

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΑΣΧΟΥ Β. ΣΟΦΙΑ-ΕΙΡΗΝΗ
ΑΕΜ:5780

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΤΟΥ
ΜΕΘΑΝΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022

ΣΟΦΙΑ-ΕΙΡΗΝΗ Β. ΠΑΣΧΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5780

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Πρόδρομος Ζάνης, Καθηγητής

© Σοφία-Ειρήνη Β. Πάσχου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ – *Διπλωματική Εργασία*

© Sofia-Eirini V. Paschou, School of Geology, Department of Meteorology and Climatology, 2022

All rights reserved.

CLIMATE BENEFITS FROM METHANE MITIGATION – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	10
2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	11
2.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2031-2050.....	12
➤ 2.2.1 Σενάριο SSP3-7.0.....	12
➤ 2.2.2 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF	18
➤ 2.2.3 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4.....	23
2.3 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2080-2099.....	27
➤ 2.3.1 Σενάριο SSP3-7.0.....	27
➤ 2.3.2 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4.....	30
2.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
3.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2031-2050.....	35
➤ 3.1.1 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0.....	35
➤ 3.1.2 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0- lowNTCF	39
➤ 3.1.3 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0	42
3.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2080-2099.....	45
➤ 3.2.1 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μελέτη για τα κλιματικά οφέλη από τον μετριασμό του μεθανίου. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η επίδραση στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Η μελέτη γίνεται για τις περιόδους 2031-2050 και 2080-2099. Επίσης, αναλύονται οι επιδράσεις που θα προκαλέσει στην θερμοκρασία ο μετριασμός των εκπομπών του μεθανίου αλλά και των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής συμπεριλαμβανόμενου του μεθανίου (NTCF) και εκτός αυτού (NMNTCF). Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ο μετριασμός των εκπομπών των NMNTCF θα βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας. Αντιθέτως, ο μετριασμός των εκπομπών των NTCF θα έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την παγκόσμια μείωση της θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι, ο μετριασμός των εκπομπών του μεθανίου μπορεί να αντισταθμίσει την θέρμανση που προκαλεί η μείωση των NMNTCF. Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν η πολιτική μείωσης μόνο των εκπομπών του μεθανίου θα προκαλέσει μείωση της θερμοκρασίας.

ABSTRACT

In this study, the climate benefits of methane mitigation are examined. More specifically, the effect on surface temperature and temperature per latitude and per atmospheric pressure are examined. The study is about the periods 2031-2050 and 2080-2099. The effects on temperature of mitigating methane emissions and emissions of near-term climate forcers including methane (NTCF) and excluding methane (NMNTCF) are also analyzed. Based on the results, mitigating emissions of NMNTCF will improve air quality and cause an increase in temperature. However, mitigation of NTCF emissions will result in further improvement of air quality and global warming. Consequently, mitigation of methane emissions can offset the warming caused by reducing NMNTCF. Finally, based on the results, reducing only methane emissions will cause a decrease in temperature.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μελέτη για τα κλιματικά οφέλη από τον μετριασμό του μεθανίου (CH_4). Ειδικότερα, η μελέτη επικεντρώνεται στην επίδραση που θα έχει ο μετριασμός των εκπομπών του μεθανίου στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Επίσης, γίνεται αναφορά στην επίδραση που θα έχει στην θερμοκρασία η μείωση των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής εκτός του μεθανίου (NMNTCF) αλλά και συμπεριλαμβανομένου αυτού (NTCF). Σκοπός αυτής της αναφοράς είναι, να αναδειχθεί ο σημαντικός ρόλος του μεθανίου για το κλίμα. Η μελέτη γίνεται για δύο χρονικές περιόδους, 2031-2050 και 2080-2099.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται ορισμένες γενικές πληροφορίες για το μεθάνιο. Γίνεται αναφορά στις πηγές εκπομπής μεθανίου, στις ιδιότητες του, αλλά και στην παρουσία του στην ατμόσφαιρα σε βάθος χρόνου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα τρία σενάρια εκπομπών SSP3-7.0, SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0-lowNTCFCH₄ στα οποία βασίστηκε η διπλωματική εργασία. Η ανάλυση των σεναρίων γίνεται για τις περιόδους μελέτης 2031-2050 και 2080-2099.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μαζί με τα ανάλογα διαγράμματα η επίδραση που θα έχει η μείωση τόσο του μεθανίου όσο και των NMNTCF και NTCF στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Τα διαγράμματα αφορούν τις δύο περιόδους μελέτης που αναφέρθηκαν.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με τα κλιματικά οφέλη από τον μετριασμό του μεθανίου.

Τέλος, την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας είχε ο κ. Πρόδρομος Ζάνης, τον οποίο ευχαριστώ για την καθοδήγηση και συνεχή διαθεσιμότητα του κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ, κ. Αλκιβιάδη Καλησώρα για την βοήθεια του στην επεξεργασία των δεδομένων.

Σοφία-Ειρήνη Πάσχου
Θεσσαλονίκη, 2022

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μεθάνιο με χημικό τύπο CH_4 είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο. Το μεθάνιο είναι ένας υδρογονάνθρακας που αποτελεί κύριο στοιχείο του φυσικού αερίου. Η εκπομπή του μεθανίου στην ατμόσφαιρα γίνεται είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς πηγές. Πιο αναλυτικά, το μεθάνιο εκπέμπεται κατά την παραγωγή άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το μεθάνιο ως βασικό στοιχείο του φυσικού αερίου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα τόσο κατά την διάρκεια της παραγωγής και επεξεργασίας όσο και κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και διανομής του φυσικού αερίου. Ομοίως, η εκπομπή μεθανίου στην βιομηχανία εξόρυξης αργού πετρελαίου παρατηρείται κατά την παραγωγή, διύλιση, μεταφορά και αποθήκευση του αργού πετρελαίου. Επίσης, εκπομπή μεθανίου στην ατμόσφαιρα γίνεται από την γεωργία και από τα στερεά απόβλητα που αποσυντίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α). Η επεξεργασία τόσο οικιακών όσο και βιομηχανικών λυμάτων συνεισφέρει στην εκπομπή μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Σχετικά με την εκπομπή μεθανίου από την γεωργία, τα οικόσιτα ζώα όπως βοοειδή και πρόβατα παράγουν μεθάνιο ως αποτέλεσμα των φυσιολογικών διεργασιών της πέψης. Επειδή τα ζώα αυτά εκτρέφονται για την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου, η εκπομπή του μεθανίου σε αυτή την περίπτωση, θεωρείται άμεσα σχετιζόμενη με τον άνθρωπο. Επιπρόσθετα, εκπομπή μεθανίου γίνεται και από πληθώρα φυσικών πηγών. Οι υδροβιότοποι αποτελούν φυσική πηγή εκπομπής μεθανίου και χαρακτηρίζονται από αρκετά υψηλές εκπομπές. Ουσιαστικά, στους υδροβιότοπους το μεθάνιο απελευθερώνεται ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης σε ανοξικό περιβάλλον. Αναερόβια μεθανιογόνα βακτήρια παράγουν μεθάνιο και αυτό απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω των φυτών και του νερού. Τόσο το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο τύπος της βλάστησης, οι τοπικές κλιματικές συνθήκες όσο και τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τα διαθέσιμα υποστρώματα, είναι ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή και εκπομπή του μεθανίου. Επίσης, οι εκπομπές του μεθανίου ποικίλουν ανάλογα με την κάθε εποχή. Πιο αναλυτικά, οι εκπομπές φαίνεται να ακολουθούν αναλογικά την θερμοκρασία του εδάφους και, παρατηρούνται κατά κύριο λόγο όταν αναπτύσσεται η βλάστηση. Επομένως, οι εκπομπές του μεθανίου είναι αυξημένες όταν η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 0°C όμως, εκπομπές σημειώνονται και από παγωμένα εδάφη, οι οποίες όμως είναι ελάχιστες. Έχει εκτιμηθεί ότι οι υγρότοποι ευθύνονται για το 20% των παγκόσμιων

εκπομπών μεθανίου, ενώ μικρότερες φυσικές πηγές εκπομπής μεθανίου είναι οι τερμίτες, οι ωκεανοί, τα ιζήματα όπως και τα ηφαίστεια και οι πυρκαγιές.

Ιστορικά, η παρουσία του μεθανίου στην ατμόσφαιρα εμφανίζει διακυμάνσεις. Κατά την διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης παρατηρήθηκε αύξηση στην συγκέντρωση του μεθανίου. Αυτή η αύξηση στην συγκέντρωση διατηρήθηκε μέχρι το 2000, όπου για την περίοδο 2000-2007 η συγκέντρωση παρέμεινε σταθερή. Από το 2007 και έπειτα, παρατηρήθηκε και πάλι αύξηση στην συγκέντρωση του μεθανίου. Πιο συγκεκριμένα, από το 2007 οι συγκεντρώσεις του μεθανίου στην ατμόσφαιρα της Γης σημειώνουν αύξηση κατά 6.8-10 ppb (μέρη ανά δισεκατομμύριο) ετησίως και μέχρι το 2020 το μεθάνιο είχε συγκέντρωση 1873.5 ppb. Αυτή η συγκέντρωση είναι υψηλότερη κατά 2 με 3 φορές από την συγκέντρωση του μεθανίου σε προβιομηχανικά επίπεδα, η οποία κυμαινόταν στα 600 με 700 ppb. Αυτή η αύξηση στην συγκέντρωση του μεθανίου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σε παγκόσμια κλίμακα το 50-65% των συνολικών εκπομπών μεθανίου προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Μερικές από τις χώρες που είναι υπεύθυνες για μεγάλο ποσοστό εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Ινδία, η Βραζιλία αλλά και η Ινδονησία, η Νιγηρία και το Μεξικό. Αυτές οι χώρες θεωρείται ότι είναι υπεύθυνες για τις μισές εκπομπές του μεθανίου στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς πηγές.

Το μεθάνιο συγκαταλέγεται στα αέρια του θερμοκηπίου (μεθάνιο CH_4 , διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , όζον O_3 , υδρατμοί H_2O κ.ά.). Μάλιστα, η παρουσία του στην ατμόσφαιρα καθορίζει την ποσότητα άλλων θερμοκηπικών αερίων, όπως για παράδειγμα του όζοντος (O_3) καθώς το μεθάνιο είναι πρόδρομος ρύπος του. Το μεθάνιο είναι το δεύτερο μεγαλύτερο σε αφθονία ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου μετά το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), καθώς καταγράφεται σε ποσοστό 20% των παγκόσμιων εκπομπών θερμοκηπικών αερίων.

Τα αέρια του θερμοκηπίου θερμαίνουν την Γη καθώς απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ παράλληλα επιβραδύνουν την συχνότητα με την οποία αυτή διαφεύγει στο διάστημα. Το κάθε αέριο του θερμοκηπίου έχει διαφορετική επίδραση στην θέρμανση της Γης, αυτό συμβαίνει γιατί μεταξύ τους τα αέρια εμφανίζουν ορισμένες διαφορές. Αυτές οι διαφορές έγκειται στην ικανότητα τους να απορροφούν την ακτινοβολία, αλλά και στον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) έχει μικρό χρόνο ζωής καθώς

παραμένει στην ατμόσφαιρα για 9 με 12 χρόνια. Το μεθάνιο ανήκει στους παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής-Short Lived Climate Forcers-SLCFs ή Near Term Climate Forcers-NTCFs. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και άλλα χημικώς παραγόμενα αέρια όπως το όζον (O_3), το διοξείδιο το θείου (SO_2) αλλά και τα αεροζόλ (aerosol). Οι παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCFs) εκπέμπονται παράλληλα με αέρια του θερμοκηπίου που έχουν μεγάλο χρόνο ζωής, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), όμως οι επιδράσεις των NTCFs εμφανίζονται μέσα στην πρώτη δεκαετία από την εκπομπή τους. Οι παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCFs) διακρίνονται σε άμεσους και έμμεσους. Το μεθάνιο ανήκει στους άμεσους παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής, οι οποίοι προκαλούν κλιματικές μεταβολές μέσω της εξαναγκασμένης μεταβολής της έντασης ακτινοβολίας τους.

Ως εξαναγκασμένη μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας (Radiative Forcing-RF), ορίζεται η επαγόμενη μεταβολή (σε μονάδες $W\ m^{-2}$) στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας, στην περίπτωση που διαταραχθεί η συγκέντρωση ενός αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Ζάνης, 2014). Οι παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCFs) και η επαγόμενη μεταβολή στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας που προκαλούν, οδηγεί σε κλιματικό εξαναγκασμό που είναι ισοδύναμος σε μέγεθος με τον κλιματικό εξαναγκασμό που προκαλείται από το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Αυτός ο κλιματικός εξαναγκασμός έχει ως αποτέλεσμα την διατάραξη του κλίματος είτε προς την κατεύθυνση της θέρμανσης (aerosol) είτε προς την κατεύθυνση της ψύξης (CH_4) της επιφάνειας της Γης. Το μεθάνιο, μετά το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) έχει την μεγαλύτερη εξαναγκασμένη μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας (RF) από τα αέρια του θερμοκηπίου.

Παρόλο που το μεθάνιο έχει μικρό χρόνο ζωής και απελευθερώνεται σε μικρότερες ποσότητες σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), έχει υπολογιστεί ότι το δυναμικό συμβολής του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι 28-30 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) για ένα διάστημα 100 ετών. Το δυναμικό συμβολής ενός αερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP) αποτελεί ένα μέτρο για την ποσότητα της ακτινοβολίας που μπορεί να απορροφήσει 1 kg αερίου σε ορισμένη χρονική περίοδο σε σύγκριση, με την ακτινοβολία που μπορεί να απορροφήσει 1 kg διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Όσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό συμβολής ενός αερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τόσο μεγαλύτερη

είναι η επίδρασή του στην θέρμανση της Γης, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι εκπομπές του μεθανίου να συνεισφέρουν περίπου σε ποσοστό 1/3 στην παρούσα θέρμανση λόγω των θερμοκηπικών αερίων.

Γενικά, η μεταβολή στην σύσταση της ατμόσφαιρας, είτε προς την κατεύθυνση της αύξησης ή της μείωσης της συγκέντρωσης ενός αερίου, προκαλεί διατάραξη του ενεργειακού ισοζυγίου του πλανήτη. Αυτή η διατάραξη, έχει ως αποτέλεσμα την ανισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ενέργειας στον πλανήτη με τελικό αποτέλεσμα την μεταβολή του κλίματος. Σύμφωνα με το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε αλλαγές του κλίματος που οφείλονται είτε στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος είτε σε ανθρωπογενείς επιδράσεις. Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η αλλαγή της παρούσας κατάστασης του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί με αλλαγές στις μέσες καταστάσεις ή/και αλλαγές στη μεταβλητότητα κλιματικών παραμέτρων. Οι αλλαγές αυτές παραμένουν για μία εκτεταμένη χρονική περίοδο που ισοδυναμεί με δεκαετίες ή και περισσότερο.

Δεδομένου ότι, το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου και έχει μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα, πιθανή μείωση στη συγκέντρωση του θα οδηγούσε σε σημαντική επίδραση στο δυναμικό συμβολής του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GPW). Η μείωση των εκπομπών του μεθανίου στην ατμόσφαιρα θα έχει μεγάλη δυναμική καθώς θα συντελέσει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και ταυτόχρονα στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα (Sindell et al., 2012). Παρόμοια συμπεράσματα που αφορούν τις μελλοντικές επιδράσεις στο κλίμα προκύπτουν από την ανάλυση κλιματικών σεναρίων. Ουσιαστικά, τα κλιματικά σενάρια είναι η αληθοφανής αναπαράσταση του κλίματος και έχουν κατασκευαστεί με κύριο στόχο την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων που μπορεί να έχουν οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο μελλοντικό κλίμα. Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούν αυτά τα σενάρια για την δημιουργία των μελλοντικών προβολών του κλίματος.

Η παρούσα εργασία αφορά την ανάλυση και σύγκριση μελλοντικών κλιματικών σεναρίων. Η περίοδος μελέτης αφορά τα διαστήματα 2031-2050 και 2080-2099. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθεί η επίδραση στην παγκόσμια θερμοκρασία που θα έχουν οι παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου και χωρίς το μεθάνιο (NTCF και NMNTCF αντίστοιχα). Επίσης θα πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ σεναρίων έτσι ώστε να γίνει μία πρώτη εκτίμηση για το αντίκτυπο που θα έχει στην παγκόσμια θερμοκρασία ο περιορισμός των

εκπομπών του μεθανίου, των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού εκτός του μεθανίου (NMNTCFs), αλλά και των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού (NTCFs) γενικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το παγκόσμιο πρόγραμμα έρευνας για το κλίμα (World Climate Research Programme-WCRP) συμβάλλει στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ φυσικών και κοινωνικών συστημάτων που επηρεάζουν το κλίμα. Υπό την αιγίδα του παγκόσμιου προγράμματος έρευνας για το κλίμα (WCRP), ξεκίνησε το ερευνητικό σχέδιο σύγκρισης συζευγμένου μοντέλου (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP) με σκοπό να συντονίζει τις παγκόσμιες προσπάθειες για την δημιουργία μοντέλων του κλίματος. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός του ερευνητικού σχεδίου σύγκρισης συζευγμένου μοντέλου (CMIP) είναι η κατανόηση των κλιματικών αλλαγών τόσο στο παρελθόν, όσο και στο παρόν και μέλλον. Αυτές οι κλιματικές αλλαγές είναι αποτέλεσμα είτε φυσικών μεταβολών είτε λόγω αλλαγών στην εξαναγκασμένη μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας (RF). Πλέον, το ερευνητικό σχέδιο σύγκρισης συζευγμένου μοντέλου βρίσκεται στην 6η φάση του (CMIP6) και σε αυτή την φάση χρησιμοποιούνται κλιματικά σενάρια που βασίζονται στις κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες.

Καθώς η κλιματική αλλαγή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη στον κοινωνικό και οικονομικό τομέα, χρειάζονται κλιματικά σενάρια που συμπεριλαμβάνουν πιθανές κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες του μέλλοντος. Τέτοιου τύπου σενάρια επιτρέπουν την διερεύνηση των μελλοντικών προβλέψεων, τις πιθανές επιπτώσεις αλλά και λύσεις για την κλιματική αλλαγή. Αυτά τα σενάρια που συμπεριλαμβάνουν τις κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες είναι γνωστά ως Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Τα κοινωνικό-οικονομικά σενάρια (SSPs) έχουν σημαντικό ρόλο στην νέα γενιά κλιματικών σεναρίων και διαδραματίζουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν μελλοντικές προβολές των εκπομπών, στις οποίες είτε έχουν συμπεριληφθεί πολιτικές για το κλίμα είτε όχι. Τα σενάρια που δεν εφαρμόζουν πολιτικές για το κλίμα ανήκουν στα βασικά σενάρια, ενώ αυτά που εφαρμόζουν πολιτικές συγκαταλέγονται στα σενάρια εκπομπών.

Τα κοινωνικό-οικονομικά σενάρια (SSPs) είναι κρίσιμα για την προσαρμογή του κλίματος και την υιοθέτηση πολιτικών για το κλίμα για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι περιγράφουν πιθανές κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες, αλλαγές στις χρήσεις Γης και άλλους ανθρώπινους παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, επηρεάζοντας έτσι και την εξαναγκασμένη μεταβολή στην ένταση της

ακτινοβολίας (RF). Ο δεύτερος, είναι ότι περιγράφουν τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με τέτοιο τρόπο, που να συσχετίζονται οι κοινωνικές παράμετροι με τα διάφορα επίπεδα θέρμανσης και κατ' επέκταση με την εξαναγκασμένη μεταβολή στην ένταση της ακτινοβολίας (RF). Σε αυτά τα βασικά κοινωνικό-οικονομικά σενάρια μπορούν να ενσωματωθούν περαιτέρω πιθανές δράσεις μετριασμού των εκπομπών. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς των σεναρίων στην επίτευξη διαφόρων στόχων όπως αυτός που εκφράστηκε στην Συμφωνία του Παρισιού και αφορά τον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα.

Η οικογένεια των κοινωνικό-οικονομικών σεναρίων SSP3 θέτει ένα μέλλον με υψηλές προκλήσεις για την μείωση της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή σε αυτή. Επίσης, σε αυτή την οικογένεια σεναρίων ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται και μάλιστα με αυξανόμενο ρυθμό στις αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ παράλληλα η οικονομική ανάπτυξη είναι αργή και εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα.

Αυτά τα κοινωνικό-οικονομικά σενάρια (SSPs) αναπτύχθηκαν ως μέρος της δράσης ScenarioMIP. Το Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) είναι μία κύρια δραστηριότητα της Φάσης 6 του Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) και έχει ως σκοπό τον εντοπισμό των επιπτώσεων των ρύπων στην ποιότητα του αέρα. Το ScenarioMIP παρέχει κλιματικές προβολές πολλαπλών μοντέλων με βάση εναλλακτικά σενάρια μελλοντικών εκπομπών και αλλαγών χρήσης γης, τα οποία θα παράγονται με ολοκληρωμένα μοντέλα αξιολόγησης. Στην παρούσα εργασία θα αναλυθούν τρία μελλοντικά σενάρια τα οποία είναι: SSP3-7.0, SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0-lowNTCFCH4.

