek and international literature, while the full texts of the agreements were found on official web sites for legislation. The assessment of the results of the agreements was based on the following criteria: the impact of the control measures of ODS production and consumption on the environment, society and economy, the rate of the parties' compliance, the timing of each agreement, and whether the agreements have adopted a pioneering principle at the time of their creation. The evaluation of the agreements showed that the agreements were successful, as they managed to gradually repeal 98% of the ozone-depleting chemicals and the compliance of the parties was over 98%. This has resulted in an increase in stratospheric ozone by 1-3% per decade since 2000, in the upper stratosphere, excluding polar regions, and in a slight decrease in the ozone hole in Antarctic in September. Prediction models predict that the ozone hole in Antarctic is expected to close gradually, and the total ozone levels to fall down to the levels of 1980 in the 2060s. It was also found that Montreal Protocol, the main ozone agreement, through the process of its amendments, is the most appropriate taking-measures tool so as to deal with the factors that inhibit the recovery of the layer and which have not been addressed by the existing agreements, such as emissions from ODS banks, illegal trade in ODS, unknown sources of carbon tetrachloride CCl_4 , N_2O , which is one of the largest remaining man-made threats to stratospheric ozone and the climate, the production and consumption of HCFCs in developing countries and emissions from exempted uses.

Keywords: ozone layer, ozone and stratospheric chemistry, treaties for ozone, impacts of ozone depletion, Antarctic ozone hole, Ozone depleting substances, Vienna Convention, Montreal Protocol benefits etc.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iii
Abstract.....	iv
Κεφάλαιο 1	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Καταγραφή Του Προβλήματος.....	2
1.3 Σημασία Και Αναγκαιότητα Της Μελέτης	2
1.4 Σκοπός Και Στόχος Της Μελέτης	3
Κεφάλαιο 2 - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Το Όζον Στην Ατμόσφαιρα.....	4
2.2.1 Συγκέντρωση Και Κατανομή Του Όζοντος Στην Ατμόσφαιρα.....	5
2.2.1.1 Μέτρηση Του Ατμοσφαιρικού Όζοντος	9
2.2.2 Το Όζον Στην Τροπόσφαιρα	11
2.2.3 Το Όζον Στην Στρατόσφαιρα.....	14
2.2.4 Μηχανισμοί Μείωσης Του Στρατοσφαιρικού Όζοντος	17
2.3 Η Τρύπα Του Όζοντος	20
2.3.1 Ιστορική Αναδρομή Του Φαινομένου Της ΤρύπαΤου όζοντος.....	20
2.3.1.1 Η Τρύπα Του Όζοντος Στην Ανταρκτική.....	22
2.3.1.2 Η Τρύπα Του Όζοντος Στην Αρκτική	25
2.3.2 Η Εξέλιξη Του Φαινομένου Και Η Στιβάδα Του Όζοντος Σήμερα.....	26
2.4 Παραγωγή Και Χρήσεις Των Αερίων Που Μειώνουν Τη Στιβάδα Του Όζοντος	28
2.5 Επιπτώσεις Της Μείωσης Της Στιβάδας Του Όζοντος	31
2.5.1 Επιπτώσεις Στην Ανθρώπινη Υγεία.....	32
2.5.1.1 Μάτια.....	32
2.5.1.2 Δέρμα.....	33
2.5.2 Επιπτώσεις Στην Πανίδα	34
2.5.3 Επιπτώσεις Στα Χερσαία Φυτά	35
2.5.4 Επιπτώσεις Στα Υδάτινα Οικοσυστήματα.....	35
2.5.5 Επιπτώσεις Στην Ποιότητα Του Αέρα Και Το Κλίμα.....	37
Κεφάλαιο 3 - Μεθοδολογία	39
3.1 Σκοπός –Στόχοι.....	39
3.2 Ερευνητικό Ερώτημα.....	39
3.3 Σχεδιασμός.....	40
3.4 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων – Ανάλυσης Αποτελεσμάτων	43

Κεφάλαιο 4 - Καταγραφή Και Ανάλυση Των Συμφωνιών.....	45
4.1 Διεθνές Πλαίσιο-Συμβάσεις Και Πρωτόκολλα.....	45
4. 1.1 Σύμβαση Της Βιέννης.....	46
4. 2 Πρωτόκολλο Του Μόντρεαλ.....	48
4.2.1 Χημικές Ουσίες Που Υπόκεινται Σε Έλεγχο - Μέτρα Ελέγχου Του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.....	49
4.2.2 Τροποποίηση του Λονδίνου	52
4.2.3 Τροποποίηση της Κοπεγχάγης.....	55
4.2.4 Προσαρμογές Του Πρωτοκόλλου Στην Βιέννη Το 1995	60
4.2.5 Τροποποίηση Του Μόντρεαλ.....	60
4.2.6 Τροποποίηση Του Πεκίνου	62
4.2.7 Προσαρμογές Του Πρωτοκόλλου Στο Μόντρεαλ 2007	64
4.2.8 Τροποποίηση Του Κιγκάλι.....	64
4.2.9 Κανονισμοί Ευρωπαϊκής Ένωσης- Εθνική Νομοθεσία	69
4.3 Αποτελέσματα Της Εφαρμογής Των Συμφωνιών Για Την Προστασία Της Στιβάδας Του Όζοντος.....	72
4.3.1 Οι Χημικές Ουσίες Που Καταστρέφουν Τη Στιβάδα Του Όζοντος Στην Ατμόσφαιρα Μετά Την Εφαρμογή Των Συμφωνιών.....	73
4.3.2 Η Τρύπα Του Όζοντος Μετά Την Εφαρμογή Των Συμφωνιών	79
4.3.3 Προβλέψεις Για Την Στιβάδα Του Όζοντος	81
Κεφάλαιο 5 - Συζήτηση Και Αξιολόγηση Των Συμφωνιών - Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	84
5. 1 Συζήτηση - Αξιολόγηση Των Συμφωνιών Για Την Προστασία Της Στιβάδας Του Όζοντος.....	84
5.1.1 Συζήτηση - Αξιολόγηση της Σύμβασης της Βιέννης	84
5.2.2 Συζήτηση-Αξιολόγηση Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του	85
5.2.2.1 Πλεονεκτήματα Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του.....	86
5.2.2.2 Μειονεκτήματα Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του.....	92
5.2 Συμπεράσματα.....	96
5.3 Προτάσεις.....	98
Βιβλιογραφία	101

Πίνακες

Διαγραμμάτων / Πινάκων / Σχημάτων / Εικόνων

Διάγραμμα 1.1 : Η θερμοκρασία στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας	7
Διάγραμμα 1.2 : Η συγκέντρωση του όζοντος μεταβάλλεται με το ύψος.....	8
Διάγραμμα 1.3 : Παραγωγή τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού όζοντος (O ₃).....	13
Διάγραμμα 1.4 : Μετρήσεις του ολικού ατμοσφαιρικού όζοντος το μήνα Οκτώβριο από όργανα: α) στο έδαφος στο σταθμό Halley β) TOMS και γ) OMI.....	22
Διάγραμμα 1.5 : Μεταβολές του όζοντος.....	25
Διάγραμμα 4.1 : Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των ODS και οι προβλέψεις για το μέλλον.....	73
Διάγραμμα 4.2 : Ποσοστιαία κατανάλωση σε τόνους ODP, των υπό έλεγχο ουσιών ODS, σε σχέση με την κατανάλωση των του 1986, για την περίοδο 1986-2016. Με κόκκινο απεικονίζονται τα δεδομένα για τα κράτη της Ε.Ε. και λαδί τα ποσοστά παγκοσμίως.....	74
Διαγράμματα 4.3 : Οι συγκεντρώσεις των ODS : CFC-11, CFC-12, CFC-113 και HCFC-22 για την περίοδο 1965 έως 2030. Οι συμπαγές γραμμές παρουσιάζουν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις (1965-2017) και οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα προβλεπόμενα δεδομένα.....	75
Διάγραμμα 4.4 : Παγκόσμια ετήσια παραγωγή CFC-11 και οι παγκόσμιες ετήσιες εκπομπές CFC-11	76
Διάγραμμα 4.5 : Συνολικές εκπομπές χλωροφθορανθράκων CFC-13 (α), CFC-114 (b) και CFC-115 (c) από ατμοσφαιρικές παρατηρήσεις	77
Διαγράμματα 4.6 : Οι συγκεντρώσεις των CH ₃ CCl ₃ , CCl ₄ , HCFC-141b and HCFC-142b για την περίοδο 1965 έως 2030. Οι συμπαγές γραμμές παρουσιάζουν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις (1965-2017) και οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα προβλεπόμενα δεδομένα (2018-2030).....	78
Διάγραμμα 4.7 : Η εξέλιξη του μέσου όρου H-1211, H-1301 και CH ₃ Br, από τα παγκόσμια δίκτυα NOAA (ανοιχτά χρώματα) και AGAGE (σκούρα χρώματα).....	79
Διάγραμμα 4.8 : Το ετήσιο μέγεθος της μέσης μηνιαίας όψης τρύπα του όζοντος (που ορίζεται ως η περιοχή όπου το συνολικό όριο του όζοντος είναι μικρότερο από 220 DU) από τις δορυφορικές παρατηρήσεις TOMS / OMI και τις προσομοιώσεις μοντέλων. Απεικονίζονται επίσης, οι τάσεις στις παρατηρήσεις TOMS/ OMI (έντονη διακεκομμένη μαύρη γραμμή) και οι υπολογισμοί μοντέλου chem-dyn-vol (έντονη διακεκομμένη κόκκινη γραμμή) από το 2000 έως το 2015.....	81
Διάγραμμα 5.1 : Επίδραση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ και των τροποποιήσεων του στα επίπεδα του ατμοσφαιρικού αλογόνου.....	96

Πίνακας 4.1 : Χημικές ουσίες που επηρεάζουν την στιβάδα του όζοντος.....	48
Πίνακας 4.2 : Ελεγχόμενες ουσίες σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ	49
Πίνακα 4.3 : Οι νέες κατηγορίες ουσιών, που τίθενται υπό έλεγχο με την Τροποποίηση του Λονδίνου	53
Πίνακας 4.4 : Ουσίες που τίθενται υπό έλεγχο, σύμφωνα με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης	57
Πίνακας 4.5 : Προσθήκη του βρωμοχλωρομεθανίου στις υπό έλεγχο ουσίες, σύμφωνα με την Τροποποίηση του Πεκίνου.....	63
Πίνακας 4.6: Οι υδροφθορανθράκες (HFC) που τίθενται υπό έλεγχο με την Τροποποίηση του Κιγκάλι	65
Πίνακας 4.7 : Οι υπό έλεγχο ουσίες της Ομάδας I του Παραρτήματος Α του Πρωτοκόλλου, όπως συμπληρώθηκε με την Τροποποίηση του Κιγκάλι.....	66
Πίνακας 4.8 : Οι υπό έλεγχο ουσίες της Ομάδας I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου, όπως συμπληρώθηκε με την Τροποποίηση του Κιγκάλι	66
Πίνακας 4.9 : Χρονοδιαγράμματα μείωσης της κατανάλωσης ή παραγωγής των HFC των αναπτυσσόμενων χωρών.....	68
Σχήμα 1.1 : Το μόριο του όζοντος.....	5
Σχήμα 1.2 : Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία UV στο έδαφος.....	9
Σχήμα 1.3: Παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος.....	13
Σχήμα 1.4 : Μηχανισμός παραγωγής όζοντος στην στρατόσφαιρα.....	15
Σχήμα 1.5 : Χημικές ουσίες που καταστρέφουν το όζον (αριστερά), παράγονται στην τροπόσφαιρα και μετατρέπονται σε αντιδραστικά αλογόνα (δεξιά) στη στρατόσφαιρα.....	28
Εικόνα 1.1 : Μέτρηση του συνολικού όζοντος μέσω ολόκληρης της ατμοσφαιρικής στήλης.....	5
Εικόνα 1.2 : Φασματοφωτόμετρο όζοντος Dobson.....	10
Εικόνα 1.3 : Μέση πυκνότητα στήλης όζοντος 3 ημερών (σε μονάδες Dobson) στην Ανταρκτική (περίοδος άνοιξης) από το 1979 έως το 2010 που δείχνει την εξέλιξη της τρύπας του όζοντος. Η μωβ περιοχή υποδεικνύει την περιοχή της τρύπας του όζοντος.....	23
Εικόνα 1.4 : Μέση πυκνότητα στήλης όζοντος κατά το μήνα Μάρτιο (σε μονάδες Dobson) στην Αρκτική από το 1979 έως το 2014.....	25

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AFEAS :	Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study	Μελέτη για την περιβαλλοντική αποδοχή των εναλλακτικών φθορανθράκων
BCC	Basal Cell Carcinoma	Βασικοκυτταρικό καρκίνωμα
CFCs	Chlorofluorocarbons	Χλωροφθοράνθρακες
CMM	Cutaneous Malignant Melanoma	Μελάνωμα
CCMI	Chemistry – Climate Model Initiative	Πρωτοβουλία μοντέλων πρόβλεψης του κλίματος
CCMs	Chemistry – Climate Models	Μοντέλα πρόβλεψης του κλίματος
CGER	Center Global Environment Research	Διεθνές Κέντρο Ερευνών για το Περιβάλλον
DU	Dobson Unit	Μονάδα μέτρησης του όζοντος
EE	-	Ευρωπαϊκή Επιτροπή
EEA	European Environment Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
EESC	Equivalent Effective Stratospheric Chlorine	Ισοδύναμο αποτελεσματικό στρατοσφαιρικό χλώριο
EPA	Environmental Protection Agency	Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ
IPCC	Inter governmental Panel on Climate Change	Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος
GHGs	Green House Gases	Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου
Halons	-	Βρωμοφθοράνθρακες
HBFCs	Hydrobromofluorocarbons	Υδροβρωμοφθοράνθρακες
HCFCs	Hydrochlorofluorocarbons	Υδροχλωροφθοράνθρακες
MFMP	Multilateral Fund Montreal Protocol	Πολυμερές Ταμείο για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Εθνική υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος
NMHCs	Nonmethane hydrocarbons	Μη μεθανιούχοι υδρογονάνθρακες
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	Εθνική Ωκεανογραφική και Ατμοσφαιρική Υπηρεσία των Ηνωμένων πολιτειών
NOx	Oxides of nitrogen	Οξειδία του αζώτου
ODP	Ozone Depleting Potential	Δυναμικό καταστροφής όζοντος
ODSs	Ozone Depleting Substances	Ουσίες που μειώνουν το όζον
PSCs	Polar Stratospheric Clouds	Πολικά Στρατοσφαιρικά Νέφη
UNDP	United Nations Development Programme	Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών
UNEP	United Nations Environmental Programme	Πρόγραμμα για το Περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization	Οργανισμός Βιομηχανικής Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών
VOC	Volatile Organic Compounds	Πτητικές οργανικές ενώσεις
WMO	World Meteorological Organization	Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός
WB	World Bank	Παγκόσμια Τράπεζα
ΥΠΕΚΑ	-	Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η προστασία της στιβάδας του όζοντος αποτελεί ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό θέμα, η σοβαρότητα του οποίου, αναγνωρίζεται από τη διεθνή κοινότητα στα τέλη της δεκαετίας του '70.

Ως στιβάδα του όζοντος, εννοούμε ένα στρώμα της ατμόσφαιρας όπου το όζον βρίσκεται σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει πουθενά μια καθαρή στιβάδα-στρώμα όζοντος, αλλά πρόκειται για μια διάχυτη περιοχή της ατμόσφαιρας, όπου μεταξύ των άλλων συστατικών της υπάρχει και το όζον. Πρόκειται για ένα τοξικό, ερεθιστικό αέριο και είναι ευτυχές το γεγονός, ότι η συγκέντρωσή του στην επιφάνεια της Γης, είναι πολύ χαμηλότερη από ότι στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου και εντοπίζεται η στιβάδα του όζοντος (Herschey, et al., 2016). Το αραιό, αλλά εξαιρετικά παχύ, στρώμα όζοντος αποτελεί την ασπίδα προστασίας της γης από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία.

Οι επιστήμονες, ήδη από τα μέσα του 1960, άρχισαν να υποπτεύονται ότι ρύποι από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, με αποτέλεσμα ολοένα και περισσότερη υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία να φθάνει στην επιφάνεια της γης. Οι επιπτώσεις της αυξημένης ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης, δεν ήταν μέχρι τότε ιδιαίτερα γνωστές, όμως άρχισαν να αναγνωρίζονται κάποιες αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Edward, 1997). Αργότερα, μετά από σειρά ερευνών και μελετών, αποδεικνύεται ότι η αυξημένη υπεριώδης ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, έχει πολύ βλαβερές επιπτώσεις στους ανθρώπους, στα ζώα, στα φυτά, στους μικροοργανισμούς, στα υλικά και στην ποιότητα του αέρα.

1.2 Καταγραφή του Προβλήματος

Το φαινόμενο της μείωσης της συγκέντρωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος, που παρατηρήθηκε πάνω από την Ανταρκτική και ονομάστηκε «τρύπα του όζοντος», αποτελεί ένα από τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα της άμεσης επίδρασης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην ατμόσφαιρα (Müller, 2009).

Επιστημονικές μελέτες κατέληξαν ότι η τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής προκαλείται από χημικές ουσίες που εκλύονται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs) που περιέχουν χλώριο και τους βρωμοφθοράνθρακες (halons) περιέχουν βρώμιο (Newman, 2010). Η επιβεβαίωση της σοβαρής εξάντλησης της στιβάδας του όζοντος, λόγω της συνεχιζόμενης απελευθέρωσης των χλωροφθορανθράκων: CFC-11 (CCl_3F) και CFC-12 (CCl_2F_2) αντίστοιχα, έγινε από τους Molina και Rowland το 1974 και έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα και μελέτη των χημικών ουσιών, που δύναται να μεταβάλουν τη φυσική και χημική σύσταση της στιβάδας του όζοντος και των επιπτώσεων αυτής της μεταβολής.

Στα πλαίσια αυτά, η διεθνής κοινότητα προέβη στη σύναψη διεθνών συμφωνιών με λήψη μέτρων για την μείωση των αερίων που προκαλούν την εξασθένηση της στιβάδας. Η καταγραφή και η αξιολόγηση των συμφωνιών για την προστασία του όζοντος, και η γενικότερη αποτίμηση των αποτελεσμάτων τους, θα αναδείξουν τα προβλήματα και τα πιθανά κενά των συμφωνιών για την καλύτερη αντιμετώπιση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος.

1.3 Σημασία Και Αναγκαιότητα Της Μελέτης

Το γεγονός ότι οι διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες συντέλεσαν στην δημιουργία του φαινομένου της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος, με σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, οδήγησαν στην σύναψη διεθνών συμφωνιών, οι οποίες θέσπισαν μέτρα προκειμένου να μειωθούν τα αέρια που επιδρούν στο φαινόμενο της τρύπας του όζοντος. Η αξιολόγηση των μέτρων που θεσπίστηκαν έχει πολύ μεγάλη σημασία, προκειμένου να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα των συμφωνιών στην αντιμετώπιση του φαινομένου, να

αναδειχθούν τα κενά για την αναγκαιότητα ή μη για σύναψη νέων διακρατικών συμφωνιών.

1.4 Σκοπός Και Στόχος Της Μελέτης

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή των διεθνών συμφωνιών: Σύμβαση της Βιέννης και του Πρωτόκολλου του Μόντρεαλ με τις τροποποιήσεις του για τη μείωση των αερίων που επιδρούν στην τρύπα του όζοντος. Θα γίνει αναφορά στους στόχους και τα μέτρα που συμφωνήθηκαν καθώς επίσης και κριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της υιοθέτησης των αρχών που συμφωνήθηκαν και εφαρμόστηκαν προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίτευξη του στόχου της αναστροφής του επικίνδυνου φαινομένου της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος και της μελλοντικής του εκτίμησης.

Κεφάλαιο 2

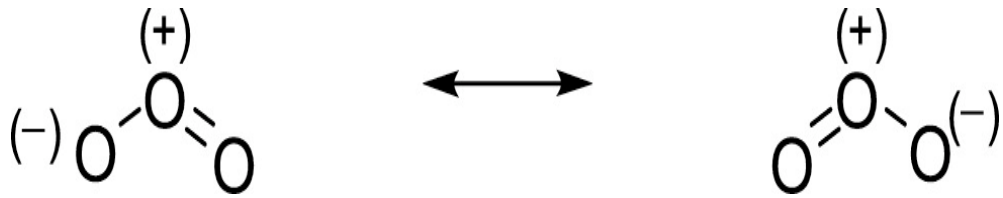
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η ύπαρξη του όζοντος στην ατμόσφαιρα παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ζωής στη γη καθώς δεσμεύει την βλαβερή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Η εξάντληση του αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα, το οποίο η διεθνής επιστημονική κοινότητα εδώ και μερικές δεκαετίες ερευνά συστηματικά και βάσει των μετρήσεων και των επιστημονικών ευρημάτων που προκύπτουν, καλεί τις πολιτικές ηγεσίες, να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για την μετρίαση και τελική εξάλειψη του φαινομένου.

2.2 Το Όζον Στην Ατμόσφαιρα

Το όζον O_3 είναι ένα χημικό στοιχείο που αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και αποτελεί μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου O_2 (Bailey, 2012). Δημιουργείται από το μοριακό οξυγόνο μέσω της δράσης ηλεκτρικών εκκενώσεων. Η πρώτη αναφορά για το όζον εντοπίζεται στον Όμηρο, τον 9^ο αιώνα π.Χ., όταν ανέφερε την οσμή που θυμίζει θείο μετά τον κεραυνό που έριξε ο Δίας. Το 1789, ο Martin Van Marum (1750-1837) προσδιόρισε το όζον ως «τη μυρωδιά της ηλεκτρικής ύλης». Το 1839, ο Ελβετός χημικός F. Schönbein προσπαθώντας να βρει από πού προέρχεται η οσμή από ορισμένες ηλεκτρικές και χημικές αντιδράσεις, ανακαλύπτει στο εργαστήριο το όζον και εξαιτίας της έντονης οσμής του, το ονόμασε με την ελληνική λέξη «όζω», που σημαίνει μυρίζω. Πρόκειται για ένα ασταθές αέριο, το οποίο σε θερμοκρασία δωματίου διασπάται σε οξυγόνο και κατά την θερμική διάσπαση του εκλύονται $34.18 \text{ kcal mol}^{-1}$. Έχει σημείο βρασμού στους $-111.9 \text{ }^\circ \text{C}$ και όταν υγροποιείται αποκτά κυανό χρώμα. Το μόριο του όζοντος, όπως απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω (σχήμα 1.1), παρουσιάζει το φαινόμενο της συμμετρίας γεγονός που δικαιολογεί κάποιες από τις ιδιότητες του: διπολική ροπή, τοξικότητα κλπ (Audran, Marque and Santelli, 2018).



Σχήμα 1.1 : Το μόριο του όζοντος

Η μονάδα μέτρησης του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας είναι το 1 Dobson, το οποίο εκφράζει τον αριθμό των μορίων του όζοντος που θα απαιτούνταν για να δημιουργηθεί ένα στρώμα καθαρού όζοντος, πάχους 0.01 χιλιοστών σε θερμοκρασία 0 °C και πίεση 1atm. Μία στήλη αέρα με συγκέντρωση όζοντος 1 μονάδα Dobson περιέχει 2.687×10^{16} μόρια όζοντος ανά τετραγωνικό εκατοστό της βάσης της στήλης αέρα. Ο μέσος όρος του ολικού όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 300 μονάδες Dobson που αντιστοιχεί σε στρώμα πάχους 3 χιλιοστών (ΝΑΣΑ, 2018).

2.2.1 Συγκέντρωση Και Κατανομή Του Όζοντος Στην Ατμόσφαιρα

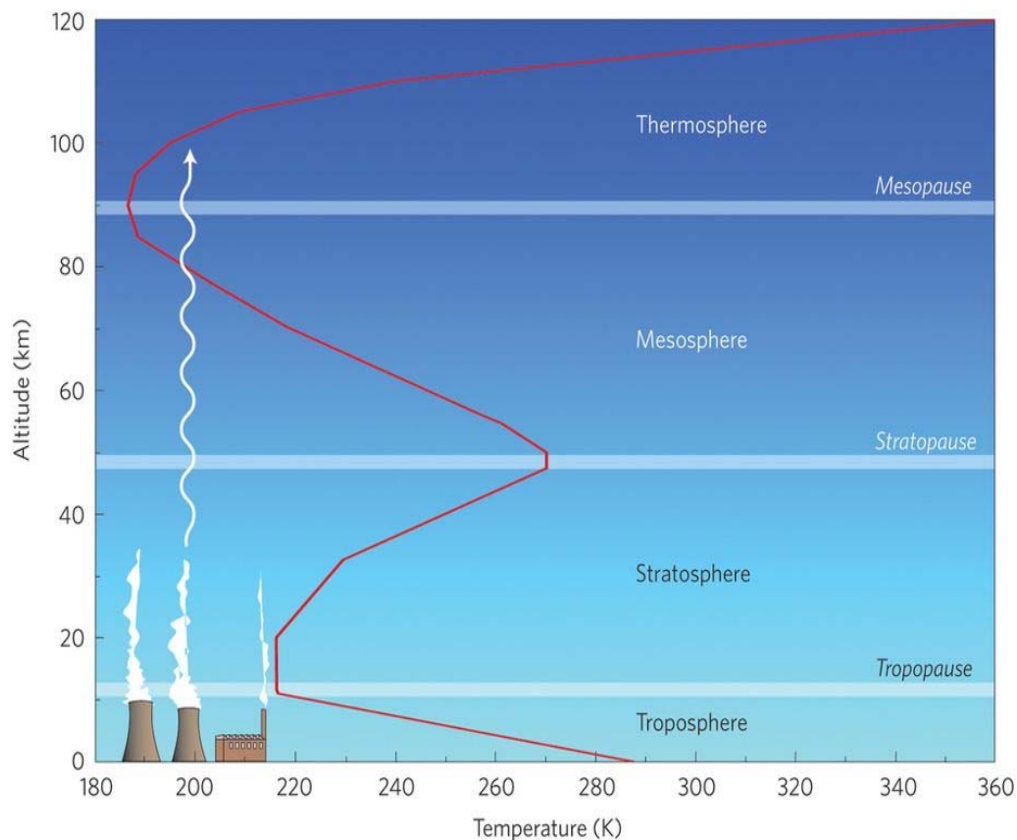
Η ατμόσφαιρα της γης, χωρίζεται σε έξι διαδοχικά στρώματα: Τροπόσφαιρα, Στρατόσφαιρα, Μεσόσφαιρα, Θερμόσφαιρα και την Εξώσφαιρα, οι θερμοκρασίες των οποίων, διαφοροποιούνται σε σχέση με το υψόμετρο (διάγραμμα 1.1).

Τα δύο πλησιέστερα στρώματα στην επιφάνεια της γης είναι η τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα, τα οποία έχουν διαφορετική χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες. Ωστόσο και στα δύο αυτά στρώματα, πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις παραγωγής και καταστροφής του όζοντος και παίζουν σημαντικό ρόλο στην τροποσφαιρική και στρατοσφαιρική χημεία. Το όζον της ατμόσφαιρας (εικόνα 1.1), ανάλογα σε ποιο από τα στρώματα της ατμόσφαιρας εμφανίζεται, διακρίνεται σε στρατοσφαιρικό, τροποσφαιρικό και επιφανειακό όζον (Nöel, 2012).



Εικόνα 1.1 : Μέτρηση του συνολικού όζοντος μέσω ολόκληρης της ατμοσφαιρικής στήλης (NASA, 2011).

Στην τροπόσφαιρα η θερμοκρασία ελαττώνεται με το ύψος, με αποτέλεσμα το στρώμα να καθίσταται πολύ ασταθές και να πραγματοποιείται πολύ γρήγορα κατακόρυφη ανάμιξη των στοιχείων της, με διάρκεια περίπου 1-2 μήνες. Στο άνω άκρο της τροπόσφαιρας, στην τροπόπαυση, εντοπίζονται οι μικρότερες θερμοκρασίες. Η τροπόπαυση δεν έχει σταθερό ύψος, καθώς στον ισημερινό το ύψος είναι 16-17 χλμ ενώ στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη το ύψος μειώνεται στα 10-12 χλμ. Η περιοχή που εκτείνεται πάνω από την τροπόπαυση είναι η στρατόσφαιρα με ύψος 50χλμ περίπου πάνω από την επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή στην περιοχή που ορίζεται από την τροπόπαυση μέχρι και 35 χλμ μέσα στην στρατόσφαιρα, αλλά στη συνέχεια αυξάνεται και φθάνει στους 0°C κοντά στα 50 χλμ, λόγω της μεγάλης ποσότητας όζοντος που υπάρχει εκεί. Το ανώτερο όριο της στρατόσφαιρας, το οποίο χαρακτηρίζεται από θερμική ισορροπία, ονομάζεται στρατόπαυση (Μπεάζη - Κασιώτη, 2015).

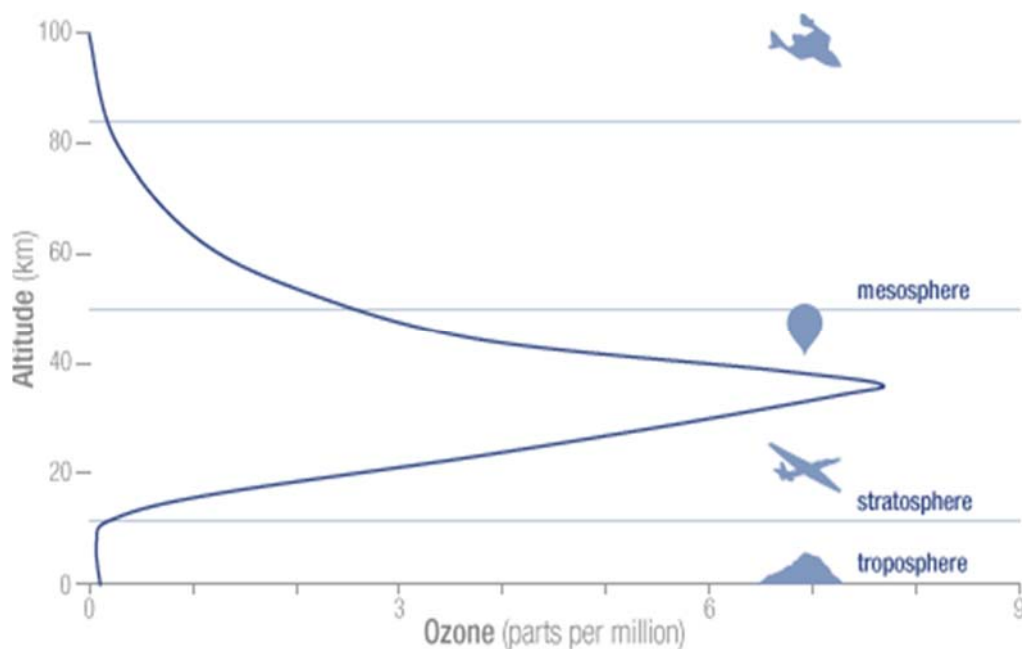


Διάγραμμα 1.1: Η θερμοκρασία στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας (Nöel, 2012).

Το όζον αποτελεί ένα από τα πολλά συστατικά της ατμόσφαιρας, τα οποία βρίσκονται σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, δηλαδή της τάξης του μικρότερου ή ίσου του 1 μέρους ανά εκατομμύριο μορίων αέρα. Συγκεκριμένα, υπάρχουν κατά μέσο όρο, περίπου 3.5 μόρια O_3 ανά 100 εκατομμύρια ατμοσφαιρικά μόρια. Εάν συμπιεζόταν όλη η ατμόσφαιρα σε πίεση 1atm γύρω από τη γη, θα δημιουργούνταν ζώνη ύψους 8.5 χλμ ενώ εάν το ίδιο γινόταν μόνο με το ατμοσφαιρικό όζον η ζώνη δεν θα ξεπερνούσε τα 0.3 εκατοστά (Chameides, 2001).

Η συνολική μάζα του όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι μόνο το 0.00006% της ατμόσφαιρας. Η μέγιστη συγκέντρωση όζοντος βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 32χλμ πάνω από την επιφάνεια της Γης. Σε αυτό το υψόμετρο, η συγκέντρωση του όζοντος μπορεί να φθάσει τα 15 ppm (0.0015%)(NASA,201). Η συγκέντρωση του όζοντος ποικίλλει ανάλογα με το ύψος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.2. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις, κατά μέσο όρο 8 μόρια όζοντος ανά ένα εκατομμύριο μορίων στην ατμόσφαιρα, εμφανίζονται μεταξύ υψομέτρου 30 και 35 χιλιομέτρων. Το 90% του

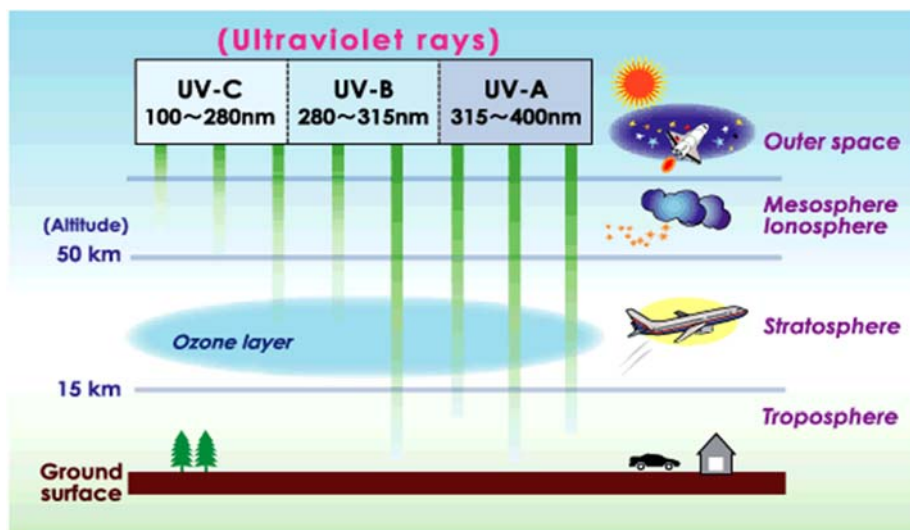
ατμοσφαιρικού όζοντος βρίσκεται στην στρατόσφαιρα, από το τέλος της τροπόσφαιρας μέχρι και 50 χλμ πάνω από την επιφάνεια της γης (Dessler, 2000).



Διάγραμμα 1.2 : Η συγκέντρωση του όζοντος μεταβάλλεται με το ύψος (NASA,2018).

Το όζον απορροφά πλήρως την γ-υπεριώδη ακτινοβολία UV-C (180-280nm) ενώ μόνο το 5% την β-υπεριώδους ακτινοβολίας UV-B (280-320nm) φθάνει στην επιφάνεια της γης. Η λιγότερο βλαβερή α-υπεριώδης ακτινοβολία UV-A (320-400nm) δεν απορροφάται ιδιαίτερα από το όζον και σχεδόν το 95% αυτής, φθάνει στην επιφάνεια της γης (σχήμα 1.2) (Aggarwal, et al., 2013).

Περίπου σε απόσταση 16-50 χλμ από την επιφάνεια της γης, το όζον δημιουργεί μια λεπτή ασπίδα που προστατεύει τη ζωή από την επιβλαβή ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία UV-B και συνεισφέρει στη διατήρηση της έμβιας ζωής. Το υπόλοιπο 10% του ατμοσφαιρικού όζοντος απαντάται κοντά στη επιφάνεια της γης την τροπόσφαιρα (UCAR, 2019).



Σχήμα 1.2: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία UV στο έδαφος (CGER, 2007).

2.2.1.1 Μέτρηση του ατμοσφαιρικού όζοντος

Η μέτρηση του όζοντος στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται με διάφορα επίγεια και αερομεταφερόμενα όργανα. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τεχνικών μέτρησης: οι άμεσες - επιτόπιες και οι τεχνικές τηλεπισκόπησης. Και οι δύο τεχνικές έχουν αποδειχθεί πολύτιμες για την παρακολούθηση του ατμοσφαιρικού όζοντος και ειδικότερα του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Οι άμεσες μετρήσεις αφορούν συστήματα τα οποία αντλούν ένα δείγμα αέρα το οποίο αναλύεται με τεχνικές είτε οπτικής φασματοσκοπίας, είτε ηλεκτροχημικές. Οι τεχνικές της οπτικής φασματοσκοπίας στηρίζονται στην υπεριώδη διαφορική απορρόφηση ενώ στις ηλεκτροχημικές μετράται το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται όταν το O_3 του δείγματος αέρα, αντιδρά με διάλυμα KI (οζοντοβολίδας). Τα όργανα μέτρησης του όζοντος που στηρίζονται στην τεχνική της οπτικής φασματοσκοπίας χρησιμοποιούνται, κυρίως, σε επίγεια δίκτυα μέτρησης του όζοντος, αλλά και σε αερομεταφερόμενα συστήματα (εμπορικά αεροπλάνα που εκτελούν υπερατλαντικές πτήσεις, είτε ερευνητικά αεροπλάνα). Το φασματοφωτόμετρο όζοντος Dobson (εφευρέτης του ο Gordon Miler Bourne Dobson 1889-1976), το οποίο πρωτοχρησιμοποιήθηκε την δεκαετία του 1920, μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού όζοντος (εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2: Φασματοφωτόμετρο όζοντος Dobson (NOAA, 2008).

Η λειτουργία του βασίζεται στη μέτρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος από 305nm έως 345nm, από τις τιμές των οποίων υπολογίζεται η μέση συγκέντρωση του όζοντος από τα ανώτερα σημεία της ατμόσφαιρας έως το φασματοφωτόμετρο. Το Εργαστήριο Έρευνας της Γης της Εθνικής Ωκεανικής και Ατμοσφαιρικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (NOAA) διατηρεί 15 σταθμούς που χρησιμοποιούν το φασματοφωτόμετρο Dobson Ozone. Το Κέντρο Βαθμονόμησης Όζοντος World Dobson στο πλαίσιο του Global Atmosphere Watch, είναι υπεύθυνο για τη βαθμονόμηση παραπάνω από εκατό οργάνων παγκοσμίως, συμβάλλοντας στην προσπάθεια για την κατανόηση του ρόλου του στρατοσφαιρικού όζοντος στην ατμοσφαιρική χημεία, τις επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στην οικολογία, του κλίματος και του καιρού (NOAA, 2008).

Τα όργανα μέτρησης του όζοντος που στηρίζονται σε ηλεκτροχημικές τεχνικές χρησιμοποιούνται στις οζοντοβολίδες, οι οποίες είναι προσδεμένες σε ειδικά αερόστατα και καταγράφουν την κατακόρυφη κατανομή του όζοντος από το έδαφος έως τα ανώτερα τμήματα της στρατόσφαιρας.

Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης καταγράφουν εξ' αποστάσεως τη συγκέντρωση του όζοντος και στηρίζονται κατά κύριο λόγο στην υπεριώδη διαφορική απορρόφηση. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης διακρίνονται σε:

α) παθητική τηλεπισκόπηση όπου πηγή του υπεριώδους φωτός είναι ο ήλιος και τα συστήματα μέτρησης της ολικής στήλης του όζοντος (δορυφορικές μετρήσεις) μετρούν την απορρόφηση που υφίσταται η υπεριώδης/υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία από το

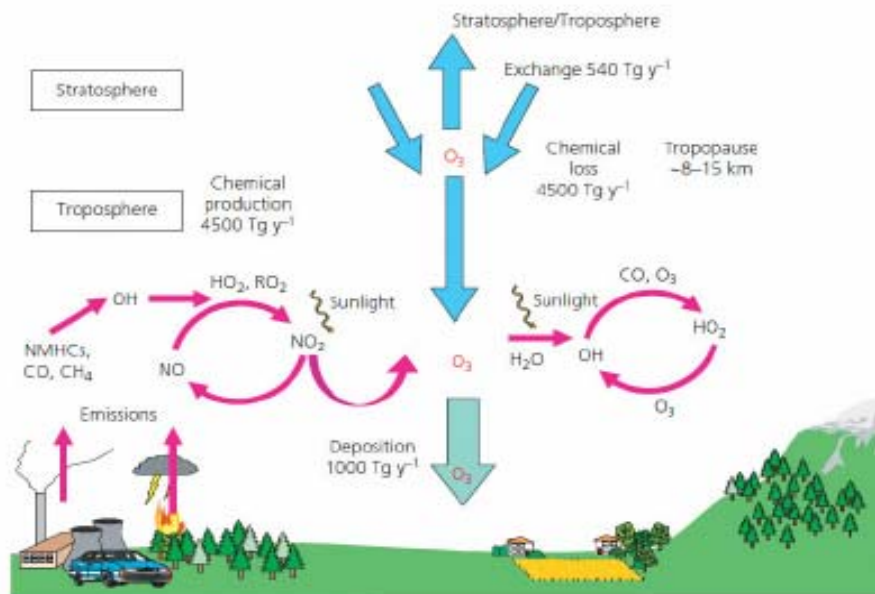
ατμοσφαιρικό όζον (πχ. δορυφόρος TOMS, συστήματα DOBSON) σε διάφορα μήκη κύματος και

β) ενεργητική τηλεπισκόπηση όπου χρησιμοποιείται μια τεχνητή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας, όπως λυχνία Xe στο σύστημα DOAS ή λέιζερ στα συστήματα lidar. Η τεχνική lidar χρησιμοποιείται για την καταγραφή της κατακόρυφης κατανομής του όζοντος στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα (0-50 χλμ.) έχοντας μεγάλη χρονική (από μερικά λεπτά σε μερικές ώρες) και χωρική (από μερικά μέτρα σε μερικές δεκάδες μέτρα) ακρίβεια. Η τεχνική lidar έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να λειτουργεί συνεχώς έως και μερικές ημέρες, οπότε δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθηθούν με πολύ μεγάλη ακρίβεια σημαντικά ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα, οι διανταλλαγές όζοντος μεταξύ της στρατόσφαιρας και της τροπόσφαιρας (Κόκκαλης, 2014).

