ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενα γραφικό περιβάλλον για την αξιολόγηση πολιτικών μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Σολωμός Ιάσων

Επιβλέπων: Κανέλλος Φώτης

Χανιά, Μάρτιος, 2014

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής στο Matlab για το πρόγραμμα PAGE που χρησιμεύει στην πολυπαραμετρική εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής και των οικονομικών επιπτώσεών της. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το εξειδικευμένο για αυτή τη χρήση εργαλείο του Matlab GUIDE, και γράφοντας κώδικα συσχέτισης των μεταβλητών του γραφικού περιβάλλοντος με αυτών του PAGE. Κάτι που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ουσιαστικά αυτό το γραφικό περιβάλλον προορίζεται ακόμη και για όχι πολύ έμπειρους χρήστες με μέτρια γνώση της δομής και των μεταβλητών του προγράμματος PAGE.

Αφού ο χρήστης δώσει τις επιθυμητές τιμές των μεταβλητών εισόδου, το πρόγραμμα αυτό μπορεί να τις αποθηκεύσει σε αρχεία κειμένου (txt files) και με αυτά να τρέξει ο αλγόριθμος του PAGE, ώστε να υπολογιστεί το κόστος διαφόρων πολιτικών απομείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 4 κύρια κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται εισαγωγικές γνώσεις για το κλίμα, την κλιματική αλλαγή, τον μηχανισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου και παρατίθενται οι λόγοι που εντείνουν το φαινόμενο. Εξηγούνται πολλές από τις επιπτώσεις που επιφέρει στον άνθρωπο και όχι μόνο (οικοσυστήματα παραδείγματος χάρη) η κλιματική αλλαγή και τέλος παρατίθενται οι τρόποι απομείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

- Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης συνολικά, η πορεία και η εξέλιξη τους και οι προκλήσεις που καλούνται να απαντήσουν. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζεται το μοντέλοPAGE09, χρησιμοποιώντας τα μεγέθη και τις εξισώσεις που το απαρτίζουν.

- Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη και κλιματικού μοντέλου PAGE09 που αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα MATLAB. Αρχικά δίνονται οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτού του γραφικού περιβάλλοντος, μετά ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση του GUIDE, δηλαδή του εργαλείου της MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του προγράμματος και τέλος παρουσιάζεται το πρόγραμμα στο σύνολό του.

- Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται ενδεικτικά αποτελέσματα από τα τρεξίματα του μοντέλου PAGE09 και ερμηνεύονται. Τέλος παρατίθενται και κάποιες σκέψεις για τις προοπτικές συνέχισης της εργασίας.

1. Κλίμα

1.1 Κλιματική αλλαγή

Ως κλίμα γενικώς θεωρείται το σύνολο των καιρικών συνθηκών σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Το κλίμα μπορεί να μετρηθεί κατάλληλα σε πολλές γεωγραφικές κλίμακες π.χ. πόλεις, χώρες ή σε ολόκληρη τη Γη, με χρήση της στατιστικής για την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας, του μέσου αριθμού βροχερών ημερών, τη συχνότητα ξηρασιών κτλ. Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε αλλαγές σε αυτού του είδους τα στατιστικά μεγέθη στο πέρασμα των ετών, δεκαετιών ή και εκατονταετιών.

Η κλιματική επιστήμη, όπως όλες οι επιστήμες, είναι μια διαδικασία συλλογικής μάθησης που βασίζεται στη λήψη και ανάλυση δεδομένων, τη δημιουργία υποθέσεων και την ανάπτυξη μοντέλων για να μελετηθούν σημαντικές κλιματικές διεργασίες. Η επιστημονική γνώση μεγαλώνει με το χρόνο όσο παρατηρούμε καινούρια πράγματα και λαμβάνουμε καινούρια δεδομένα. Η σιγουριά επίσης για ένα αποτέλεσμα μεγαλώνει καθώς όλο και περισσότερες μετρήσεις οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα. Οσον αφορά τη κλιματική αλλαγή, οι επιστήμονες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές από τη καύση ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε αυξήσεις της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης.

Και πώς ξέρουμε ότι η Γη έχει θερμανθεί; Οι επιστήμονες ξεκίνησαν να παίρνουν μετρήσεις της θερμοκρασίας της Γης περίπου από το 1880. Αυτά τα δεδομένα εξελίχθηκαν με την τεχνολογία και σήμερα τοπικές θερμοκρασίες καταγράφονται από θερμόμετρα σε χιλιάδες τοποθεσίες, στη ξηρά αλλά και στους ωκεανούς. Πολλές διαφορετικές ερευνητικές ομάδες, όπως το NASA Goddard Institute for Space Studies, Britain’s Hadley Centre for Climate Change, the Japan Meteorological Agency και NOAA’s National Climate Data Center έχουν χρησιμοποιήσει μετρήσεις για να παράξουν καταχωρήσεις της μακροχρόνιας θερμοκρασιακής αλλαγής. Αυτές οι αναλύσεις δείχνουν ότι η μέση επιφανειακή θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί παραπάνω από 0.8°C τα τελευταία 100 χρόνια, με το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αλλαγής να έχει καταγραφεί τα τελευταία 35 χρόνια. Μια τέτοια αλλαγή μπορεί να μη φαίνεται εκ πρώτης όψεως μεγάλη αν σκεφτόμαστε τη καθημερινή ζωή, αλλά είναι σημαντική αλλαγή αν τη σκεφτούμε ως μία μόνιμη θερμοκρασιακή αλλαγή σε όλο το πλανήτη. Εκτός της επιφανειακής θερμοκρασίας υπάρχουν κι’ άλλα κλιματικά μεγέθη που παρακολουθούνται. Πολλά όργανα μετρούν τη θερμοκρασία των ωκεανών αλλά και τα ρεύματα κάτω από την επιφάνεια. Υπάρχουν άλλα όργανα για την υγρασία και τους ανέμους όπως τα μετεωρολογικά μπαλόνια (weather balloons). Τέλος, από τη δεκαετία του ’70, υπάρχουν δορυφόροι που δίνουν μια παγκόσμια εικόνα των κλιματικών αλλαγών.

Όλα αυτά τα όργανα «βλέπουν» τις αλλαγές που γίνονται. Αλλά εκτός αυτού υπάρχουν κι'άλλοι παράγοντες που υποδεικνύουν την αλλαγή: τα κύματα ζέστης γίνονται πιο συχνά και έντονα, τα κύματα κρύου πιο ήρεμα και πιο βραχύβια και ο πάγος που σε πολλά σημεία του κόσμου λιώνει, αναγκάζοντας πολλά είδη να μετακινηθούν από το φυσικό τόπο τους.

➢ Τα αέρια που οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας

Από το 1820 ξεκίνησαν οι επιστήμονες να αντιλαμβάνονται τη σημασία συγκεκριμένων αερίων της ατμόσφαιρας στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της Γης. Αρχισαν να καταλαβαίνουν ότι τα αέρια του θερμοκηπίου (υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου) δρουν σαν ένα κάλυμμα στην ατμόσφαιρα της Γης, κρατώντας ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Αν όλη η ακτινοβολία του ήλιου που έφτανε στη Γη έφευγε μετά στο διάστημα, η θερμοκρασία της θα ήταν αρκετά κάτω από το 0. Όσο οι συγκεντρώσεις των αερίων αυτών μεγαλώνουν, το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενισχύεται, αυξάνοντας τη θερμοκρασία. Το τωρινό επίπεδο των αερίων του θερμοκηπίου είναι στα 430ppm [2], ενώ πριν τη βιομηχανική επανάσταση ήταν μόλις στα 280. Με τον τωρινό ρυθμό, τα 550ppm μπορεί να γίνουν πραγματικότητα μέχρι το 2035. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχει τουλάχιστον 77% πιθανότητα η παγκόσμια θερμοκρασία να αυξηθεί κατά μέσο όρο παραπάνω από 2°C. Ακολουθώντας ένα σενάριο BAU (business as usual) όπως συνηθίζεται να ονομάζεται στη βιβλιογραφία, μπορεί τα αέρια αυτά να τριπλασιαστούν μέχρι το τέλος του αιώνα, με τουλάχιστον 50% πιθανότητα να υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5°C.

➢ Μηχανισμοί της κλιματικής αλλαγής

Εξετάζοντας τη κλιματική αλλαγή σε μακροκλίμακα (Γη), ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνεται η ηλιακή ενέργεια και ο ρυθμός με τον οποίο αυτή χάνεται στο διάστημα καθορίζουν την ισορροπία της θερμοκρασίας και του κλίματος στη Γη. Αυτή η ενέργεια διανέμεται σε όλη την υδρόγειο μέσω ανέμων, ρευμάτων στους ωκεανούς και άλλους μηχανισμούς. Οι μηχανισμοί χωρίζονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς. Οι εσωτερικοί είναι φυσικές διεργασίες μέσα στο ίδιο σύστημα, ενώ οι εξωτερικοί μπορεί να είναι διεργασίες εκτός συστήματος, όπως η ενεργειακή δραστηριότητα του ήλιου και ανθρωπογενείς παράγοντες .

Στους εσωτερικούς έχουμε τους ωκεανούς και τα ρεύματα που μεταφέρουν είτε ψυχρό είτε θερμό νερό σε διάφορα μέρη, διατηρώντας την ισορροπία του οικοσυστήματος [1.3]. Επίσης έχουμε τους ζώντες οργανισμούς που επηρεάζουν πολλά φαινόμενα όπως τη λευκάυγεια, την εξατμισοδιαπνοή (η ταυτόχρονη εκδήλωση των φαινομένων της εξάτμισης και της διαπνοής, τα οποία είναι αλληλοεξαρτώμενα, δηλαδή όταν ο ρυθμός της διαπνοής αυξάνεται, η εξάτμιση του νερού από το έδαφος μειώνεται) και τα σύννεφα.

Στους εξωτερικούς παράγοντες μπορούμε αρχικά να αναφέρουμε την τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο, καθώς ακόμα και μια μικρή αλλαγή μπορεί να επιφέρει έντονα αποτελέσματα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Φυσικά εξωτερικός παράγοντας επίσης είναι η ενέργεια που δίνει ο ήλιος στη Γη μέσω της ακτινοβολίας, καθώς όσο περνάνε τα χρόνια και δυναμώνει η δραστηριότητα του ήλιου, τα αποτελέσματα θα γίνουν άμεσα αισθητά. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε και τα ηφαίστεια, καθώς μεγάλες εκρήξεις είναι ικανές να αλλάξουν το κλίμα και να κάνουν ψυχρότερο το πλανήτη, μειώνοντας εν μέρει την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο χώμα. Άλλος σημαντικός παράγοντας είναι οι τεκτονικές πλάκες, οι οποίες στη διάρκεια εκατομμυρίων ετών έχουν δημιουργήσει το κόσμο όπως τον ξέρουμε σήμερα. Με την κίνησή τους μπορούν να εμποδίσουν την κυκλοφορία των ωκεανών σε συγκεκριμένα σημεία ή να την επιτρέψουν-τέτοια γεγονότα έχουν συμβεί στο παρελθόν. Τέλος υπάρχουν και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες(κυρίως αύξηση στην εκπομπή CO2), οι οποίες έχουν μια πολύ πιο άμεση και γρήγορη επίδραση στο κλίμα και με τις ασχολείται κυρίως το μοντέλο PAGE09 που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

Η κλιματική αλλαγή, σε χρονική κλίμακα που αφορά τη γενιά μας και τις αμέσως επόμενες, οφείλεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες εκπομπές σχετίζονται με οικονομικές δραστηριότητες όπως ενέργεια, βιομηχανία, μεταφορές και χρήση γης. Αυτά τα αέρια συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα, αυξάνουν τη θερμοκρασία με συνεπακόλουθα κοινωνικά και οικονομικά κόστη. Παρόλ’αυτά, το πλήρες κόστος αυτών των εκπομπών δε το νιώθουν αναλογικά αυτοί που εκπέμπουν ή δεν εκπέμπουν τα αέρια. Το κλίμα είναι ένα κοινό αγαθό: Αυτοί που «δεν πληρώνουν για αυτό» μπορούν παρόλ’αυτά να το απολαύσουν.

Αυτό που προκύπτει μέσα από την έρευνα του The Stern Review [1] είναι ότι τα πλεονεκτήματα από την πρόωρη δράση είναι πολύ πιο σημαντικά από τα κόστη της μη δράσεως. Η κλιματική αλλαγή θα έχει μεγάλη επίδραση σε όλους τους βασικούς τομείς της ζωής των ανθρώπων, καθώς μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της Γης θα αντιμετωπίσει πείνα και έλειψη νερού. Με βάση τα αποτελέσματα από προηγούμενα οικονομικά μοντέλα προκύπτει ότι αν δε ληφθεί δράση, τα συνολικά κόστη και ρίσκα θα είναι σα να χάνουμε 5% του παγκόσμιου μας ΑΕΠ κάθε χρόνο. Αυτή η ζημιά θα μπορούσε να φτάσει μέχρι και 20%. Η επένδυση που θα γίνει τα επόμενα 10-20 χρόνια θα έχει πολύ μεγάλη σημασία για το τί θα γίνει στο δεύτερο μισό αυτού του αιώνα. Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι το κλιματικό θέμα είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα και έτσι πρέπει να αντιμετωπιστεί ως ένα διεθνές ζήτημα. Πρέπει να βασιστεί σε ένα κοινό όραμα από μακροχρόνιους στόχους.

Οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν μέσω της αυξησης της ενεργειακής απόδοσης, με αλλαγές στη ζήτηση ενέργειας και μέσω υιοθέτησης πιο καθαρών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Δυστυχώς παρά τη μεγάλη επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα ορυκτά καύσιμα μπορεί ακόμα και το 2050 να αποτελούν παραπάνω απο 50% της παγκόσμιας ενέργειας. Πρέπει επίσης να δοθεί ιδιαίτερη σημασία και σε άλλους παράγοντες όπως είναι η μείωση της αποδάσωσης.

Πολλές περιοχές και χώρες έχουν ήδη αρχίσει να παίρνουν δράση με όμως σχετικά αργούς ρυθμούς. Η Ευρωπαϊκή ένωση, η Καλιφόρνια, η Κίνα είναι μερικές από αυτές με τις πιο φιλόδοξες πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η σύμβαση των Ενωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UN Framework Convention on Climate Change) αλλά και το πρωτόκολλο του Kyoto αποτελούν τη βάση για διεθνή συνεργασία μεταξύ των κρατών. Οι πιο φτωχές χώρες είναι οι πιο ευαίσθητες στη κλιματική αλλαγή. Είναι σημαντικό σε αυτές τις χώρες η κλιματική αλλαγή να ενσωματωθεί πλήρως στις πολιτικές τους και οι πιο πλούσιες χώρες να αυξήσουν την υποστήριξη και τη διεθνή χρηματοδότηση.

1.2 Φαινόμενο θερμοκηπίου

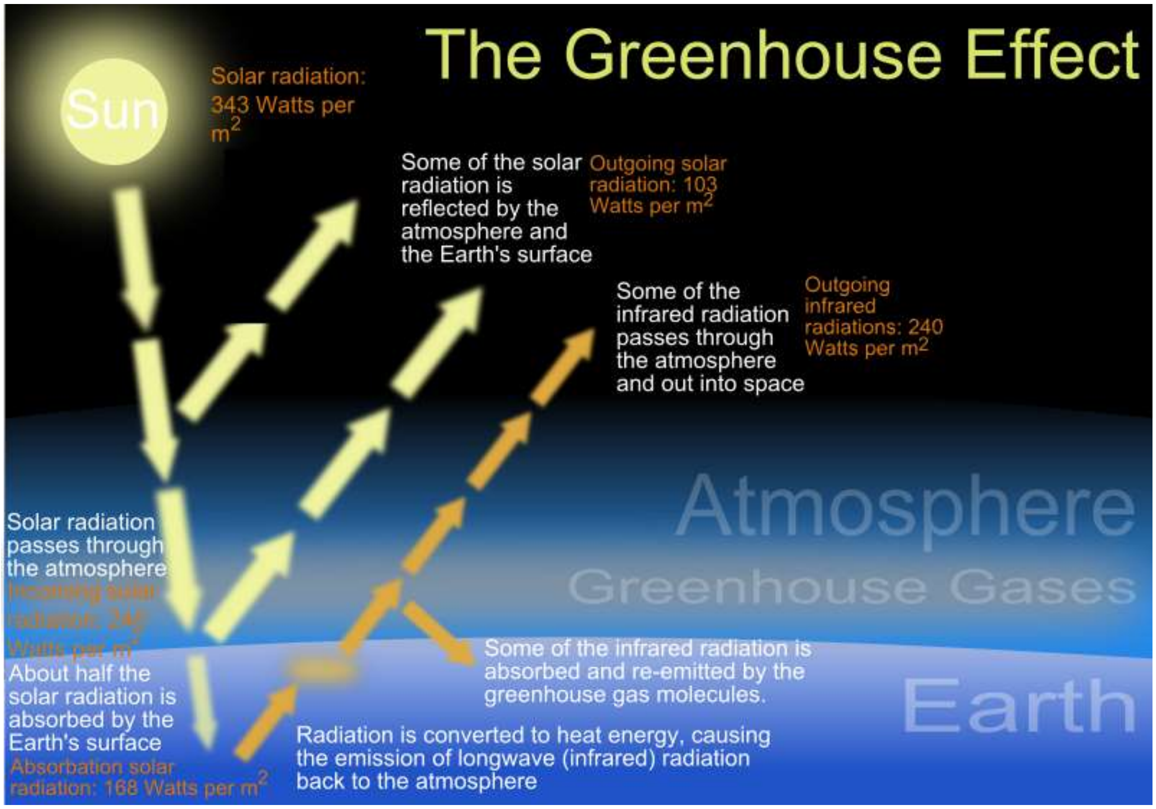
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί εν συντομία να αναλυθεί στα παρακάτω 4 βήματα:

1) Η ηλιακή ακτινοβολία περνάει από την ατμόσφαιρα και ζεσταίνει την επιφάνεια της Γης.

2) Από τη Γη εκπέμπεται υπέρυθρη ακτινοβολία.

3) Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της υπέρυθρης ακτινοβολίας φεύγει στο διάστημα, χωρίς να θερμαίνει τη Γη.

4) Κάποιο μέρος αυτής της υπέρυθρης ακτινοβολίας παγιδεύεται από τα αέρια του θερμοκηπίου, θερμαίνοντας έτσι περισσότερο τη Γη.



Σχήμα 1.1 Γραφική απεικόνιση του φαινομένου[www.wikipedia.org]

Υπογραμμίζονται τα ακόλουθα:

- Η εισερχόμενη ακτινοβολία από τον ήλιο είναι κυρίως στη μορφή ορατού φωτός και κοντινών μηκών κύματος, από 0.2-4 μm. Περίπου το 50% της ενέργειας του ήλιου απορροφάται από την επιφάνεια της Γης.

- Κατά τη διάρκεια της νύχτας η ατμόσφαιρα ψύχεται, αλλά λίγο, λόγω της περιορισμένης ικανότητάς της να εκπέμπει.

Η ποσοστιαία σύσταση των αερίων του θερμοκηπίου είναι η ακόλουθη:

- Υδρατμοί, σε ποσοστό 36-70%
- Διοξείδιο του άνθρακα, 9-26% (δημιουργείται ανθρωπογενώς από καύση ορυκτών καυσίμων, παραγωγή τσιμέντου, αποδασοποίηση(ξυλεία) κτλ.)
- Μεθάνιο, 4-9%
- Οζον, 3,7%

Το φαινόμενο (πρόβλημα) της παγκόσμιας θέρμανσης δημιουργείται κυρίως από τις ανθρωπογενείς εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Ενα μεγάλο ποσοστό από αυτά είναι από τη χρήση της γης, τη γεωργία. Επίσης από τις βιομηχανίες, τα αυτοκίνητα, τα air condition και τις ηλεκτρικές συσκευές κ.α. Τέλος υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό που είναι από τα απόβλητα.

Τα CFCs (χλωροφθοράνθρακες) που παλιότερα θεωρούσαν ότι είναι μεγάλη πηγή θέρμανσης, σε τελευταίες έρευνες έχει βρεθεί ότι η συνολική θέρμανση που δημιουργούν είναι αμελητέα, σε σχέση βέβαια με όλους τους άλλους παράγοντες. Επίσης, σε τελευταίες έρευνες έχουν ανακαλύψει οι επιστήμονες ότι η αιθάλη (ή αιθαλομίχλη που δημιουργείται και στη χώρα μας τελευταία) έχει δύο φορές πιο έντονη επίδραση στη θέρμανση του πλανήτη απ’ότι πίστευαν αρχικά.

Στο *Stern Review* [1] εντοπίζονται 4 επιπλέον βασικοί συντελεστές που θα μπορούσαν να ενισχύσουν έντονα τη παγκόσμια θέρμανση:

1. Απελευθέρωση μεθανίου από ένυδρες «αποθήκες» στους ωκεανούς. Το ποσό που έχουν υπολογίζεται σε δεκάδες χιλιάδες μεγατόνους. Αυτές οι αποθήκες βρίσκονται σε κρύες περιοχές και προς το παρόν θεωρούνται ασφαλείς. Αν όμως η παγκόσμια θέρμανση φτάσει σε αυτές τότε θα απελευθερωθούν τεράστια ποσά μεθανίου στην ατμόσφαιρα.

2. Απελευθέρωση μεθανίου από αποθήκες τύρφης, υδροβιότοπους και μόνιμους παγετούς που λιώνουν. Κάποια μοντέλα υπολογίζουν ότι μέχρι το 90% του πάνω στρώματος των παγετών θα έχει λιώσει μέχρι το 2100. Αυτές οι περιοχές όμως περιέχουν πάρα πολύ άνθρακα. Οι υδροβιότοποι περιέχουν περίπου 1600 Gt CO_2 ενώ οι παγετοί 1500 Gt.

3. Αποδυνάμωση των φυσικών συλλεκτών άνθρακα στους ωκεανούς. Δηλαδή υπολογίζεται ότι στο μέλλον θα μειωθεί το ποσό διοξειδίου του άνθρακα που μπορούν να απορροφήσουν οι θάλασσες.

4. Αποδυνάμωση των φυσικών συλλεκτών CO_2 στη ξηρά. Τα μοντέλα θεωρούν ότι αρχικά, για λίγο θα αυξηθεί η ικανότητα απορρόφησης, αλλά προς το τέλος του αιώνα θα μειωθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα μείωσης της βλάστησης.

Οι επιστήμονες όταν καλούνται να αντιμετωπίσουν το κλιματικό πρόβλημα, ουσιαστικά αναγνωρίζουν τις ακόλουθες κατηγορίες πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν.

1. **Μείωση:** Η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

2. **Προσαρμογή:** Προσαρμογή σε ένα διαφορετικό κλίμα και περιβάλλον και τα κόστη που συνεπάγεται.

3. **<u>Γεωμηχανίκευση</u>:** Δηλαδή διαλέγουμε κάποιες από τις κλιματικές μεταβλητές και προσπαθούμε τεχνητά να τις κρατήσουμε σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω χειρισμού του βιοχημικού συστήματος.

4. **<u>Έρευνα</u>:** Η επιλογή να επενδύσουμε σε έρευνα που θα οδηγήσει σε καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και των ιδιοτήτων των διαφόρων πολιτικών.

5.

1.3 Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερη θέρμανση του πλανήτη, ακόμα και σε περιοχές όπως η Αρκτική. Εχουν παρατηρηθεί μεγάλες διαφορές ανάμεσα στις εποχές. Για παράδειγμα, στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα υπήρξε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας το χειμώνα σε περιοχές όπως ο Καναδάς, η Αλάσκα, η βόρεια Ευρώπη και η Ασία. Το καλοκαίρι ήταν πολλύ δυνατό και έντονο στη Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή. Τα κύματα ζέστης έχουν αυξηθεί στις περισσότερες περιοχές του κόσμου ενώ τα αντίστοιχα κύματα ψύχους έχουν μειωθεί σε πλήθος και διάρκεια.

Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει μεγάλη επίδραση και στους πάγους. Για παράδειγμα, η επιφάνεια των πάγων της Αρκτικής μειώνεται κατά περίπου 10% κάθε δεκαετία. Αυτή η μείωση γίνεται ιδιαίτερα έντονη το καλοκαίρι, δημιουργώντας ανησυχίες για τα οικοσυστήματα που ζουν εκεί. Επίσης, παγετοί λιώνουν και σε άλλα σημεία στο κόσμο.

Ο S. J. Tol [3] επισημαίνει τα εξής σημαντικά αποτελέσματα που θα επιφέρει η κλιματική αλλαγή:

- **Νερό:** Θα υπάρξουν περισσότερα χρόνια με ξηρασία και έλλειψη νερού λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το κόστος θα είναι πολλά δισεκατομμύρια.
- **Οικοσυστήματα**: Θα υπάρξει πολύ αρνητική επίδραση στα οικοσυστήματα και τους ζώντες οργανισμούς, αλλά είναι δύσκολο να βρεθεί το ακριβές κόστος,.
- **Αύξηση του επιπέδου της θάλασσας**: Υπάρχουν 3 είδη κόστους για προστατευτικές κατασκευές, το κόστος ξηράς και το κόστος υδρότοπου. Το συνολικό κόστος υπολογίζεται σε 0.8 δισεκατομμύρια δολλάρια κάθε χρόνο.
- **Ανθρώπινη υγεία**: Θα αυξηθούν κατά πολύ οι θάνατοι και οι ασθένειες.

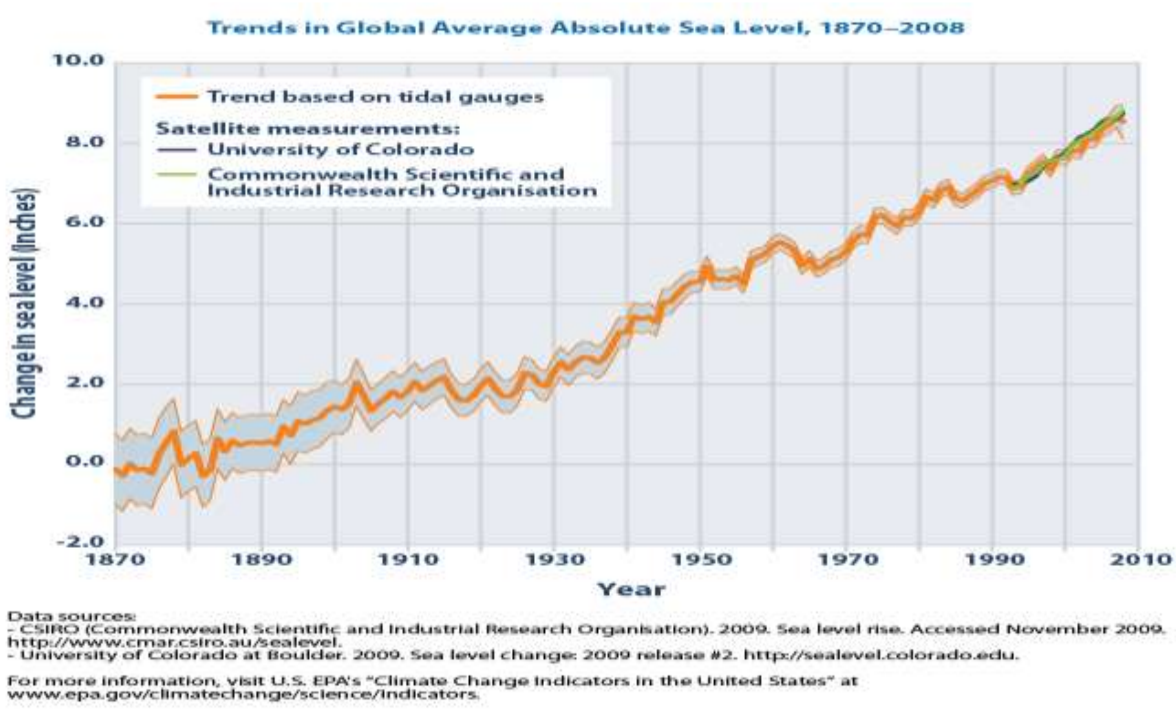
Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή.

- **Θερμοκρασία:** Οι θερμοκρασίες θα αυξηθούν σε όλο το κόσμο, αλλά κυρίως σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος του βόρειου ημισφαιρίου. Η αλλαγή θα είναι μεγαλύτερη στην ξηρά απ’ ότι στη θάλασσα. Επίσης, το πλήθος των ημερών με θερμοκρασία πάνω από 37 °C θα αυξηθεί. Με το σενάριο A2 του Stern Review (περισσότερες εκπομπές) στις ΗΠΑ ο αριθμός τέτοιων ημερών θα αυξηθεί κατά 60-90 ημέρες. Έτσι, το ρίσκο ασθενειών που σχετίζονται με ζέστη αλλά και θανάτων μεγαλώνει. Τα κύματα ζέστης μπορούν να προκαλέσουν θανάτους, φωτιές σε δάση και απώλειες στις σοδειές. Τα 5 πιο θερμά καλοκαίρια από το 1500 συνέβησαν μετά το 2002, ενώ ο αριθμός των θανάτων λόγω του κύματος ζέστης το 2003 ανέρχεται στους 70.000.