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Το κοινωνικό-οικονομικό σενάριο SSP3-7.0 χαρακτηρίζεται από ελλιπή πολιτική για το κλίμα και έχει ασθενή μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCFs) αλλά και σε αέρια του θερμοκηπίου. Το σενάριο SSP3-7.0 αναφέρεται στην χρονική περίοδο 2015-2100.

Το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF βασίζεται στο ίδιο κοινωνικό-οικονομικό πλαίσιο και χρησιμοποιεί τις ίδιες πηγές εκπομπών με το σενάριο SSP3-7.0. Όμως, η διαφορά τους είναι ότι το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF υιοθετεί πιο αυστηρά κριτήρια στα μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα. Ουσιαστικά, το σενάριο SSP3-7.0-

lowNTCF αναπτύχθηκε με σκοπό να απομονωθούν τα αποτελέσματα των μέτρων για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα. Το συγκεκριμένο σενάριο δεν συμπεριλαμβάνει αλλαγές στο μεθάνιο και θεωρείται ως ένα ισχυρό σενάριο ελέγχου της ποιότητας του αέρα που δεν περιλαμβάνει το μεθάνιο σαν παράμετρο. Το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF αναφέρεται στην χρονική περίοδο 2015-2059.

Το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 βασίζεται στο ίδιο κοινωνικό-οικονομικό πλαίσιο και χρησιμοποιεί τις ίδιες πηγές εκπομπών με το σενάριο SSP3-7.0. Το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 υιοθετεί πιο αυστηρά κριτήρια στα μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα. Το συγκεκριμένο σενάριο συμπεριλαμβάνει τις αλλαγές τόσο στο μεθάνιο όσο και τις αλλαγές στους παράγοντες κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής εκτός του μεθανίου (NMNTCF). Επομένως, πρόκειται για ένα κλιματικό σενάριο μετριασμού των εκπομπών των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF). Επίσης, το σενάριο αυτό θεωρείται ως ένα ισχυρό σενάριο ελέγχου της ποιότητας του αέρα. Με την χρήση αυτού του σεναρίου είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση του κλίματος και των αποτελεσμάτων από τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα λόγω της μείωσης των NTCF. Το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 αναφέρεται στην χρονική περίοδο 2015-2099.

2.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2031-2050

➤ 2.2.1 Σενάριο SSP3-7.0

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.1) φαίνεται η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0, για περίοδο μελέτης που αφορά το διάστημα μεταξύ 2031 και 2050. Στο σχήμα 1 φαίνεται πως γενικά στις χώρες εκατέρωθεν του Ισημερινού η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται μεταξύ των 20°C και 30°C. Επίσης, οι χώρες που βρίσκονται βόρεια και νότια του Ισημερινού θα εμφανίζουν σταδιακά προς τα βόρεια και νότια αντίστοιχα, μείωση στην θερμοκρασία επιφανείας.

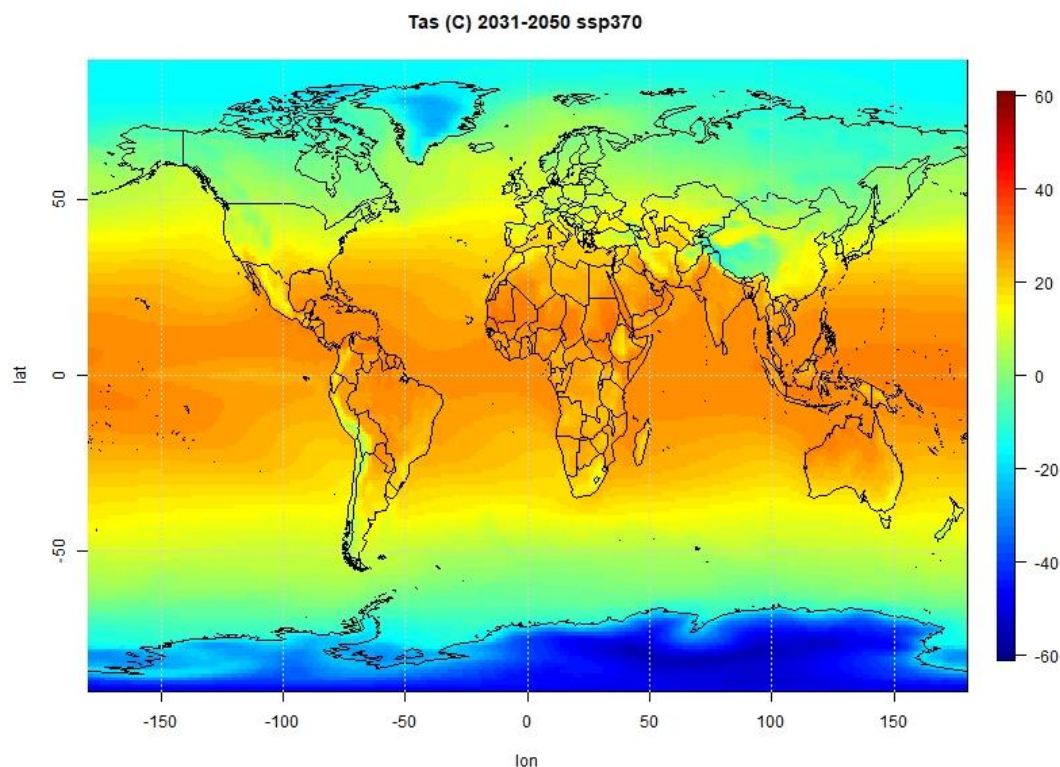
Πιο αναλυτικά, από το σχήμα 1 φαίνεται πως στην ήπειρο της Αφρικής η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 20°C. Κατά κύριο λόγο, στην Βόρεια Αφρική φαίνεται πως η τιμή της θερμοκρασίας θα είναι κοντά στους 15°C με 20°C. Στο κεντρικό τμήμα της Αφρικής η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από το βόρειο και νότιο τμήμα, καθώς θα πλησιάζει τους 30°C. Στο νότιο και ανατολικό τμήμα της Αφρικής η θερμοκρασία θα είναι κυρίως στους 20°C, με αρκετές περιοχές να έχουν θερμοκρασία επιφανείας χαμηλότερη από αυτή. Ομοίως, στην ήπειρο της Νοτίου Αμερικής θα υπάρχει θερμοκρασιακή αντίθεση. Τόσο στο ανατολικό όσο και δυτικό τμήμα της θα σημειωθεί χαμηλότερη θερμοκρασία από την

ενδοχώρα. Στην ενδοχώρα, η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους 20°C με 25°C, ενώ στο δυτικό τμήμα η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι κοντά στους 0°C με 10°C περίπου. Στο νότιο τμήμα της, η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κοντά στους 0°C.

Για την ήπειρο της Βόρειας Αμερικής, φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας στον Καναδά, όπως και στον βόρειο και κεντρικό τομέα των Η.Π.Α θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C, ενώ στην Γροιλανδία η θερμοκρασία επιφανείας θα φτάσει και θα ξεπεράσει τους -20°C. Στον νότιο τομέα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής αλλά και στο Μεξικό, η θερμοκρασία επιφανείας θα ξεκινήσει περίπου από τους 10°C στις νότιες Η.Π.Α και σταδιακά καθώς το γεωγραφικό πλάτος θα μειώνεται (δηλαδή προς το Μεξικό) η θερμοκρασία επιφανείας θα φτάσει έως τους 25°C περίπου.

Σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0 η θερμοκρασία επιφανείας στην Ευρώπη θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C, με την θερμοκρασία στις χώρες της νότιας Ευρώπης να είναι αυξημένη και πιο κοντά στους 20°C. Στην βόρεια Ευρώπη, η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κοντά στους 0°C. Επίσης, στην Ασία, θα σημειωθούν ιδιαίτερα έντονες θερμοκρασιακές αντιθέσεις καθώς, στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται από -10°C έως 10°C. Στην κεντρική Ασία η τιμή της θερμοκρασίας θα κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 10°C με 15°C περίπου, ενώ παράλληλα στο οροπέδιο του Θιβέτ η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι χαμηλότερη και κοντά στους 0°C με -10°C. Στην συνέχεια στην νότια Ασία και κυρίως στην Ινδία και Σαουδική Αραβία, η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι αρκετά υψηλή και θα κυμαίνεται στους 20°C με 30°C. Ομοίως, τα νησιά που βρίσκονται στον Ισημερινό, όπως η Ινδονησία και Μαλαισία θα έχουν υψηλή τιμή θερμοκρασίας επιφανείας που θα κυμαίνεται περίπου στους 20°C με 30°C.

Στο βόρειο τμήμα της Αυστραλίας, η θερμοκρασία θα είναι υψηλότερη και κοντά στους 20°C με 30°C, ενώ στο νότιο τμήμα η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους 20°C και ελαφρώς χαμηλότερη. Σύμφωνα με το σχήμα 1 η Νέα Ζηλανδία θα σημειώσει θερμοκρασία επιφανείας κοντά στους 10°C περίπου, ενώ στην Ανταρκτική η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι ιδιαίτερα χαμηλή, καθώς θα ξεπεράσει τους -30°C.

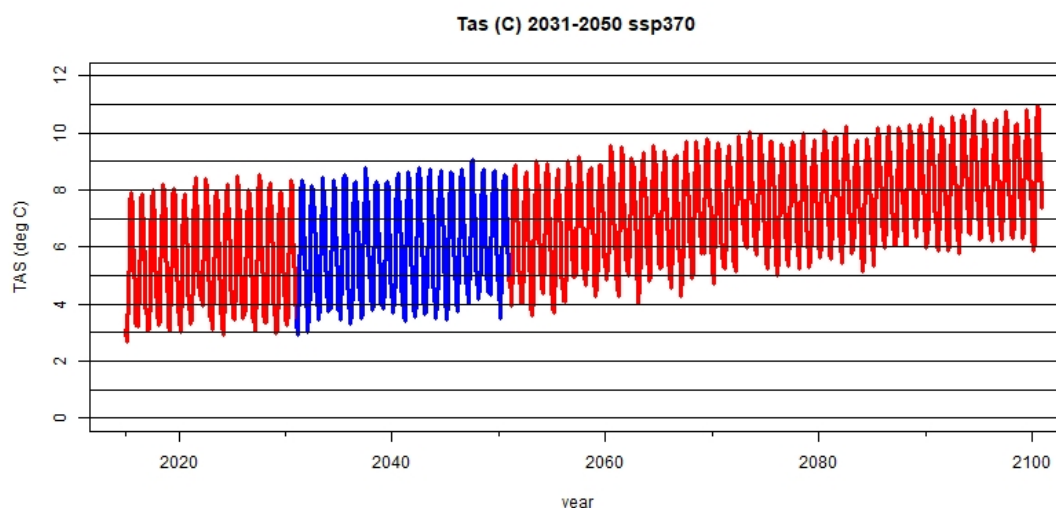


Σχήμα 1: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0.

Στο σχήμα 2 φαίνεται η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη. Με μπλε χρώμα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2031-2050 και με κόκκινο χρώμα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα 2015-2100, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το σενάριο SSP3-7.0.

Από το σχήμα 2, φαίνεται ότι οι μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας καθόλη την διάρκεια της περιόδου 2015-2100 εμφανίζουν έντονη διακύμανση. Καθόλη την περίοδο 2015-2100, η μέγιστη απόκλιση των τιμών της θερμοκρασίας επιφανείας θα είναι 4°C με 5°C. Αρχικά, η τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για το 2015 θα έχει ένα εύρος τιμών που θα κυμαίνεται στους 3°C με 8°C. Σταδιακά, από το 2030 και μετά θα αρχίσει να αυξάνεται αυτό το εύρος κατά 1°C και πλέον, μέχρι και το 2060 η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 4°C με 9°C. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2, από το 2060 και έπειτα, θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση στην θερμοκρασία η οποία πλέον, θα κυμαίνεται στους 5°C με 10°C μέχρι και το 2080. Στη συνέχεια, από το 2080 και κυρίως από το 2090 και έπειτα, το εύρος τιμών της θερμοκρασίας επιφανείας θα αυξηθεί κατά 1°C και θα κυμαίνεται στους 6°C με 11°C. Σύμφωνα με σενάριο SSP3-7.0 για την περίοδο μελέτης, 2031-2050, στις αρχές του 2031 η θερμοκρασία

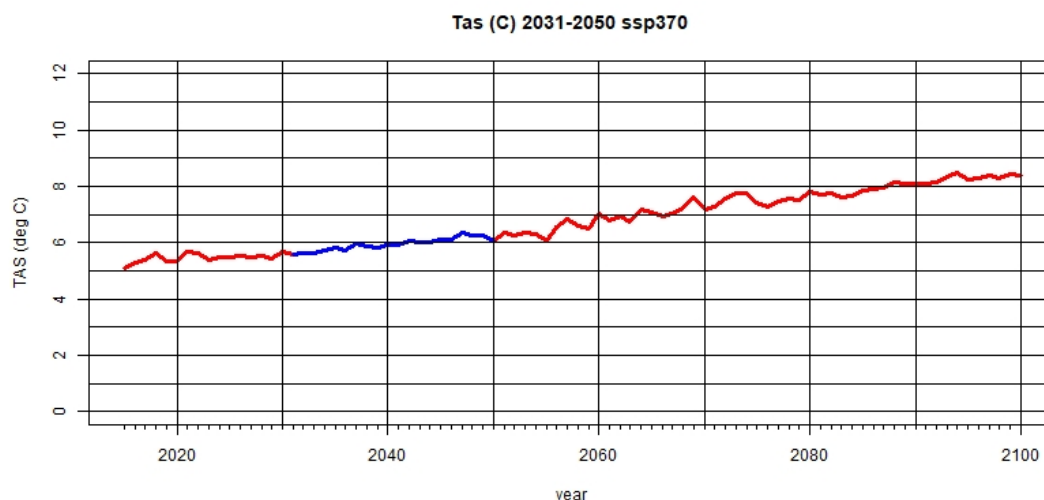
επιφανείας θα κυμαίνεται στους 3°C με 8°C και προοδευτικά θα αρχίσει η αυξητική πορεία κατά 1°C όπως αναλύθηκε παραπάνω. Σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0, οι μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας από το 2015 έως το 2100 θα εμφανίσουν αύξηση κατά 3°C.



Σχήμα 2: Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Το σχήμα 3 παρουσιάζει την μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για το χρονικό διάστημα 2015-2100. Από το σχήμα φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει στο σύνολό της μία αυξητική πορεία, καθώς το 2015 φαίνεται να είναι ίση με 5°C και το 2100 θα είναι ίση με 8.5°C περίπου. Επίσης, φαίνεται πως θα υπάρχουν αυξομειώσεις και αποκλίσεις στις ετήσιες μέσες τιμές της θερμοκρασίας, γιατί σχηματίζονται οξείες γωνίες στην καμπύλη των θερμοκρασιών. Αυτό παρατηρείται περισσότερο στο διάστημα 2050-2080 και 2015-2022, ενώ στα διαστήματα 2080-2100 και 2023-2030 φαίνεται πως δεν θα υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις.

Για την περίοδο μελέτης 2031-2050, σύμφωνα με το σχήμα 3, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική τάση. Το 2031 η θερμοκρασία θα είναι περίπου ίση με 5.5°C και έπειτα θα ακολουθήσει μία σταδιακή αύξηση μέχρι και τους 6.3°C για το 2047. Έπειτα στο μεσοδιάστημα 2047-2050 θα υπάρξει μείωση στην θερμοκρασία επιφανείας ώσπου το 2050 θα είναι ίση με 6°C περίπου. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας για αυτήν την περίοδο μελέτης υπολογίστηκε στους 5.9°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.2°C, που σημαίνει ότι οι τιμές της θερμοκρασίας θα έχουν μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



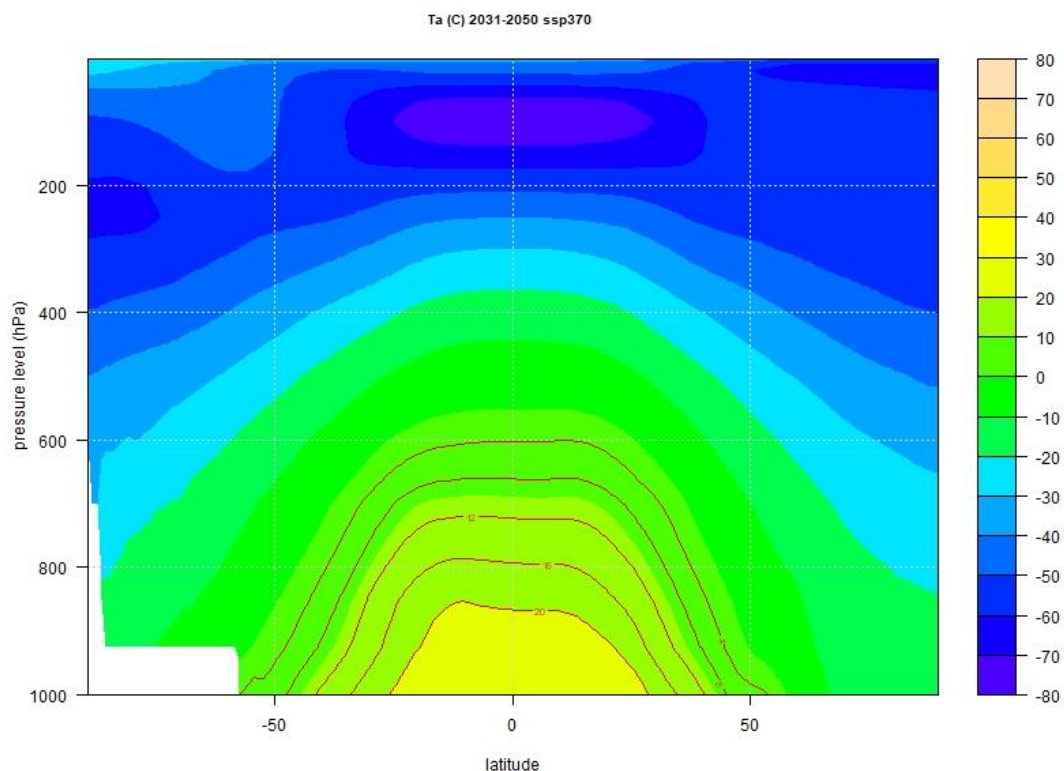
Σχήμα 3: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Το σχήμα 4 αφορά την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2031-2050, σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0. Η λευκή περιοχή στο σχήμα οφείλεται σε απουσία τιμών.

Σαν γενική εικόνα, από το σχήμα φαίνεται πως η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του ύψους. Πιο συγκεκριμένα, στον Ισημερινό και κοντά στα 1000hPa, η θερμοκρασία θα είναι μεγαλύτερη από 20°C. Καθώς το ύψος αυξάνεται, στα 800hPa, η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 15°C με 20°C περίπου. Μέχρι τα 600hPa θα υπάρξει μείωση της θερμοκρασίας η οποία θα έχει εύρος τιμών 0°C με 10°C περίπου. Κοντά στα 500hPa, η θερμοκρασία θα περάσει το όριο των 0°C και θα αρχίσει να αποκτά αρνητικές τιμές. Έτσι, στα 400hPa, η θερμοκρασία θα βρίσκεται σε ένα θερμοκρασιακό εύρος -10°C με -20°C. Στη συνέχεια στα 200hPa, η θερμοκρασία θα είναι στους -50°C με -60°C, ενώ σε ακόμη μεγαλύτερα ύψη θα φτάσει και τους -80°C. Περίπου στα 150hPa, φαίνεται να υπάρχει το όριο τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας, η τροπόπαυση, καθώς σε αυτό το ύψος η θερμοκρασία φτάνει στο ελάχιστό της, που κυμαίνεται στους -70°C με -80°C και έπειτα αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά. Έτσι, από τα 150hPa και πάνω ξεκινάει η στρατόσφαιρα με την θερμοκρασία από τους -80°C να φτάνει σταδιακά στους -50°C με -40°C.

Επίσης, το νότιο και βόρειο ημισφαίριο, φαίνεται να έχουν παραπλήσια κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση, καθώς τα εύρη τιμών είναι τα ίδια. Συγκριτικά, μία μικρή διαφορά φαίνεται πως θα υπάρχει στο βόρειο ημισφαίριο καθώς οι τιμές της θερμοκρασίας φαίνεται πως θα είναι μικρότερες σε σχέση με το νότιο ημισφαίριο.