2.2.2 Το Όζον Στην Τροπόσφαιρα

Το 1930, ο επιστήμονας Sidney Chapman ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με τον μηχανισμό παραγωγής του όζοντος. Πολλές δεκαετίες μετά το έργο του Chapman, το όζον θεωρούνταν ως ένα αδρανές αέριο της τροπόσφαιρας, με κύρια πηγή προέλευσής του τη μεταφορά του, μόνο από τη ζώνη στρατόσφαιρας, το οποίο όταν έφθανε κοντά στο έδαφος καταστρέφονταν με τη διαδικασία της ξηρής απόθεσης. Ωστόσο, με αφορμή την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους το 1950 στην πόλη του Λος Άντζελες, ο επιστήμονας J. Haagen-Smit στην προσπάθειά του να εξηγήσει το φαινόμενο αυτό, μετά από πειράματα κατέληξε ότι το φωτοχημικό νέφος προκλήθηκε από φωτοχημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν πτητικές οργανικές ενώσεις VOC και οξειδία του αζώτου NO_x και ότι ένα από τα σημαντικότερα επιβλαβή συστατικά αυτού του νέφους ήταν το O₃. Άρχισε λοιπόν να διατυπώνεται η θεωρία της φωτοχημικής παραγωγής του όζοντος με επιταχυνόμενους ρυθμούς στη ζώνη της τροπόσφαιρας, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση (Chameides, 2001).

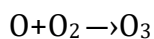
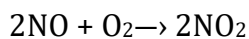
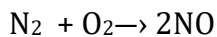
Το O₃ υπάρχει στην τροπόσφαιρα μέσω δύο διεργασιών (σχήμα 1.3) : α) από μεταφορά προς τα κάτω από τη ζώνη της στρατόσφαιρα (Ganguly and Tzanis, 2011) και β) την φωτοχημική παραγωγή του, μέσω της οξειδωσης των CO, CH₄, NMHCs και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων(VOC) που προέρχονται από τις διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (όπως την ατελή καύση στα οχήματα, τις κατασκευές ή τη χρήση τους ως διαλύτες κατά την παραγωγή και διανομή των καυσίμων κλπ), όπου τα οξειδία του αζώτου (NO_x) συνεισφέρουν στη διαδικασία (Fishman and Crutzen, 1978).



Σχήμα 1.3 : Παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος (Kortalioudakis, Tzortzakidis and Moustazidis, 2012).

Τα οξειδία του αζώτου συμβάλλουν στην φωτοχημική παραγωγή του όζοντος και προέρχονται είτε από φυσικές πηγές όπως κεραυνούς, πυρκαγιές δασών ή κατά την ανάφλεξη σε οχήματα, θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, από καυστήρες κλπ.

Μια τυπική αλληλουχία αντιδράσεων είναι:

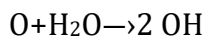
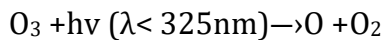


Σήμερα, αναγνωρίζεται ευρέως ότι η χημική παραγωγή του O₃ συμβαίνει σε όλη την τροπόσφαιρα και αποτελεί δευτερογενή ρύπο με σχετικά μικρούς ρυθμούς παραγωγής πάνω από περιοχές χωρίς ρύπανση και με σημαντικά επιταχυνόμενους ρυθμούς πάνω από ρυπασμένες περιοχές. Η συνεισφορά στο παγκόσμιο όζον, υπολογίζεται κατά ~90% από τη χημική παραγωγή του, λόγω πρόδρομων ρύπων και ~10% από τις διανταλλαγές μεταξύ στρατόσφαιρας και τροπόσφαιρας (IPCC,2013).

Η ύπαρξη του όζοντος στην τροπόσφαιρα παίζει καθοριστικό ρόλο στην οξειδωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας, διευκολύνοντας τη διαδικασία με την οποία, μειώνεται η συγκέντρωση πολλών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Αποτελεί την βασική πηγή υδροξυλίων

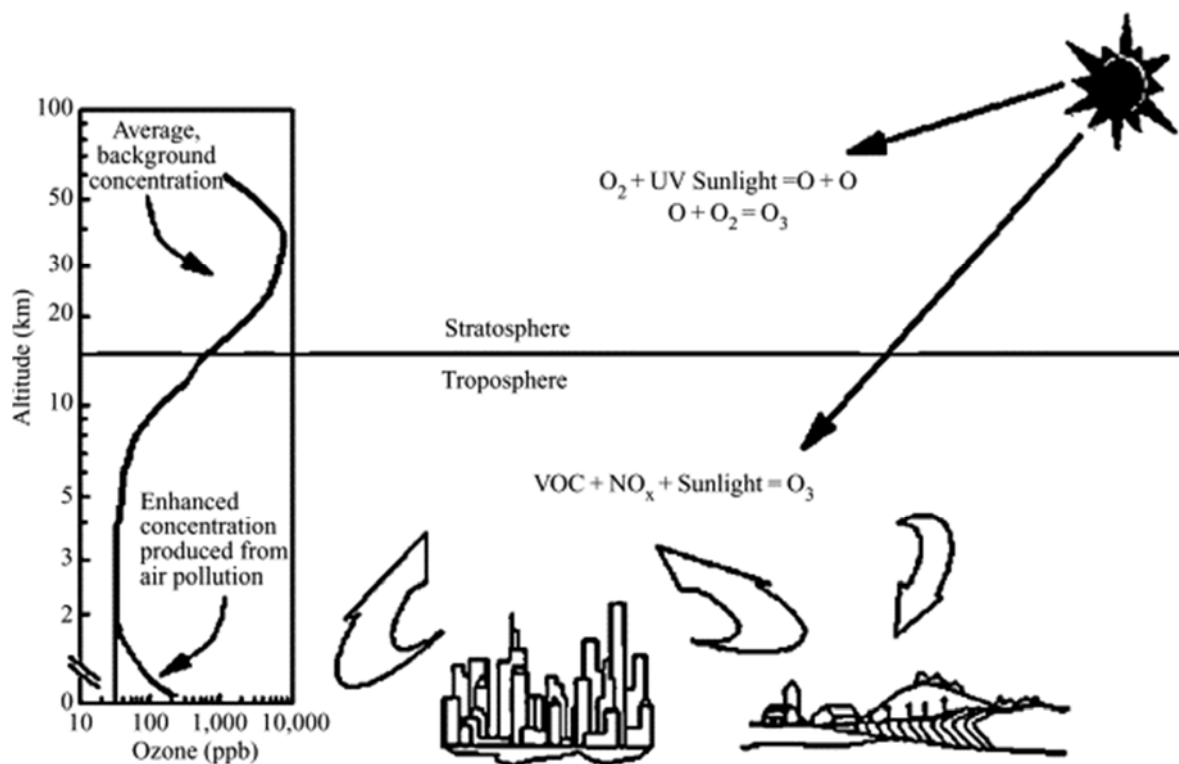
OH, τα οποία καθορίζουν τη διάρκεια ζωής πολλών ρύπων όπως, CO, CH₄, HCs στην ατμόσφαιρα και έμμεσα τη γενικότερη συμπεριφορά όλης της βιόσφαιρας.

Το όζον φωτοδιασπάται σε ατομικό οξυγόνο, το οποίο και αντιδρά με τους υδρατμούς δίνοντας ρίζες υδροξυλίου, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις :



Η συγκέντρωσή του κυμαίνεται μεταξύ 20 και 100 ppbv (μέρη στο δισεκατομμύριο κατ' όγκο). Παρά τη σχετικά μικρή του συγκέντρωση στην αναλογία μίγματος αέρα, οποιαδήποτε μεταβολή του είναι καθοριστική για την κλιματική αλλαγή. Το όζον στα κατώτερα στρώματα, και ιδιαίτερα στο οριακό στρώμα μέχρι και το ύψος 2-3 χλμ από το έδαφος, λόγω των ιδιοτήτων του ως ισχυρού οξειδωτικού, έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, στις γεωργικές καλλιέργειες και κάποια υλικά (Rodriguez, 2007).

Στο διάγραμμα 1.3 απεικονίζονται οι φωτοχημικές διεργασίες με τις οποίες παράγεται το O₃ στη στρατόσφαιρα και την τροπόσφαιρα καθώς, επίσης, η μέση κατακόρυφη κατανομή μορίων O₃ ανά μόρια αέρα (σε ppb)(Chameides,2001).



Διάγραμμα 1.3 : Παραγωγή τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού όζοντος (O₃)(Chameides, 2001).

Ο ρυθμός με τον οποίο το όζον αυξάνεται στην τροπόσφαιρα δεν προσδιορίζεται ακριβώς, λόγω της έλλειψης ακριβών μακροπρόθεσμων μετρήσεων. Από παλιές μετρήσεις του όζοντος που λήφθηκαν στο Παρατηρητήριο της Pic du Midi (κορυφή στα 3,000 μέτρα στη νοτιοδυτική Γαλλία) προκύπτει ότι από τις αρχές του εικοστού αιώνα η συγκέντρωση του όζοντος πενταπλασιάστηκε. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν εκθετική αύξηση του 1.6% ετησίως, αν και για τις τρεις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση φαίνεται να είναι μεγαλύτερη κατά περίπου 2.4% ετησίως (Marenco, Gouget, Nédélec, and Karcher,1994).

Παρατηρήσεις έδειξαν επίσης, ότι κατά τον 20^ο αιώνα, το όζον της τροπόσφαιρας αυξάνεται παγκοσμίως. Ιδιαίτερα, στην Ευρώπη κατά την περίοδο από το 1950 έως το 2000 το όζον διπλασιάστηκε. Από το 1990 έως το 2010, οι τάσεις του όζοντος στην επιφάνεια της γης ποικίλλουν ανά περιοχή. Η δυτική Ευρώπη εμφάνισε αύξηση στη συγκέντρωση του όζοντος τη δεκαετία του 1990, ενώ από 2000 και μετά εμφανίζει σημαντική μείωση. Στις ανατολικές ΗΠΑ το όζον μειώνεται έντονα το καλοκαίρι, αυξάνεται το χειμώνα και παραμένει σε μεγάλο βαθμό αμετάβλητο την άνοιξη, ενώ στις δυτικές ΗΠΑ το όζον είναι υψηλό την άνοιξη. Το επιφανειακό όζον στην Ανατολική Ασία γενικά αυξάνεται (Cooper, et al., 2014).

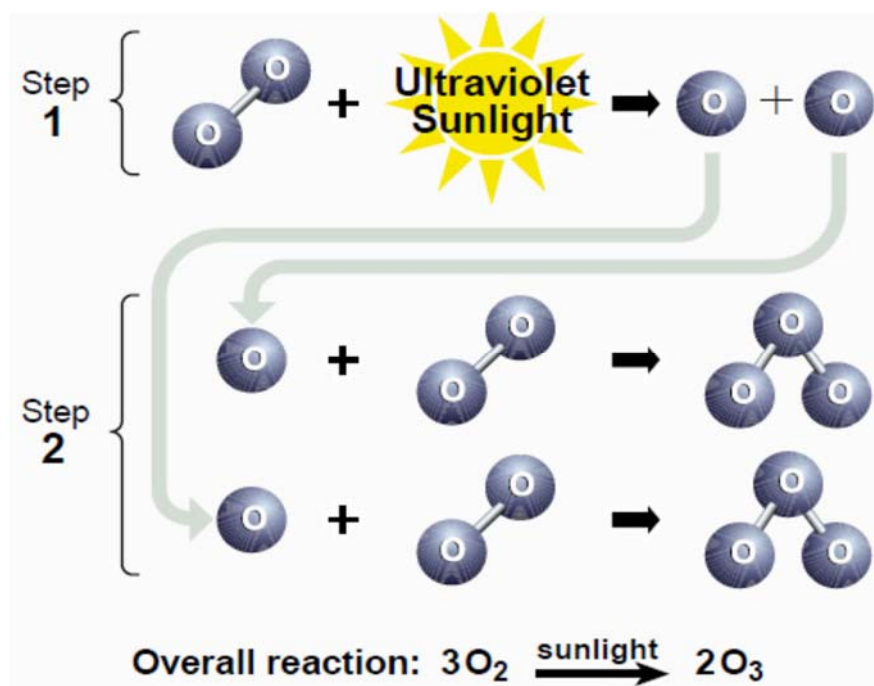
2.2.3 Το Όζον Στην Στρατόσφαιρα

Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από τα 11 χλμ έως 50 χλμ, από την επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία της παραμένει σταθερή μέχρι τα 20 χλμ, ενώ από τα 20 χλμ έως τα 50 χλμ αυξάνεται με το ύψος. Αυτό οφείλεται στην παρουσία του όζοντος, το οποίο απορροφά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και παράγεται θερμότητα. Οι θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν καθιστούν την στρατόσφαιρα δυναμικά σταθερή, χωρίς έντονες κατακόρυφες μετακινήσεις αερίων μαζών. Οι ενώσεις που φθάνουν μέχρι τη στρατόσφαιρα έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) με διάρκεια μέχρι 3 - 5 χρόνια (Rodriguez, 2007).

Το στρατοσφαιρικό όζον αναφέρεται και ως στρώμα ή στιβάδα του όζοντος, αν και δεν υπάρχει πουθενά κάποια στιβάδα καθαρού όζοντος αλλά πρόκειται για μια περιοχή της ατμόσφαιρας όπου μεταξύ των άλλων συστατικών υπάρχει και το όζον. Η στιβάδα όζοντος αποτελεί προστατευτική ασπίδα από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία για τα

ζώα και τα φυτά του πλανήτη, διότι απορροφά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Αυξημένα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας προκαλούν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς και σχετίζονται με την εμφάνιση καρκίνου του δέρματος, καταρράκτη και την εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος (NASA, 2018).

Το O₃ στην στρατόσφαιρα πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε πριν από 3 δις χρόνια από φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς με βάση το οξυγόνο, το οποίο φωτολύεται από την υπεριώδη ακτινοβολία σε μήκος κύματος <240nm (McMichael, Lucas, Ponsonby and Edwards, 2011). Η ανακάλυψη της ύπαρξης του στρατοσφαιρικού όζοντος έγινε το 1920 έπειτα από παρατηρήσεις φασμάτων UV του ήλιου. Σύμφωνα με τη θεωρία του επιστήμονα Sydney Chapman η παραγωγή του όζοντος είναι αποτέλεσμα δυο διαδοχικών διεργασιών, οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4 : Μηχανισμός παραγωγής όζοντος στην στρατόσφαιρα (WHO, 2007).

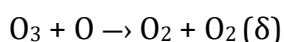
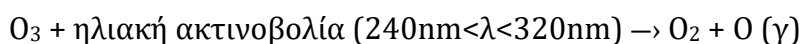
Οι παραπάνω διεργασίες είναι: α) φωτόλυση και διάσπαση του μοριακού οξυγόνου O₂ από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV σε μήκος κύματος <240nm και β) ο συνδυασμός ενός ατόμου οξυγόνου που παράγεται από την πρώτη αντίδραση με ένα άλλο μόριο O₂ για να σχηματιστεί ένα νέο μόριο όζοντος (εξώθερμη αντίδραση), όπως φαίνονται στις παρακάτω αντιδράσεις:





Το M στην παραπάνω αντίδραση είναι κάποιο από τα ουδέτερα συστατικά της ατμόσφαιρας όπως N_2 ή O_2 , τα οποία δεν συμμετέχουν στην αντίδραση αλλά είναι απαραίτητα για να απορροφήσουν την παραγόμενη ενέργεια. Με τον κύκλο «όζοντος – οξυγόνου» η επιβλαβής υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται συνεχώς σε θερμότητα. Η εκλυόμενη ενέργεια στην παραπάνω (β) αντίδραση είναι υπεύθυνη για την θέρμανση του πάνω στρώματος της στρατόσφαιρας. Γι' αυτό η θερμοκρασία του αέρα σε υψόμετρο 50χλμ είναι παρόμοια με την θερμοκρασία κοντά στο επίπεδο του εδάφους, ενώ σε υψόμετρο 15-20χλμ είναι πολύ χαμηλότερη (McElroy and Fogal, 2008).

Το ισοζύγιο ατομικού οξυγόνου και όζοντος διατηρείται στην περιοχή 20-80χλμ καθώς τα μόρια του όζοντος απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία για μήκη κύματος $\lambda < 320$ οπότε και καταστρέφονται. Επιπλέον, το ατομικό οξυγόνο που παράγεται από την αντίδραση (γ) είναι σε διεγερμένη μορφή, αντιδρά με ένα μόριο όζοντος, οδηγώντας στην καταστροφή του και κλείνει έτσι, ο κύκλος του Chapman (Solomon, 1999), σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Η αντίδραση της φωτόλυσης και διάσπασης του μοριακού οξυγόνου (α) είναι βραδύτερη με το υψόμετρο καθώς η πυκνότητα της ατμόσφαιρας ελαττώνεται, ενώ η αντίδραση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον (γ) είναι ταχύτερη με το ύψος και δίνει το μέγιστο περίπου στα 25χλμ. (Christie, 2001).

Το μοντέλο του Chapman περιέγραψε γενικά με επιτυχία το στρώμα του όζοντος αλλά υπερεκτίμησε την συγκέντρωσή του, υπολογίζοντάς τη κατά έναν παράγοντα 2 ή και μεγαλύτερο (Bekki and Savarino, 2016), εξαιτίας του μικρού αριθμού των διαθέσιμων ατμοσφαιρικών μετρήσεων και την αβεβαιότητα των συντελεστών ταχύτητας των παραπάνω αντιδράσεων. Στα χαμηλότερα στρώματα της στρατόσφαιρας, η διάρκεια ζωής των Ox είναι μεγάλη όποτε δικαιολογείται σε ένα βαθμό η απόκλιση, των όσων προέβλεπε το μοντέλο του Chapman από τις μετρήσεις, όμως στα ανώτερα στρώματα που η διάρκεια ζωής τους ήταν μικρή, η ασυμφωνία μεταξύ μετρήσεων και θεωρίας ήταν εμφανής (Bekki and Savarino, 2016).

2.2.4 Μηχανισμοί Μείωσης Του Στρατοσφαιρικού Όζοντος

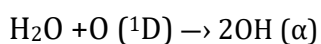
Στα μέσα της δεκαετίας του '70 πρωτοποριακές έρευνες κατέδειξαν για πρώτη φορά τους μηχανισμούς σύνθεσης αλλά και αποσύνθεσης της στιβάδας του όζοντος. Κυρίως όμως, ανακαλύφθηκε ότι κάποιες χημικές ουσίες, οι οποίες περιέχουν χλώριο και βρώμιο στα μόριά τους, καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Καθοριστικής σημασίας για την ανακάλυψη αυτή, ήταν οι εργασίες των καθηγητών Paul Crutzen, Mario Molina και Sherwood Rowland, οι οποίοι τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ Χημείας (ΥΠΕΚΑ, 2018).

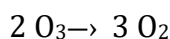
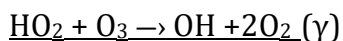
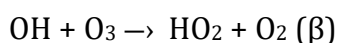
Η χημεία του στρατοσφαιρικού όζοντος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη καθώς το όζον μπορεί να απομακρυνθεί μέσω πολλών καταλυτικών κύκλων. Η διαφορά στις μετρήσεις και των υπολογισμών του Charman, όπως αναφέρθηκε παραπάνω οδήγησε στην προσθήκη επιπλέον καταλυτικών κύκλων καταστροφής του όζοντος στη στρατόσφαιρα, με τη συμμετοχή ελεύθερων ριζών HO_x, αλογονούχων ριζών ClO_x και BrO_x και οξειδίων του αζώτου.

α) Ρίζες Υδροπεροξύ - HO_x

Η συγκέντρωση των εξαιρετικά δραστικών ριζών HO_x στη στρατόσφαιρα είναι πολύ μικρή, 1ppb (1 μέρος ανά τρισεκατομμύριο) στην κάτω στρατόσφαιρα και 400ppb (400 μέρη ανά τρισεκατομμύριο) στην ανώτερη στρατόσφαιρα. Παρόλα αυτά, οι ρίζες HO_x είναι πολύ σημαντικές καθώς συμμετέχουν σε πολλές αντιδράσεις που ελέγχουν τη φωτοχημεία του στρατοσφαιρικού όζοντος, είτε αντιδρώντας άμεσα με το O₃ είτε έμμεσα μέσω της αντίδρασής τους με οξειδία αλογόνου, συμβάλλοντας στην καταστροφή του όζοντος (Hanisco, 2003). Η ρίζα HO_x παράγεται από την οξείδωση ενώσεων υδρογόνου, όπως H₂O, CH₄ και H₂. Η οξείδωση πραγματοποιείται σε αέρια φάση από διεγερμένα άτομα οξυγόνου, άτομα χλωρίου και υδροξυλίου OH (Hanisco, 2003). Στα μεσαία και ανώτερα στρώματα της στρατόσφαιρας, το H₂O προέρχεται κυρίως από την οξείδωση του CH₄ και σε πολύ λιγότερο ποσοστό μεταφέρεται από την τροπόσφαιρα (Cox, 2000).

Τη δεκαετία του 50, οι Bates & Nicolet διαπίστωσαν ότι ξεκινά ένας καταλυτικός κύκλος από τη οξείδωση των ατμών του νερού που καταναλώνουν το όζον στη στρατόσφαιρα, σύμφωνα με τις αντιδράσεις (Bates and Nicolet, 1950):



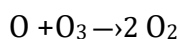
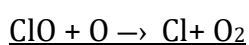
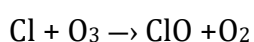
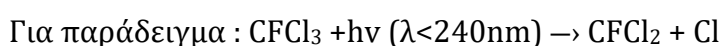


Η ρίζα HOx προκύπτει από την οξείδωση του νερού H₂O από το ηλεκτρονικά διεγερμένο άτομο οξυγόνου O(¹D), όπως φαίνεται στην (α) αντίδραση. Το ηλεκτρικά διεγερμένο οξυγόνο O(¹D) παράγεται από την φωτόλυση του O₃ σε μήκη κύματος, μικρότερα από λ<330nm, όπως αναφέραμε παραπάνω στον κύκλο του Chapman. Στις αντιδράσεις (β) και (γ) το O₃ καταναλώνεται ενώ ο παραπάνω κύκλος σταματά με την κατανάλωση των ριζών HOx.

β) Αλογονούχες ρίζες (ClO_x)

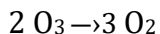
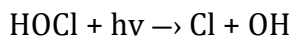
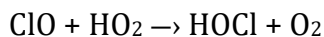
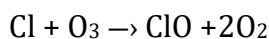
Αργότερα, οι Νομπελίστες Molina και Rowland (Molina and Rowland, 1974) ανακαλύπτουν ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις των χλωροφθορανθράκων (CFC_s), που χρησιμοποιήθηκαν το 1930 σε ψυγεία, κλιματιστικά, προωθητικά αέρια, κλπ. σχετίζονται με την καταστροφή του όζοντος. Τα CFC_s, είναι χημικά αδρανή στην τροπόσφαιρα αλλά καθώς ανέρχονται στην στρατόσφαιρα φωτολύονται και παράγουν δραστικά άτομα Cl, τα οποία αντιδρούν με το όζον καταστρέφοντας το ως καταλύτες.

Στα ανώτερα στρώματα της στρατόσφαιρας, όπου η συγκέντρωση του διεγερμένου ατομικού οξυγόνου O αυξάνεται με το ύψος, ο καταλυτικός κύκλος είναι ιδιαίτερα σημαντικός και οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα έχουν ως εξής:



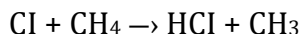
Ο κύκλος λαμβάνει χώρα με το ίδιο τρόπο και για άλλες αλογονούχες ενώσεις, όπως τους βρωμοφθοράναθρακες. Ο κύκλος σταματά όταν οι δραστικές ρίζες ClO_x, BrO_x μετατραπούν σε μη ενεργές αποθήκες χλωρίου ή βρωμίου όπως HNO₃, HCl, ClONO₂ και BrONO₂.

Στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα όπου η συγκέντρωση του διεγερμένου ατομικού οξυγόνου O είναι μικρή, ο καταλυτικός κύκλος έχει ως εξής:

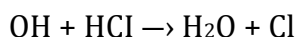


Ο κύκλος σταματά όταν οι δραστικές ρίζες ClO_x , BrO_x μετατραπούν σε μη ενεργές αποθήκες χλωρίου ή βρωμίου όπως, HNO_3 , HCl , ClONO_2 και BrONO_2 .

Ειδικότερα, η απομάκρυνση των δραστικών ριζών του χλωρίου, γίνεται κυρίως μέσω της αντίδρασης:



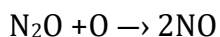
Το HCl αποτελεί την κύρια δεξαμενή του στρατοσφαιρικού χλωρίου, το οποίο απελευθερώνεται στην στρατόσφαιρα μέσω της αντίδρασης:



ενώ κάποιο μέρος από το HCl , μεταφέρεται προς στην τροπόσφαιρα και απομακρύνεται με τη βροχή (Cox, 2000).

γ) Οξείδια του αζώτου (NO_x)

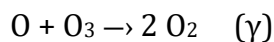
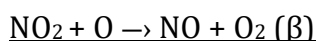
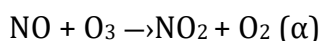
Επίσης, το 1970 ο επιστήμονας Paul Crutzen διαπίστωσε ότι τα οξείδια του αζώτου NO_x στην στρατόσφαιρα, προέρχονται είτε απευθείας από τις εκπομπές των υπερηχητικών αεροπλάνων που πετάνε στο ύψος της τροπόπαυσης είτε από την αντίδραση του υποξειδίου του αζώτου (N_2O) με το ηλεκτρικά διεγερμένο οξυγόνο (Crutzen, 1970), σύμφωνα με την αντίδραση:



Το N_2O είναι ένα πολύ σταθερό και αδρανές μόριο, το οποίο φθάνει στην στρατόσφαιρα καθώς δεν διασκορπίζεται στην τροπόσφαιρα και προέρχεται κυρίως, από την χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων στη γεωργία και από φυσικές πηγές όπως ωκεανοί (Syakila and Kroeze, 2011). Ο ατμοσφαιρικός χρόνος ζωής του ανέρχεται στα 120 χρόνια και η συγκέντρωση του στην στρατόσφαιρα είναι 0.3% ppm. Περίπου το 90% του N_2O καταστρέφεται στην στρατόσφαιρα με την διεργασία της φωτόλυσης ενώ το υπόλοιπο αντιδρά με το ατομικό ηλεκτρικά διεγερμένο οξυγόνο δίνοντας NO (Ingenito, 2018).

Το μόριο του NO που σχηματίζεται στη στρατόσφαιρα, δρα καταλυτικά στην καταστροφή του όζοντος καθώς αντιδρά με το O_3 και μετατρέπεται σε NO_2 , ενώ στη

συνέχεια το NO₂ αντιδρά με ατομικό O δίνοντας NO, με αποτέλεσμα την απώλεια O₃, όπως φαίνεται στις παρακάτω αντιδράσεις :



Ο παραπάνω κύκλος αντιδράσεων έχει υψηλή απόδοση στα ανώτερα στρώματα της στρατόσφαιρας, όπου η συγκέντρωση του ατομικού O είναι υψηλή και θα συνεχίσει να καταστρέφει το όζον έως ότου εξαντληθεί το NO. Παράλληλα, ένα μεγάλο μέρος του παραγόμενου NO₂ στη στρατόσφαιρα, φωτολύεται σε NO+O και δρα ανταγωνιστικά στην αντίδραση (β), γεγονός που δεν οδηγεί σε απώλεια O₃.

Η αντίδραση παραγωγής NO από το N₂O που συμβαίνει στην στρατόσφαιρα είναι πολύ σημαντική, καθώς το NO που ρυπαίνει την τροπόσφαιρα, δεν μπορεί να φτάσει στη στρατόσφαιρα (Crutzen, 1979). Επιπλέον, η απευθείας έκχυση ρύπων NO_x στη στρατόσφαιρα και οι επιπτώσεις τους στη στιβάδα του όζοντος αποτελεί σημαντικό σημείο προς περαιτέρω έρευνα.

2.3 Η Τρύπα Του Όζοντος

Στις αρχές του 1980, μετρήσεις από επίγεια και δορυφορικά όργανα, έδειξαν ότι η φυσική ηλιοπροστασία της γης αραίωσε σημαντικά πάνω από τον Νότιο πόλο κατά την περίοδο της άνοιξης. Αυτό το μεγάλο, λεπτό σημείο στο στρώμα του όζοντος ή αλλιώς η αραίωση στη συγκέντρωση του όζοντος, έγινε γνωστό ως «τρύπα του όζοντος». Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τη λέξη τρύπα, μεταφορικά, για την περιοχή στην οποία οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι κάτω από το ιστορικό όριο των 220 μονάδων Dobson και ώστε να μπορούν να περιγράψουν το μέγεθος και το βάθος της τρύπας (Bhartia and McPeters, 2018).

2.3.1 Ιστορική Αναδρομή Του Φαινομένου Της Τρύπας Του όζοντος

Η παρακολούθηση της στιβάδας του όζοντος γινόταν για πολλές δεκαετίες πριν την εμφάνιση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος, από επίγεια και αερομεταφερόμενα όργανα. Το φασματοφωτόμετρο Dobson στον σταθμό του Νότιου πόλου της NOAA κατέγραφε μετρήσεις της συνολικής στήλης όζοντος ήδη από το 1961 ενώ από το 1970 λαμβανόταν τακτικά μετρήσεις και από δορυφόρους. Με την εκτόξευση του οργάνου

Backscatter UV (BUV) στο δορυφόρο Numbus-4 της ΝΑΣΑ, το οποίο μάλιστα είχε και την δυνατότητα να μετρά την πυκνότητα του όζοντος μέχρι τα 40 χλμ καθώς και το ολικό όζον πάνω από την επιφάνεια της γης, μετρήθηκαν περιστασιακά πολύ χαμηλές συνολικές τιμές όζοντος στην Ανταρκτική, χαμηλότερες από τις τιμές που μετρήθηκαν οπουδήποτε αλλού στον κόσμο. Ωστόσο, τότε δεν ήταν σαφές εάν οι τιμές αυτές προκλήθηκαν από σφάλμα μέτρησης ή ήταν αποτέλεσμα από κάποιο πραγματικό γεωφυσικό φαινόμενο.

Με την εκτόξευση του δορυφόρου Numbus-7 τον Οκτώβριο του 1978 έγινε σημαντική πρόοδος στην δυνατότητα μέτρησης του όζοντος. Ο δορυφόρος ήταν εξοπλισμένος με το Solar Backscatter UltraViolet (SBUV) και το (TOMS) Total Ozone Mapping Spectrometer, έναν δεύτερης γενιάς μετρητή υπεριώδους ακτινοβολίας και όζοντος (Stolarski and McPeters, 2003). Οι μετρήσεις των οργάνων αυτών χρησιμοποιήθηκαν στην αποτύπωση του προφίλ της συγκέντρωσης του άνω στρατοσφαιρικού όζοντος καθώς και στη μέτρηση της συνολικής ποσότητας του όζοντος κατά μήκος της διαδρομής του δορυφόρου. Τα δύο αυτά όργανα εξαιτίας των ρύπων που είχαν εναποτεθεί στις οπτικές τους επιφάνειες κρίθηκαν ακατάλληλα από την επιστημονική ομάδα της NASA, για την παρακολούθηση των σχετικά μικρών αλλαγών στο στρώμα του όζοντος που προέβλεπαν τα μοντέλα. Επίσης, εξαιτίας των αργών ηλεκτρονικών υπολογιστών και της αδυναμίας στη ψηφιακή μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων, η επεξεργασία των δεδομένων γινόταν πολύ αργότερα. Συνεπώς, οι μετρήσεις του Οκτωβρίου 1983 που διαδραμάτισαν βασικό ρόλο στην ανακάλυψη της τρύπας του όζοντος, δεν είχαν υποβληθεί σε επεξεργασία μέχρι τον Ιούνιο του 1984.

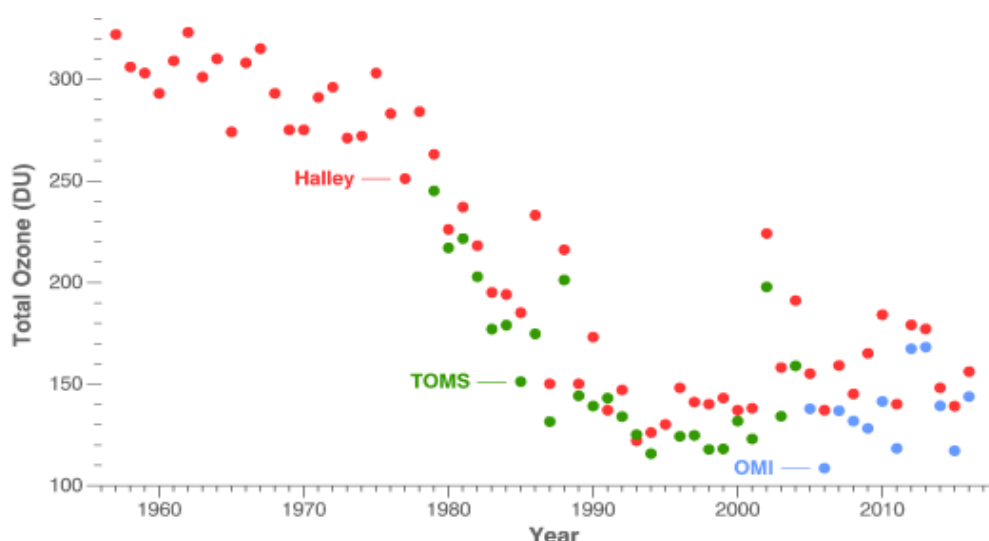
Ωστόσο, το 1985 δημοσιεύονται για πρώτη φορά αποτελέσματα των μετρήσεων από τον Βρετανικό σταθμό Haley Bay (76°S) στην Ανταρκτική, όπου διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του όζοντος κατά την περίοδο της άνοιξης (Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο) είχε μειωθεί περισσότερο από το 40%, κατά την χρονική περίοδο 1977-1984. Οι μετρήσεις από τον αντίστοιχο ιαπωνικό σταθμό Syowa (69°S) επιβεβαίωναν το απροσδόκητο αυτό φαινόμενο. Οι απώλειες του όζοντος είχαν επεκταθεί ουσιαστικά σχεδόν σε ολόκληρη την Ανταρκτική ήπειρο και εκτείνονταν σε υψόμετρο περίπου από 12 έως 24 χλμ. (Stolarski, 1988).

2.3.1.1 Η Τρύπα Του Όζοντος Στην Ανταρκτική

Οι μετρήσεις του όζοντος που καταγράφηκαν στον σταθμό Halley το χειμώνα και μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου (άνοιξη στην Ανταρκτική), μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70, ήταν συνήθως γύρω στα 300 DU αλλά από τη δεκαετία του '80 και μετά, στην περίοδο της άνοιξης οι τιμές του όζοντος ήταν κάτω από 100 DU. Οι παρατηρήσεις είτε από το έδαφος είτε δορυφορικές είτε με μπαλόνια, συμφωνούν ότι οι μειώσεις αναπτύσσονται από τον Αύγουστο μέχρι τον Σεπτέμβριο και κορυφώνονται Οκτώβριο ενώ οι τιμές του όζοντος αποκαθίσταται κοντά στις κανονικές τιμές κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου έως το Δεκέμβριο. Οι μετρήσεις επίσης, έδειξαν ότι η μείωση του όζοντος περιορίζεται κυρίως στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα ενώ το 100% του όζοντος χάνεται στο υψόμετρο των 15-20 χλμ (Newman, 2010).

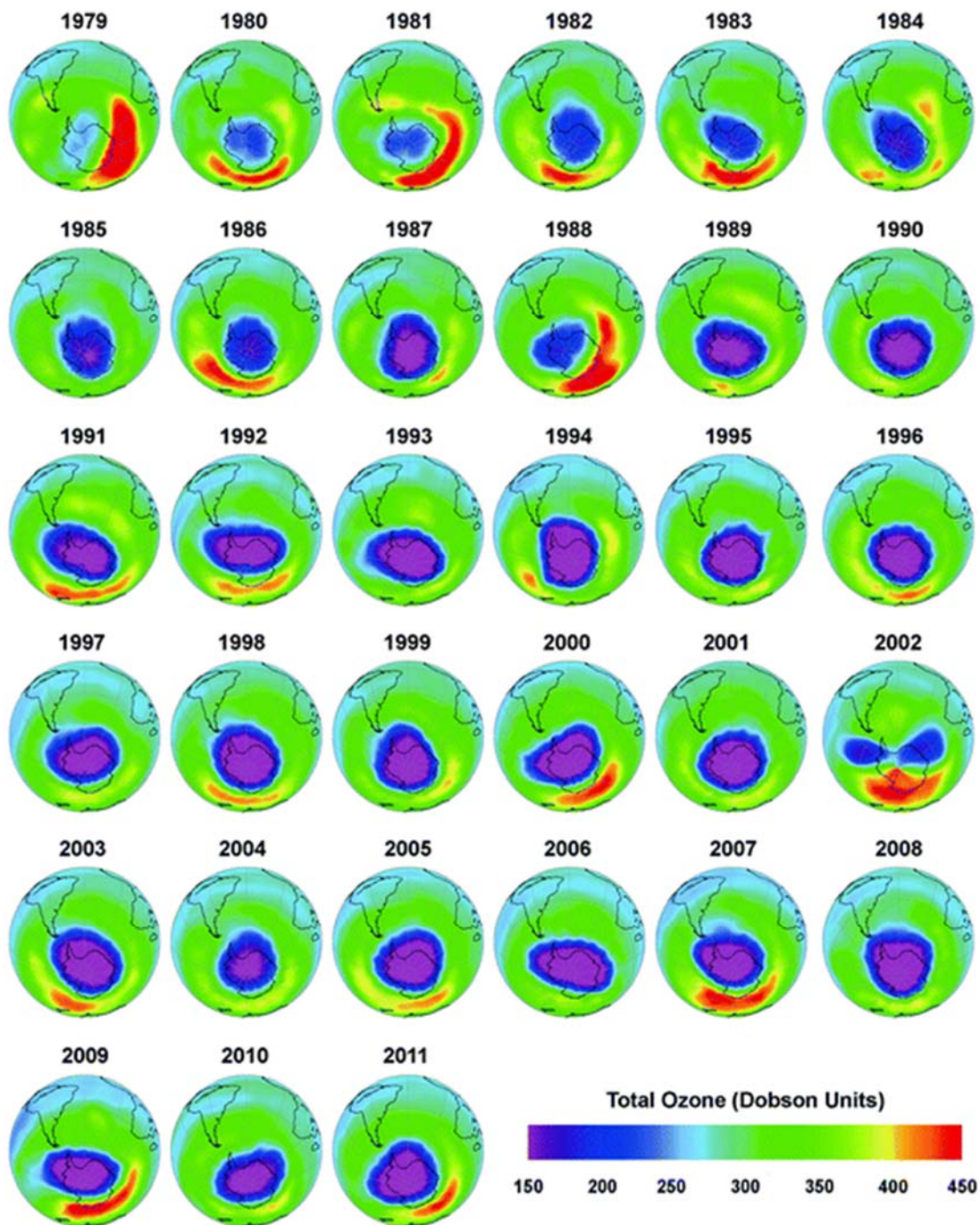
Στις 30 Σεπτεμβρίου του 1994 σημειώνεται η χαμηλότερη τιμή του όζοντος, στα 73 DU ενώ το Σεπτέμβριο του 2006 παρατηρείται κατά μέσο όρο η μεγαλύτερη έκταση της τρύπας του όζοντος, που ήταν ίση 10.1 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια (NASA,2018).

Στο διάγραμμα 1.4 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της συνολικής ποσότητας όζοντος που καταγράφηκαν τον μήνα Οκτώβριο πάνω από περιοχή της Ανταρκτικής. Η καθοδική τάση του ολικού όζοντος φαίνεται να ξεκινά τη δεκαετία του '70 και σταματά στις αρχές της δεκαετίας του 1990.



Διάγραμμα 1.4 : Μετρήσεις του ολικού ατμοσφαιρικού όζοντος το μήνα Οκτώβριο στην Ανταρκτική από όργανα: α)στο έδαφος στο σταθμό Halley β) TOMS και γ) OMI (NASA,2018).

Στην εικόνα 1.3 απεικονίζεται η μέση πυκνότητα στήλης όζοντος πάνω από Ανταρκτική, πριν την δημιουργία του φαινομένου της τρύπας του όζοντος και μετέπειτα που το φαινόμενο είναι πια εμφανές.



Εικόνα 1.3 : Μέση πυκνότητα στήλης όζοντος 3 ημερών (σε μονάδες Dobson) στην Ανταρκτική (περίοδος άνοιξη) από το 1979 έως το 2010 που δείχνει την εξέλιξη της τρύπας του όζοντος. Η μωβ περιοχή υποδεικνύει την περιοχή της τρύπας του όζοντος (Dameris and Loyola, 2011).