- **Ακραία καιρικά φαινόμενα:** Όσο το κλίμα αλλάζει, είναι βέβαιο ότι αρχίζουν να αλλάζουν και τα καιρικά φαινόμενα. Εχει ήδη παρατηρηθεί αλλαγή στη συχνότητα εμφάνισης ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης, και στην έντασή της ακόμα και σε μέρη που μειώθηκε το ποσοστό της βροχής. Γενικότερα θα υπάρξει αύξηση του μέσου όρου της κατακρήμνισης παγκοσμίως. Συνέχιση της κλιματικής αλλαγής όμως δε σημαίνει μόνο αυτό. Θα υπάρχξουν πολύ περισσότερες καυτές μέρες και λιγότερες πολύ κρύες. Θα παρατηρηθεί επίσης αύξηση στη συχνότητα των κυμάτων καυσώνων, θυελωδών ανέμων κτλ..

- **Λιώσιμο των πάγων:** Υποθέτοντας μεγάλη αύξηση στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, (πολιτική A2 στο Stern Review), υπολογίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των πάγων στην Αρκτική θάλασσα θα έχει εξαφανιστεί μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Οι περισσότερες πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ότι μπορεί να μην υπάρχει πάγος τα αρκτικά καλοκαίρια ήδη από το 2025-2030. Αυτό θα επιφέρει κοινωνικά κόστη, καθώς το λιώσιμο των παγετώνων μειώνει την επάρκεια νερού για κάποιες κοινωνίες. Περισσότερο απο το 1/6 του παγκόσμιου πληθυσμού εξαρτάται από τους παγετώνες για την ύπαρξη πόσιμου νερού.

- **Στάθμη της θάλασσας:** Η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας εξαρτάται από δύο κύριους παράγοντες: το λιώσιμο των παγετώνων που πέφτουν στη θάλασσα αλλά και από τη παγκόσμια θέρμανση των ωκεανών, αφού όσο θερμαίνεται το νερό διαστέλλεται.



Σχήμα 1.3.1: Παγκόσμιο απόλυτο επίπεδο θάλασσας, 1870-2008.[www.wikipedia.org]

Υπολογίζεται το λιώσιμο ενός μεγάλου μέρους αυτών των στρωμάτων πάγου της Γροιλανδίας και του δυτικού Ατλαντικού, εντός της πεντηκονταετίας. Αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση του επιπέδου της θάλασσας από 4 μέχρι 6 μέτρα.

Η άνοδος του επιπέδου της θάλασσας έχει άμεση σχέση με τις ακτογραμμές. Πρέπει να αναφερθεί ότι μερικές από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές του πλανήτη βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο, κοντά σε θάλασσα. Η ποσοτικοποίηση αυτής της απειλής είναι αρκετά δύσκολο να γίνει, διότι εμπλέκονται πολλοί μη-κλιματικοί παράγοντες όπως το πού διαλέγουν οι άνθρωποι να χτίσουν τα σπίτια τους και τα ρίσκα αυξομειώνονται πολύ από περιοχή σε περιοχή. Αν το μέσο επίπεδο της θάλασσας ανέβει κατά 0.5 μέτρα (σε σχέση με το 1990), οι πλημμύρες θα επηρεάσουν από 5-200 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως.

- **Οξίνιση των ωκεανών:** Οι ωκεανοί παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση του CO_2, καθώς όσο αυτό αυξάνεται στην ατμόσφαιρα οι ωκεανοί προσπαθούν να επαναφέρουν την ισορροπία απορροφώντας ένα ποσοστό του. Εχει μετρηθεί ότι απορροφούν περίπου το 25% των ανθρωπογενών εκπομπών CO_2. Το διοξείδιο αντιδρά με το θαλασσινό νερό σχηματίζοντας ένα αδύναμο οξύ. Από την περίοδο 1750-1994 έχει παρατηρηθεί μία μείωση 0.1pH στην επιφάνεια του νερού, που αντιστοιχεί σε 30% αύξηση στη συγκέντρωση ιονισμένου υδρογόνου στο θαλασσινό νερό. Επίσης, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία των ωκεανών, τόσο μειώνεται η ικανότητά τους να απορροφούν το διοξείδιο χωρίς τοξικοποίηση. Αυτές οι αλλαγές του pH προβλέπεται νε ενταθούν στο μέλλον. Τέτοια αλλαγή του pH θα μπορούσε να αποδειχθεί καταστροφική για τα θαλάσσια είδη. Η αυξανόμενη οξίνιση του ωκεανού καθιστά ολοένα και πιο δύσκολο για τα είδη που ζουν εκεί να δημιουργήσουν κελύφη και σκελετούς. Στην καλύτερη περίπτωση αυτές οι χημικές αλλαγές μπορούν να σταματήσουν την ανάπτυξη των υφάλων αλλά και να κάνουν ζημιά στο πλαγκτόν. Το πλαγκτόν είναι κρίσιμης σημασίας για να επιβιώσουν είδη όπως ο σολομός, το σκουμπρί και οι φάλαινες.

- **Βροχόπτωση:** Η παγκόσμια θέρμανση πρόκειται να εντείνει τη διαφορά βροχόπτωσης που υπάρχει ήδη ανάμεσα στις διάφορες περιοχές. Ξηρές περιοχές θα γίνουν ακόμα ξηρότερες ενώ περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις θα δούνε ακόμα περισσότερη βροχόπτωση. Αυτό γίνεται επειδή πιο ψηλές θερμοκρασίες τείνουν να αυξάνουν την εξάτμιση νερού από ωκεανούς, λίμνες, φυτά και χώμα. Ενα δεύτερο αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ξηραίνεται πολύ το χώμα και γενικά το έδαφος. Με αυτό το σκεπτικό οι επιστήμονες υπολογίζουν πως σε μέρη όπως οι έρημοι θα δούμε 5-10% μείωση στη βροχόπτωση για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C . Αντίθετα, σε πιο κρύες περιοχές θα αυξηθεί πολλή η βροχή, κυρίως κατά το χειμώνα. Υψηλότερες θερμοκρασίες, εξάτμιση και ξηρασία μπορούν επίσης να μεγαλώσουν το ρίσκο φωτιάς σε μερικές περιοχές. Σε δάση όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εκδηλωθεί φωτιά θα γίνουν ακόμα πιο ευαίσθητα.

- **Οικοσυστήματα:** Όλα τα είδη, είτε υδρόβια είτε στη ξηρά, προσπαθούν να αλλάξουν τόπο διαμονής όταν πλέον δε μπορούν να μείνουν άλλο στο αρχικό τους μέρος. Όμως η κλιματική αλλαγή απειλεί να σπρώξει μερικά είδη πέρα από την ικανότητά τους να ανταπεξέλθουν ή να αλλάξουν τόπο διαμονής. Μεγάλος κίνδυνος υπάρχει σε είδη που έχουν συνηθίσει σε κρύο σε κορυφές βουνών ή γενικότερα σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Στους ωκεανούς, οι αλλαγές των ρευμάτων πρόκειται να παίξουν μεγάλο ρόλο στα οικοσυστήματα. Δεδομένα από δορυφόρους δείχνουν ότι τα ζεστά νερά στην επιφάνεια αναμιγνύονται όλο και λιγότερο με πιο κρύα, πιο βαθιά νερά, κρατώντας είδη που ζούν κοντά στην επιφάνεια μακριά από σημαντικά ιχνοστοιχεία αλλά και το φυτοπλανκτόν. Αυτό μπορεί να γίνει ακόμα πιο έντονο τα επόμενα χρόνια. Παράλληλα η θέρμανση των ωκεανών σπρώχνει πολλά είδη προς του πόλους.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μόνο με 2°C αύξηση της θερμοκρασίας, κινδυνεύει με εξαφάνιση συνολικά το 15-40% των ειδών. Με 3°C αύξηση της θερμοκρασίας 20-50% των ειδών στη στεριά αντιμετωπίζουν την εξαφάνιση. Αν οι εκπομπές συνεχίσουν αμείωτες, ο κόσμος θα ζεσταθεί κατά τουλάχιστον 4-5 βαθμούς Κελσίου ή και παραπάνω, αλλά το πλήρες εύρος των επιπτώσεων μέχρι σήμερα δεν είναι πολύ ξεκάθαρο.

- **Αγροτικός τομέας:** Η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τη γεωργία και τη παραγωγή παγκοσμίως λόγω του αυξημένου ποσοστού διοξειδίου του άνθρακα, που θα οδηγήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες, περισσότερα ακραία καιρικά φαινόμενα και αύξηση στην εμφάνιση ζιζανίων, που θα επηρεάσουν αρνητικά τη γεωργία. Γενικά η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να βοηθήσει στη βλάστηση πολλών ειδών φυτών αλλά αυτό δε σημαίνει απαραίτητα και καλύτερη σοδειά. Οι σοδειές γίνονται πιο γρήγορα σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά έτσι οδηγούν και σε λιγότερο χρόνο για να παράξουν σιτηρά. Ως ένα αππό παράδειγμα, για κάθε 1 °C που αυξάνεται η θερμοκρασία, οι σοδειές του καλαμποκιού σε ΗΠΑ, Αφρική και οι σοδειές σιτηρών στην Ινδία μειώνονται 5-15%. Αυτή τη στιγμή η γεωργία αποτελεί το 24% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων και επίσης απασχολεί το 22% του παγκόσμιου πληθυσμού. Το 75% των πιο φτωχών ανθρώπων στο κόσμο (που ζει με λιγότερο από $1 την ημέρα) ζούν σε υπαίθριες περιοχές και εξαρτώνται από τη γεωργία για να επιζήσουν. Οι πιο τελευταίες μελέτες δείχνουν μία 5% μείωση στη παραγωγή δημητριακών μόνο για 2°C αύξηση και 10% για 4°C. Με 4°C αύξηση ολόκληρες περιοχές θα είναι αδύνατο να καλλιεργηθούν γιατί θα είναι πολύ θερμές και ξηρές. Τα αποτελέσματα που θα έχει η κλιματική αλλαγή στη γεωργία εξαρτώνται επίσης και από το βαθμό της προσαρμογής. Αυτός ο βαθμός θα εξαρτηθεί με τη σειρά του από τα εισοδήματα και τις αγορές.

- **Υγεία:** Ο παγκόσμιος οργανισμός για την υγεία υπολογίζει ότι η κλιματική αλλαγή είναι υπεύθυνη για θανάτους από συναφείς αιτίες με ποσοστό που φτάνει περίπου το 3% ανά αιτία. Όσο θα συνεχίσουν να συμβαίνουν ακραία καιρικά φαινόμενα, πολλές ζωές ανθρώπων θα κινδυνεύουν, με το μεγαλύτερο μέρος αυτών όμως να βρίσκεται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οσο αυξάνεται η θερμοκρασία θα είναι πιο εύκολο για αρρώστιες όπως τον δάγκειο πυρετό και την ελονοσία να εξαπλωθούν. Οι κλιματικές συνθήκες όπως η βροχή και η υγρασία παίζουν ρόλο στην επιβίωση και εξάπλωση των κουνουπιών. Ο συνολικός αριθμός ανθρώπων που θα βρίσκονται σε κίνδυνο το 2050 είναι 5.2 δισεκατομμύρια, αν θεωρήσουμε μόνο τις κλιματικές αλλαγές και μειώνεται σε 2 δισεκατομμύρια αν θεωρήσουμε και την οικονομική και τεχνολογική πρόοδο μέχρι τότε.

- **Ωκεάνια ρεύματα**: Το ρεύμα του Ατλαντικού, γνωστό ως *Atlantic Meridional Overturning Circulation***,** είναι ένας σημαντικός παράγοντας ρύθμισης του κλίματος της Γης. Χαρακτηρίζεται από μία προς βορρά ροή θερμού θαλασσινού νερού και από μία προς νότο ροή πιο κρύου νερού. Αλλαγή του κλίματος μπορεί να επηρεάσει αυτή τη διαδικασία, μειώνοντας κατά πολύ τη θέρμανση που φέρνει στη δυτική Ευρώπη και τη Γροιλανδία και αυξάνοντας τη θέρμανση που φέρνει σε περιοχές του νοτίου ημισφαιρίου, αλλάζοντας το εκεί οικοσύστημα.

Οι επιπτώσεις που θα γνωρίσουν διάφορες περιοχές της Γης είναι:

- **Ηνωμένες Πολιτείες:** Οι επιπτώσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες δε θα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες. Αρχικά υπάρχει πιθανότητα για κάποια βραχυχρόνια οφέλη στις βόρειες περιοχές και αρκετές ζημιές στα νότια. Σε μέσο χρονικό ορίζοντα προσμένεται οι μεγαλύτερες απώλειες να είναι λόγω παράκτιων πλημμυρών. Αυξάνεται επίσης η πιθανότητα για πιο δυνατούς τυφώνες στην ανατολική ακτή. Η μειωμένη χιονόπτωση πρόκειται να έχει επίδραση στη προμήθεια νερού στην Καλιφόρνια αλλά και σε αγροτικές περιοχές του Μισισιπή. Επίσης για να μην υπάρξουν μεγάλες απώλειες στη γεωργία, θα πρέπει να δαπανηθούν αρκετά μεγάλα ποσά (preventative costs). Τέλος ο νότος της χώρας πρόκειται να χρησιμοποιήσει πολύ περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε air condition.

- **Καναδάς:** Ο Καναδάς έχει πολλές περιοχές μονίμων παγετών, δασών και τούνδρας.. Τα πιο μεγάλα καλοκαίρια και η μειωμένη επιφάνεια των πάγων πρόκειται να κάνουν δύσκολη τη ζωή στη πολική αρκούδα και άλλα είδη που διαμένουν στη περιοχή. Το θερμότερο κλίμα το καλοκαίρι μπορεί να κάνει καλό στις καλλιέργειες, αλλά το πιο λεπτό στρώμα χιονιού θα κάνει πιο ευάλωτα τα σιτηρά το χειμώνα.

- **Ηνωμένο Βασίλειο:** Η ζημιά στην υποδομή από πλημμύρες πρόκειται να αυξηθεί πολύ, ειδικά σε παράκτιες περιοχές. Η διαθεσιμότητα νερού θα είναι όλο και πιο περιορισμένη και οι ξηρασίες θα γίνουν πιο συχνό φαινόμενο. Οι πιο ήπιοι χειμώνες θα μειώσουν τους θανάτους που σχετίζονται με κρύο αλλά θα αυξηθούν οι θάνατοι το καλοκαίρι λόγω ζέστης.

- **Ηπειρωτική Ευρώπη:** Η Ευρώπη έχει μεγάλες κλιματικές αποκλίσεις από τη Βαλτική μέχρι τη Μεσόγειο και από τον Ατλαντικό μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα και γι'αυτό οι συνέπειες θα είναι διαφορετικές στις διάφορες περιοχές. Η περιοχή της Μεσογείου θα δει περισσότερα κύματα ζέστης και δασικές φωτιές. Αυτό μπορεί να αναγκάσει οικοσυστήματα να μετακινηθούν προς τα βόρεια. Η βόρεια Ευρώπη μπορεί να δεί αυξήσεις στις καλλιέργειες και μικρότερη ενεργειακή χρήση για θέρμανση το χειμώνα. Επίσης θα υπάρχουν συχνές πλημμύρες του Δούναβη, του Ρίνου και του Ροδανού. Τέλος πολλές παράκτιες χώρες είναι πιο ευάλωτες στην αύξηση του επιπέδου της θάλασσας. Κυρίως οι κάτοικοι της Ολλανδίας βρίσκονται σε πιο μεγάλο ρίσκο.

- **Ρωσσία:** Το μεγαλύτερο μέρος της βόρειας Ρωσσίας είναι μόνιμοι παγετοί. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα πιέσει το όριο αυτό ακόμα πιο βόρεια. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε μελλοντικές επενδύσεις σε πετρέλαιο, αέριο και άλλα. Η μετακίνηση του παγετού θα απελευθερώσει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και θα πρέπει να υπάρξει επένδυση για τη προστασία κτιρίων από πλημμύρες. Υπάρχει επίσης μια πιθανότητα όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία και μειώνεται η δύναμη του ρεύματος του Κόλπου (Gulf Stream), να αντιστραφεί ο ρόλος που έχει στην Αρκτική. Πάντως τα πιο βόρεια μέρη θα μπορούσαν να έχουν πιο αποδοτικές καλλιέργειες με την άνοδο της θερμοκρασίας. Ομως οι περιοχές που ήδη είναι καλές για γεωργία θα υποφέρουν. Τέλος θα υπάρξει πιο μεγάλη κατανάλωση ρεύματος το καλοκαίρι για air conditioning.

- **Ιαπωνία:** Η τοπολογία της Ιαπωνίας αλλά και η σεισμική δρασηριότητα έχουν αναγκάσει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να είναι συγκεντρωμένο σε πόλεις. Η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει την ήδη υπάρχουσα ευαισθησία της Ιαπωνίας σε τυφώνες και παράκτιες καταιγίδες. Οι περισσότερες πόλεις της είναι επίσης ευάλωτες στην άνοδο του επιπέδου της θάλασσας. Επίσης, μπορεί να υπάρξει μείωση στη ποσότητα των ψαριών λόγω της οξίνισης των ωκεανών. Τέλος θα υπάρξει πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση τα καλοκαίρια.

- **Αυστραλία:** Η Αυστραλία είναι η πιο ξηρή χώρα του κόσμου και είναι πολύ ευάλωτη στην άνοδο της θερμοκρασίας και της θάλασσας. Την ίδια στιγμή η ανατολική ακτή -στην οποία βρίσκεται πάνω από το 70% του πληθυσμού της Αυστραλίας- θα αντιμετωπίσει μεγαλύτερες ξηρασίες και λιγότερες βροχοπτώσεις. Πιο ζεστά και ξηρά καλοκαίρια απειλούν την ύπαρξη του τροπικού δάσους του Queensland. Με τη σειρά τους η χλωρίδα και η πανίδα αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα επιβίωσης. Επίσης με την άνοδο της θερμοκρασίας της θάλασσας απειλούνται οι κοραλιογενείς ύφαλοι της Αυστραλίας, που θα έχει μεγάλη επίπτωση στο τουρισμό και στην αλιεία. Τέλος, πολλές τροπικές ασθένειες θα αρχίσουν να μεταδίδονται και προς τα νότια. Ο δάγκειος πυρετός θα μπορούσε να φτάσει το Brisbane και το Sydney με 3°C άνοδο της θερμοκρασίας.

1.4 Μέτρα απομείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να δούμε κάποιους τρόπους μείωσης των εκπομπών, σε τοπικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

<u>Ενεργειακός τομέας (τοπικού χαρακτήρα μέτρα)</u>

1. **Αναβάθμιση κτιριακού κελύφους:** Δηλαδή προσθήκη εξωτερικής θερμομόνωσης, και αντικατάσταση κουφωμάτων που είναι σχετικά παλιά.

2. **Αντικατάσταση λεβήτων:** Αντικατάσταση των παλιών λεβήτων με καινούργιους, υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης. Μπορούμε έτσι να έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 15%.

3. **Διείσδυση φυσικού αερίου**: Η χρήση φυσικού αερίου αντί για πετρέλαιο χρήσης έχει αρκετά υψηλότερη απόδοση (10%). Στην [6] το όφελος από τη χρήση φυσικού αερίου υπολογίζεται για την περίπτωση διπλασιασμού των συνδέσεων στις πόλεις με υφιστάμενο δίκτυο.

4. **Εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας** για θέρμανση των κατοικιών

5. **Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ζεστού νερού**: Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού στις κατοικίες μπορεί να αντικατασταθεί από την εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συστημάτων για αυτό το σκοπό.

6. **Αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών** με νέες υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης (υψηλότερης ενεργειακής κλάσης).

7. **Μείωση του χρόνου αναμονής (stand-by)** των ηλεκτρικών συσκευών: Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα REMODECE [6] η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί από τη μείωση του χρόνου αναμονής ανέρχεται σε 5,9%.

8. **Βελτίωση του τρόπου χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών**:

   Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί από την ορθολογικότερη χρήση των ηλεκτρικών συσκευών μπορεί να φτάσει το 22%.

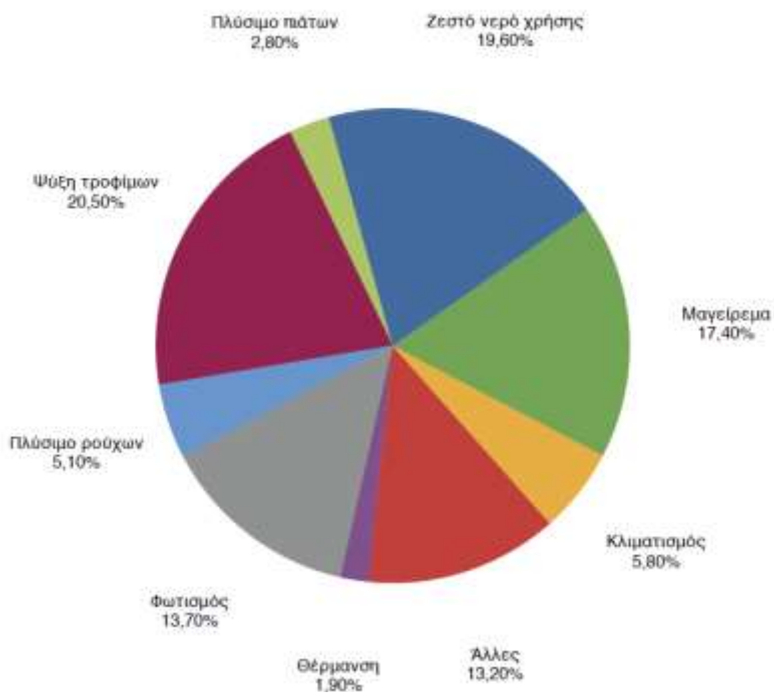
9. **Αντικατάσταση λαμπτήρων**: Η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης με αντίστοιχης φωτεινότητας νέας τεχνολογίας λαμπτήρες LED μπορεί να εξοικονομήσει

έως και 60% στην κατανάλωση ενέργειας στον φωτισμό. Στην [6] εκτιμάται σε πρώτη φάση η αντικατάσταση των λαμπτήρων να καλύψει το 15% των νοικοκυριών.

10. **Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις κατοικίες**: Η εγκατάσταση Φ/Β στοιχείων στις κατοικίες μπορεί να καλύψει το σύνολο ή ένα μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Θεωρείται στην [6] ότι η εγκατάσταση Φ/Β στοιχείων θα καλύψει το 2% των αναγκών των νοικοκυριών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Πληροφοριακά δίνονται στη συνέχεια κάποιες πληροφορίες για το ενεργειακό αποτύπωμα στην Ελλάδα**.** Η Helesco έκανε το 2010 μία έρευνα για το μέσο ενεργειακό αποτύπωμα των Ελλήνων, καταδεικνύοντας τις συνήθειες που αυξάνουν την εκπομπή CO_2 στο περιβάλλον. Έκανε το ίδιο βρίσκοντας και το μέσο όρο ανά νομό.

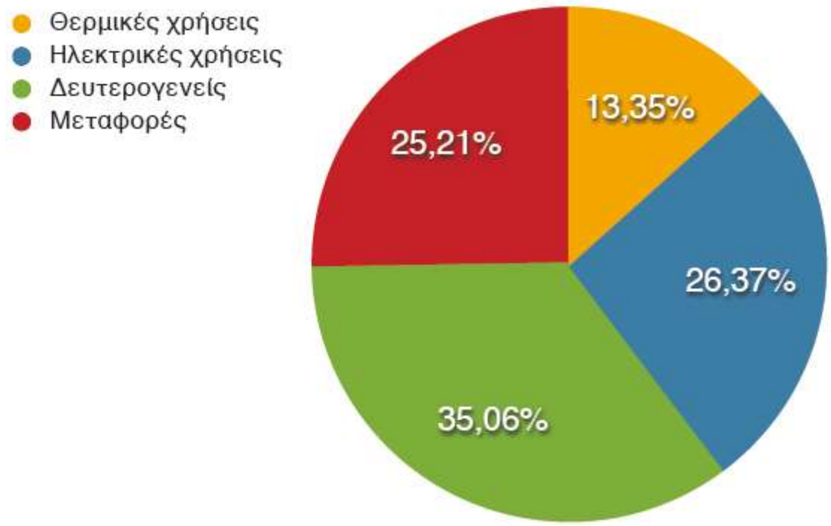
Το αποτύπωμα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 1.4.1: Αποτύπωμα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [Εκτίμηση του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από ενεργειακές χρήσεις του 2010]

Το μεγαλύτερο μερίδιο στο αποτύπωμα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είχαν το μαγείρεμα, το ζεστό νερό χρήσης και η ψύξη τροφίμων.

Όσον αφορά το συνολικό αποτύπωμα, βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι δευτερογενείς δραστηριότητες έχουν το μεγαλύτερο αποτύπωμα. Ακολουθούν οι ηλεκτρικές χρήσεις, τρίτες έρχονται οι μεταφορές και τελευταίες οι θερμικές χρήσεις.



Σχήμα 1.4.2: Συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα. [Εκτίμηση του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από ενεργειακές χρήσεις του 2010]

Προτάσεις για τις μεταφορές (<u>τοπικού χαρακτήρα μέτρα</u>)

1. **Επέκταση αυτοκινητοδρόμων** αλλά και χρήση άλλου τύπου μεταφορών πχ. ΜΕΤΡΟ, ηλεκτρικά τρένα κλπ. Τέτοιου είδους ενέργειες μπορούν να βοηθήσουν πολύ στη μείωση των εκπομπών, καθώς μπορούν αφ’ενός να κάνουν περισσότερους ανθρώπους να χρησιμοποιούν λιγότερο το αυτοκίνητό τους αλλά και να βοηθήσει στην ομαλότερη κίνηση των αυτοκινήτων. Οδήγηση σε σταθερή πορεία των αυτοκινήτων σε χαμηλές στροφές μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε 30% οικονομία μέσα στη πόλη κλπ. Οι μεγάλοι σε έκταση αυτοκινητόδρομοι μπορούν να αξιοποιηθούν για αυτό το σκοπό.

2. **Αντικατάσταση επιβατικών Δ.Χ:** Με την αντικατάσταση των συμβατικών πετρελαιοκίνητων οχημάτων με νέα χαμηλών εκπομπών ρύπων (π.χ. οχήματα υβριδικής τεχνολογίας ή οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο) εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί περίπου 30% μείωση των εκπομπών CO_2. Για τον υπολογισμό του οφέλους θεωρείται ότι αντικαθίσταται το 30% του στόλου των οχημάτων δημόσιας χρήσης [6].

3. **Απόσυρση επιβατικών Ι.Χ:** Στην [6] προτείνεται η απόσυρση του 20% του συνόλου των οχημάτων συμβατικής τεχνολογίας έως 2000 κ.ε. κατασκευής πριν το 1990 και η αντικατάστασής τους με καινούρια, τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές (Euro V) και έχουν περίπου 10% χαμηλότερες εκπομπές CO_2.

4. **Οικολογική οδήγηση**: Η οικολογική οδήγηση (Ecodriving) είναι ένας τρόπος οδήγησης, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί σχετικά εύκολα και να συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και στη μείωση των εκπομπών ρύπων κατά 10 έως 15%. Για τον υπολογισμό του οφέλους θεωρείται ότι για το 25% των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων, που διανύουν τα οχήματα ιδιωτικής και δημόσιας χρήσης επιτυγχάνεται 10% μείωση των εκπομπών CO_2 [6].

5. **Πετρελαιοκίνηση**: Με την απελευθέρωση της πετρελαιοκίνησης στα αστικά κέντρα της Αθήνας και Θεσσαλονίκης υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης σημαντικού μέρους από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στις δύο πόλεις. Για τον υπολογισμό του οφέλους θεωρείται ότι για το 15% του στόλου των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη μειώνονται οι εκπομπές CO_2 από 150 gCO_2/km σε 110 gCO_2/km [6].

Τα μέτρα που προτείνονται ανωτέρω αφορούν μόνο την Ελλάδα και στη συνέχεια αναφέρονται μερικά ευρύτερης κλίμακας μέτρα.