Έτσι λοιπόν, για το βόρειο και νότιο ημισφαίριο σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η θερμοκρασία στα 1000hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C . Έπειτα με την αύξηση του ύψους η θερμοκρασία θα μειωθεί με αποτέλεσμα στα 800hPa να βρίσκεται στους 0°C με -10°C . Μετά στα 600hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -10°C με -20°C , ενώ με περαιτέρω αύξηση του ύψους στα 400hPa η θερμοκρασία θα μειωθεί ακόμη περισσότερο και θα κυμαίνεται περίπου στους -30°C με -40°C . Έπειτα, σε βόρειο και νότιο ημισφαίριο στα 200hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -50°C με -60°C . Για το νότιο ημισφαίριο στις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η τροπόπαυση φαίνεται πως θα βρίσκεται στο ύψος των 200hPa. Επίσης, για τις περιοχές νότια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος το ύψος της τροπόπαυσης θα βρίσκεται λίγο κάτω από τα 200hPa. Επιπλέον, για το βόρειο ημισφαίριο σε ύψος κοντά στα 100hPa πιθανόν να βρίσκεται το όριο τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας. Στο ίδιο ύψος ενδέχεται να βρίσκεται η τροπόπαυση και για περιοχές βόρεια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος σύμφωνα με το σχήμα 4.



Σχήμα 4: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

Σε παρόμοια σχήματα που παρουσιάζουν την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος. Αυτή η μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος είναι αποτέλεσμα τόσο της ελάττωσης της πυκνότητας του αέρα και των υδρατμών με το ύψος, όσο και της

σταδιακής ελάττωσης της θέρμανσης από το έδαφος. Επίσης, η ελάττωση της θερμοκρασίας του ανερχόμενου αέρα λόγω διαστολής του, προκαλεί την μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος (Λαζαρίδης, 2010).

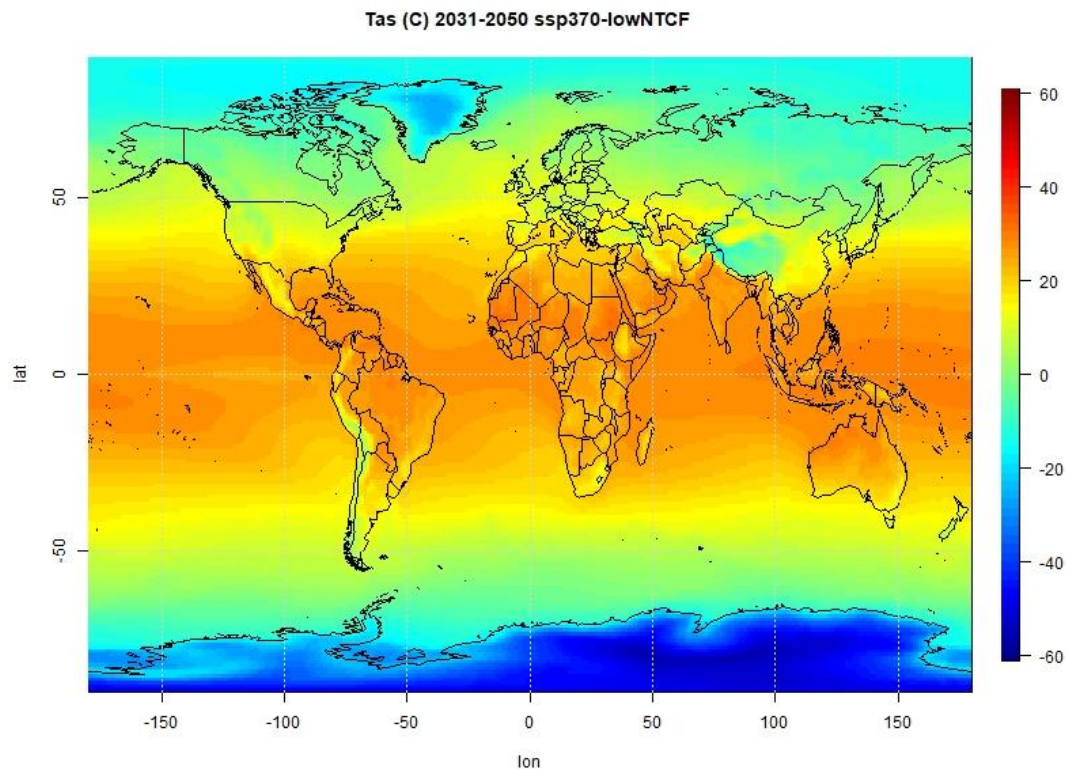
➤ 2.2.2 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF

Στο σχήμα 5 φαίνεται η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF, για περίοδο μελέτης που αφορά το διάστημα μεταξύ 2031 και 2050. Από το σχήμα φαίνεται πως οι υψηλότερες τιμές στην θερμοκρασία επιφανείας θα είναι στις περιοχές με μικρό γεωγραφικό πλάτος (περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού). Όσο το γεωγραφικό πλάτος θα αυξάνεται, τόσο η θερμοκρασία επιφανείας θα μειώνεται και μάλιστα θα σημειώσει και αρνητικές τιμές σε περιοχές όπως ο βόρειος Καναδάς, η Γροιλανδία και η Ανταρκτική.

Στην ήπειρο της Νοτίου Αμερικής η θερμοκρασία επιφανείας θα εμφανίζει διακύμανση, καθώς χαμηλότερη θερμοκρασία επιφανείας θα υπάρχει στο νότιο και δυτικό τμήμα της (κοντά στους 0°C με 10°C περίπου) ενώ στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της, η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι υψηλότερη και θα κυμαίνεται στο εύρος τιμών 20°C με 25°C. Στην Βόρεια Αμερική, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές. Αρχικά, στο Μεξικό η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμανθεί στους 10°C με 20°C περίπου, ενώ όσο το γεωγραφικό πλάτος αυξάνεται η θερμοκρασία επιφανείας θα καταγράφει όλο και πιο χαμηλές τιμές. Πιο αναλυτικά, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κοντά στους 10°C με 20°C ενώ προς τον Καναδά η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται κοντά στους 0°C περίπου. Στην Γροιλανδία πλέον, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αρνητικές τιμές, οι οποίες θα ξεπεράσουν τους -20°C. Στην Αφρική, η θερμοκρασία επιφανείας θα ξεπεράσει τους 20°C και θα φτάσει μέχρι και τους 30°C περίπου, εκτός από ορισμένες εξαιρέσεις. Σε κάποιες περιοχές στα βόρεια, νότια και ανατολικά η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει τιμή χαμηλότερη από 20°C.

Στην Ευρώπη, η θερμοκρασία επιφανείας φαίνεται πως κατά κύριο λόγο δεν θα υπερβεί τους 15°C με 20°C. Παράλληλα, στην βόρεια Ευρώπη και σε χώρες όπως Σουηδία και Νορβηγία η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κοντά στους 0°C περίπου. Στην νότια Ευρώπη η θερμοκρασία θα πλησιάσει τους 20° C. Σύμφωνα με το σχήμα 5, στην Ασία θα υπάρχουν έντονες θερμοκρασιακές αντιθέσεις. Στο βόρειο τμήμα της η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται στους 0°C με -10°C περίπου, ενώ καθώς το γεωγραφικό πλάτος θα μειώνεται, στην κεντρική Ασία η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 15°C με 20°C. Έντονη διαφορά στην θερμοκρασία θα

υπάρξει στο οροπέδιο του Τιβέτ καθώς η θερμοκρασία θα βρίσκεται κοντά στους 0°C. Έπειτα, στο νότιο τμήμα της Ασίας και σε χώρες όπως Σαουδική Αραβία, Ιράν και Ινδία η θερμοκρασία επιφανείας θα ξεπεράσει τους 20°C και όσο θα μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος θα φτάσει και τους 25°C περίπου. Στην Αυστραλία, η θερμοκρασία επιφανείας θα ξεπεράσει τους 20°C στο βόρειο τμήμα της και σταδιακά προς το νότιο τμήμα η θερμοκρασία θα βρεθεί κάτω από τους 20°C. Στην Ανταρκτική η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι ιδιαίτερα χαμηλή ξεπερνώντας τους -30°C.

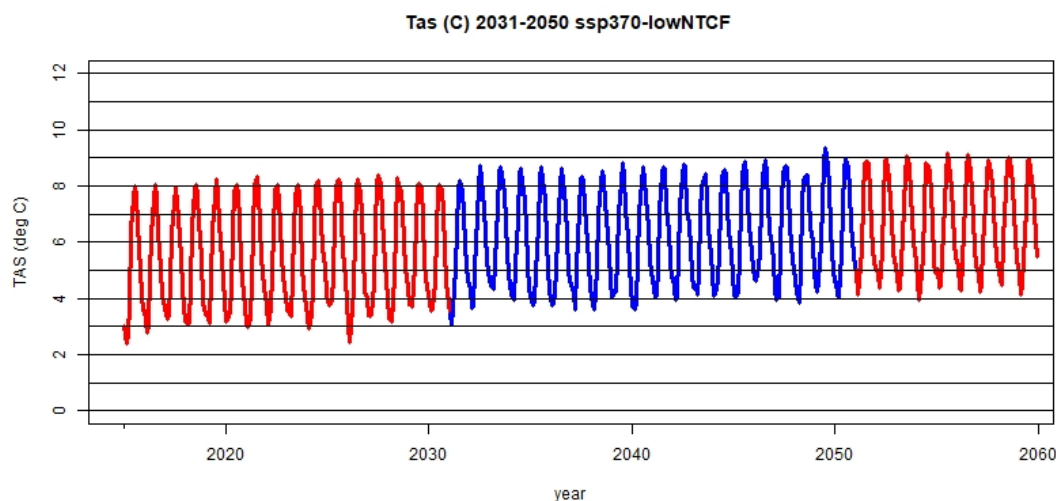


Σχήμα 5: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF.

Στο σχήμα 6 φαίνεται η διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη. Με μπλε χρώμα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2031-2050 και με κόκκινο χρώμα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα 2015-2059, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF.

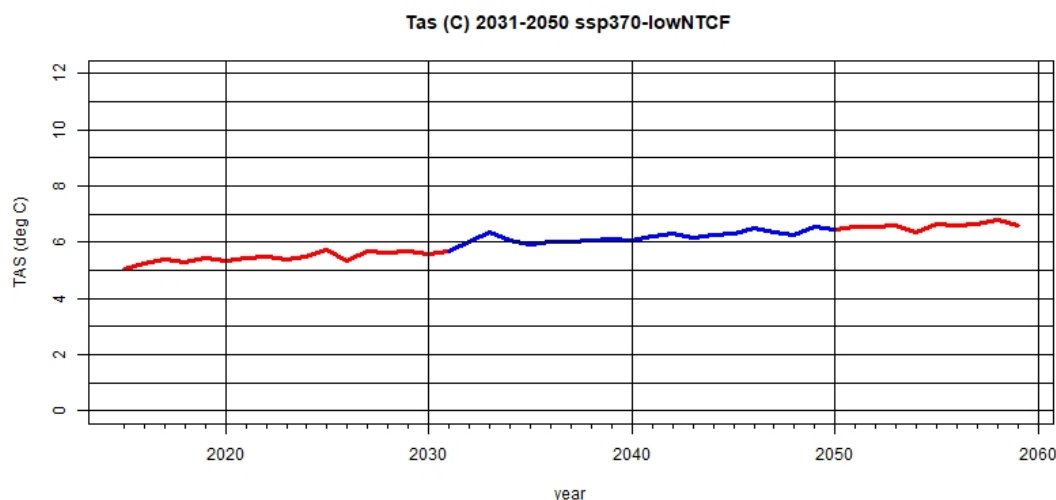
Σε γενικά πλαίσια φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα μεταβληθεί κατά 1°C με 1.5°C καθώς στην αρχή του 2015 έχει ένα εύρος τιμών 2.5°C με 8°C, ενώ στο τέλος του 2059 η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται σε ένα εύρος τιμών 4°C με 9°C. Επίσης, η μέγιστη διαφορά στις τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας για όλη την περίοδο 2015-2059 θα είναι 5°C περίπου. Για την περίοδο μελέτης 2031-2050, η

θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 3°C με 8°C για τα πρώτα χρόνια του 2030, ενώ μέχρι και το 2050 η θερμοκρασία επιφανείας φαίνεται πως θα σταθεροποιηθεί στο εύρος τιμών 4°C με 9°C.



Σχήμα 6: Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Το σχήμα 7 παρουσιάζει την μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για το χρονικό διάστημα 2015-2059. Από το σχήμα φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει μία αυξητική τάση κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων. Από το 2015 μέχρι το 2059 η θερμοκρασία επιφανείας φαίνεται πως θα αυξηθεί κατά 1°C με 1.5°C (όπως φάνηκε και από το σχήμα 6). Στις αρχές του 2015 η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 5°C και μέχρι το 2059 θα φτάσει τους 6.5°C περίπου. Για την περίοδο 2015-2059 φαίνεται πως υπάρχουν μερικές αυξομειώσεις στις τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας, καθώς σχηματίζονται έντονες οξείες γωνίες στο γράφημα, όπως το 2033 και 2026. Για τη περίοδο μελέτης 2031-2050, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική τάση. Το 2031 θα είναι κοντά στους 5.7°C και έπειτα θα ακολουθήσει μία σταδιακή αύξηση με μικρές διακυμάνσεις, ώσπου το 2050 η θερμοκρασία επιφανείας θα φτάσει τους 6.5°C. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας για την περίοδο μελέτης 2031-2050, υπολογίστηκε στους 6.2°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.2°C. Αυτή η μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι η θερμοκρασία θα έχει μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



Σχήμα 7: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

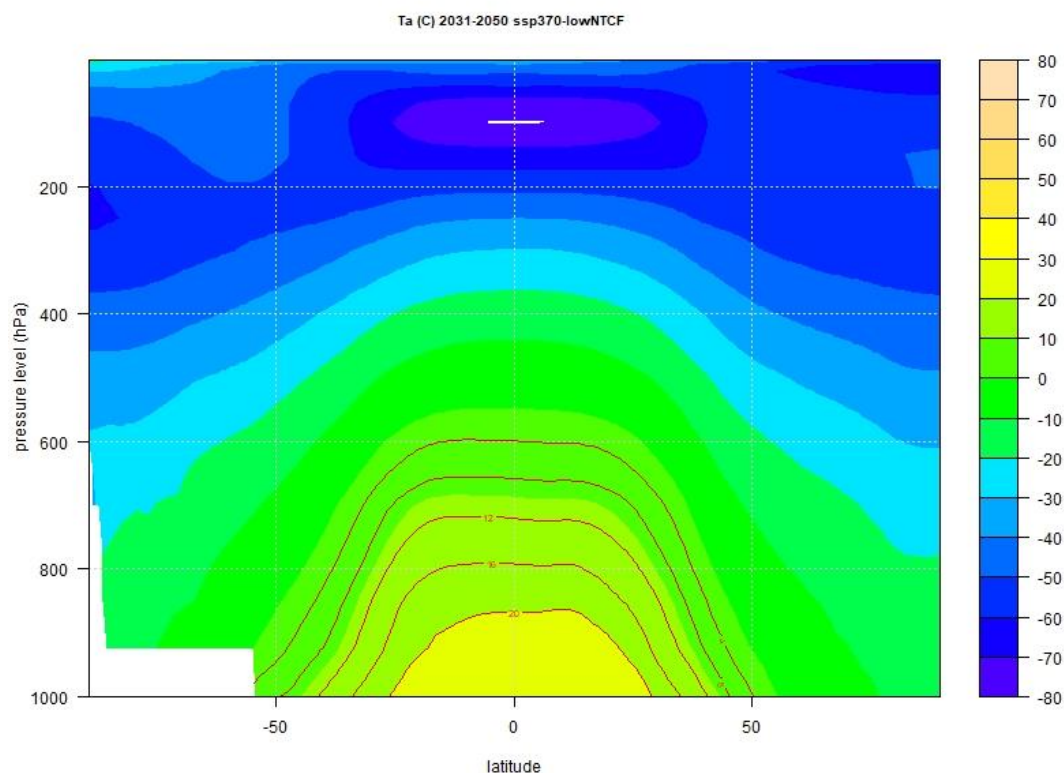
Το σχήμα 8 αφορά την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Η λευκή περιοχή οφείλεται σε απουσία τιμών.

Από το σχήμα 8 φαίνεται πως όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση τόσο μειώνεται η θερμοκρασία. Στον Ισημερινό, όπου το γεωγραφικό πλάτος είναι ίσο με 0, για ατμοσφαιρική πίεση 1000hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 20°C με 30°C, ενώ όσο η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται δηλαδή στα 800hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 10°C με 20°C. Σε ακόμη μεγαλύτερα ύψη ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως στα 600hPa, η θερμοκρασία πλέον θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C. Έπειτα, η θερμοκρασία θα αρχίσει να καταγράφει αρνητικές τιμές και στα 400hPa θα βρίσκεται στους -10°C με -20°C, ενώ στα 200hPa θα βρεθεί στο θερμοκρασιακό εύρος -50°C με -60°C. Για τον Ισημερινό, κοντά στα 150hPa φαίνεται πως θα βρίσκεται το όριο τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας, η τροπόπαυση, γιατί παρατηρείται η μεγαλύτερη αρνητική τιμή της θερμοκρασίας (-80°C περίπου) και έπειτα αυτή αρχίζει να αυξάνεται. Μάλιστα, σε αυτό το ύψος ατμοσφαιρικής πίεσης φαίνεται να υπάρχει μία λευκή κηλίδα που οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία θα ξεπεράσει τους -80°C που έχουν τεθεί ως το όριο στην κλίμακα τιμών. Τόσο στο νότιο όσο και στο βόρειο ημισφαίριο υπάρχει μία παρόμοια κατανομή της θερμοκρασίας, μόνο που σε όλα τα ύψη ατμοσφαιρικής πίεσης οι θερμοκρασίες θα είναι μικρότερες σε σχέση με τον Ισημερινό.

Επίσης, τόσο στο νότιο όσο και στο βόρειο ημισφαίριο, η κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση φαίνεται να είναι

παραπλήσια, καθώς τα εύρη τιμών είναι τα ίδια. Μία μικρή διαφορά φαίνεται πως θα υπάρχει στο νότιο ημισφαίριο καθώς οι τιμές της θερμοκρασίας φαίνεται πως θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το βόρειο ημισφαίριο.

Επομένως, για το βόρειο και νότιο ημισφαίριο σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η θερμοκρασία στα 1000hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C . Έπειτα, με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα μειωθεί με αποτέλεσμα στα 800hPa να βρίσκεται στους 0°C με -10°C . Στη συνέχεια, στα 600hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -10°C με -20°C , ενώ με περαιτέρω αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στα 400hPa η θερμοκρασία θα μειωθεί ακόμη περισσότερο και θα κυμαίνεται πλέον στους -30°C με -40°C . Έπειτα, σε βόρειο και νότιο ημισφαίριο στα 200hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -50°C με -60°C . Για το νότιο ημισφαίριο στις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η τροπόπαυση φαίνεται πως θα βρίσκεται στα 200hPa. Επίσης, για τις περιοχές νότια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος το ύψος της τροπόπαυσης θα βρίσκεται κοντά στα 200hPa. Έπειτα, για το βόρειο ημισφαίριο κοντά στα 100hPa πιθανόν να βρίσκεται το όριο τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας.

