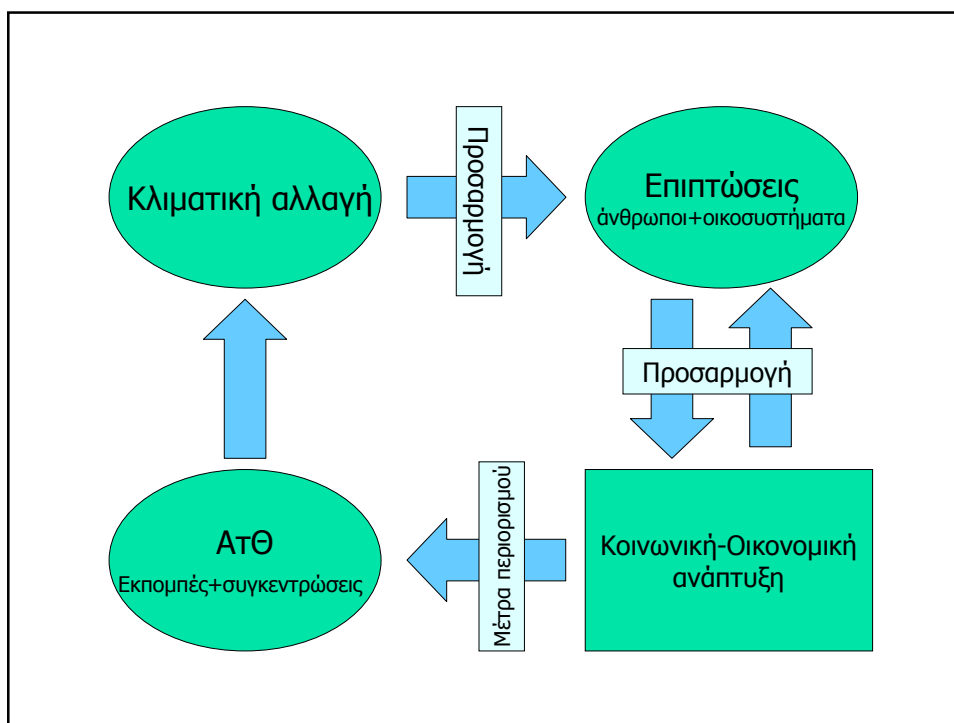


ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

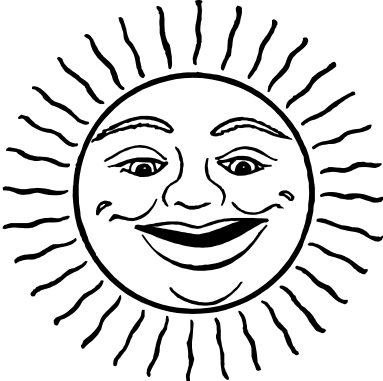


Εισαγωγή

- Η υπερθέρμανση του πλανήτη θεωρείται το **πιο σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα** σε παγκόσμιο επίπεδο
- Υπάρχει όμως μεγάλη αβεβαιότητα και σημαντική επιστημονική διαμάχη σε σχέση με τις επιπτώσεις του