Γενικά, η απώλεια του όζοντος στους πόλους εξαρτάται από τη θερμοκρασία καθώς και τις αυξημένες συγκεντρώσεις των αλογονούχων ενώσεων στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα. Ειδικότερα, η εμφάνιση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική οφείλεται καταρχήν στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια του χειμώνα επικρατούν εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η χαμηλότερη θερμοκρασία της στρατόσφαιρας πάνω από την Ανταρκτική διευκολύνει το σχηματισμό πολικών στρατοσφαιρικών σύννεφων (PSCs), σε πολύ χαμηλά υψόμετρα μέχρι και κάτω από 20χλμ από την επιφάνεια της γης, τα οποία οδηγούν στην απότομη καταλυτική καταστροφή του όζοντος.

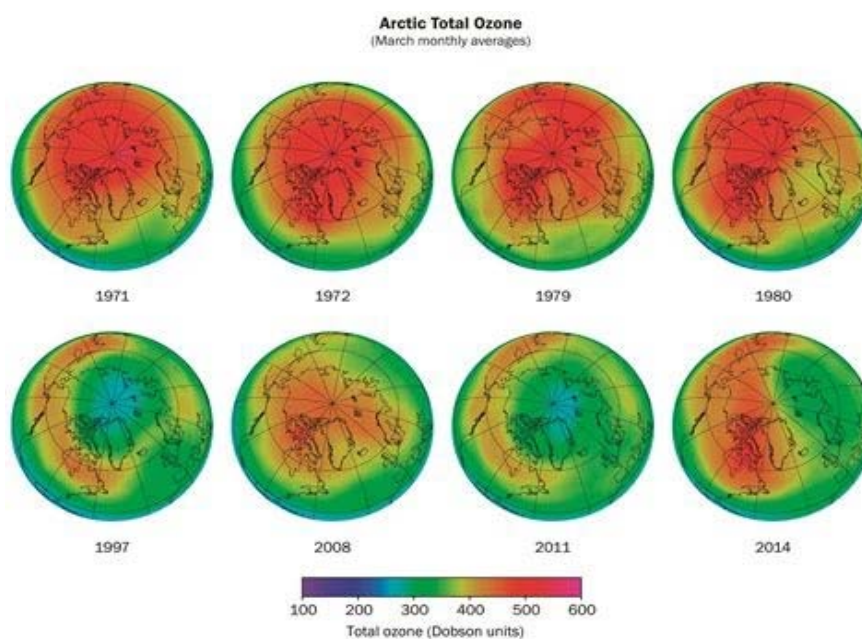
Τα στρατοσφαιρικά νέφη δημιουργούνται όταν η θερμοκρασία του αέρα στους πόλους πέσει κάτω από $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ και είναι αυτά που επηρεάζουν τη συγκέντρωση των αερίων που περιέχουν χλωριούχες και βρωμιούχες ενώσεις, μέσω διάφορων ετερογενών αντιδράσεων. Για παράδειγμα, η μετατροπή των ClONO_2 , HCl σε ClO γίνεται πάνω στην επιφάνεια των στρατοσφαιρικών νεφών που εγκλωβίζουν υδρατμούς και ενώσεις του αζώτου. Όταν οι παγοκρύσταλλοι αυτοί των στρατοσφαιρικών νεφών αυξάνουν σε βάρος, καταπίπτουν αφήνοντας έτσι ελεύθερο το πεδίο στις δραστικές ενώσεις του χλωρίου και του βρωμίου, οι οποίες διαφορετικά θα ήταν ακίνδυνες για το όζον, να ξεκινήσουν έντονα τους καταλυτικούς κύκλους καταστροφής του όζοντος κατά την περίοδο, Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου.

Επίσης, κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο αέρας ψύχεται σημαντικά και κατέρχεται με δυτική κυκλοφορία αναπτύσσοντας τον πολικό στρόβιλο (polar vortex), το κέντρο του οποίου μέχρι και τις αρχές της άνοιξης είναι σταθερό, εμποδίζοντας τις αέριες μάζες του να αναμιχθούν με άλλες, από άλλα γεωγραφικά πλάτη ενώ συγκρατεί για αρκετούς μήνες μεγάλες ποσότητες όζοντος (Abbasi and Abbasi, 2017). Την τοπική άνοιξη με την έναρξη της πολικής μέρας και την παρουσία του ηλιακού φωτός, η θερμοκρασία αυξάνεται και ο πολικός στρόβιλος εξασθενεί και μπορεί να διαλυθεί εντελώς το Νοέμβριο (Newman, 2010). Η καταστροφή του όζοντος αρχίζει στα τέλη Αυγούστου, όταν το φως του ήλιου επανέρχεται στην άκρη της πολικής στροβίλου, μετά την χειμερινή πολική νύχτα. Ο ρυθμός μείωσης του όζοντος κορυφώνεται το Σεπτέμβριο και οι ελάχιστες τιμές για τη συνολική στήλη του όζοντος παρατηρούνται τον Οκτώβριο. Από τα τέλη Δεκεμβρίου οι τιμές της στήλης του όζοντος αρχίζουν να αυξάνουν (Bekki and Savarino, 2016).

2.3.1.2 Η Τρύπα Του Όζοντος Στην Αρκτική

Στην Αρκτική το φαινόμενο είναι πιο δύσκολο να εμφανιστεί λόγω των ανέμων και των μεγαλύτερων θερμοκρασιών που επικρατούν εκεί. Πριν επηρεαστεί η στρατόσφαιρα από τις αλογονούχες ενώσεις που προήλθαν από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κατά την περίοδο της άνοιξης, το όζον πάνω από την Ανταρκτική, ήταν 30-40% λιγότερο απ' ότι πάνω από την Αρκτική. Παρατηρήθηκε ότι τα πιο ψυχρά έτη στην στρατόσφαιρα της Αρκτικής όπως το 1994/95, οδήγησαν σε απώλεια στήλης του όζοντος περίπου 120-140 DU (~ 35%), ενώ κατά τα πιο ζεστά έτη, χωρίς την εμφάνιση πολικού στρατοσφαιρικού νέφους, η απώλεια ήταν μηδενική (Chipperfield, et al., 2015). Η μεγαλύτερη απώλεια όζοντος στην Αρκτική που παρατηρήθηκε μέχρι σήμερα, συνέβη τον χειμώνα του 2011, όπου περίπου το 75% του όζοντος είχε καταστραφεί σε μια περιοχή της χαμηλότερης πολικής στρατόσφαιρας. Ο αρκτικός χειμώνας του 2011 χαρακτηρίστηκε από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μεγάλης διάρκειας ενώ ο πολικός στρόβιλος ήταν ιδιαίτερα ισχυρός και συντέλεσε έτσι στην σοβαρή καταστροφή του όζοντος (Manney, et al., 2011).

Στην παρακάτω εικόνα 1.4 απεικονίζεται ο μέσος όρος του ολικού όζοντος κατά τη διάρκεια του Μαρτίου, όπου οι απώλειες του όζοντος παρατηρούνται στην Αρκτική. Το 1997 και το 2011 παρατηρείται έντονα η μείωση του όζοντος (μπλε χρώμα).

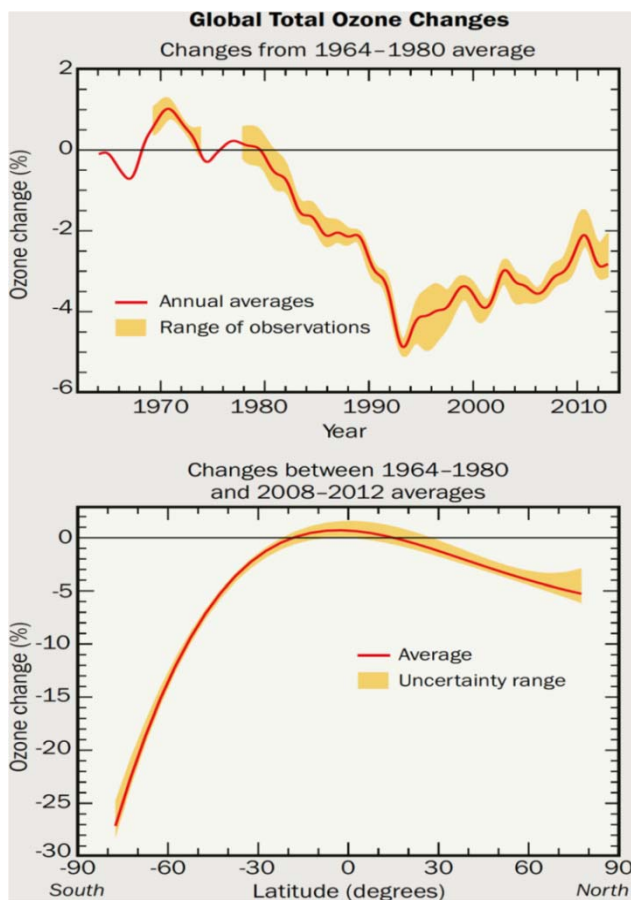


Εικόνα 1. 4 : Μέση πυκνότητα στήλης όζοντος κατά το μήνα Μάρτιο (σε μονάδες Dobson) στην Αρκτική από το 1979 έως το 2014 (Hegglin, et al., 2015).

Παρά τη σχετικά μεγάλη τοπική απώλεια, υπήρχαν σημαντικές διαφορές στο βαθμό αλλά και την επιφάνεια που εμφανίστηκε η απώλεια του όζοντος, μεταξύ μιας τυπικής τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική και της απώλειας στην Αρκτική το 2011. Οι συνολικές τιμές του όζοντος παρέμειναν υψηλότερες στην Αρκτική και επειδή η έκταση της περιοχής του στροβίλου της Αρκτικής ήταν πολύ μικρότερη - περίπου 60% του μεγέθους ενός τυπικού Ανταρκτικού στροβίλου - η περιοχή με χαμηλή συγκέντρωση όζοντος ήταν πιο περιορισμένη (Manney, et al., 2011).

2.3.2 Η Εξέλιξη Του Φαινομένου Και Η Στιβάδα Του Όζοντος Σήμερα

Στο διάγραμμα 1.5 απεικονίζονται οι μεταβολές του παγκόσμιου ολικού όζοντος. Συγκρίνεται το μέσο ετήσιο ποσοστό του παγκόσμιου όζοντος με τον μέσο όρο της περιόδου, από το 1964 μέχρι το 1980, πριν δηλαδή την εμφάνιση της τρύπας του όζοντος. Το ποσοστό του όζοντος μειώνεται κάθε χρόνο, από το 1980 μέχρι το 1990. Η εξάντληση επιδεινώθηκε για μερικά χρόνια, μετά το 1991, λόγω του ηφαιστειακών αερίων του ηφαιστείου Mt. Pinatubo. Το μέσο παγκόσμιο όζον για την περίοδο 2008-2012 είναι περίπου 2.5%, κάτω από το μέσο όρο της περιόδου 1964-1980.



Διάγραμμα 1.5 : Μεταβολές του όζοντος (WHO, 2011).

Στο διάγραμμα 1.5 φαίνεται επίσης, ότι η εξάντληση κατά την περίοδο 2008-2012 ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος σε ολόκληρο τον κόσμο. Οι μεγαλύτερες μειώσεις σημειώθηκαν στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και στα δύο ημισφαίρια, λόγω των συνθηκών στις πολικές περιοχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα/της άνοιξης. Οι απώλειες στο νότιο ημισφαίριο είναι μεγαλύτερες από αυτές του βόρειου ημισφαιρίου, λόγω της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική. Στις τροπικές περιοχές οι μειώσεις είναι πολύ μικρότερες επειδή η συγκέντρωση των δραστικών αερίων αλογόνων στην στρατόσφαιρα, είναι πιο μικρή απ' ότι στα μεσαία ή μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και ο ρυθμός παραγωγής του όζοντος είναι πιο υψηλός (WHO, 2011).

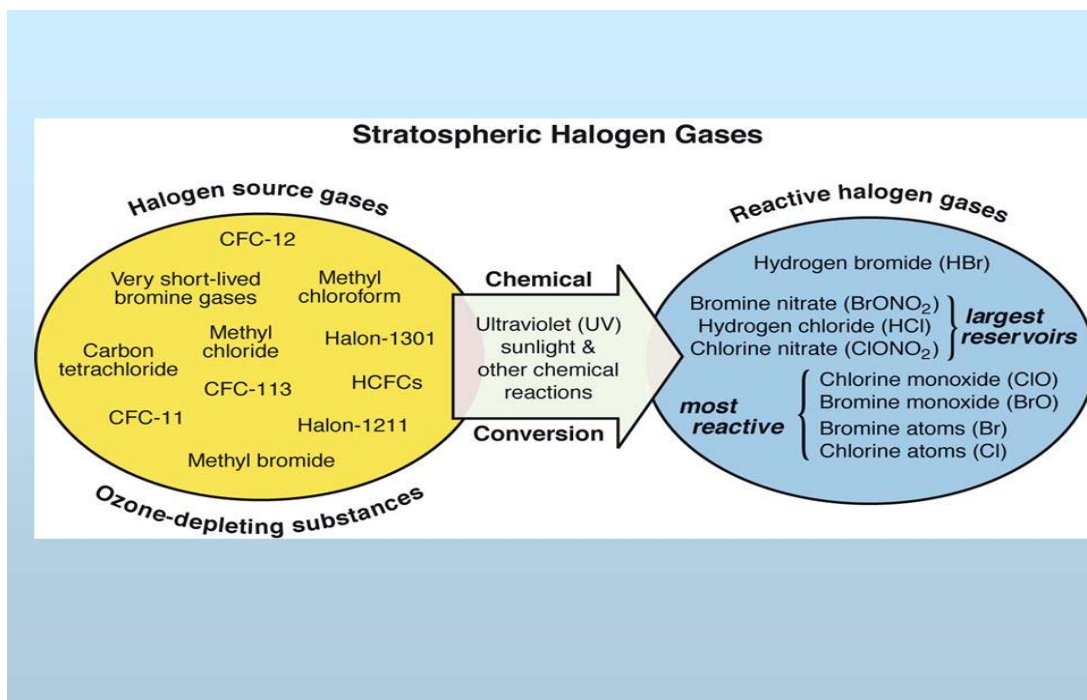
Σήμερα διαπιστώνεται ότι η τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική ανακάμπτει και έχει αποφευχθεί σοβαρότερη μείωση του όζοντος στις πολικές περιοχές. Γενικά, η σημερινή περιοχή τρύπας του όζοντος εξακολουθεί να είναι μεγάλη, σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1980. Εκτός των πολικών περιοχών, το ανώτερο στρατοσφαιρικό όζον αυξήθηκε κατά 1-3% ανά δεκαετία από το 2000. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική τάση παγκοσμίως (60 ° S-60 ° N) του συνολικού όζοντος κατά την περίοδο 1997-2016 και οι μέσες τιμές του όζοντος παραμένουν περίπου 2% κάτω από το μέσο όρο των τιμών την περίοδο 1964-1980 (WMO, 2018). Οι τιμές των συγκεντρώσεων όζοντος της δεκαετίας 1960 δεν αναμένονται να επιτευχθούν πριν από το 2040 ή το 2050 (WHO, 2014).

Σύμφωνα με τη NASA, η τρύπα του όζοντος το 2018 έφθανε σε μια μέση έκταση κάλυψης 22.9 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων το 2018, η οποία κατά το 2016 ήταν 20.7 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα ενώ το 2017 έφτανε τα 19.7 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η αύξηση του μεγέθους της τρύπας του όζοντος εξηγείται από το γεγονός ότι το 2018, ο ανταρκτικός πολικός στρόβιλος ήταν ιδιαίτερα σταθερός και ψυχρός και ευνόησε τον σχηματισμό στρατοσφαιρικών νεφών που συμβάλλουν στην καταστροφή του όζοντος. Οι επιστήμονες της Εθνικής Ωκεανικής και Ατμοσφαιρικής Υπηρεσίας (NOAA) ανέφεραν ότι οι ψυχρότερες θερμοκρασίες του 2018 επέτρεψαν σχεδόν την πλήρη εξάλειψη του όζοντος σε ένα βαθύ στρώμα 3.1 μιλίων (5χλμ) πάνω από τον νότιο πόλο. Η ποσότητα του όζοντος πάνω από το νότιο πόλο έφθασε στο ελάχιστο 104 μονάδες Dobson στις 12 Οκτωβρίου 2018, καθιστώντας την τιμή αυτή, τη 12^η χαμηλότερη των τελευταίων 33 χρόνων των μετρήσεων της NOAA στο νότιο πόλο (NASA, 2018).

2.4 Παραγωγή Και Χρήσεις Των Αερίων Που Μειώνουν Τη Στιβάδα Του Όζοντος

Χημικές ουσίες καταστροφής όζοντος (ODS) ονομάζονται οι χημικές ουσίες, που οδηγούν στην εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος. Οι ουσίες αυτές, φωτολύονται και παράγουν ατομικές ρίζες Cl και Br, οι οποίες οδηγούν στην καταστροφή του όζοντος με τους διάφορους καταλυτικούς κύκλους. Οι περισσότερες από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες ODS είναι μεταξύ άλλων: οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), μακράς διάρκειας ζωής χλωριωμένοι διαλύτες όπως, ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4), το μεθυλοχλωροφόρμιο (CH_3CCl_3), οι βρωμοφθοράνθρακες (Halon) και το μεθυλοβρωμίδιο (CH_3Br). Αυτές οι ουσίες έχουν σχετικά μεγάλη ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής και μπορούν να φθάσουν στη στρατόσφαιρα μετά από την εκπομπή τους στην επιφάνεια της γης.

Στο σχήμα 1.5 εμφανίζονται οι ουσίες που καταστρέφουν το όζον και παράγονται στην τροπόσφαιρα και μετατρέπονται σε δραστικά αλογονούχα αέρια στην στρατόσφαιρα.



Σχήμα 1.5 : Χημικές ουσίες που καταστρέφουν το όζον (αριστερά), παράγονται στην τροπόσφαιρα και μετατρέπονται σε αντιδραστικά αλογόνα (δεξιά) στη στρατόσφαιρα (Hegglin, et al., 2015).

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1930. Διαπιστώθηκε ότι ήταν μη εύφλεκτες, μη τοξικές χημικές ουσίες και αποτελούσαν ιδανικά ψυκτικά μέσα. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων τους, οι CFCs μπόρεσαν να αντικαταστήσουν τα επικίνδυνα υλικά που χρησιμοποιούταν μέχρι τότε στην βιομηχανία παραγωγής ψυκτικών μηχανημάτων, όπως το διοξείδιο του θείου και την αμμωνία. Μέχρι τη δεκαετία του 1960, η χρήση τους ήταν αυξανόμενη στα κλιματιστικά αυτοκινήτων, ως προωθητικά σε διάφορα σπρέι, στην κατασκευή των πλαστικών και ως διαλύτες καθαριστικών διαφόρων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν στο στεγνό καθάρισμα και η χρήση τους ως σπρέι επεκτάθηκε στη παραγωγή καλλυντικών, παρασιτοκτόνων, απορρυπαντικών κλπ. (Abbasi and Abbassi, 2017). Τα CFCs σε αντίθεση με άλλες χημικές ουσίες ανθρωπογενής προέλευσης, κατά την είσοδο τους στην τροπόσφαιρα παραμένουν άθικτα και συνεχίζουν να κινούνται με τυχαία διάχυση μέχρι να φθάσουν στην στρατόσφαιρα.

Οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) εισήχθησαν το 1990, ως υποκατάστατα των CFCs καθώς εμφάνιζαν παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως, ως διαλύτες καθαριστικών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, μετάλλων, στο στεγνό καθάρισμα υφασμάτων αλλά και σε περιπτώσεις όπου απαιτούνταν πολύ υψηλό επίπεδο καθαριότητας όπως σε αρκετά στρατιωτικά, ιατρικά και αναλυτικά όργανα αεροδιαστημικής (Wen-Tien Tsai, 2002). Παρόλο που οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) αποτελούν χημικές ουσίες που περιέχουν χλώριο, η απελευθέρωση του χλωρίου στη στρατόσφαιρα αναμένεται να είναι μικρότερη σε σύγκριση με τους CFCs, επειδή οι HCFCs αντιδρούν με τις ρίζες υδροξυλίου (OH) στην κατώτερη ατμόσφαιρα και έχουν μικρή διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα. Γρήγορα όμως τέθηκαν και αυτές, στις χημικές ουσίες που έπρεπε να περιοριστούν καθώς συνέβαλλαν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και ιδιαίτερα κάποιες από αυτές, έως και 2000 φορές περισσότερο απ' ό τι συμβάλλει το διοξείδιο του άνθρακα (Ziegler, 2013).

Ο τετραχλωράνθρακας (CCl₄) είναι φθηνή αλλά και πολύ τοξική ουσία, η οποία βρήκε ευρεία χρήση ως διαλύτης και επιβραδυντικό φωτιάς. Επίσης, οι βρωμοφθοράνθρακες με την εμπορική ονομασία halons, εισήχθησαν ως πολύ επιτυχημένες, μη τοξικές χημικές ουσίες πυρόσβεσης. Ωστόσο, αποδείχτηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην καταστροφή του όζοντος καθώς τα άτομα βρωμίου είναι ακόμη πιο επιβλαβή για το όζον καθώς κάθε άτομο βρωμίου καταστρέφει εκατοντάδες φορές περισσότερα μόρια όζοντος από ότι ένα άτομο χλωρίου. Τα halon-1211 (CBrClF₂) και halon-1301 (CBrF₃)

βρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες στην ατμόσφαιρα, ενώ τα CFC-11(CCl_3F) και CFC-12 (CCl_2F_2) σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις. Το halon-1301 (CBrF_3) χρησιμοποιείται εμπορικά ως καταστολέας πυρκαγιάς και παράγοντας πρόληψης έκρηξης (WMO, 2010). Αποτελεί σημαντική πηγή στρατοσφαιρικού βρωμίου, η οποία είναι πιο αποτελεσματική από το χλώριο στην εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος, με τρέχουσα διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα τα 72 χρόνια (Abbassi and Abbassi, 2017). Η παραγωγή και η κατανάλωση halons στις αναπτυσσόμενες χώρες σταμάτησε το 1994 και στις αναπτυσσόμενες χώρες τον Ιανουάριο του 2010. Για την περίοδο 2005-2008 οι συγκεντρώσεις των halon-1211 (CBrClF_2) και halon-2402 ($\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$) στην ατμόσφαιρα έδειξαν να μειώνονται ενώ το halon-1301 (CBrF_3) συνεχίζει να αυξάνεται και αναμένεται να παραμείνει ψηλά στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής του και της συνεχούς εκπομπής του από τους πυροσβεστικούς εξοπλισμούς κλπ. (Bernard, et al., 2015).

Επίσης, το μεθυλοβρωμίδιο (CH_3Br) αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή στρατοσφαιρικού βρωμίου. Παράγεται είτε φυσικά, στους ωκεανούς ή με την καύση της βιομάζας κλπ. είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως από την καύση μολυβδούχου βενζίνης (Jana, Sarkar and Saha, 2010). Χρησιμοποιήθηκε ως ένα πολύ αποτελεσματικό εδαφικό και δομικό υποκαπνιστικό, ως φυτοφάρμακο καθώς επίσης, και στη ναυτιλία.

Το χλωροφόρμιο του μεθυλίου CH_3CCl_3 χρησιμοποιείται ως διαλύτης και παράγοντας απολίπανσης στη βιομηχανία. Είναι ένα συστατικό που συναντά κανείς σε διάφορα προϊόντα όπως οικιακά καθαριστικά, κόλλες και αεροζόλ. Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί ως υποκαπνιστικό για τρόφιμα και σιτηρά. Έχει την μικρότερη ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής, περίπου 4.8 χρόνια, αλλά όπως και ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4), έχουν αναγνωριστεί ως καρκινογόνες ουσίες, οπότε η χρήση τους έχει τεθεί σε περιορισμό στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες (Lee and Chiou, 2007).

Οι αλογονωμένες-πολύ μικρής διάρκειας ζωής ουσίες (VSLS), συμβάλλουν επίσης στη φόρτιση της στρατόσφαιρας με μόρια χλωρίου και βρωμίου. Τα χλωριωμένα VSLSs είναι κατά κύριο λόγο ανθρωπογενούς προέλευσης, ενώ τα βρωμιωμένα VSLSs προέρχονται κυρίως από φυσικές πηγές όπως τους ωκεανούς. Έχουν πολύ μικρό χρόνο ζωής (< 0.5 χρόνια) και όταν εισέρχονται στην στρατόσφαιρα αποβάλλουν το αλογόνο τους, οπότε επηρεάζονται περισσότερο τα χαμηλότερα στρώματα της στρατόσφαιρας.

Ο προσδιορισμός της συμβολής τους στην καταστροφή του όζοντος, λόγω της μεταβλητής συγκέντρωσης τους στην ατμόσφαιρα σε σχέση με το χρόνο και το χώρο αλλά και του μικρού χρόνου ζωής τους, είναι αρκετά δύσκολος (WHO, 2018).

Επιπρόσθετα, οι εκπομπές από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, διυλιστήρια πετρελαίου, πετροχημικές βιομηχανίες, εκρήξεις θερμοπυρηνικών όπλων κ.λπ., απελευθερώνουν οξειδία του αζώτου, NO και NO₂, τα οποία δρουν ως καταλύτες στην καταστροφή του όζοντος. Επιπλέον, τα ηφαίστεια αποτελούν μια ακόμη σημαντική φυσική πηγή αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα που επιδρούν έμμεσα στην μείωση του όζοντος. Παρατηρήσεις της σύστασης της στρατόσφαιρας, έδειξαν ότι κατά τις εκρήξεις των ηφαιστειών του El Chichon στο Μεξικό, τον Μάρτιο-Απρίλιο του 1982, και του Pinatubo στις Φιλιππίνες, τον Ιούνιο του 1991, εισήλθαν σε υψόμετρο 30-34 χιλ στην ατμόσφαιρα πολλά ηφαιστειακά σωματίδια, τα οποία επηρέασαν την συγκέντρωση του όζοντος και την θερμοκρασία. Μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo, σχεδόν 20 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του θείου (SO₂) μεταφέρθηκαν στη στρατόσφαιρα. Το SO₂ οξειδώθηκε στη στρατόσφαιρα και σχηματίστηκαν σταγονίδια θειικού οξέος, τα οποία μέσω ετερογενών αντιδράσεων οδηγούν στη δημιουργία δραστικών ενώσεων χλωρίου που καταλύουν τις αντιδράσεις καταστροφής του όζοντος (Fabian and Dameris, 2014).

2.5 Επιπτώσεις Της Μείωσης Της Στιβάδας Του Όζοντος

Εξαιτίας της μείωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα, ολοένα και περισσότερη βλαβερή ηλιακή ακτινοβολία UV-B πλήττει την επιφάνεια της γης, έχοντας σοβαρές επιπτώσεις στους ανθρώπους, στα ζώα, τα φυτά, στους μικροοργανισμούς, στα υλικά και στην ποιότητα του αέρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία UV-B (290-320 nm) είναι βλαβερή για τον άνθρωπο και μπορεί να θεωρηθεί και ως το πιο άφθονο καρκινογόνο μέσο στο φυσικό μας περιβάλλον (DeGruyl, 2000). Πειράματα σε ζώα αποδεικνύουν επίσης, ότι η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία μειώνει την ανοσολογική απόκριση σε καρκίνους δέρματος και διάφορους μολυσματικούς παράγοντες, επιδεινώνοντας μια μεγάλη ποικιλία ιογενών, βακτηριακών, παρασιτικών και μυκητιασικών λοιμώξεων (Abbasi and Abbasi, 2017).

2.5.1 Επιπτώσεις Στην Ανθρώπινη Υγεία

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας UV -B (290-320 nm) στον άνθρωπο σχετίζεται κυρίως με ασθένειες των ματιών, τον καρκίνο του δέρματος και μολυσματικές ασθένειες (Abbasi and Abbasi, 2017).

2.5.1.1 Μάτια

Το μάτι είναι ένα σύνθετο, πολύπλευρο όργανο που δέχεται ορατή ακτινοβολία στον αμφιβληστροειδή του. Η πιο γνωστή οξεία επίδραση που προκαλείται από την έκθεση στην ακτινοβολία UVB στο ανθρώπινο μάτι είναι η φωτοκερατίτιδα, γνωστή ως τύφλωση του χιονιού ή φλας του συγκολλητή και πρόκειται για ένα ηλιακό έγκαυμα της επιφάνειας του βολβού. Η σκίαση που προσφέρει το φρύδι και ο στραβισμός δεν μπορεί να προστατεύσει το μάτι, ιδιαίτερα σε κάποιες συνθήκες με ισχυρές αντανακλάσεις όπως, στο χιόνι ή και κατά την άμεση έκθεση σε τεχνητές πηγές UV-B ακτινοβολίας (ηλεκτροσυγκόλληση)(De Gruijl, 2000). Πρόκειται για μια οδυνηρή παροδική φλεγμονώδη κατάσταση που προκαλείται από βλάβη του επιθήλιου του κερατοειδούς από την ακτινοβολία. Συνήθως εμφανίζεται 6-12 ώρες μετά την έκθεση και διαλύεται, χωρίς μακροπρόθεσμες συνέπειες, μέσα σε 48 ώρες (Young, 2006).

Σε αντίθεση με το δέρμα, το μάτι δεν φαίνεται να προσαρμόζεται στην έκθεση UVB οπότε είναι απαραίτητο να λαμβάνονται προφυλάξεις. Η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία επίσης συνδέεται επιδημιολογικά με την ανάπτυξη ορισμένων τύπων καταρράκτη, ενώ μελέτες σε ζώα αποδεικνύουν αιτιώδη συνάφεια (Löfgren, 2017). Ο καταρράκτης είναι μια συνήθης παγκόσμια αιτία τύφλωσης, επειδή δεν αντιμετωπίζεται επαρκώς σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Η δημιουργία του καταρράκτη θολώνει το φακό του ματιού, μη επιτρέποντας στο φως να περάσει στον αμφιβληστροειδή και εμφανίζονται έτσι σημάδια τύφλωσης.

Αν και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι δύσκολο να τεκμηριωθούν, επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν ότι υπάρχουν μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι για εμφάνιση και άλλων παθήσεων όπως, ανάπτυξης πτερυγίου και η εκφύλιση της ώχρας κηλίδας. Το πτερύγιο είναι μια πάθηση του ματιού, που χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό ενός ινοαγγειακού ιστού, ο οποίος εισβάλλει στον κερατοειδή και οδηγεί σε οπτική διαταραχή και αν δεν θεραπευτεί οδηγεί στην

τύφλωση. Η χρόνια έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία παίζει σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του πτερυγίου (Rezvan, et al., 2018).

2.5.1.2 Δέρμα

Το δέρμα, ο εξωτερικός ιστός του σώματος, εκτίθεται σε διάφορες περιβαλλοντικές επιθέσεις, εκ των οποίων, η ηλιακή υπεριώδης (UV) ακτινοβολία είναι η πιο σημαντική. Η UVA είναι υπεύθυνη για την έμμεση βλάβη των κυττάρων, μέσω της δημιουργίας ελευθέρων ριζών οξυγόνου ενώ η UVB ακτινοβολία, η οποία απορροφάται σχεδόν εξολοκλήρου από την επιδερμίδα, προκαλεί άμεση κυτταρική και δομική βλάβη στο DNA και έχει ως αποτέλεσμα, ποικίλες επιβλαβείς επιδράσεις στο ανθρώπινο δέρμα (Dalmau, Abadie, Tauler and Bedia, 2018).

Οι συνέπειες μπορεί να είναι οξείες, όπως το ηλιακό έγκαυμα, η φωτοτοξικότητα, η φωτοδερματίτιδα, η φωτοαλλεργία, η ηλιακή κνίδωση, η ηλιακή δερματοπάθεια κλπ. αλλά και χρόνιες όπως, η φωτογήρανση, η ακτινική δερματίτιδα, η ηλιακή φακί υπερχεράτωση, ο καρκίνος του δέρματος κλπ (Σακουφάκη, 2017).

Πρόσφατα, η αυξημένη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία UV-B, λόγω της εξάντλησης του όζοντος, έχει συσχετιστεί με την αυξημένη συχνότητα εμφάνισης καρκίνου του δέρματος σε ολόκληρο τον κόσμο. Η καρκινογενετική επίδραση της UV-B ακτινοβολίας συντελείται από την άμεση απορρόφηση της από το DNA των επιδερμικών κυττάρων και του σχηματισμού χαρακτηριστικών μεταλλάξεων σε κρίσιμα για την κυτταρική επιβίωση γονιδίων, όπως το ογκοκατασταλτικό γονίδιο p53 (Σακουφάκη, 2017). Η δυσλειτουργία ενός τέτοιου γονιδίου επιτρέπει τη συσσώρευση ογκογόνων μεταλλάξεων, που σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, μπορεί να οδηγήσει σε κακοήγη εκτροπή των δερματικών κυττάρων (Στρατηγός και Αντωνίου, 2001).

Οι πιο επικίνδυνοι τύποι καρκίνου του δέρματος διακρίνονται σε: μελάνωμα (CMM), βασικοκυτταρικό καρκίνωμα (BCC) και το ακανθοκυτταρικό καρκίνωμα (SCC), με τους δύο τελευταίους τύπους να είναι γνωστοί στην παλαιότερη επιδημιολογία ως μη-μελανωματικοί τύποι καρκίνου του δέρματος (NMSCs). Από όλους τους τύπους καρκίνου του δέρματος, το 70-80% είναι το βασικοκυτταρικό καρκίνωμα BCC ενώ ο δεύτερος πιο συχνός τύπος είναι το ακανθοκυτταρικό καρκίνωμα (SCC) με ποσοστά από 10-20% και παγκόσμιο ποσοστό θνησιμότητας 2-3%. Το BCC είναι κακοήθης όγκος

των θυλακικών κυττάρων και είναι ο πιο συχνός τύπος καρκίνου του δέρματος σε άτομα με ανοιχτό χρώμα δέρματος. Η εμφάνιση του παρουσιάζει αύξηση παγκοσμίως και συνδέεται με την έντονη έκθεση στην παιδική και εφηβική ηλικία. Το SCC προέρχεται από την κακοήγη ανάπτυξη των κεταρινοκυττάρων της επιδερμίδας. Ο κίνδυνος εμφάνισης του συνδέεται με την αθροιστική δόση της υπεριώδους ακτινοβολίας που έχει δεχθεί το σώμα και το βαθμό μελάγχρωσης ((Slaper, Outer and Kelfkens, 2007).

Το μελάνωμα (CMM) εμφανίζεται σε ποσοστό 10% αλλά αποτελεί έναν πολύ επιθετικό τύπο με ποσοστό θνησιμότητας 20-25% ((Slaper, Outer and Kelfkens, 2007). Στις ΗΠΑ το μελάνωμα κατατάσσεται ως ο έκτος κατά σειρά, πιο συχνός τύπος καρκίνου και υπολογίζεται 1 θάνατος ανά ώρα (Tracey and Vij, 2019). Η σύνδεση μεταξύ κινδύνου μελανώματος και έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία σχετίζεται με διάφορους παράγοντες όπως, η διάρκεια της έκθεσης, η ηλικία του ατόμου κατά την έκθεση, οι τροποποιήσεις των επιδράσεων των παραγόντων ευαισθησίας του ξενιστή στην έκθεση και οι βιολογικοί μηχανισμοί επαγωγής του μελανώματος (Chang Feng, Gao and Gao, 2010).

Σε ποιο βαθμό η έκθεση στην ακτινοβολία θα επηρεάσει τον οργανισμό, εξαρτάται από το είδος οργανισμού, την ηλικία του, τη συχνότητα και τη διάρκεια έκθεσης. Για παράδειγμα, η γήρανση του δέρματος ή ο καρκίνος του δέρματος και ενδεχομένως ο καταρράκτης, σχετίζονται με τις ληφθείσες δόσεις από τα άτομα για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, δηλαδή έκθεση για πολλά χρόνια μέχρι και μια ζωή. Άλλες επιδράσεις, όπως, η εξασθένιση του ανοσοποιητικού συστήματος μπορεί να σχετίζεται με τις δόσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου εβδομάδων έως και μηνών. Μερικά βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα, όπως το ερύθημα του δέρματος και η φωτοκερατίτιδα, σχετίζονται κυρίως με τις δόσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια και μιας ημέρας, αλλά επηρεάζονται και από το ιστορικό έκθεσης των προηγούμενων ημερών έως και εβδομάδων (Slaper, Outer and Kelfkens, ,2007).

2.5.2 Επιπτώσεις Στην Πανίδα

Σε σύγκριση με τους ανθρώπους, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν προστασία και να μειώσουν την έκθεσή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία σε κάποιο βαθμό, τα φυτά και τα ζώα δεν έχουν τέτοια προστασία και κατά συνέπεια λαμβάνουν πολύ

περισσότερο UV-B ακτινοβολία, απ' ό τι πριν από μερικές δεκαετίες. Επίσης, εξαιτίας της τρύπας του όζοντος στην χερσαία άγρια πανίδα μπορεί κανείς να υποθέσει ότι θα υπάρξουν επιπτώσεις και το πιθανότερο είναι ότι θα επιδεινώσει και άλλες περιβαλλοντικές πιέσεις που ήδη υφίστανται. Είναι πιθανό δε να αυξήσει τον κίνδυνο εξαφάνισης ήδη απειλούμενων ειδών (Acevedo-Whitehouse and Duffus, 2009).

2.5.3 Επιπτώσεις Στα Χερσαία Φυτά

Τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην ακτινοβολία UV-B και μικρές αυξήσεις στην έκθεση τους μπορεί να επιφέρει σημαντικές βιολογικές βλάβες. Η ακτινοβολία UV-B καταστρέφει τις κυτταρικές μεμβράνες, τους χλωροπλάστες, τα μιτοχόνδρια κλπ. και επηρεάζει έτσι, άμεσα ή έμμεσα, τις βασικές μεταβολικές διεργασίες φυτών, όπως τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή, τη αναπαραγωγή, η ανάπτυξη και την εξέλιξη τους γενικά (Prasad, Kakani and Reddy, 2010). Η ακτινοβολία UV-B καταστέλλει τη φωτοσύνθεση πράγμα που συνεπάγεται μείωση την παραγωγής της βιομάζας και των σπόρων καθώς και την ανάπτυξη των φυτών.

Επίσης, από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί διαπιστώθηκε ότι σε γενικές γραμμές η έκθεση σε υψηλή UV-B επηρεάζει τα φυτά μεταβάλλοντας τη μορφολογία τους καθώς, συντελεί στη μείωση του ύψους τους, την αύξηση του πάχους των φύλλων και αλλαγές στη γεωμετρία τους. Η UV-B μπορεί να αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο, τα φυτά ανταποκρίνονται σε διάφορους παράγοντες, όπως το υδατικό στρες. Επίσης, η UV-B επιφέρει αλλαγές στις μικροβιακές κοινότητες του εδάφους, τη βιομάζα και τους μεταβαλλόμενους πληθυσμούς των μικρών ασπόνδυλων, επιφέροντας σημαντικές επιπτώσεις στην διεργασία του κύκλου των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος (Wu, Guan, Yuan and Zhang, 2009). Ωστόσο, οι βλαβερές συνέπειες της UV-B αξιολογήθηκαν κυρίως, μέσω in vitro μελετών και ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη δόση που έλαβε το φυτό, την περίοδο έκθεσης, το στάδιο ανάπτυξης του και την ευαισθησία του κάθε είδους (Reboredo and Lidon, 2012).

2.5.4 Επιπτώσεις Στα Υδάτινα Οικοσυστήματα

Πρόσφατα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της UV-B ακτινοβολίας που σχετίζεται με τη τρύπα του όζοντος, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα υδρόβια οικοσυστήματα: λίμνες, ποτάμια, έλη, ωκεανούς αλλά και πολλά υδρόβια είδη. Η ηλιακή ακτινοβολία UV διεισδύει σε σημαντικά βάθη στα υδάτινα συστήματα, επηρεάζοντας έτσι τόσο τους

μεγαλύτερους παραγωγούς βιομάζας (φυτοπλαγκτόν) όσο και τους καταναλωτές (π.χ. ζωοπλαγκτόν, ψάρια κ.λπ.) που βρίσκονται στα ψηλότερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας. Το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας στα φυσικά νερά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως, τις διαλυμένες οργανικές ουσίες, τη συγκέντρωση και η χημική σύνθεσή τους. Στους ευτροφικούς οικοτόπους γλυκών νερών και στις παράκτιες περιοχές των ωκεανών, οι διαλυμένες ουσίες, όπως ανόργανα σωματίδια, ο διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC) και ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας (POC) καθώς και μια ποικιλία χουμικών ουσιών, μειώνουν σημαντικά την ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος διότι την απορροφούν και την διασκορπίζουν. Στα καθαρά νερά των ωκεανών η ακτινοβολία UV διεισδύει σε μεγαλύτερα βάθη (Häderar, Kumar, Smith and Worrest, 1998).

Τα επιβλαβή αποτελέσματα της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας περιλαμβάνουν τη βιολογική αλλοίωση μορίων όπως, πρωτεΐνες, λιπίδια και τα χρωμοφόρα και επηρεάζει δομές όπως, μεμβράνες, συμπεριλαμβανομένων των φωτοσυνθετικών θυλακοειδών και των κυτταρικών ορίων. Η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος παρεμποδίζει τις ζωτικές κυτταρικές λειτουργίες όπως, τη φωτοσύνθεση, την κυτταρική διαίρεση, τον πολλαπλασιασμό, την ανάπτυξη καθώς και τις βασικές βιοχημικές διεργασίες που περιλαμβάνουν τη σταθεροποίηση του αζώτου και την παραγωγή ενέργειας (Häder, 2003).