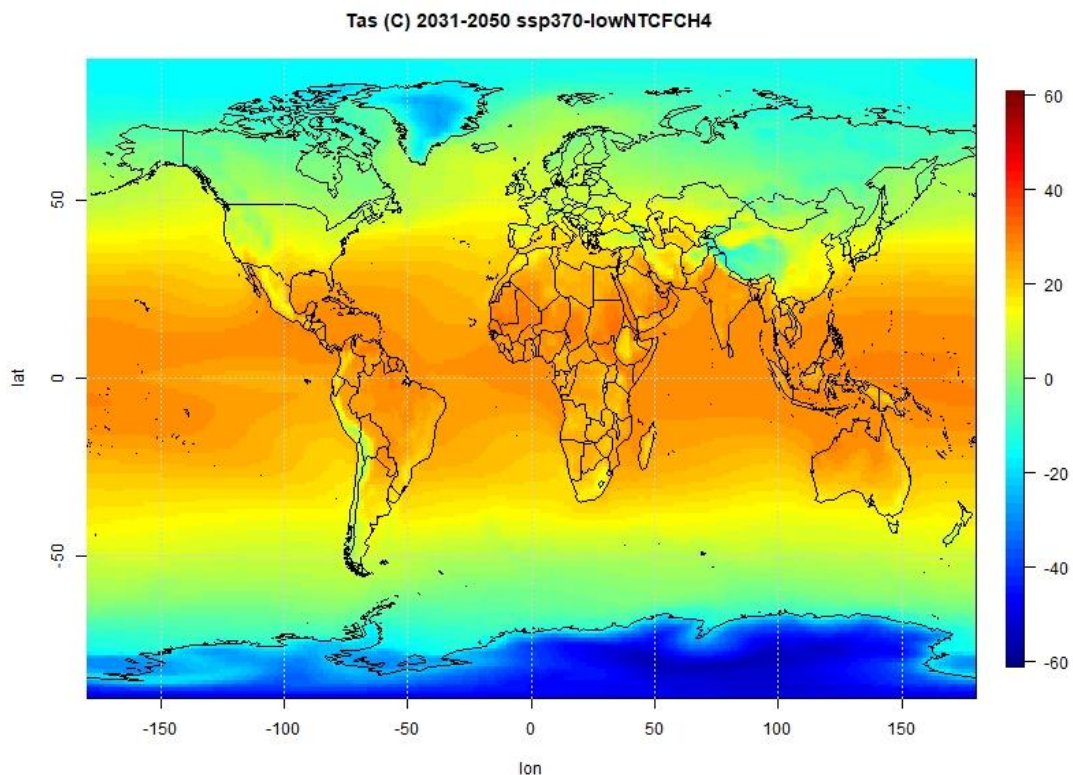


Σχήμα 8 Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

➤ 2.2.3 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4

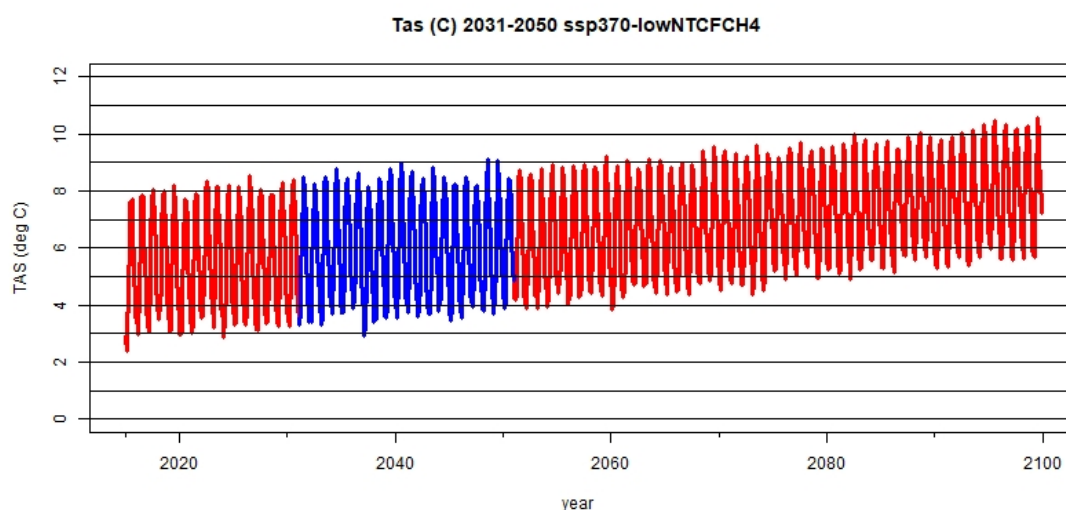
Στο σχήμα 9 φαίνεται η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4, για περίοδο μελέτης που αφορά το διάστημα μεταξύ 2031 και 2050. Από το σχήμα φαίνεται πως υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας θα υπάρχουν σε περιοχές με μικρό γεωγραφικό πλάτος και εκατέρωθεν του Ισημερινού. Όσο το γεωγραφικό πλάτος θα αυξάνεται τόσο η θερμοκρασία επιφανείας θα μειώνεται, ενώ από τις 50° γεωγραφικό πλάτος νότια θα αρχίσει να αποκτά τιμές μικρότερες από τους 0°C. Στο βόρειο ημισφαίριο αρνητικές τιμές θα αρχίσουν να καταγράφονται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και σε περιοχές όπως η Γροιλανδία και η βόρεια Ασία.

Από το σχήμα 9 λοιπόν, φαίνεται πως η παγκόσμια κατανομή της θερμοκρασίας επιφανείας για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την παγκόσμια κατανομή της θερμοκρασίας για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF. Ορισμένες διαφορές που παρατηρούνται είναι ότι σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι συγκριτικά μικρότερη στις περιοχές της Νότιας Αμερικής και Αφρικής που βρίσκονται κοντά στον Ισημερινό. Το ίδιο ισχύει και για την ευρύτερη περιοχή που βρίσκονται τα νησιά Μαλαισία και Ινδονησία.



Σχήμα 9: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4.

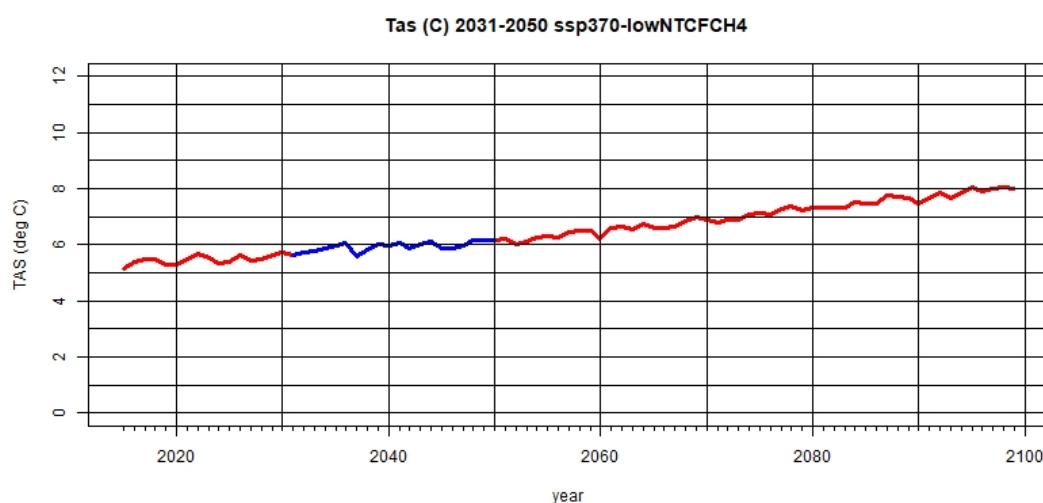
Το σχήμα 10 αναπαριστά την διακύμανση της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4. Από το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι για την περίοδο 2015-2099 η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει ανοδική τάση. Η μέγιστη διαφορά στις καταγραφές της θερμοκρασίας θα κυμαίνεται στους 4°C με 5°C. Στις αρχές του 2015 η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει ένα εύρος τιμών 3°C με 8°C. Από το 2050 και έπειτα, το εύρος αυτό θα αυξηθεί κατά 1°C και πλέον η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 4°C με 9°C. Έπειτα, θα αυξηθεί και πάλι κατά 1°C, καθώς από το 2070 μέχρι το 2090 θα κυμαίνεται στους 5°C με 10°C. Σύμφωνα με το σχήμα 10 φαίνεται πως από το 2090 θα αρχίσει σταδιακά μία αύξηση στην θερμοκρασία επιφανείας κατά 0.5°C περίπου, αφού η θερμοκρασία θα βρίσκεται στο εύρος τιμών 5.5°C με 10.5°C. Για την περίοδο μελέτης 2031-2050 η θερμοκρασία επιφανείας θα παρουσιάζει αυξομειώσεις στο εύρος τιμών της το οποίο άλλοτε θα είναι 3°C με 8°C και άλλοτε 4°C με 9°C.



Σχήμα 10: Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Στο σχήμα 11 φαίνεται η διακύμανση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφανείας για το χρονικό διάστημα 2015-2099 σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4. Από το σχήμα διαφαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα αυξηθεί μέσα σε αυτή την περίοδο κατά 3°C περίπου. Πιο αναλυτικά, το 2015 η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους 5°C και το 2099 η τιμή της θερμοκρασίας θα είναι ίση με 8°C. Καθόλη την περίοδο 2015-2099 φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αρκετές αυξομειώσεις καθώς σχηματίζονται πολλές και έντονες οξείες γωνίες στο γράφημα. Για την περίοδο μελέτης 2031-2050, η θερμοκρασία θα έχει αυξητική πορεία και οι

τιμές της θα κυμαίνονται στους 5.5°C με 6.3°C. Κατά την διάρκεια της περιόδου μελέτης θα εμφανίζονται αυξομειώσεις στις τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας όπως στις χρονιές 2035 και 2037. Το 2031 η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι ίση με 5.5°C περίπου και έπειτα θα ακολουθήσει σταδιακά μία αυξητική πορεία ώσπου θα φτάσει περίπου τους 6.3°C κατά το 2050. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας για αυτήν την περίοδο μελέτης υπολογίστηκε στους 5.9°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.2°C που σημαίνει ότι οι τιμές της θερμοκρασίας θα έχουν μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



Σχήμα 11: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2015-2059 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

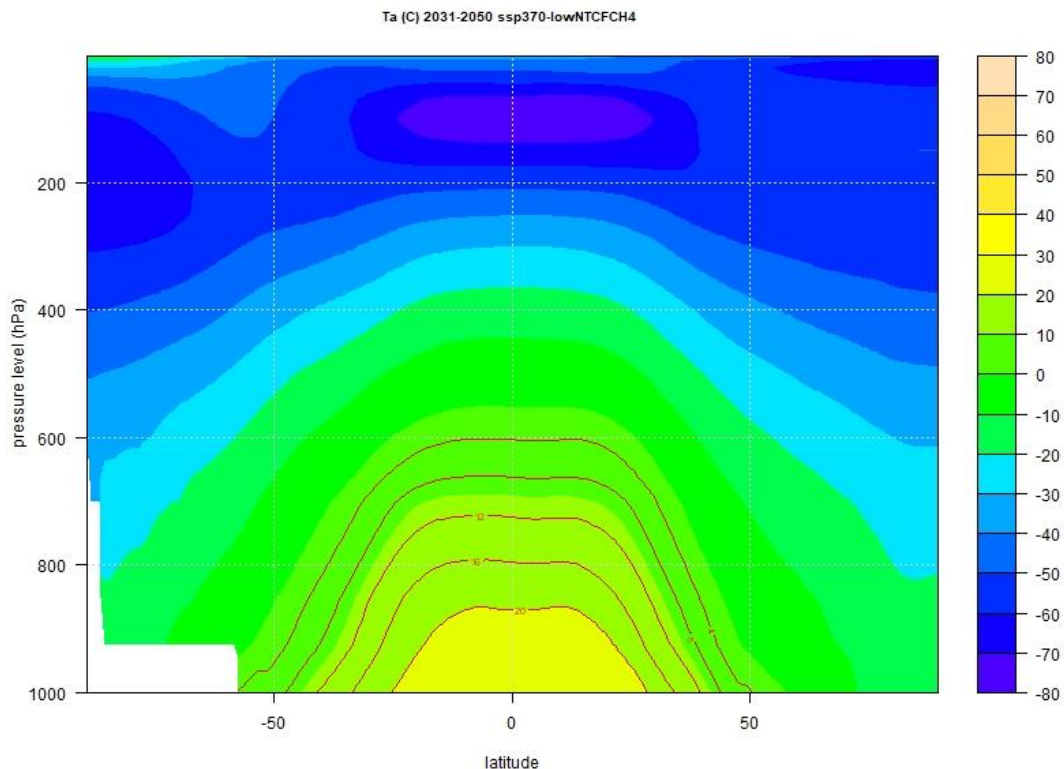
Το σχήμα 12 παρουσιάζει την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση όπως και στα προηγούμενα αντίστοιχα γραφήματα. Ομοίως με τα προηγούμενα παρόμοια γραφήματα, και σε αυτό φαίνεται πως με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα μειώνεται. Επίσης η λευκή περιοχή οφείλεται στην απουσία τιμών.

Στις περιοχές κοντά στον Ισημερινό και στα 1000hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 20°C με 30°C, ενώ σε μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση, στα 800hPa θα κυμαίνεται στους 15°C με 20°C. Με την περαιτέρω αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα μειωθεί και έτσι στα 600hPa θα φτάσει σε ένα εύρος τιμών 0°C με 10°C, ενώ σε ακόμη μεγαλύτερα ύψη πίεσης θα αρχίσει πλέον να έχει αρνητικές τιμές όπως, στα 400hPa που θα βρίσκεται στους -10°C με -20°C. Έπειτα, στα 200hPa η θερμοκρασία θα έχει τιμές μεταξύ των -50°C και -60°C, ενώ για ατμοσφαιρική πίεση μεγαλύτερη από 200hPa φαίνεται πως θα υπάρχει η τροπόπαυση. Πιο συγκεκριμένα, περίπου στα 150hPa η θερμοκρασία θα αποκτήσει την μικρότερη αρνητική τιμή της ,

η οποία θα κυμαίνεται στους -80°C με -90°C και, έπειτα θα αρχίσει να αυξάνεται σταδιακά. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο θα υπάρχει παρόμοια κατανομή της θερμοκρασίας με τον Ισημερινό, μόνο που οι τιμές της θερμοκρασίας θα είναι μικρότερες για κάθε ύψος ατμοσφαιρικής πίεσης.

Επίσης, για το νότιο και βόρειο ημισφαίριο, η κατανομή της θερμοκρασίας γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση φαίνεται να είναι παραπλήσια, καθώς τα εύρη τιμών είναι τα ίδια. Διαφορά φαίνεται πως θα υπάρχει στο βόρειο ημισφαίριο καθώς οι τιμές της θερμοκρασίας φαίνεται πως θα είναι ελαφρώς μικρότερες συγκριτικά με το νότιο ημισφαίριο.

Έτσι λοιπόν, για το βόρειο και νότιο ημισφαίριο σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η θερμοκρασία στα 1000hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 10°C . Έπειτα, με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα μειωθεί με αποτέλεσμα στα 800hPa να βρίσκεται στους 0°C με -10°C . Μετά στα 600hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -10°C με -20°C , ενώ με περαιτέρω αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στα 400hPa η θερμοκρασία θα μειωθεί ακόμη περισσότερο και θα κυμαίνεται περίπου στους -30°C με -40°C . Στη συνέχεια, σε βόρειο και νότιο ημισφαίριο στα 200hPa, η θερμοκρασία θα έχει ένα εύρος τιμών -50°C με -60°C σύμφωνα με το σχήμα 12. Για το νότιο ημισφαίριο στις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50° , η τροπόπαυση φαίνεται πως θα βρίσκεται στα 200hPa. Επίσης, για τις περιοχές νότια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος το ύψος της τροπόπαυσης θα βρίσκεται λίγο πάνω από τα 200hPa. Επιπλέον, για το βόρειο ημισφαίριο κοντά στα 100hPa φαίνεται να βρίσκεται το όριο τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας. Στο ίδιο ύψος θα βρίσκεται και η τροπόπαυση για περιοχές βόρεια με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος σύμφωνα με το σχήμα 12.



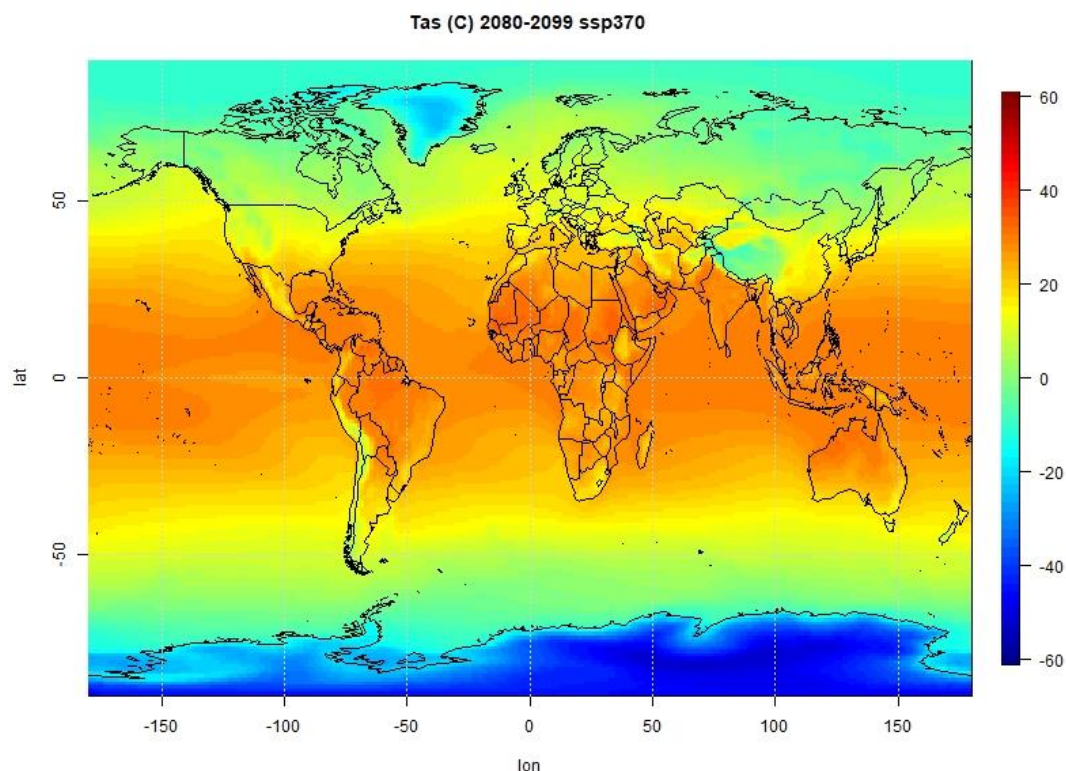
Σχήμα 12: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

2.3 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2080-2099

➤ 2.3.1 Σενάριο SSP3-7.0

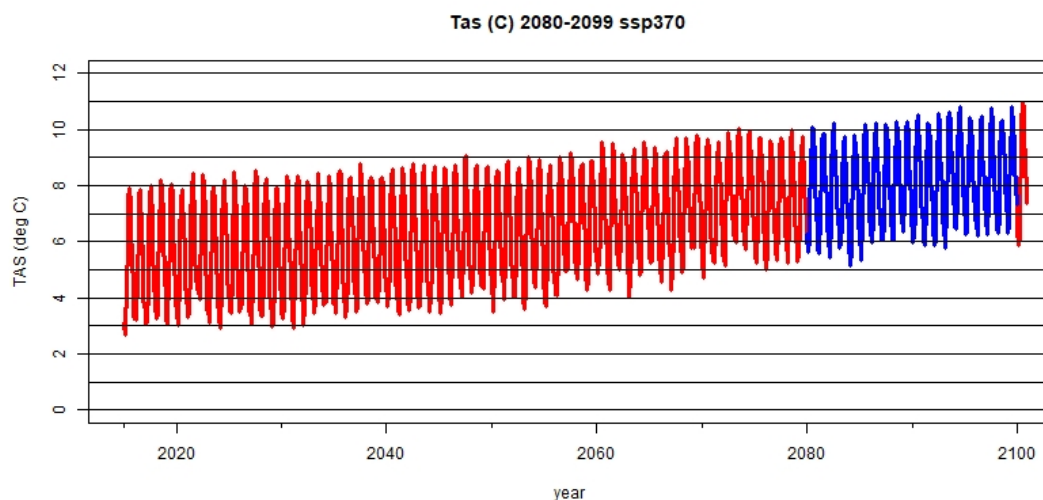
Το σχήμα 13 για την κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας για την χρονική περίοδο 2080-2099 εμφανίζει πολλές ομοιότητες συγκριτικά με το αντίστοιχο σχήμα για την περίοδο 2031-2050 (Σχ.1). Από το σχήμα 13 φαίνεται πως για την περίοδο 2080-2099 οι τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας στις περιοχές κοντά στον Ισημερινό θα είναι μεγαλύτερες από αυτές κατά την περίοδο 2031-2050. Πιο αναλυτικά, στο σχήμα φαίνεται πως στην Κεντρική Αφρική, Νότια Ασία, και Βόρεια Αυστραλία υπάρχει πιο έντονη χρωματική διαβάθμιση, η οποία υποδηλώνει μεγαλύτερες τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας. Ομοίως, το ίδιο ισχύει και σε χώρες της Νότιας Αμερικής, όπως Βραζιλία, Βενεζουέλα και Κολομβία, αλλά και στις χώρες στον Κόλπο του Μεξικού. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες που θα υπάρχουν στον Ισημερινό κατά την περίοδο 2080-2099 σε σχέση με την περίοδο 2031-2050 αναμένεται να επηρεάσουν την κατανομή της θερμοκρασίας με την μεταβολή του γεωγραφικού πλάτους για την περίοδο 2080-2099. Όμως, η κατανομή αυτή για την περίοδο 2080-2099 θα ακολουθήσει το μοτίβο που υπάρχει και στην περίοδο 2031-2050, μόνο που στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη θα καταγράφονται μεγαλύτερες

τιμές της θερμοκρασίας, όπως στην Γροιλανδία όπου το 2031-2050 η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται στους -30°C περίπου, ενώ το 2080-2099 περίπου στους -20°C .



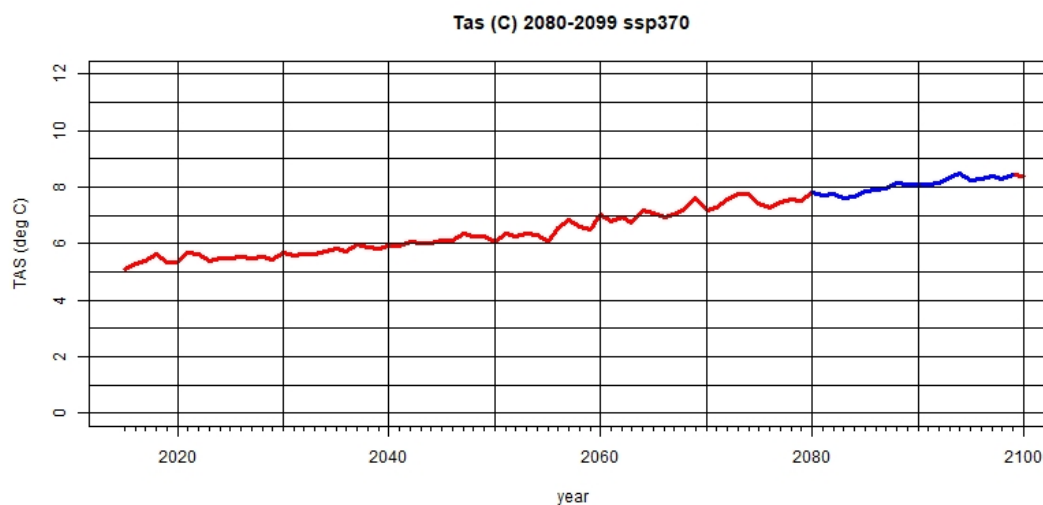
Σχήμα 13: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0.