Ενέργεια, Βιομηχανία (παγκοσμίου χαρακτήρα μέτρα)

- Μεγαλύτερη και ευρύτερη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας-Ηλιακή, βιομάζα και άνεμος
- Χρήση πυρηνικής ενέργειας
- Σύλληψη και αποθήκευση διοξειδίου
- Μεταστροφή στα καύσιμα (biofuel)
- Σύλληψη και αποθήκευση διοξειδίου στην παραγωγική διαδικασία

Κτίρια, Μεταφορές (παγκοσμίου χαρακτήρα μέτρα)

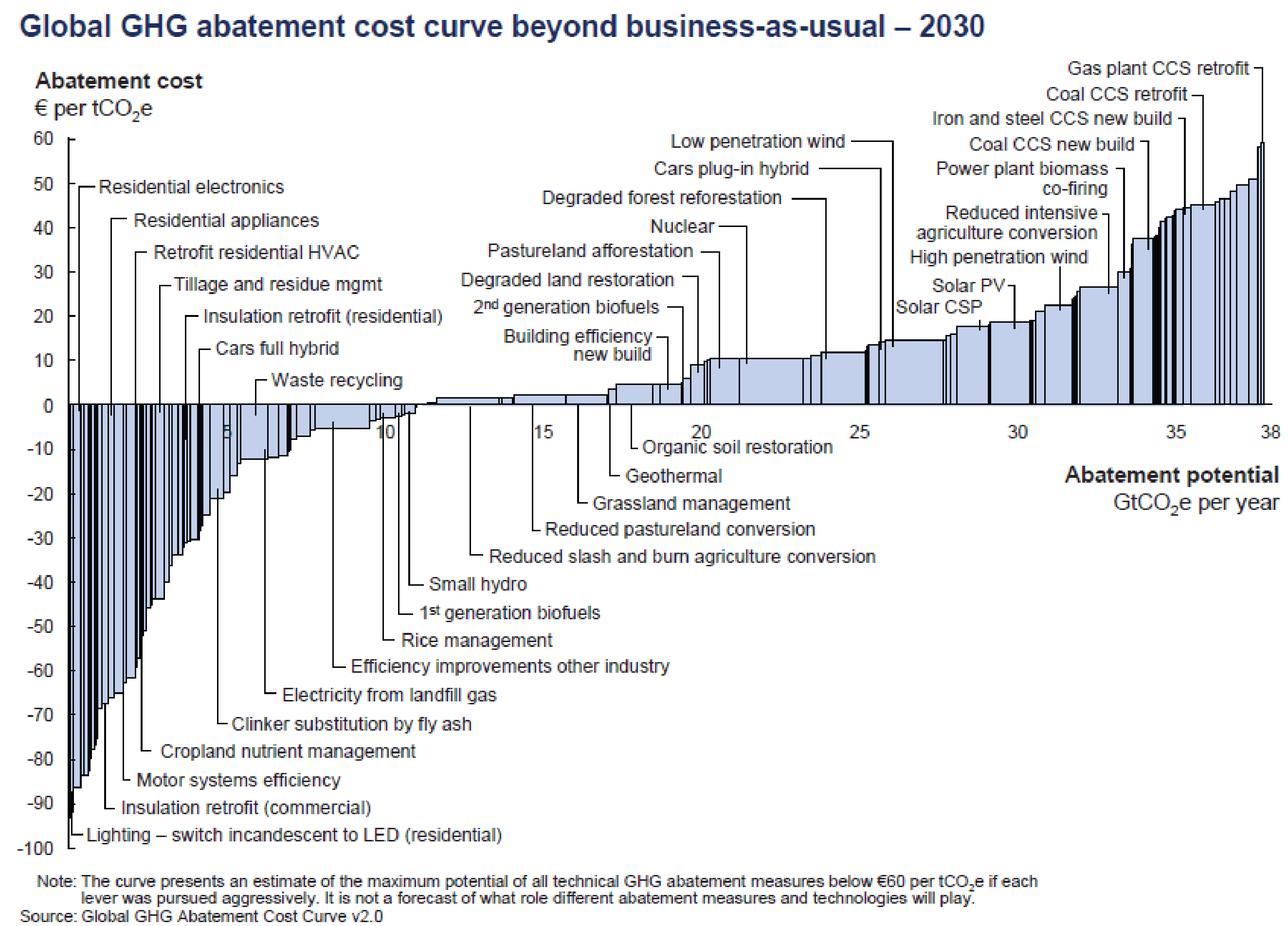
- Καλύτερη μόνωση κτιρίων και καλύτερη θερμική αποδοτικότητα
- Μεγαλύτερη αποδοτικότητα στον φωτισμό
- Πιο αποδοτικά οχήματα ως προς καύσιμα
- Biofuels

Δάση και γεωργία

- Μείωση κατά το το δυνατόν της αποδάσωσης
- Επαναδάσωση
- Σύλληψη μεθανίου από αγροτικές περιοχές
- Νέες γεωργικές μέθοδοι με τις οποίες το χώμα εκπέμπει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα.

Γενικά υπάρχουν αρκετές ευκαιρίες να μειώσουμε τις εκπομπές αέριων εκτός του CO_2, όπως το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και άλλα βιομηχανικά αέρια. Ανά μόριο αυτά τα αέρια έχουν πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο κλίμα απ'ότι το διοξείδιο, αλλά το διοξείδιο παραμένει πιο σημαντικό λόγω της πολύ μεγάλης ποσότητάς του και της μακροζωίας του. Η μείωση κάποιων διαρροών μεθανίου από συστήματα που δουλέουν με αέριο ή λάδι, ή από την εξόρυξη κάρβουνου είναι μέτρο αποτελεσματικό ακόμα και ως προς το κόστος. Η μείωση του μεθανίου μπορεί να καλυτερεύσει και την ποιότητα του αέρα. Η μεγαλύτερη ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου εκτός του CO_2 προέρχονται από τις καλλιέργειες. Αυτές οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν με πολλούς τρόπους, όπως τεχνικές που θα βοηθήσουν τους γεωργούς να μειώσουν την υπερβολική εναπόθεση λιπάσματος (τεχνολογικά καινούριες τεχνικές που ονομάζονται precision agriculture).

Μια ευρέως αποδεκτή μέθοδος κοστολόγησης των μέτρων απομείωσης των εκπομπών του CO_2 ανα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι με τη χρήση των καμπυλών McKinsey [14] που αναπτύσσονται βάσει μελετών της ομώνυμης εταιρείας. Η αντίστοιχη καμπύλη με χρονικό ορίζοντα το 2030 φαίνεται στο σχήμα 1.4.3.



Σχήμα 1.4.3: Καμπύλη κόστους McKinsey [14]

2 ΜΟΝΤΕΛΟ PAGE

2.1.1 Ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης

Το βασικό κίνητρο για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων μοντέλων εκτίμησης (IAMs), είναι η ανάγκη για αποφάσεις επιλογής πολιτικών αποτροπής της κλιματικής αλλαγής. Ένα άλλο κίνητρο είναι η εύρεση τρόπου προσαρμογής και κατανομής κεφαλαίων για κλιματική έρευνα. Για να το κάνουμε αυτό χρειαζόμαστε ένα ενιαίο πλαίσιο ανάλυσης-μοντελοποίησης. Ο έλεγχος της κλιματικής αλλαγής είναι ένα περίπλοκο δυναμικό πρόβλημα, το οποίο απαιτεί μία πολύπλευρη προσέγγιση την οποία μπορεί να προσφέρει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο εκτίμησης, το οποίο πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί τις σημαντικές αβεβαιότητες που υπάρχουν στις επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στη κοινωνία και τον άνθρωπο γενικότερα.

Ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης είναι ως προς την αξιοπιστία τους. Μία προυπόθεση για να κερδίσουν αξιοπιστία στις επιστημονικές κοινότητες είναι το να επιτευχθεί μία ισορροπία ανάμεσα στην εξειδίκευση και ακρίβεια και τη σωστή θεώρηση των φυσικών και κοινωνικών διεργασιών. Φυσικά οι απαντήσεις που περιμένουμε να απαντηθούν παίζουν σημαντικό ρόλο στην ισορροπία που πετυχαίνεται στην κατασκευή ενός IAM. Υπάρχουν κι’ άλλοι παράγοντες, όπως η διαφάνεια των δεδομένων, η ευκολία στη μεταφορά δεδομένων, η ταχύτητα του μοντέλου κτλ.

Η αξιοπιστία επιτυγχάνεται μέσω της δοκιμής και επαλήθευσης του ολοκληρωμένου μοντέλου εκτίμησης. Βέβαια, η επαλήθευση αυτή δεν είναι εύκολη, αλλά και η επικύρωση μερικών κομματιών (modules) του μοντέλου δε σημαίνει την επικύρωση συνολικά του μοντέλου. Για παράδειγμα, μπορεί τα μοντέλα πρόβλεψης του καιρού να είναι πολύ ακριβή σε βραχυχρόνιο διάστημα, αλλά σε συνδυασμό με τα μοντέλα συμπεριφοράς των ωκεανών και της ατμόσφαιρας η αξιοπιστία τους να πέφτει κατά πολύ και τα αποτελέσματα να είναι πολύ λιγότερο ικανοποιητικά.

Τη δεκαετία του ’80 δημιουργήθηκαν δύο μεγάλα IAMs [6], το Atmospheric Stabilization Framework [Lashoff and Tirpak,1989] και το MINK [Rosenberg et al,1993] τα οποία παρόλο που περιείχαν πολλές πληροφορίες, δεν ήταν ικανά για υποστήριξη αποφάσεων πολιτικών κλίματος. Λίγο μετά δημιουργήθηκε το IMAGE [Rotmans,1990] με βοήθεια από την ολλανδική κυβέρνηση. Δημιουργήθηκαν κι άλλα στην ίδια χρονική περίοδο, με τη δική μας μελέτη όμως να εστιάζει στο PAGE (Hope et al,1993).

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα μακροχρόνιο πρόβλημα και αυτό σημαίνει ότι η απόκριση του συστήματος είναι αργή. Είναι προφανές ότι το να φτιάξουμε ένα μονό μοντέλο το οποίο να ανιμετωπίζει όλες τις παραμέτρους του προβλήματος δεν είναι δυνατό. Διαφορετικές προσεγγίσεις πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να απαντήσουμε σε διαφορετικές ερωτήσεις. Για αυτό το λόγο το τελευταίο καιρό μελετούνται όλο και περισσότερο οι αδυναμίες και τα προτερήματά των μοντέλων αυτών. Πρέπει κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ενός μοντέλου να οριστεί σωστά ο στόχος του. Θα είναι ένα μοντέλο βασισμένο μόνο στο κόστος ή και σε άλλους παράγοντες π.χ. κοινωνικούς, πολιτικούς, υγεία κ.τ.λ.; Επίσης προκύπτει η ερώτηση κατά πόσο το μοντέλο πρέπει να λαμβάνει υπόψη την αξία των τελευταίων πληροφοριών και ερευνών. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί πολλά και με διαφορετικούς σκοπούς μοντέλα.

2.1.2 Προκλήσεις στον ορίζοντα

Υπάρχουν τρείς βασικές προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης στο μέλλον. Η πρώτη και σημαντικότερη από αυτές αφορά στη δημιουργία των μοντέλων αυτών. Είναι απαραίτητο να γίνει συνδυασμός των περιβαλλοντικών γνώσεων και παρατηρήσεων με τη τεχνογνωσία που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία τέτοιων μοντέλων. Η δεύτερη πρόκληση αφορά στις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν τα μοντέλα αυτά, δηλαδή σε ποιο βαθμό αυτές αποτελούν μια αρκετά καλή προσέγγιση της πραγματικότητας. Η τελευταία πρόκληση αφορά στη σωστή επιλογή των μεταβλητών και των παραγόντων που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία σε αυτούς που αποφασίζουν και να εισαχθούν αυτές με τα σωστά βάρη στο μοντέλο.

Μπορούμε με αρκετή βεβαιότητα να πούμε ότι οι γνώσεις μας πίσω από τις δυναμικές των κοινωνικών συστημάτων είναι περιορισμένες. Αυτοί οι περιορισμοί περιλαμβάνουν:

1) Τι φέρνει δημογραφικές αλλαγές και πώς μπορούν οι αλλαγές στους πληθυσμούς να προβλεφθούν μέσα στον επόμενο ή στους επόμενους αιώνες;

2) Ποιά είναι τα εργαλεία της τεχνολογικής καινοτομίας;

3) Τι έχει οδηγήσει σε γρήγορη βιομηχανοποίηση κάποιων χωρών και γιατί κάποιες άλλες έχουν αποτύχει να ευημερεύσουν;

4) Μπορούν τα παραπάνω να χειραγωγηθούν μέσω συγκεκριμένων πρωτοβουλιών;

Η πρόκληση της μοντελοποίησης του κλίματος είναι διπλή:

1) Να εξασφαλίσουμε κάποια σιγουριά για την κατάσταση του κλιματικού συστήματος υπό την απουσία ανθρωπογενών επιδράσεων.

2) Να προβλέψουμε σωστά την απόκριση που θα έχει το σύστημά μας με την εμφάνιση κλιματικών διαταραχών.

2.2.1 Εισαγωγή στο PAGE09

Το PAGE (Policy analysis for Greenhouse effect) είναι μοντέλο που δημιουργήθηκε το 1991 για να χρησιμοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Έχει δημιουργηθεί σε Microsoft Excel με το add-in @RISK. Είναι ένα πιθανοτικό μοντέλο και μπορεί να υπολογίσει διάφορα κόστη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για να μειώσει το συνολικό κόστος μίας πολιτικής μείωσης εκπομπών, υποκείμενη σε κάποιους περιορισμούς. Ο συνδυασμός προσομοίωσης και βελτιστοποίησης αυξάνει την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Στο πολυτεχνείο Κρήτης έχει αναπτυχθεί έκδοση του PAGE σε FORTRAN που είναι πολύ γρήγορη και αποδοτική υπολογιστικά και μπορεί να τρέξει επαναληπτικά δεχόμενη διαφορετικά σύνολα παραμέτρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταγλωττισμένη έκδοση του PAGE, που είναι γραμμένη σε Fortran77, είναι 100 φορές πιο γρήγορη από την έκδοση PAGE09. Αυτή η έκδοση είχε αναπτυχθεί πριν το ξεκίνημα αυτής της διπλωματικής και αποφασίστηκε να συνδεθεί με το αναπτυχθέν γραφικό περιβάλλον.

Δέχεται πολλές μεταβλητές, πολλές από αυτές πιθανοτικές, και οι υπολογισμοί του μπορούν να φτάσουν αρκετές δεκαετίες από σήμερα π.χ. μέχρι το 2200.

Το PAGE09 χωρίζει το κόσμο σε 8 (default) ή περισσότερες περιοχές. Μελετά όλα τα σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου και όχι μόνο το διοξείδιο του άνθρακα. Επιτρέπει στο χρήστη να πάρει αποφάσεις για το πώς θα μειώσουμε τις εκπομπές των αερίων και επίσης μοντελοποιεί την προσαρμογή, δηλαδή πώς θα μπορέσουμε να ανταπεξέλθουμε στον αντίκτυπο των αλλαγών που μπορεί να συμβούν καθώς επίσης και άλλους παράγοντες . Η προσαρμογή μπορεί να μειώσει τις οικονομικές ζημιές που γίνονται λόγω κλιματικής αλλαγής. Ενα μέτρο προσαρμογής είναι π.χ. η κατασκευή ενός φράγματος για να προστατευτεί μια παράκτια περιοχή από την άνοδο του επιπέδου της θάλασσας. Στο PAGE09 οι μειώσεις των εκπομπών δίνονται ως επί τοις εκατό ποσοστά των εκπομπών του βασικού έτους (base year). Το μοντέλο λαμβάνει επίσης υπόψη μειώσεις στο κόστος που συμβαίνουν λόγω της καμπύλης μάθησης και λόγω τεχνολογικής προόδου. Το μοντέλο λοιπόν κάνοντας όλους αυτούς τους υπολογισμούς βρίσκει ένα τελικό κόστος για μια πολιτική μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί το PAGE09 αλλά και άλλα μοντέλα εκτίμησης βασίζονται σε υποθέσεις που μπορεί να υποεκτιμούν τα αποτελέσματα και τις επιδράσεις που έχουν τα αέρια αυτά στο κλίμα και στις οικονομικές συνέπειες αυτών.

Οπως αναφέρθηκε και πρίν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμών παραμέτρων, από τις οποίες πάνω από 100 είναι τυχαίες. Για να μπορέσει σε ένα βαθμό να αντιμετωπιστεί αυτό, το μοντέλο τρέχει πολλές φορές με διαφορετικά σύνολα τιμών των εν λόγω παραμέτρων.

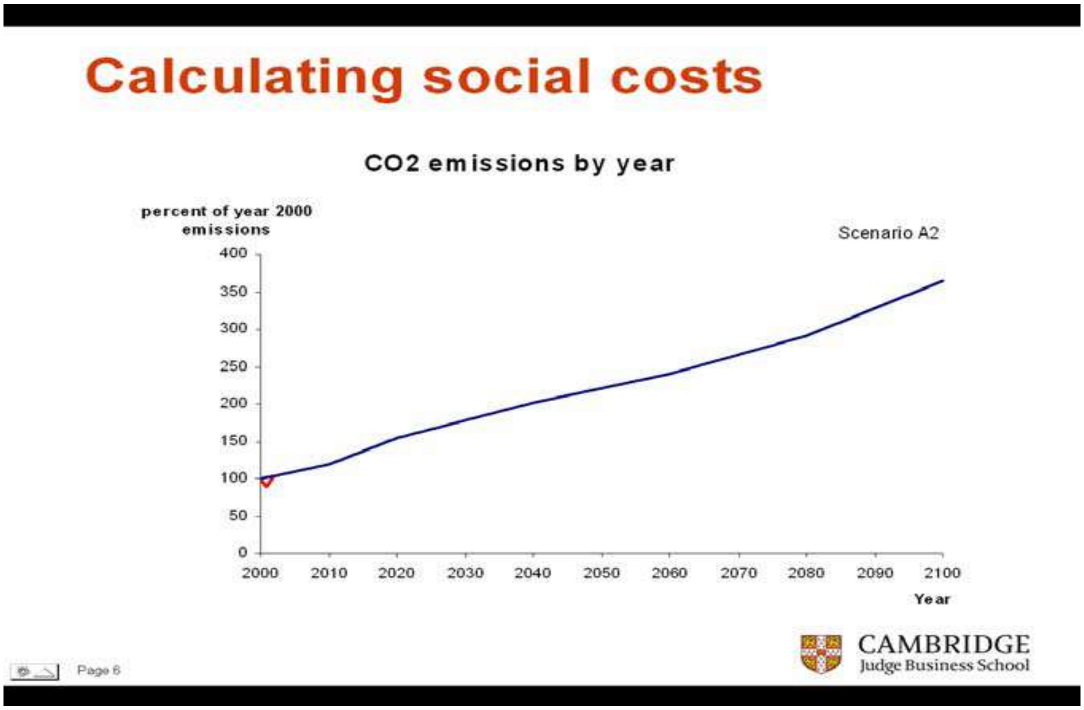
Το σενάριο που έχει ονομαστεί (BAU) είναι αυτό που υποθέτει την συνέχιση των έως τώρα πολιτικών και τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου να αυξάνονται από 38.2 γιγατόνους διοξειδίου σε

60 μέχρι το 2050, να πέφτουν μετά σε 49.5 τη χρονική περίοδο 2050-2100 και μετά να παραμένουν σταθερές μέχρι το 2200.

Το πρόγραμμα εξετάζει τον οικονομικό, μη οικονομικό, και καταστροφικό αντίκτυπο, της αυξησης της θερμοκρασίας δηλαδή όλες τις καταστροφικές συνέπειες για τις οποίες θα έπρεπε να ανησυχούμε με την αύξησή της. Όπως αναφέρθηκε πριν, υπολογίζει τις συνέπειες σε μεγάλο χρονικό βάθος και άρα πρόκειται για ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα με μεγάλη αβεβαιότητα.

Οι υπολογισμοί στο μοντέλο γίνονται πιθανοτικά. Δηλαδή χρησιμοποιούμε διαστήματα τιμών και αντίστοιχα παίρνουμε τις εκτιμήσεις του προγράμματος επίσης σε διαστήματα τιμών. Σίγουρα θα πρέπει να κάνουμε κάποιες υποθέσεις και για τις εκπομπές αερίων, όπως το χρονικό διάστημα που θα παραμείνουν στην ατμόσφαιρα και το βαθμό ευαισθησίας του κλιματικού συστήματος. Επίσης χρειάζεται να δούμε τον αντίκτυπο ως ποσοστό επί τοις εκατό του ΑΕΠ και πώς αυτά μεταβάλλονται ως συνάρτηση των κλιματικών αλλαγών. Τέλος πρέπει να εκτιμηθούν τα επιτόκια αναγωγής στην εκτίμηση του κόστους της κλιματικής αλλαγής. Το PAGE09 είναι ένα IAM καθώς δέχεται δεδομένα από επιστημονικές και οικονομικές μελέτες, τα συνδυάζει, και μας επιτρέπει να δούμε τί είδους επιπτώσεις υπάρχουν για τις πολιτικές που θέλουμε να ακολουθήσουμε. Η δομή του μοντέλου είναι τέτοια ώστε,για να τρέξουμε το μοντέλο, πρέπει πρώτα να πάρουμε μερικές αποφάσεις για το πώς θα είναι η πολιτική μείωσης εκπομπών αλλά και η πολιτκή προσαρμογής στις αλλαγές που θα υπάρξουν στο κλίμα, σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Πρέπει να πάρουμε αποφάσεις για την ποσότητα κάθε αερίου που θα επιτρέψουμε να εκπεμπθεί και το τί είδους προσαρμογή θα έχουμε. Μετά το πρόγραμμα υπολογίζει τις παγκόσμιες και τοπικές θερμοκρασίες που προκύπτουν από τις εκπομπές των διαφορετικών αερίων. Και αν κοιτάξουμε και το μέγεθος της προσαρμογής, τότε αυτό μπορεί σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες θερμοκρασίες, να μας πεί ποιές θα είναι πιθανώς οι επιπτώσεις.

Μπορούμε επίσης να δούμε το κοινωνικό κόστος που μπορεί να έχει ένα αέριο, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα για το διοξείδιο του άνθρακα. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο για να υπολογίσουμε με μία πιθανότητα το κοινωνικό κόστος σε κάθε περιοχή και κάθε χρονική περίοδο ποιές θα είναι οι επιπτώσεις και μετά να τα αθροίσουμε σε όλες τις περιοχές, τις περιόδους και να βρούμε μία εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων που μπορεί να υπάρξουν αν έχουμε εκπομπές σύμφωνα με την ακολουθούμενη πολιτική.



Σχήμα 2.2.1: Κοικωνικό κόστος διοξειδίου του άνθρακα [Chapter 2: PAGE modeling system]

Από το Stern Review [3] το κοινωνικό κόστος του CO_2 υπολογίζεται ότι είναι $85 τον τόνο ενώ στο PAGE09 μπορεί να φτάσει π.χ. στα $312 το τόνο. Αυτό όμως είναι ένα αποτέλεσμα που το χαρακτηρίζει μεγάλη τυχαιότητα. Ενα από τα πλεονεκτήματα του PAGE09 είναι ότι είναι πιθανοτικό μοντέλο και τρέχοντάς το πολλές φορές μπορούμε να δούμε ποιές από τις αβέβαιες παραμέτρους έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις εκτιμήσεις που θα πάρουμε. Μία από τις πολύ σημαντικές παραμέτρους του PAGE09 είναι το climate sensitivity (ευαισθησία του περιβάλλοντος). Η αβεβαιότητα για αυτή τη παράμετρο έχει το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο αποτέλεσμα που λαμβάνουμε για το κοινωνικό κόστος του διοξειδίου του άνθρακα.

Επιστρέφοντας στο Stern Review, βλέπουμε ότι για να υπολογιστεί το κοινωνικό κόστος του CO_2, έγιναν κάποιες υποθέσεις. Η ευαισθησία του περιβάλλοντος μεταβάλλεται σε μια περιοχή που αντιστοιχεί σε μεταβολές από 1,5 μέχρι 5 βαθμούς Κελσίου με τη πιο πιθανή τιμή να είναι στους 2,5 βαθμούς Κελσίου. Η παράμετρος «half life of climate change», δηλαδή ημιζωή της κλιματικής αλλαγής, έχει πεδίο τιμών στο Stern Review από 25 μέχρι 75 χρόνια, με τη πιθανότερη τιμή να είναι στα 50 χρόνια. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να θεωρηθεί ότι ακολουθούν τριγωνική κατανομή.

Επίσης οι υποθέσεις που γίνονται στο Stern Review περί καταστροφών δίνουν 2,5 % πιθανότητα ότι θα γίνει καταστροφή μέχρι το 2100 και 25% πιθανότητα ότι θα γίνει καταστροφή μέχρι το 2200. Δηλαδή υπάρχει πιθανότητα για καταστροφή μόλις αρχίσει και ανεβαίνει η θερμοκρασία, κατά 2, 3, ή 4 βαθμούς Κελσίου. Αν υποθέσουμε ότι η πιθανότητα για μία καταστροφή ανεβαίνει κατά 20% και όχι 10% για κάθε παραπάνω βαθμό Κελσίου, τότε καταλήγουμε με κοινωνικό κόστος για το διοξείδιο ανεβασμένο κατά 50% και αντί για $340 θα έχουμε κόστος $500. Με τις νέες τιμές για μια πιθανή καταστροφή έχουμε 25% πθανότητα να γίνει μία μέχρι το 2100 και 80% να γίνει μέχρι το 2200. Μιλάμε δηλαδή για πράγματα που είναι πολύ πιθανό να συμβούν στον 22^{ο} αιώνα, πάνω από 100 χρόνια από σήμερα, και παρόλ’αυτα έχουν σχετικά μεγάλη επίδραση στο κοινωνικό κόστος του διοξειδίου σήμερα. Φυσικά μπορούμε να υπολογίσουμε το κοινωνικό κόστος και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

Το μοντέλο του PAGE δεν έχει βαριές υπολογιστικές απαιτήσεις όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί απαξ για την εκτίμηση ενός σεναρίο, και ουσιαστικά το μόνο που χρειάζεται είναι ένας υπολογιστής με εγκατεστημένο το Excel. Φτιάχτηκε για να παρέχει βοήθεια στη λήψη αποφάσεων, για τη λήψη αποφάσεων στο θέμα της παγκόσμιας θέρμανσης. Μπορεί ο χρήστης να εισάγει στο πρόγραμμα μια πολιτική παγκόσμιας θέρμανσης και το PAGE να βρεί το κόστος αυτής της πολιτικής. Χρησιμοποιεί μια τεχνική με όνομα Latin Hypercube Sampling για να φτιάξει τις κατανομές πιθανοτήτων. Τέλος, μπορεί να συγκρίνει 2 διαφορετικές πολιτικές που θα βάλει ο χρήστης, σε μία επανάληψη (run). Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί καλύπτουν ουσιαστικά όλο το φάσμα των παραμέτρων που δέχεται

Η χρήση γενετικών αλγορίθμων σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση που παρέχει το PAGE09 μπορεί να μας βοηθήσει να βρούμε τη βέλτιστη πολιτική εκπομπών, ακόμα και κάτω από αβεβαιότητα. Αυξάνεται όμως δραματικά το υπολογιστικό φορτίο. Το πρόβλημα αυτό λυνεται με την ανάπτυξη compiled εκδόσεων του PAGE σε πιο αποδοτικές πλατφόρμες λογισμικού όπως FORTRAN, MATLAB κτλ.

2.2.3 Επισκόπηση των εξισώσεων του PAGE09

Στη συνέχεια θα παρατεθούν οι σημαντικότερες από τις εξισώσεις όπως παρουσιάζονται στο PAGE09.

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στις μεταβλητές είναι:

i =δείκτης κάθε έτος = 0, 1, …, ni

y_i = έτος, με y_0 να είναι το βασικό έτος. $(y_{i-1}, y_i]$

g = δείκτης αερίου: 1 = CO_2, 2 = CH_4, 3 = N_2O, 4 = Linear gases

d = impact type: 0 = sea-level rise, 1 = economic, 2 = non-economic, dis = discontinuity

r = regions = 1, 2, …, nr; r = 1 is the focus region

2.2.3.1 CH_4, N_2O, Γραμμικά αέρια (Linear gases): Εκπομπές και συγκεντρώσεις

Για κάθε αέριο g=2, 3, 4 η ατμοσφαιρική συγκέντρωση το έτος y_i ($C_{i,g}$) είναι το άθροισμα της προβιομηχανικής (PIC_{ig}) και της πλεονάζουσας συγκέντρωσης εκείνο το έτος (EXC_{ig}).