Το φυτοπλαγκτόν, το βακτηριοπλαγκτόν και το πικοπλαγκτόν συμμετέχουν στην παραγωγή και την ανακύκλωση της ενέργειας και θρεπτικών ουσιών στα υδρόβια οικοσυστήματα. Η διακοπή της λειτουργίας αυτών των κρίσιμων συνιστωσών θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στους ανθρώπους, οι οποίοι εξαρτώνται από τα υδρόβια οικοσυστήματα για την παροχή τροφίμων και ινών (Andrady, et al., 2015).

Γενικά υπάρχει μια σαφής αντίστροφη συσχέτιση, μεταξύ του μεγέθους των μικροοργανισμών και των επιπτώσεων της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας. Τα βακτήρια και οι μικροί πλαγκτονικοί οργανισμοί (νανο και πικο πλαγκτόν) είναι συνήθως πολύ μικροί για να προστατεύσουν αποτελεσματικά τους εαυτούς τους από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι πληθυσμοί αντιδρούν στην πίεση από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία με ταχεία διαίρεση και ανάπτυξη κυττάρων. Στα καθαρά νερά των ωκεανών με υψηλή διείσδυση της UV ακτινοβολίας το βακτηριοπλακτόν

επηρεάζεται στα ανώτερα στρώματα νερού. Η ανάπτυξη και η επιβίωση υποβαθμίζονται και η δραστηριότητα των ενζύμων αναστέλλεται. Η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία καταστρέφει το DNA κυρίως με το σχηματισμό διμερών θυμίνης προκαλώντας μεταλλαξογένεση και κυτταρικό θάνατο (Tedetti and Sempere, 2007).

2.5.5 Επιπτώσεις Στην Ποιότητα Του Αέρα Και Το Κλίμα

Η αυξημένη διείσδυση της UVB ακτινοβολίας εξαιτίας της τρύπας του όζοντος, μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος της τροπόσφαιρας. Το τροποσφαιρικό όζον είναι επικίνδυνος ρύπος για τα φυτά, την ανθρώπινη υγεία και ορισμένα είδη υλικών ενώ αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου και συμβάλλει στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η αυξημένη υπεριώδης ακτινοβολία επιταχύνει τη φωτοδιάσπαση πολλών αερίων και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των ριζών υδροξυλίου, εξαιτίας της φωτόλυσης του όζοντος, οπότε επηρεάζεται γενικά η χημεία της τροπόσφαιρας αφού αλλάζει το ισοζύγιο της συγκέντρωσης των ενώσεων που ελέγχονται από την αντίδρασή τους με τις ρίζες υδροξυλίου. Η μεταβολή στη συγκέντρωση των ριζών υδροξυλίων συνεπάγεται αλλαγή στο χρόνο ζωής, σημαντικών για το κλίμα αερίων στην ατμόσφαιρα όπως, του μεθανίου CH₄ και ενώσεων CFCs (Khan and Abbasi, 2001).

Με τη χρήση δορυφορικών μετρήσεων και μοντέλων πρόβλεψης εκτιμήθηκε ότι σε περιοχές με φαινόμενα ρύπανσης, η αύξηση των οξειδίων των αζώτου NO_x συνοδεύονταν με αυξημένη συγκέντρωση τροποσφαιρικού όζοντος ενώ σε σχετικά πιο καθαρές περιοχές, με χαμηλά επίπεδα NO_x δεν παρατηρούνταν αύξηση στη συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος. Αντίθετα, άλλοι οξειδωτικοί παράγοντες όπως, H₂O₂ και OH⁻ τείνουν να αυξάνονται τόσο στις ρυπασμένες όσο και στις πιο καθαρές περιοχές. Οι μεταβολές στη συγκέντρωση του H₂O₂ ενδέχεται να έχει αποτέλεσμα τη δημιουργία όξινων βροχοπτώσεων τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές (Abbasi and Abbasi, 2017).

Για πολύ καιρό δεν είχε αναγνωριστεί ευρέως ότι η τρύπα του όζοντος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το κλίμα της γη. Δεδομένο είναι ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της εξάντλησης του όζοντος και της αλλαγής του κλίματος είναι προφανώς πολύ σύνθετες και συνεπάγονται σημαντικές φυσικές και χημικές μεταβολές στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, οι αλλαγές μπορεί να συμβούν και στις δύο κατευθύνσεις: η αλλαγή στα

επίπεδα του όζοντος μπορεί να επηρεάσει το κλίμα και η αλλαγή του κλίματος μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα του όζοντος (Cracknell and Varotsos, 2012). Ωστόσο, πολλές μελέτες δείχνουν ότι η εξάντληση του όζοντος επηρεάζει την αλλαγή του κλίματος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της Ανταρκτικής, με αποτέλεσμα τη ψύξη του εσωτερικού της ηπείρου. Οι Kang, et al. (2011) έδειξαν ότι οι επιπτώσεις στο κλίμα, λόγω της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος, δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή της Ανταρκτικής, αλλά εκτείνεται και σε μεγάλο μέρος του νότιου ημισφαιρίου, μέχρι και τις τροπικές περιοχές. Η επίδραση της τρύπας του όζοντος στην στο κλίμα της Ανταρκτικής είναι αρκετά ισχυρή ώστε να επηρεάσει τις βροχοπτώσεις στις υποτροπικές περιοχές (Kang, Polvani, Fyfe and Sigmond, 2011). Η ανάλυση των παρατηρήσεων και των μοντέλων για το κλίμα, έδειξε ότι η καταστροφή του όζοντος οδήγησε σε αλλαγές στις βροχοπτώσεις την περίοδο της άνοιξης στον νότιο Ειρηνικό ωκεανό, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία κατά την περίοδο 1961-1996, οι οποίες κυμάνθηκαν από -25% έως +40%, ανάλογα με την περιοχή (Brönnimann, et.al, 2017).

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός –Στόχοι

Ο σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η καταγραφή και η ανάλυση των διεθνών συμφωνιών, που υιοθετήθηκαν για τη μείωση των αερίων που επιδρούν στο φαινόμενο της τρύπας του όζοντος. Ειδικότερα, θα γίνει αναλυτική καταγραφή των μέτρων και των στόχων που έθεσαν αυτές οι συμφωνίες, για τον έλεγχο και τη μείωση των χημικών ουσιών, που συμβάλλουν στη δημιουργία της τρύπας του όζοντος. Ο στόχος είναι η αξιολόγηση των συμφωνιών, με κριτήριο τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μέτρων που υιοθέτησαν, στην κατάσταση της στιβάδας του όζοντος, για την πιθανή αναθεώρηση των ισχυόντων συμβάσεων και γενικά, για τον περαιτέρω σχεδιασμό των πολιτικών που αφορούν στην προστασία της στιβάδας του όζοντος.

3.2 Ερευνητικό Ερώτημα

Το βασικό ερευνητικό ερώτημα της παρούσας έρευνας, αφορά στην κριτική ανάλυση-αξιολόγηση των διεθνών συμφωνιών για τη μείωση των αερίων που επιδρούν στην τρύπα του όζοντος και την εξαγωγή συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Συγκεκριμένα, θα καθοριστούν τα αποτελέσματα των διεθνών συμφωνιών για την μείωση των αερίων που προκαλούν τη μείωση της τρύπας όζοντος προκειμένου να γίνει διερεύνηση και αποτίμηση της τρέχουσας κατάστασης της στιβάδας του όζοντος και μελλοντική πρόβλεψη, σύμφωνα με τη συνεχή επιστημονική ανάλυση και τα μοντέλα πρόβλεψης. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα αναδείξουν τα κενά των προηγούμενων συμφωνιών και την αναγκαιότητα ή μη, για σύναψη νέων διακρατικών συμφωνιών για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Επίσης, θα αναδειχθούν οι αδυναμίες των συμφωνιών αυτών, ώστε να αποτελέσουν παράδειγμα προς αποφυγή κατά τη σύναψη άλλων συμφωνιών. Αντίθετα η ανάδειξη των δυνατών σημείων θα αποτελέσουν εργαλείο στο σχεδιασμό άλλων συμφωνιών.

3.3 Σχεδιασμός

Οι κύριοι άξονες της παρούσας διατριβής είναι:

- η καταγραφή των διεθνών συμφωνιών: Σύμβαση της Βιέννης και του Πρωτόκολλου του Μόντρεαλ με τις τροποποιήσεις του και αναφορά στους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς, για τη μείωση των αερίων που επιδρούν στην τρύπα του όζοντος.
- η αναφορά στους στόχους και τα μέτρα που συμφωνήθηκαν κάθε φορά.
- η κριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της υιοθέτησης των αρχών που συμφωνήθηκαν και εφαρμόστηκαν
- η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίτευξη του στόχου της αναστροφής του επικίνδυνου φαινομένου της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος και της μελλοντικής του εκτίμησης.

Μετά τη διατύπωση του ερευνητικού ερωτήματος της παρούσας διατριβής, αναπτύχθηκε το θεωρητικό πλαίσιο και η βιβλιογραφική επισκόπηση, όπου έγιναν οι απαραίτητες θεωρητικές και εννοιολογικές προσεγγίσεις με εκτενή αναφορά, στα τρέχοντα ευρήματα για τη τρύπα του όζοντος, τους παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία της και των επιπτώσεων της. Δόθηκαν ορισμοί, επιστημονικές έννοιες όπως, τι είναι το χημικό στοιχείο του όζοντος και πώς κατανέμεται αυτό στην ατμόσφαιρα, πώς διακρίνονται οι στιβάδες της ατμόσφαιρας, ο ορισμός της στιβάδας του όζοντος, ο ορισμός του φαινομένου της τρύπας του όζοντος και η ιστορική του εξέλιξη.

Κατόπιν, έγινε αποτίμηση της σημερινής κατάστασης της στιβάδας και αναλύθηκαν οι μηχανισμοί παραγωγής και κατανάλωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος καθώς και οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της στιβάδας. Ειδικότερα, έγινε εκτενής αναφορά στα αέρια που εξαντλούν τη στιβάδα του όζοντος και των επιπτώσεων της εξάντλησης αυτής, στον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα.

Στην συνέχεια, έγινε σύνθεση του κειμένου της κάθε συμφωνίας, όπου αναφέρθηκαν οι όροι και ο τρόπος εφαρμογής τους καθώς και αναφορά στην αποδοχή, που έτυχε η κάθε συμφωνία. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην καταγραφή των στόχων και μέτρων, που υιοθετήθηκαν για τον έλεγχο της παραγωγής και της κατανάλωσης των χημικών ενώσεων που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος καθώς και των χρονοδιαγραμμάτων εξάλειψής τους.

Οι διεθνείς συμφωνίες του όζοντος που καταγράφηκαν στην παρούσα διατριβή είναι:

- Συνθήκη της Βιέννης, 1985
- Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, 1987
- Τροποποίηση του Λονδίνου, 1990
- Τροποποίηση της Κοπεγχάγης, 1994
- Τροποποίηση του Μόντρεαλ, 1997
- Τροποποίηση του Πεκίνου, 1999
- Τροποποίηση του Κιγκάλι, 2016 και
- Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1005/2009 ΕΚ

Τα αποτελέσματα των παραπάνω συμφωνιών, για τη μείωση των αερίων που καταστρέφουν τη στιβάδα, αποτυπώθηκαν με καταγραφή :

- Της ποσοστιαίας κατανάλωσης σε τόνους ODP (ozone depletion potential, ODP) , των ODS χημικών ενώσεων, που έθεσαν οι συμφωνίες υπό έλεγχο, για τις περιόδους εφαρμογής τους. Ο δείκτης ODP - δυναμικό καταστροφής όζοντος, δείχνει ενδεικτικά τη δυνατότητα μιας ένωσης να καταστρέψει δεδομένο αριθμό μορίων όζοντος σε δεδομένο χρονικό διάστημα.
- Του ποσοτικού προσδιορισμού των επιπτώσεων των αλογόνων (χλωρίου και βρωμίου) στην εξάντληση του όζοντος στη στρατόσφαιρα, με τη χρήση του δείκτη EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine).
- Της εξέλιξης των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αυτών των χημικών ενώσεων μέχρι σήμερα.
- Της διακύμανσης της παγκόσμιας στήλης του όζοντος πάνω από τις διάφορες περιοχές της γης.
- Των μετρήσεων του μεγέθους της τρύπας του όζοντος σήμερα αλλά και
- Των προβλέψεων για την μελλοντική κατάσταση της στιβάδας, μέσω των μοντέλων πρόβλεψης, με την παραδοχή της ισχύς και συμμόρφωσης με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και των τροποποιήσεων του, που αποτελεί και ουσιαστικά την κύρια συμφωνία για τη στιβάδα του όζοντος.

Η αξιολόγηση των συμφωνιών ως επιτυχής ή μη, έγινε με διάφορα κριτήρια. Λήφθηκαν υπόψη:

- Οι επιπτώσεις της υιοθέτησης των μέτρων των συμφωνιών, για τον έλεγχο της παραγωγής και κατανάλωσης των ουσιών που καταστρέφουν το όζον και της τελικής τους εξάλειψης, :
 - στο περιβάλλον-μέσω της αποτίμησης της κατάστασης της στιβάδας και της υπεριώδους ακτινοβολίας που τη διαπερνά, με τις αρνητικές συνέπειες της στην ανθρώπινη υγεία και παράλληλα στο κλίμα.
 - στην κοινωνία – στον τομέα της υγείας και ειδικότερα μέσω του αριθμού των κρουσμάτων καρκίνου του δέρματος και καταρράκτη, παθήσεων, που απορρέουν από την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, εξαιτίας της τρύπας του όζοντος και
 - στην οικονομία.
- Το μέγεθος της αποδοχής τους από τα κράτη, σε συνδυασμό με την συμμόρφωση των όσων αυτές οι συμφωνίες επέβαλλαν. Αξιολογήθηκε, εάν οι συμφωνίες έτυχαν τη γενική αποδοχή των κρατών ή επρόκειτο για συμφωνίες που αφορούσαν χώρες με κοινά χαρακτηριστικά, για παράδειγμα εάν επρόκειτο για μια συμφωνία μεταξύ ισχυρών οικονομικών κρατών και μόνο.
- Αξιολογήθηκε η χρονική στιγμή που συνάφθηκαν οι συμφωνίες αυτές, εάν αντιμετώπιζαν ένα υπαρκτό πρόβλημα με ορατές συνέπειες ή αποτελούσε αντικείμενο πρόληψης καθώς και
- Το γεγονός εάν οι συμφωνίες υιοθέτησαν κάποια πρωτοποριακή αρχή κατά τη δημιουργία τους.

Τα συμπεράσματα της αξιολόγησης των συμφωνιών και των αποτελεσμάτων τους, μέσω της αποτίμησης της τρέχουσας κατάστασης της στιβάδας και της μελλοντικής πρόβλεψη, σύμφωνα με τη συνεχή επιστημονική ανάλυση και τα μοντέλα πρόβλεψης, ανέδειξαν τα κενά και τα σημεία που πρέπει να αντιμετωπιστούν περαιτέρω για την αναστροφή του φαινομένου της τρύπας του όζοντος και την προστασία της στιβάδας του όζοντος.

Τέλος, έγιναν εισηγήσεις για μελλοντική έρευνα και επισημάνθηκαν οι παράγοντες που οι διεθνείς περιβαλλοντικές συμφωνίες πρέπει να λάβουν υπόψη τους, για την καλύτερη αντιμετώπιση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος. Επίσης, τονίστηκαν τα δυνατά σημεία των συμφωνιών για εφαρμογή σε άλλες διεθνείς συμφωνίες.

3.4 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων - Ανάλυσης Αποτελεσμάτων

Το θεωρητικό πλαίσιο, της παρούσας διατριβής, προήλθε από ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τη στιβάδα του όζοντος, από διεθνείς αναγνωρισμένους επιστημονικούς εκδοτικούς οίκους, όπως : Elsevier, Springer, Wiley κλπ. Πραγματοποιήθηκε αναζήτηση δημοσιευμένων αναφορών - εκθέσεων επίσημων οργανισμών, όπως : World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), NASA, European Commission, The Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol (MLF), National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) κλπ., σχετικά με τις διεθνείς συμφωνίες για την στιβάδα του όζοντος καθώς και το θεσμικό πλαίσιο της εφαρμογής αυτών.

Η προσέγγιση και η σύνθεση της βιβλιογραφίας της παρούσας έρευνας, έγινε με κριτήριο την επιστημονική κατανόηση της χημείας της στιβάδας του όζοντος και του τρόπου που επιδρούν οι διάφορες χημικές ενώσεις, κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, σε αυτήν, την καταγραφή της ιστορικής εξέλιξης του φαινομένου της τρύπας του όζοντος παράλληλα με την εξέλιξη των σχετικών διακρατικών συμφωνιών, την αποτίμηση της κατάστασης της στιβάδας, πριν και μετά, την εφαρμογή των συμφωνιών καθώς και των μελλοντικών προβλέψεων για την τρύπα του όζοντος.

Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν: ozone layer, ozone and stratospheric chemistry, treaties for ozone, impacts of ozone depletion, Antarctic ozone hole, Ozone depleting substances, Vienna Convention, Montreal Protocol benefits κλπ.

Τα πλήρη κείμενα των συμφωνιών εντοπίστηκαν στην Ελληνική Νομοθεσία, στην ιστοσελίδα του Εθνικού Τυπογραφείου καθώς και στην διαδικτυακή πύλη πληροφοριών των Ηνωμένων Εθνών για τις πολυμερείς περιβαλλοντικές συμφωνίες (InforMEA).

Η ανάλυση και αξιολόγηση των συμφωνιών έγινε επίσης, με βιβλιογραφική ανασκόπηση για την εξέλιξη της τρύπας του όζοντος, μετά την εφαρμογή των συμφωνιών και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή των επιστημονικών άρθρων και βιβλίων ήταν ο βαθμός απήχησης των επιστημονικών

περιοδικών και των άρθρων, στην διεθνή επιστημονική κοινότητα. Τα περισσότερα από τα άρθρα που επιλέχθηκαν δημοσιεύθηκαν σε περιοδικά με δείκτη αντίκτυπου μεγαλύτερο από 2 ή είχαν υψηλή αξιολόγηση με μεγάλο αριθμό ετεροαναφορών.

Η συλλογή των δεδομένων της παρούσας διατριβής, προέρχονται από τις βάσεις δεδομένων της βιβλιοθήκης του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου και από άλλες μηχανές αναζήτησης ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας στο διαδίκτυο, όπως το Google scholar.

Κεφάλαιο 4

Καταγραφή και ανάλυση των συμφωνιών

4.1 Διεθνές Πλαίσιο-Συμβάσεις Και Πρωτόκολλα

Στα τέλη της δεκαετίας του 70', η ανακάλυψη του φαινομένου της τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, αναγνωρίζεται από τη διεθνή κοινότητα, ως ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Οι επιστήμονες καταδεικνύουν για πρώτη φορά τους μηχανισμούς, σύνθεσης και αποσύνθεσης του στρατοσφαιρικού όζοντος και ανακαλύπτουν κυρίως, ότι διάφορες χημικές ουσίες ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), είναι υπεύθυνες για την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, με αρνητικές επιπτώσεις σε ανθρώπους και οικοσυστήματα.

Την εποχή εκείνη, περίπου 700.000 τόνοι τέτοιων χημικών ουσιών απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα, οι οποίες λόγω των ιδιοτήτων τους: αδρανή σαν ευγενή αέρια, μη εύφλεκτα, μη τοξικά και χωρίς μυρωδιά ή γεύση, είχαν ευρεία χρήση ως προωθητικά αέρια στα αεροζόλ, ως ψυκτικά μέσα, ως διαλύτες και ως προωθητές αφρού (Fabian and Dameris, 2014). Στο δεύτερο μισό του προηγούμενου αιώνα, περίπου 23 εκατ. τόνοι CFCs, 11 εκατ. τόνοι μεθυλοχλωροφορμίου, 2,5 εκατ. τόνοι τετραχλωράνθρακα και 4 εκατ. τόνοι υδροφθοράνθρακα (HCFC-22) απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα (Farman, 2001).

Πρώτες οι ΗΠΑ και μετά ο Καναδάς, η Νορβηγία και η Σουηδία, απαγορεύουν την χρήση των CFCs στα αεροζόλ. Πολλές πολιτείες των ΗΠΑ ανακοίνωσαν κοινά σχέδια και χρονοδιαγράμματα, για την απαγόρευση των CFCs στα σπρέι και οι διάφορες εταιρείες υποχρεώθηκαν από τις 15 Οκτωβρίου 1978, να σταματήσουν την παραγωγή των CFCs για «μη βασικές χρήσεις». Οι «μη βασικές χρήσεις» αφορούσαν στην χρήση των CFCs μόνο στα σπρέι και δεν προβλέπονταν να τεθούν περιορισμοί σε άλλες χρήσεις, σε

εκείνη τη χρονική στιγμή (Cracknell and Varotsos, 2012). Το 1980, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφασίζει να καθορίσει ένα ανώτατο όριο στην παραγωγική της ικανότητα και να μειώσει τη χρήση των CFCs στα αεροζόλ κατά 30%. Τα επόμενα χρόνια πραγματοποιήθηκαν διάφορα διεθνή επιστημονικά συνέδρια, με θέμα τις πιθανές συνέπειες της εξάντλησης του όζοντος.

Το 1981, τα Ηνωμένα Έθνη δημιούργησαν στα πλαίσια του Προγράμματος για το Περιβάλλον (UNEP), μια ad hoc ομάδα νομικών και τεχνικών εμπειρογνομόνων, για τη δημιουργία ενός παγκόσμιου πλαισίου, για την αντιμετώπιση της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος, αν και οι προβλέψεις για τη στιβάδα του όζοντος, δεν μπορούσαν να επιβεβαιωθούν από τις τότε διαθέσιμες μετρήσεις. Μετά από αρκετές διεθνείς διπλωματικές προσπάθειες και διαπραγματεύσεις μεταξύ των κρατών, για τη ρύθμιση της παραγωγής των CFCs καταλήγουν τέσσερα χρόνια αργότερα, στην πρώτη συμφωνία για την προστασία της στιβάδας του όζοντος, τη Σύμβαση της Βιέννης.

4. 1.1 Σύμβαση Της Βιέννης

Η πρώτη συμφωνία που επετεύχθη για την προστασία της στιβάδας του όζοντος είναι η Σύμβαση της Βιέννης, η οποία αποκαλείται και ως «Συνθήκη Πλαίσιο», διότι αποτέλεσε το αρχικό πλαίσιο των προσπαθειών για την προστασία της. Συμφωνήθηκε στη Βιέννη το 1985, από 28 χώρες και τέθηκε σε εφαρμογή στις 22 Σεπτεμβρίου του 1988. Η Ελλάδα κύρωσε τη Συνθήκη το 1988, με τον Ν. 1818/1988 (ΦΕΚ 253Α/15-11-88) (ΥΠΕΚΑ, 2018).

Η σύμβαση περιελάμβανε 21 άρθρα και δύο παραρτήματα. Στο άρθρο 2 της σύμβασης αναφέρεται, ότι τα συμβαλλόμενα μέρη υποχρεούνται να συνεργασθούν στους τομείς της συστηματικής παρατήρησης, της έρευνας και της ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με την στιβάδα του όζοντος και των επιπτώσεων από την πιθανή μεταβολή της. Επίσης, τα μέρη οφείλουν να υιοθετήσουν κατάλληλα νομοθετικά ή διοικητικά μέτρα και να συνεργαστούν, εναρμονίζοντας πολιτικές για τον έλεγχο, περιορισμό, μείωση ή πρόληψη των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που μπορεί να βλάπτουν τη στιβάδα του όζοντος. Η εφαρμογή του άρθρου 2 της σύμβασης, βασίζεται σε σχετικά επιστημονικά και τεχνικά δεδομένα.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το άρθρο 3, τα συμβαλλόμενα μέρη αναλαμβάνουν να συνεργαστούν, άμεσα ή μέσω αρμόδιων διεθνών σωμάτων και επιστημονικών επιτροπών, ιδιαίτερα του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας και της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, καθώς και της Συντονιστικής Επιτροπής για τη Στιβάδα του όζοντος, στη διεξαγωγή έρευνας και επιστημονικών εκτιμήσεων για την καλύτερη εκτίμηση των μηχανισμών καταστροφής της στιβάδας και των συνεπειών της. Επίσης, τα μέρη θα πρέπει να διευκολύνουν και να ενθαρρύνουν την ανταλλαγή επιστημονικών, τεχνικών, κοινωνικο-οικονομικών, εμπορικών και νομικών πληροφοριών, προστατεύοντας τον εμπιστευτικό τους χαρακτήρα. Στο άρθρο 4 της σύμβασης αναφέρεται ότι, οποιεσδήποτε ενέργειες και αν αναληφθούν, θα πρέπει να είναι κατάλληλες και δίκαιες και να λάβουν υπόψη τους και τις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών, κυρίως για τεχνογνωσία και τεχνολογίες.

Με το άρθρο 6 της σύμβασης θεσμοθετείται η «Σύννοδος των Μερών», η οποία αποτελεί το ανώτατο όργανο της σύμβασης και έργο της είναι να επιβλέπει διαρκώς την εφαρμογή της. Επίσης, αναθεωρεί τα επιστημονικά στοιχεία για τη στιβάδα του όζοντος, προωθεί τις κατάλληλες πολιτικές στρατηγικές και μέτρα για τη μείωση των ουσιών που καταστρέφουν την στιβάδα, υιοθετεί προγράμματα έρευνας, μελετά και υιοθετεί προσαρμογές-τροποποιήσεις της σύμβασης και των παραρτημάτων της, συζητά και να υιοθετεί πρωτόκολλα, τα οποία μελετά και προτείνει στα συμβαλλόμενα μέρη.

Η σύμβαση και οποιοδήποτε πρωτόκολλο, υπόκεινται σε επικύρωση, αποδοχή ή έγκριση από κράτη και οργανισμούς περιφερειακής οικονομικής ολοκλήρωσης ενώ η διατύπωση επιφυλάξεων στην σύμβαση αυτή δεν επιτρέπεται. Σύμφωνα με το άρθρο 20, τις αρμοδιότητες του θεματοφύλακα της Σύμβασης και οποιονδήποτε πρωτοκόλλων, αναλαμβάνει ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών.

Τέλος, στο παράρτημα I της σύμβασης, γίνεται καταγραφή των κυριότερων επιστημονικών θεμάτων που χρήζουν έρευνας και συστηματικής παρατήρησης και αφορούν στη στιβάδα του όζοντος και στις επιπτώσεις από πιθανή της μεταβολής της, καθώς και των χημικών ουσιών φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης (πίνακας 4.1), τα οποία θεωρείται ότι έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλουν τη φυσική και χημική σύσταση της στιβάδας του όζοντος.

Πίνακας 4.1: Χημικές ουσίες που επηρεάζουν την στιβάδα του όζοντος (πηγή: UNEP 2006 , ίδια επεξεργασία).

<i>Ουσίες άνθρακα</i>	CO, CO ₂
<i>Ουσίες αζώτου:</i>	N ₂ O, Οξειδία του αζώτου NO _x
<i>Ουσίες χλωρίου</i>	α) Πλήρως αλογονωμένα αλκάνια π.χ. CCl ₄ , CFCI ₃ (CFC-11) CF ₂ CI ₂ (CFC-12), C ₂ F ₃ CI ₃ (CFC-113), C ₂ F ₄ CI ₂ (CFC-114) β) Μερικώς αλογονωμένα αλκάνια π.χ. CH ₃ CI, CHF ₂ CI(CFC-22), CH ₃ CCI ₃ , CHF ₂ CI ₂ (CFC- 21).
<i>Ουσίες βρωμίου</i>	Πλήρως αλογονωμένα αλκάνια π.χ. CF ₃ Br.
<i>Ουσίες υδρογόνου</i>	H ₂ , H ₂ O

Η Σύμβαση της Βιέννης δεν δέσμευε τα μέρη στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων. Τον ρόλο αυτό ανέλαβε, δύο χρόνια αργότερα, μία δεύτερη διεθνής συμφωνία, στα πλαίσια της Σύμβασης της Βιέννης, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ.

4. 2 Πρωτόκολλο Του Μόντρεαλ

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ «για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος», συμφωνήθηκε στις 16 Σεπτεμβρίου 1987 στο Μόντρεαλ, ψηφίστηκε από 46 κράτη – μέλη του ΟΗΕ και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου του 1989. Η Ελλάδα κύρωσε το Πρωτόκολλο με τον Ν.1818/14-9-1988 (ΦΕΚ'253/1988). Ήταν η πρώτη διεθνής συνθήκη που υπογράφηκε από όλες τις χώρες του κόσμου, αποτελώντας ορόσημο για τη διεθνή περιβαλλοντική νομοθεσία. Θεωρείται δε, ως η πιο επιτυχής συνθήκη για την προστασία του περιβάλλοντος στην ιστορία των Ηνωμένων Εθνών (UNEP, 2018).

Η έδρα της Γραμματείας του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ ή αλλιώς Γραμματεία του Όζοντος, βρίσκεται στα γραφεία των Ηνωμένων Εθνών, στο Ναϊρόμπι της Κένυας. Στα πλαίσια του προγράμματος UNEP (United Nation Environmental Programme - Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών), η Γραμματεία του Όζοντος έχει αναλάβει το συντονιστικό και διαχειριστικό ρόλο για την παρακολούθηση της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου. Οι πόροι που απαιτούνται για τη λειτουργία του Πρωτοκόλλου και της Γραμματείας, προέρχονται αποκλειστικά από εισφορές των μελών της.

Ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ ήταν να μειώσει την παραγωγή και την κατανάλωση των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον, προκειμένου να μειωθεί η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα και να προστατευθεί έτσι η στιβάδα του όζοντος της Γης. Τα συμβαλλόμενα μέρη αποφασίζουν πια, να λάβουν προληπτικά μέτρα για να ελέγξουν δίκαια τις παγκόσμιες εκπομπές των χημικών ουσιών που την καταστρέφουν, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους τεχνικο-οικονομικούς παράγοντες, ενώ αναγνωρίζεται ότι απαιτείται ειδική πρόβλεψη, για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών. Αποφασίζουν για το αν θα πρέπει να γίνουν προσαρμογές ή περαιτέρω μειώσεις στην παραγωγή και κατανάλωση των ελεγχόμενων χημικών ουσιών, υιοθετώντας αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα εφαρμογής των εκάστοτε αλλαγών.

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ έχει τροποποιηθεί πέντε φορές συνολικά και έχει υποστεί έξι προσαρμογές. Οι προσαρμογές ήταν υποχρεωτικές για όλα τα συμβαλλόμενα μέρη, χωρίς να απαιτείται η διαδικασία της επικύρωσης.

4.2.1 Χημικές Ουσίες Που Υπόκεινται Σε Έλεγχο - Μέτρα Ελέγχου Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ

Σύμφωνα με το παράρτημα Α του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, οι χημικές ουσίες οι οποίες, λόγω της ιδιότητάς τους να μεταβάλλουν τη φυσική και χημική σύσταση της στιβάδας του όζοντος, υπόκεινται σε έλεγχο (πίνακας 4.2) και είναι:

Πίνακας 4.2 : Ελεγχόμενες χημικές ουσίες σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (πηγή: UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα	Ουσίες	Παράγοντας καταστροφής όζοντος
<i>Ομάδα I</i>		
CFCl ₃	(CFC-11)	1.0
CF ₂ Cl ₂	(CFC-12)	1.0
C ₂ F ₃ Cl ₃	(CFC-113)	0.8
C ₂ F ₄ Cl ₂	(CFC-114)	1.0
C ₂ F ₅ Cl	(CFC-115)	0.6
<i>Ομάδα II</i>		
CF ₂ BrCl	(Halon-1211)	3.0

CF ₃ Br	(Halon-1301)	10.0
C ₂ F ₄ Br ₂	(Halon-2402)	(να προσδιοριστεί)

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ διακρίνει τα συμβαλλόμενα μέρη σε δύο κατηγορίες : σε συμβαλλόμενα μέρη (αναπτυγμένες χώρες) και συμβαλλόμενα μέρη που είναι αναπτυσσόμενες χώρες (ή συμβαλλόμενα μέρη που υπάγονται στην παράγραφο 1, του άρθρου 5 του Πρωτοκόλλου). Για τις αναπτυσσόμενες χώρες προβλέπεται γενικά ένα ευνοϊκότερο καθεστώς στον περιορισμό της κατανάλωσης κυρίως αλλά και της παραγωγής, των υπό έλεγχο χημικών ουσιών.

Επίσης, στα πλαίσια του να βοηθηθούν οι αναπτυσσόμενες χώρες του Πρωτοκόλλου, τα συμβαλλόμενα μέρη των αναπτυγμένων χωρών αναλαμβάνουν να τις διευκολύνουν ώστε να έχουν πρόσβαση σε ασφαλείς εναλλακτικές χημικές ουσίες καθώς και στη χορήγηση πιστώσεων, εγγυητικών ή ασφαλιστικών προγραμμάτων για τη χρήση εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής και υποκατάστατων χημικών ουσιών.

Τα μέτρα έλεγχου των χημικών ουσιών που εισήγαγε το Πρωτόκολλο, στο άρθρο 2, θα λαμβάνονταν σταδιακά και ως εξής:

α) χλωροφθοράνθρακες (CFCs)- Ομάδα Ι: Από 1/7/1989 τα υπολογιζόμενα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης «παγώνουν» και δεν θα πρέπει να υπερβούν τα αντίστοιχα επίπεδα του 1986, από την 1/7/ 1993 έως 30/6/1994 «μειώνονται» και δεν θα υπερβαίνουν το 80% των επιπέδων παραγωγής και κατανάλωσης του 1986, ενώ από 1/7/1998, θα πρέπει να μειωθούν στο 50% των επιπέδων του 1986.

Εξαιρέσεις επιτρέπονται μόνο, για την ικανοποίηση των βασικών εγχώριων αναγκών των αναπτυσσόμενων χωρών και τον εξορθολογισμό της βιομηχανικής παραγωγής μεταξύ των μερών. Ειδικότερα, στις αναπτυσσόμενες χώρες επιτρέπεται : από 1/7/1989, να υπερβούν μέχρι 10% το αντίστοιχο επίπεδο παραγωγής του 1986, από 1/7/1993 έως 30/6/1994, το υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής μπορούσε να υπερβαίνει το 80% του επιπέδου παραγωγής του 1986, κατά το 10% και από 1/7/ 1998 επιτρέπεται υπέρβαση του επιπέδου του 50% της παραγωγής των CFCs του 1986, κατά 15%.

β) Halons - Ομάδας II : Από τις αρχές του 1993 τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης των ουσιών αυτών, θα πρέπει να βρίσκονται στα ίδια επίπεδα του 1986. Κατ' εξαίρεση δικαιολογείται αύξηση της παραγωγής κατά 10%, μόνο για τις αναπτυσσόμενες χώρες.

Επιπλέον, στο άρθρο 5 του Πρωτοκόλλου, αναφέρεται ότι κάθε μέρος που είναι αναπτυσσόμενη χώρα και τα ετήσια υπολογιζόμενα επίπεδα κατανάλωσης της, στις υπό έλεγχο χημικές ουσίες είναι μικρότερα του 0.3 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο, δικαιούται να καθυστερήσει τη συμμόρφωση στα μέτρα του άρθρου 2, δέκα χρόνια μετά, από τις προθεσμίες που προβλέπονται. Δεν μπορεί όμως, το ετήσιο υπολογιζόμενο επίπεδο κατανάλωσης να υπερβαίνει τα 0.3 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο.

Ωστόσο, κάθε συμβαλλόμενο μέρος, του οποίου το υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής κατά το 1986 για τα CFCs της Ομάδας I, ήταν χαμηλότερο από 25,000 τόνους επιτρεπόταν για λόγους εξορθολογισμού της βιομηχανικής παραγωγής να μεταφέρει ή να δεχτεί από κάθε άλλο συμβαλλόμενο μέρος, ένα ποσοστό παραγωγής, το οποίο υπερβαίνει τα ανωτέρω όρια, με την προϋπόθεση ότι τα τελικά υπολογιζόμενα επίπεδα παραγωγής των ενδιαφερόμενων μερών δεν υπερβαίνουν τα ανωτέρω όρια.

Επίσης, στο άρθρο 4 του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ τίθενται περιορισμοί στο εμπόριο των ελεγχόμενων χημικών ουσιών με κράτη, μη συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου. Από 1/1/1990, απαγορεύει την εισαγωγή ελεγχόμενων χημικών ουσιών από μη συμβαλλόμενα κράτη ενώ από 1/1/1993, απαγορεύεται η εξαγωγή τους, από συμβαλλόμενο κράτος που υπόκειται σε ευνοϊκό καθεστώς σε μη συμβαλλόμενο κράτος.

Μέχρι το τέλος του 1991, τα μέρη πρέπει να έχουν καταρτίσει κατάλογο προϊόντων που περιέχουν τις ελεγχόμενες χημικές ουσίες και ένα χρόνο μετά την ισχύ του καταλόγου, τα μέρη που αποδέχθηκαν τον κατάλογο αυτό, θα πρέπει να απαγορεύσουν την εισαγωγή των προϊόντων από μη συμβαλλόμενα κράτη. Στην περίπτωση βέβαια, που ένα κράτος μη μέλος του Πρωτοκόλλου, τηρεί τους περιορισμούς που θέτει αυτό και υποβάλλει στοιχεία για το σκοπό αυτό, θα μπορούσε να εξαιρεθεί και να του επιτραπεί να εξάγει σε κράτη – μέλη.

Επιπλέον, τα συμβαλλόμενα μέρη πρέπει να καθορίσουν κατά πόσο είναι εφικτή η απαγόρευση ή ο περιορισμός της εισαγωγής προϊόντων, τα οποία παράγονται με ελεγχόμενες χημικές ουσίες, αλλά δεν περιέχουν ελεγχόμενες χημικές ουσίες, από κράτη που δε συμμετέχουν στο Πρωτόκολλο. Εφόσον, αυτό είναι εφικτό, τα συμβαλλόμενα μέρη, όπως αναφέρεται στο άρθρο 4.4, θα συντάξουν παράρτημα με κατάλογο των προϊόντων αυτών και, θα απαγορεύσουν ή θα περιορίσουν, μέσα σε ένα χρόνο από την έναρξη της ισχύος του παραρτήματος, την εισαγωγή τέτοιων προϊόντων από κράτη που δεν είναι συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου.

Τα Συμβαλλόμενα Μέρη κατά την πρώτη τους σύνοδο εξετάζουν και εγκρίνουν τη διαδικασία και τους θεσμικούς μηχανισμούς με τους οποίους καθορίζεται κατά πόσο τηρούνται οι διατάξεις του παρόντος Πρωτοκόλλου και η στάση που θα πρέπει να τηρηθεί έναντι των συμβαλλομένων μερών που δεν τηρούν τις διατάξεις του Πρωτοκόλλου, όπως ορίζει το άρθρο 8. Στην ετήσια συνάντηση του Συμβουλίου των Μερών συζητούνται όλα τα επί μέρους θέματα και αποφασίζονται προσαρμογές και τροποποιήσεις του Πρωτοκόλλου.

4.2.2 Τροποποίηση του Λονδίνου

Η πρώτη Τροποποίηση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, συμφωνήθηκε στη δεύτερη σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών του Πρωτοκόλλου, στο Λονδίνο στις 29 Ιουνίου 1990. Τέθηκε σε ισχύ στις 10 Αυγούστου 1992 και η Ελλάδα κύρωσε τη σύμβαση με το Ν.2110/1992 (ΦΕΚ 206Α'/1992).

Η Σύνοδος των Μερών, λαμβάνοντας υπόψη τα νέα επιστημονικά δεδομένα που προέκυψαν, επίσπευσε τις προσαρμογές - χρονοδιαγράμματα εξάλειψης, των υπό έλεγχο CFCs και Halons, χωρίς να απαιτείται επικύρωση, αποδοχή ή έγκριση από τα μέρη. Για τις ουσίες αυτές, απαίτησε την πλήρη κατάργησή τους μέχρι το 2000 στις ανεπτυγμένες χώρες, και μέχρι το 2010 στις αναπτυσσόμενες.

Προσαρμογές μέτρων έλεγχου:

α)CFCs της Ομάδας I (πίνακας 4.2) : Από 1/7/1991 η παραγωγή και η κατανάλωση παραμένει στα επίπεδα του 1986. Από 1/1/1995 θα πρέπει να μειωθεί στο 50%, από το 1997 στο 15% και από 1/1/2000, απαιτείται η πλήρη εξάλειψή τους.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να ξεπεράσουν τα παραπάνω όρια, κατά 10% για τους CFCs μέχρι το 1999, ενώ από το 2000 θα μπορούν να παράγουν σε ποσοστό 15% του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής 1986, μιας και οι αναπτυγμένες χώρες θα έχουν πια σταματήσει την παραγωγή.

β) Halons της Ομάδας II (πίνακας 4.2) : τα επίπεδα συγκέντρωσης θα πρέπει να παραμείνουν στα επίπεδα του 1986 ενώ από το 1995 θα πρέπει να μειωθούν κατά 50%. Από το 1997 προβλέπεται μείωση στο 15% και πλήρης εξάλειψη από 1/1/2000.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να ξεπεράσουν τα όρια της παραγωγής κατά 10%, του επιπέδου παραγωγής από 1/1/1992 μέχρι και 31/12/1999 ενώ από το 2000 το ποσοστό αυξάνεται σε 15% (UNEP, 2006).