Όπως αναλύθηκε και στο γράφημα για την περίοδο 2031-2050 (Σχ.2) η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει μία αυξητική τάση κατά το διάστημα 2015-2100. Σύμφωνα με το σχήμα 14 για την περίοδο μελέτης 2080-2099 η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική πορεία. Αρχικά στο διάστημα 2080-2090 θα κυμαίνεται στους 5°C με 10°C , έπειτα στο διάστημα 2090-2099 θα αυξηθεί το εύρος τιμών κατά 1°C και πλέον θα είναι 6°C με 11°C . Επίσης, καθόλη την περίοδο του 2080-2099, η μέγιστη απόκλιση των τιμών της θερμοκρασίας επιφανείας θα είναι 4°C με 5°C .



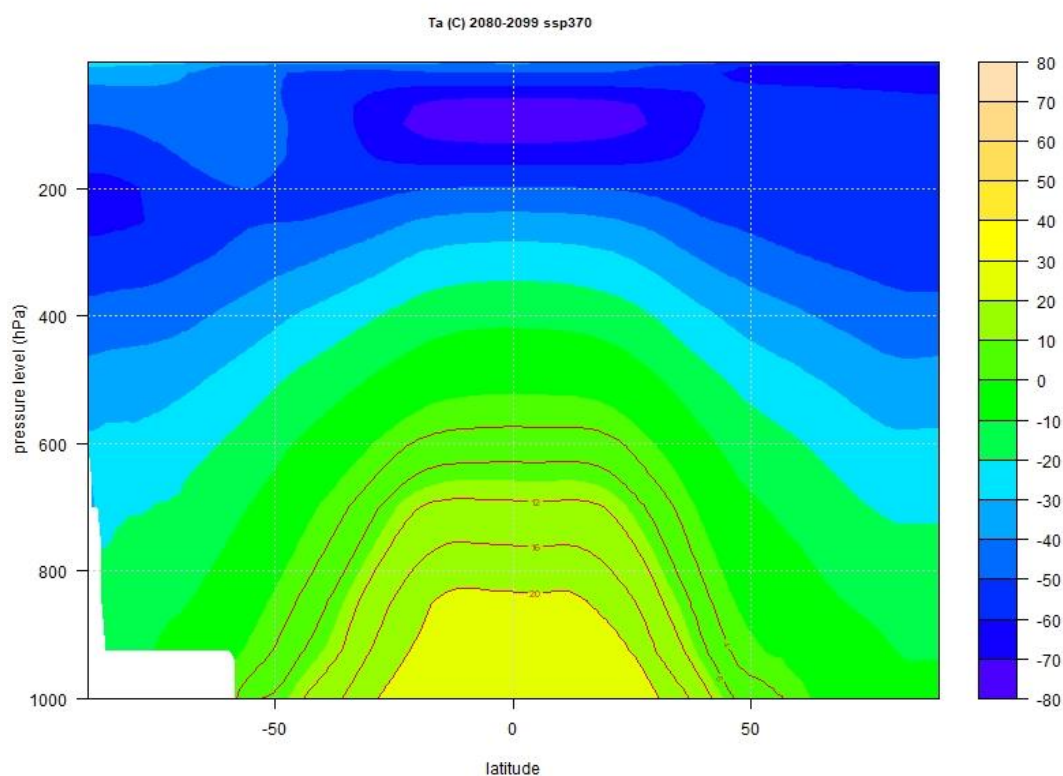
Σχήμα 14: Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Από το σχήμα 15 φαίνεται πως κατά την περίοδο μελέτης 2080-2099 η μέση ετήσια θερμοκρασία θα κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 7.8°C με 8.5°C. Επίσης, από την καμπύλη της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφανείας γίνεται αντιληπτό πως θα υπάρξουν ορισμένες αυξομειώσεις στις τιμές της θερμοκρασίας για την περίοδο μελέτης, αλλά γενικά θα επικρατήσει η αυξητική της τάση. Κατά το 2080, η θερμοκρασία θα βρίσκεται κοντά στους 8°C και θα έχει αυξητική πορεία μέχρι το 2094, όπου θα φτάσει κοντά στους 8.5°C. Έπειτα, το 2095, η θερμοκρασία φαίνεται πως θα μειωθεί ελαφρώς και μέχρι το 2099 θα φτάσει ξανά κοντά στους 8.5°C. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας για αυτήν την περίοδο μελέτης υπολογίστηκε στους 8°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.3°C που σημαίνει ότι οι τιμές της θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται από μικρό εύρος τιμών σε σχέση με την μέση τιμή της.



Σχήμα 15: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2015-2100 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Από το σχήμα 16 φαίνεται πως για την περίοδο 2080-2099 η κατανομή της θερμοκρασίας για κάθε συνδυασμό γεωγραφικού πλάτους και ύψους πίεσης θα είναι παρόμοια με την κατανομή κατά την περίοδο 2031-2050, καθώς παρατηρείται το ίδιο εύρος τιμών. Μία σημαντική διαφορά που παρατηρείται στο σχήμα 16 είναι ότι κατά την περίοδο 2080-2099 οι τιμές της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την περίοδο 2031-2050. Επίσης, το ύψος της τροπόπαυσης όπως βρέθηκε στην περίοδο 2031-2050, φαίνεται πως παραμένει το ίδιο και για την περίοδο 2080-2099.

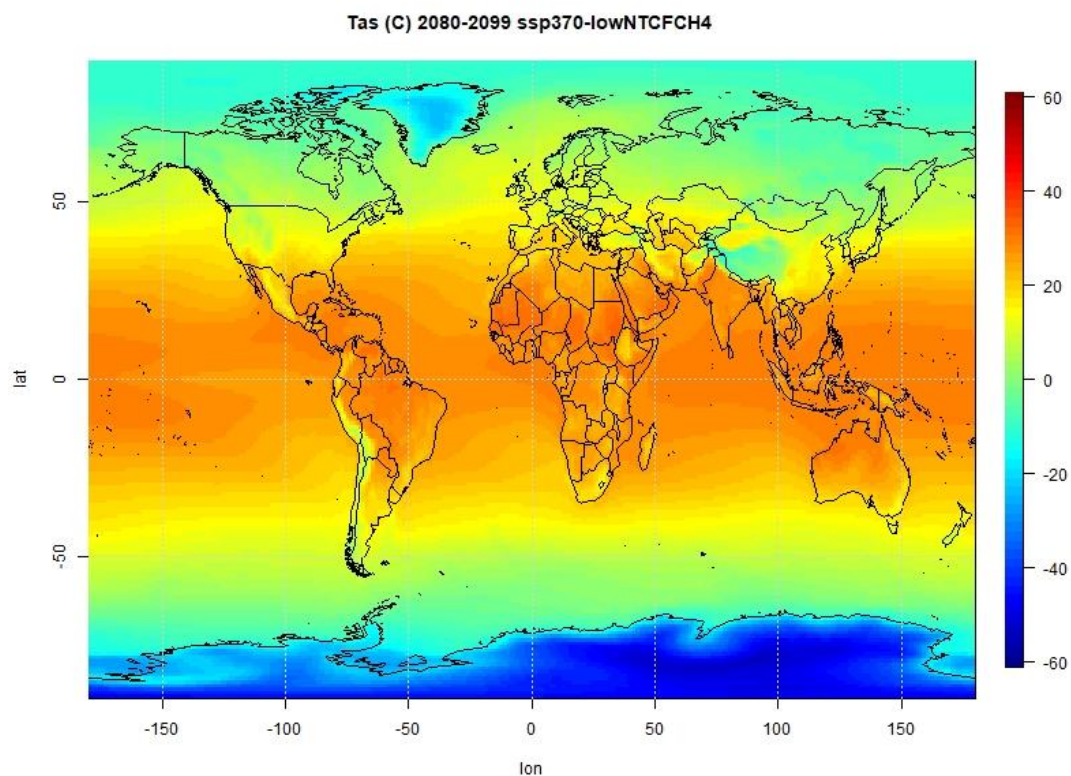


Σχήμα 16: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2080-2099.

➤ 2.3.2 Σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4

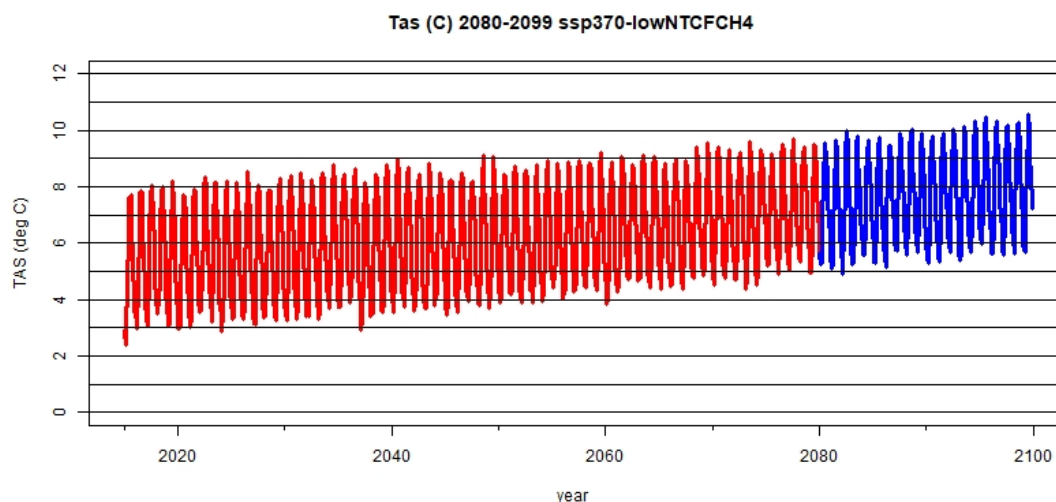
Από το σχήμα 17 φαίνεται πως για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 η παγκόσμια κατανομή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2080-2099 είναι παρόμοια με την περίοδο 2031-2050 (Σχ.9). Για την περίοδο 2080-2099 παρατηρούνται υψηλότερες τιμές στην θερμοκρασία επιφανείας στις περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους να σημειώνονται υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας σε σχέση με το 2031-2050. Το γεγονός ότι η θερμοκρασία επιφανείας κοντά στον Ισημερινό θα

είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο 2080-2099 φαίνεται από την πιο έντονη χρωματική διαβάθμιση στον Κόλπο του Μεξικού, στη Βραζιλία, στην Κεντρική Ασία αλλά και στην Αφρική και Νότια Ασία.



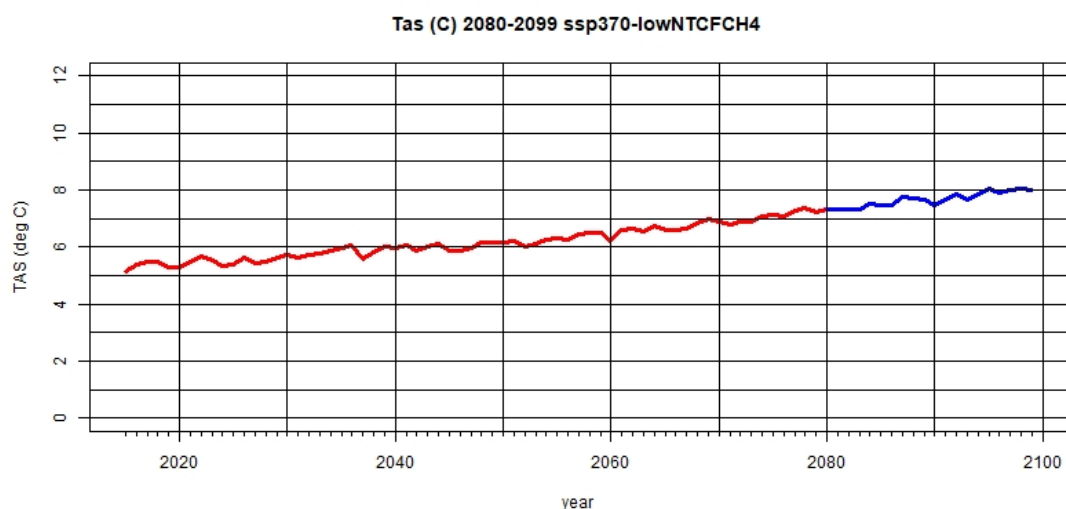
Σχήμα 17: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική τάση κατά την περίοδο 2015-2099. Αυτή η αυξητική τάση παρατηρείται και στην περίοδο μελέτης 2080-2099 σύμφωνα με το σχήμα 18. Για αυτήν την περίοδο και κατά το διάστημα 2080-2090 η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 5°C με 10°C, έπειτα από το 2090 και μετά η θερμοκρασία φαίνεται πως θα αυξηθεί κατά 0.5°C και το εύρος τιμών της πλέον θα είναι 5.5°C με 10.5°C. Η μέγιστη διαφορά των τιμών της θερμοκρασίας θα παραμείνει και για την περίοδο μελέτης στους 4°C με 5°C.



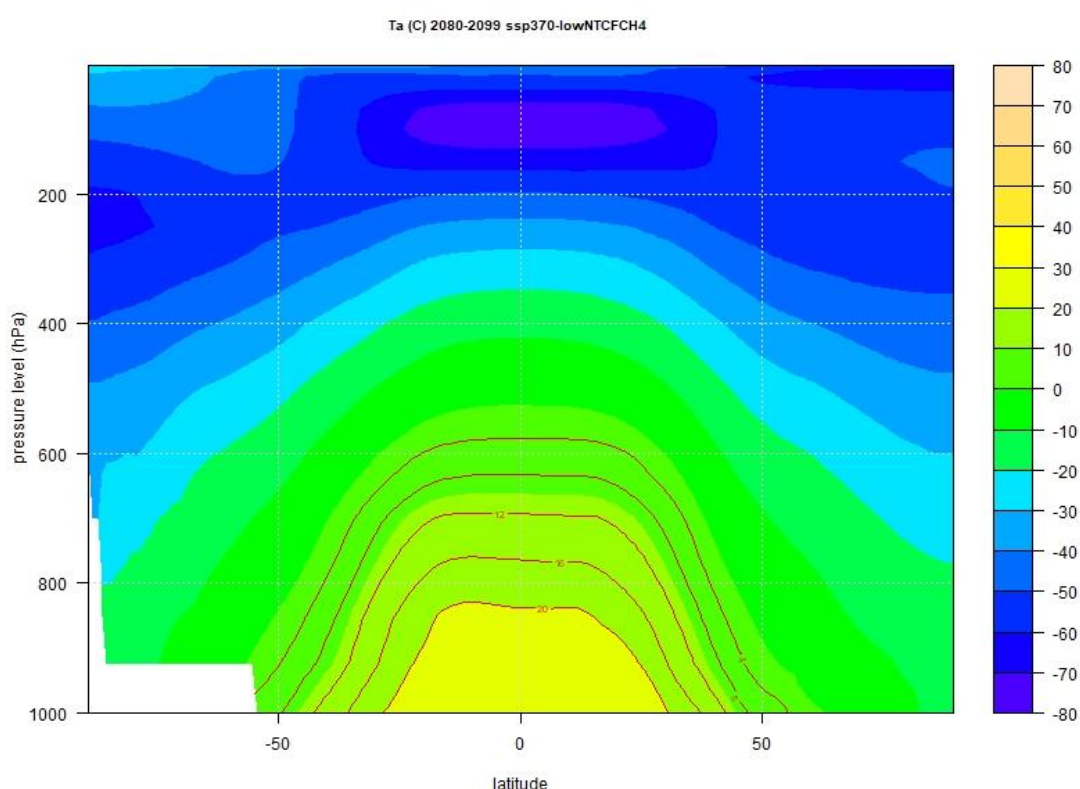
Σχήμα 18: Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας επιφανείας του πλανήτη την περίοδο 2015-2099 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Όπως ήδη έχει αναλυθεί στο σχήμα 11 για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH4 η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική πορεία. Κατά την περίοδο μελέτης 2080-2099 θα κυμαίνεται στους 7.3°C με 8°C ενώ, θα υπάρχουν και αρκετές αυξομειώσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 19. Αυτό φαίνεται από τις έντονες οξείες γωνίες στην διακύμανση των τιμών (ενδεικτικά όπως στις χρονιές 2090 και 2092). Η μέση τιμή της θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2080-2099 υπολογίστηκε στους 7.7°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.2°C. Αυτή η μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι οι τιμές της θερμοκρασίας θα έχουν μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



Σχήμα 19: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2015-2059 (κόκκινο χρώμα). Η περίοδος μελέτης επισημαίνεται με μπλε χρώμα.

Από το σχήμα 20 φαίνεται πως η κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο 2080-2099 θα είναι παρόμοια με την κατανομή της θερμοκρασίας για την περίοδο 2031-2050. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει γιατί εντοπίζεται το ίδιο εύρος τιμών. Μία σημαντική διαφορά που παρατηρείται στο σχήμα είναι ότι κατά την περίοδο 2080-2099 οι τιμές της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την περίοδο 2031-2050. Επίσης, το ύψος της τροπόπαυσης όπως βρέθηκε στην περίοδο 2031-2050, φαίνεται πως παραμένει το ίδιο και για την περίοδο 2080-2099. Ίσως, όμως κατά την περίοδο 2080-2099 η τροπόπαυση να βρίσκεται λίγο χαμηλότερα.



Σχήμα 20: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2080-2099.

2.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Όπως μέσω των σεναρίων SSP3-7.0, SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0-lowNTCFCH4 είναι εφικτή η μελέτη της επίδρασης τους στην θερμοκρασία, έτσι είναι δυνατόν να μελετηθεί και η επίδραση που θα έχει ο μετριασμός εκπομπών. Μέσω των σεναρίων αυτών είναι εφικτό να μελετηθεί πως θα επηρεάσει η μείωση των NMNTCF, του μεθανίου (CH₄) αλλά και όλων των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF), την θερμοκρασία επιφανείας και την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση.

Πιο αναλυτικά, η επίδραση που θα έχει η μείωση των NMNTCF στο κλίμα μπορεί να μελετηθεί μέσω της διαφοράς των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0. Δηλαδή, μέσω της διαφοράς ενός σεναρίου με ισχυρά μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα που δεν περιλαμβάνει το μεθάνιο, με ένα σενάριο με ασθενή μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα. Επίσης, η επίδραση που θα έχει η μείωση των εκπομπών του μεθανίου (CH₄) στην θερμοκρασία μπορεί να μελετηθεί μέσω της διαφοράς των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH₄ και SSP3-7.0-lowNTCF. Πρόκειται για δύο ισχυρά σενάρια ελέγχου της ποιότητας του αέρα όπου, το πρώτο συμπεριλαμβάνει τις μεταβολές του μεθανίου ενώ το δεύτερο όχι. Ομοίως, η επίδραση που θα έχει η μείωση των εκπομπών των NTCF (συμπεριλαμβανομένου και του μεθανίου) στο κλίμα μπορεί να μελετηθεί μέσω της διαφοράς των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH₄ και SSP3-7.0. Ουσιαστικά, πρόκειται για την διαφορά ενός σεναρίου με ισχυρά μέτρα ελέγχου της ποιότητας του αέρα με ένα σενάριο με ασθενή μέτρα ελέγχου.

Για τα τρία συγκεκριμένα σενάρια που αναφέρθηκαν και για περίοδο μελέτης 2031-2050 είναι δυνατόν να μελετηθεί η επίδραση που θα έχει στην θερμοκρασία η μείωση των NMNTCFs, του μεθανίου αλλά και όλων των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF). Για την περίοδο μελέτης 2080-2099 είναι δυνατόν να μελετηθεί μόνο η επίδραση που θα έχει η μείωση των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF).