Άρα:

Ατμοσφαιρική συγκέντρωση = προβιομηχανική + (πλεονάζουσα συγκέντρωση το έτος y_0)*(παράγοντα κλίμακας το έτος y_i)

Ο παράγοντας της κλίμακας το έτος $\boldsymbol{y_i}$ ισούται με τις αθροισμένες συγκεντρώσεις $RE_{i,g}$ που παραμένουν στην ατμόσφαιρα εκείνο το έτος σε σχέση με το $RE_{0,g}$ του αρχικού έτους.

$$C_{i,g} = \mathrm{PIC}_g + \mathrm{EXC}_{0,g}\frac{\mathrm{RE}_{i,g}}{\mathrm{RE}_{0,g}}$$

Όπου τα PIC_g, $EXC_{0,g}$ και $RE_{0,g}$ βρίσκονται ή υπολογίζονται από τα δεδομένα. Το $RE_{i,g}$ έχει ένα ρυθμό μείωσης $1/RES_g$ λόγω χημικών φαινομένων. Αυτά ικανοποιούν την ακόλουθη διαφορική εξίσωση:

$$\frac{d\mathrm{RE}_{i,g}}{dt} = -\frac{\mathrm{RE}_{i,g}}{\mathrm{RES}_g} + \text{(ρυθμός παραπάνω εκπομπών που παραμένουν ανά έτος)} \qquad (2)$$

Η λύση αυτής της διαφορικής εξίσωσης:

$$\mathrm{RE}_{i,g} = \mathrm{RE}_{i-1,g}\, e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\mathrm{RES}_g}} + \frac{\mathrm{TEA}_{i,g} + \mathrm{TEA}_{i-1,g}}{2}\mathrm{RES}_g\left(1 - e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\mathrm{RES}_g}}\right) \qquad (3)$$

$TEA_{i,g} = (E_{i,g} + NtE_{i,g})AIR_g$, με $E_{i,g}$=ανθρωπογενείς ετήσιες εκπομπές

Οι φυσικές εκπομπές υπολογίζονται ως,

$NtE_{i,g} = STIM_g\ RT_{i-1}$,

Όπου, RT_{i-1} είναι η μέση αύξηση της θερμοκρασίας από την προβιομηχανική εποχή. Το $STIM_g$ αντιπροσωπεύει ένα παράγοντα κλιμάκωσης, ο οποίος πολλαπλασιάζεται το RT_{i-1} για να υπολογιστούν οι φυσικές εκπομπές, $NtE_{i,g}$. Από αυτές τις εκπομπές μόνο ένα κλάσμα μένει στην ατμόσφαιρα και αυτό το κλάσμα αντιπροσωπεύει το AIR_g.

2.2.3.2 CO_2: Εκπομπές και συγκεντρώσεις

Ξεκινάμε με την εύρεση των καθαρών ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου (net anthropogenic)

$$\mathrm{TEA}_{i,1} = \mathrm{E}_{i,1}\,\mathrm{AIR}_g \tag{4}$$

Για τις τελευταίες δύο περιόδους τις υπολογίζουμε με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mathrm{TEAY}_{i,1} = \frac{\mathrm{TEA}_{i,1} + \mathrm{TEA}_{i-1,1}}{2}\left(y_i - y_{i-1}\right) \tag{5}$$

Ακολούθως οι καθαρές συσσωρευμένες ανθρωπογενείς εκπομπές του διοξειδίου από τη προβιομηχανική εποχή υπολογίζονται χωρίς παράγοντες ανάδρασης (feedback, stimulation), ως εξής:

$$\mathrm{CEA}_{i,1} = \mathrm{CEA}_{i-1,1} + \mathrm{TEAY}_{i,1} \tag{6}$$

Η αντίστοιχη διαφορική εξίσωση έχει την ακόλουθη λύση:

$$\mathrm{RE\_noff}_{i,1} = \mathrm{STAY}_1 \cdot \mathrm{CEA}_{i,1}\left(1 - e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\mathrm{RES}_1}}\right) + \mathrm{RE\_noff}_{i-1,1}e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\mathrm{RES}_1}} + \mathrm{TEAY}_{i,1}e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\mathrm{RES}_1}}$$

Όπου, το $\mathrm{RE\_noff}_{i,1}$ είναι το RE που υπολογίστηκε στην (3) χωρίς παράγοντα ανάδρασης.

Η συγκέντρωση CO_2 το έτος y_i δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\mathrm{C}_{i,1} = \mathrm{PIC}_1 + \mathrm{EXC}_{0,1}\frac{\mathrm{RE\_noff}_{i,1}}{\mathrm{RE\_noff}_{0,1}}\left(1 + \mathrm{GAIN}_i\right) \tag{7}$$

Όπου, ο παράγοντας GAIN είναι ίσος με $\mathrm{GAIN}_i = \min(\mathrm{CCF}\cdot \mathrm{RT}_{i-1}, \mathrm{CCFFmax})$ και τα CCF και CCFF_{max} είναι τυχαίες παράμετροι.

2.2.3.3 Επίδραση της απορροφούμενης ακτινοβολίας (radiative forcing)

$$CO_2:\ F_{i,1} = F_{0,1} + FSLOPE_1 \cdot \ln(C_{i,1}/C_{0,1}) \tag{8}$$

$$CH_4:\ F_{i,2} = F_{0,2} + FSLOPE_2 \cdot \left(\sqrt{C_{i,2}} - \sqrt{C_{0,2}}\right) \tag{9}$$

$$N_2O:\ F_{i,3} = F_{0,3} + FSLOPE_3 \cdot \left(\sqrt{C_{i,3}} - \sqrt{C_{0,3}}\right) \tag{10}$$

$$\text{Linear gas: } F_{i,4} = F_{0,4} + FSLOPE_4 \cdot (C_{i,4} - C_{0,4}) \tag{11}$$

$$\text{Και έχουμε } FT_i = F_{i,1}+F_{i,2}+ F_{i,3} + F_{i,4} + EXF_i \tag{12}$$

Το $F_{i,i}$ συμβολίζει την ενεργειακή διαφορά προσπίπτουσας και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για κάθε αέριο και μετριέται σε W/m^2.

Το EXF_i δίνεται από τα δεδομένα και συμβολίζει την περίσσεια ηλιακή ενέργεια που μένει στο σύστημα.

Η ενεργειακή διαφορά που έχουμε από τις εκπομπές θειούχων αερίων υπολογίζεται από τις ετήσιες ροές SFX (ανά km^2) σε κάθε περιοχή. Έτσι, εφόσον μας δίνονται οι ετήσιες εκπομπές έχουμε,

$$SFX_{i,r} = (\text{ετήσιες εκπομπές τη περίοδο i})/AREA_r$$

Η αντίστοιχη ενεργειακή διαφορά αυτών των αερίων συμβολίζεται με $FS_{i,r}$ και υπολογίζεται από την εξίσωση,

$$FS_{i,r} = A \cdot SFX_{i,r} + B \cdot \ln(1 + SFX_{i,r}/NF_r)$$

Όπου,

NF (natural flux) η φυσική ροή και A, B τυχαίες μεταβλητές.

Η μακροπρόθεσμη αύξηση της θερμοκρασίας σε μία περιοχή είναι ανάλογη της ενεργειακής διαφοράς $FS_{i,r}$.

$$ET_{i,r} = A(FT_i + FS_{i,r}) \tag{13}$$

όπου A=τυχαία παράμετρος

Επίσης, έχουμε ότι η μεταβλητή $RTL_{i,r}$, που συμβολίζει τη μεταβλητή RT_{i-1} προσαρμοσμένη έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη και το γεωγραφικό πλάτος κάθε περιοχής, είναι:

$$\mathrm{RTL}_{i,r} = \frac{\mathrm{RT}_{i,r}}{1+\frac{\mathrm{ocean\_prop}}{\mathrm{RLO}}-\mathrm{ocean\_prop}} + \frac{\mathrm{POLE}}{90}\left(\mathrm{LATITUDE}_r - \mathrm{LATITUDE\_G}\right)$$

Όπου, POLE είναι μια τυχαία παράμετρος και εκφράζει τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ισημερινό και τους πόλους, RLO είναι επίσης τυχαία παράμετρος και το LATITUDE_G είναι το κέντρο του γεωγραφικού πλάτους.

Έχοντας θέσει τα βάρη ανά περιοχή έχουμε,

$$\mathrm{RTL}_i = \frac{\sum_r \mathrm{RTL}_{i,r} \cdot \mathrm{AREA}_r}{\mathrm{AREA\_G}} \quad \text{με AREA\_G (total land area)} = \sum_r \mathrm{AREA}_r$$

Οι διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε ωκεανό και στεριά δίνονται από την

$$\mathrm{RTO}_i = \mathrm{TL}_i/\mathrm{RLO} \tag{16}$$

Τέλος, η μέση παγκόσμια θερμοκρασιακή αύξηση, RT_i, είναι το άθροισμα των μέσων θερμοκρασιών της στεριάς και της θάλασσας με κατάλληλα βάρη.

$$\mathrm{RT}_i = \mathrm{ocean\_prop} \times \mathrm{RTO}_i + \mathrm{land\_prop} \times \mathrm{RTL}_i \tag{17}$$

Το επίπεδο της θάλασσας δίνεται από την σχέση $SL_{eq} = aT + b$ και τη διαφορική εξίσωση,

$$\frac{d\mathrm{SL}}{dt} = \frac{\mathrm{SL}_{\mathrm{eq}} - \mathrm{SL}}{\tau}$$

Όπου τα a και b είναι τυχαίες παράμετροι.

Αν θεωρήσουμε το T σταθερό τότε η λύση αυτής της διαφορικής εξίσωσης είναι

$$\mathrm{SL}_i = \mathrm{SL}_{i-1} + (\mathrm{SL}_{\mathrm{eq}} - \mathrm{SL}_{i-1})\left(1 - e^{-\frac{y_i - y_{i-1}}{\tau}}\right) \tag{18}$$

2.2.3.4 Κόστη αποτροπής

Για μία συγκεκριμένη πολιτική θεωρούμε τη μεταβλητή $CBE_{i,g,r}$ η οποία εκφράζει ποσοστιαίες μειώσεις εκπομπών από την πολιτική μηδενικού κόστους. Ισούται με τις κανονικές εκπομπές που θα είχαμε αν δεν παίρναμε καμία πρωτοβουλία (BAU Emissions) μείον τις αντίστοιχες εκπομπές της ακολουθούμενης πολιτικής. Το μέγεθος $CBE_{i,g,r}$ υπολογίζεται από τα δεδομένα.

Οι αθροιστικές μειώσεις εκπομπών υπολογίζονται από την επόμενη εξίσωση.

$$\mathrm{CUMCBE}_{i,g,r} = \mathrm{CUMCBE}_{i\text{-}1,g,r} + \mathrm{CBE}_{i\text{-}1,g,r}[(y_{i+1} - y_{i-1})/2] \tag{19}$$

και μας χρησιμεύουν για να υπολογίσουμε τη μείωση που έχουμε λόγω του φαινομένου της μάθηση (learning) που αντιπροσωπεύεται από το παράγοντα $\mathrm{LEARNFAC}_{\mathrm{i,g,r}}$

Μια άλλη μείωση στο κόστος προέρχεται από τη τεχνολογική πρόοδο.

Οι παράγοντες έκπτωσης (DR-Discount Rates) εξαρτώνται από το χρόνο και την περιοχή:

$$\mathrm{DR}_{,\mathrm{i,r}} = \mathrm{PTP}\ (\approx 1.033) + \mathrm{EMUC}(\text{elasticity of utility}\approx 1.17) \times[\mathrm{GDP\_GR\_RATE}_{\mathrm{r}}(\approx 1.85\text{–}5) - \mathrm{POP\_GR\_RATE}_{\mathrm{i,r}}(\approx\text{-}1.5\text{–}2.5)] \tag{20}$$

Όπου, GDP_GR_RATE και POP_GR_RATE και EMUC δίνονται από τα δεδομένα και το PTP συμβολίζει τον εγγενή ρυθμό έκπτωσης κοινωνικού κόστους.

Τα συνολικά κόστη αποτροπής τελικά υπολογίζονται από τα συνολικά κόστη που υπολογίζονται στις (19) και (20), αθροισμένα σε όλες τις περιοχές και περιόδους.

2.2.3.5 Προσαρμογή

Θεωρούμε τέσσερα είδη οικονομικής ζημιάς:

0: αύξηση του επιπέδου της θάλασσας, 1: οικονομικές λόγω αύξησης θερμοκρασίας, 2: μη οικονομικές λόγω αύξησης θερμοκρασίας, 3: dis-μεγάλης έκτασης καταστροφές (discontinuities).

Μέτρα προσαρμογής χρησιμοποιούνται μόνο για τα είδη οικονομικής ζημιάς 0, 1 και 2. Η προσαρμογή ξεκινάει κάποιο έτος και τελειώνει σε κάποιο άλλο. Με αυτό τον τρόπο, υπολογίζουμε το ετήσιο κόστος προσαρμογής, το επίπεδο προσαρμογής, το ετήσιο κόστος μείωσης των συνεπειών και ζημιών, το επίπεδο προσαρμογής στις συνέπειες και τους τοπικούς ρυθμούς μείωσης του κόστους. Η τελευταία αυτή μεταβλητή διαιρεμένη με το πληθυσμό μας δίνει τη μεταβλητή ACT_P_C και αφού προσθέσουμε και τις εκπτώσεις κόστους παίρνουμε τα συνολικά κόστη προσαρμογής.

2.2.3.6 Κόστη Ζημιών

Τα κόστη ζημιών της αύξησης της στάθμης της θάλασσας είναι $I_{i,0,r} = \max(0, S_i - ATL_{i,0,r})$. Επίσης θεωρούμε ότι μια καταστροφή μεγάλων διαστάσεων μπορεί να συμβεί μόνο ένα έτος.

2.2.3.7 Συνολικό κόστος

$$TC = \min(TD + TAC + TPC, CIV\_VALUE) \quad (21)$$

Όπου, ο συνολικός αντίκτυπος (total impacts) συμβολίζεται με TD και η μεταβλητή CIV_VALUE είναι η στατιστική αξία του πολιτισμού που μετριέται σε εκατομμύρια δολάρια και αναπαριστάται από τριγωνική κατανομή . Η μεταβλητή TC συμβολίζει το συνολικό κόστος και τα υπόλοιπα τα κόστη που υπολογίστηκαν προηγουμένως.

3 Graphic User Interface στο MATLAB

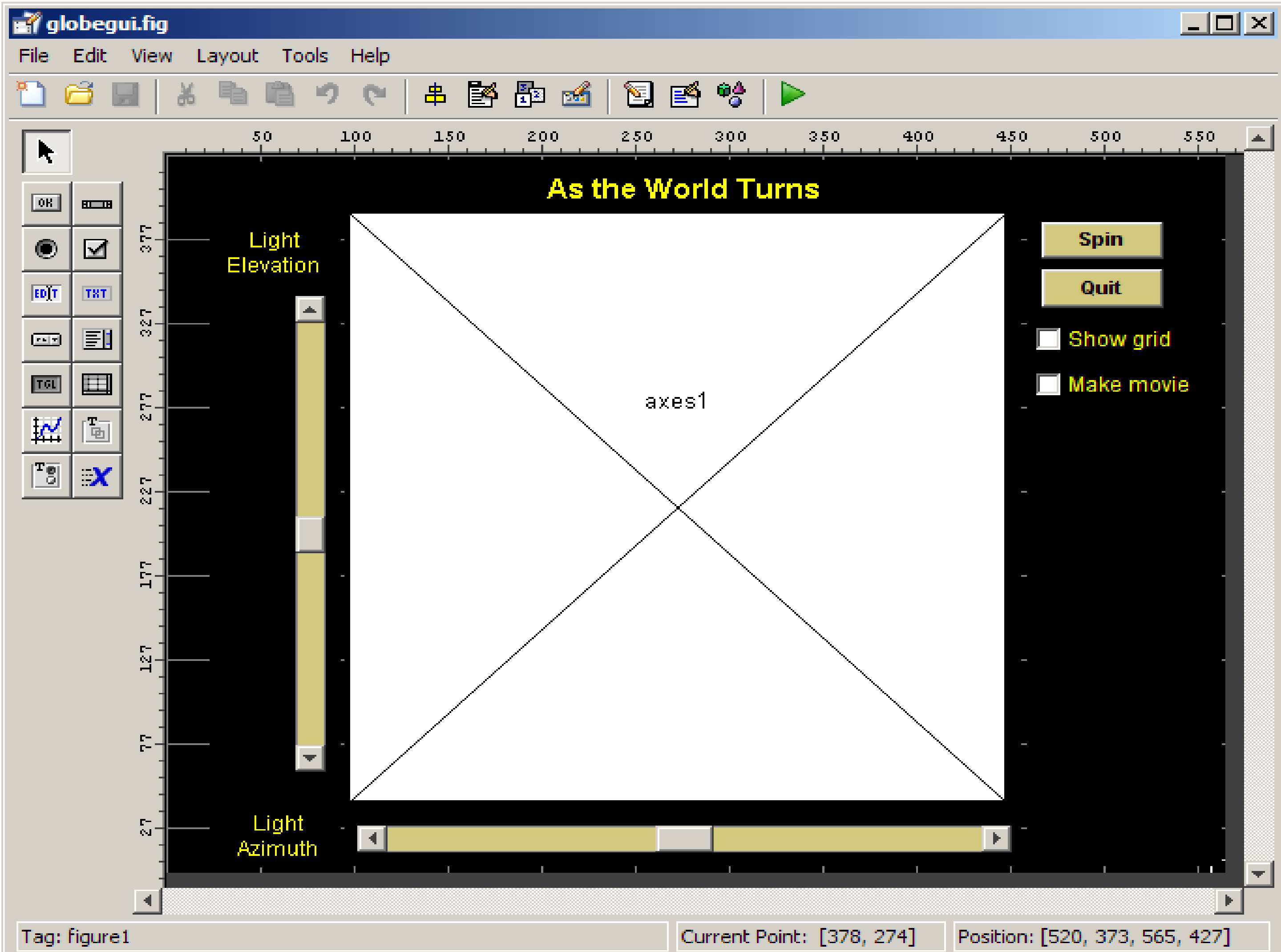
3.1 Λόγοι ανάπτυξης γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής για το PAGE09

Εξετάζοντας το PAGE09 και πολλές από τις δυνατότητές του προκύπτει η ανάγκη να δημιουργήσουμε ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη με το μοντέλο, έτσι ώστε να μπορεί ουσιαστικά οποιοσδήποτε χρήστης εξειδικευμένος ή μη να το χρησιμοποιήσει. Αυτό το γραφικό περιβάλλον θα πρέπει να είναι φιλικό προς το χρήστη (δηλαδή δε θα χρειάζεται να ξέρει ο χρήστης όλες τις λεπτομέρειες που υπεισέρχονται των παραμέτρων), θα πρέπει να επιτρέπει να αλλάζουν εύκολα οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου και να απεικονίζει γραφικά τα δεδομένα εισόδου. Επίσης, φιλικό σημαίνει ότι συγχωρεί τα λάθη και επιτρέπει στο χρήστη να σβήσει διάφορες τιμές και να ξαναεισάγει δεδομένα. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το γραφικό περιβάλλον διεπαφής και να δει τα αποτελέσματα των διαφορετικών πολιτικών εκπομπής αερίων που θα επιλέξει τρέχοντάς το μοντέλο και να δει τον αντίκτυπο που έχουν οι διαφορετικές παράμετροι στα τελικά αποτελέσματα κόστους. Μπορεί με αυτό το τρόπο να πληροφορηθεί καλύτερα και ίσως να εκτιμήσει σε μεγαλύτερο βάθος τις διάφορες πολιτικές.

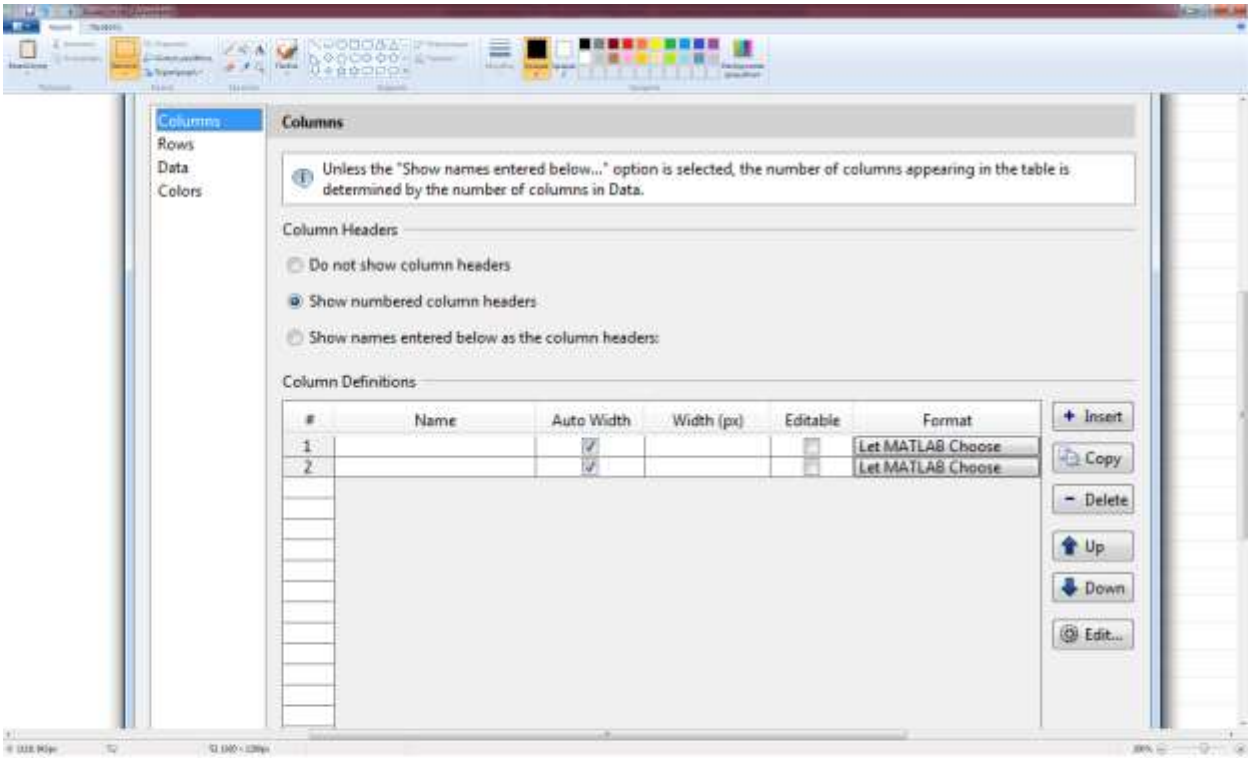
3.2 Εισαγωγικά για το GUIDE

Το GUIDE είναι ένα εργαλείο του MATLAB για το σχεδιασμό γραφικών περιβάλλοντων διεπαφής (Graphic User Interface) χρήστη με κώδικα. Το όνομα του προέρχεται από τα αρχικά των Graphical User Interface Design Environment. Μπορούμε να το καλέσουμε είτε πληκτρολογώντας guide στη γραμμή εντολών του MATLAB είτε πληκτρολογώντας guide fig-file name, όπου name είναι το όνομα του αρχείου που έχουμε ήδη δημιουργήσει. Επίσης μπορούμε να κάνουμε δεξί κλίκ σε ένα αρχείο γραφικών και να επιλέξουμε Open in GUIDE. Η επόμενη εικόνα δείχνει τη δημιουργία ενός απλού GUI μέσω του GUIDE.

Στο σχήμα 3.2.1 μπορούμε να δούμε τα διάφορα αντικείμενα που υπάρχουν για να προσθέτουμε υλικό στο γραφικό περιβάλλον μας, όπως radio buttons, τα οποία ταιριάζουν πολύ σε αμοιβαίως αποκλειόμενες επιλογές, tables για να εισάγουμε δεδομένα και να τα επεξεργαζόμαστε, άξονες κτλ.



Σχήμα 3.2.1 GUIDE TOOL [10]

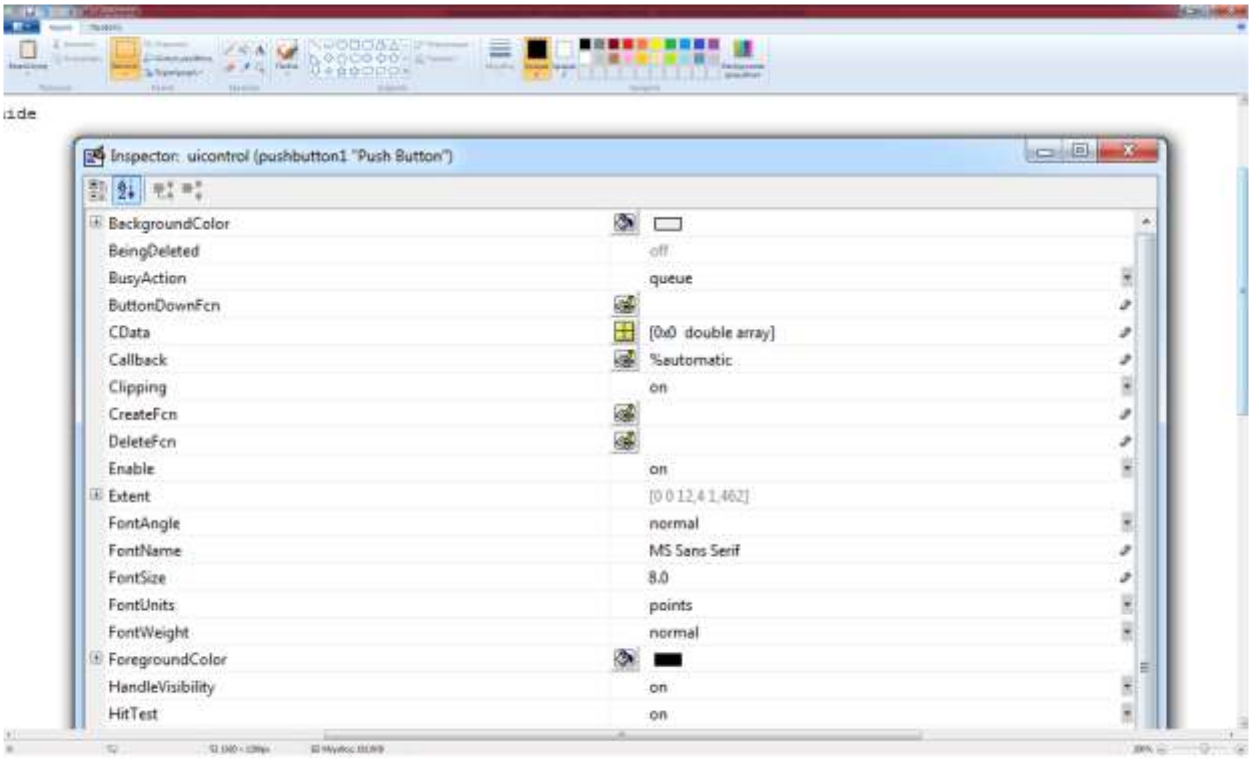


Σχήμα 3.2.2 Επιλογές σε δομή πίνακα στο εργαλείο GUIDE[10]

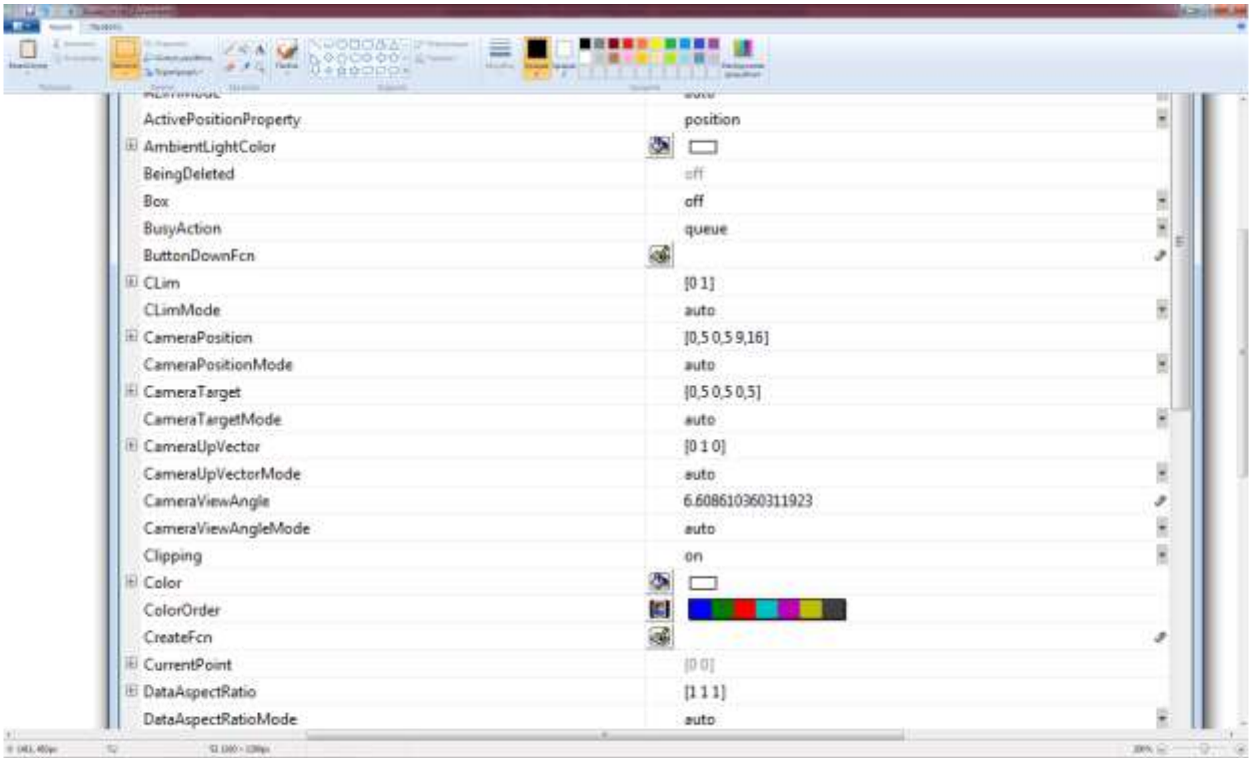
Στο σχήμα 3.2.2 φαίνεται το μενού επιλογών του αντικειμένου ενός πίνακα. Εδώ μπορούμε να αλλάξουμε τα δεδομένα στον εκάστοτε πίνακα, ρυθμίζοντας παραμέτρους για τις στήλες, όπως τι μορφή θα έχουν και αν θα μπορεί ο χρήστης να τις αλλάξει. Επίσης έχουμε επιλογές και για τις σειρές του πίνακα όπωςτο είδος των δεδομένων (υπάρχει επίσης η δυνατότητα να αρχικοποιείται με ένα set δεδομένων που θα διαλέγουμε εμείς) και τα χρώματα που θα χρησιμοποιήσουμε.