Επίσης, η Τροποποίηση του Λονδίνου έθεσε υπό έλεγχο τρεις νέες κατηγορίες χημικών ουσιών (πίνακας 4.3), στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου: α) «Άλλοι πλήρως αλογονωμένοι χλωροφθοράνθρακες», β) τον τετραχλωράνθρακα, CCl₄ και γ) το 1,1,1 – τριχλωροαιθάνιο (μεθυλοχλωροφόρμιο, C₂H₃Cl₃). Προσθέτει επίσης, ένα επιπλέον Παράρτημα Γ, όπου απαριθμούνται ουσίες με τον όρο «μεταβατικές ουσίες», ως χημικές ουσίες υπό προοπτική ελέγχου.

Πίνακα 4.3: Οι νέες κατηγορίες χημικών ουσιών, που τίθενται υπό έλεγχο με την Τροποποίηση του Λονδίνου (πηγή : UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα	Χημική ουσία	Δυναμικό καταστροφής
Ομάδα I Άλλοι πλήρως αλογονωμένοι χλωροφθοράνθρακες	CFC-13, CFC-111, CFC-112, CFC-211, CFC-212, CFC-213, CFC-214, CFC-215, CFC-216, CFC-217	1.0
Ομάδα II τετραχλωράνθρακας	CCl ₄	1.1
Ομάδα III 1,1,1 – τριχλωροαιθάνιο (μεθυλοχλωροφόρμιο)	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.1

Η Τροποποίηση του Λονδίνου για τον έλεγχο των χημικών ουσιών του παραρτήματος Β (πίνακας 4.3), προέβλεπε ότι τα συμβαλλόμενα μέρη θα έπρεπε να μεριμνήσουν ώστε:

α) για τους «άλλους πλήρως αλογονωμένους χλωροφθοράνθρακες» - της Ομάδας I :

από την 1/7/1991 μείωση της παραγωγής και κατανάλωσής τους στο 80% των επιπέδων του 1986, από την 1/1/1997 και μετά, μείωση στο 15% ενώ από την 1/1/2000 και εφεξής, θα πρέπει να εξαλειφθούν.

β) για τον τετραχλωράνθρακα (CCl_4) : από 1/1/1995 και μετά, η παραγωγή και κατανάλωσή του να μην υπερβαίνει το 15% των επιπέδων του 1989 ενώ από το 2000 και έπειτα να εξαλειφθεί εντελώς.

γ) για το 1-1-1 τριχλωροαιθάνιο ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$) : από 1/1/1994 να παραμείνουν τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης του στα επίπεδα του 1989, από 1/1/1995 να μειωθούν στο 70% των επιπέδων του 1989, να φθάσουν στο 30% από το 2000 και μετά, ενώ από την 1/1/2005, να εξαλειφθεί εντελώς.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες του άρθρου 5, προκειμένου να καλυφθούν οι βασικές ανάγκες των χωρών αυτών, οι παραπάνω περιορισμοί διαφοροποιούνται ως εξής : Τα υπολογιζόμενα επίπεδα παραγωγής των «άλλων πλήρως αλογονωμένων υδρογονανθράκων», του τετραχλωράνθρακα και του μεθυλοχλωροφορμίου μέχρι το 1999, μπορεί να υπερβαίνουν τα αντίστοιχα όρια, το πολύ κατά το 10% των υπολογιζόμενων επιπέδων παραγωγής τους του 1989. Από το 2000, τα υπολογιζόμενα επίπεδα των «άλλων πλήρως αλογονωμένων υδρογονανθράκων» και του τετραχλωράνθρακα, μπορεί να υπερβαίνουν τα όρια το πολύ, κατά το 15% των υπολογιζόμενων επιπέδων παραγωγής του 1989.

Για το 1-1-1 τριχλωροαιθάνιο, για την περίοδο 2000-2004, η υπέρβαση του ορίου μπορεί να φθάνει μέχρι 10%, ενώ από 2005 και μετά, το υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής του, μπορεί να υπερβαίνει το υπολογιζόμενου επίπεδο παραγωγής του 1989, κατά 15%.

Επίσης, στην Τροποποίηση του Λονδίνου διευκρινίζεται ότι για τις αναπτυσσόμενες χώρες των οποίων, η ετήσια κατανάλωση των υπό έλεγχο χημικών ουσιών: CFCs, Halons, «άλλοι πλήρως αλογονωμένοι χλωροφθοράνθρακες», τετραχλωράνθρακα και μεθυλοχλωροφορμίου (όπως αναφέρονται στα παραρτήματα Α και Β του Πρωτοκόλλου), δεν ξεπερνά το 0.3 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο, από την ισχύ του Πρωτοκόλλου ή οποιαδήποτε στιγμή μέχρι την 1/1/1991, θα μπορούν να

καθυστερήσουν μέχρι και 10 χρόνια, την εφαρμογή των χρονοδιαγραμμάτων ελέγχου που αναφέραμε παραπάνω. Ταυτόχρονα, δεν θα πρέπει το ετήσιο υπολογιζόμενο επίπεδο κατανάλωσης των CFCs και Halons, να υπερβαίνει τα 0.3 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο, ενώ για τους «άλλοι πλήρως αλογονωμένοι χλωροφθοράνθρακες», τον τετραχλωράνθρακα και το μεθυλοχλωροφόρμιο, τα 0.2 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο.

Επιπρόσθετα, αναγνωρίζεται ότι απαιτείται η εξασφάλιση πρόσθετων χρηματοδοτικών πόρων και πρόσβασης σε σχετικές τεχνολογίες, για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα μέρη δημιουργούν μηχανισμό για την εξασφάλιση χρηματοδοτικής και τεχνικής συνεργασίας, περιλαμβανομένης της μεταφοράς τεχνολογιών, προς τα μέρη, που υπάγονται στην παράγραφο 1 του άρθρου 5 του Πρωτοκόλλου. Συστήνεται έτσι το Πολυμερές Ταμείο που αναλαμβάνει το μηχανισμό χρηματοδότησης του Πρωτοκόλλου.

Το Ταμείο ξεκίνησε με 240 εκατομμύρια δολάρια για την περίοδο 1991-1993 ενώ μέχρι τις 7 Νοεμβρίου 2008, η Εκτελεστική Επιτροπή είχε εγκρίνει δαπάνες ύψους 2.4 δισεκατομμυρίων δολαρίων, για υποστήριξη περίπου 5.789 έργων και δραστηριοτήτων σε 144 αναπτυσσόμενες χώρες, με σκοπό τη σταδιακή κατάργηση, της κατανάλωσης περισσότερων από 427,000 τόνων ODP (ποσότητες υπολογισμένες με το δυναμικό καταστροφής όζοντος ODP) και της παραγωγής περίπου 173,616 τόνων ODP, ουσιών που καταστρέφουν το όζον (Cracknel and Varotsos, 2012).

Προκειμένου κάποιο από τα συμβαλλόμενα μέρη να λάβει οικονομική συνδρομή, το ετήσιο επίπεδο κατανάλωσης CFCs και Halons θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.3 χιλιόγραμμα ανά κάτοικο. Από τον Ιούνιο του 2013, τα 148 από τα 197 συμβαλλόμενα μέρη του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ πληρούσαν αυτά τα κριτήρια (MLF, 2014).

4.2.3 Τροποποίηση της Κοπεγχάγης

Στην τέταρτη Σύνοδο των Μερών, το Νοέμβριο του 1992 στην Κοπεγχάγη, συμφωνήθηκε η 2^η Τροποποίηση του Πρωτοκόλλου Μόντρεαλ, όπως αυτό τροποποιήθηκε στο Λονδίνο καθώς και η υιοθέτηση προσαρμογών και μειώσεων της παραγωγής και της κατανάλωσης των ελεγχόμενων χημικών ουσιών, των παραρτημάτων Α και Β του Πρωτοκόλλου. Η Τροποποίηση τέθηκε σε εφαρμογή την 1^η Ιανουαρίου 1994. Ωστόσο, κανένα κράτος ή οργανισμός περιφερειακής οικονομικής ολοκλήρωσης δεν είχε το δικαίωμα να καταθέσει έγγραφο επικύρωσης, εάν

προηγουμένως δεν είχε επικυρώσει την Τροποποίηση του Λονδίνου. Η Ελλάδα κύρωσε την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης με τον Ν.2262/1994 ΦΕΚ 206 Α'/1994).

Προσαρμογές των μέτρων έλεγχου:

α) CFCs : από 1/1/1994 τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής δεν θα ξεπερνούν το 25% των επιπέδων του 1986 και από 1/1/1996 θα εξαλειφθεί εντελώς.

β) Halons : από 1/1/1994 η παραγωγή τους εξαλείφεται εντελώς.

γ) «άλλοι CFCs» : από 1/1/1993 τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 80% των επιπέδων του 1989, από 1/1/1994 το 25%, από 1/1/1996 εξαλείφονται εντελώς.

δ) Τετραχλωράνθρακα (CCl₄) : από 1/1/1995 τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 15% του επιπέδου της κατανάλωσης του 1989 και από 1/1/1996 εξαλείφεται εντελώς.

ε) 1-1-1 τριχλωροαιθάνιο (C₂H₃Cl₃) : από 1/1/1993 τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής δεν θα πρέπει να ξεπερνούν του 1989, από 1/1/1994 δεν θα ξεπερνούν το 50% του επιπέδου του 1989 και από 1/1/1996 εξαλείφεται εντελώς.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να ξεπερνούν τα παραπάνω όρια, κατά 10% των αντίστοιχων επιπέδων κατανάλωσης και παραγωγής και για τις περιόδους όπου κάποια από τις παραπάνω χημικές ουσίες εξαλείφεται εντελώς στις αναπτυγμένες, το ποσοστό αυξάνεται σε 15%.

Με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης, προστίθενται δύο νέα παραρτήματα στο Πρωτόκολλο, θέτοντας υπό έλεγχο τρεις νέες κατηγορίες χημικών ουσιών (πίνακας 4.4). Πρόκειται για το παράρτημα Γ του Πρωτοκόλλου, που περιλαμβάνει τους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC's - Ομάδα Ι) και τους υδροβρωμοφθοράνθρακες (HBFC's - Ομάδα ΙΙ) και για το παράρτημα Ε, που περιλαμβάνει το βρωμιούχο μεθύλιο (CH₃Br-Ομάδα Ι).

Πίνακας 4.4 : Χημικές Ουσίες που τίθενται υπό έλεγχο, σύμφωνα με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγη (πηγή: UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

<i>Ομάδα I</i>	Χημική ουσία	Αριθμός ισομερών	Δυναμικό καταστροφής του όζοντος	
	CHFC1 ₂	(HCFC-21)	1	0.04
	CHF ₂ Cl	(HCFC-22)	1	0.055
	CH ₂ FCl	(HCFC-31)	1	0.02
	C ₂ HFC1 ₄	(HCFC-121)	2	0.01-0.04
	C ₂ HF ₂ Cl ₃	(HCFC-122)	3	0.02-0.08
	C ₂ HF ₃ Cl ₂	(HCFC-123)	3	0.02-0.06
	CHCl ₂ CF ₃	(HCFC-123)	-	0.02
	C ₂ HF ₄ Cl	(HCFC-124)	2	0.02-0.04
	CHFC1CF ₃	(HCFC-124)	-	0.022
	C ₂ H ₂ FC1 ₃	(HCFC-131)	3	0.007-0.05
	C ₂ H ₂ F ₂ Cl ₂	(HCFC-132)	4	0.008-0.05
	C ₂ H ₂ F ₃ Cl	(HCFC-133)	3	0.02-0.06
	C ₂ H ₃ FC1 ₂	(HCFC-141)	3	0.005-0.07
	CH ₃ CFCl ₂	(HCFC-141b)	-	0.11
	C ₂ H ₃ F ₂ Cl	(HCFC-142)	3	0.008-0.07
	CH ₃ CF ₂ Cl	(HCFC-142b)	-	0.065
	C ₂ H ₄ FCl	(HCFC-151)	2	0.003-0.005
	C ₃ HFC1 ₆	(HCFC-221)	5	0.015-0.07
	C ₃ HF ₂ Cl ₅	(HCFC-222)	9	0.01-0.09
	C ₃ HF ₃ Cl ₄	(HCFC-223)	12	0.01-0.08
	C ₃ HF ₄ Cl ₃	(HCFC-224)	12	0.01-0.09
	C ₃ HF ₅ Cl ₂	(HCFC-225)	9	0.02-0.07
	CF ₃ CF ₂ CHCl ₂	(HCFC-225ca)	-	0.025
	CF ₂ ClCF ₂ CHClF	(HCFC-225cb)	-	0.033
	C ₃ HF ₆ Cl	(HCFC-226)	5	0.02-0.10
	C ₃ H ₂ FC1 ₅	(HCFC-231)	9	0.05-0.09
	C ₃ H ₂ F ₂ Cl ₄	(HCFC-232)	16	0.008-0.10
	C ₃ H ₂ F ₃ Cl ₃	(HCFC-233)	18	0.007-0.23
	C ₃ H ₂ F ₄ Cl ₂	(HCFC-234)	16	0.01-0.28
	C ₃ H ₂ F ₅ Cl	(HCFC-235)	9	0.03-0.52
	C ₃ H ₃ FC1 ₄	(HCFC-241)	12	0.004-0.09
	C ₃ H ₃ F ₂ Cl ₃	(HCFC-242)	18	0.005-0.13
	C ₃ H ₃ F ₃ Cl ₂	(HCFC-243)	18	0.007-0.12
	C ₃ H ₃ F ₄ Cl	(HCFC-244)	12	0.009-0.14
	C ₃ H ₄ FC1 ₃	(HCFC-251)	12	0.001-0.01
	C ₃ H ₄ F ₂ Cl ₂	(HCFC-252)	16	0.005-0.04
	C ₃ H ₄ F ₃ Cl	(HCFC-253)	12	0.003-0.03
	C ₃ H ₅ FC1 ₂	(HCFC-261)	9	0.002-0.02
	C ₃ H ₅ F ₂ Cl	(HCFC-262)	9	0.002-0.02
	C ₃ H ₆ FC1	(HCFC-271)	5	0.001-0.03
<i>Ομάδα II</i>				
	CHBr ₂		1	1.00
	CHF ₂ Br	(HBFC-22B1)	1	0.74
	CH ₂ FBr		1	0.73

C2HBr4		2	0.3-0.8
C2HF2Br3		3	0.5-1.8
C2HF3Br2		3	0.4-1.6
C2HF4Br		2	0.7-1.2
C2H2FBr3		3	0.1-1.1
C2H2F2Br2		4	0.2-1.5
C2H2F3Br		3	0.7-1.6
C2H3FBr2		3	0.1-1.7
C2H3F2Br		3	0.2-1.1
C2H4FBr		2	0.07-0.1
C3HBr6		5	0.3-1.5
C3HF2Br5		9	0.2-1.9
C3HF3Br4		12	0.3-1.8
C3HF4Br3		12	0.5-2.2
C3HF5Br2		9	0.9-2.0
C3HF6Br		5	0.7-3.3
C3H2FBr5		9	0.1-1.9
C3H2F2Br4		16	0.2-2.1
C3H2F3Br3		18	0.2-5.6
C3H2F4Br2		16	0.3-7.5
C3H2F5Br		8	0.9-1.4
C3H3FBr4		12	0.08-1.9
C3H3F2Br3		18	0.1-3.1
C3H3F3Br2		18	0.1-2.5
C3H3F4Br		12	0.3-4.4
C3H4FBr3		12	0.03-0.3
C3H4F2Br2		16	0.1-1.0
C3H4F3Br		12	0.07-0.8
C3H5FBr2		9	0.04-0.4
C3H5F2Br		9	0.07-0.8
C3H6FBr		5	0.02-0.7
<i>Ομάδα I (Παραρτήματος E)</i>			
CH3Br	Βρωμιούχο μεθύλιο		0.7

Η εν λόγω Τροποποίηση προέβλεπε επίσης :

α) το χρονοδιάγραμμα της εξάλειψης των HCFCs : από 1/1/1996 το υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής δεν έπρεπε να ξεπερνά το άθροισμα του 3.1% του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής των CFCs του 1989 και του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής των HCFCs του 1989. Πριν το 2004, μείωση της παραγωγής κατά 35%, κατά 65% πριν το 2010 , κατά 90% πριν το 2015, κατά 99.5% πριν το 2020 και από 2030 και μετά, θα έπρεπε το επίπεδο παραγωγής να μηδενιστεί τελείως.

β) από 1/1/1996 η παραγωγή των υδροχλωροφθοράνθρακων (HBFCs) απαγορεύεται τελείως.

γ) η παραγωγή και η κατανάλωση του βρωμιούχο μεθυλίου (CH_3Br) : από 1/1/1995 θα έπρεπε να παραμείνει στα επίπεδα του 1991. Ωστόσο, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι βασικές εγχώριες ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών, το υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής του, είναι δυνατόν να υπερβαίνει το όριο αυτό μέχρι 10% του υπολογιζόμενου επιπέδου του παραγωγής κατά το 1991.

Επίσης, καθορίστηκαν τα κριτήρια και οι διαδικασίες για την αξιολόγηση μιας «βασικής χρήσης», για τους σκοπούς των μέτρων ελέγχου που αναφέρονται στο άρθρο 2 του Πρωτοκόλλου. Η χρήση μιας υπό έλεγχο χημικής ουσίας θα πρέπει να θεωρείται «βασική» μόνο εάν: είναι απαραίτητη για την υγεία, την ασφάλεια ή κρίσιμη για τη λειτουργία της κοινωνίας και δεν υπάρχουν διαθέσιμες, τεχνικά και οικονομικά εφικτές, εναλλακτικές λύσεις ή υποκατάστατα που να είναι αποδεκτά από την άποψη της προστασίας του περιβάλλοντος και της υγείας.

Η παραγωγή και η κατανάλωση της υπό έλεγχο χημικής ουσίας για βασικές χρήσεις επιτρέπεται εάν έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα οικονομικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση της βασικής χρήσης και των εκπομπών της ή εάν δεν υπάρχει επαρκή ποσότητα και ποιότητα της υπό έλεγχο χημικής ουσίας από τα υπάρχοντα αποθέματα, λαμβάνοντας υπόψη και τις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών. Τέλος, η παραγωγή, εάν υπάρχει, για βασική χρήση, θα συμπληρώνεται με την παραγωγή για την κάλυψη των βασικών εγχώριων αναγκών των αναπτυσσόμενων χωρών του Πρωτοκόλλου, πριν από τη σταδιακή κατάργηση των υπό έλεγχο χημικών ουσιών στις χώρες αυτές.

Τα μέτρα ελέγχου της εμπορίας των παραπάνω χημικών ουσιών, με κράτη που δεν αποτελούν συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου, για τους μεν υδροβρωμοφθοράνθρακες (HBFC's) οι απαγορευτικές ρυθμίσεις είναι εφαρμοστέες, μετά την πάροδο ενός χρονικού διαστήματος από την ισχύ της εν λόγω τροποποίησης, ενώ για τους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC's) και το βρωμιούχο μεθύλιο η επέκταση ή όχι των μέτρων ελέγχου θα αποφασιζόταν μέχρι την 1η Ιανουαρίου 1996.

4.2.4 Προσαρμογές Του Πρωτοκόλλου Στην Βιέννη Το 1995

Στην έβδομη σύνοδο των μέρων του Πρωτοκόλλου, στις 5-7 Δεκεμβρίου 1995, στη Βιέννη, τα συμβαλλόμενα μέρη αποφάσισαν προσαρμογές και μειώσεις στην παραγωγή και κατανάλωση των υπό έλεγχο χημικών ουσιών των παραρτημάτων Α, Β, Γ και Ε του Πρωτοκόλλου και τέθηκαν σε ισχύ στις 5 Αυγούστου 1996. Αποφασίστηκαν τα εξής:

α) Για CFCs, Halons (πίνακας 4.2) και οι «άλλοι CFCs», CCl₄, C₂H₃Cl₃ (πίνακας 4.3), προβλέπεται ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να καθυστερήσουν την εφαρμογή των μέτρων έλεγχου της Τροποποίησης του Λονδίνου για δέκα χρόνια.

β) η κατανάλωση των HCFCs στις αναπτυσσόμενες χώρες θα πρέπει να περιοριστεί σε χρήσεις σχετικές με ψύξη και κλιματισμό.

γ) μεθυλοβρωμίδιο (CH₃Br) : από 1/1/1995 τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης να μην ξεπερνούν αντίστοιχα τα επίπεδα του 1991 ενώ από 1/1/2010 να εξαλειφθεί εντελώς.

Για τις αναπτυσσόμενες χώρες : από 1/1/1995 επιτρέπεται να ξεπερνά τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής του 1991 κατά 10% ενώ από 1/1/2010 η παραγωγή να ξεπερνά κατά 15% τα επίπεδα παραγωγής του 1991. Ωστόσο, από 1/1/2002 για την εφαρμογή των μέτρων ελέγχου στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα υπολογιζόμενα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης θα γίνονται βάσει των επιπέδων της περιόδου 1995-1998.

δ) HCFCs της Ομάδας I του παραρτήματος Γ (πίνακας 4.4) : από 1/1/2016 για τις αναπτυσσόμενες χώρες η παραγωγή τους, δεν θα ξεπερνά τα επίπεδα παραγωγής του 2015, ενώ από 1/1/2040 θα εξαλειφθεί εντελώς.

4.2.5 Τροποποίηση Του Μόντρεαλ

Το 1997, στην ένατη συνάντηση των μερών, συμφωνήθηκαν προσαρμογές στην παραγωγή των χημικών ουσιών των παραρτημάτων Α, Β και Ε καθώς και μια νέα Τροποποίηση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Η έναρξη ισχύς της Τροποποίησης ήταν η 1^η Ιανουαρίου του 1999.

Προσαρμογές μέτρων έλεγχου:

α)για τις αναπτυσσόμενες χώρες, τα επίπεδα παραγωγής των CFCs και Halons του παραρτήματος Α (πίνακας 4.2), που ορίζονται ως βάση για τον καθορισμό της συμμόρφωσής τους με τα μέτρα ελέγχου, είναι οι μικρότερες τιμές μεταξύ, του μέσου όρου των επιπέδων παραγωγής της περιόδου 1995-1997 ή της τιμής που υπολογίζεται 0.3 χιλιόγραμμα/κάτοικο.

β)για τις αναπτυσσόμενες χώρες, τα επίπεδα παραγωγής των «άλλοι CFCs», CCl₄, C₂H₃Cl₃, (πίνακας 4.3), που ορίζονται ως βάση για τον καθορισμό της συμμόρφωσής τους με τα μέτρα ελέγχου, είναι η μικρότερη τιμή μεταξύ, του μέσου όρου των επιπέδων παραγωγής της περιόδου 1998-2000 ή της τιμής που υπολογίζεται 0.2 χιλιόγραμμα/κάτοικο.

γ)για την κατανάλωση του CH₃Br : από 1/1/1999 η κατανάλωση δεν θα υπερβαίνει το 75% των επιπέδων του 1991, από 1/1/2001 το 50%, από 1/1/2003 το 30% και από 1/1/2005 θα μηδενιστεί. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες προβλέπεται από 1/1/1999 ως 31/12/2004, το υπολογιζόμενο επίπεδο κατανάλωσης να ξεπερνά μέχρι και 10% τα αντίστοιχα επίπεδα του 1991 ενώ από 1/1/2005 κατά 15%.

δ)για την παραγωγή του CH₃Br: Από 1/1/2015 θα σταματήσει η παραγωγή του, εκτός και αν τα μέρη αποφασίσουν διαφορετικά. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες, από 1/1/2005 τα επίπεδα παραγωγής δεν θα ξεπερνούν τα επίπεδα της περιόδου 1995-1998.

Η Τροποποίηση του Μόντρεαλ μεταξύ άλλων, προέβλεπε:

α)Μέχρι το 2000 τα συμβαλλόμενα μέρη θα πρέπει να απαγορεύσουν την εισαγωγή και εξαγωγή του βρωμιούχου μεθυλίου από κράτη που δεν είναι συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου.

β) Την εφαρμογή κριτηρίων και της διαδικασίας, για την αξιολόγηση μιας «κρίσιμης χρήσης» του μεθυλοβρωμιδίου, για τους σκοπούς των μέτρων ελέγχου του άρθρου 2 του Πρωτοκόλλου. Η χρήση του μεθυλοβρωμιδίου θα πρέπει να θεωρείται «κρίσιμη» μόνο εάν το συμβαλλόμενο μέρος αποδεικνύει ότι είναι κρίσιμη, δηλαδή ότι με την

έλλειψη της διαθεσιμότητας του μεθυλοβρωμιδίου για τη χρήση αυτή, θα είχε ως αποτέλεσμα σημαντική διατάραξη της αγοράς. Επίσης, να αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις τεχνικοοικονομικά εφικτές κλπ. Η παραγωγή και η κατανάλωση μεθυλοβρωμιδίου για χρήσεις κρίσιμης σημασίας, θα πρέπει να επιτρέπονται μόνο εάν έχουν ληφθεί όλα τα μέτρα για την ελαχιστοποίηση της κρίσιμης χρήσης και εκπομπής μεθυλοβρωμιδίου, εάν δεν είναι διαθέσιμο σε ποσότητα και ποιότητα, θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι καταβάλλονται οι προσπάθειες για την εξασφάλιση εθνικής κανονιστικής έγκρισης των υποκατάστατων, λαμβάνοντας υπόψη και τις ειδικές ανάγκες των αναπτυσσόμενων μερών. Τα μέρη που δεν ανήκουν στο άρθρο 5 πρέπει να αποδείξουν ότι υπάρχουν προγράμματα έρευνας για την ανάπτυξη και την ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων και υποκατάστατων.

γ) Επίσης, συμφώνησαν σε ένα σύστημα έκδοσης αδειών εισαγωγής και εξαγωγής νέων, χρησιμοποιημένων, ανακυκλωμένων και ανακτημένων ελεγχόμενων χημικών ουσιών των Παραρτημάτων Α, Β, Γ και Ε, για τον έλεγχο του παράνομου εμπορίου των ουσιών αυτών. Τα αναπτυσσόμενα κράτη- μέρη του Πρωτοκόλλου, που κρίνουν ότι δεν είναι σε θέση να καθιερώσουν και να εφαρμόσουν σύστημα έκδοσης αδειών εισαγωγής και εξαγωγής ελεγχόμενων χημικών ουσιών των παραρτημάτων Γ και Ε (πίνακας 4.4), μπορούσαν να αναβάλλουν τη λήψη των εν λόγω μέτρων, έως την 1/1/2005 και την 1/1/2020 αντιστοίχως. Η γραμματεία του Πρωτοκόλλου ανέλαβε να ενημερώνει τα μέρη, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, σχετικά με τα συστήματα έκδοσης αδειών που εφαρμόζουν τα μέρη και διαβιβάζει την πληροφορία στην Εκτελεστική Επιτροπή για μελέτη και υποβολή κατάλληλων συστάσεων στα μέρη.

4.2.6 Τροποποίηση Του Πεκίνου

Κατά την ενδέκατη σύνοδο των συμβαλλομένων μερών του Πρωτοκόλλου που διεξήχθη στο Πεκίνο από τις 29 Νοεμβρίου έως τις 3 Δεκεμβρίου 1999, τα μέρη συμφώνησαν σε νέες προσαρμογές των μέτρων ελέγχου για τις αναπτυσσόμενες χώρες και σε μία νέα τροποποίηση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, η οποία τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2001. Η Ελλάδα κύρωσε τις Τροποποιήσεις του Μόντρεαλ και του Πεκίνου με το Ν.3425/2005 (ΦΕΚ 306/Α/13-12-2005).

Προσαρμογές μέτρων έλεγχου για τις αναπτυσσόμενες χώρες :

α) CFCs : τα επίπεδα παραγωγής δεν θα πρέπει ξεπερνούν τα επίπεδα της περιόδου 1995-1997, από 1/1/2003 τα επίπεδα παραγωγής δεν θα ξεπερνούν το 80% το μέσο όρο των επιπέδων της περιόδου 1995-1997, από 1/1/2005 το 50%, από 1/1/2007 το 15% και από 1/1/2010 πλήρης εξάλειψη.

β) Halons: από 1/1/2002 τα υπολογιζόμενα επίπεδα παραγωγής δεν θα ξεπερνούν το 15% των επιπέδων παραγωγής του 1986 και δεν θα ξεπερνά το επίπεδο παραγωγής του 1995-1997, από 1/1/2005 η παραγωγή θα είναι μικρότερη κατά 50% της περιόδου του 1995-1997 και από 1/1/2010 θα εξαλειφθεί εντελώς.

γ) «άλλοι CFCs» της Ομάδας I του παραρτήματος Β (πίνακας 4.3) : μέχρι 1/1/2003 η παραγωγή δεν θα ξεπερνά το 15% της παραγωγής του 1989 και στη συνέχεια δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 80% του μέσου όρου της παραγωγής, για την περίοδο του 1998-2000. Από 1/1/2007 δεν θα ξεπερνά το 15% και από 1/1/2010 θα μηδενιστεί η παραγωγή τους.

Τα σημαντικότερα σημεία της Τροποποίησης του Πεκίνου είναι :

α) το «πάγωμα» της παραγωγής και κατανάλωσης των HCFCs. Συγκεκριμένα, από το 2004, η παραγωγή και κατανάλωση των HCFCs δεν θα έπρεπε να υπερβαίνει το μέσο όρο του αθροίσματος του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης τους αντίστοιχα, κατά το 1989, και του 2.8 % του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης, κατά το 1989 των CFCs της Ομάδας I του (πίνακας 4.2). Για τις αναπτυσσόμενες χώρες του άρθρου 5, το χρονικό περιθώριο εφαρμογής του μέτρου ήταν το 2016. Επίσης, η Τροποποίηση απαγορεύει την εμπορία αυτών των χημικών ουσιών με κράτη μη μέλη του Πρωτοκόλλου.

β) Προστίθεται στην Ομάδα III του παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου, το βρωμοχλωρομεθάνιο (πίνακας 4.5), το οποίο μέχρι το 2002 θα πρέπει να έχει καταργηθεί.

Πίνακας 4.5: Προσθήκη του βρωμοχλωρομεθανίου στις υπό έλεγχο ουσίες, σύμφωνα με την Τροποποίηση του Πεκίνου (πηγή: UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα III	Χημική ουσία	Αριθμός ισομερών	Δυναμικό καταστροφής του όζοντος
CH ₂ BrCl	βρωμοχλωρομεθάνιο	1	0.12

γ) Τέλος, κάθε συμβαλλόμενο μέρος παρέχει στη Γραμματεία στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ετήσια κατανάλωση του βρωμιούχου μεθυλίου, το οποίο χρησιμοποιείται για εφαρμογές υγειονομικής απομόνωσης και προετοιμασίας των φορτίων στο διεθνές εμπόριο.

4.2.7 Προσαρμογές Του Πρωτοκόλλου Στο Μόντρεαλ 2007

Στην δέκατη ένατη σύνοδο των μερών, στις 17-21 Σεπτεμβρίου 2007 στο Μόντρεαλ, τα μέρη αποφάσισαν νέες προσαρμογές και μειώσεις των HCFCs, οι οποίες τέθηκαν σε ισχύ στις 14 Μαΐου 2008.

α) HCFCs : από 1/1/2010 η παραγωγή να μην ξεπερνά το 25% του αθροίσματος του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής, κατά το 1989, και του 2.8 % του υπολογιζόμενου επιπέδου παραγωγής, κατά το 1989 των CFCs της Ομάδας I του παραρτήματος A (πίνακας 4.2), από 1/1/2015 να μην ξεπερνά το 10% του προηγούμενου αθροίσματος και από 1/1/2020, το 0%. Οι αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να υπερβαίνουν κατά 10% τα αντίστοιχα ανωτέρω όρια.

β) HCFCs στις αναπτυσσόμενες χώρες : τα επίπεδα παραγωγής και κατανάλωσης από 1/1/2013 δεν θα ξεπερνούν το μέσο όρο της κατανάλωσης της περιόδου 2009-2010, από 1/1/2015 το 90%, από 1/1/2020 το 65%, από 1/1/2025 το 35% και από 1/1/2030 το 0%. Ωστόσο, από 1/1/2030 τα ανωτέρω όρια μπορεί να ξεπεραστούν, με την προϋπόθεση ότι η κατανάλωση προέρχεται αποκλειστικά από εγκαταστάσεις ψύξης και θέρμανσης προϋπήρχαν της 1/1/2020.

4.2.8 Τροποποίηση Του Κιγκάλι

Η Τροποποίηση του Κιγκάλι συνιστά την 5^η Τροποποίηση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Στις 10-15 Οκτωβρίου 2016, στο Κιγκάλι της Ρουάντας, στην 28^η συνδιάσκεψη των συμβαλλόμενων μερών εκπρόσωποι από 170 χώρες, κατέληξαν στην Τροποποίηση, με στόχο την σταδιακή κατάργηση των υδροφθορανθράκων (HFC). Οι υδροφθοράναθρακες, χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ως υποκατάστατα των καταργούμενων, στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου, ουσιών CFCs, HCFCs. Δεν ανήκουν στις χημικές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος αλλά οι παγκόσμιες εκπομπές των HFC αναμένεται να αυξήσουν την ολική ακτινοβολία και θα προσθέσουν

επιπλέον περίπου 0.2 °K στην επιφάνεια της γης μέχρι το 2050 (Velders, et. al, 2015), συμβάλλοντας έτσι στην κλιματική αλλαγή. Η Τροποποίηση του Κιγκάλι αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την εφαρμογή της Συμφωνίας του Παρισιού, σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή, χωρίς όμως δεσμευτικό χαρακτήρα και εξαρτώμενη από την πολιτική βούληση των ηγετών.

Η εφαρμογή της σταδιακής κατάργησης των υδροφθορανθράκων (HFC) εφαρμόστηκε στη Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με τον υπ' αριθμ. 517/2014 κανονισμού της ΕΕ. Η Τροποποίηση τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2019 ενώ η Ελλάδα κύρωσε τη συμφωνία με το Ν.4560/2018 (ΦΕΚ 165Α'/11-09-2018).

Αναλύοντας τα βασικά άρθρα της Τροποποίησης του Κιγκάλι προκύπτει:

α) Προστίθεται υπό έλεγχο η κατηγορία των υδροφθορανθράκων (HFC) (πίνακας 4.6) και αποτελεί το Παράρτημα ΣΤ του Πρωτοκόλλου.

Πίνακας 4.6 : Οι υδροφθορανθράκες (HFC) που τίθενται υπό έλεγχο με την Τροποποίηση του Κιγκάλι (πηγή: UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα	Ουσία	Εκατονταετές δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη
<i>Ομάδα I</i>		
CHF ₂ CHF ₂	HFC-134	1 100
CH ₂ FCF ₃	HFC-134a	1 430
CH ₂ FCHF ₂	HFC-143	353
CHF ₂ CH ₂ CF ₃	HFC-245fa	1 030
CF ₃ CH ₂ CF ₂ CH ₃	HFC-365mfc	794
CF ₃ CHF ₂ CF ₃	HFC-227ea	3 220
CH ₂ FCF ₂ CF ₃	HFC-236cb	1 340
CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	HFC-236ea	1 370
CF ₃ CH ₂ CF ₃	HFC-236fa	9 810
CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	HFC-245ca	693
CF ₃ CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	HFC-43-10mee	1 640
CH ₂ F ₂	HFC-32	675
CHF ₂ CF ₃	HFC-125	3 500
CH ₃ CF ₃	HFC-143a	4 470
CH ₃ F	HFC-41	92
CH ₂ FCH ₂ F	HFC-152	53
CH ₃ CHF ₂	HFC-152a	124
<i>Ομάδα II</i>		
CHF ₃	HFC-23	14 800

Τροποποιείται επίσης, η Ομάδα I του Παραρτήματος Α (πίνακας 4. 2) όπως παρακάτω (πίνακας 4.7) :

Πίνακας 4.7 : Οι υπό έλεγχο χημικές ουσίες της Ομάδας I του Παραρτήματος Α του Πρωτοκόλλου, όπως συμπληρώθηκε με την Τροποποίηση του Κιγκάλι (πηγή : UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα	Ουσία	Δυναμικό καταστροφής όζοντος	Εκατονταετές δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη
<i>Ομάδα I</i>			
CFCl ₃	(CFC-11)	1.0	4 750
CF ₂ Cl ₂	(CFC-12)	1.0	10 900
C ₂ F ₃ Cl ₃	(CFC-113)	0.8	6 130
C ₂ F ₄ Cl ₂	(CFC-114)	1.0	10 000
C ₂ F ₅ Cl	(CFC-115)	0.6	7 370

και η Ομάδα I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου (πίνακας 4.4), όπως στον πίνακα 4.8. Τα συμβαλλόμενα μέρη αποφασίζουν επιπλέον, για τον αν θα πρέπει να γίνουν και αν ναι, ποιες, προσαρμογές στις τιμές του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη (άρθρο 2, παρ.9 του Πρωτοκόλλου).

Πίνακας 4.8: Οι υπό έλεγχο χημικές ουσίες της Ομάδας I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου, όπως συμπληρώθηκε με την Τροποποίηση του Κιγκάλι (πηγή: UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

Ομάδα	Ουσία	Αριθμός ισομερών	Δυναμικό καταστροφής όζοντος	Εκατονταετές δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη
<i>Ομάδα I</i>				
CHFCl ₂	(HCFC-21)	1	0.04	151
CHF ₂ Cl	(HCFC-22)	1	0.055	1810
CH ₂ FCl	(HCFC-31)	1	0.02	
C ₂ HFCl ₄	(HCFC-121)	2	0.01–0.04	
C ₂ HF ₂ Cl ₃	(HCFC-122)	3	0.02–0.08	
C ₂ HF ₃ Cl ₂	(HCFC-123)	3	0.02–0.06	77
CHCl ₂ CF ₃	(HCFC-123)	–	0.02	
C ₂ HF ₄ Cl	(HCFC-124)	2	0.02–0.04	609
CHFClCF ₃	(HCFC-124)	–	0.022	
C ₂ H ₂ FCl ₃	(HCFC-131)	3	0.007–0.05	
C ₂ H ₂ F ₂ Cl ₂	(HCFC-132)	4	0.008–0.05	

C2H2F3Cl	(HCFC-133)	3	0.02-0.06	
C2H3FCl2	(HCFC-141)	3	0.005-0.07	
CH3CFCl2	(HCFC-141b)	-	0.11	725
C2H3F2Cl	(HCFC-142)	3	0.008-0.07	
CH3CF2Cl	(HCFC-142b)	-	0.065	2310
C2H4FCl	(HCFC-151)	2	0.003-0.005	
C3HFCl6	(HCFC-221)	5	0.015-0.07	
C3HF2Cl5	(HCFC-222)	9	0.01-0.09	
C3HF3Cl4	(HCFC-223)	12	0.01-0.08	
C3HF4Cl3	(HCFC-224)	12	0.01-0.09	
C3HF5Cl2	(HCFC-225)	9	0.02-0.07	
CF3CF2CHCl2	(HCFC-225ca)	-	0.025	122
CF2ClCF2CHClF	(HCFC-225cb)	-	0.033	595
C3HF6Cl	(HCFC-226)	5	0.02-0.10	
C3H2FCl5	(HCFC-231)	9	0.05-0.09	
C3H2F2Cl4	(HCFC-232)	16	0.008-0.10	
C3H2F3Cl3	(HCFC-233)	18	0.007-0.23	
C3H2F4Cl2	(HCFC-234)	16	0.01-0.28	
C3H2F5Cl	(HCFC-235)	9	0.03-0.52	
C3H3FCl4	(HCFC-241)	12	0.004-0.09	
C3H3F2Cl3	(HCFC-242)	18	0.005-0.13	
C3H3F3Cl2	(HCFC-243)	18	0.007-0.12	
C3H3F4Cl	(HCFC-244)	12	0.009-0.14	
C3H4FCl3	(HCFC-251)	12	0.001-0.01	
C3H4F2Cl2	(HCFC-252)	16	0.005-0.04	
C3H4F3Cl	(HCFC-253)	12	0.003-0.03	
C3H5FCl2	(HCFC-261)	9	0.002-0.02	
C3H5F2Cl	(HCFC-262)	9	0.002-0.02	
C3H6FCl	(HCFC-271)	5	0.001-0.03	

β) Το χρονοδιάγραμμα μείωσης της κατανάλωσης και παραγωγής των HFC (πίνακας 4.9), για τα κράτη - μέλη που παράγουν αυτές τις χημικές ουσίες, έχει ως εξής:

Από το 2019 το κάθε συμβαλλόμενο μέρος φροντίζει το επίπεδο κατανάλωσης και παραγωγής του σε HFC ,να μην υπερβαίνει τα παρακάτω όρια :

α) 2019 έως 2023 :90%

β) 2024 έως 2028 : 60%

γ) 2029 έως 2033: 30%

δ) 2034 έως 2035: 20%

ε)2036 και μετά : 15%

όπου το υπολογιζόμενο επίπεδο κατανάλωσης ή παραγωγής των HFC, εκφραζόμενο σε ισοδύναμα CO₂, προκύπτει από το μέσο όρο του επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης του κάθε μέρους, κατά τα έτη 2011, 2012, 2013, συν το 15% δικού του επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης των χημικών ουσιών Ομάδας I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου (πίνακας 4.8).