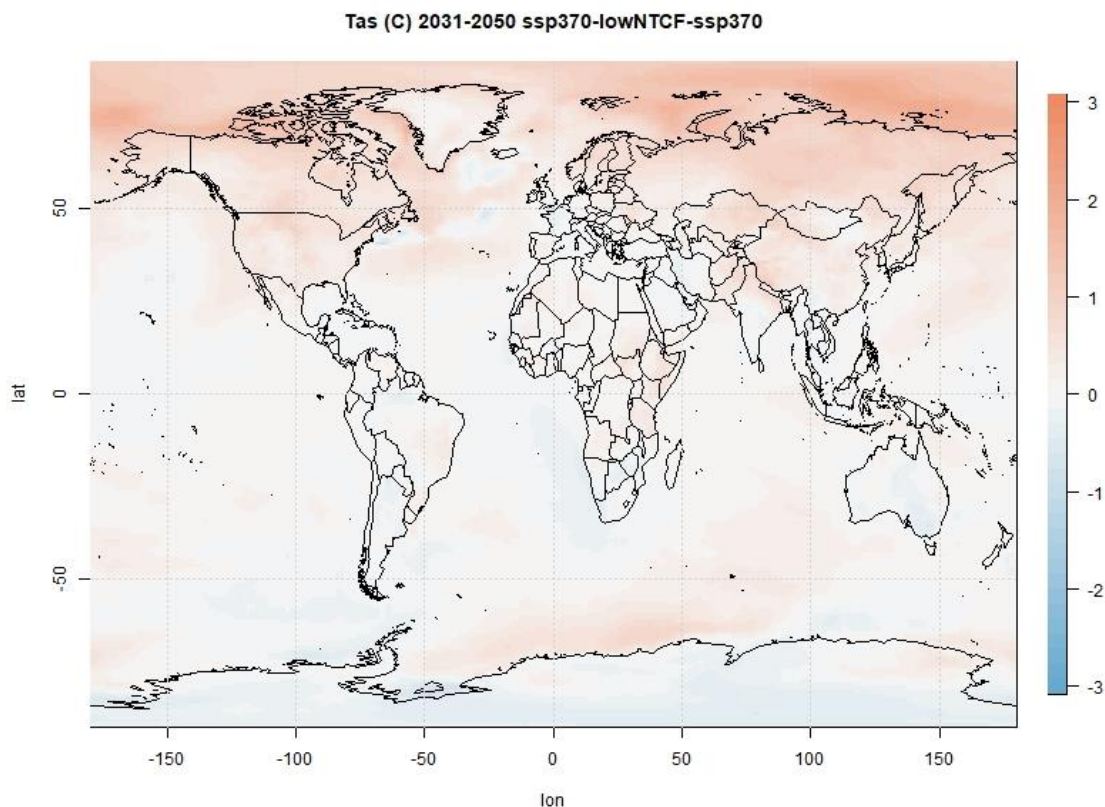
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2031-2050

➤ 3.1.1 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0

Η διαφορά αυτών των σεναρίων επιτρέπει την μελέτη της επίδρασης που θα έχει η μείωση των εκπομπών των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής εκτός του μεθανίου (NMNTCF), στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Η μελέτη της επίδρασης γίνεται για την περίοδο 2031-2050. Γενικά, η μείωση των NMNTCF θα προκαλέσει θέρμανση.

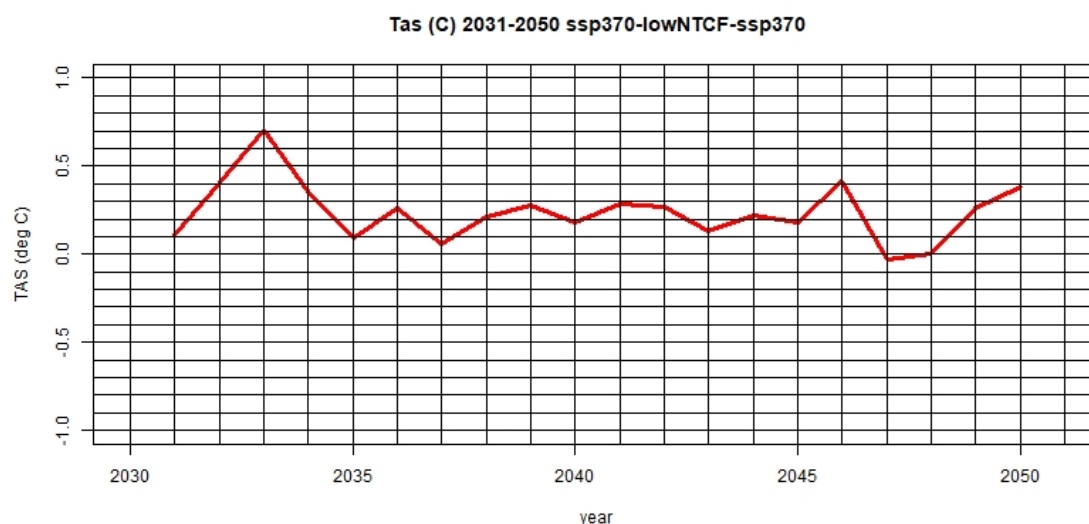
Από το σχήμα 21, φαίνεται πως η μείωση των εκπομπών των NMNTCF θα επιδράσει στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας με τέτοιο τρόπο που αυτή θα είναι κατά κύριο λόγο μεγαλύτερη από τους 0°C. Γενικά, στο νότιο ημισφαίριο η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι κοντά στους 0.5°C με 1°C, ενώ θα υπάρχουν και λίγες περιοχές όπου η θερμοκρασία θα είναι μικρότερη από τους 0°C. Στην Ανταρκτική η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C, ενώ σε ορισμένα σημεία θα πλησιάσει κοντά στους 0.5°C. Η μείωση των εκπομπών των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής εκτός του μεθανίου (NMNTCF) για την περίοδο 2031-2050 θα έχει ως αποτέλεσμα στο βόρειο ημισφαίριο η θερμοκρασία επιφανείας να είναι μεγαλύτερη από 0°C. Στις περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου με γεωγραφικό πλάτος μικρότερο από 50° βόρεια η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C. Για τις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από 50° βόρεια, παρατηρείται ότι, όσο θα αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος τόσο η θερμοκρασία επιφανείας θα αυξάνεται και θα πλησιάζει τους 2°C, όπως στην βόρεια Ασία. Όμως, στην Γροιλανδία η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι συγκριτικά χαμηλότερη και θα κυμαίνεται κοντά στους 0°C με 1°C περίπου.



Σχήμα 21 :Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας για την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0.

Από το σχήμα 22 φαίνεται η μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφανείας λόγω της μείωσης των εκπομπών των NMNTCF για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Για την περίοδο αυτή, η θερμοκρασία θα είναι κατά κύριο λόγο μεγαλύτερη από τους 0°C , εκτός από την χρονιά 2047. Επίσης, από το σχήμα παρατηρούνται αυξομειώσεις στις τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας. Πιο αναλυτικά, για το διάστημα 2031-2033 η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική πορεία και θα φτάσει τους 0.7°C , αυτή η τιμή της θερμοκρασίας θα είναι η μέγιστη κατά την περίοδο μελέτης. Έπειτα, μέχρι το 2035 η θερμοκρασία θα μειωθεί στους 0.1°C και μέχρι το 2037 θα έχει αυξομειώσεις ώσπου θα φτάσει ξανά στους 0.1°C . Για την διετία 2037-2039 η θερμοκρασία επιφανείας θα αυξηθεί και θα φτάσει κοντά στους 0.3°C . Στη συνέχεια, η θερμοκρασία θα έχει αυξομειώσεις μέχρι το 2045 όπου, τότε θα βρίσκεται στους 0.2°C . Έπειτα, το 2046 η θερμοκρασία θα καταγράψει την δεύτερη μεγαλύτερη τιμή της που θα είναι ίση με 0.4°C και το 2047 θα σημειώσει την χαμηλότερη τιμή της που θα βρίσκεται λίγο κάτω από τους 0°C . Μέχρι το τέλος της περιόδου μελέτης, το 2050, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξητική πορεία ώσπου το 2050 θα φτάσει κοντά στους 0.4°C . Επίσης, η μέση τιμή της θερμοκρασίας για την περίοδο 2031-2050

υπολογίστηκε στους 0.2°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.1°C . Αυτή η μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι οι τιμές της θερμοκρασίας θα έχουν μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



Σχήμα 22: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2031-2050 (κόκκινο χρώμα).

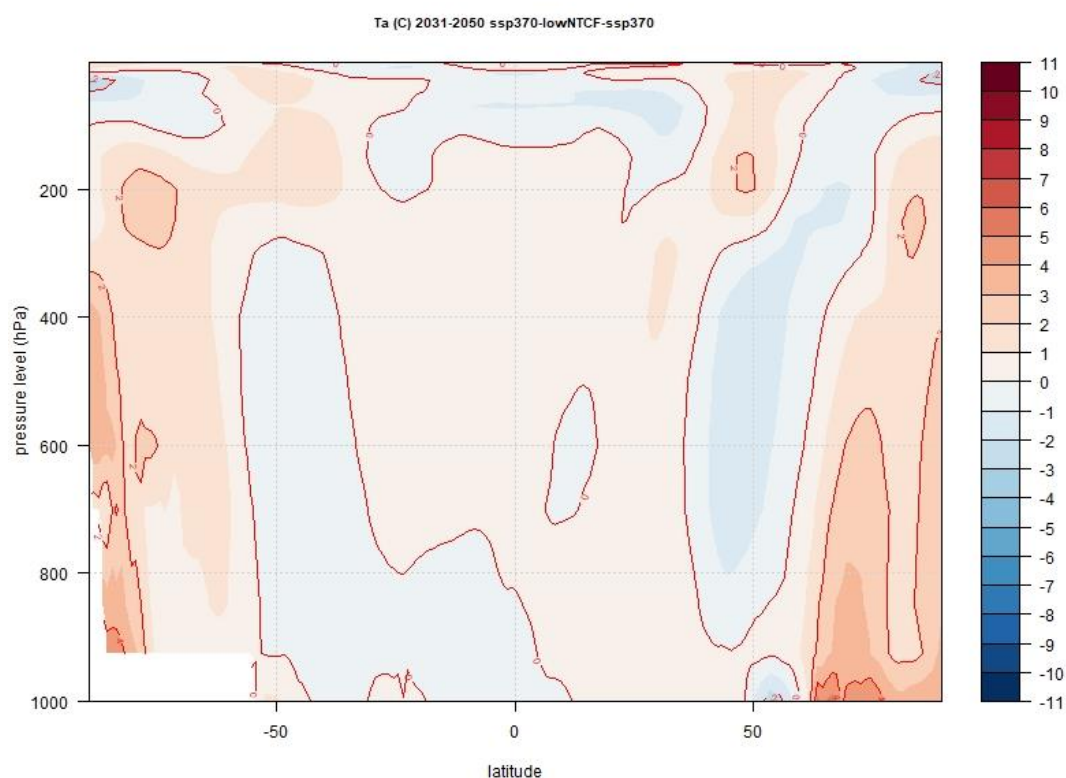
Το σχήμα 23 αφορά την κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση κατά την περίοδο 2031-2050. Η λευκή περιοχή στο σχήμα είναι αποτέλεσμα απουσίας τιμών. Η μείωση των NMNTCF θα προκαλέσει θέρμανση στην τροπόσφαιρα, καθώς από το σχήμα 23 φαίνεται πως η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με 5°C . Ορισμένες αρνητικές τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας που παρατηρούνται μπορεί να οφείλονται σε αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Οι αρνητικές τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται στους 0°C με -2°C .

Πιο αναλυτικά, στον Ισημερινό, στο ύψος των 1000hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C . Από το σχήμα 23 φαίνεται πως με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές και έτσι, από τα 800hPa έως και τα 200hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C . Σε ύψος μεγαλύτερο από τα 200hPa , η θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές, μάλιστα θα αποκτήσει μία ελάχιστη τιμή που θα κυμαίνεται στους -1°C με -2°C και έπειτα, θα αρχίσει να αυξάνεται.

Η μείωση των εκπομπών των NMNTCF θα επηρεάσει την κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση και στο νότιο ημισφαίριο. Πιο αναλυτικά, για το νότιο ημισφαίριο και 50° νότια γεωγραφικό πλάτος, σε ύψος 1000hPa η θερμοκρασία θα είναι μεγαλύτερη από τους 0°C . Με την αύξηση

του ύψους ατμοσφαιρικής πίεσης, παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας και έτσι στα 800hPa, 600hPa και 400hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C. Επίσης, στα 200hPa η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές με εύρος 1°C με 2°C.

Στο βόρειο ημισφαίριο, με 50° βόρεια γεωγραφικό πλάτος στα 1000hPa η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους -1°C με -2°C. Έπειτα, για μεγαλύτερα ύψη ατμοσφαιρικής πίεσης και, στα 800hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C, ενώ στα 600hPa και 400hPa θα βρίσκεται στους -1°C με -2°C. Στη συνέχεια στα 200hPa, η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές και θα κυμαίνεται στους 1°C με 2°C.



Σχήμα 23: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

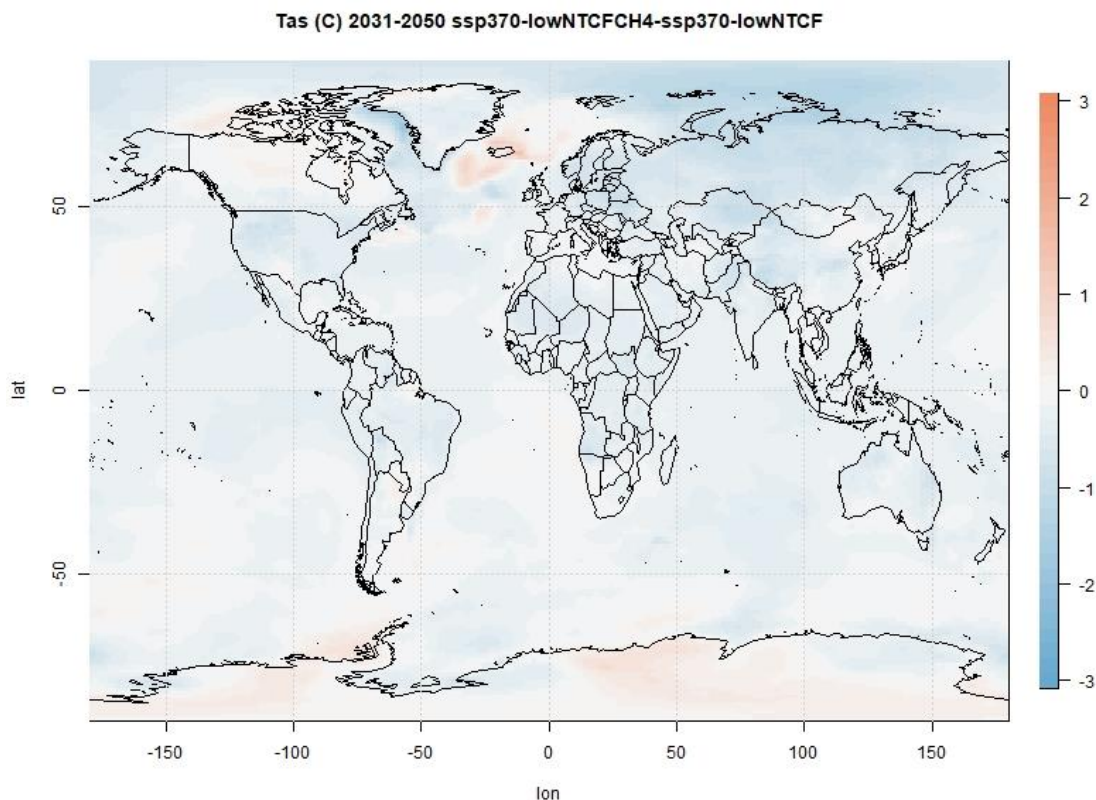
Η θέρμανση που παρατηρήθηκε ότι θα προκαλέσει ο μετριασμός των εκπομπών των NMNTCF οφείλεται στα aerosol, τα οποία επηρεάζουν το κλίμα είτε έμμεσα είτε άμεσα. Η άμεση επίδρασή τους στο κλίμα αφορά την σκέδαση και απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα ίδια τα σωματίδια των aerosol και, η άμεση αφορά την επίδραση τους στις ιδιότητες ακτινοβολίας των νεφών. Τα aerosol επηρεάζουν άμεσα το ισοζύγιο ακτινοβολίας της Γης μέσω της σκέδασης και απορρόφησης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας. Έτσι τα περισσότερα aerosol έχουν αρνητικό RF με αποτέλεσμα να προκαλούν ψύξη. Επομένως η μείωση των aerosol μέσω των NMNTCF έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.

➤ 3.1.2 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0-lowNTCF

Η διαφορά αυτών των σεναρίων επιτρέπει την μελέτη της επίδρασης που θα έχει η μείωση των εκπομπών του μεθανίου στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Η μείωση των εκπομπών του μεθανίου θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας.

Από το σχήμα 24 που αφορά την παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας φαίνεται πως αυτή κατά κύριο λόγο θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C. Όμως, θα υπάρχουν περιοχές όπως στην Ισλανδία, όπου η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0.5°C με 1°C. Στην Ανταρκτική, φαίνεται πως η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους -0.5°C με 0.5°C. Επίσης στην Αφρική κατά κύριο λόγο η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με -0.5°C. Τόσο στην Βόρεια όσο και Νότια Αμερική η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με -0.5°C, ενώ θα υπάρχουν και ορισμένες περιοχές με μεγαλύτερη και μικρότερη θερμοκρασία. Ενδεικτικά, στις βόρειες Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η θερμοκρασία επιφανείας θα πλησιάσει τους -1°C. Επίσης, από το σχήμα φαίνεται πως στον βόρειο Καναδά η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι στους 0.5°C περίπου.

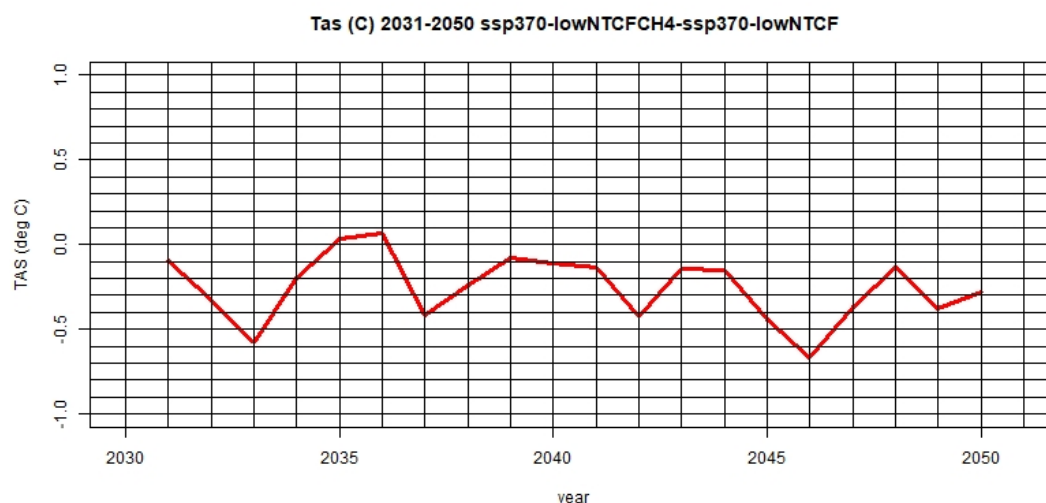
Η μείωση των εκπομπών του μεθανίου για την περίοδο 2031-2050 θα έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία επιφανείας στην Γροιλανδία να κυμαίνεται στους 0°C με -0.5°C ενώ, στην γειτονική Ισλανδία η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0.5°C με 1°C περίπου. Από το σχήμα 24 φαίνεται πως στην δυτική και νότια Ευρώπη η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κοντά στους 0°C με -0.5°C, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη η θερμοκρασία θα πλησιάζει τους -1°C. Στην βόρεια και κεντρική Ασία η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους -1°C με -2°C. Ενώ, στην νότια και δυτική Ασία η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 0°C με -1°C. Στην Αυστραλία κατά κύριο λόγο η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C.



Σχήμα 24: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας για την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0-lowNTCF.

Το σχήμα 25 παρουσιάζει την μεταβολή της μέσης ετήσιας τιμής της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Από το σχήμα φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφανείας θα βρίσκεται κυρίως κάτω από τους 0° , με εξαιρέσεις τις χρονιές 2035 και 2036, όπου θα βρίσκεται κοντά στους 0.1°C . Επίσης, το εύρος τιμών για την μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0.1°C με -0.7°C περίπου. Επιπλέον, από το σχήμα 25 φαίνεται πως θα υπάρχουν αυξομειώσεις στις τιμές της θερμοκρασίας επιφανείας. Μερικές από τις χαμηλότερες τιμές θα σημειωθούν τις χρονιές 2033 με -0.6°C και 2046 με -0.7°C . Στις αρχές του 2031 η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι στους -0.1°C και στη συνέχεια θα μειωθεί μέχρι τους -0.6°C το 2033. Έπειτα, θα αυξηθεί κατά 0.7°C και το 2036 θα βρίσκεται στους 0.1°C . Μέσα στον επόμενο χρόνο θα μειωθεί στους -0.4°C και στη συνέχεια, θα αυξηθεί και θα σταθεροποιηθεί στους -0.1°C για το διάστημα 2039-2041. Μέχρι το 2043, η θερμοκρασία επιφανείας θα έχει αυξομειώσεις μέχρι να σταθεροποιηθεί την διετία 2043-2044. Έπειτα, η θερμοκρασία θα μειωθεί μέχρι το 2046 και τότε θα καταγράψει την ελάχιστη τιμή της, ίση με -0.7°C . Τέλος, θα ακολουθήσει μία περίοδος αυξομειώσεων, ώσπου το 2050 η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι ίση με -0.3°C . Η

μέση τιμή της θερμοκρασίας για την συγκεκριμένη περίοδο μελέτης υπολογίστηκε στους -0.2°C και η τυπική απόκλιση θα είναι ίση με 0.1°C . Γενικά, όταν η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι μικρή τότε, οι τιμές της θερμοκρασίας θα έχουν μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.