Στο σχήμα 3.2.3 φαίνεται το μενού επιλογών του αντικειμένου ενός κουμπιού (Push button). Τα κουμπιά όταν επιλέγονται με αριστερό κλικ κάνουν συγκεκριμένες ενέργειες που ορίζει ο χρήστης μέσω συναρτήσεων. Στο σχήμα 3.2.3 βλέπουμε ένα σύνολο από παραμέτρους που μπορούμε να ρυθμίσουμε για τα κουμπιά, όπως το χρώμα, τα Button Down, Delete και Create Callbacks, fontsize κλπ.

Τις μπάρες ολίσθησης (Sliders) τις χρησιμοποιούμε συνήθως για να ρυθμίσουμε μία παράμετρο. Οι περισσότεροι έχουμε στους υπολογιστές μας για παράδειγμα sliders για να ρυθμίζουμε τη φωτεινότητα, την αντίθεση κτλ. Επίσης μπορούμε να προσθέσουμε στο γραφικό περιβάλλον κουμπιά επιλογής (check boxes), για να θέτουμε μία παράμετρο true ή false, static text το οποίο θα λαμβάνει τα δεδομένα που γράφουμε, pop up menu για το γνωστό μας drop down menu και listboxes που δείχνουν τις επιλογές μας σε λίστα. Τέλος υπάρχουν και τα toggle buttons και οι άξονες. Το αντικείμενο αξόνων είναι μια περιοχή που μπορούμε να σχεδιάσουμε μεταβλητές του προγράμματος, οι οποίες μπορεί πολλές φορές να είναι και δεδομένα του ίδιου του GUI. Στο σχήμα 3.2.3 φαίνεται το μενού επιλογών του αντικειμένου αξόνων.



Σχήμα 3.2.3 Επιλογές σε ένα κουμπί (push button) του GUIDE [10]

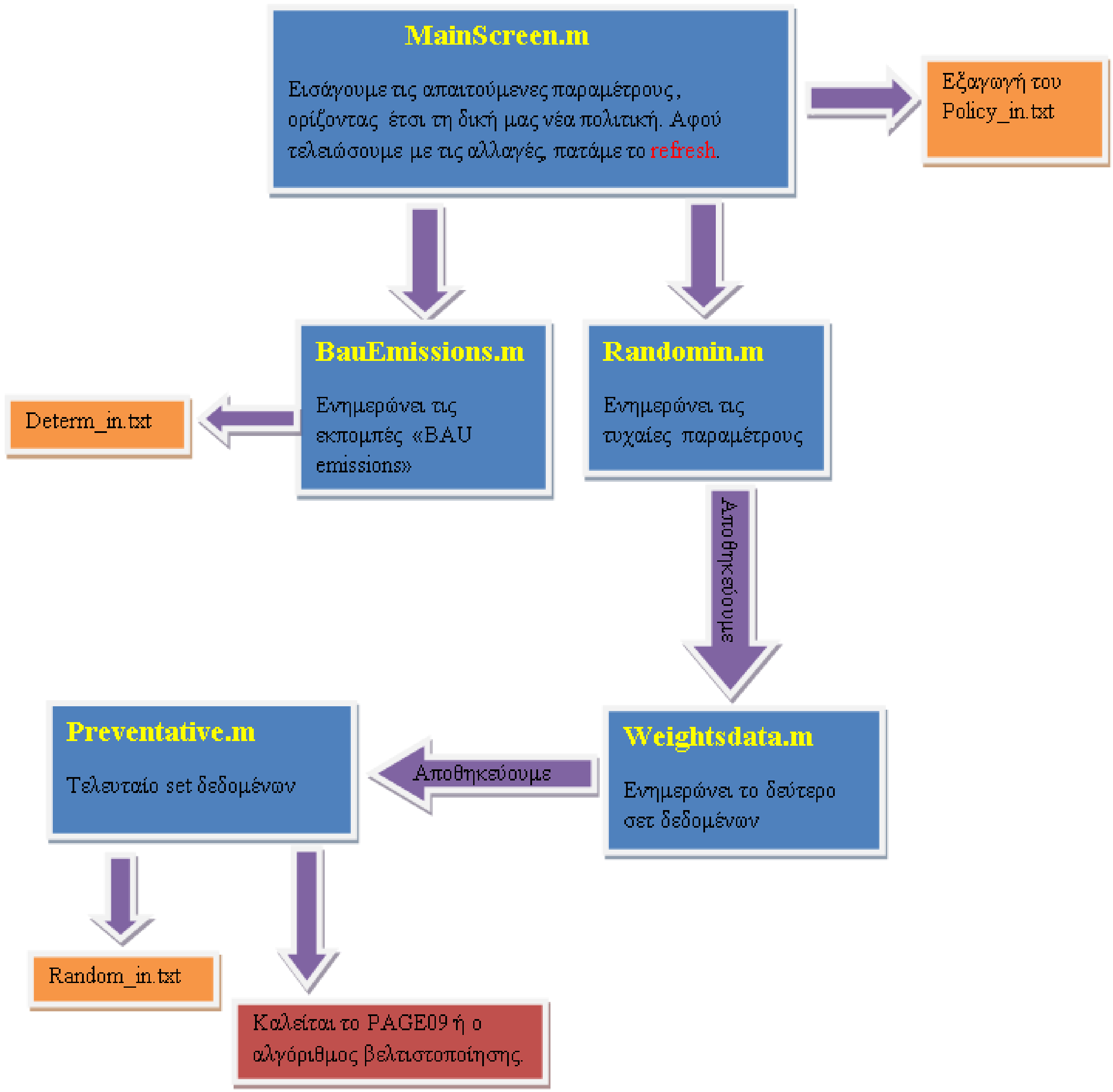


Σχήμα 3.2.4: Επιλογές σε περιοχή γραφημάτων(axes) του εργαλείου GUIDE [10]

Όλα τα παραπάνω αντικείμενα από μόνα τους δε κάνουν τίποτα. Πρέπει να δημιουργηθεί ένα m-file το οποίο αντιπροσωπεύει όλη τη συμπεριφορά του γραφικού περιβάλλοντος. Πρέπει να δημιουργηθεί ο κατάλληλος κώδικας για να κάνουμε το γραφικό περιβάλλον μας να δουλέψει, δηλαδή κάθε εργαλείο που προσθέσαμε πρέπει να προγραμματιστεί η συμπεριφορά του. Πολλές φορές πρέπει δύο διαφορετικά αντικείμενα (ή και περισσότερα) του περιβάλλοντος να ανταλλάσουν δεδομένα μεταξύ τους. Εκεί πρέπει να δοθεί προσοχή στις ονοματοδοσίες των μεταβλητών και των δεδομένων μας. Σε επόμενη φάση μπορούμε να αρχίσουμε να ανταλλάσουμε και να χρησιμοποιούμε δεδομένα από διαφορετικά GUIs, με την ίδια μεθοδολογία που ακολουθείται στην περίπτωση ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ αντικειμένων. Αυτό έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία, με τη δημιουργία πέντε ξεχωριστών m-files για τη σωστή αναπαράσταση όλων των δεδομένων των διαφορετικών οθονών του γραφικού περιβάλλοντος. Τα δεδομένα σε κάθε m-file είναι τοπικά, δηλαδή δεν φαίνονται έξω από το συγκεκριμένο m-file . Αυτό για να ξεπεραστεί μπορεί ο χρήστης να διαλέξει να σώσει κάποιες μεταβλητές ως γενικές (global) ή να σώσει ένα αντίγραφό τους στο workspace, που μειώνει λίγο την επικινδυνότητα να γίνει λάθος στα δεδομένα αλλά είναι και λίγο πιο ελαφρύ για το σύστημα. Αυτό γίνεται με την εντολή setappdata(). Ετσι μπορούν πλέον και τα υπόλοιπα αρχεία μας να πάρουν τα δεδομένα που θέλουν με την αντίστροφη εντολή, getappdata().

3.3 Περιγραφή του γραφικού περιβάλλοντος

3.3.1 Διάγραμμα ενεργειών χρήστη του προγράμματος



Σχήμα 3.3.1: Διάγραμμα ροής του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής

Το γραφικό περιβάλλον φτιάχτηκε εξ’ολοκλήρου στο Matlab και αποτελείται από τις εξής συναρτήσεις κώδικα και οθόνες εισαγωγής δεδομένων :

1) MainScreen.fig Η αρχική οθόνη του προγράμματος από όπου μπορεί να οδηγηθεί ο χρήστης σε όλες τις υπόλοιπες οθόνες.

2) MainScreen.m Αρχείο κώδικα που περιέχει όλες τις συναρτήσεις της οθόνης MainScreen.fig και ενώνει τα δεδομένα του με δεδομένα άλλων οθονών.

3) BauEmissions.fig, , Οθόνη στην οποία ο χρήστης βλέπει κυρίως δεδομένα που αφορούν τις εκπομπές που θα έχουμε αν δε πάρουμε καμία πρωτοβουλία (business as usual scenario), και να τις δει γραφικά.

4) BauEmissions.m Αρχείο κώδικα που περιέχει όλες τις συναρτήσεις της οθόνης BauEmissions.fig και ενώνει τα δεδομένα του με δεδομένα άλλων οθονών.

5) randomin.fig Οθόνη στην οποία ο χρήστης βλέπει τις τυχαίες παραμέτρους (random parameters), δηλαδή κάποιες παράμετροι που τις χαρακτηρίζει η τυχαιότητα. Και αυτά τα δεδομένα μπορεί να αλλάξει ο χρήστης.

6) randomin.m Αρχείο κώδικα που περιέχει όλες τις συναρτήσεις της οθόνης randomin.fig και ενώνει τα δεδομένα του με δεδομένα άλλων οθονών.

7) weightsdata.fig Οθόνη στην οποία ο χρήστης βλέπει κυρίως οικονομικά δεδομένα και τα κόστη προσαρμογής (adaptive costs).

8) weightsdata.m Αρχείο κώδικα που περιέχει όλες τις συναρτήσεις της οθόνης weightsdata.fig και ενώνει τα δεδομένα του με δεδομένα άλλων οθονών.

9) preventative.fig Οθόνη που όπως υποδηλώνει το όνομά της, περιέχει πολλά δεδομένα που να αφορούν preventative costs.

10) preventative.m Αρχείο κώδικα που περιέχει όλες τις συναρτήσεις της οθόνης preventative.fig και ενώνει τα δεδομένα του με δεδομένα άλλων οθονών.

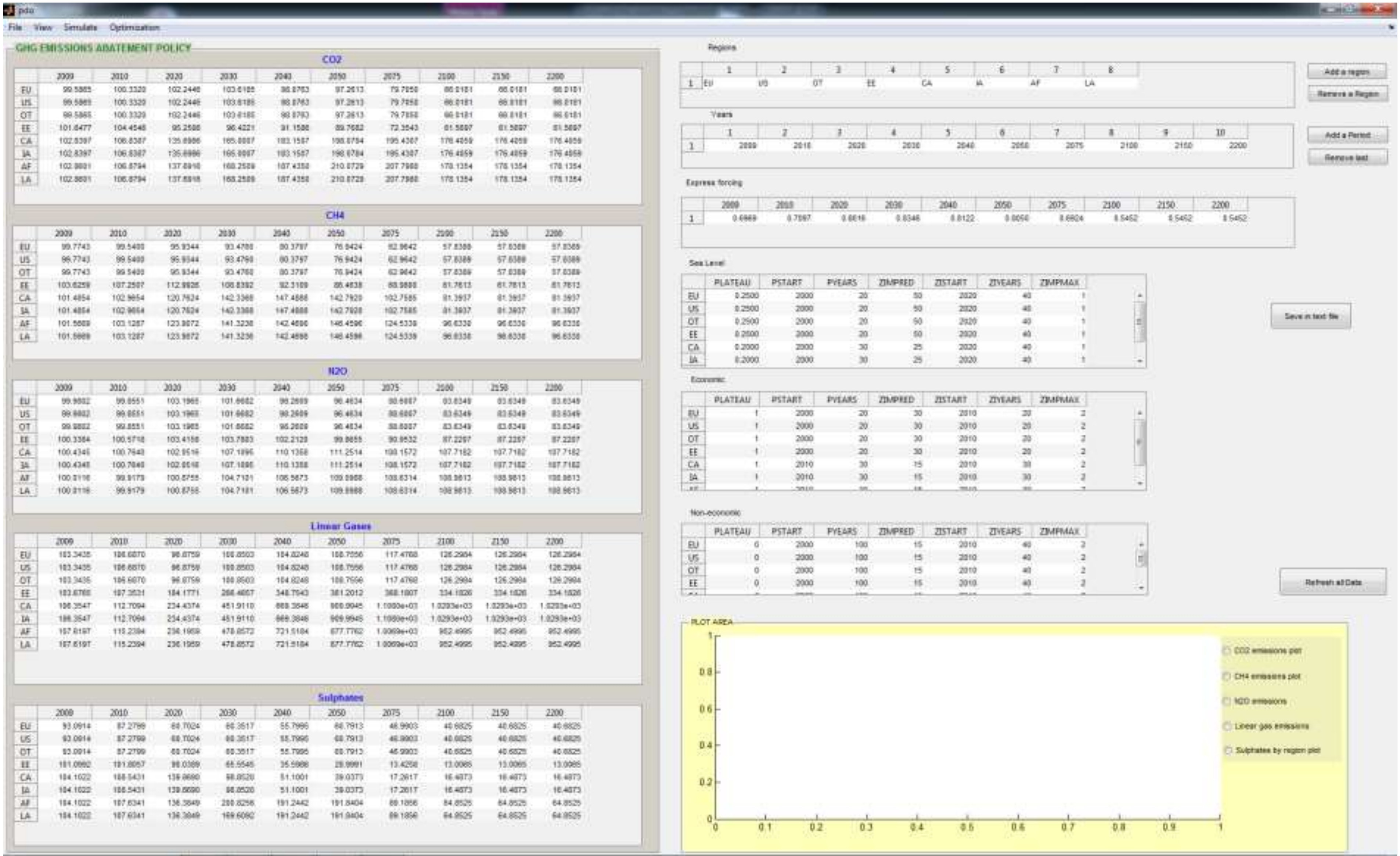
3.3.2 Κύρια οθόνη του γραφικού περιβάλλοντος

Η κύρια οθόνη του γραφικού περιβάλλοντος φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.1. Έχουμε στο αριστερό μέρος αυτής της οθόνης την πολιτική μείωσης αερίων του θερμοκηπίου για τα 4 κύρια αέρια, CO_2, CH_4, N_2O και τα γραμμικά αέρια. Ολα αυτά μπορεί κατά βούληση να τα αλλάξει ο χρήστης. Επίσης υπάρχει πίνακας εισαγωγής εκπομπών αερίων που περιέχουν θείο, για κάθε περίοδο και για κάθε περιοχή

Αρχικά ο χρήστης επιλέγει πόσες περιοχές (regions) θέλει να έχει για την ανάλυσή του και μπορεί να τις μετονομάσει κατά προτίμηση (βλέπε σχήμα 3.3.2.2). Επίσης μπορεί να αφαιρέσει περιοχές, ή να τις αυξήσει αν κρίνει ότι έβαλε περισσότερες ή λιγότερες από αυτές που χρειάζονται.

Ομοίως ο χρήστης μπορεί, εφόσον το επιθυμεί, να αλλάξει τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους και να κάνει μελέτη του προβλήματος για άλλο χρονικό ορίζοντα (βλέπε σχήμα 3.3.2.3).

Στις επόμενες οθόνες που θα παρουσιαστούν, για λόγους συντομίας δε θα γίνει επεξήγηση κάθε μεταβλητής που εμφανίζεται ξεχωριστά. Ο ορισμός και η επεξήγηση κάθε μεταβλητής σε πιο διεξοδική μορφή μπορούν να βρεθούν στις [1], [2], [3], [5], [8], [9].



Σχήμα 3.3.2.1: Αρχική οθόνη του προγράμματος

Regions

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	EU	US	OT	EE	CA	IA	AF	LA

Σχήμα 3.3.2.2: Οι 8 (default) αρχικές περιοχές του κόσμου που μελετά το πρόγραμμα

Years

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	

Add a Period

Remove last

Σχήμα 3.3.2.3: Η χρονική περίοδος που μελετά το πρόγραμμα, π.χ. από το βασικό έτος (2008) μέχρι το 2200.

Ο πίνακας για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα δίνεται στο σχήμα 3.3.2.4. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario) [1]. Εδώ ο χρήστης μπορεί να εισάγει τη πολιτική που θέλουμε για όλα τα έτη για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

GHG EMISSIONS ABATEMENT POLICY

CO2

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	2200
EU	99.5865	100.3320	102.2446	103.6185	98.0763	97.2613	79.7050	66.0181	66.0181	66.0181
US	99.5865	100.3320	102.2446	103.6185	98.0763	97.2613	79.7050	66.0181	66.0181	66.0181
OT	99.5865	100.3320	102.2446	103.6185	98.0763	97.2613	79.7050	66.0181	66.0181	66.0181
EE	101.6477	104.4546	95.2506	96.4221	91.1586	89.7682	72.3543	61.5697	61.5697	61.5697
CA	102.8397	106.8387	135.6986	165.0007	183.1507	196.0784	195.4307	176.4059	176.4059	176.4059
IA	102.8397	106.8387	135.6986	165.0007	183.1507	196.0784	195.4307	176.4059	176.4059	176.4059
AF	102.8601	106.8794	137.6916	168.2509	187.4350	210.0729	207.7980	178.1354	178.1354	178.1354
LA	102.8601	106.8794	137.6916	168.2509	187.4350	210.0729	207.7980	178.1354	178.1354	178.1354

Σχήμα 3.3.2.4: Πίνακας εκπομπών του CO_2

Ο πίνακας για τις εκπομπές του μεθανίου, CH_4 , φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.5. Εδώ μπορούμε να εισάγουμε τις εκπομπές που θέλουμε για την πολιτική μας για το CH_4. Να σημειωθεί ότι τα νούμερα είναι ποσοστά των εκπομπών του base year.

CH4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	99.7743	99.5400	95.9344	93.4760	80.3797	76.9424	62.9642	57.8389	57.8389	57.8389
2	99.7743	99.5400	95.9344	93.4760	80.3797	76.9424	62.9642	57.8389	57.8389	57.8389
3	99.7743	99.5400	95.9344	93.4760	80.3797	76.9424	62.9642	57.8389	57.8389	57.8389
4	103.6259	107.2507	112.9926	108.8392	92.3109	86.4638	68.9800	61.7613	61.7613	61.7613
5	101.4854	102.9654	120.7624	142.3368	147.4888	142.7920	102.7585	81.3937	81.3937	81.3937
6	101.4854	102.9654	120.7624	142.3368	147.4888	142.7920	102.7585	81.3937	81.3937	81.3937
7	101.5669	103.1287	123.9072	141.3236	142.4698	146.4596	124.5339	96.6330	96.6330	96.6330
8	101.5669	103.1287	123.9072	141.3236	142.4698	146.4596	124.5339	96.6330	96.6330	96.6330

Σχήμα 3.3.2.5: Εκπομπές CH4

Στον πίνακα του σχήματος 3.3.2.6 εισάγουμε τις επιθυμητές εκπομπές για το μονοξείδιο του αζώτου, N_2O. Ο πίνακας στη παρούσα φάση έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario). Το N_2O είναι αέριο που έχει τη μικρότερη περιβαλλοντική επίδραση, σε σχέση πάντα με το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο.

N2O

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	2200
EU	99.9802	99.8551	103.1965	101.6682	98.2609	96.4634	88.6007	83.6349	83.6349	83.6349
US	99.9802	99.8551	103.1965	101.6682	98.2609	96.4634	88.6007	83.6349	83.6349	83.6349
OT	99.9802	99.8551	103.1965	101.6682	98.2609	96.4634	88.6007	83.6349	83.6349	83.6349
EE	100.3384	100.5718	103.4158	103.7803	102.2120	99.8655	90.9532	87.2207	87.2207	87.2207
CA	100.4345	100.7640	102.0516	107.1095	110.1358	111.2514	108.1572	107.7182	107.7182	107.7182
IA	100.4345	100.7640	102.0516	107.1095	110.1358	111.2514	108.1572	107.7182	107.7182	107.7182
AF	100.0116	99.9179	100.8755	104.7101	106.5673	109.0988	108.6314	108.9813	108.9813	108.9813
LA	100.0116	99.9179	100.8755	104.7101	106.5673	109.0988	108.6314	108.9813	108.9813	108.9813

Σχήμα 3.3.2.6: Πίνακας εκπομπών διοξειδίου του αζώτου

Στο πίνακα του σχήματος 3.3.2.7 εισάγουμε τις επιθυμητές εκπομπές για τα γραμμικά αέρια, δηλαδή αυτά που η συμμετοχή τους στην αύξηση της θερμοκρασίας είναι γραμμική σε σχέση με τη συγκέντρωσή τους.

Linear Gases

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	2200
EU	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.2984	126.2984	126.2984
US	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.2984	126.2984	126.2984
OT	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.2984	126.2984	126.2984
EE	103.6765	107.3531	184.1771	266.4657	348.7543	361.2012	368.1807	334.1826	334.1826	334.1826
CA	106.3547	112.7094	234.4374	451.9110	669.3846	909.9945	1.1080e+03	1.0293e+03	1.0293e+03	1.0293e+03
IA	106.3547	112.7094	234.4374	451.9110	669.3846	909.9945	1.1080e+03	1.0293e+03	1.0293e+03	1.0293e+03
AF	107.6197	115.2394	236.1959	478.8572	721.5184	877.7762	1.0069e+03	952.4995	952.4995	952.4995
LA	107.6197	115.2394	236.1959	478.8572	721.5184	877.7762	1.0069e+03	952.4995	952.4995	952.4995

Σχήμα 3.3.2.7: Εισαγωγή πολιτικής για τις εκπομπές των γραμμικών αερίων

Ο πίνακας για τις εκπομπές των αερίων που εμπεριέχουν θείο δίνεται στο σχήμα 3.3.2.4. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario) [1]. Εδώ ο χρήστης μπορεί να εισάγει τη πολιτική που θέλει να ακολουθήσει για τις εκπομπές αυτών των αερίων για όλα τα έτη.

Sulphates

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	2200
EU	93.0914	87.2799	60.7024	60.3517	55.7995	60.7913	46.9903	40.6825	40.6825	40.6825
US	93.0914	87.2799	60.7024	60.3517	55.7995	60.7913	46.9903	40.6825	40.6825	40.6825
OT	93.0914	87.2799	60.7024	60.3517	55.7995	60.7913	46.9903	40.6825	40.6825	40.6825
EE	101.0992	101.8057	90.0389	65.5545	35.5986	28.9991	13.4258	13.0065	13.0065	13.0065
CA	104.1022	108.5431	139.8690	98.8520	51.1001	39.0373	17.2617	16.4873	16.4873	16.4873
IA	104.1022	108.5431	139.8690	98.8520	51.1001	39.0373	17.2617	16.4873	16.4873	16.4873
AF	104.1022	107.6341	136.3849	200.8256	191.2442	191.8404	89.1856	64.8525	64.8525	64.8525
LA	104.1022	107.6341	136.3849	169.6092	191.2442	191.8404	89.1856	64.8525	64.8525	64.8525

Σχήμα 3.3.2.8: Πίνακας εκπομπών αερίων που περιέχουν θείο

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της στάθμης της θάλασσας εισάγονται στον πίνακα του σχήματος 3.3.2.9. Η παράμετρος PLATEAU σημαίνει ότι παραδείγματος χάρη μπορούμε να αντέξουμε μία άνοδο της στάθμης κατά 0.25 μέτρα, χωρίς κόστος. Το PSTART δείχνει ποιό έτος ξεκίνησε η προσαρμογή και το PYEARS πόσα έτη θα κρατήσει. Αν ξεπεράσουμε το πλατώ, το ZIMPRED δείχνει πόσο τοις εκατό θα μειώσουμε τα κόστη. Το ZISTART δείχνει πότε θα ξεκινήσει η προαρμογή και το ZIYEARS πόσα χρόνια θα κρατήσει. Η τελευταία μεταβλητή μας δείχνει για πόσα παραπάνω μέτρα αύξησης της στάθμης της θάλασσας θα μας βοηθήσει η προηγούμενη προσαρμογή.

Sea Level

	PLATEAU	PSTART	PYEARS	ZIMPRED	ZISTART	ZIYEARS	ZIMPMAX
EU	0.2500	2000	20	50	2020	40	1
US	0.2500	2000	20	50	2020	40	1
OT	0.2500	2000	20	50	2020	40	1
EE	0.2500	2000	20	50	2020	40	1
CA	0.2000	2000	30	25	2020	40	1
IA	0.2000	2000	30	25	2020	40	1

Σχήμα 3.3.2.9: Πίνακας δεδομένων για τη στάθμη της θάλασσας

Στον πίνακα του σχήματος 3.3.2.10 εισάγονται τα δεδομένα για διάφορες οικονομικές μεταβλητές. Η μεταβλητή του plateau σε αυτή τη περίπτωση συμβολίζει πόση αύξηση θερμοκρασίας θα μπορέσουμε να αντέξουμε χωρίς οικονομικές απώλειες. Τα υπόλοιπα δεδομένα είναι ίδια με αυτά της αύξησης της στάθμης της θάλασσας.

Economic

	PLATEAU	PSTART	PYEARS	ZIMPRED	ZISTART	ZIYEARS	ZIMPMAX
EU	1	2000	20	30	2010	20	2
US	1	2000	20	30	2010	20	2
OT	1	2000	20	30	2010	20	2
EE	1	2000	20	30	2010	20	2
CA	1	2010	30	15	2010	30	2
IA	1	2010	30	15	2010	30	2

Σχήμα 3.3.2.10: Πίνακας εισαγωγής οικονομικών δεδομένων

Ο πίνακας για τα μη οικονομικά δεδομένα δίνεται στο σχήμα 3.3.2.11. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario) [1]. Οι μεταβλητές στο μη οικονομικό έχουν την ίδια ερμηνεία με τον πίνακα του σχήματος 3.3.2.10. Η διαφορά είναι ότι η προσαρμογή διαρκεί 100 χρόνια, σε αντίθεση με το οικονομικό μέρος που είναι 20.