Επίσης, τα συμβαλλόμενα μέρη μπορεί να αποφασίσουν να τροποποιήσουν το παραπάνω χρονοδιάγραμμα για κάποιο από τα μέρη, με έτος έναρξης εφαρμογής των μέτρων το 2020, ως εξής:

- α) 2020 έως 2023 :95%
- β) 2024 έως 2028 : 65%
- γ) 2029 έως 2033: 30%
- δ) 2034 έως 2035: 20%
- ε)2036 και μετά : 15%

με την αλλαγή, ότι στο υπολογιζόμενο επίπεδο παραγωγής και κατανάλωσης προστίθεται το 25% του δικού του επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης των χημικών ουσιών της Ομάδας I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου (πίνακας 4.8).

γ) Τα αναπτυσσόμενα κράτη – μέρη, έχουν το δικαίωμα να αναβάλλουν τη συμμόρφωση τους με τα μέτρα ελέγχου και να διαφοροποιήσουν τα όρια (πίνακας 4.9), ως εξής :

Πίνακας 4.9 : Χρονοδιαγράμματα μείωσης της κατανάλωσης ή παραγωγής των HFC των αναπτυσσόμενων χωρών (πηγή :UNEP 2006, ίδια επεξεργασία).

1 ^ο Χρονοδιάγραμμα για αναπτυσσόμενα κράτη –μέρη	2 ^ο Χρονοδιάγραμμα για αναπτυσσόμενα κράτη –μέρη
α) 2024 έως 2028: 100%	α) 2028 έως 2031: 100%
β) 2029 έως 2034: 90%	β) 2032 έως 2036: 90%
γ) 2035 έως 2039: 70%	γ) 2037 έως 2041: 80%
δ) 2040 έως 2044: 50%	δ)2042 έως2046: 70%
ε) 2045 και μετά : 20%	ε) 2047 και μετά: 15%

Το υπολογιζόμενο επίπεδο κατανάλωσης ή παραγωγής των HFC, εκφραζόμενο σε ισοδύναμα CO₂, προκύπτει από το μέσο όρο του επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης του κάθε αναπτυσσόμενου μέρους, κατά τα έτη 2020, 2021, 2022, ή των ετών 2024,

2025, 2026 εφόσον αποφασιστεί για κάποιο από τα μέρη, συν το 65% δικού του επιπέδου παραγωγής ή κατανάλωσης των ουσιών της Ομάδας I του Παραρτήματος Γ του Πρωτοκόλλου (πίνακας 4.8).

δ) Επίσης, η Τροποποίηση του Κιγκάλι υποχρεώνει τα μέρη, μέχρι το 2019, να εφαρμόζουν σύστημα έκδοσης αδειών για την εισαγωγή και εξαγωγή νέων και χρησιμοποιημένων και ανακτημένων υδροφθορανθράκων, ενώ για τα αναπτυσσόμενα κράτη μέλη δίνεται η δυνατότητα αναβολής εφαρμογής του μέτρου, μέχρι αρχές του 2021.

ε) Τέλος, σε ότι αφορά τις εκπομπές του HFC-23, το κάθε συμβαλλόμενο μέρος θα πρέπει να μεριμνά για την καταστροφή του, εφόσον αυτό είναι εφικτό, με χρήση εγκεκριμένων τεχνολογιών από τα συμβαλλόμενα μέρη.

Οι Τροποποιήσεις του Λονδίνου, της Κοπεγχάγης, του Μόντρεαλ και του Πεκίνου τέθηκαν σε ισχύ, μόνο για τα Μέρη τα οποία είχαν επικυρώσει τις συγκεκριμένες τροποποιήσεις, στις 10 Αυγούστου 1992, 14 Ιουνίου 1994, 10 Νοεμβρίου 1999 και 25 Φεβρουαρίου 2002, αντίστοιχα.

Μέχρι τις 18 Μαρτίου 2019, η κατάσταση επικύρωσης των Συμφωνιών του Όζοντος ήταν η εξής: Συνθήκη της Βιέννης επικυρώθηκε από 198 μέρη, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από 198, η Τροποποίηση του Λονδίνου από 197, η Τροποποίηση της Κοπεγχάγης από 197, η Τροποποίηση του Μόντρεαλ από 197, η Τροποποίηση του Πεκίνου από 197 και η Τροποποίηση του Κιγκάλι από 69 μέρη (UNEP - Γραμματεία όζοντος, 2019).

4.2.9 Κανονισμοί Ευρωπαϊκής Ένωσης- Εθνική Νομοθεσία

Η Ευρωπαϊκή Ένωση συμμετέχει στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ως ξεχωριστό Μέρος αλλά ταυτόχρονα και κάθε χώρα αποτελεί και ξεχωριστό Μέρος του Πρωτοκόλλου υπεύθυνο για την εφαρμογή του. Για την εφαρμογή και παρακολούθηση του Πρωτοκόλλου, η ΕΕ έχει θέσει σε εφαρμογή φιλόδοξες πολιτικές και έλαβε επιπρόσθετα μέτρα για την προστασία της στιβάδας του όζοντος, με τη θέσπιση Κανονισμών, οι οποίοι ενσωματώνουν τα μέτρα και τα χρονοδιαγράμματα του Πρωτοκόλλου αλλά και σε κάποια σημεία είναι αυστηρότεροι από αυτό (ΥΠΕΚΑ, 2018).

Αρχικά με τον Κανονισμό 594/91 ΕΚ υιοθέτησαν και έθεσαν σε εφαρμογή την Τροποποίηση του Λονδίνου και όσα προέβλεπε το σχέδιο, για την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης, επιβάλλοντας μέτρα ελέγχου πιο αυστηρά και συντομεύοντας τα χρονοδιαγράμματα εξάλειψης των υπό έλεγχο χημικών ουσιών.

Μετέπειτα ακολούθησαν οι Κανονισμοί:

- 3093/1994 ΕΚ για τις χημικές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος

-2037/2000 ΕΚ, σύμφωνα με τον οποίο η Ελλάδα μείωσε την παραγωγή CFCs στο ελάχιστο και υποχρεώθηκε να εφαρμόσει χρονοδιαγράμματα σταδιακής κατάργησης της παραγωγής και των HCFCs τα οποία παράγει.

-1005/2009 ΕΚ για τις χημικές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, ο οποίος αντικατέστησε το προγενέστερο 2037/2000 ΕΚ, αποτελεί και το βασικό εργαλείο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής πολιτικής για την προστασία της στιβάδας του όζοντος. Όριζε πιο αυστηρά και εξειδικευμένα μέτρα για την απαγόρευση της χρήσης ή τη σταδιακή μείωση ανάλογα με υπό έλεγχο χημική ουσία, για την παραγωγή και διακίνηση γενικά των υπό έλεγχο χημικών ουσιών και προϊόντων που τις περιέχουν, για τον περιορισμό των εκπομπών κατά τη συντήρηση του εξοπλισμού (κυρίως στη φάση της απόσυρσης) και για τον έλεγχο των εισαγωγών και εξαγωγών (ΥΠΕΚΑ, 2018) και έθεσε υπό έλεγχο νέες χημικές ουσίες (halon 1202, n-PB, EB, TFIM, MC) (EEA,2017)

Η ΕΕ στόχευε στην επίσπευση της κατάργησης της χρήσης των HCFCs, του βρωμιούχου μεθυλίου και την σταδιακή κατάργηση των halons. Συγκεκριμένα, προωθεί τη σταδιακή κατάργηση των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFCs) από το 2010 και εισάγει ένα σύστημα απαγορεύσεων των HCFCs, οι οποίες σχετίζονται με τη διάθεση στην αγορά και τη χρήση παρθένων HCFC στην επισκευή ή συντήρηση υπάρχοντος εξοπλισμού ψύξης, κλιματισμού και αντλιών θερμότητας, ενώ μέχρι τα τέλη του 2014 επιτρεπόταν η συντήρηση ή επισκευή με ανακυκλωμένα ή ανακτημένα HCFCs. Επιπλέον, με λίγες μόνο εξαιρέσεις, απαγορεύεται η εισαγωγή και η εξαγωγή προϊόντων και εξοπλισμού, που περιέχουν ή εξαρτώνται από ODS, συμπεριλαμβανομένων των HCFC. Περιλαμβάνει επίσης, την πλήρη απαγόρευση της χρήσης του μεθυλοβρωμιδίου, από 19 Μαρτίου 2010 ακόμη και σε εφαρμογές υγειονομικής απομόνωσης και προετοιμασίας αποστολής φορτίου(EEA,2017)

Επιπλέον, η ΕΕ είχε ως στόχο την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών για την παραγωγή: υποκατάστατων βρωμιούχου μεθυλίου, νέων παραγόντων εμφύσησης του αφρού μόνωσης, εισπνευστήρες χωρίς CFCs, καινοτόμων χωρίς Halons, πυροσβεστικών συστημάτων π.χ. σε πλοία και αεροπλάνα.

-744/2010 ΕΚ για την τροποποίηση του κανονισμού 1005/2009ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, για τις χημικές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, όσον αφορά τις κρίσιμες χρήσεις των halons.

-10833/2013 ΕΚ για νέα τροποποίηση του κανονισμού 1005/2009 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, όσον αφορά τις αιτήσεις χορήγησης αδειών εισαγωγής και εξαγωγής προϊόντων και εξοπλισμού που περιέχουν halons ή εξαρτώνται από αυτά, για κρίσιμης σημασίας χρήσεις σε αεροσκάφη.

-291/2011 ΕΚ σχετικά με τις βασικές χρήσεις υπό έλεγχο χημικών ουσιών πλην των υδροχλωροφθορανθράκων για εργαστηριακές και αναλυτικές χρήσεις στην Ένωση, βάσει του κανονισμού 1005/2009 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τις χημικές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019).

Η Ελλάδα κύρωσε, όπως προαναφέρθηκε την Σύμβαση της Βιέννης και το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ με τις τροποποιήσεις του. Επίσης, με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 37411/1829/Ε103 (ΦΕΚ/Β/1287/11-9-2007) καθορίζονται οι αρμόδιες αρχές, τα μέτρα και οι διαδικασίες για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ και των Ευρωπαϊκών Κανονισμών για την προστασία της στιβάδας του όζοντος.

Ο Εθνικός Συντονιστής για τη συνολική εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου για την προστασία της Στιβάδας του Όζοντος, είναι η Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, της Γενικής Διεύθυνσης Περιβαλλοντικής Πολιτικής του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Μεταξύ των αρμοδιοτήτων του, είναι η σύνταξη και επεξεργασία των απαραίτητων νομοθετημάτων, σε συνεργασία με τα κατά περίπτωση συναρμόδια Υπουργεία και Φορείς, για την εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με τις προβλέψεις του Πρωτοκόλλου και των Ευρωπαϊκών Κανονισμών και

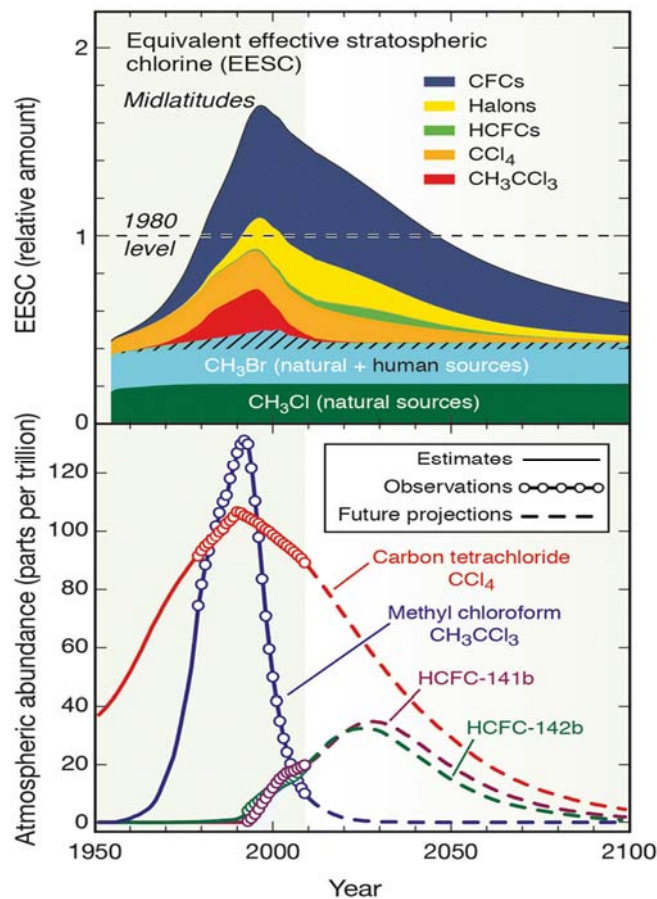
επιβλέπει την εφαρμογή τους. Επιβλέπει και συντονίζει την εφαρμογή μέτρων πολιτικής για την προστασία της στιβάδας του όζοντος κλπ. Εκπροσωπεί τη χώρα στις ετήσιες συνόδους του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, στα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τακτική συμμετοχή στις επιτροπές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Ozone Committee, National Experts) και διατηρεί τακτική επικοινωνία και συνεργασία με τη Διεύθυνση Climate Action της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Τέλος, η Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, στα πλαίσια των διεθνών και Ευρωπαϊκών υποχρεώσεων, συντάσσει και υποβάλλει τις ετήσιες εθνικές εκθέσεις στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΥΠΕΚΑ, 2018).

4.3 Αποτελέσματα Της Εφαρμογής Των Συμφωνιών Για Την Προστασία Της Στιβάδας Του Όζοντος

Από τη δεκαετία του 1960 έως τα τέλη της δεκαετίας του 1990, προκλήθηκε ταχεία αύξηση του στρατοσφαιρικού χλωρίου και του βρωμίου, εξαιτίας των χημικών ουσιών (ODS) που καταστρέφουν το όζον. Από μετρήσεις και μελέτες της συγκέντρωσης των ODS στη στρατόσφαιρα, αποδεικνύεται ότι η αύξηση αυτή έχει σαφώς σταματήσει και παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης τους, από τα τέλη της δεκαετίας του '90 στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (WMO, 2014).

Οι συγκεντρώσεις των ODS, που απεικονίζονται στο διάγραμμα 4.1, υπολογίστηκαν με βάση τις διαθέσιμες ατμοσφαιρικές μετρήσεις, των υπολογισμών για προηγούμενα έτη και τις μελλοντικές προβλέψεις. Επίσης, για τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων των αλογόνων (χλωρίου και βρωμίου) στην εξάντληση του όζοντος στη στρατόσφαιρα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης EESC.



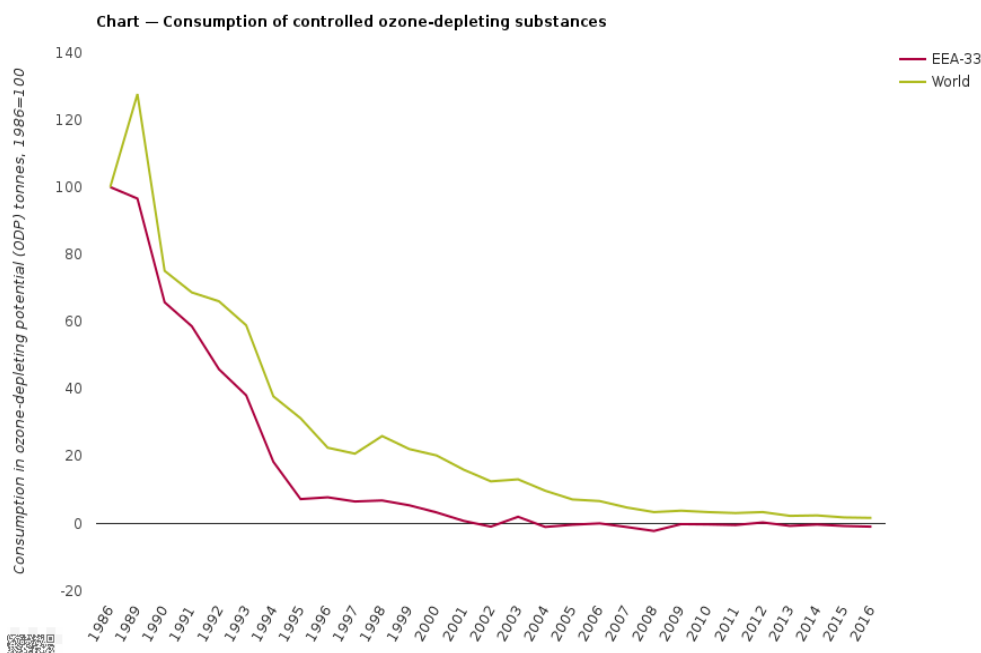
Διάγραμμα 4.1: Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των ODS και οι προβλέψεις για το μέλλον (WHO, 2014).

4.3.1 Οι Χημικές Ουσίες Που Καταστρέφουν Τη Στιβάδα Του Όζοντος Στην Ατμόσφαιρα Μετά Την Εφαρμογή Των Συμφωνιών

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, η συνολική παραγωγή των CFCs –σύμφωνα με τα δεδομένα της AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study) είχαν πέσει απότομα, λόγω των μέτρων του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Για την περίοδο 1992-1993, το ποσοστό της βιομηχανίας αντιπροσώπευε περίπου το 80% του συνόλου της παραγωγής των CFCs και συνεχώς μειωνόταν (Midgley and McCulloch, 1999).

Με την έναρξη ισχύος του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1989, η κατανάλωση των ODS στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανερχόταν σε περίπου 420,000 τόνους δυναμικού καταστροφής όζοντος (ODP), η οποία έφθασε κοντά στο μηδέν το 2002 και παρέμεινε σταθερή από τότε (διάγραμμα 4.2). Η κατανάλωση ODS μειώθηκε σημαντικά στις 33

χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ιδίως κατά το πρώτο ήμισυ της δεκαετίας του 1990 και με ταχύτερο ρυθμό από τον μέσο όρο παγκοσμίως. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση των ODS που τέθηκαν υπό έλεγχο βάσει του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ και των Τροποποιήσεων του, μειώθηκε κατά περίπου 98.36%, μεταξύ 1986 και 2016 (Ευρωπαϊκός Περιβαλλοντικός Οργανισμός ΕΕΑ, 2017).



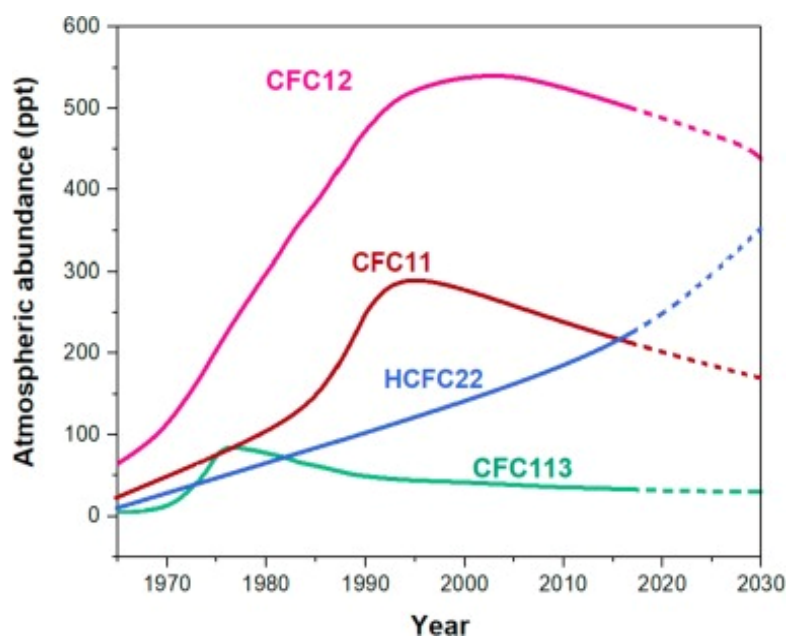
Διάγραμμα 4.2 : Ποσοστιαία κατανάλωση σε τόνους ODP, των υπό έλεγχο ουσιών ODS, σε σχέση με την κατανάλωση του 1986, για την περίοδο 1986-2016. Με κόκκινο απεικονίζονται τα δεδομένα για τα κράτη της Ε.Ε. και λαδί τα ποσοστά παγκοσμίως (ΕΕΑ, 2017).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι εξαιρέσεις από τη συνολική σταδιακή κατάργηση των ODS, που ορίζουν το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και ο κανονισμός 1005/ 2009/ΕΚ της Ε.Ε., αφορούν σε κρίσιμες χρήσεις, χρήσεις ως πρώτες ύλες, χρήσεις ως μέσα επεξεργασίας και εργαστηριακές και αναλυτικές χρήσεις. (ΕΕΑ, 2017).

Τα αποτελέσματα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ και των τροποποιήσεων του, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στοιχεία για το 2007, δείχνουν ότι οι αναπτυγμένες χώρες, έχουν καταργήσει την κατανάλωση των CFCs, halons, τετραχλωράνθρακα, μεθυλοχλωροφορμίου και το μεθυλοβρωμιδίου, που αντιστοιχεί συνολικά, εκφρασμένο σε δυναμικό καταστροφής όζοντος (ODP), σε 1.1 εκατομμύρια τόνους, με εξαίρεση 63 τόνων ODP για κάποιες βασικές χρήσεις και 3,574 τόνων ODP βρωμιούχου μεθυλίου για ειδικές χρήσεις. Οι αναπτυσσόμενες χώρες μείωσαν αντίστοιχα, την κατανάλωσή τους

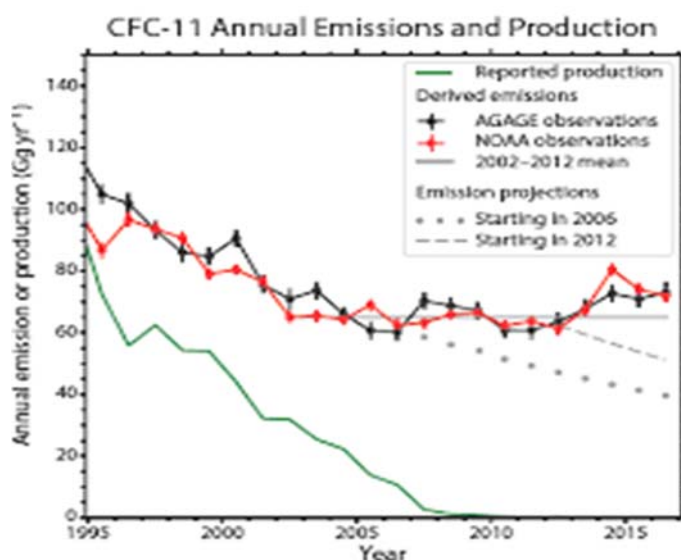
από 274,400 τόνους ODP, σε 19.1345 τόνους ODP και βρίσκονται σε καλό δρόμο για τη σταδιακή κατάργηση, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του Πρωτοκόλλου (Sarma and Taddonio, 2009).

Παρατηρώντας τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των ουσιών CFC-12, CFC-11, HCFC-22, CFC-113 που μετρήθηκαν για την περίοδο από 1970 έως 2017 (διάγραμμα 4.3) καθώς και τις προβλεπόμενες για τα επόμενα έτη, σύμφωνα με το μοντέλο Box-Jenkin (Singh and Bhargawa, 2018), διαπιστώνουμε ότι από το 1965 έως και το 1994, η συγκέντρωση των CFC-12, CFC-11, στην ατμόσφαιρα αυξάνεται συνεχώς. Στο διάστημα μεταξύ των τροποποιήσεων της Κοπεγχάγης και της Βιέννης, ο ρυθμός αύξησης των CFC-12, CFC-11 αρχίζει να επιβραδύνει, λόγω των μέτρων που εισήγαγε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Ωστόσο, το μέγεθος της τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική κατά 1992-1993 παρέμεινε ανησυχητικό. Η παραγωγή και η κατανάλωση των CFCs τερματίστηκε τελικά στις αναπτυγμένες χώρες το 1996, σύμφωνα με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης και το 2010 στις αναπτυσσόμενες χώρες με την Τροποποίηση του Πεκίνου.



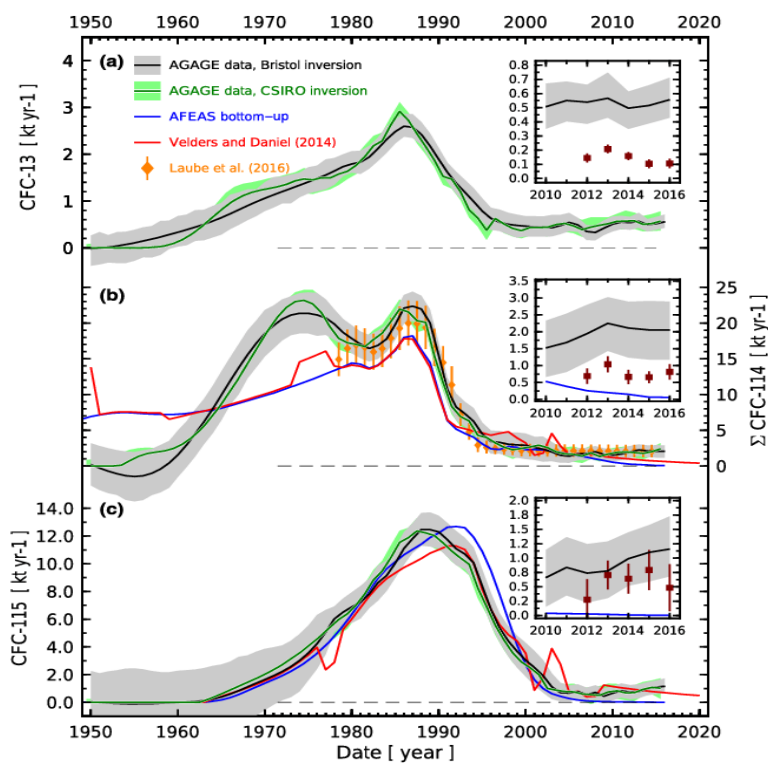
Διαγράμματα 4.3 : Οι συγκεντρώσεις των ODS : CFC-11, CFC-12, CFC-113 και HCFC-22 για την περίοδο 1965 έως 2030. Οι συμπαγές γραμμές παρουσιάζουν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις (1965-2017) και οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα προβλεπόμενα δεδομένα (2018-2030) (Singh and Bhargawa, 2018).

Παρόλα αυτά, σήμερα παρατηρείται μια ανεξήγητη προς το παρόν αύξηση στις επιφανειακές μετρήσεις των εκπομπών του CFC-11 (Montzka, et al., 2018). Ενώ η παραγωγή του CFC-11 σταματά το 2010, οι μετρήσεις δείχνουν ότι η ατμοσφαιρική του συγκέντρωση αυξάνεται (διάγραμμα 4.4) (WHO, 2018).



Διάγραμμα 4.4 : Παγκόσμια ετήσια παραγωγή CFC-11 και οι παγκόσμιες ετήσιες εκπομπές CFC-11 (WHO, 2018).

Ωστόσο, με βάση πληθώρα νέων παρατηρήσεων για τις συγκεντρώσεις των CFC-13, CFC-114, CFC-115, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη βιομηχανία και σε διάφορα καταναλωτικά προϊόντα, διαπιστώνεται ότι ενώ η συγκέντρωση του CFC-114 μειώνεται την τελευταία δεκαετία, οι CFC-13 και CFC-115 παραμένουν σε αφθονία στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας του υψηλού ρυθμού εκπομπής τους. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις προσδοκίες της ελάττωσης των εκπομπών και των προσαρμογών για την τελικής εξάλειψής τους, σύμφωνα με την Τροποποίηση του Λονδίνου (διάγραμμα 4.5) (Vollmer, et al., 2018).

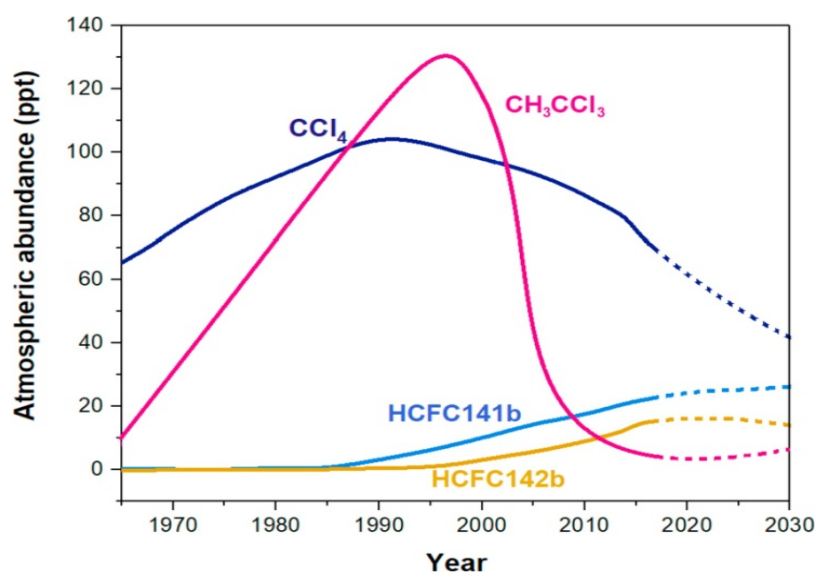


Διάγραμμα 4.5 : Συνολικές εκπομπές χλωροφθορανθράκων CFC-13 (α), CFC-114 (β) και CFC-115 (γ) από ατμοσφαιρικές παρατηρήσεις (Vollmer, et al., 2018).

Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των HCFC-22, HCFC-141b, HCFC-142b, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως υποκατάστατα των CFCs, δείχνουν ότι αυξάνονται συνεχώς (διάγραμμα 4.6). Ιδιαίτερα, ο HCFC-22 βρίσκεται σε αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις αλλά η επίδραση του στην στιβάδα του όζοντος δεν είναι τόσο σημαντική (παράγοντας καταστροφής του όζοντος~0,055), συγκριτικά με τα CFCs που αντικαθιστά (παράγοντας καταστροφής του όζοντος~1). Οι HCFCs τέθηκαν υπό έλεγχο το 1994, με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης, η οποία προέβλεπε σταδιακή μείωση της παραγωγής και κατανάλωσής τους ή τον περιορισμό σε συγκεκριμένες χρήσεις. Μόλις το 2007, στην 19^η Σύνοδο των Μερών του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, στο Μόντρεαλ αποφασίστηκε η εξάλειψη των HCFCs, για τις μεν αναπτυγμένες χώρες το 2020 και για τις δε αναπτυσσόμενες, το 2030.

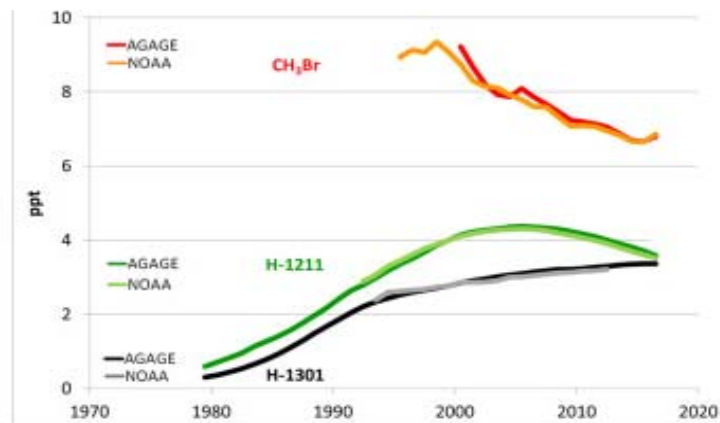
Ομοίως, για τους CCl₄ και CH₃CCl₃, με τις προσαρμογές του Πρωτοκόλλου στην Κοπεγχάγη αποφασίζεται η πλήρη εξάλειψή τους το 1996 στις αναπτυγμένες χώρες και στις αναπτυσσόμενες το 2010 και 2015 αντίστοιχα. Ιδιαίτερα, λόγω της μάλλον σύντομης ατμοσφαιρικής διάρκειας ζωής του CH₃CCl₃ (5 έτη), η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα μειώθηκε ταχύτατα, μετά την ισχύ των προσαρμογών της Κοπεγχάγης και,

μέχρι πρόσφατα, συνέβαλλε στη μεγαλύτερη μείωση του χλωρίου στη στρατόσφαιρα (WMO, 2014). Μετά τη λήψη των μέτρων έλεγχου του Πρωτοκόλλου, παρατηρούμε μια συνεχή, πτωτική τάση των συγκεντρώσεων τους στην ατμόσφαιρα.



Διαγράμματα 4.6 : Οι συγκεντρώσεις των CH₃CCl₃, CCl₄, HCFC-141b and HCFC-142b για την περίοδο 1965 έως 2030. Οι συμπαγές γραμμές παρουσιάζουν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις (1965-2017) και οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα προβλεπόμενα δεδομένα (2018-2030) (Singh and Bhargawa, 2018).

Η παραγωγή των Halon-1211, Halon-1301, από τις πιο επιβλαβείς για την στιβάδα του όζοντος χημικές ουσίες, με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης είχε μηδενιστεί από το 1994 για τις αναπτυγμένες χώρες και το 2010 για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις εκπομπής αυτών των ουσιών εξαιρούνται εν μέρει και, ως εκ τούτου, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των Halons συνεχίζεται, όπως για παράδειγμα το Halon-1301, το οποίο χρησιμοποιείται σε κέντρα υπολογιστών, αεροπλάνα κλπ. Οι περιορισμοί του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ επέφεραν μείωση στις εκπομπές των Halons από το 1990. Το Halon-1211, από τις αρχές του 2000 που εμφάνισε τη μέγιστη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα του, αρχίζει να μειώνεται ενώ η συγκέντρωση του H-1301 παραμένει υψηλή (διάγραμμα 4.7), λόγω των συνεχιζόμενων εκπομπών του και της μεγάλης διάρκειας ζωής του (65 χρόνια) (Reinman, et al., 2018).



Διάγραμμα 4.7 : Η εξέλιξη του μέσου όρου H-1211, H-1301 και CH₃Br, από τα παγκόσμια δίκτυα NOAA (ανοιχτά χρώματα) και AGAGE (σκούρα χρώματα) (Reinman, et al., 2018).

Επίσης, η συγκέντρωση του βρωμιούχο μεθυλίου (CH₃Br) στην ατμόσφαιρα από τις αρχές του 1999, άρχισε να μειώνεται δραστικά καθώς ανταποκρίθηκε γρήγορα στις μειωμένες εκπομπές που προέκυψαν από τους περιορισμούς, που έθεσε η Τροποποίηση του Μόντρεαλ και εξαιτίας, του μικρού χρόνου ζωής του στην ατμόσφαιρα (διάγραμμα 4.7).

4.3.2 Η Τρύπα Του Όζοντος Μετά Την Εφαρμογή Των Συμφωνιών

Πολλές μελέτες έδειξαν ότι η σταδιακή μείωση των ODS παγκοσμίως, επέφερε σημάδια ανάκαμψης της στιβάδας του όζοντος. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) καθόρισε τρία τα στάδια της ανάκτησης του στρατοσφαιρικού όζοντος : μείωση του ρυθμού καταστροφής του, εμφάνιση σημαντικής θετικής τάσης στην συγκέντρωσή του και πλήρης ανάκαμψη, που σημαίνει ανεξαρτησία της συγκέντρωσης του, από τις ουσίες που καταστρέφουν το όζον (WMO, 2007).

Οι Yang, et al. (2005) διαπίστωσαν μετά ότι μετά το 1997, παρατηρείται σημαντική μείωση του ρυθμού απώλειας όζοντος κατά την περίοδο της άνοιξης, χρησιμοποιώντας δεδομένα μετρήσεων της περιόδου 1979-2004, σε γεωγραφικό πλάτος 60-70 °S και αυτό θεωρήθηκε ως το σημείο εκκίνησης της ανάκτησης της τρύπας του όζοντος, λόγω μείωσης του στρατοσφαιρικού χλωρίου.

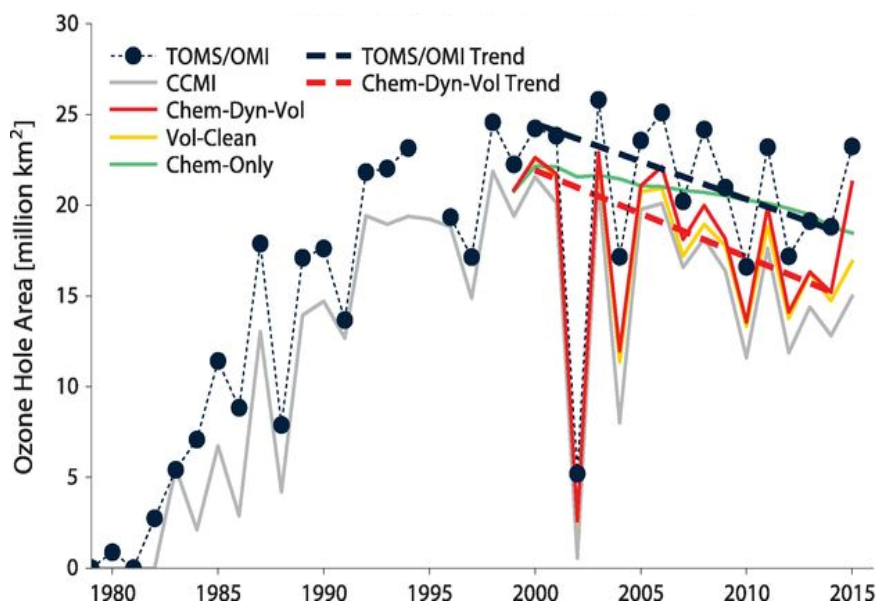
Σύμφωνα με τα πορίσματα της Επιστημονικής Αξιολόγησης για την εξάντληση του όζοντος του 2014 (WHO, 2014), φαίνεται ότι η παγκόσμια στήλη του όζοντος (60° S- 60° N) αυξάνεται από 0.3% έως 1.2% ανά δεκαετία από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, αλλά η αύξηση αυτή, δεν είναι στατιστικά σημαντική, λόγω της σχετικά μεγάλης αβεβαιότητας, της τάξης του 1%. Αναμένεται όμως να αυξηθεί περαιτέρω, εφόσον μειωθούν οι ODS στην στρατόσφαιρα. Η στήλη του όζοντος παραμένει αμετάβλητη στα τροπικά, σε σύγκριση με την περίοδο 1964-1980 (WHO, 2014).

Ωστόσο, μετρήσεις και νέα δορυφορικά δεδομένα μέχρι και το 2016, δείχνουν ότι το όζον στην άνω στρατόσφαιρα έχει αυξηθεί τα τελευταία 15 χρόνια και ανακάμπτει από τις ODS. Από το 2000, το στρατοσφαιρικό όζον αρχίζει να αυξάνεται σε υψόμετρο από 35-48 χιλ, η τάση της αύξησης είναι μικρή σε υψόμετρο από 20-30 χιλ. ενώ στη χαμηλή στρατόσφαιρα, 16-20 χιλ. ενδέχεται να υπάρχει ακόμη και μείωση στα τροπικά και βόρεια γεωγραφικά πλάτη (Steinbrecht, et al., 2017).

Η ανάκτηση του όζοντος είναι επίσης ορατή όσον αφορά τις ελάχιστες συγκεντρώσεις του, οι οποίες για την πενταετία 2013-2017, η μέση χαμηλότερη συγκέντρωση ήταν 115.2 DU ενώ κατά τα δέκα προηγούμενα έτη, 2007-2017, έφθασε μια μέση τιμή 122 DU (EEA, 2017).

Οι πρώτες ενδείξεις, ότι η τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής, έχει μειωθεί σε μέγεθος και βάθος ξεκινούν να φαίνονται από το 2000, με τις σαφέστερες αλλαγές να σημειώνονται στις αρχές της άνοιξης, γεγονός που οφείλεται κυρίως στη μείωση των ουσιών που καταστρέφουν το όζον (WHO, 2018). Οι Weber et al. (2017) χρησιμοποιώντας διαφορετικά σύνολα δεδομένων, από δορυφορικές και επίγειες παρατηρήσεις για την περίοδο από το 1979 έως το 2016, διαπίστωσαν ότι η τάση του ολικού όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, κατά το μήνα Σεπτέμβριο είναι από το 2000, θετική ενώ δεν παρατηρείται καμία μεταβολή τον Οκτώβριο, όπως και στην Αρκτική κατά το μήνα Μάρτιο.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές του μεγέθους της τρύπας του όζοντος (διάγραμμα 4.8), για το μήνα Σεπτέμβριο, πάνω από την Ανταρκτική δείχνουν μια συρρίκνωση, περίπου κατά 4.5 ± 4.1 τετραγωνικών εκατομμυρίων χιλιομέτρων, μεταξύ της περιόδου 2000 και 2015 (Solomon, et al., 2016).



Διάγραμμα 4.8 : Το ετήσιο μέγεθος της μέσης μηνιαίας όψης τρύπα του όζοντος (που ορίζεται ως η περιοχή όπου το συνολικό όριο του όζοντος είναι μικρότερο από 220 DU) από τις δορυφορικές παρατηρήσεις TOMS / OMI και τις προσομοιώσεις μοντέλων. Απεικονίζονται επίσης, οι τάσεις στις παρατηρήσεις TOMS/ OMI (έντονη διακεκομμένη μαύρη γραμμή) και οι υπολογισμοί μοντέλου chem-dyn-vol (έντονη διακεκομμένη κόκκινη γραμμή) από το 2000 έως το 2015 (Solomon, et al., 2016).

Ωστόσο, παρά τα πρώιμα σημάδια ανάκαμψης, κάθε χρόνο παρατηρείται μία τρύπα όζοντος πάνω από την Ανταρκτική και οι απώλειες σε όζον εξαρτώνται από τις ισχύουσες μετεωρολογικές συνθήκες, όπως θερμοκρασία και άνεμοι (WHO, 2018).