Το ενεργειακό ισοζύγιο της γης



Ήλιος, ο ζωοδότης
 $T \sim 5.800 \text{ K}$

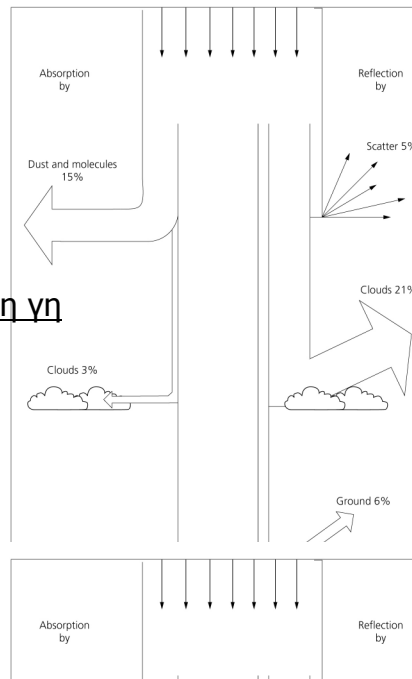
Προσπίπτουσα ακτινοβολία στη γη

Συνολική απορρόφηση: 68%

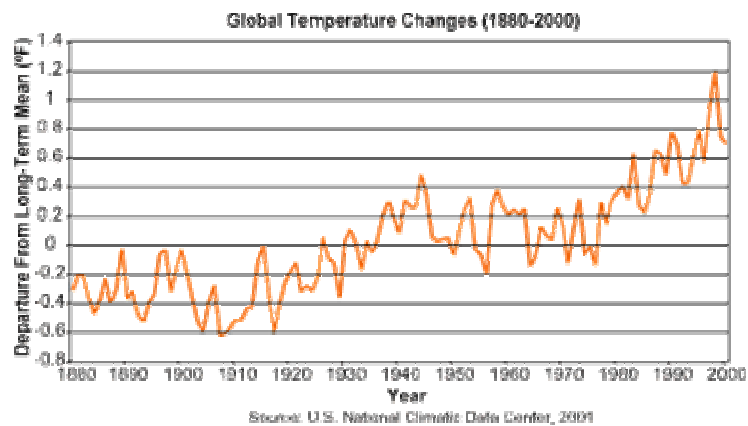
- Έδαφος: 50%

- Ατμόσφαιρα: 18%

Ανάκλαση: 32%



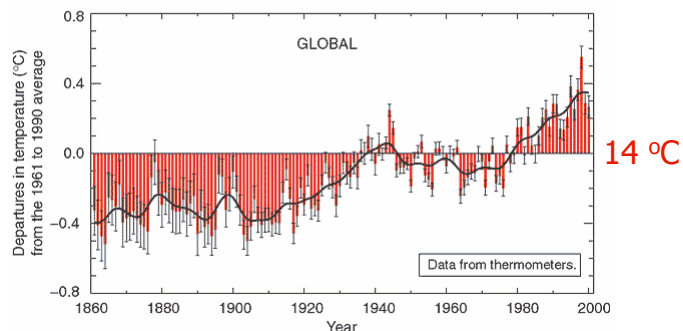
Μέση θερμοκρασία εδάφους



Απόκλιση από τη μέση θερμοκρασία από το 1961-1990

Variations of the Earth's surface temperature for:

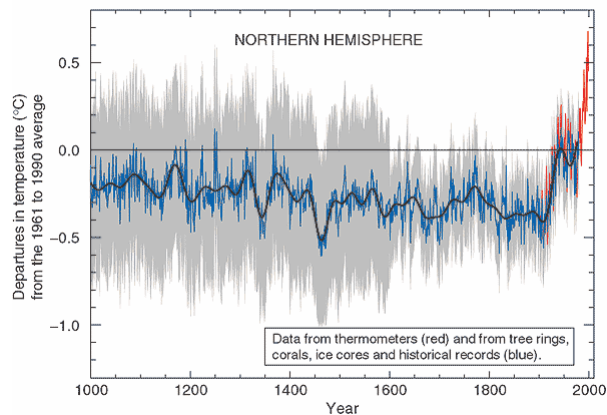
(a) the past 140 years



Πηγή: Intergovernmental Panel on Climate Change

Απόκλιση από τη μέση θερμοκρασία από το 1961-1990

(b) the past 1,000 years



Πηγή: Intergovernmental Panel on Climate Change



- Κανείς δεν αμφιβάλει ότι η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί
- Όμως, κάποιο ποσοστό της αύξησης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά τον τελευταίο αιώνα **μπορεί** και να οφείλεται στην κατά 0,24% αύξηση της εκπομπής ενέργειας από τον ήλιο
- Τα πράγματα φαίνονται χειρότερα από το 1970 και μετά



Εκπομπή ενέργειας από τη γη

- Όπως κάθε θερμό σώμα, η γη εκπέμπει ενέργεια
- Η εκπεμπόμενη από τη γη **υπέρυθρη** ακτινοβολία είναι της ίδιας φύσης με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα πυρακτωμένο σίδηρο

Για σταθερή θερμοκρασία στη γη:

Απορρόφηση ενέργειας = Εκπομπή ενέργειας

- Κάποια αέρια της ατμόσφαιρας (π.χ. CO_2) είναι σε θέση να απορροφήσουν **προσωρινά** θερμική **υπέρυθρη ακτινοβολία**
- Αποτέλεσμα: δεν καταλήγει όλη η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τη γη στο διάστημα
- Αντιθέτως, σημαντικό μέρος της επιστρέφει στη γη

Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου

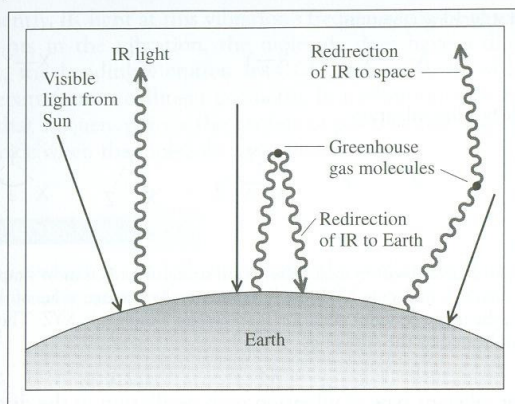


Figure 4-4
Schema of the
operation of the
greenhouse effect in
the Earth's
troposphere.