Σχήμα 25: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2031-2050 (κόκκινο χρώμα).

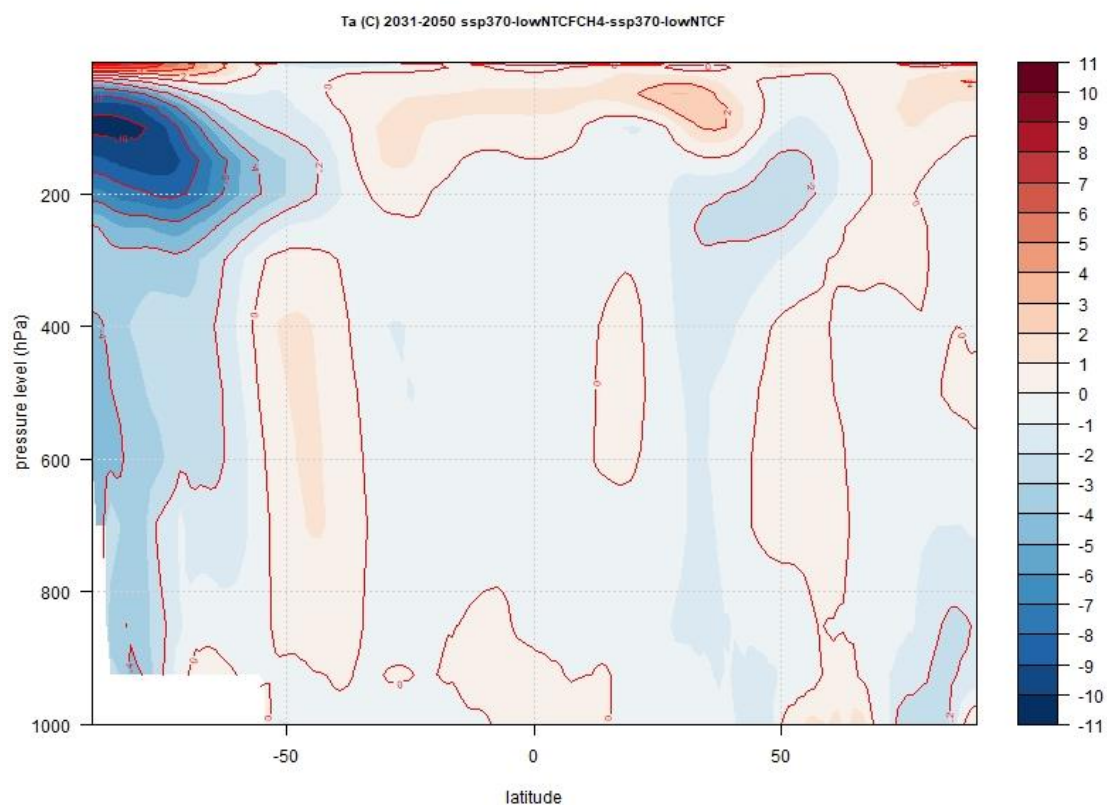
Στο σχήμα 26 φαίνεται η κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Η λευκή περιοχή στο σχήμα οφείλεται σε απουσία τιμών. Η μείωση του μεθανίου αναμένεται να προκαλέσει μείωση της θερμοκρασίας. Από το σχήμα 26, παρατηρούνται αρνητικές τιμές στην τροπόσφαιρα, καθώς μέχρι τα 200hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -4°C . Επίσης, αρνητικές τιμές της θερμοκρασίας θα υπάρχουν και στην στρατόσφαιρα. Σε ορισμένα σημεία του σχήματος, οι θετικές τιμές της θερμοκρασίας που παρατηρούνται οφείλονται πιθανόν σε αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας οι οποίες και προκαλούν θέρμανση.

Πιο αναλυτικά, από το σχήμα 26 φαίνεται πως για τον Ισημερινό για ατμοσφαιρική πίεση 1000hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C . Η μείωση των εκπομπών του μεθανίου προκαλεί ψύξη και, έτσι στα 800hPa, 600hPa, 400hPa και 200hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C . Για ατμοσφαιρική πίεση μεγαλύτερη από τα 200hPa, φαίνεται πως θα υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας που θα φτάσει στους 1°C με 2°C .

Στο νότιο ημισφαίριο και 50° νότια γεωγραφικό πλάτος, στα 1000hPa η θερμοκρασία θα είναι στους 0°C με -1°C , ενώ στα 800hPa και 600hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C . Στα 400hPa, η θερμοκρασία θα φτάσει στους 1°C με 2°C . Έπειτα

στα 200hPa, η θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές με εύρος τιμών -2°C με -3°C . Σε περιοχές που βρίσκονται νότια, με ακόμη μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος από τις 50° , για όλα τα ύψη της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές και, στα 150hPa θα σημειώσει μικρότερη αρνητική τιμή που θα είναι κοντά στους -11°C . Έπειτα φαίνεται πως η θερμοκρασία θα αρχίσει να αυξάνεται σταδιακά.

Στο βόρειο ημισφαίριο και 50° βόρεια γεωγραφικό πλάτος, στα 1000hPa η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους 0°C ενώ, σε ακόμη μεγαλύτερο ύψος ατμοσφαιρικής πίεσης στα 800hPa θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές και θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C . Με την περαιτέρω αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης παρατηρούνται θετικές τιμές της θερμοκρασίας η οποία, στα 600hPa και 400hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C . Έπειτα, στα 200hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους -2°C με -3°C περίπου. Για τις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από τις 50° βόρεια μέχρι τα 400hPa η θερμοκρασία θα βρίσκεται στους 0°C με -3°C και, έπειτα σε μεγαλύτερα ύψη θα κυμαίνεται στους 0°C με 2°C .



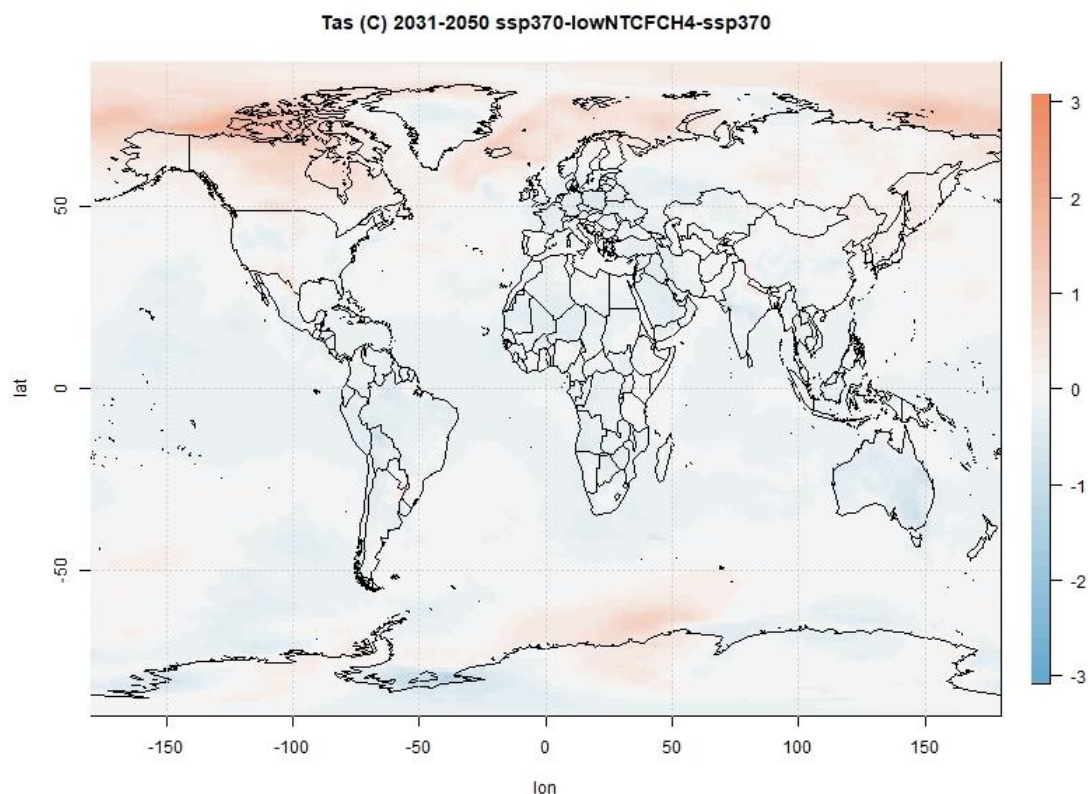
Σχήμα 26: Γ Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

➤ 3.1.3 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0

Η διαφορά αυτών των σεναρίων επιτρέπει την μελέτη της επίδρασης που θα έχει η μείωση των εκπομπών όλων των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού

χρόνου ζωής (NTCF) στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Ο μετριασμός των εκπομπών των NTCF θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας.

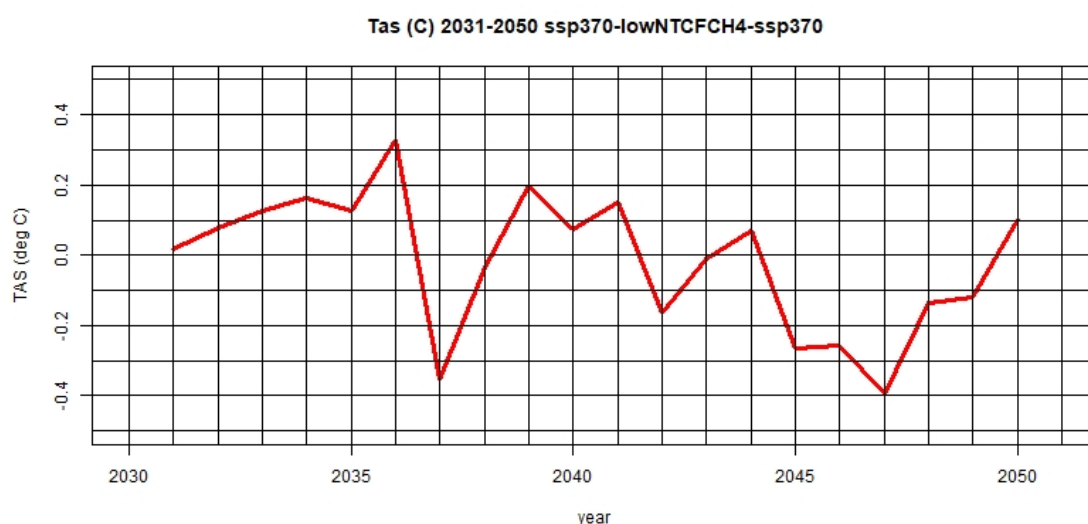
Το σχήμα 27 αφορά την παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Από το σχήμα, φαίνεται πως η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C. Παράλληλα, φαίνεται πως θα υπάρχουν και εξαιρέσεις, καθώς σε περιοχές όπως στον βόρειο Καναδά η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους 2°C. Οι περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία θα είναι μεγαλύτερη από τους 0°C φαίνεται πως θα είναι λιγότερες και σε περιορισμένα σημεία. Επίσης, από το σχήμα φαίνεται πως θα υπάρξει περιοχή στο νότιο ημισφαίριο και στην Ανταρκτική όπου η θερμοκρασία επιφανείας θα πλησιάσει τον 1°C.



Σχήμα 21: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας για την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0.

Το σχήμα 28 αναπαριστά την μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφανείας για το διάστημα μελέτης 2031-2050. Ο μετριασμός των εκπομπών των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCFs), θα επιδράσει στην θερμοκρασία με τέτοιο τρόπο που για την περίοδο μελέτης το εύρος τιμών της θα

είναι από -0.4°C έως 0.3°C . Κατά το διάστημα 2031-2034, η θερμοκρασία θα έχει αυξητική πορεία, έπειτα θα εμφανίσει αυξομειώσεις και το 2036 θα σημειώσει την μέγιστη τιμή της, η οποία θα είναι ίση με 0.3°C . Στη συνέχεια, στην διετία 2037-2039, η θερμοκρασία θα αυξηθεί και έπειτα, θα ακολουθήσει μία περίοδος αρκετών αυξομειώσεων μέχρι και το 2047, όπου η θερμοκρασία θα έχει την ελάχιστη τιμή της. Η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας το 2047 θα είναι ίση με -0.4°C . Από το 2047 και μέχρι το τέλος του 2050, η θερμοκρασία θα έχει αυξητική τάση και θα φτάσει το 2050 να είναι ίση με 0.1°C . Επίσης υπολογίστηκε ότι, η μέση τιμή της θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2031-2050 θα είναι ίση με -0.01°C και, με τυπική απόκλιση ίση με 0.2°C . Αυτή η μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι η θερμοκρασία θα έχει μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της για αυτήν την περίοδο.

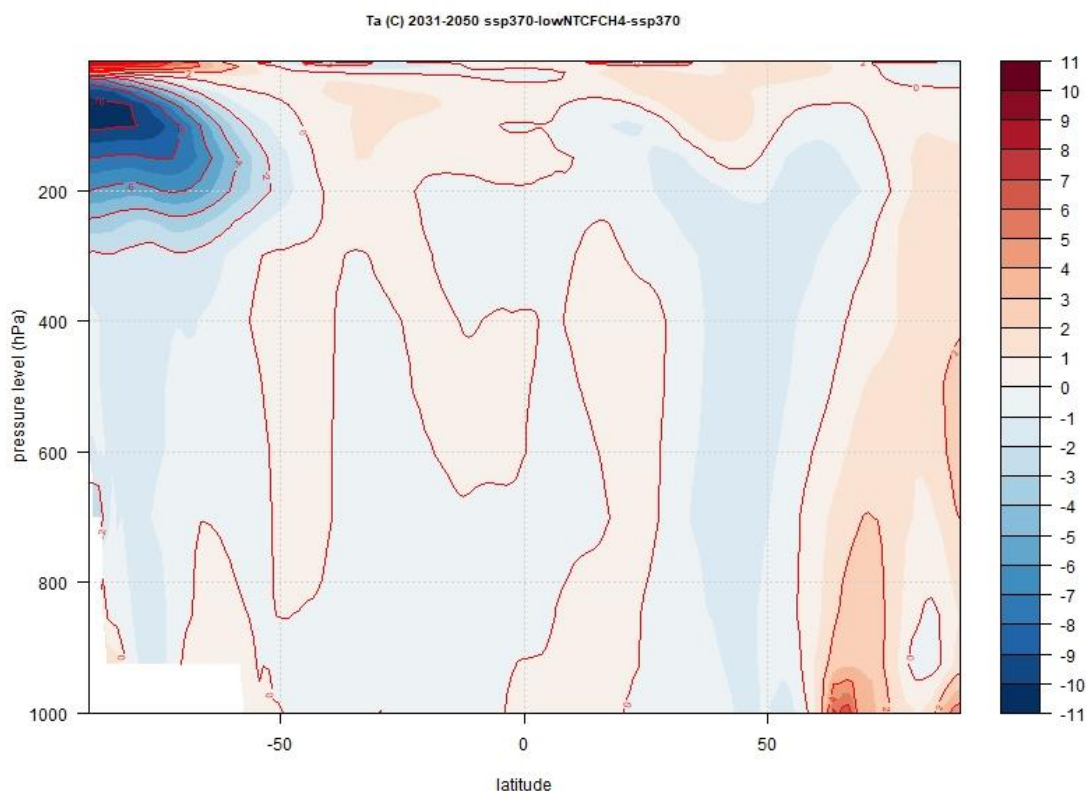


Σχήμα 22: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2031-2050 (κόκκινο χρώμα).

Το σχήμα 29 αναπαριστά την επίδραση που θα έχει ο μετριασμός των εκπομπών των NTCF στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Από το σχήμα φαίνεται πως η μείωση των NTCF σε κάποια ύψη ατμοσφαιρικής πίεσης θα προκαλέσει θέρμανση και σε άλλα ψύξη.

Σύμφωνα με το σχήμα 29, για τον Ισημερινό, η θερμοκρασία φαίνεται πως θα κυμαίνεται στους -1°C με 1°C για όλα τα ύψη ατμοσφαιρικής πίεσης. Για το βόρειο ημισφαίριο, μέχρι τα 200hPa περίπου, η θερμοκρασία θα είναι κοντά στους -1°C με -2°C . Για τις περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από 50° , από τα 1000hPa μέχρι τα 150hPa η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές που θα κυμαίνονται ανάμεσα στους 0°C με 6°C .

Στο νότιο ημισφαίριο, για 50° νότια γεωγραφικό πλάτος η θερμοκρασία στα 800hPa, 600hPa και 400hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C, ενώ στα 200hPa θα βρίσκεται στους -1°C με -2°C. Στις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από τις 50° νότια η θερμοκρασία σε όλα τα ύψη πίεσης θα έχει αρνητικές τιμές και, κοντά στα 150hPa θα σημειώσει μία ελάχιστη τιμή η οποία θα είναι κοντά στους -10°C με -11°C. Στη συνέχεια φαίνεται πως η θερμοκρασία θα αρχίσει να αυξάνεται.



Σχήμα 23: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2031-2050.

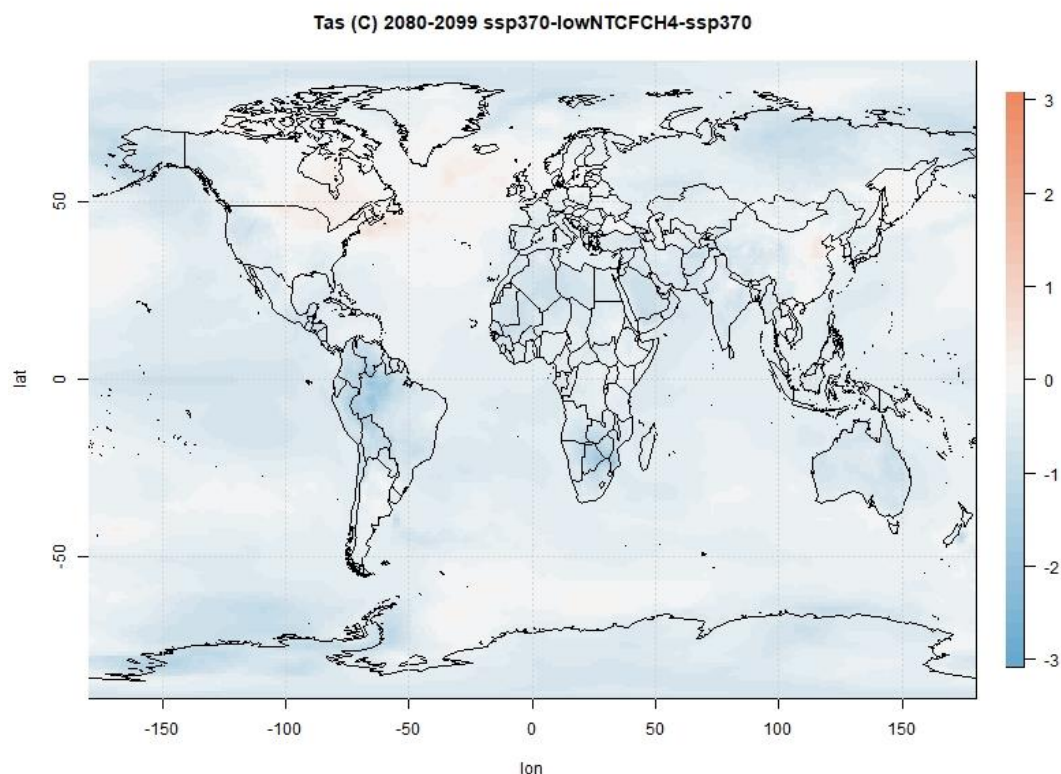
3.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 2080-2099

➤ 3.2.1 Διαφορά σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0

Η διαφορά αυτών των σεναρίων επιτρέπει την μελέτη της επίδρασης που θα έχει η μείωση των εκπομπών όλων των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF) στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο μελέτης 2080-2099. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η μείωση των εκπομπών των NTCF θα προκαλέσει την μείωση της θερμοκρασίας. Αυτό παρατηρήθηκε και κατά την περίοδο μελέτης 2031-2050 και, φαίνεται ότι κατά την περίοδο 2080-2099 θα υπάρξει πιο έντονη μείωση της θερμοκρασίας.

Το σχήμα 30 παρουσιάζει την παγκόσμια κατανομή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο μελέτης 2080-2099. Από το σχήμα 30 φαίνεται πως θα επικρατήσουν οι θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C, ενώ θα υπάρχουν ελάχιστες περιοχές όπου η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι περίπου ίση με 0.5°C. Η μείωση των εκπομπών των NTCF θα έχει ως αποτέλεσμα στην νότια και βόρεια Αφρική η θερμοκρασία επιφανείας να βρίσκεται στους -1°C με -2°C και, στην κεντρική Αφρική στους -0.5°C περίπου.