4.3.3 Προβλέψεις Για Την Στιβάδα Του Όζοντος

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και οι τροποποιήσεις του, είχαν σαν αποτέλεσμα να μειθούν οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των ουσιών ODS, άρα και το στρατοσφαιρικό χλώριο και βρώμιο που καταστρέφουν τη στιβάδα. Συνεπώς, αναμένεται η ανάκτηση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η οποία είναι ήδη ανιχνεύσιμη, στη Ανταρκτική και την άνω στρατόσφαιρα. Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των ODS στην ατμόσφαιρα, οι οποίες αποτέλεσαν τη βασική κινητήρια δύναμη στην εξέλιξη του φαινομένου της εξασθένισης του στρατοσφαιρικού όζοντος από τη δεκαετία του

1970, θα εξακολουθήσουν να είναι σημαντικές και στο μέλλον, αλλά στο δεύτερο μισό του αιώνα, η επίδραση των αυξανόμενων συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου GHG (CO₂, N₂O και CH₄) θα είναι η πιο καθοριστική (WHO, 2014).

Τα καταλληλότερα εργαλεία, για τις μελλοντικές προβλέψεις του όζοντος, είναι τα 3D χημικά-κλιματικά μοντέλα CCMs, τα οποία περιέχουν λεπτομέρειες για τις στρατοσφαιρικές χημικές διεργασίες, καθώς και μια ρεαλιστική, διαδραστική απεικόνιση της θερμοκρασίας και δυναμικής της στρατόσφαιρας, ενώ αξιολογούνται με βάση τις παρατηρήσεις και απαιτούν σημαντικά υπολογιστικά δεδομένα για να τρέξουν ένα ευρύ φάσμα σεναρίων για διάφορα χρονικά διαστήματα (Chipperfield, 2017).

Με τη μείωση των συγκεντρώσεων ODS, κατά τη διάρκεια του αιώνα αυτού, αναμένεται ότι το παγκόσμιο όζον θα ανακάμψει στα επίπεδα του 1980, περίπου το 2030 και στα επίπεδα του 1960, μέχρι τα μέσα του αιώνα, για το σενάριο (Representative Concentration Pathway, RCP) 6.0, για τις εκπομπές των ODS και των αερίων θερμοκηπίου (σενάριο όπου η συνδυασμένη αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου προκαλεί αύξηση της ακτινοβολίας των 6 W m⁻², μέχρι το 2100). Το πολύ ενδιαφέρον είναι ότι η προβλεπόμενη ανάκτηση του στρατοσφαιρικού όζοντος, σύμφωνα με το μοντέλο, είναι ταχύτερη από την επιστροφή των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των ODS στα φυσικά τους επίπεδα, το οποίο και είναι πιθανό να συμβεί στα τέλη του αιώνα, εάν τηρηθούν στο μέλλον, τα μέτρα ελέγχου του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (Chipperfield, 2017). Αυτό οφείλεται κυρίως, στη θετική επίδραση της αύξησης του CO₂, η οποία ψύχει την ανώτερη στρατόσφαιρα και ως εκ τούτου μειώνει τον ρυθμό απώλειας όζοντος, και του μεθανίου (CH₄) που επηρεάζει την κατανομή του χλωρίου στη χαμηλή και μεσαία περιοχή της στρατόσφαιρας ενώ αντίθετα οι αυξημένες συγκεντρώσεις του N₂O, οδηγούν σε μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, μέσω του καταλυτικού κύκλου καταστροφής του όζοντος NO_x (Revell, et al., 2012). Γενικά, οι προβλέψεις για την ανάκτηση του στρατοσφαιρικού όζοντος στα επίπεδα του 1980, και κυρίως του 1960, διαφέρουν από μοντέλο σε μοντέλο.

Οι Dhomse et al. (2018), στα πλαίσια της Πρωτοβουλίας Χημικών-Κλιματικών Μοντέλων (Chemistry-Climate Model Initiative, CCMI), ανέλυσαν τις προσομοιώσεις πολλαπλών-μοντέλων πρόβλεψης για την εκτίμηση της ημερομηνίας ανάκτησης του στρατοσφαιρικού στρώματος όζοντος, από την εξάντληση που προκαλείται από το

στρατοσφαιρικό χλώριο και βρώμιο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, έδειξαν ότι το ολικό όζον θα επανέλθει στα επίπεδα του 1980, το 2049 (με συντελεστή αβεβαιότητας 1σ , 2043-2055). Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη του Νοτίου Ημισφαιρίου αναμένεται να επανέλθει το 2046 (2039-2050) και του Βορείου το 2032 (2055-2066). Στις πολικές περιοχές, τα μοντέλα προβλέπουν επαναφορά στα επίπεδα του 1980, το 2060 τον Οκτώβριο στην Ανταρκτική, όπου το όζον επηρεάζεται κυρίως από τα στρατοσφαιρικό χλώριο και βρώμιο, ενώ στην Αρκτική, τον Μάρτιο το 2034 (2025-2043). Στις τροπικές περιοχές, μόνο τα μισά μοντέλα προβλέπουν ότι θα επιστρέψουν οι τιμές του 1980, γύρω στο 2040, ενώ τα άλλα μισά δεν δείχνουν επιστροφή στις τιμές του 1980 (δίνοντας ως μέσο όρο το 2058). Όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν αρνητική τάση στην ολική στήλη του όζοντος, στις τροπικές περιοχές προς το τέλος του 21ου αιώνα (Dhomse, et al., 2018).

Οι προσομοιώσεις που διεξήχθησαν από τους Dameris και Pitari, με τα χημικά-κλιματικά μοντέλα, CCM ULAQ και DLR-E39/C, για την μελλοντική εξέλιξη της στιβάδας του όζοντος, δείχνουν μια καθυστέρηση στη ανάκτηση της στιβάδας, κυρίως στις πολικές περιοχές, λόγω των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου στο κλίμα, δηλαδή την ψύξη της στρατόσφαιρας. Το νέο εύρημα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του E39/ C, είναι ότι η μικρή αύξηση ολικού όζοντος του νότιου ημισφαιρίου, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης στην Ανταρκτική στα τέλη 1990 και στις αρχές της δεκαετίας του 2000, δεν δείχνει την αρχική ανάκτηση της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική, αλλά αποδίδεται σε αλλαγές της ηλιακής δραστηριότητας. Οπότε θα πρέπει να αναμένουμε και πάλι μεγαλύτερες και βαθύτερες τρύπες του όζοντος τα επόμενα χρόνια (Dameris and Pitari, 2020).

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση και Αξιολόγηση Των Συμφωνιών -Συμπεράσματα- Προτάσεις

5. 1 Συζήτηση - Αξιολόγηση Των Συμφωνιών Για Την Προστασία Της Στιβάδας Του Όζοντος

Οι διεθνείς συμφωνίες για την προστασία της στιβάδας του όζοντος, Σύμβαση της Βιέννης και Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, θεωρούνται από τις πιο επιτυχημένες και τις πιο ευρέως επικυρωμένες συμφωνίες, στην ιστορία των Ηνωμένων Εθνών, αμφισβητώντας την κοινή αντίληψη, ότι οι συνθήκες δεν είναι αποτελεσματικές στο διεθνές δίκαιο και ότι οι κρατικοί μηχανισμοί είναι παρωχημένοι. Οι συμφωνίες υπήρξαν επιτυχείς με διάφορους τρόπους, από την εφαρμογή και την επιβολή τους έως τις σαφείς θετικές και διαχρονικές επιπτώσεις που είχαν στην στιβάδα του όζοντος καθώς και την υγεία των ανθρώπων(Mygrands, 2015).

Από το 1990, η Ευρωπαϊκή Ένωση λαμβάνει επιπλέον μέτρα για τη μείωση των ODS και ιδιαίτερα με την υιοθέτηση του κανονισμού 1005/2009 / ΕΚ σχετικά με τις ODS, ο οποίος από πολλές απόψεις, υπερβαίνει το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και έχει επίσης προωθήσει τη σταδιακή κατάργηση των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFC) στην ΕΕ.

5.1.1 Συζήτηση - Αξιολόγηση της Σύμβασης της Βιέννης

Η Σύμβαση της Βιέννης προέβη σε κάτι πρωτοποριακό: συμφώνησε κατ 'αρχήν να αντιμετωπίσει ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα πριν ακόμη να είναι αισθητές οι επιπτώσεις του ή ακόμη και επιστημονικά αποδεδειγμένες, αποτελώντας ίσως το πρώτο παράδειγμα της ενσωμάτωσης της «αρχής της προφύλαξης» σε μια σημαντική

διεθνή διαπραγμάτευση (Brack, 2003). Ένας παράγοντας που βοήθησε σε αυτό, ήταν το γεγονός, ότι τότε υπήρχαν λίγοι σχετικά παραγωγοί τέτοιων ουσιών, αν και οι ουσίες αυτές είχαν ευρύ φάσμα χρήσεων σε ολόκληρη την κοινωνία (Midgley and McCulloch, 1999). Συγκεκριμένα, στην παγκόσμια παραγωγή των CFCs, κυριαρχούσαν πέντε εταιρείες χημικών ουσιών (DuPont, Allied Chemical, Hoechst, ICI και Atochem) σε τέσσερις χώρες (ΗΠΑ, Γερμανία, Βρετανία και Γαλλία) και μόνο μερικές αναπτυσσόμενες χώρες είχαν αρχίσει να φιλοξενούν τέτοιες μικρές μονάδες (Falkner, 2017).

Ωστόσο, η Συνθήκη της Βιέννης, περιείχε μόνο δεσμεύσεις, για συνεργασία στον τομέα της έρευνας και παρακολούθησης της στιβάδας του όζοντος-για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την παραγωγή των CFCs μεταξύ των κρατών και προωθούσε την υιοθέτηση πολιτικών από τα κράτη, κατά των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, που πιθανόν να τροποποιούν την στιβάδα του όζοντος (UNEP, 2011).

Μόλις δύο μήνες μετά την εφαρμογή της Σύμβασης, αρχίζουν να δημοσιεύονται τα πρώτα ευρήματα των επιστημόνων για τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος στην Ανταρκτική καθώς και τα αποτελέσματα των ερευνών για το στρατοσφαιρικό όζον που εκπόνησαν από κοινού, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός με τη ΝΑΣΑ. Επίσης, ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) των ΗΠΑ, δημοσίευσε μια έκθεση τεσσάρων τόμων, σχετικά με τις επιδράσεις των αλλαγών στο στρατοσφαιρικό όζον και το παγκόσμιο κλίμα. Οι εκθέσεις αντιπροσώπευαν μια διεθνή επιστημονική συναίνεση ότι το πρόβλημα της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος ήταν πραγματικό, και ότι οι αρνητικές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον ήταν προ των πυλών, αν δεν λαμβάνονταν μέτρα (Skjaerseth, 1992).

5.2.2 Συζήτηση-Αξιολόγηση Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η κύρια συμφωνία για το όζον, θεωρείται ευρέως επιτυχημένη καθώς κατάφερε τη συμμόρφωση τόσο των ανεπτυγμένων όσο και των αναπτυσσόμενων χωρών και τη σταδιακή κατάργηση του 98% των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον (ODS) (Downie, 2015). Το Πρωτόκολλο, με τις τροποποιήσεις του, κατάφερε : α) να θέτει κάθε φορά, μέτρα ελέγχου και δεσμεύσεις, με ρυθμό που οι χώρες θα μπορούσαν να αντέξουν. Οι πρώτες δεσμεύσεις είχαν

ευκολότερη αποδοχή, καθώς στις ΗΠΑ για παράδειγμα, υπήρχαν ήδη απαγορεύσεις στην παραγωγή κάποιων CFCs, οπότε κάποιες χώρες της Ευρώπης και η Ιαπωνία θα ακολουθούσαν εύκολα το παράδειγμα των ΗΠΑ β) να εντοπίσει τις νέες χημικές ουσίες που συνέβαλλαν στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και να τις θέσει υπό έλεγχο καθώς και γ) την αντιμετώπιση των ανησυχιών των αναπτυσσόμενων χωρών σχετικά με το κόστος της μείωσης αυτών των χημικών ουσιών (Sabel and Victor, 2017).

5.2.2.1 Πλεονεκτήματα Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του

Το αξιοσημείωτο στην συμφωνία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1987, ήταν ότι παρά τη μεγάλη αντίσταση που πρόβαλλαν πολλές βιομηχανικές ομάδες και από τις δύο πλευρές του Ατλαντικού μέχρι και τα τέλη του 1986, κατάφερε τελικά να αντιμετωπίσει τα συμφέροντα διαφορετικών ομάδων, βιομηχανικών οργανώσεων, υποστηρικτών του εμπορίου και κυβερνήσεις αναπτυσσόμενων και ανεπτυγμένων χωρών. Οι σημαντικότεροι παραγωγοί δεν είχαν βρει «αρκετά» τα επιστημονικά στοιχεία για να δικαιολογούν τους περιορισμούς στην παραγωγή των ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος (Auffhammer, 2005). Με τη συμφωνία του Πρωτοκόλλου, μια εκπληκτική ποικιλία οργανώσεων, κυβερνήσεων, διεθνών οργανώσεων, μη κυβερνητικών οργανώσεων, βιομηχανικών ενώσεων, επιστημόνων, μηχανικών και πολλών άλλων, οι οποίοι ενέπνευσαν και άλλους να ακολουθήσουν το παράδειγμά τους, έλαβε έγκαιρα δράση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της εξάντλησης του στρατοσφαιρικού όζοντος (Sarma and Taddonio, 2009), συμβάλλοντας έτσι στην ευρύτερη αποδοχή και επιτυχία της συμφωνίας.

Τα μέρη του Πρωτοκόλλου, έχουν συνειδητοποιήσει ότι η επιστημονική κατανόηση του προβλήματος της τρύπας του όζοντος και των συνεπειών του φαινομένου, αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Οι δημιουργοί του Πρωτοκόλλου σχεδίασαν έτσι μια συμφωνία-εργαλείο, ευέλικτο, δυναμικό και ικανό, να προσαρμοστεί στις νέες επιστημονικές, τεχνικές και οικονομικές εκτιμήσεις (Benedick, 1991), τις οποίες ενσωμάτωνε κάθε φορά, μέσω των τροποποιήσεων και προσαρμογών της συμφωνίας καθώς οι πολιτικές και οι κοινωνικές ανάγκες των χωρών άλλαζαν. Αρχικά το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ δεν είχε καθολική αποδοχή - υπογράφηκε από 24 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση και έθεσε υπό έλεγχο τα CFCs και halons, μόνο στις ανεπτυγμένες χώρες, απαιτώντας «πάγωμα» των halons και μείωση κατά 50% στην

παραγωγή και κατανάλωση των CFCs. Επιπλέον, οι στόχοι σταδιακής κατάργησης δεν ήταν τόσο αυστηροί, όσο αυτοί σήμερα, που σχεδόν 100 ουσίες ODS έχουν εξαλειφθεί σταδιακά κατά 98%. Η λαμπρή ιδέα των δημιουργών του Πρωτοκόλλου, ήταν ότι το Πρωτόκολλο δεν χρειάζεται να είναι τέλειο στην αρχή του, εφόσον έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που θα του επέτρεπε να ενισχυθεί στο μέλλον καθώς προκύπτουν νέα επιστημονικά, τεχνικά και οικονομικά δεδομένα (Gonzalez, Taddonio, and Sherman, 2015).

Επίσης, το πολύ θετικό στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ήταν ότι αναγνωρίστηκε με σαφήνεια η αρχή της «κοινής αλλά διαφοροποιημένης ευθύνης», η οποία εφαρμόζεται σε διάφορες πολυμερείς συμφωνίες, δηλαδή οι χώρες είχαν διαφορετικό μερίδιο ευθύνης για το πρόβλημα της στιβάδας του όζοντος αλλά και της επίλυσής του (Honkonen, 2009). Οι αναπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για το φαινόμενο της τρύπας του όζοντος καθώς για πολλά χρόνια καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ODS που καταστρέφουν τη στιβάδα, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες ξεκίνησαν την κατανάλωση τέτοιων χημικών ουσιών σχετικά αργά και σε μικρότερες ποσότητες. Επιπλέον, οι αναπτυγμένες χώρες διαθέτουν την τεχνογνωσία και τους πόρους να επιλύσουν το πρόβλημα.

Το Πρωτόκολλο παρέχει έτσι, στις αναπτυσσόμενες χώρες μια περίοδο χάριτος τουλάχιστον 10 ετών, για να μειώσουν τη χρήση των CFCs ενώ οι αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει πρώτα να καταργήσουν σταδιακά τις ODSs και να δείξουν το δρόμο την εφαρμογή, πιο περιβαλλοντικά ασφαλής και οικονομικά αποδοτική τεχνολογία, η οποία και θα μεταφέρεται στις αναπτυσσόμενες χώρες (Sarma and Taddonio, 2009). Με τη δημιουργία ευνοϊκών όρων για τις αναπτυσσόμενες χώρες στη συμφωνία και δίνοντας τους οικονομικά κίνητρα, τις ενθάρρυνε να συμμετάσχουν στη συνθήκη και συνέβαλε επίσης, στην προσέλκυση χωρών που διαφορετικά δεν θα είχαν συμμετάσχει στη συνθήκη. Η Γραμματεία Όζοντος αναφέρει ότι τα μέρη έχουν επιτύχει ποσοστό συμμόρφωσης άνω του 98% ως προς δεσμεύσεις τους για την σταδιακή κατάργηση ενώ πολλές χώρες, τόσο αναπτυγμένες όσο και αναπτυσσόμενες, έχουν εκπληρώσει τους στόχους σταδιακής κατάργησής τους, πολύ νωρίτερα από τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα (Secretariat Ozone, 2012).

Η θέσπιση του Πολυμερούς Ταμείου για την εφαρμογή του το Πρωτόκολλου του Μόντρεαλ (MFMP), το οποίο συμφωνήθηκε με την Τροποποίηση του Λονδίνου το 1990, είχε σκοπό να βοηθήσει τις αναπτυσσόμενες χώρες να μειώσουν την εξάρτησή τους από τις ODS. Το μεγαλύτερο μέρος της μείωσης της κατανάλωσης των ODS στις αναπτυσσόμενες χώρες, το οποίο μέχρι το 2002 ήταν λίγο παραπάνω από το 50%, οφείλεται σε έργα που υλοποιούνται από τα τέσσερα πολυμερή εκτελεστικά όργανα (United Nations Development Programme-UNDP, United Nations Environment Programme-UNEP, United Nations Industrial Development Organization -UNIDO και World Bank) του Πολυμερούς Ταμείου για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (Luken and Grof, 2006).

Το πολυμερές ταμείο (MLF) πληρώνει, από τις εθελοντικές εισφορές των ανεπτυγμένων χωρών, το πρόσθετο κόστος της μετάβασης των αναπτυσσόμενων χωρών σε εναλλακτικές τεχνολογίες. Μέχρι το τέλος του 2011, υπολογίστηκε ότι το πολυμερές ταμείο θα διέθετε περίπου 3 δις δολάρια ώστε να εξασφαλίσει ότι οι αναπτυγμένες χώρες θα ανταποκρίνονταν στις δεσμεύσεις για περιορισμό των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον, παρέχοντας τους τεχνική και οικονομική βοήθεια (Molina, et al., 2009).

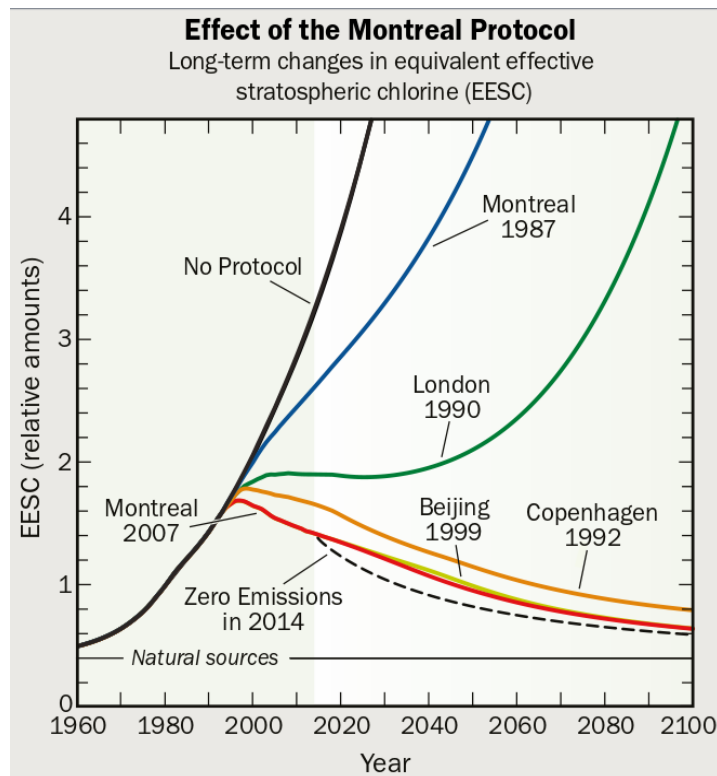
Επιπλέον, εκτός των οικονομικών κινήτρων που παραχώρησε το Πρωτόκολλο για να προσχωρήσουν στη συνθήκη οι διάφορες χώρες, προέβλεψε και μέτρα πίεσης για όσους δεν υπέγραψαν τη συμφωνία. Τα μέτρα πίεσης ήταν υπό τη μορφή εμπορικών κυρώσεων εάν αρνούνταν να συμμετάσχουν ή δεν συμμορφώνονταν με τα μέτρα του Πρωτοκόλλου, όπως η απαγόρευση του εμπορίου των υπό έλεγχο ουσιών (όπως CFCs), μεταξύ των χωρών που υπέγραψαν και των χωρών που δεν υπέγραψαν τη συμφωνία. Επίσης, απαγορεύει τις εισαγωγές προϊόντων (όπως ψυγεία και μονάδες κλιματισμού) που περιέχουν αυτές τις χημικές ουσίες και αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο, οι υπογράφωντες τη συμφωνία, να απαγορεύσουν την εισαγωγή προϊόντων που παρασκευάζονται με αυτές τις ουσίες, όπως κυκλώματα ηλεκτρονικών υπολογιστών καθαρισμένα με CFCs (Mygrands, 2015). Ο σκοπός γενικά ήταν να υποχρεωθούν οι χώρες να μην χρησιμοποιούν CFCs και να αναγκαστούν οι κατασκευαστές σε όλες τις χώρες να βρουν εναλλακτικές λύσεις για τους CFCs και να δημιουργήσουν μια νέα αγορά για αυτές τις νέες υπό έλεγχο χημικές ουσίες.

Με την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου, η παραγωγή και η χρήση των CFCs έχει σχεδόν εξαλειφθεί, με εξαίρεση κάποιων ποσοτήτων σε «βασικές» χρήσεις όπως: σε δοσομετρικές συσκευές εισπνοής για την αντιμετώπιση του άσθματος και της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας, του μεθυλοχλωροφορμίου και του CFC-113, ως διαλύτες στην κατασκευή πυραύλων, στη συντήρηση τορπιλών, διαφόρων CFC και του μεθυλοχλωροφόρμιου στη δοκιμή της περιεκτικότητας του ελαίου στο νερό και του τετραχλωράνθρακα σε εργαστηριακές και αναλυτικές χρήσεις κλπ (Gareau, 2015).

Επίσης, η παραγωγή των υδροχλωροφθορανθράκων(HCFCs), που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αντικαταστήσουν τους ζημιογόνους για το όζον, CFCs, είχε επίσης μειωθεί έως το 1994, κατά 95% περίπου στις αναπτυγμένες χώρες και λίγο περισσότερο από 12%, στις αναπτυσσόμενες, σύμφωνα με τα χρονοδιαγράμματα σταδιακής κατάργησης (UNEP, 2014 αναφέρεται σε Downie, 2014, p.189).

Η παραγωγή και η χρήση του μεθυλοβρωμιδίου μειώθηκε περισσότερο από 96%, ενώ το 2013 παρουσίασαν μηδενική παραγωγή σχεδόν όλες οι χώρες, εκτός Αργεντινής, Μεξικού, ΗΠΑ, Καναδά, Κίνας και Αυστραλίας, οι οποίες ζήτησαν για το 2014, να εξαιρεθούν για κάποιες «βασικές» χρήσεις (UNEP/ TEAP/MBTOC 2014 αναφέρεται σε Downie, 2014, p.189).

Σύμφωνα, με το αρχικό Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (διάγραμμα 5.1), τα επίπεδα των αλογόνων στην ατμόσφαιρα θα ήταν μόνο ελαφρώς μικρότερα από ό,τι χωρίς τις συμφωνίες, εκφρασμένα σε ισοδύναμο αποτελεσματικό στρατοσφαιρικό χλώριο (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine). Με την Τροποποίηση της Κοπεγχάγης το 1992 και τις μεταγενέστερες τροποποιήσεις και προσαρμογές, οι τιμές του EESC δείχνουν να έχουν μακροπρόθεσμη μείωση. Είναι λοιπόν σαφές ότι το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, όπως ενισχύθηκε με τις Τροποποιήσεις του και τις προσαρμογές, πέτυχε με τον έλεγχο της παραγωγής και κατανάλωσης των ODS, τη μείωση του καταστροφικού χλωρίου (και του βρωμίου) στη στρατόσφαιρα. Αυτό έχει αντίκτυπο στη στιβάδα του όζοντος, η οποία με πλήρη συμμόρφωση στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, αναμένεται να ανακάμψει στα επίπεδα αναφοράς του 1980, στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και στην Αρκτική έως το 2050 και λίγο αργότερα στην Ανταρκτική (Meredith, Orr, Shanklin and Turner, 2014).



Διάγραμμα 5.1: Επίδραση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ και των τροποποιήσεων του στα επίπεδα του ατμοσφαιρικού αλογόνου (WHO, 2014).

Η Γραμματεία του Όζοντος υπολογίζει ότι χωρίς το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η παραγωγή των CFCs, θα έφθανε τα 3 εκ. τόνους μέχρι το 2010 και τα 8 εκ. τόνους μέχρι το 2060, με αποτέλεσμα την εξάντληση κατά 50% του στρατοσφαιρικού όζοντος μέχρι 2035 (Wexler, Van der Kolk, Mohapatra and Agarwal, 2011). Η άμεση εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τους αλογονωμένους υδρογονάνθρακες CFC, Halons και HCFCs, το 2014 ήταν περίπου 0.33 Wm^{-2} και κοντά στη μέγιστη τιμή του. Υποθέτοντας ότι θα υπάρξει συνέχεια, στη συμμόρφωση με Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η άμεση εκπεμπόμενη ακτινοβολία αναμένεται να μειωθεί σε 0.20 Wm^{-2} έως το 2050 και κοντά σε 0.10 W m^{-2} έως το 2100 (WHO, 2018).

Σύμφωνα με νέα μοντέλα πρόβλεψης του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA), υπολογίζεται ότι όσοι γεννήθηκαν στις ΗΠΑ, κατά την περίοδο 1980-2100, αποκόμισαν από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και τις τροποποιήσεις του, τα ακόλουθα οφέλη για την υγεία:

- Προλήφθηκαν 283 εκατομμύρια περιπτώσεις καρκίνου του δέρματος, εκ των οποίων τα 8.3 εκατομμύρια αφορούσαν το μελάνωμα

- Αποτροπή 1.6 εκατομμυρίων θανάτων από καρκίνο του δέρματος
- Αποτροπή 46 εκατομμυρίων περιπτώσεων καταρράκτη

Ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο, υπολογίζεται ότι μπορεί να αποτρέπονται κάθε χρόνο μέχρι το 2030, έως και 2 εκατομμύρια περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος, καθώς και πρόσθετες περιπτώσεις εμφάνισης καταρράκτη (UNEP,2014).

Επιπλέον, η μείωση του αριθμού των περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος συνεπάγεται εξοικονόμηση χρημάτων, που αποδίδονται στον τομέα της υγείας. Μόνο στις ΗΠΑ, έρευνα που δημοσιεύθηκε από το Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων, το Νοέμβριο 2014, αποκάλυψε ότι το μέσο κόστος φροντίδας 4.9 εκατομμυρίων ενηλίκων με καρκίνο του δέρματος, έφτασε τα 8.1 δισεκατομμύρια δολάρια μεταξύ 2007 και 2011 (UNEP, 2014).

Η παγκόσμια εξάλειψη των CFCs, με την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, υπολογίζεται ότι για το διάστημα 1987-2060, θα αποφέρει 1.8 τρισεκατομμύρια δολάρια οφέλη στον τομέα της υγείας παγκοσμίως, εκ των οποίων τα 1.109 δισεκατομμύρια δολάρια, αφορούν στην αντιμετώπιση των περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος και σχεδόν 460 δισεκατομμύρια, από ζημιές που θα προκαλούσε η εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος, στον τομέα της γεωργίας, αλιείας και υλικών (Birbili, 2018).

Ωστόσο, με τις ισχύουσες διατάξεις του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, οι προβλέψεις περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος που σχετίζονται με την εξάντληση του όζοντος, αναμένεται να είναι περισσότερες μέχρι τα μισά του 21^{ου} αιώνα, όποτε δεδομένου ότι η ανάκτηση της στιβάδας του όζοντος δεν θα συμβεί πριν τα μέσα του 21^{ου}, η έκθεση στην UV-B ακτινοβολία κατά τις επόμενες δεκαετίες θα εξακολουθήσει με αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (WHO,2014).

Παράλληλα, με τη σταδιακή εξάλειψη των ODS, το Πρωτόκολλο Μόντρεαλ συμβάλλει και στην προστασία του κλίματος καθώς τα περισσότερα ODS, όπως CFCs, Halons είναι ισχυρά αέρια θερμοκηπίου, με δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη χιλιάδες φορές μεγαλύτερο από του CO₂ (Gonzalez, Taddonio and Sherman, 2015). Εάν οι εκπομπές των CFCs και άλλων ODS συνεχίζονταν, χωρίς τη λήψη των μέτρων του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι θα μπορούσαν να έχουν αντίκτυπο στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, ισοδύναμη με την εκπομπή 10 Gt διοξειδίου του

άνθρακα ετησίως έως το 2010 (Velders, et al., 2007). Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος, αξίζει να αναφέρουμε ότι ο αρχικός στόχος της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου του Πρωτοκόλλου του Κιότο, για την περίοδο 2008-2012, ήταν περίπου ίσος με 2 Gt διοξειδίου του άνθρακα.

Αν και το Πρωτόκολλο του Κιότο ελέγχει ήδη τις εκπομπές ορισμένων από τα υποκατάστατα των ODS, όπως οι HCFs που είναι ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου, οι τροποποιήσεις του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ προτείνουν επιπλέον, τον έλεγχο τόσο της παραγωγής όσο και της κατανάλωσής τους (Gonzalez, Taddonio and Sherman, 2015). Η Τροποποίηση του Κιγκάλι έθεσε 19 HFCs υπό έλεγχο, που είναι σχετικά αβλαβείς για τη στιβάδα του όζοντος αλλά ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου. Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ κατέστησε δυνατή την εφαρμογή μιας τροποποίησης με πρωταρχικό στόχο, το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και όχι την εξάντληση της στιβάδας του όζοντος (Birmpili, 2018). Με την σταδιακή κατάργηση των HFCs, αναμένεται να μειωθούν οι επιπτώσεις των HCFs στο κλίμα στην ανώτερη τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα κατά 90% έως το 2050 (Xu, Zaelke, Velders, and Ramanathan, 2013) και να αποτραπεί η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας, έως το τέλος του 21ου αιώνα έως και 0.4 °C (Velders, et al., 2012). Με την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ εκτιμάται ότι αποφεύχθηκαν εκπομπές άνω των 135 δισεκατομμυρίων τόνων ισοδυνάμου CO₂ (UNEP, 2014).

5.2.2.2 Μειονεκτήματα Του Πρωτοκόλλου Του Μόντρεαλ Και Των Τροποποιήσεων Του

Την περίοδο μετά την εφαρμογή της Τροποποίησης του Λονδίνου, το κύριο μέλημα των διαπραγματευτών του Πρωτοκόλλου ήταν να αντικατασταθούν το συντομότερο τα CFCs και τα Halons με άλλες ουσίες, όπως οι υδροφθοροχλωράνθρακες (HCFCs) και οι υδροφθοράνθρακες (HCFs). Οι μεγάλες εταιρείες ήταν πρόθυμες να αντικαταστήσουν τα παλιά εργοστάσια των CFCs, αρκεί το Πρωτόκολλο να τους έδινε το χρονικό περιθώριο, ώστε να επωφεληθούν από επενδύσεις στην παραγωγή HCFCs και HFCs. Τεχνικές έρευνες είχαν ήδη δείξει, ότι μεγάλες ποσότητες CFCs και halons απελευθερώθηκαν άσκοπα από κακές εργασιακές πρακτικές, οπότε οι απαιτούμενες ποσότητες αντικατάστασης, ήταν πολύ μικρότερες από την τρέχουσα κατανάλωση. Προκειμένου όμως να επιτευχθεί η συναίνεση, δόθηκαν κατευθυντήριες γραμμές και όχι μέτρα έλεγχου, για τις μεταβατικές αυτές χημικές ουσίες, αφήνοντας το μέλλον της

χρήσης τους ανοικτό. Δαπανήθηκαν έτσι πολλά χρήματα από το Πολυμερές Ταμείο στην κατεύθυνση της αντικατάστασης των CFCs από τα HCFCs, ενώ αργότερα χρειάστηκαν περισσότερα χρήματα για την σταδιακή των HCFCs . Προτιμότερο θα ήταν σίγουρα το Πρωτόκολλο, μέσω του χρηματοδοτικού μηχανισμού να προωθήσει πιο ριζοσπαστικές αλλαγές στην τεχνολογία, χωρίς αλογονάνθρακες και ενεργειακά αποδοτικές, για την προστασία του στρώματος του όζοντος (Farman, 2001).

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ όταν υιοθετήθηκε, ενώ καθόρισε τις υποχρεώσεις των μερών για τον έλεγχο της παραγωγής και κατανάλωσης των ODS, δεν προέβλεψε ότι θα αναπτυσσόταν παράλληλα, το παράνομο εμπόριο αυτών των χημικών ουσιών. Οι λόγοι που συνέβαινε αυτό ήταν κυρίως οικονομικοί. Με την μείωση των «νόμιμων» αποθεμάτων ODS, οι τιμές τους αυξάνονταν, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για κέρδος από το παράνομο εμπόριο. Επίσης, οι τιμές των υποκατάστατων ήταν συγκριτικά υψηλές ενώ οι απαιτήσεις σε ODS για την συντήρηση εξοπλισμού, όπως ψυγεία και κλιματιστικά με μεγάλη διάρκεια ζωής, παρέμεναν αυξημένες. Επιπλέον, η περίοδος χάριτος των δέκα ετών για την εξάλειψη των ODS στις αναπτυσσόμενες χώρες, έδινε πολλές ευκαιρίες για την άνθιση του λαθρεμπορίου των CFCs και άλλων ODS από τις αναπτυσσόμενες στις αναπτυγμένες, οι οποίες από την άλλη είχαν την δυνατότητα να εξάγουν CFCs στις αναπτυσσόμενες προκειμένου καλύψουν «βασικές» ανάγκες (Elliott and Schaedla, 2016). Μέχρι το τέλος του 2000, το παράνομο εμπόριο των CFCs στις αναπτυγμένες χώρες μειωνόταν. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες και ενώ η καταληκτική ημερομηνία της εξάλειψής τους πλησίαζε, το παράνομο εμπόριο ήταν σε άνθιση. Υπολογίζεται ότι το 2006, το παράνομο εμπόριο των CFCs κυμαινόταν από 7,000 με 14,000 τόνους ετησίως, αξίας από 25 εκ. – 60 εκ. δολαρίων, στις αναπτυσσόμενες χώρες (Brack, et.al, 2006).

Το παράνομο εμπόριο διαφόρων ODS αλλά και HCFCs, συνεχίζεται σε πολλά μέρη του κόσμου, για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε πιο πάνω. Ο τετραχλωράνθρακας, επίσης, παρά το γεγονός ότι η νόμιμη παραγωγή του καταργήθηκε σταδιακά στις αναπτυγμένες το 1996 και στις αναπτυσσόμενες χώρες το 2010, έχει ανιχνευθεί στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα που υπερβαίνουν τα όρια, το οποίο πιθανολογείται ότι οφείλεται σε παράνομες εκπομπές τετραχλωράνθρακα (Meredith, Orr, Shanklin, and Turner, 2014). Η παρουσία του Halon-1301 συνεχίζει επίσης να αυξάνεται στην ατμόσφαιρα και αυτό δικαιολογείται εν μέρει, δεδομένου ότι μεγάλες εγκαταστάσεις

και εξοπλισμοί που χρησιμοποιούν Halon-1301, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται αλλά και λόγω του ότι επιτρέπεται η χρήση του για την κάλυψη κάποιων «βασικών αναγκών». Παρόλα αυτά, εμπειρογνώμονες εξέφρασαν ανησυχίες σχετικά με την πιθανότητα να αναπτύσσονται νέα είδη halons ή και να παράγονται παράνομα halons, λόγω της τεράστιας αποτελεσματικότητάς τους στα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς που αναπτύσσονται σε ευαίσθητες στρατιωτικές, αεροδιαστημικές, οικονομικής σημασίας και άλλες τοποθεσίες (Downie, 2014).

Προκειμένου αντιμετωπιστεί σ' ένα βαθμό το παράνομο εμπόριο, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, με την Τροποποίηση του Μόντρεαλ το 2007, θέσπισε ένα σύστημα αδειοδότησης της εισαγωγής και εξαγωγής των υπό έλεγχο χημικών ουσιών, ώστε να μπορεί εντοπίζει και να παρακολουθεί τις ουσίες αυτές. Αποσκοπούσε στην καλύτερη συνεργασία, την εύκολη ανταλλαγή πληροφοριών και συντονισμό μεταξύ των αρμοδίων υπηρεσιών, με τη λογική ότι η βελτίωση της διαχείρισης του νόμιμου εμπορίου θα συνέβαλλε στην πρόληψη του παράνομου εμπορίου (Elliott, 2016). Ωστόσο, το Πρωτόκολλο δεν υποχρεώνει τα μέρη να διασταυρώνουν τις πληροφορίες σχετικά με την εισαγωγή και την εξαγωγή αυτών των χημικών ουσιών σε πραγματικό χρόνο, μη μπορώντας έτσι να ελέγξει ουσιαστικά το παράνομο εμπόριο (Elliott and Schaedla, 2016).

Επίσης, η μη συμμόρφωση με τις διατάξεις υποβολής εκθέσεων του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ υπήρξε πρόβλημα επί σειρά ετών και παραμένει ανησυχητικό. Τα δεδομένα υποβάλλονται συχνά αργά ή σε ελλιπή μορφή ή δεν υποβάλλονται καθόλου. Η Επιτροπή για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ είναι υπεύθυνη για την αντιμετώπιση περιπτώσεων μη συμμόρφωσης και την υποβολή συστάσεων προς τη Συνέλευση των Μερών (Elliott and Schaedla, 2016).

Επιπλέον, πολλά εκατομμύρια τόνοι CFCs, halons, HCFCs εξακολουθούν να διαρρέουν στην ατμόσφαιρα, χημικές ουσίες οι οποίες, περιέχονται σε υφιστάμενα συστήματα ψύξης, κλιματισμού, πυροπροστασίας και στους θερμομονωτικούς αφρούς, γνωστές με τον όρο «ODS banks» (Meredith, Orr, Shanklin and Turner, 2014). Ωστόσο, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ δεν περιλαμβάνει δεσμευτικούς στόχους και χρονοδιαγράμματα για την εξάλειψη αυτών των αποθεμάτων ODS, παρόλο που τελικά θα διαρρεύσουν στην ατμόσφαιρα, με αρνητικές επιπτώσεις στην ανάκαμψη στιβάδας

του όζοντος. Οι εκπομπές από τις «τράπεζες ODS» από 2015 έως το 2050, αναμένεται να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη εξάντληση του όζοντος και πίεση στο κλίμα, απ' ότι πρόκειται να προκαλέσει η παραγωγή των ODS στο μέλλον. Οι «τράπεζες halons» αναμένεται να συμβάλουν περισσότερο στην εξάντληση του όζοντος, ενώ οι «τράπεζες CFCs και HCFCs» θα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα (WHO, 2018).

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ έθεσε υπό έλεγχο έναν πολύ μεγάλο αριθμό χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον, όχι όμως και όλες. Ένας αριθμός ουσιών-μικρής διάρκειας ζωής (Very Short-Lived Halogenated Substances, VSLSs) που περιέχουν χλώριο και βρώμιο, παράγονται και χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Αυτές οι χημικές ουσίες έχουν αντίκτυπο, αν και περιορισμένο, στο φαινόμενο της εξάντλησης του όζοντος και προς το παρόν δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο. Η εκπομπή αυτών των χημικών ουσιών θα μπορούσε να καταστεί σημαντική, εάν η παραγωγή και η χρήση τους αυξηθούν σημαντικά καθώς τα επίπεδα των ODS που ελέγχονται από το Πρωτόκολλο μειώνονται (Meredith, Orr, Shanklin and Turner, 2014).

Επίσης, το Πρωτόκολλο δεν έχει συμπεριλάβει στις υπό έλεγχο χημικές ουσίες, το N₂O, το οποίο σήμερα είναι η πιο σημαντική από εκπεμπόμενες ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος και αναμένεται, εάν δεν τεθεί υπό έλεγχο, να παραμείνει η ουσία με την μεγαλύτερη αναλογία από τις ODS, στην ατμόσφαιρα για το υπόλοιπο του 21^{ου} αιώνα (Ravishankara, Daniel and Portmann αναφέρεται σε Zhao et al., 2019, p.13).