Non-economic

	PLATEAU	PSTART	PYEARS	ZIMPRED	ZISTART	ZIYEARS	ZIMPMAX
EU	0	2000	100	15	2010	40	2
US	0	2000	100	15	2010	40	2
OT	0	2000	100	15	2010	40	2
EE	0	2000	100	15	2010	40	2

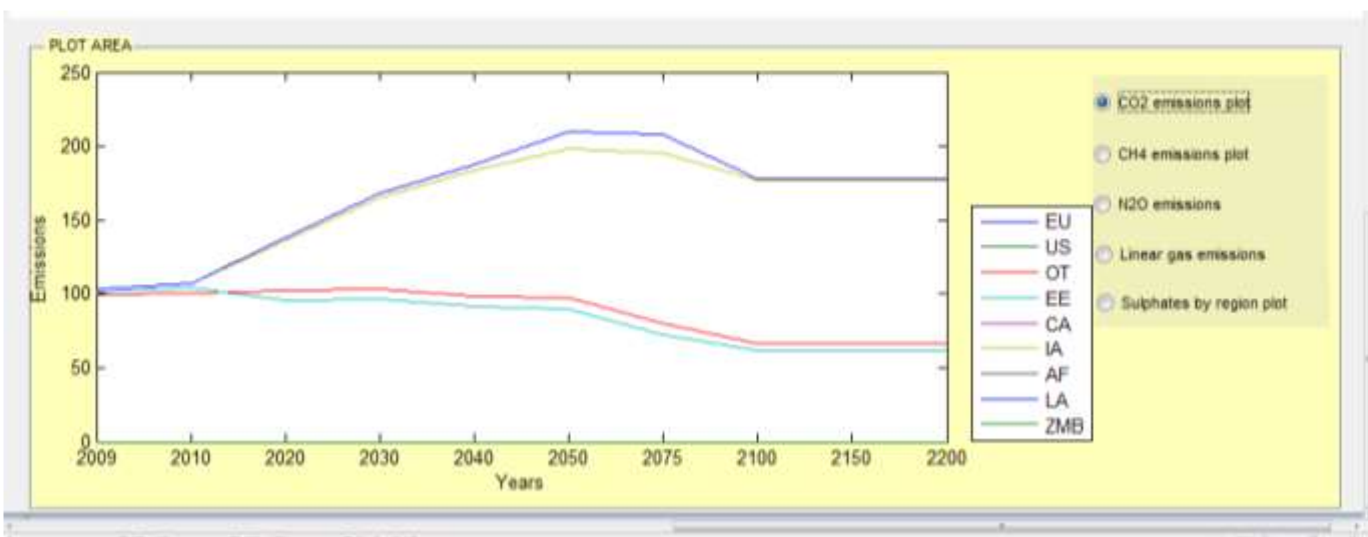
Σχήμα 3.3.2.11: Πίνακας εισαγωγής μη οικονομικών δεδομένων

Ο πίνακας 3.3.2.12 μας επιτρέπει να διαχειριστούμε τη μεταβλητή excess forcing η οποία συμβολίζει τη ηλιακή ενέργεια που απορροφά η Γη.

Express forcing

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150	2200
1	0.6969	0.7097	0.8016	0.8346	0.8122	0.8050	0.6924	0.5452	0.5452	0.5452

Σχήμα 3.3.2.12: Πίνακας εισαγωγής της περίσσειας ηλιακής ενέργειας που δέχεται η Γη

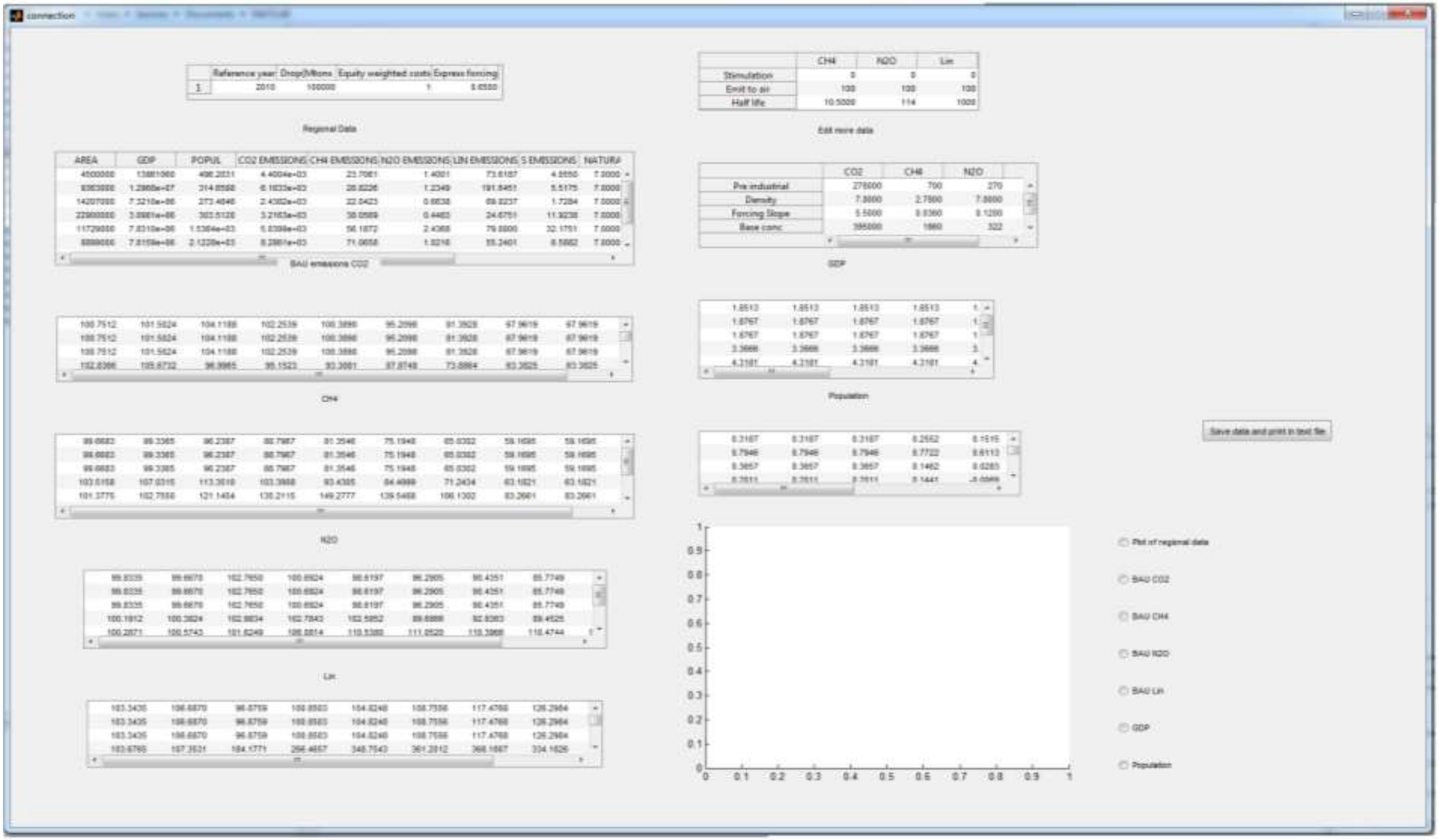


Σχήμα 3.3.2.13: Περιοχή γραφήματος πρώτης οθόνης του προγράμματος

Στην περιοχή γραφήματος που φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.13 μπορεί ο χρήστης να απεικονίσει γραφικά όλα τα δεδομένα που θέλει και επίσης να προσθέσει περιοχές και χρόνια (δηλαδή αν θέλει να διαιρέσει τον κόσμο σε περισσότερες ή λιγότερες περιοχές).

Τέλος στην αρχική μας οθόνη υπάρχει επιλογή σε μενού για να σώσει όλα τα τρέχοντα δεδομένα ή να φορτώσει παλιότερα δεδομένα. Υπάρχει επίσης ένα κουμπί για να τυπώσει όλα τα τρέχοντα δεδομένα σε .txt αρχείο, με όνομα POLICY_IN.txt. Είναι το πρώτο από τα τρία txt αρχεία που θα χρησιμοποιήσει το μοντέλο PAGE09.

Υπάρχει επίσης το κουμπί «Refresh all Data» και για να ανανεώνονται τα δεδομένα. Τέλος μπορούμε από αυτήν την οθόνη να καλέσουμε τον γενετικό αλγόριθμο.



Σχήμα 3.3.2.14: Οθόνη του BauEmissions.m, της δεύτερης κατά σειρά οθόνης του προγράμματος

Η δεύτερη οθόνη του προγράμματος, «BAUEmissions» που φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.14, αφορα τα δεδομένα του μοντέλου που αντιστοιχούν στην συνέχιση των έως τώρα πολιτικών. Σε αυτή την οθόνη έχουμε κυρίως πίνακες για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εάν ακολουθήσουμε τις έως τώρα πολιτικές (BAU Emissions) και δεδομένα ανά περιοχή και κράτος. Μπορούμε δηλαδή να αλλάξουμε τη συνήθη πολιτική εκπομπών(BAU) και να τη συγκρίνουμε στο τέλος με την πολιτική που εισάγαμε για τις εκπομπές στη πρώτη οθόνη. Υπάρχει επίσης συγκεκριμένη περιοχή της οθόνης για τη γραφική απεικόνιση των δεδομένων.

Στο πίνακα του σχήματος 3.3.2.15 εισάγουμε τα δεδομένα για το ΑΕΠ, τον πληθυσμό, τις εκπομπές που θα είχαμε αν δεν παίρναμε καμία πρωτοβουλία και τη θερμοκρασία κάθε περιοχής. Το e+xx σημαίνει ο αριθμός 10 εις την xx.

Regional Data

AREA	GDP	POPUL	CO2 EMISSIONS	CH4 EMISSIONS	N2O EMISSIONS	LIN EMISSIONS	S EMISSIONS	NATURA
4500000	13861060	496.2031	4.4004e+03	23.7061	1.4001	73.6187	4.0550	7.0000
9363000	1.2968e+07	314.6588	6.1833e+03	28.8226	1.2349	191.6451	5.5175	7.0000
14207000	7.3210e+06	273.4846	2.4382e+03	22.0423	0.6638	69.0237	1.7284	7.0000
22900000	3.0981e+06	303.5120	3.2163e+03	38.0569	0.4483	24.6751	11.9238	7.0000
11729000	7.8310e+06	1.5364e+03	5.0399e+03	56.1872	2.4368	79.0800	32.1751	7.0000
8899000	7.8159e+06	2.1228e+03	8.2861e+03	71.0658	1.0216	55.2401	6.5882	7.0000

Σχήμα 3.3.2.15: Δεδομένα ανά περιοχή

Ο πίνακας για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.16. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1]. Μπορούμε να αλλάξουμε το σενάριο αυτό, εισάγοντας άλλες τιμές. Οτιδήποτε αλλάζουμε στην οθόνη «BAUEmissions» έχει επίδραση στο αρχείο DETERM_IN.txt.

BAU emissions CO2

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150
EU	100.7512	101.5024	104.1188	102.2539	100.3890	95.2098	81.3928	67.9619	67.961
US	100.7512	101.5024	104.1188	102.2539	100.3890	95.2098	81.3928	67.9619	67.961
OT	100.7512	101.5024	104.1188	102.2539	100.3890	95.2098	81.3928	67.9619	67.961

Σχήμα 3.3.2.16: Συνήθεις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα

Ο πίνακας για τις εκπομπές του μεθανίου δίνεται στο σχήμα 3.3.2.17. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1]. Μπορούμε να αλλάξουμε το σενάριο αυτό, εισάγοντας άλλες τιμές. Οτιδήποτε αλλάζουμε στην οθόνη «BAUEmissions» έχει επίδραση στο αρχείο DETERM_IN.txt, το δεύτερο αρχείο που θα χρησιμοποιήσει το μοντέλο PAGE09.

CH4

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100	2150
EU	99.6683	99.3365	96.2387	88.7967	81.3546	75.1948	65.0302	59.1695	59.169
US	99.6683	99.3365	96.2387	88.7967	81.3546	75.1948	65.0302	59.1695	59.169
OT	99.6683	99.3365	96.2387	88.7967	81.3546	75.1948	65.0302	59.1695	59.169
EE	103.5158	107.0315	113.3510	103.3908	93.4305	84.4999	71.2434	63.1821	63.182

Σχήμα 3.3.2.17: Συνήθεις εκπομπές για το μεθάνιο

Ο πίνακας για τις εκπομπές του διοξείδιο του αζώτου δίνεται στο σχήμα 3.3.2.18. Ο πίνακας αυτός έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1].

N2O

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100
EU	99.8335	99.6670	102.7650	100.6924	98.6197	96.2905	90.4351	85.7749
US	99.8335	99.6670	102.7650	100.6924	98.6197	96.2905	90.4351	85.7749
OT	99.8335	99.6670	102.7650	100.6924	98.6197	96.2905	90.4351	85.7749
EE	100.1912	100.3824	102.9834	102.7843	102.5852	99.6866	92.8363	89.4525

Σχήμα 3.3.2.18: Συνήθεις εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου

Ο πίνακας για τις εκπομπές γραμμικών αερίων δίνεται στο σχήμα 3.3.2.19 και έχει αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1].

Lin

	2009	2010	2020	2030	2040	2050	2075	2100
EU	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.29ε
US	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.29ε
OT	103.3435	106.6870	96.8759	100.8503	104.8248	108.7556	117.4768	126.29ε

Σχήμα 3.3.2.19: Συνήθεις εκπομπές των γραμμικών αερίων

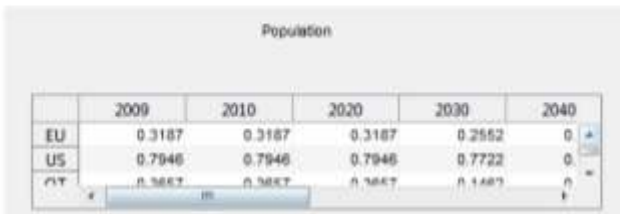
Ο πίνακας για την επί τοις εκατό αλλαγή στο ΑΕΠ ανά περιοχή της Γης, με βάση το ΑΕΠ που υπήρχε το έτος 2008 (base year) δίνεται στο σχήμα 3.3.2.20.


GDP

	2009	2010	2020	2030
EU	1.8513	1.8513	1.8513	1.8513
US	1.8767	1.8767	1.8767	1.8767
OT	1.8767	1.8767	1.8767	1.8767

Σχήμα 3.3.2.20: ΑΕΠ για κάθε περιοχή ανά έτος

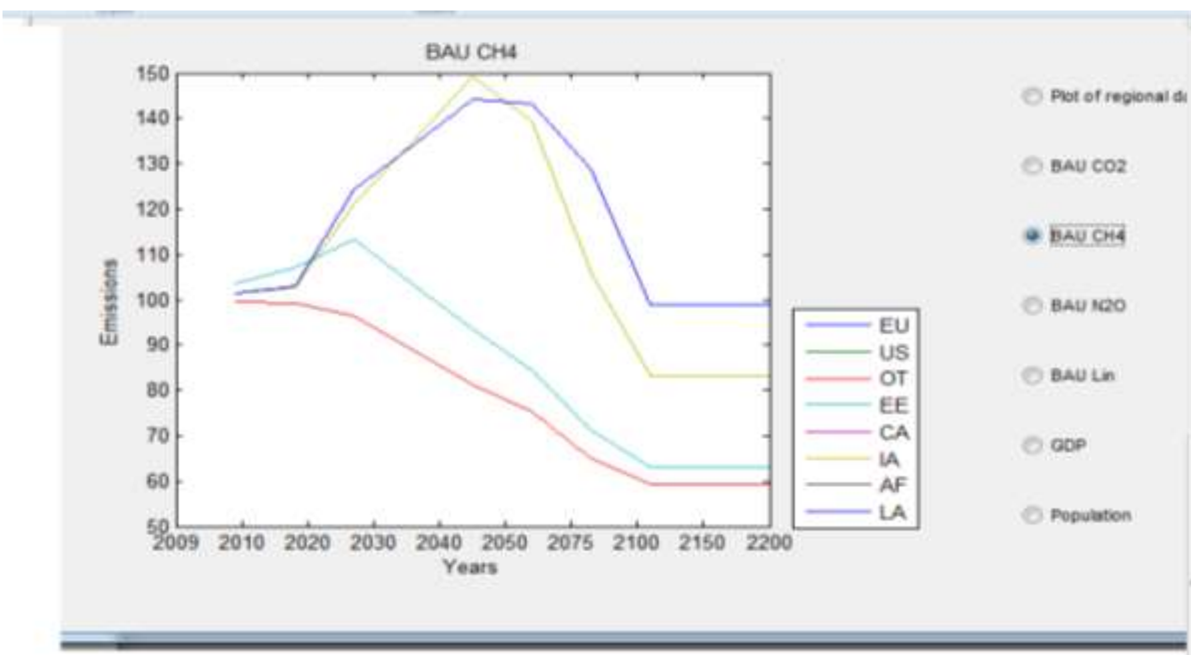
Ο πίνακας για την επί τοις εκατό αλλαγή στο πληθυσμό ανά περιοχή της Γης, με βάση το πληθυσμό που υπήρχε το έτος 2008(base year) δίνεται στο σχήμα 3.3.2.21.


Population

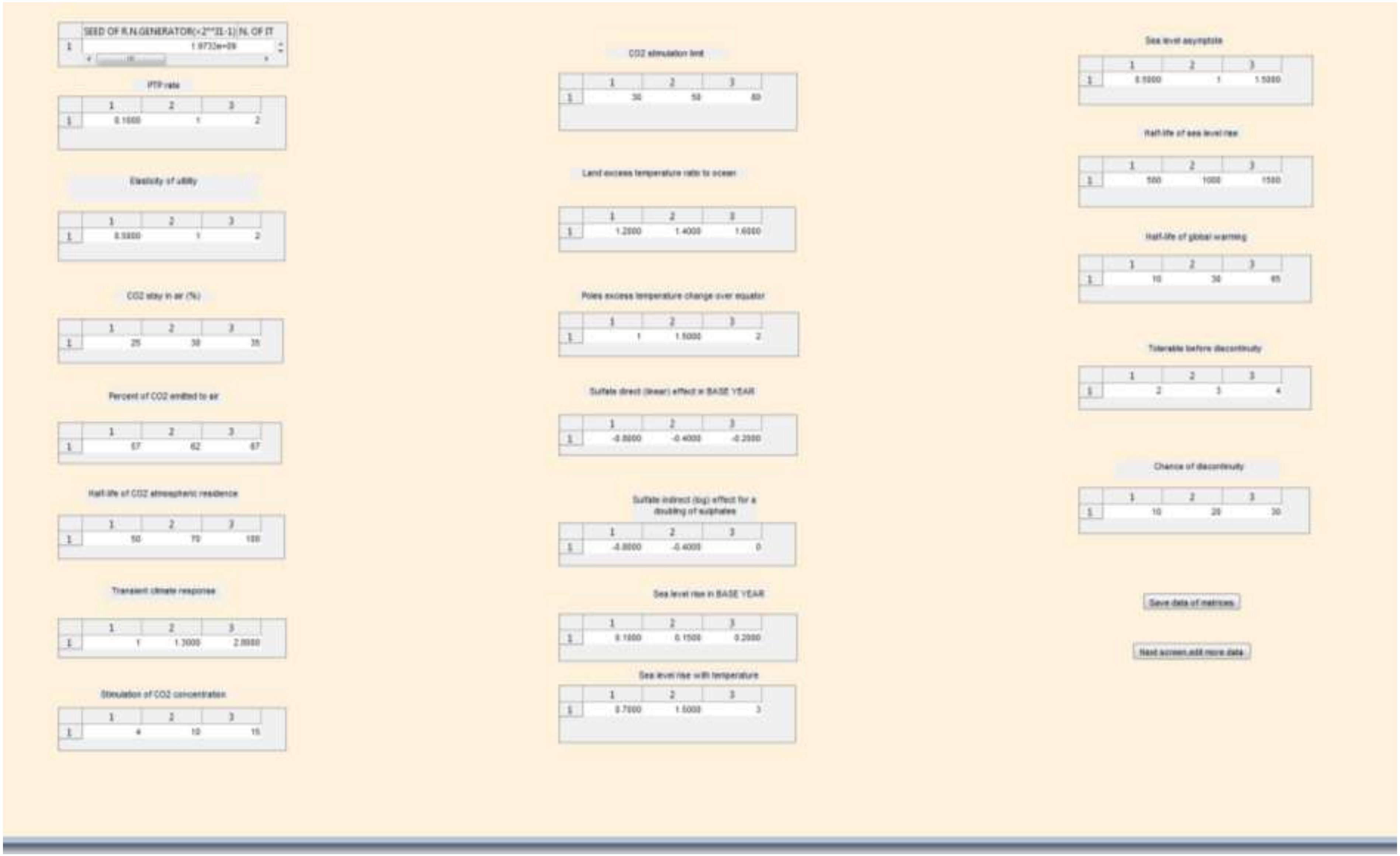
	2009	2010	2020	2030	2040
EU	0.3187	0.3187	0.3187	0.2552	0.
US	0.7946	0.7946	0.7946	0.7722	0.

Σχήμα 3.3.2.21: Ποσοστιαία αλλαγή του πληθυσμού ανά έτος

Στο σχήμα 3.3.2.22 έχουμε τη περιοχή γραφημάτων, στην οποία μπορούν να σχεδιαστούν όλα τα δεδομένα της οθόνης «BAUEmissions» για κάθε περιοχή της Γης.

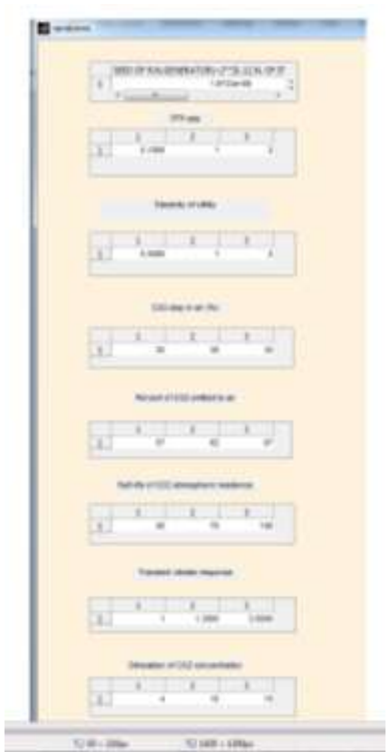


Σχήμα 3.3.2.22: Περιοχή γραφημάτων των δεδομένων της δεύτερης οθόνης του προγράμματος



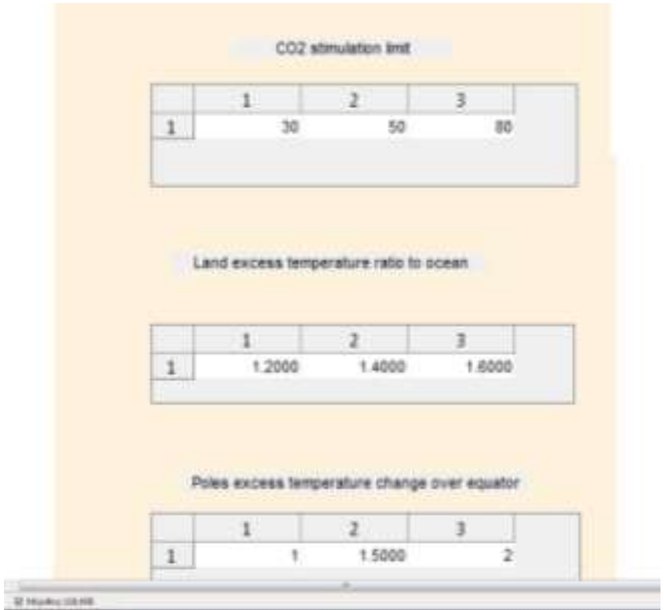
Σχήμα 3.3.2.23: Οθόνη για τον ορισμό των τυχαίων μεταβλητών του μοντέλου

Στο σχήμα 3.3.2.23 φαίνεται η οθόνη «randomin.fig» για τον ορισμό των τυχαίων μεταβλητών του μοντέλου PAGE09. Οι πίνακες του πρώτου συνόλου δεδομένων της οθόνης randomin.fig δίνονται στο σχήμα 3.3.2.24. Εδώ φαίνεται η πρώτη στήλη των στοιχείων που μπορεί να επιθεωρήσει αλλά και να αλλάξει ο χρήστης. Το ptp rate συμβολίζει τον εγγενή ρυθμό έκπτωσης του κοινωνικού κόστους. Επίσης, η μεταβλητή CO_2 stay in air είναι το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα που μένει στην ατμόσφαιρα. Η μεταβλητή transient climate response είναι η μέση θερμοκρασιακή απόκριση σε μία περίοδο 20 χρόνων υποκείμενη σε διπλασιασμό του διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 3.3.2.24: Πρώτο σύνολο δεδομένων της οθόνης randomin.fig

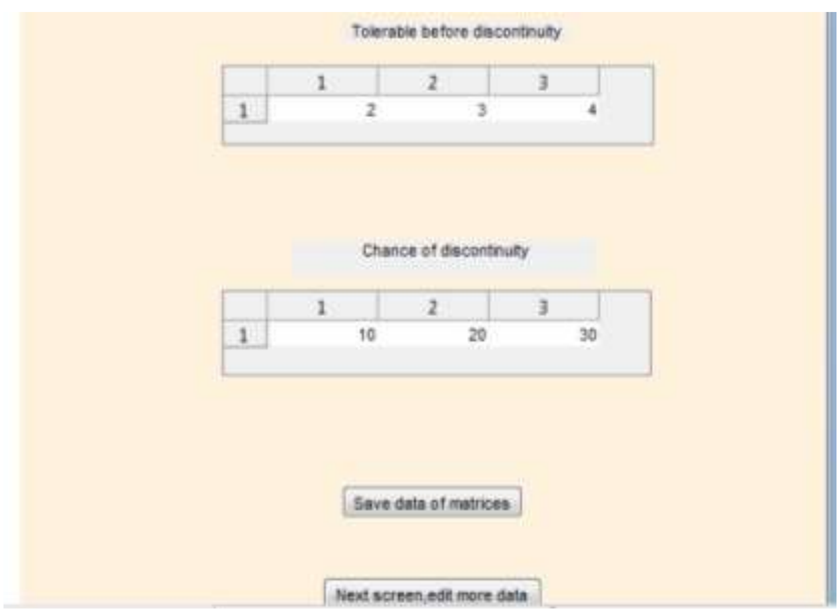
Οι πίνακες του δεύτερου συνόλου δεδομένων της οθόνης «randomin.fig» δίνονται στο σχήμα 3.3.2.25. Εδώ βλέπουμε το όριο διέγερσης διοξειδίου του άνθρακα, το κλάσμα διαφοράς θερμοκρασίας στεριάς και θάλασσας και τη θερμοκρασιακή διαφορά των πόλων σε σχέση με τον ισημερινό.



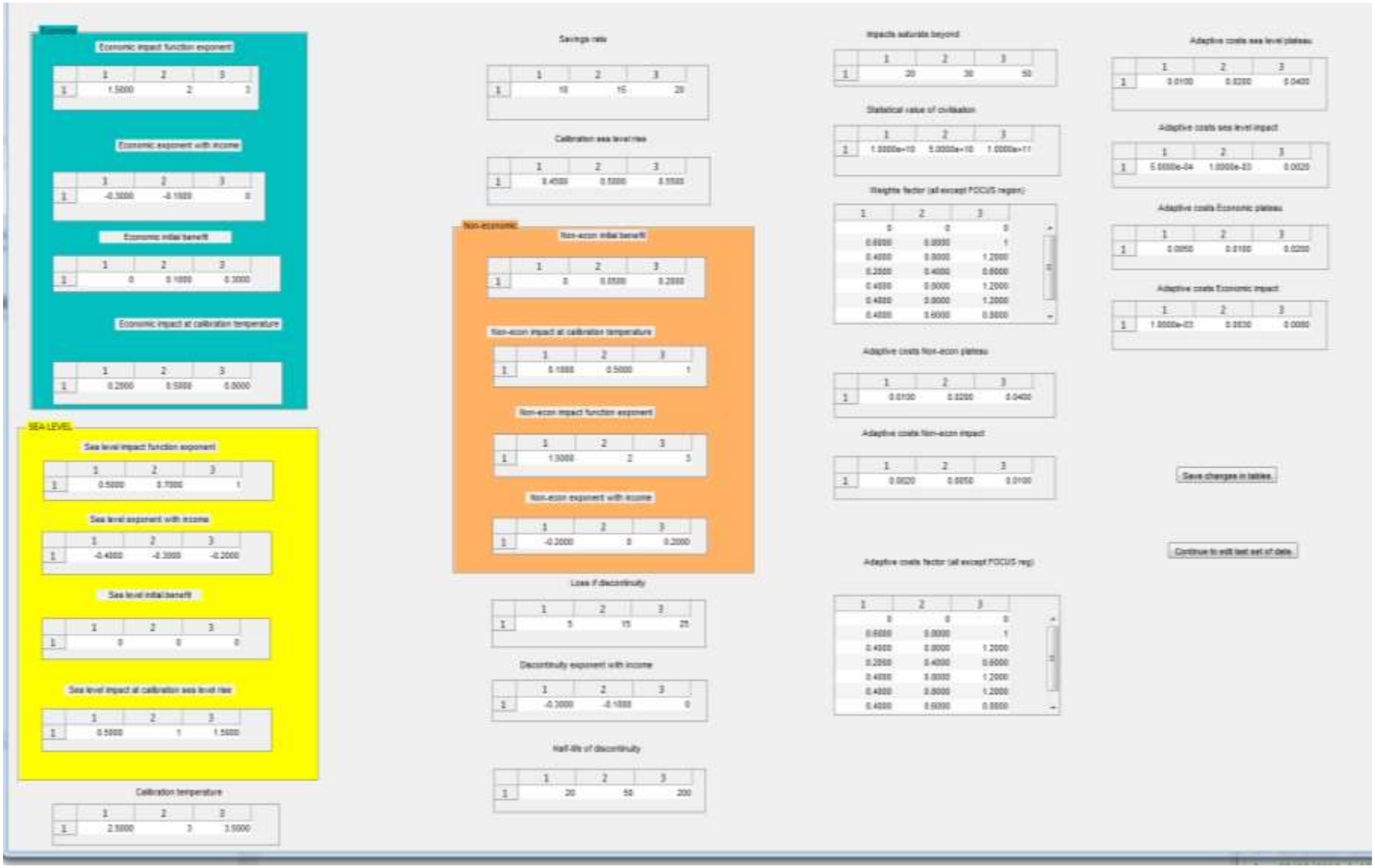
Σχήμα 3.3.2.25: Σύνολο δεδομένων της οθόνης randomin.fig

Οι πίνακες του τελευταίου συνόλου δεδομένων της οθόνης «randomin.fig» δίνονται στο σχήμα 3.3.2.26. Εδώ ορίζουμε την πιθανότητα να συμβεί μεγάλης έκτασης καταστροφικό γεγονός (discontinuity).