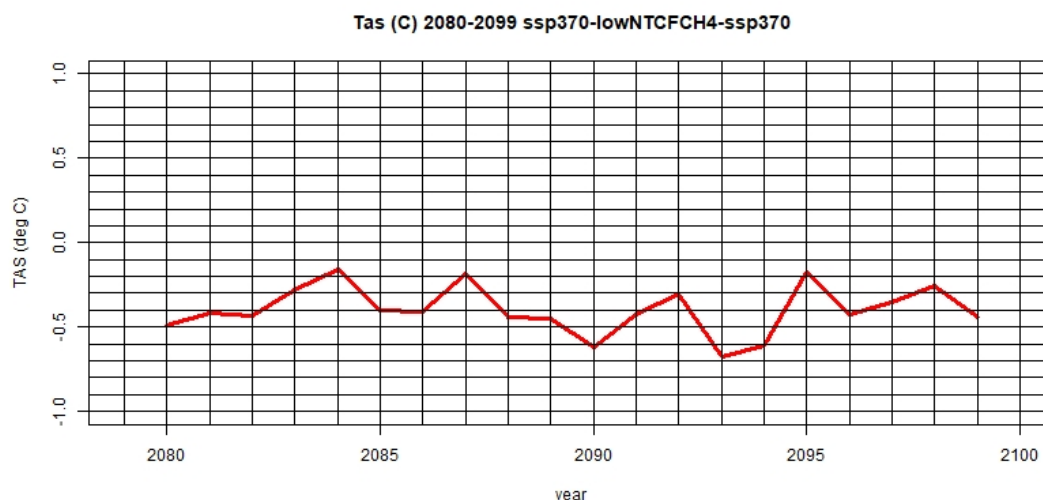
Στην Νότια Αμερική, για την περίοδο 2080-2099, στο βόρειο τμήμα της η θερμοκρασία θα βρίσκεται στους -1°C με -2°C, ενώ σε όλη την υπόλοιπη Νότια Αμερική η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με -0.5°C. Παράλληλα, στην Βόρεια Αμερική θα υπάρξουν θερμοκρασιακές αντιθέσεις. Στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της, η θερμοκρασία θα βρίσκεται κοντά στους 0°C με 0.5°C ενώ, στο νότιο και δυτικό τμήμα της η θερμοκρασία θα πλησιάσει τους -1°C. Επίσης, στην Γροιλανδία η θερμοκρασία θα κυμαίνεται κοντά στους 0°C με -0.5°C. Η θερμοκρασία στην Ευρώπη για την περίοδο 2080-2099 θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C. Το ίδιο παρατηρείται και στην Ασία, όπου η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους 0°C με -1°C εκτός από ορισμένες περιοχές. Ιδιαίτερα, στην ανατολική Κίνα η θερμοκρασία επιφανείας θα είναι κοντά στους 0.5°C ενώ, στην δυτική Κίνα θα κυμαίνεται στους -0.5°C με -1°C. Η Ινδία, αλλά κυρίως η Σαουδική Αραβία, φαίνεται πως θα έχουν αρνητικές τιμές θερμοκρασίας επιφανείας που θα κυμαίνονται στους -0.5°C με -1°C. Στην Αυστραλία, η θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους -0.5°C με -1°C και, στην Ανταρκτική η θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές που θα κυμαίνονται στους -0.5°C με -2°C.



Σχήμα 24: Η κατανομή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας για την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0.

Το σχήμα 31 αναπαριστά την μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2080-2099, που θα προκληθεί από την μείωση των εκπομπών των παραγόντων κλιματικού εξαναγκασμού μικρού χρόνου ζωής (NTCF).

Από το σχήμα 31 φαίνεται πως θα υπάρχουν αυξομειώσεις στην θερμοκρασία επιφανείας κατά την περίοδο 2080-2099. Επίσης, φαίνεται ότι η θερμοκρασία θα κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών από -0.7°C έως -0.2°C . Κατά την διάρκεια της διετίας 2080-2082, η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους -0.5°C και στην συνέχεια θα ακολουθήσει μία αυξητική πορεία, Έτσι, θα φτάσει το 2084 να έχει την υψηλότερη τιμή της που θα πλησιάζει τους -0.2°C . Έπειτα, θα ακολουθήσει και πάλι μία περίοδος αυξομειώσεων μέχρι το 2093, καθώς τότε η θερμοκρασία θα σημειώσει την χαμηλότερη τιμή της που θα είναι ίση με -0.7°C . Τα επόμενα χρόνια, η θερμοκρασία θα αυξηθεί σταδιακά και το 2095 θα βρίσκεται κοντά στους -0.2°C . Έπειτα, η καμπύλη της θερμοκρασίας θα έχει διακυμάνσεις, ώσπου το 2099 η θερμοκρασία θα φτάσει κοντά στους -0.5°C . Επίσης, η μέση τιμή της θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2080-2099 υπολογίστηκε στους -0.3°C με τυπική απόκλιση ίση με 0.1°C . Η μικρή τιμή της τυπικής απόκλισης που υπολογίστηκε σημαίνει ότι η θερμοκρασία θα έχει μικρό εύρος τιμών ως προς την μέση τιμή της.

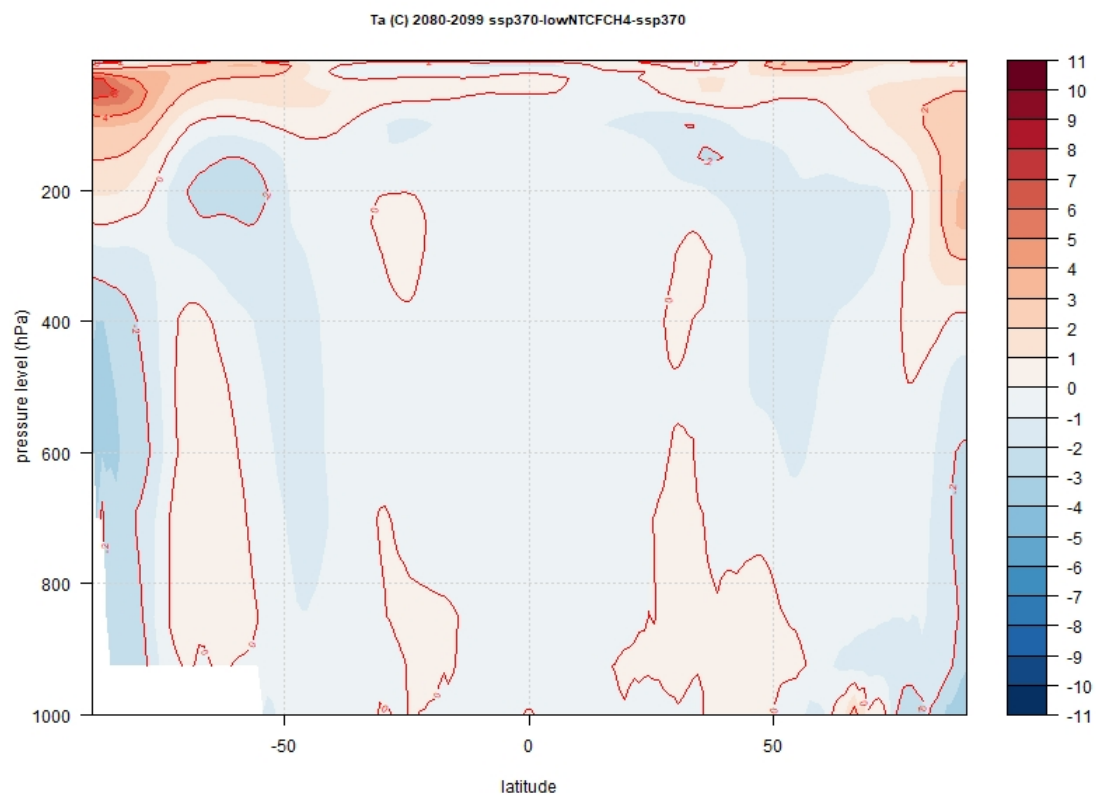


Σχήμα 25: Μέση τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2080-2099 (κόκκινο χρώμα).

Στο σχήμα 32 παρουσιάζεται η θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Το σχήμα αφορά την χρονική περίοδο μελέτης 2080-2099. Από το σχήμα 32 γίνεται αντιληπτό ότι η μείωση των εκπομπών των NTCF θα έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές τιμές θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα. Αυτό παρατηρήθηκε και για την περίοδο 2031-2050 αλλά είναι περισσότερο εμφανές κατά την περίοδο 2080-2099.

Σαν γενική εικόνα, φαίνεται πως τόσο στον Ισημερινό, όσο και στις περιοχές βόρεια και νότια η θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση θα έχει μία παρόμοια κατανομή. Δηλαδή, η θερμοκρασία θα έχει αρνητικές τιμές που θα κυμαίνονται από 0°C έως και -2°C. Θα υπάρχουν ορισμένες εξαιρέσεις όπου η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με 1°C. Αυτά τα σημεία που υποδηλώνουν θέρμανση οφείλονται σε αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Από το σχήμα 32 φαίνεται πως από τα 200hPa και έπειτα, η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές.

Πιο αναλυτικά, στις περιοχές με 50° βόρεια γεωγραφικό πλάτος, από τα 1000hPa έως και 800hPa η θερμοκρασία θα βρίσκεται στους 0°C με 1°C. Έπειτα, μέχρι τα 150hPa η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -2°C, ενώ για μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές. Για τις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από τις 50° βόρεια οι αρνητικές τιμές της θερμοκρασίας παρατηρούνται μέχρι τα 400hPa και 200hPa. Με βάση το σχήμα 32, στο νότιο ημισφαίριο για τις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 50°, η θερμοκρασία μέχρι τα 200hPa θα κυμαίνεται στους 0°C με -2°C, ενώ με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης η θερμοκρασία θα έχει θετικές τιμές.



Σχήμα 26: Κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 2080-2099.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις προηγούμενες σελίδες αναλύθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση μελλοντικών κλιματικών σεναρίων μετριασμού εκπομπών. Τα δεδομένα από αυτά τα σεναρία αναλύθηκαν με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση που θα έχουν στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Η μελέτη των δεδομένων έγινε για τις δύο περιόδους 2031-2050 και 2080-2099. Επίσης, έγινε προσπάθεια ερμηνείας της επίδρασης που θα έχει η μείωση του μεθανίου, των NMNTCF αλλά και των NTCTF στη θερμοκρασία επιφανείας και θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για τις δύο περιόδους μελέτης. Στις επόμενες παραγράφους συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Για το σενάριο SSP3-7.0, τόσο στην περίοδο μελέτης 2031-2050, όσο και στην 2080-2099 η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας θα έχει μία παρόμοια ζωνική κατανομή. Στις περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού η θερμοκρασία θα βρίσκεται κοντά στους 20°C περίπου, ενώ όσο το γεωγραφικό πλάτος θα αυξάνεται η θερμοκρασία επιφανείας θα μειώνεται. Έτσι, κοντά στις 50° γεωγραφικό πλάτος θα αρχίσουν να καταγράφονται τιμές κοντά στους 0°C με 10°C και σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη αρνητικές τιμές της θερμοκρασίας. Το ίδιο μοτίβο κατανομής εντοπίζεται και στην περίοδο μελέτης 2080-2099, μόνο που συγκριτικά θα υπάρχουν πιο υψηλές τιμές θερμοκρασίας που θα πλησιάζουν τους 30°C στον Ισημερινό. Επίσης, η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας για την περίοδο 2031-2050 θα κυμαίνεται στους 5°C με 6°C, ενώ για την περίοδο 2080-2099 στους 7°C με 8°C. Η θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση παρουσιάζει ομοιότητες στις 2 περιόδους μελέτης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι, το ύψος της τροπόπαυσης θα παραμείνει σταθερό και, ότι οι περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού μικρής ατμοσφαιρικής πίεσης θα έχουν θερμοκρασίες που στον Ισημερινό θα υπάρχουν σε μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση.

Για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCTF και την περίοδο 2031-2050, την μόνη που μπορεί να μελετηθεί από τις δύο περιόδους μελέτης, φαίνεται πως υπάρχει μία παρόμοια κατανομή κατά ζώνες για την παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας. Δηλαδή, κοντά στον Ισημερινό θα υπάρχουν υψηλότερες θερμοκρασίες, που θα κυμαίνονται στους 20°C με 25°C, και με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους η θερμοκρασία θα μειωθεί και στα δύο ημισφαίρια. Επιπλέον, η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας για

αυτήν την περίοδο θα κυμαίνεται στους 5°C με 6°C. Η θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCF είναι παρόμοια με το σενάριο SSP3-7.0. Και σε αυτή την περίπτωση φαίνεται πως, οι περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού μικρής ατμοσφαιρικής πίεσης θα έχουν θερμοκρασίες που στον Ισημερινό θα υπάρχουν σε μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση.

Για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH₄, για την περίοδο 2031-2050 η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας εκατέρωθεν του Ισημερινού θα είναι κοντά στους 20°C με 25°C, ενώ κατά την χρονική περίοδο 2080-2099 η θερμοκρασία θα είναι ελαφρώς μεγαλύτερη. Ομοίως με τα προηγούμενα σενάρια, με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους η θερμοκρασία θα μειωθεί και θα καταγράψει αρνητικές τιμές. Επίσης, για την περίοδο 2031-2050 η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας θα είναι στους 5°C με 6°C και, για το 2080-2099 στους 7°C με 8°C. Η κατανομή της θερμοκρασίας ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση για το σενάριο SSP3-7.0-lowNTCFCH₄ θα είναι παρόμοια για τις δύο περιόδους μελέτης. Παρατηρήθηκε ότι το ύψος της τροπόπαυσης θα παραμείνει σταθερό κατά την διάρκεια αυτών των δύο περιόδων μελέτης. Επίσης, όπως αναλύθηκε και στα προηγούμενα σενάρια φαίνεται πως, οι περιοχές εκατέρωθεν του Ισημερινού με μικρή ατμοσφαιρική πίεση θα έχουν θερμοκρασίες που στον Ισημερινό θα υπάρχουν σε μεγαλύτερη ατμοσφαιρική πίεση.

Η διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCF και SSP3-7.0 έδωσε πληροφορίες για την επίδραση που θα έχει η μείωση των NMNTCF στην θερμοκρασία για την περίοδο μελέτης 2031-2050. Η μείωση των NMNTCF αναμένεται να προκαλέσει θέρμανση αλλά και βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Ειδικότερα, η παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας θα είναι μεγαλύτερη από τους 0°C, με τις μεγαλύτερες τιμές μέχρι και τους 2°C να καταγράφονται στο βόρειο ημισφαίριο. Για την περίοδο μελέτης 2031-2050, η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας επιφανείας θα κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 0.7°C με -0.1°C. Η μείωση των NMNTCF εκτός από την επιφανειακή θέρμανση θα προκαλέσει και θέρμανση της τροπόσφαιρας, καθώς από την κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης φαίνεται πως η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με 3°C περίπου, εκτός ορισμένων εξαιρέσεων με αρνητικές τιμές που οφείλονται σε αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Η επίδραση που θα έχει η μείωση του μεθανίου στην θερμοκρασία επιφανείας και στην θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση μελετήθηκε από την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH₄ και SSP3-7.0-

lowNTCF. Γενικά, η μείωση των εκπομπών του μεθανίου θα έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας του αέρα αλλά και την ελάττωση της θερμοκρασίας. Η χρονική περίοδος κατά την οποία έγινε η μελέτη είναι 2031-2050. Η μείωση του μεθανίου θα επιδράσει σε μεγάλο βαθμό στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας, της οποίας οι τιμές θα κυμαίνονται από 0°C έως -2°C. Η θερμοκρασία επιφανείας κοντά στον Ισημερινό θα κυμαίνεται περίπου στους -0.5°C. Με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους στο νότιο ημισφαίριο η θερμοκρασία θα βρίσκεται στους 0°C με -0.5°C και στο βόρειο ημισφαίριο κοντά στους -0.5°C με -2°C, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων. Η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας θα κυμαίνεται στους -0.7°C με 0.1°C. Εκτός από την ψύξη που αναμένεται να προκαλέσει στην επιφάνεια ο μετριασμός των εκπομπών του μεθανίου, ψύξη θα σημειωθεί και στην τροπόσφαιρα. Από την κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης φαίνεται πως η θερμοκρασία θα κυμαίνεται στους 0°C με -2°C, ενώ οι θετικές τιμές της θα οφείλονται σε αλλαγές στην γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Η ενσωμάτωση του μεθανίου στις πολιτικές μετριασμού των εκπομπών φαίνεται πως αντισταθμίζει την αύξηση της θερμοκρασίας που έχει ήδη αναφερθεί (στην περίπτωση της μείωσης των NMNTCF). Γενικά, η μείωση των NTCF θα συντελέσει στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα και ιδίως όσον αφορά το όζον. Η μείωση των NTCF θα οδηγήσει σε μία παγκόσμια ψύξη. Η επίδραση που θα έχει η μείωση όλων των NTCF στην θερμοκρασία μελετήθηκε από την διαφορά των σεναρίων SSP3-7.0-lowNTCFCH4 και SSP3-7.0. Η μελέτη έγινε για τις δύο χρονικές περιόδους 2031-2050 και 2080-2099. Επομένως, από την διαφορά των δύο σεναρίων φαίνεται πως η μείωση των NTCF θα έχει ως αποτέλεσμα για το 2031-2050 η θερμοκρασία επιφανείας να κυμαίνεται στους 0°C με -1°C και, σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη-όπως στο βόρειο ημισφαίριο θα κυμαίνεται στους 0°C με 0.5°C. Για την περίοδο 2080-2099 θα επικρατήσουν αρνητικές τιμές στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφανείας με ένα εύρος από 0°C έως -2°C. Επίσης, η μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας για την περίοδο 2031-2050 θα κυμαίνεται στους 0.3°C με -0.4°C και, κατά το 2080-2099 θα βρίσκεται στους -0.2°C με -0.7°C. Η μείωση των εκπομπών των NTCF θα επηρεάσει και την θερμοκρασία ανά γεωγραφικό πλάτος και ανά ατμοσφαιρική πίεση. Κατά την περίοδο 2031-2050 από την κατακόρυφη τομή της ατμοσφαιρικής πίεσης φαίνεται πως η θερμοκρασία θα βρίσκεται στους 0°C με -2°C και θα υπάρχουν και ορισμένες περιοχές με θετικές τιμές. Έπειτα, κατά την περίοδο 2080-2099 στην τροπόσφαιρα η ψύξη θα είναι πιο εκτεταμένη σε σχέση με την περίοδο

2031-2050 και οι θερμές περιοχές που δημιουργούνται λόγω αλλαγών στην γενική κυκλοφορία θα είναι περιορισμένες.

Τέλος, από την παρούσα διπλωματική εργασία φαίνεται πως αν οι εκπομπές του μεθανίου (CH_4) μειωθούν ταυτόχρονα με των NMNTCF, τότε η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μπορεί να αντισταθμιστεί. Φυσικά, η μείωση της θερμοκρασίας ισχύει και για την μείωση μόνο των εκπομπών του μεθανίου. Εν κατακλείδι, είναι εμφανές πως τα κλιματικά οφέλη από τον μετριασμό του μεθανίου είναι πολλαπλά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Ζάνης Π. (2014). Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας. Θεσσαλονίκη. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας.

Λαζαρίδης Μ. (2010). Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας (2^η έκδοση). Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιόλα.

Τολικά Κ. (2011). Σημειώσεις για τις Κλιματικές Μεταβολές. Θεσσαλονίκη. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας.

Ξενόγλωσση

Allen, Robert J., Horowitz, Larry W., Naik, Vaishali., Oshima, Naga., O'Connor, Fiona M., Turnock, Steven., Shim, Sungbo., Le Sager, Philippe., van Noije, Twan., Tsigaridis, Kostas., Bauer, Susanne E., Sentman, Lori T., John, Jasmin G., Broderick, Conor., Deushi, Makoto., Folberth, Gerd A., Fujimori Shinichiro and Collins William J.; Significant climate benefits from near-term climate forcer mitigation in spite of aerosol reductions, *Environmental Research Letters*, 16.3 (2021): 034010.

Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and NearTerm Information. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–672, doi:10.1017/9781009157896.006.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M.: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>, 2016.

Szopa, S., V. Naik, B. Adhikary, P. Artaxo, T. Berntsen, W.D. Collins, S. Fuzzi, L. Gallardo, A. Kiendler-Scharr, Z. Klimont, H. Liao, N. Unger, and P. Zanis, 2021: Short-Lived Climate Forcers. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 817–922, doi:10.1017/9781009157896.008.

Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο

<https://eos.org/editors-vox/methane-climate-change-and-our-uncertain-future> (Μεθάνιο, Κλιματική αλλαγή και το αβέβαιο μέλλον-Μάϊος 2018)

<https://www.epa.gov/gmi/importance-methane> (United States Environmental Protection Agency)

<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> United States Environmental Protection Agency)

<https://climatescenarios.org/primer/socioeconomic-development/> (The Senses Toolkit)

<https://climatedata.ca/resource/understanding-shared-socio-economic-pathways-ssps/> (Climate Data for a resilient Canada)