Επίσης, αν και οι καταληκτικές ημερομηνίες κατάργησης του μεθυλοβρωμίδιου έχουν επέλθει, το 2005 για τις αναπτυγμένες και το 2015 για τις αναπτυσσόμενες, πολλές χώρες να συνεχίζουν να χρησιμοποιούν το μεθυλοβρωμίδιο για υποκαπνισμό και χρήσεις που συνδέονται με τις εφαρμογές καραντίνας και προετοιμασίας αποστολής φορτίων στο διεθνές εμπόριο, στα πλαίσια των εξαιρούμενων «βασικών χρήσεων» και των «κρίσιμων χρήσεων» (critical uses) στη γεωργία, αντίστοιχα, όπως προβλέπεται στο Πρωτόκολλο. Όπως και με τα HCFCs, δεν έχει καθοριστεί χρονικό όριο, μέχρι το οποίο θα επιτρέπονται οι προηγούμενες εξαιρούμενες χρήσεις, οπότε η πλήρης απομάκρυνση του μεθυλοβρωμίδιου απέχει ακόμη αρκετά (Downie, 2014).

Αξίζει εδώ να επισημάνουμε, ότι η καθυστέρηση της σταδιακή κατάργησης του μεθυλοβρωμίου, έκανε εμφανές το πρόβλημα που προκύπτει, όταν σε μία συμφωνία, η

αρχή της πρόληψης παραμερίζεται από την αρχή του κέρδους και τις πολιτικές πιέσεις. Συγκεκριμένα, το 2004, οι ΗΠΑ άσκησαν έντονη πολιτική πίεση στα μέρη του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ να δεχθούν το αίτημα τους, για εξαίρεση από τη σταδιακή κατάργηση του μεθυλοβρωμιδίου ως κρίσιμη χρήση στη βιομηχανία φράουλας, όχι με κριτήριο την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, από την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, αλλά για να μην υποστούν βλάβη 600 αμερικανοί καλλιεργητές φράουλας, από τις ενδεχόμενες διαταραχές που θα προκαλούνταν στην αγορά, οι οποίες, όπως αποδείχθηκε, δεν αποτελούσαν ποτέ απειλή (Gareau, 2015).

5.2 Συμπεράσματα

Η Σύμβαση της Βιέννης, η οποία έθεσε το πλαίσιο και το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ με τις τροποποιήσεις του αργότερα, αποτελούν τις πιο επιτυχημένες παγκόσμιες περιβαλλοντικές συμφωνίες στην ιστορία, οι οποίες υιοθέτησαν την «αρχή της πρόληψης» και έλαβαν μέτρα, πριν οι επιπτώσεις του φαινομένου της εξασθένησης του όζοντος, να είναι εμφανείς. Πέτυχαν καθολική επικύρωση και συμμόρφωση των μέρων σε πολύ μεγάλο ποσοστό.

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, είναι ένα ευέλικτο εργαλείο, το οποίο ενσωματώνει τα νέα επιστημονικά δεδομένα κάθε φορά και ενισχύεται στην πορεία του, με τις προσαρμογές και τις τροποποιήσεις του, καταφέροντας έτσι την πλήρη απαγόρευση των κύριων ODS, όπως τους CFCs, τους υδροχλωροφθοράνθρακες HCFCs, και άλλων ενώσεων όπως το μεθυλοχλωροφόρμιο και τον τετραχλωράνθρακα κλπ. Επιπλέον, με την τελευταία Τροποποίηση του Κιγκάλι, το 2016, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, θέτοντας υπό έλεγχο τους HCFCs, εξελίσσεται από μία συμφωνία για την προστασία του όζοντος, σε μία συμφωνία για την προστασία του όζοντος και το κλίματος.

Το εργαλείο που χρησιμοποίησαν οι υπεύθυνοι, για την χάραξη της πολιτικής για την αναστροφή του φαινομένου της τρύπας του όζοντος, ήταν ο έλεγχος της παραγωγής και της κατανάλωσης των ODS. Η επιτυχία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ εκτιμάται πρωτίστως από τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις αυτών των χημικών ουσιών στην ατμόσφαιρα, οι οποίες φαίνεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα να ανταποκρίνονται σε μεγάλο βαθμό στα όρια του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, όπως αναμενόταν και οι συγκεντρώσεις των περισσοτέρων σημαντικών ODS να μειώνονται.

Από αυτή την άποψη, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ είναι ήδη αναμφισβήτητα μια επιτυχία. Ωστόσο, ο αντίκτυπος των μειώσεων αυτών στα επίπεδα του όζοντος έχει αποδειχθεί αρκετά πιο δύσκολος να εντοπιστεί, καθώς το όζον επηρεάζεται και από την μεταβολή άλλων παραγόντων, όπως τη δυναμική της στρατόσφαιρας (άνεμο και θερμοκρασία), από την ύπαρξη αερολυμάτων, την ηλιακή ακτινοβολία, καλύπτοντας έτσι το μικρό σημάδι της ανάκτησης του όζοντος με τον έλεγχο της παραγωγής και κατανάλωσης των ODS (Chipperfield, et. al, 2017).

Τα πρώτα πιο ξεκάθαρα σημάδια της ανάκτησης της στιβάδας του όζοντος, μετά την υιοθέτηση των συμφωνιών αυτών, μέχρι σήμερα, είναι η αύξηση του στρατοσφαιρικού όζοντος κατά 1-3% ανά δεκαετία από 2000 στην ανώτερη στρατόσφαιρα, εκτός των πολικών περιοχών και η μικρή μείωση της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική, το Σεπτέμβριο. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική τάση στο συνολικό όζον της στήλης (60 ° S-60 ° N) κατά την περίοδο 1997-2016, ενώ προβλέπεται στο βόρειο ημισφαίριο, το συνολικό όζον να φθάσει τα επίπεδα του 1980, το 2030 και το ολικό όζον σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη του νοτίου ημισφαιρίου, στα μισά του αιώνα. Η τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική αναμένεται να κλείσει σταδιακά και το ολικό όζον την περίοδο της άνοιξης, να επιστρέψει στις τιμές του 1980 στη δεκαετία του 2060 (WHO, 2018). Με την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου αναμένεται να μειωθεί η εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία, συμβάλλοντας στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων, όπως με την αποφυγή εμφάνισης περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος και καταρράκτη. Επιπλέον, η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου επιφέρει και οικονομικά οφέλη καθώς εξοικονομούνται χρήματα κυρίως από τον τομέα της υγείας.

Ωστόσο, η παγκόσμια πολιτική για το όζον αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις που θα μπορούσαν να καθυστερήσουν ή ακόμη και να αποτρέψουν την πλήρη ανάκαμψη της στιβάδας του όζοντος ή να οδηγήσουν σε νέες αιτίες εξάντλησης στο μέλλον. Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ καλείται να καλύψει τα κενά που υπάρχουν και να διερευνήσει πιθανές λύσεις.

Οι πιο σημαντικές προκλήσεις (Gonzalez, Taddonio and Sherman, 2015) που καλείται το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ να αντιμετωπίσει είναι :

- Τον έλεγχο των «ODS banks», που περιέχονται σε υφιστάμενους εξοπλισμούς ψύξης και κλιματισμού, πυροπροστασίας και αφρούς θερμομόνωσης

- Επιτάχυνση της σταδιακής εξάλειψης των ODS, συμπεριλαμβανομένης της θέσπισης αυστηρότερων κριτηρίων για τις χρήσεις που εξαιρούνται
- Το παράνομο εμπόριο των ODS
- Τον εντοπισμό και εξάλειψη, των άγνωστων πηγών τετραχλωράνθρακα (CCl₄), παράνομων ή ακούσιων, που εξακολουθεί να εκπέμπεται παρά την απαγόρευση του
- Τον έλεγχο παραγωγής και κατανάλωσης υποξειδίου του αζώτου (N₂O), του οποίου οι εκπομπές αυξάνονται συνεχώς
- Τον έλεγχο ουσιών μικρής διάρκειας ζωής (VSLS), οι οποίες θεωρούνταν ότι δεν συμβάλλουν σημαντικά στα επίπεδα στρατοσφαιρικού χλωρίου και βρωμίου αλλά πρόσφατες μελέτες έχουν διαφορετική άποψη
- Αντιμετώπιση της έντονης αύξησης της παραγωγής και της κατανάλωσης HCFCs στις αναπτυσσόμενες χώρες (EEA, 2017).

5.3 Προτάσεις

Στα τριάντα χρόνια εφαρμογής του, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ επιστήμης, πολιτικής και διπλωματίας. Οι επιστημονικές ανακαλύψεις, οι εθνικοί κανονισμοί και οι διεθνείς συμφωνίες όταν συνενωθούν σε μια σταθερή αλλά ευέλικτη δομή διακυβέρνησης, τότε οι επιπτώσεις στη ζωή των ανθρώπων μπορούν να μοιραστούν πιο ομοιόμορφα στα διάφορα έθνη (Birmipili, 2018).

Τα μέτρα που λήφθηκαν μέχρι σήμερα από τη διεθνή κοινότητα για την προστασία της στιβάδας του όζοντος έχουν αρχίσει αποδίδει και σίγουρα έχουν αποτρέψει την επιδείνωση της εξασθένησης της στιβάδας, με ότι αρνητικές συνέπειες θα είχε αυτό, για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα. Η πιο σημαντική συμφωνία για το όζον, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και οι τροποποιήσεις του, περιλαμβάνει ένα ισχυρό σύνολο δεσμευτικών μέτρων ελέγχου και αποτελεσματικούς θεσμούς, όπου συμμετέχουν όλες οι χώρες και τα επίπεδα συμμόρφωσης είναι υψηλά. Η παραγωγή και η χρήση των ODS έχει μειωθεί σημαντικά και η στιβάδα αναμένεται να ανακάμψει αργά κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα.

Ωστόσο, η επιτυχία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ μέχρι σήμερα, δεν σημαίνει σε καμία περίπτωση εφησυχασμό. Απαιτείται να διερευνηθεί με ακρίβεια, ο τρόπος που παράγοντες, όπως: μεταβολές στις ατμοσφαιρικές συνθήκες λόγω της αύξησης των

αερίων του θερμοκηπίου, ηφαιστειακές εκρήξεις, η δημιουργία των πολικών στρατοσφαιρικών νεφών σε ψυχρές θερμοκρασίες, κλπ. μπορεί να επηρεάσουν μελλοντικά, αρνητικά τη στιβάδα του όζοντος, ώστε να αναζητηθούν οι λύσεις. Η πρόβλεψη της ανάκτησης της στιβάδας προϋποθέτει, ότι όλες οι χώρες θα εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις τους και θα μπορέσουν να δοθούν λύσεις στις προκλήσεις που προαναφέραμε, κάτι για το οποίο δεν μπορεί να εγγυηθεί κανείς.

Γενικά, η επιστημονική κοινότητα θα πρέπει να αποδείξει ότι οι προβλέψεις για τη στιβάδα του όζοντος είναι πραγματικές και να επαγρυπνεί, τόσο για τις νέες απειλές για το στρατοσφαιρικό όζον και όσο και για τη συμμόρφωση των μέρων στις δεσμεύσεις, που ορίζει το Πρωτόκολλο. Θα πρέπει να συνεχίσει να δοκιμάζει και να βελτιώνει τα μοντέλα πρόβλεψης, να εντοπίσει τα κενά που επηρεάζουν αυτές τις προβλέψεις (Newman, 2018), χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις από νέα δορυφορικά μέσα και επίγεια δίκτυα, ικανά να παρέχουν μετρήσεις σε υψηλή κατακόρυφη ανάλυση, στην κάτω και στη μέση στρατόσφαιρα (Chipperfield, et al., 2017). Οι επιστημονικές έρευνες θα πρέπει να παρακολουθούν στενά τις τεχνολογικές αλλαγές, που μπορεί να επηρεάσουν τη στιβάδα, ώστε να μεταφέρουν τις πληροφορίες αυτές στο Πρωτόκολλο.

Οι εκπομπές N₂O αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες εναπομένουσες ανθρωπογενείς απειλές για το στρατοσφαιρικό όζον αλλά και για το κλίμα. Τα μέρη του Πρωτοκόλλου θα μπορούσαν να επιλέξουν να τροποποιήσουν τη συνθήκη και για να προσθέσουν το N₂O στις υπό έλεγχο ουσίες, θεσπίζοντας μέτρα ελέγχου για τη μείωση των εκπομπών N₂O ή τα μέρη της Σύμβασης για το όζον θα μπορούσαν, σύμφωνα με το άρθρο 8, να εγκρίνουν και να κυρώσουν ένα νέο Πρωτόκολλο, που να ρυθμίζει ειδικά την παραγωγή και την κατανάλωση του N₂O (Kanter, et al., 2015). Με τον έλεγχο του N₂O, θα προκύψουν οφέλη τόσο για τη στιβάδα του όζοντος όσο και για το πολύπλευρο και σημαντικό πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα συχνά αλληλεπικαλύπτονται και απαιτούν διεύρυνση των θεσμικών εργαλείων για να αντιμετωπιστούν.

Το παράνομο εμπόριο των ODS για να αντιμετωπιστεί, απαιτεί από τα Ηνωμένα Έθνη αλλά και άλλους σχετικούς οργανισμούς να βοηθήσουν τις χώρες να βελτιώσουν την νομοθετικό και κανονιστικό τους πλαίσιο για τον έλεγχο των ODS. Η καθιέρωση ενός ολοκληρωμένου κανονιστικού πλαισίου με σοβαρές ποινές για τους παραβάτες, η δημιουργία συστήματος αδειοδότησης με διασταύρωση των στοιχείων των χωρών που

εξάγουν και των χωρών που παράγουν, η δημιουργία δικτύου επικοινωνίας μεταξύ των υπευθύνων αξιωματούχων για το όζον και των τελωνειακών υπηρεσιών κλπ., αποτελούν παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του παράνομου εμπορίου. Στρατηγικές και εργαλεία, όπως το iPIC (informal Prior Inform Conset), μηχανισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε εθελοντικά από κάποιες χώρες για υπολογισμό της παραγωγής και εξαγωγής των ODS , ώστε να υπολογίζουν σωστά την μέγιστη ετήσια κατανάλωση που καθόριζε ως όριο το Πρωτόκολλο, θα πρέπει να επεκταθούν περαιτέρω και να βελτιωθούν για την αντιμετώπιση του παράνομου εμπορίου (Elliott and Schaedla, 2016).

Επιπλέον, η επιστημονική γνώση για τη σοβαρότητα του φαινομένου της τρύπας του όζοντος και των επιπτώσεων της αλλά και άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η κλιματική αλλαγή, θα πρέπει να γνωστοποιείται στους πολίτες, οι οποίοι με τη σειρά τους θα μπορέσουν να ασκήσουν περαιτέρω πίεση στους υπευθύνους για την λήψη δράσεων.

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ αποτελεί το κατάλληλο εργαλείο, ευέλικτο, δοκιμασμένο, και αποτελεσματικό για την αντιμετώπιση του φαινομένου της εξασθένησης της στιβάδας αλλά και πρότυπο για δημιουργία άλλων περιβαλλοντικών συμφωνιών. Ωστόσο, απαιτείται επαγρύπνηση τόσο της επιστημονική κοινότητας όσο και των πολιτικών υπευθύνων, για τον έλεγχο της συμμόρφωσης των μερών αλλά και για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση νέων απειλών για το όζον. Τα νέα δεδομένα μπορούν να ενσωματώνονται στο Πρωτόκολλο και να το ενισχύουν, ώστε να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις για την προστασία της στιβάδας.

Βιβλιογραφία

Abbasi, S. A. and Abbasi, T. 2017. The Global Ozone-Depletion Trends. In *Ozone Hole* p. 101-111. Springer, New York, NY.

Acevedo-Whitehouse, K. and Duffus, A. L., 2009. Effects of environmental change on wildlife health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), p. 3429-3438. Διαθέσιμο σε :

<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2009.0128> [Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου 2018]

Aggarwal, A., Kumari, R., Mehla, N., Singh, R.P., Bhatnagar, S., Sharma, K., Sharma, K., Vashishtha, A. and Rathi, B., 2013. Depletion of the ozone layer and its consequences: A review. *American Journal of Plant Sciences*, [e-journal] 4(10), p.1990-1997., Διαθέσιμο σε: <https://file.scirp.org/Html/37672.html> [Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου 2018]

Andrady, A. L., Aucamp, P. J., Austin, A., Bais, A. F., Ballare, C. L., Barnes, P. W., Bernhard, G. H., Bornman, J. F., Caldwell, M. M., de Gruijl, F. R., Erickson, D. J., Flint, S. D., Gao, K., Gies, P., Hader, D. -P., Ilyas, M., Longstreth, J., Lucas, R., Madronich, S., McKenzie, R. L., Neale, R. E., Norval, M., Pandey, K. K., Paul, N. D., Rautia, M., Redhwi, H. H., Robinson, S. A., Rose, K., Shao, M., Sinha, R. P., Solomon, K. R., Sulzberger, B., Takizawa, Y., Tang, X., Torikai, A., Tourpali, K., van der Leun, J., Wangberg, S. -A., Williamson, C. E., Wilson, S. R., Worrest, R., Young, A. R. and Zepp, R. G., 2015. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 assessment Executive summary.

Audran, G., Marque, S. R., and Santelli, M., 2018. Ozone, chemical reactivity and biological functions. *Tetrahedron*, [e-journal] 74(43), p. 6221-6261, Διαθέσιμο σε:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040402018310925> [Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου 2018]

Auffhammer, M., Morzuch, B.J. and Stranlund, J.K., 2005. Production of chlorofluorocarbons in anticipation of the Montreal Protocol. *Environmental and Resource Economics*, 30(4), p.377-39

Bailey, P. S., 2012. *Ozonation in organic chemistry V2: Nonolefinic compounds*. Elsevier.

Bates, D. R. and Nicolet, M., 1950. The photochemistry of atmospheric water vapor. *Journal of Geophysical Research*, 55(3), p.301-327.

Benedick, R.E., 1991. Protecting the ozone layer: new directions in diplomacy. *Preserving the Global Environment: The Challenge of Shared Leadership*. WW Norton, New York.

Bekki, S. and Savarino, J.A., 2016. *Ozone and Stratospheric Chemistry*.

Bernard, F., McGillen, M. R., Fleming, E. L., Jackman, C. H. and Burkholder, J. B., 2015. CBrF₃ (Halon-1301): UV absorption spectrum between 210 and 320 K, atmospheric lifetime, and ozone depletion potential. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 306, p. 13-20. Διαθέσιμο σε:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S101060301500091X#bib0005>

[Ανακτήθηκε 2 Φεβρουαρίου 2019]

Bhartia, P. K. and McPeters, R. D. 2018. The discovery of the Antarctic Ozone Hole. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(7), p.335-340. Διαθέσιμο σε:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071318301196#bib0060>

[Ανακτήθηκε 5 Ιανουαρίου 2019]

Birmpili, T., 2018. Montreal Protocol at 30: The governance structure, the evolution, and the Kigali Amendment. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(7), p.425-431. Διαθέσιμο σε :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S163107131830124X> [Ανακτήθηκε

3 Απριλίου 2019]

Brack, D., Saunders, J., Tarasofsky, R., Bass, C., von Bismarck, A., Clark, E. and Grabel, D., 2006. ODS tracking: Feasibility study on developing a system for monitoring the transboundary movement of controlled ozone-depleting substances between the

parties. *Report produced according to the terms of reference of decision XVII/16, London: Chatham House and Environmental Investigation Agency.*

Brack, D., 2003. Monitoring the Montreal protocol. *Verification yearbook*, p.209-226.

Brönnimann, S., Jacques-Coper, M., Rozanov, E., Fischer, A.M., Morgenstern, O., Zeng, G., Akiyoshi, H. and Yamashita, Y., 2017. Tropical circulation and precipitation response to ozone depletion and recovery. *Environmental Research Letters*, 12(6), p.06401.

Διαθέσιμο σε : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa7416/meta>
[Ανακτήθηκε 3 Ιανουαρίου 2019]

Center for Global Environmental Research(CGER), 2007. *Monitoring Network for Ultraviolet Radiation*[on line] Διαθέσιμο σε : <http://db.cger.nies.go.jp/gem/en/uv/overview.html>

Chameides, W. L., 2001. Tropospheric Ozone: Agricultural Implications.

Chang, N. B., Feng, R., Gao, Z. and Gao, W., 2010. Skin cancer incidence is highly associated with ultraviolet-B radiation history. *International journal of hygiene and environmental health*, 213(5), p. 359-368.

Chipperfield, M.P., Bekki, S., Dhomse, S., Harris, N.R., Hassler, B., Hossaini, R., Steinbrecht, W., Thiéblemont, R. and Weber, M., 2017. Detecting recovery of the stratospheric ozone layer. *Nature*, 549(7671), p.211.

Chipperfield, M. P., Dhomse, S. S., Feng, W., McKenzie, R. L., Velders, G. J. and Pyle, J. A., 2015. Quantifying the ozone and ultraviolet benefits already achieved by the Montreal Protocol. *Nature communications*, 6, p.7233.

Christie, M., 2001. *The ozone layer: A philosophy of science perspective*. Cambridge University Press. Διαθέσιμο σε :

https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=NL5TJ05Aot4C&oi=fnd&pg=PP1&ots=eBJ8kaKKVi&sig=-bKgReDo7f-TnIjAKcwDO0haCAQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

[Ανακτήθηκε 5 Φεβρουαρίου 2019]

Cooper , D. D. Parrish, J. Ziemke, N. V. Balashov, M. Cupeiro, I. E. Galbally, S. Gilge, L. Horowitz, N. R. Jensen, J.-F. Lamarque, V. Naik, S. J. Oltmans, J. Schwab, D. T. Shindell, A. M. Thompson, V. Thouret, Y. Wang, R. M. Zbinden and Oltmans, S. J., 2014. Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review. Διαθέσιμο σε : <https://www.elementascience.org/articles/10.12952/journal.elementa.000029/> [Ανακτήθηκε 8 Ιανουαρίου 2019]

Cox, R. A., 2000. Stratospheric Chemistry and the Effect of Pollutants on Ozone. In *Pollutants from Combustion* p. 97-121. Springer, Dordrecht.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-4249-6_6

Cracknell, A. P. and Varotsos, C. A., 2012. *Remote sensing and atmospheric ozone: Human activities versus natural variability*. Springer Science & Business Media.

Cracknell, A.P. and Varotsos, C.A., 2012. The Montreal Protocol. In: *Remote Sensing and Atmospheric Ozone*. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg.

Crutzen, P.J., 1979. The role of NO and NO₂ in the chemistry of the troposphere and stratosphere. *Annual review of earth and planetary sciences*, 7(1), p.443-472.

Crutzen, P. J., 1970. The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 96(408), p.320-325

Dalmau, N., Andrieu-Abadie, N., Tauler, R. and Bedia, C., 2018. Phenotypic and lipidomic characterization of primary human epidermal keratinocytes exposed to simulated solar UV radiation. *Journal of dermatological science*, 92(1), p. 97-105.

Dameris, M. and Pitari, G., 2020. Prediction of the future development of the ozone layer within the next decades.

Dameris, M. and Loyola, D., 2012. Recent and future evolution of the stratospheric ozone layer. In *Atmospheric Physics* p. 747-761. Springer, Berlin, Heidelberg

De Gruijl, F. R., 2000. Health effects from the sun's ultraviolet radiation and ozone as a stratospheric sunscreen. *Global Change and Human Health*, 1(1), p. 26-40. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1011571630192> [Ανακτήθηκε 10 Δεκεμβρίου 2018]

Dessler, A., 2000. *Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone* (74). Elsevier.

Διαθέσιμο σε:

https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=mQ6rDn2q4UMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=4.14++Stratospheric+Chemistry&ots=RkQTPsmhel&sig=ELi0gHc1Fni2cTTNmvrNfbmSu4s&redir_esc=y#v=onepage&q=4.14%20-%20Stratospheric%20Chemistry&f=false

[Ανακτήθηκε 12 Ιανουαρίου]

Downie, D., 2015. Still no time for complacency: evaluating the ongoing success and continued challenge of global ozone policy. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(2), p.187-194.

Dhomse, S.S., Kinnison, D., Chipperfield, M.P., Salawitch, R.J., Cionni, I., Hegglin, M.I., Abraham, N.L., Akiyoshi, H., Archibald, A.T., Bednarz, E.M. and Bekki, S., 2018. Estimates of ozone return dates from Chemistry-Climate Model Initiative simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(11), p.8409-8438.

Edward, P., 1997. *Protecting the Ozone Layer: Science and Strategy*.

Elliott, L. and Schaedla, W.H. eds., 2016. *Handbook of transnational environmental crime*. Edward Elgar Publishing.

Elliott, L., 2016. Smuggling Networks and the Black Market in Ozone Depleting Substances. In *Hazardous Waste and Pollution* (pp. 45-60). Springer, Cham.

Fabian, P. and Dameris, M. 2014. Human Impact. In *Ozone in the Atmosphere* (p. 83-123). Springer, Berlin, Heidelberg.

Falkner, R., 2017. *Business power and conflict in international environmental politics*. Springer.

Farman, J., 2001. 7. Halocarbons, the ozone layer and the precautionary principle. *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000*, p.76.

Fishman, J. and Crutzen, P. J. 1978. The origin of ozone in the troposphere. *Nature*, 274(5674), p.855

Ganguly, N. D. and Tzanis, C., 2011. Study of Stratosphere-troposphere exchange events of ozone in India and Greece using ozonesonde ascents. *Meteorological Applications*, 18(4), p. 467-474

Gareau, B.J., 2015. Lessons from the Montreal Protocol delay in phasing out methyl bromide. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(2), p.163-168.

Gonzalez, M., Taddonio, K.N. and Sherman, N.J., 2015. The Montreal Protocol: how today's successes offer a pathway to the future. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(2), p.122-129.

Häder, D. P., 2003. UV-B impact on the life of aquatic plants. In *Modern Trends in Applied Aquatic Ecology* p. 149-172. Springer, Boston, MA.

Häder, D. P., Kumar, H. D., Smith, R. C. and Worrest, R. C., 2007. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochemical & photobiological sciences*, 6(3), p. 267-285.

Hanisco, T.F., 2003. Stratospheric chemistry topics | HO_x. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)*, [e-journal] p.233-237 Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012382225300387X?via%3Dihub> [Ανακτήθηκε 12 Δεκεμβρίου]

Hegglin, M. I., Fahey, D. W., McFarland, M., Montzka, S. A. and Nash, E. R., 2015. *Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer: 2014 Update-Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*.

Hersch, R.W. and Fairbridge, R.W. eds., 1998. *Encyclopedia of hydrology and water resources*. Springer Science & Business Media.

Honkonen, T., 2009. The Principle of Common But Differentiated Responsibility in Post-2012 Climate Negotiations. *Review of European Community & International Environmental Law*, 18(3), pp.257-267.

Ingenito, A., 2018. Impact of hydrogen fueled hypersonic airliners on the O₃ layer depletion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(50), p. 22694-22704. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319918331379#bib19> [Ανακτήθηκε 28 Ιανουαρίου 2019]

IPCC, 2014. *Fifth Assessment Report (AR5): Climate Change 2013/2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Part B. Regional Aspects/Edited by Vicente R. Barros (Working Group II Co-Chair, Centro de Investigaciones Del Mar Y la Atmósfera, Universidad de Buenos Aires), Christopher B. Field (Working Group II Co-Chair, Department of Global Ecology, Carnegie Institution for Science), David Jon Dokken (Executive Director), Michael D. Mastrandrea (Co-Director of Science), Katharine J. Mach (Co. Cambridge University Press).*

Jana, P. K., Sarkar, D. and Saha, I. 2010. Percentage contribution of ozone depleting substances on Antarctic ozone decline. *Indian Journal of Physics*, 84(5), p.517-527

Kang, S. M., Polvani, L. M., Fyfe, J. C. and Sigmond, M., 2011. Impact of polar ozone depletion on subtropical precipitation. *Science*, 332(6032), p. 951-954.

Kanter, D., Mauzerall, D.L., Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., Grabel, P.M., Moomaw, W.R. and Galloway, J.N., 2013. A post-Kyoto partner: considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(12), p.4451-4457

Khan, F. I. and Abbasi, S. A., 2001. Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 14(1), p.43-59. Διαθέσιμο

σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423000000061>

[Ανακτήθηκε 3 Μαρτίου]

Kortalioudakis, N., Tzortzakis, S. and Moustazis, S. D., 2012, October. Laser Induced Tropospheric Ozone Control. In *5th International Scientific Conference on" Energy and Climate Change* pp. 11-12.

Lee, B. S. and Chiou, C. B., 2007. The use of CFC-12, CFC-11 and CH₃CCl₃ to trace terrestrial airborne pollutant transport by land–sea breezes. *Atmospheric Environment*, 41(16),p. 3360-3372.

Löfgren, S., 2017. Solar ultraviolet radiation cataract. *Experimental eye research*, 156, p.112-116. Διαθέσιμο σε:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001448351630135X> [Ανακτήθηκε 5 Απριλίου 2019]

Luken, R. and Grof, T., 2006. The Montreal Protocol's multilateral fund and sustainable development. *Ecological Economics*, 56(2), p.241-255.

Manney, G. L., Santee, M. L., Rex, M., Livesey, N. J., Pitts, M. C., Veefkind, P., Schoeberl, M., Haffner, D., Davies, J., Dorokhov, V., Gernandt, H., Johnson, B., Kivi, R., Kyrö, E., Larsen, N., Levelt, P. F., Makshtas, A., McElroy, C.H., Nakajima, H., Concepción Parrondo, M., Tarasick, D.W., Gathen, P., Kaley, Walker, A., Zinoviev, N.S. and Poole, L. R., 2011. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature*, 478(7370), p.469

Marenco, A., Gouget, H., Nédélec, P. and Karcher, F., 1994. Evidence of a long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series: Consequences: Positive radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D8), p. 16617-16632. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/94JD00021>

McElroy, C. T. and Fogal, P. F., 2008. Ozone: From discovery to protection. *Atmosphere-ocean*, 46(1), p. 1-13. Διαθέσιμο σε :

https://scholar.google.gr/scholar?hl=el&as_sdt=0%2C5&q=ozone%3A+from+discovery+to+protection&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Atr-AeRke0gJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Del
[Ανακτήθηκε 5 Απριλίου 2019]

McMichael, A. J., Lucas, R., Ponsonby, A. L. and Edwards, S. J., 2011. Stratospheric ozone depletion, ultraviolet radiation and health. *Climate change and human health. WHO, Geneva*, p.159-180.

Meredith, M., Orr, A., Shanklin, J. and Turner, J., 2014. Assessment for Decision-Makers: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014.

Midgley, P.M. and McCulloch, A., 1999. International regulations on halocarbons. In *Reactive Halogen Compounds in the Atmosphere* (pp. 203-221). Springer, Berlin, Heidelberg.

Molina, M. J. and Rowland, F. S., 1974. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes-Chlorine atom catalyzed destruction of ozone. In *International Conference on the Environmental Impact of Aerospace Operations in the High Atmosphere, 2 nd, San Diego, Calif* p. 99-104

Molina, M., Zaelke, D., Sarma, K.M., Andersen, S.O., Ramanathan, V. and Kaniaru, D., 2009. Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), p.20616-20621.

Montzka, S.A., Dutton, G.S., Yu, P., Ray, E., Portmann, R.W., Daniel, J.S., Kujipers, L., Hall, B.D., Mondeel, D., Siso, C. and Nance, J.D., 2018. An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11. *Nature*, 557(7705), p.413.

Mygrand, M., 2015. *Michigan Journal of International Law*. [on line] Διαθέσιμο σε : http://www.mjionline.org/analysis-of-the-success-of-the-vienna-convention-for-the-protection-of-the-ozone-layer-and-the-montreal-protocol/#_ftnref30 [Ανακτήθηκε 10 Φεβρουαρίου 2019]

Newman, P.A., 2018. The way forward for Montreal Protocol science. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(7), p.442-447.

Newman, P.A., 2010. Chemistry and dynamics of the Antarctic ozone hole. *The Stratosphere: Dynamics, Transport, and Chemistry*, edited by: Polvani, LM, Sobel, AH, and Waugh, DW, AGU, Washington, DC, *Geophysical Monograph Series*, 190, P. 157-171.

Noël, S., 2012. Atmospheric science: Rise in upper-atmospheric carbon. *Nature Geoscience*, [e-journal] 5(12), p.848, Διαθέσιμο σε: <https://www.nature.com/articles/ngeo1648/figures/1> [Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου 2018]

Prasad, P. V. V., Kakani, V. G. and Reddy, K. R., 2003. PLANTS AND THE ENVIRONMENT Ozone Depletion.

Reboredo, F. and Lidon, F. J., 2012. UV-B radiation effects on terrestrial plants--a perspective. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(6), p. 502-510.

Revell, L.E., Bodeker, G.E., Huck, P.E., Williamson, B.E. and Rozanov, E., 2012. The sensitivity of stratospheric ozone changes through the 21st century to N₂O and CH₄. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(23), p.11309-11317.

Rezvan, F., Khabazkhoob, M., Hooshmand, E., Yekta, A., Saatchi, M. and Hashemi, H., 2018. Prevalence and risk factors of pterygium: a systematic review and meta-analysis. *Survey of ophthalmology*.

Reimann, S., Elkins, J.W., Fraser, P.J., Hall, B.D., Kurylo, M.J., Mahieu, E., Montzka, S.A., Prinn, R.G., Rigby, M., Simmonds, P.G. and Weiss, R.F., 2018. Observing the atmospheric evolution of ozone-depleting substances. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(7), p.384-392.
Rodriguez, J. M. 2007. Stratospheric Chemistry.

Sabel, C.F. and Victor, D.G., 2017. Governing global problems under uncertainty: making bottom-up climate policy work. *Climatic Change*, 144(1), p.15-27.

Sarma, K.M. and Taddonio, K.N., 2009. The Role of Financial Assistance by the Multilateral Fund in Technology Change to Protect the Ozone Layer. In *Twenty Years of Ozone Decline* (p. 441-458). Springer, Dordrecht.

Schoeberl, M.R. and Rodriguez, J.M., 2009. The rise and fall of dynamical theories of the Ozone Hole. In *Twenty Years of Ozone Decline*, p. 263-272. Springer, Dordrecht.

Secretariat Ozone, 2012. *Key achievements of the Montreal Protocol to date*. [pdf]. Nairobi: UNEP.

Sharma, S., Sharma, P., & Khare, M., 2017. Photo-chemical transport modelling of tropospheric ozone: A review. *Atmospheric environment*, 159, p. 34-54.

Singh, A. K. and Bhargawa, A., 2018. Atmospheric burden of ozone depleting substances (ODSs) and forecasting ozone layer recovery. *Atmospheric Pollution Research*.

Skjaereth, J.B., 1992. The 'successful' ozone-layer negotiations: are there any lessons to be learned?. *Global Environmental Change*, 2(4), p.292-300.

Slaper, H., den Outer, P. and Kelfkens, G., 2007. Climate and ozone change effects on UV-radiation and health risks. In *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment* p. 279-301. Springer, Berlin, Heidelberg.

Solomon, S., Ivy, D.J., Kinnison, D., Mills, M.J., Neely, R.R. and Schmidt, A., 2016. Emergence of healing in the Antarctic ozone layer. *Science*, 353(6296), p.269-274.

Solomon, S., 1999. Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Reviews of Geophysics*, 37(3), p. 275-316.

Steinbrecht, W., Froidevaux, L., Fuller, R., Wang, R., Anderson, J., Roth, C., Bourassa, A., Degenstein, D., Damadeo, R., Zawodny, J. and Frith, S., 2017. An update on ozone profile trends for the period 2000 to 2016. *Atmospheric chemistry and physics*, 17(17), pp.10675-10690.

Stolarski, R. S., 1988. The Antarctic ozone hole. *Scientific American*, 258(1), p. 30-37

Stolarski, R. S. and McPeters, R. D., 2003. SATELLITE REMOTE SENSING| TOMS Ozone.

Stratigos, A. and Antoniou, C., The photochemical damage of DNA and its role in the biological effects of ultraviolet radiation on the skin.

Syakila, A. and Kroeze, C., 2011. The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, 1(1),p. 17-26.

Tedetti, M. and Sempéré, R., 2006. Penetration of ultraviolet radiation in the marine environment. A review. *Photochemistry and photobiology*, 82(2), p.389-397

The Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol. Description of the MLF. Διαθέσιμο σε : <http://www.multilateralfund.org/default.aspx> [Ανακτήθηκε 10 Φεβρουαρίου 2019]

Tsai, W. T., 2002. A review of environmental hazards and adsorption recovery of cleaning solvent hydrochlorofluorocarbons (HCFCs). *Journal of loss prevention in the process industries*, 15(2), p. 147-157. Διαθέσιμο σε :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423001000237#BIB10>

[Ανακτήθηκε 2 Απριλίου 2019]

Tracey, E. H. and Vij, A. ,2019. Updates in Melanoma. *Dermatologic clinics*, 37(1), p. 73-82.

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), 2019. *Diagram of Atmosphere Layers*. [on line] Διαθέσιμο σε: <https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers-diagram>

United Nations Environment Programme. Ozone Secretariat. (2006). *Handbook for the Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer*. UNEP/Earthprint.

United Nations Environment Programme, 2015. *The Montreal Protocol and Human Health*.

Velders, G.J., Fahey, D.W., Daniel, J.S., Andersen, S.O. and McFarland, M., 2015. Future atmospheric abundances and climate forcings from scenarios of global and regional hydrofluorocarbon (HFC) emissions. *Atmospheric Environment*, 123, p.200-209.

Velders, G.J., Ravishankara, A.R., Miller, M.K., Molina, M.J., Alcamo, J., Daniel, J.S., Fahey, D.W., Montzka, S.A. and Reimann, S., 2012. Preserving Montreal Protocol climate benefits by limiting HFCs. *Science*, 335(6071), p.922-923.

Velders, G.J., Andersen, S.O., Daniel, J.S., Fahey, D.W. and McFarland, M., 2007. The importance of the Montreal Protocol in protecting climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12), pp.4814-4819

Vollmer, M.K., Young, D., Trudinger, C.M., Mühle, J., Henne, S., Rigby, M., Park, S., Li, S., Guillevic, M., Mitrevski, B. and Harth, C.M., 2018. Atmospheric histories and emissions of chlorofluorocarbons CFC-13 (CClF₃), ΣCFC-114 (C₂Cl₂F₄), and CFC-115 (C₂ClF₅).

Wexler, P., Van der Kolk, J., Mohapatra, A. and Agarwal, R., 2011. *Chemicals, Environment, Health: A Global Management Perspective*. CRC Press.

White, W. M. Ed., 2018. *Encyclopedia of Geochemistry: A Comprehensive Reference Source on the Chemistry of the Earth*. Springer. Διαθέσιμο σε: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-39193-9_207-2#
[Ανακτήθηκε 28 Δεκεμβρίου 2018]

World Meteorological Organization (WHO), 2011. *Scientific Assessment of ozone Depletion: 2010*. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52. Geneva: World Meteorological Organization

World Meteorological Organization (WHO), 2014. *Scientific Assessment of ozone Depletion: 2014*. Geneva: World Meteorological Organization

World Meteorological Organization (WHO), 2018. *Scientific Assessment of ozone Depletion: 2018*. Geneva: World Meteorological Organization

Wu, J. B., Guan, D. X., Yuan, F. H. and Zhang, X. J., 2009. Research advances on the biological effects of elevated ultraviolet-B radiation on terrestrial plants. *Journal of Forestry Research*, 20(4), p.383-390

Xu, Y., Zaelke, D., Velders, G.J. and Ramanathan, V., 2013. The role of HFCs in mitigating 21st century climate change. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(12), p.6083-6089.

Yang, E.S., Cunnold, D.M., Newchurch, M.J. and Salawitch, R.J., 2005. Change in ozone trends at southern high latitudes. *Geophysical research letters*, 32(12).

Young, A. R., 2006. Acute effects of UVR on human eyes and skin. *Progress in biophysics and molecular biology*, 92(1), p. 80-85.

Zhao, J., Guo, X., Sun, M., Zhao, Y., Yang, L. and Song, Y., 2019. N₂O hydrate formation in porous media: A potential method to mitigate N₂O emissions. *Chemical Engineering Journal*, 361, p.12-20.

Ziegler, O., 2013. Ozone-depleting substances. In *EU Regulatory Decision Making and the Role of the United States* p. 142-176. Springer VS, Wiesbaden. Διαθέσιμο σε : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-00054-7_5 [Ανακτήθηκε 20 Φεβρουαρίου 2019]

Μπεάζη - Κατσιώτη, Μ. 2015. Δομή της Γης.

Κόκκαλης, Π. 2014. *Μελέτη τροποσφαιρικών αερολυμάτων με επίγειες και δορυφορικές τεχνικές-Ανάλυση μετρήσεων και στατιστική επεξεργασία*. Ph.D. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σακουφάκη, Μ., 2017. *Σχεδιασμός και εφαρμογή προγράμματος αγωγής υγείας για την πρόληψη των συνεπειών από την ηλιακή ακτινοβολία σε μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης αγροτικού πληθυσμού* (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό

Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Επιστημών Υγείας. Τμήμα Ιατρικής, Τομέας Παθολογίας, Κλινική Α' Δερματικών και Αφροδισίων Νόσων).

Διαδικτυακοί τόποι:

<http://www.cger.nies.go.jp/en/search.html?q=uv-b>

<https://ec.europa.eu/clima/policies/ozone/>

<http://www.esrl.noaa.gov/>

<http://www.et.gr/index.php/anazitiseis>

<https://www.informea.org/en>

<https://www.nomotelia.gr>

<https://www.ozonelayer.noaa.gov/action/dobson.htm>

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/SH.html>

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html>

<https://scied.ucar.edu/atmosphere-layers-diagram>

<https://www.ypeka.gr>