Στη συνέχεια αποθηκεύουμε τα δεδομένα όλων των πινάκων και συνεχίζουμε στην επόμενη οθόνη. Είναι επίσης δυνατό να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα πιο μετά, αν το επιθυμούμε.

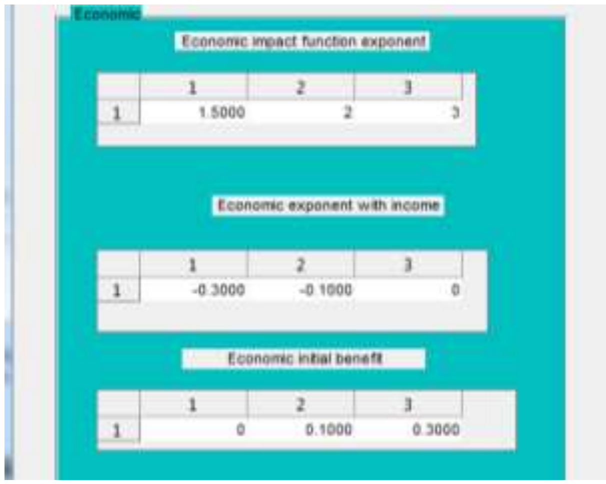


Σχήμα 3.3.2.26: Τελευταίο σύνολο δεδομένων της οθόνης randomin.fig



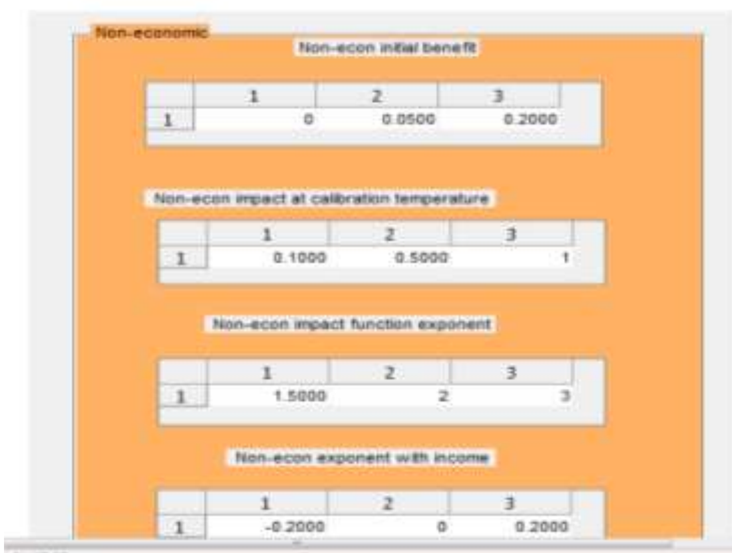
Σχήμα 3.3.2.27: Κύρια οθόνη του αρχείου weightsdata.fig

Στο σχήμα 3.3.2.27 φαίνεται η οθόνη «weightsdata.fig» για τον ορισμό τυχαίων μεταβλητών του μοντέλου PAGE09. Στους πίνακες του σχήματος 3.3.2.28 δίνονται οι ακόλουθες οικονομικές μεταβλητές: Αρχικό οικονομικό πλεονέκτημα, οικονομική υποστήριξη λόγω εισοδήματος και οικονομική υποστήριξη κλιματικών συνεπειών. Μπορεί εδώ ο χρήστης να διαλέξει με τι οικονομικό πλεονέκτημα θα αρχίσει τη μελέτη του.



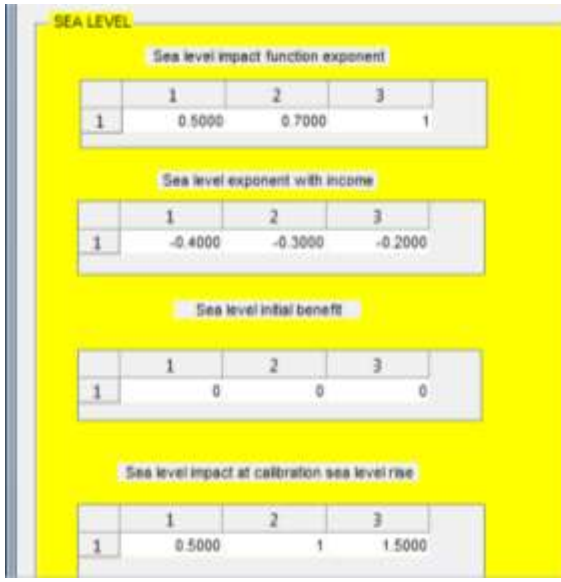
Σχήμα 3.3.2.28: Τμήμα οικονομικών δεδομένων της οθόνης weightsdata.fig

Οι πίνακες για τα μη οικονομικά δεδομένα της οθόνης weightsdata.fig δίνονται στο σχήμα 3.3.2.29. Οι πίνακες αυτοί έχουν αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario)[1].



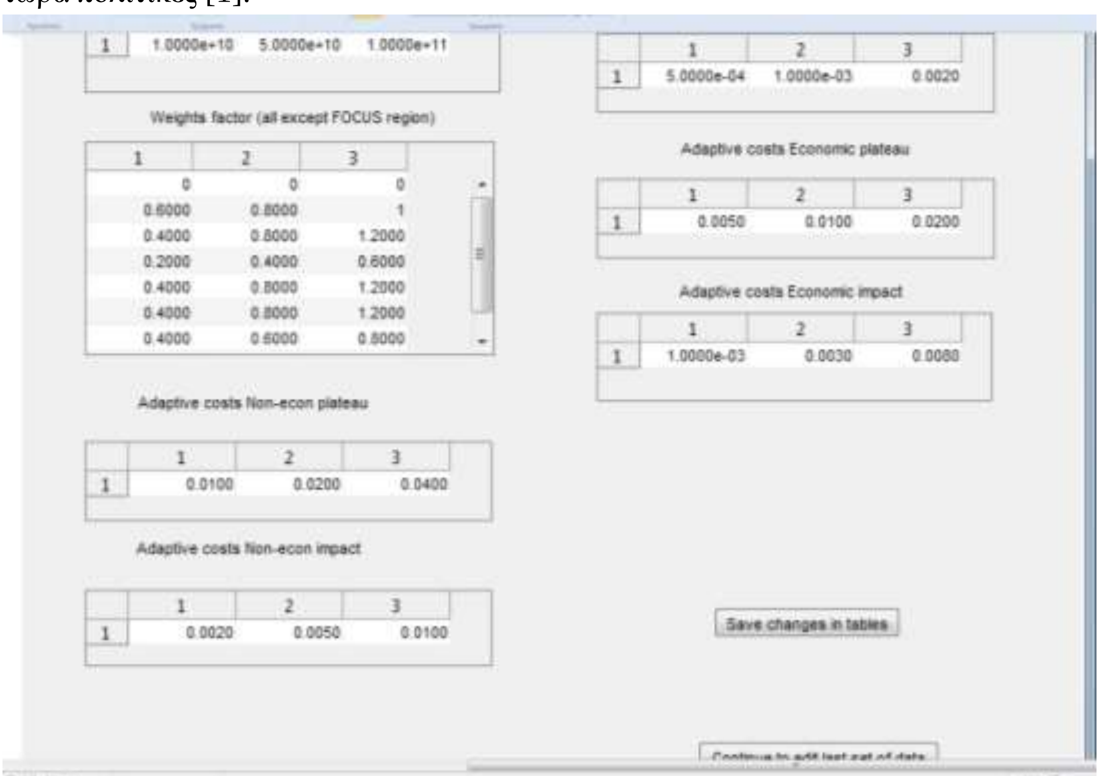
Σχήμα 3.3.2.29: Μη οικονομικά δεδομένα της οθόνης weightsdata.fig

Οι πίνακες του σχήματος 3.3.2.30 περιέχουν δεδομένα για τη στάθμη της θάλασσας. Οι πίνακες αυτοί έχουν αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1].

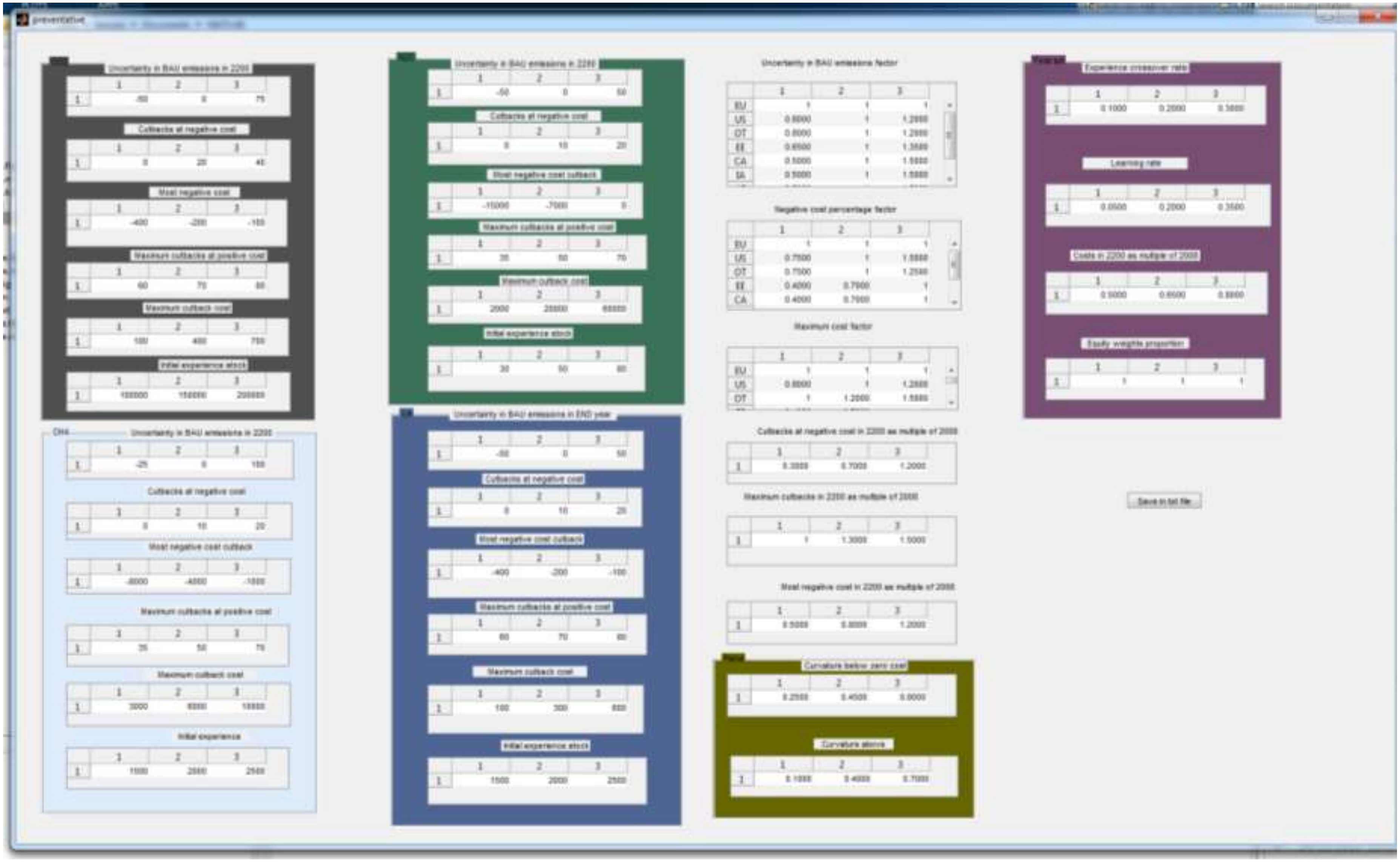


Σχήμα 3.3.2.30: Δεδομένα για τη στάθμη της θάλασσας

Οι πίνακες για το τελευταίο σύνολο δεδομένων της οθόνης weightsdata.fig δίνονται στο σχήμα 3.3.2.31. Οι πίνακες αυτοί έχουν αρχικοποιηθεί με τιμές του σεναρίου όπου ακολουθούνται οι έως τώρα πολιτικές [1].



Σχήμα 3.3.2.31: Τελευταίο σετ δεδομένων της οθόνης weightsdata.fig



Σχήμα 3.3.2.32: Κύρια οθόνη του preventative.fig

Στο σχήμα 3.3.2.32 φαίνεται η οθόνη «preventative.fig» για τον ορισμό των τελευταίων τυχαίων μεταβλητών του μοντέλου. Οι πίνακες για τα δεδομένα του διοξειδίου του άνθρακα δίνονται στο σχήμα 3.3.2.33. Η μεταβλητή cutbacks είναι οι «εκπτώσεις» που κάνουμε στο συνολικό κόστος, της πολιτικής που διαλέξαμε. Επίσης έχουμε το μέγιστο αρνητικό κόστος, τη μέγιστη έκπτωση σε θετικό κόστος και το μέγιστο κόστος της έκπτωσης.

Uncertainty in BAU emissions in 2200

	1	2	3
1	-50	0	75

Cutbacks at negative cost

	1	2	3
1	0	20	40

Most negative cost

	1	2	3
1	-400	-200	-100

Maximum cutbacks at positive cost

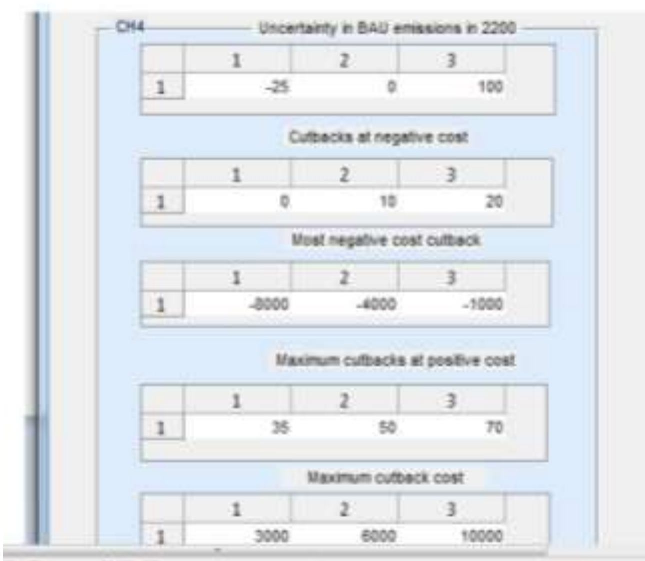
	1	2	3
1	60	70	80

Maximum cutback cost

	1	2	3
1	100	400	700

Σχήμα 3.3.2.33: Δεδομένα για το διοξείδιο του άνθρακα του preventative.fig

Οι πίνακες για τα δεδομένα του μεθανίου δίνονται στο σχήμα 3.3.2.34. Οι ερμηνείες των μεταβλητών είναι ίδιες με του σχήματος 3.3.2.33.



CH4

Uncertainty in BAU emissions in 2200

	1	2	3
1	-25	0	100

Cutbacks at negative cost

	1	2	3
1	0	10	20

Most negative cost cutback

	1	2	3
1	-8000	-4000	-1000

Maximum cutbacks at positive cost

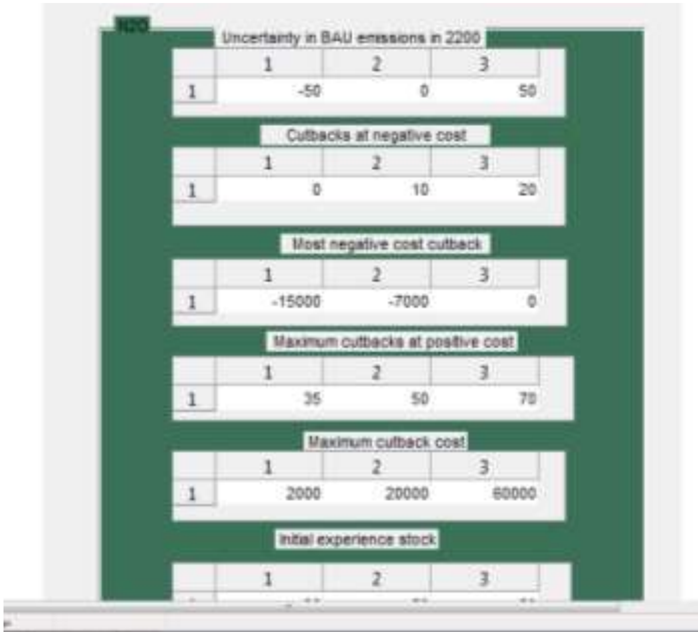
	1	2	3
1	35	50	70

Maximum cutback cost

	1	2	3
1	3000	6000	10000

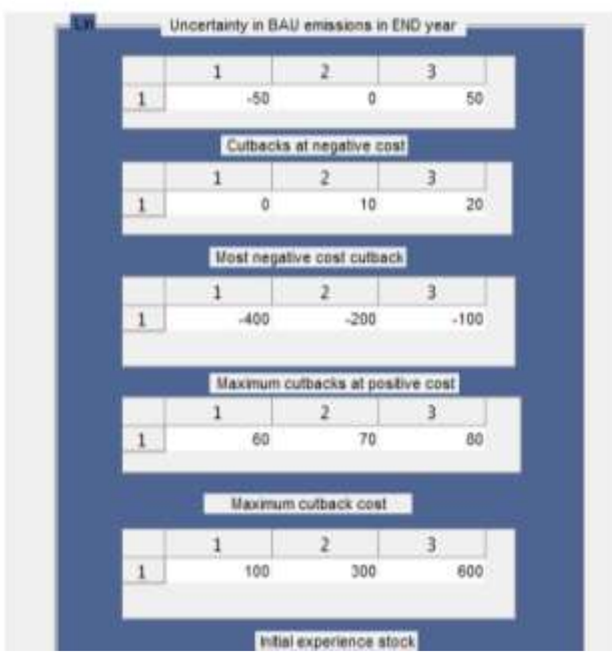
Σχήμα 3.3.2.34: Δεδομένα για το μεθάνιο στην οθόνη preventative.fig

Οι πίνακες για τα δεδομένα του διοξειδίου του αζώτου δίνονται στο σχήμα 3.3.2.35. Οι ερμηνείες των μεταβλητών είναι ίδιες με του σχήματος 3.3.2.33.



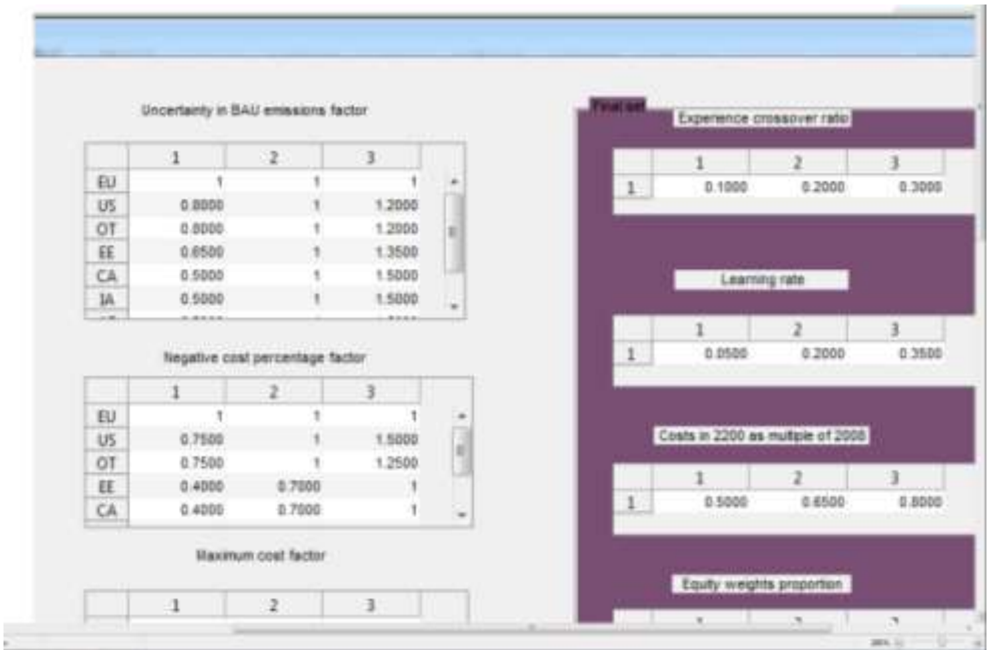
Σχήμα 3.3.2.35: Δεδομένα για το διοξείδιο του αζώτου στο preventative.fig

Οι πίνακες για τα δεδομένα των γραμμικών αερίων δίνονται στο σχήμα 3.3.2.36. Οι ερμηνείες των μεταβλητών είναι ίδιες με του σχήματος 3.3.2.33.



Σχήμα 3.3.2.36: Δεδομένα για τα γραμμικά αέρια στο preventative.fig

Οι πίνακες για το τελευταίο σύνολο δεδομένων δίνονται στο σχήμα 3.3.2.37. Η μεταβλητή learning rate αντιπροσωπεύει τη καμπύλη μάθησης του μοντέλου PAGE09. Τέλος τα equity weights αντιπροσωπεύουν το βαθμό στον οποίο θα χτυπηθούν οι οικονομικά ασθενέστεροι σε σχέση με τους πιο εύπορους από τις κλιματικές αλλαγές. Μπορούμε επίσης να ποσοτικοποιήσουμε την αβεβαιότητα στις συνήθεις εκπομπές και το βαθμό που μεταφέρεται η τεχνογνωσία.

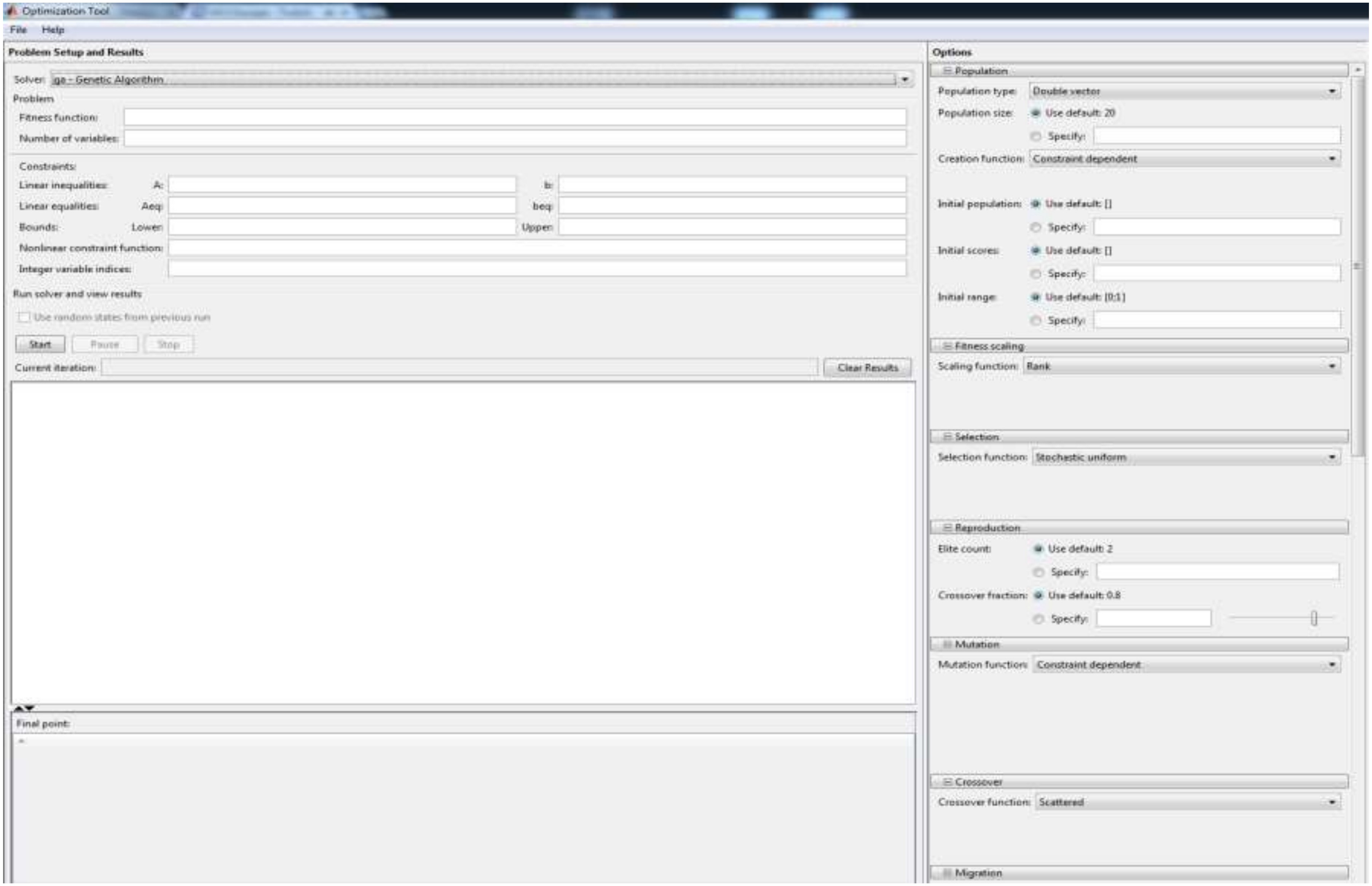


Σχήμα 3.3.2.37: Τελευταίο σετ από δεδομένα του preventative.fig

Τέλος αφού εισάγει τα δεδομένα ο χρήστης, μπορεί να τα εξάγει (export) σε ένα txt αρχείο, με όνομα randomin.txt, που είναι η τελευταία αναγκαία είσοδος για το τρέξιμο του PAGE09.

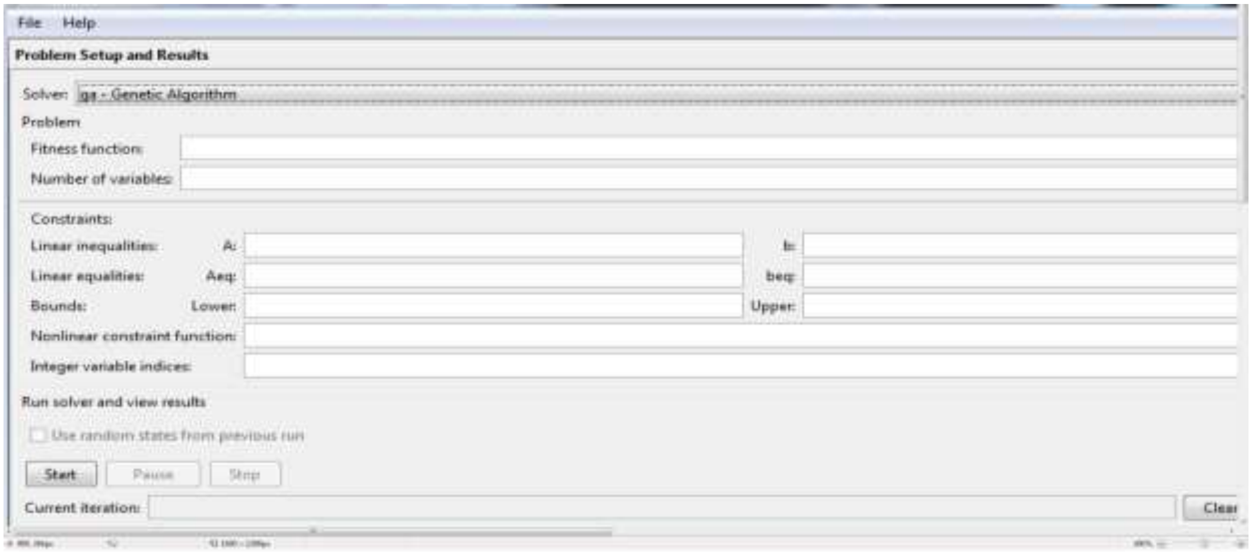
3.4 Εργαλείο Matlab για Γενετικούς Αλγορίθμους

Στην οθόνη εντολών του MATLAB πληκτρολογώντας gatool ή optimtool μπορούμε να καλέσουμε το εργαλείο για βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος μέσω γενετικών αλγορίθμων. Αυτό το εργαλείο δίνει τις επιλογές που φαίνονται στην οθόνη του σχήματος 3.4.1:



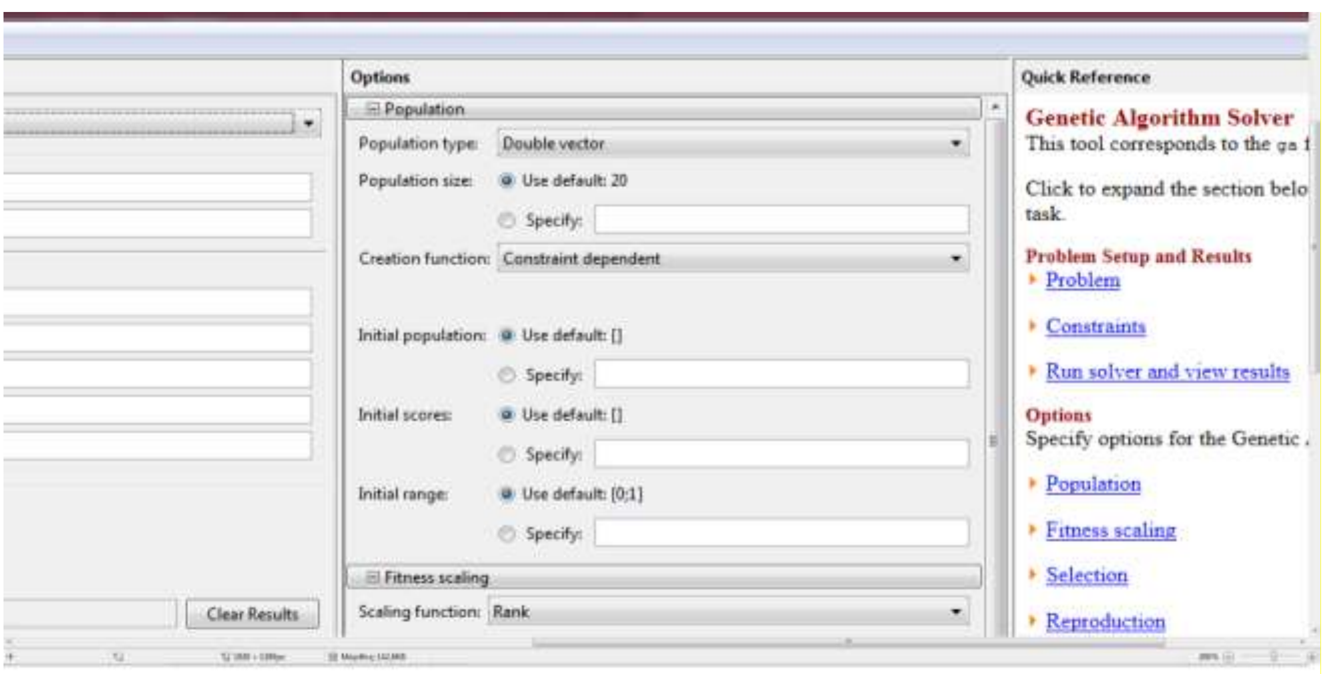
Σχήμα 3.4.1: Κεντρική οθόνη του εργαλείου GATOOL του MATLAB[10]

Στο πάνω αριστερό μέρος της οθόνης, σχήμα 3.4.2, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη αντικειμενική συνάρτηση, τον αριθμό των μεταβλητών, τους περιορισμούς και τα όρια.



Σχήμα 3.4.2: Αριστερό τμήμα της οθόνης του GATOOL

Στο πάνω δεξί μέρος της οθόνης, σχήμα 3.4.3, μπορούμε να προσδιορίσουμε το είδος του πληθυσμού, τον αρχικό πληθυσμό, τα αρχικά σκορ και το αρχικό εύρος τιμών.

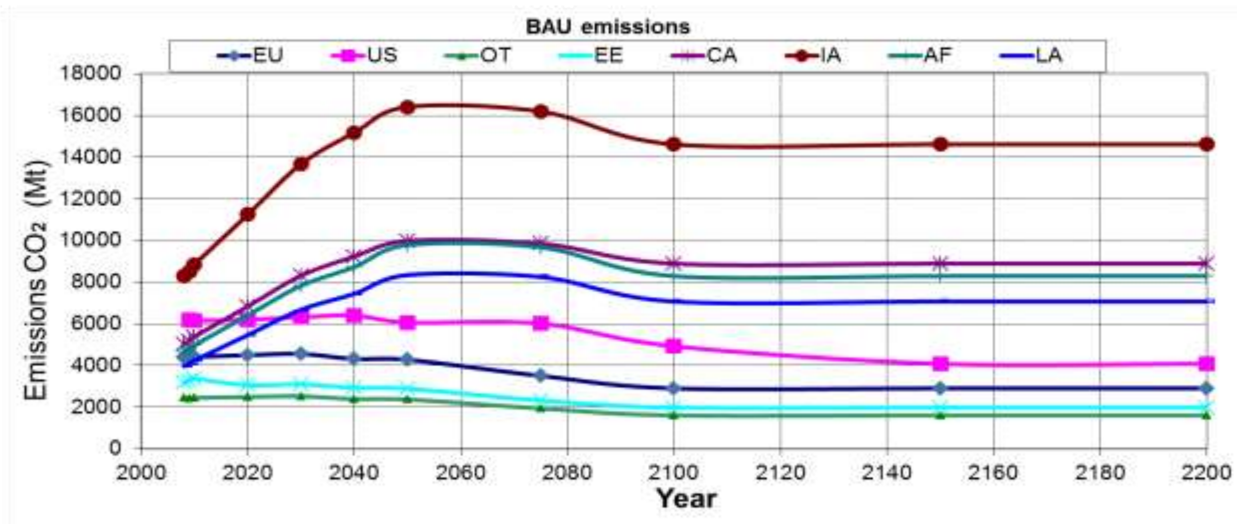


Σχήμα 3.4.3: Δεξιά οθόνη του GATOOL

4. Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

4.1 Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων

Οι εκπομπές CO_2 εάν εξακολουθήσουν οι έως τώρα πολιτικές (BAU scenario) φαίνονται στο σχήμα 4.1.1.



Σχήμα 4.1.1: Εκπομπές CO_2 στις διάφορες περιοχές του κόσμου ανά χρονική περίοδο, μέχρι το 2200

Η Γη χωρίστικε σε 8 περιοχές οι οποίες συμβολίζονται με :

EU: Ευρωπαική Ένωση

US: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

OT: Άλλες χώρες-μέλη της οργάνωσης για οικονομική συνεργασία και ανάπτυξη

EE: Ανατολική Ευρώπη

CA: Κεντρική Ασία

IA: Ινδία

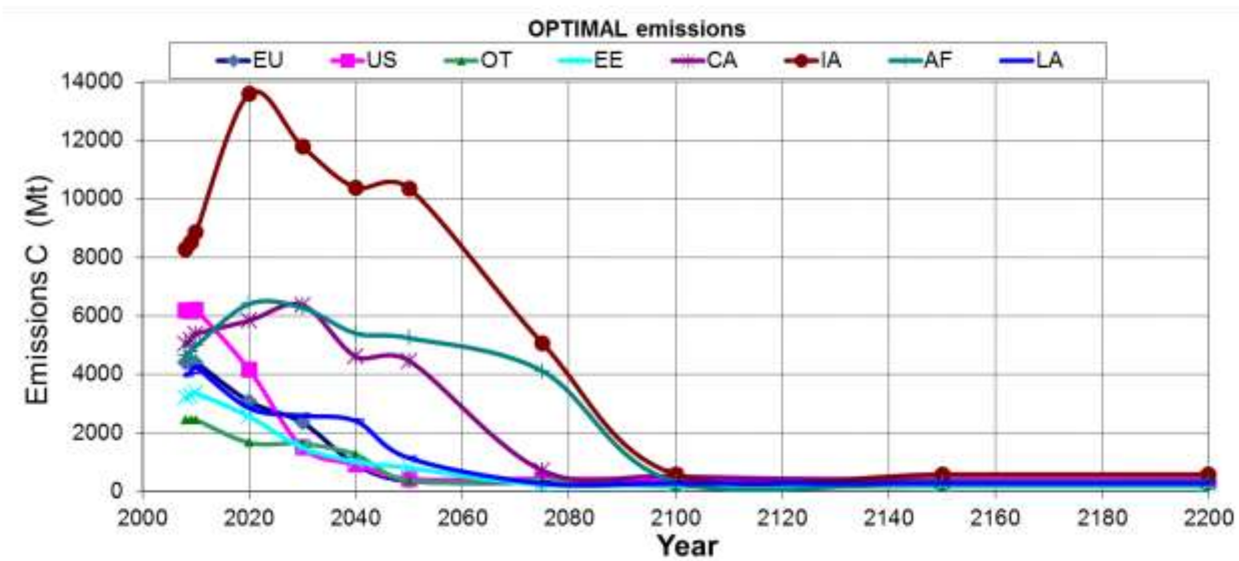
AF: Αφρική

LA: Λατινική Αμερική

Στη συνέχεια παρουσιάζονται 4 σενάρια, για μέση αύξηση 3°C, 3.5°C, 4.25°C και 5°C στη παγκόσμια θερμοκρασία.. Τα αποτελέσματα πού έδωσε το μοντέλο PAGE σε συνδυασμό με βελτιστοποίηση με χρήση γενετικού αλγορίθμου δίνονται στη συνέχεια.

- **Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 °C**

Στο σχήμα 4.1.2 φαίνονται οι βέλτιστες εκπομπές CO_2 για τις 8 θεωρούμενες περιοχές της Γης εαν θέλουμε να μην υπερβούμε τους 3°C το 2200.



Σχήμα 4.1.2: Βέλτιστες εκπομπές ανά περιοχή μέχρι το 2200 για αύξηση θερμοκρασίας 3°C

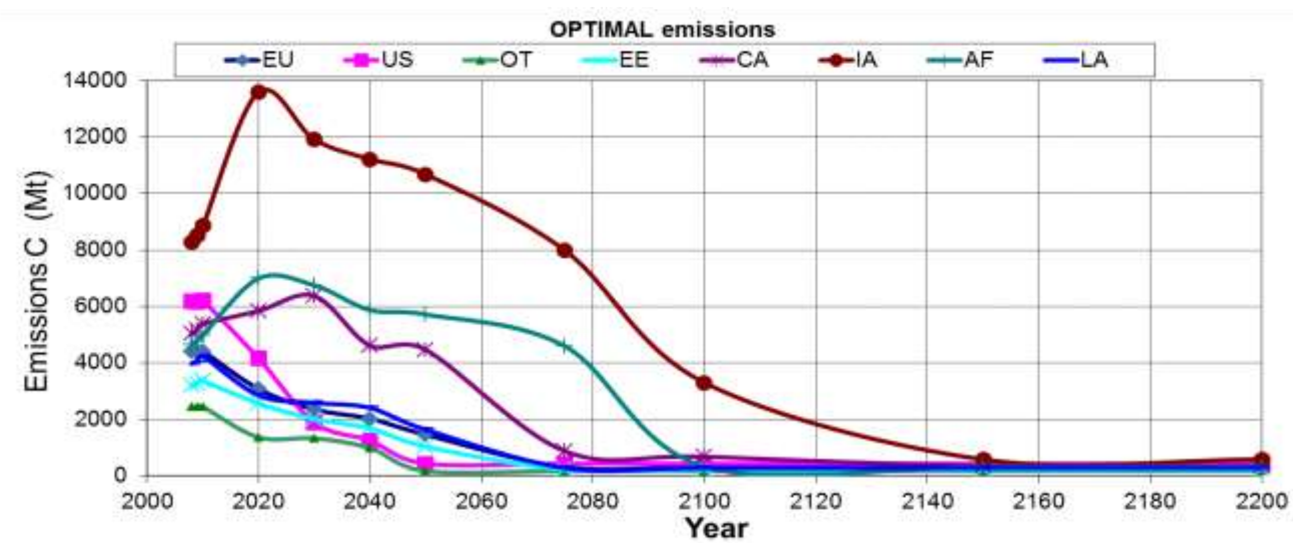
Τα αποτελέσματα για την αύξηση της θερμοκρασίας στις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους για τις βέλτιστες εκπομπές του σχήματος 4.1.2 δίνονται στον Πίνακα 4.1. Βλέπουμε πως το έτος 2200 η θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 2,995°C. Είμαστε δηλαδή πολύ κοντά στον στόχο των 3°C. Το κόστος της βέλτιστης πολιτικής εκπομπών για αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο 2,995°C υπολογίστηκε στα $200.344.400.

Πίνακας 4.1: Ανά έτος μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

Έτος	Θερμοκρασία
2008	0,736
2009	0,752
2010	0,768
2020	0,983
2030	1,234
2040	1,519
2050	1,784
2075	2,415
2100	2,712
2150	2,884
2200	2,995

- **Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.5 °C**

Στο σχήμα 4.1.3 φαίνονται οι βέλτιστες εκπομπές CO_2 για τις 8 θεωρούμενες περιοχές της Γης εαν θέλουμε να μην υπερβούμε τους 3.5°C το 2200.



Σχήμα 4.1.3: Βέλτιστες εκπομπές ανά περιοχή μέχρι το 2200 για αύξηση θερμοκρασίας 3.5°C

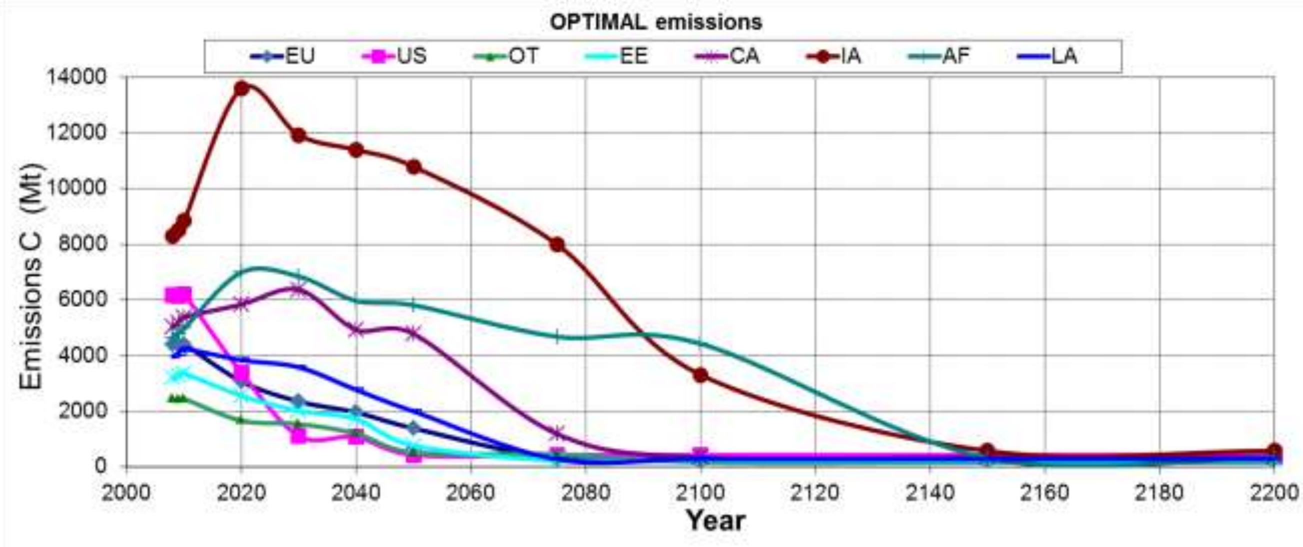
Τα αποτελέσματα για την αύξηση της θερμοκρασίας στις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους για τις βέλτιστες εκπομπές του σχήματος 4.1.3 δίνονται στον Πίνακα 4.2. Βλέπουμε πως το έτος 2200 η θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά περίπου 3,1°C. Είμαστε δηλαδή πολύ κοντά στον στόχο των 3.5°C και κάτω από αυτόν. Το κόστος της βέλτιστης πολιτικής εκπομπών για αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο περίπου 3.1°C υπολογίστηκε στα $198.150.061.

Πίνακας 4.2: Ανά έτος μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

Έτος	Θερμοκρασία
2008	0,736
2009	0,752
2010	0,768
2020	0,984
2030	1,236
2040	1,527
2050	1,800
2075	2,467
2100	2,807
2150	3,028
2200	3,132

- **Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4.25 °C**

Στο σχήμα 4.1.4 φαίνονται οι βέλτιστες εκπομπές CO_2 για τις 8 θεωρούμενες περιοχές της Γης εαν θέλουμε να μην υπερβούμε τους 4.25°C το 2200.



Σχήμα 4.1.4: Βέλτιστες εκπομπές ανά περιοχή μέχρι το 2200 για αύξηση θερμοκρασίας 4.25°C

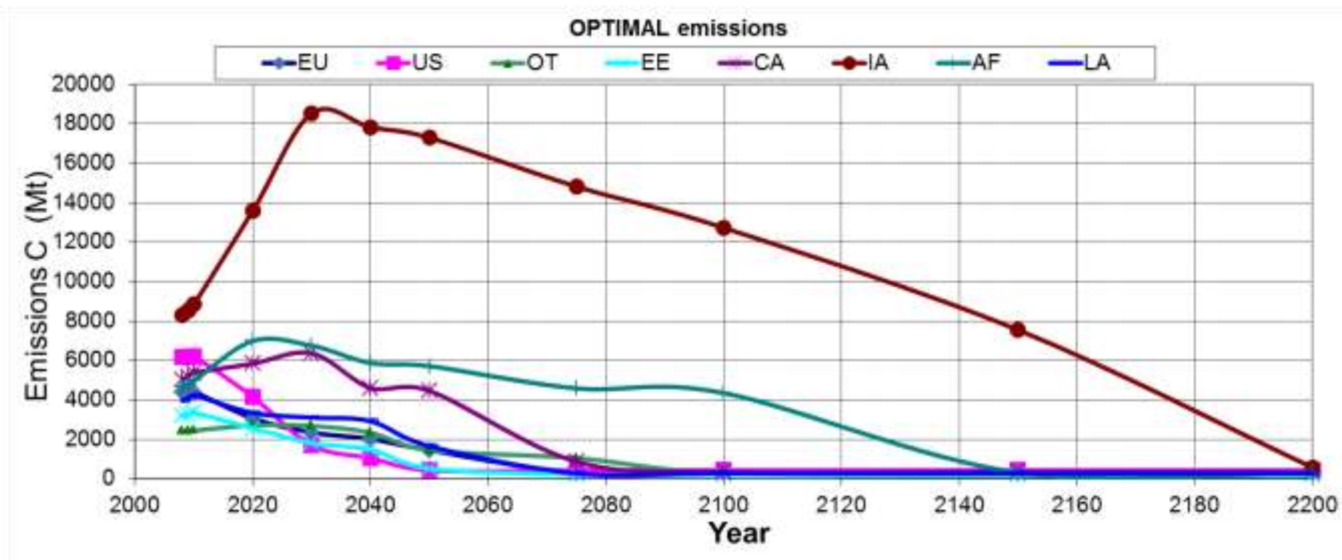
Πίνακας 4.3: Ανά έτος μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

Έτος	Θερμοκρασία
2008	0,736
2009	0,752
2010	0,768
2020	0,984
2030	1,238
2040	1,531
2050	1,808
2075	2,486
2100	3,051
2150	3,900
2200	4,252

Τα αποτελέσματα για την αύξηση της θερμοκρασίας στις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους για τις βέλτιστες εκπομπές του σχήματος 4.1.4 δίνονται στον Πίνακα 4.3. Βλέπουμε πως το έτος 2200 η θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά περίπου 4,252°C. Είμαστε δηλαδή πολύ κοντά στον στόχο των 4.25°C. Το κόστος της βέλτιστης πολιτικής εκπομπών για αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο 4.25°C υπολογίστηκε στα $227.336.035.

- **Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5 °C**

Στο σχήμα 4.1.5 φαίνονται οι βέλτιστες εκπομπές CO_2 για τις 8 θεωρούμενες περιοχές της Γης εαν θέλουμε να μην υπερβούμε τους 5°C το 2200.



Σχήμα 4.1.5: Βέλτιστες εκπομπές ανά περιοχή μέχρι το 2200 για αύξηση θερμοκρασίας 5°C

Τα αποτελέσματα για την αύξηση της θερμοκρασίας στις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους για τις βέλτιστες εκπομπές του σχήματος 4.1.5 δίνονται στον Πίνακα 4.4. Βλέπουμε πως το έτος 2200 η θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά περίπου 5.012°C. Είμαστε δηλαδή πολύ κοντά στον στόχο των 5°C. Το κόστος της βέλτιστης πολιτικής εκπομπών για αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο 5°C υπολογίστηκε στα $ 294.834.701.

Πίνακας 4.4: Ανά έτος μέση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

Έτος	Θερμοκρασία
2008	0,736
2009	0,752
2010	0,768
2020	0,986
2030	1,249
2040	1,563
2050	1,867
2075	2,632
2100	3,400
2150	4,510
2200	5,012

4.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα βλέπουμε το συνολικό κόστος είναι μικρότερο για το σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας κατά 3.1°C και ακολούθως να αυξάνονται. Τα αποτελέσματα που παρατίθενται είναι ενδεικτικά της λειτουργίας του μοντέλου και δεν μπορούν να προβλέψουν με απόλυτη ακρίβεια την πραγματικότητα του μέλλοντος καθώς βασίζονται σε πολλές τυχαίες παραμέτρους και εκτιμήσεις.

Τα αποτελέσματα βασίστηκαν σε προκαθορισμένες από τον δημιουργό του μοντέλου παραμέτρους, η τιμή των οποίων προέρχεται από εκτιμήσεις π.χ. το κατώφλι της αύξησης θερμοκρασίας όπου αρχίζουν να εμφανίζονται φυσικές καταστροφές ορίστηκε στους 2 ^{o}C. Αυτό όμως είναι μια σχετικά υποκειμενική εκτίμηση, καθώς βλέπουμε ήδη πόσες δραματικές αλλαγές έχουμε σήμερα με μόνο 0.8°C αύξηση της θερμοκρασίας. Αν δηλαδή αλλάζαμε αυτό το όριο στους 0.8^{o}C θα είχαμε καταλήξει σε διαφορετικά αποτελέσματα που θα ανέβαζαν και άλλο το κόστος στις υψηλές θερμοκρασίες. Υπάρχουν και άλλες παράμετροι του μοντέλου που χρήζουν διαφορετικής ερμηνείας από τους επιστήμονες καθώς είναι τυχαίες ως προς τη φύση τους και δύσκολα προβλέψιμες. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι το κόστος των τυχαίων φυσικών καταστροφών ως ποσοστό του παγκοσμίου ΑΕΠ. Κανείς δεν μπορεί να το εκτιμήσει με απόλυτη ακρίβεια καθώς και πως αυτό θα μεταβάλλεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Κάτι άλλο που καταδεικνύεται από τα αποτελέσματα και που είναι βεβαίως αναμενόμενο, είναι ότι θέτοντας το όριο της αύξησης της θερμοκρασίας υψηλότερα αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος προσαρμογής και βεβαίως μειώνεται το κόστος προσαρμογής. Αυτό όμως αντισταθμίζεται από την αύξηση του κόστους λόγω φυσικών καταστροφών, της ανόδου του επιπέδου της θάλασσας κτλ. Επίσης, είναι ευνόητο ότι όσο κατεβάζουμε τον στόχο αναμένεται να αυξάνει το κόστος προσαρμογής καθώς πρέπει να ληφθούν μέτρα σε σύντομο χρονικό διάστημα τα οποία κοστίζουν περισσότερο.

Μία τελευταία παρατήρηση, είναι ότι είναι ευκολότερο για τις ήδη αναπτυγμένες χώρες να μπορέσουν να μειώσουν το επίπεδο των εκπομπών τους, ενώ οι αναπτυσσόμενες (Ινδία και γενικά Ασία) σε όλα τα σενάρια συνήθως χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να μπορέσουν να τις μειώσουν. επίσης, σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν αυτές οι περιοχές έχουν και τις υψηλότερες εκπομπές.

4.3 Συμπεράσματα - Σκέψεις για τη συνέχεια της εργασίας

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε ένα γραφικό περιβάλλον στο εργαλείο GUIDE του MATLAB για τη διευκόλυνση των χρηστών του μοντέλου PAGE09 στη δημιουργία πολιτικών εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και την εκτίμηση του κόστους τους. Ο πρώτος λόγος που οδήγησε στη δημιουργία του γραφικού αυτού περιβάλλοντος ήταν για να μπορέσει οποιοσδήποτε χρήστης, εξειδικευμένος ή μη, να το χρησιμοποιήσει και να μπορεί να αλλάξει εύκολα τις μεταβλητές του PAGE09. Ο δεύτερος λόγος ήταν ότι έτσι ο χρήστης μπορεί πιο εύκολα να καταλάβει ποιές μεταβλητές παίζουν σημαντικότερο ρόλο στο τελικό κόστος της εκάστοτε πολιτικής εκπομπών και έτσι να εκτιμήσει σε μεγαλύτερο βάθος τη πολυπλοκότητα του περιβαλλοντικού προβλήματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται σύντομη περιγραφή της κλιματικής αλλαγής, του φαινομένου του θερμοκηπίου και τα προβλήματα που αυτό φέρνει και γίνεται επίσης αναφορά στους τρόπους απομείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στα Ολοκληρωμένα Μοντέλα Εκτίμησης (Integrated Assessment Models), περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους εκτιμούν τη κλιματική αλλαγή, τα πλεονεκτήματά τους και τα προβλήματα αυτών των μοντέλων. Στη συνέχεια γίνεται μια εις βάθος ανάλυση του PAGE09 και των εξισώσεων που το διέπουν, καθώς είναι το μοντέλο που που συνδέεται με το γραφικό περιβάλλον που αναπτύχθηκε. Στο τρίτο κεφάλαιο εξηγούνται οι λόγοι για τους οποίους δημιουργήθηκε στη παρούσα εργασία το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη – PAGE09 και μετά γίνεται η παρουσίαση του γραφικού περιβάλλοντος στο σύνολό του. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του PAGE09 για διάφορα σενάρια εκπομπών CO_2 έως το 2200, και σχολιάζονται τα αποτελέσματα.

Σχετικά με τη συνέχιση αυτής της εργασίας συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Θα ήταν χρήσιμο να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος κλίσεων ώστε τα αποτελέσματα βελτιστοποίησης του γενετικού αλγορίθμου να βελτιωθούν περεταίρω όποτε αυτό είναι δυνατό.
- Θα ήταν καλό να γίνει μια ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του PAGE09 και να διερευνηθούν κατά πόσο μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα.
- Θα μπορούσε επίσης να επιχειρηθεί περεταίρω μελέτη - βελτίωση κάποιων εκ των υπομοντέλων του PAGE09.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Hope, C. (2011). PAGE09 integrated assessment model. Ανάκτηση από www.jbs.cam.ac.uk: www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload_research_workingpapers/wp1104.pdf

[2] Plambeck, A., Hope, C. (1995). PAGE95a. Ανάκτηση από www.yellowginger.com

ftp://131.252.97.79/Transfer/ES_Pubs/ESVal/carbon_val/plambeck_96_ValueImpactsGlobalWarm_EP_v24_p783.pdf

[3] Stern,N. (2006). Stern Review on the economics of climate change. Ανάκτηση από: http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/30_10_06_exec_sum.pdf

[4] Tol, R. S. (2009). Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Richard. Ανάκτηση από: http://aida.econ.yale.edu/~nordhaus/Resources/tol_impacts_I_ERE_21.pdf

[5] Hanemann, W. (2011). What is the economic cost of climate change? Ανάκτηση από www.escholarschip.org: http://escholarship.org/uc/item/9g11z5cc

[6] Helesco, (2011). Εκτίμηση του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα (CO2) των ελληνικών νομών από ενεργειακές χρήσεις του οικιακού τομέα το 2010. Ανάκτηση από www.helesco.gr/NEWS/Αποτύπωμα_Εκπομπών_CO2_και_Προτάσεις_μείωσης_του.pdf

[7] Milinski, M., Sommerfel, R., Krambeck, H. J., Reed, F. A., & Marotzke, J. (2010). The collective-risk social dilemma and the prevention of simulated dangerous climate change. Ανάκτηση από: http://www.pnas.org/content/105/7/2291

[8] Dowlatabadi, H. (1995). Integrated assessment models of climate change. Ανάκτηση από http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030142159590155Z

[9] Hope, C. (2007). Chapter 2:Page Modeling System. Ανάκτηση από: http://www.ycsg.yale.edu/climate/forms/chapter2.pdf

[10] Mathworks, (2013). MATLAB. Ανάκτηση από: www.mathworks.com/products/matlab/

[11] Enkvist, P. A., Naucler, T., & Rosander, J. (2007). A cost curve for greenhouse gas reduction. Ανάκτηση από: www.epa.gov/air/caaac/coaltech/2007_05_mckinsey.pdf

[12] National Research Council, (2010). Climate Change: Evidence, Impacts and Choices. Ανάκτηση από: https://nas-sites.org/americasclimatechoices/more-resources-on-climate-change/climate-change-lines-of-evidence-booklet/

[13] Potsdam Insitute for climate impact research and climate analytics, (2012). Turn down the heat - Why a 4 degree centrigrade warmer world must be avoided. Ανάκτηση από http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centrigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

[14] McKinsey & Company, (2009). Pathways to a low carbon economy-Summary. Ανάκτηση από,www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/pathways_to_a_low_carbon_economy