Πηγή: C. Baird, "Environmental Chemistry", 2nd ed.



- Αυτό είναι το φυσικό ή ήπιο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Χωρίς αυτά τα αέρια, η γη θα ήταν παγωμένη (-15 °C)
- Η θέρμανση της γης από το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την ακτινοβολία που η γη δέχεται απ' ευθείας από τον ήλιο



- Τα αέρια της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρας) λειτουργούν ως κουβέρτα
- Παραδείγματα έλλειψης του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου:
 - έρημος
 - ξαστεριά
- Η κουβέρτα μετατρέπεται σε πάπλωμα!



Τα αέρια του θερμοκηπίου (ατθ)

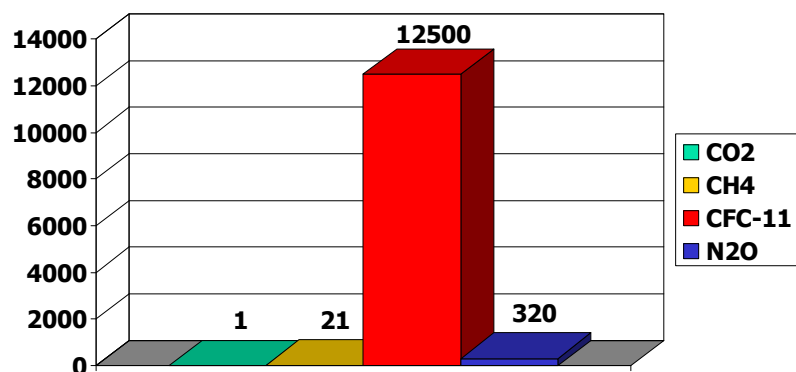
- Διοξείδιο του άνθρακα
- Υδρατμοί
- Μεθάνιο
- Υποξείδιο του αζώτου
- Χλωροφθοράνθρακες



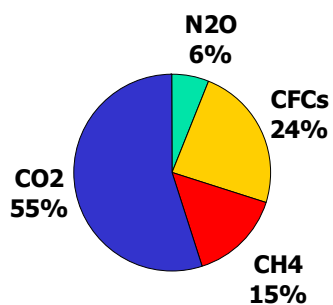
Τι μας ενδιαφέρει στα ατθ;

- Παρούσα συγκέντρωση
- Ρυθμός αύξησης
- Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα
- Σχετική δυναμικότητα

Σχετική δυναμικότητα ΑτΘ (Ορίζοντας 100 χρόνων)



% συνολική συνεισφορά στο ΦΤΘ



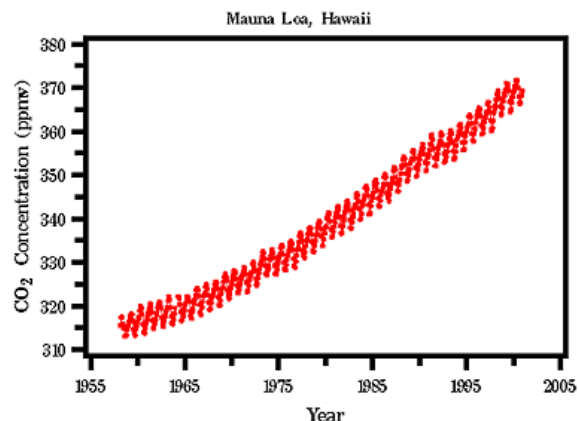


Συγκέντρωση CO₂

- Παρατηρούνται εποχικές διακυμάνσεις την άνοιξη και το καλοκαίρι λόγω της αυξημένης φωτοσύνθεσης της βλάστησης
- Το CO₂ που δεσμεύεται από τα φυτά δεν μπορεί να δράσει ως αέριο του θερμοκηπίου



Η διαχρονική εξέλιξη της συγκέντρωσης CO₂





Πηγές CO₂

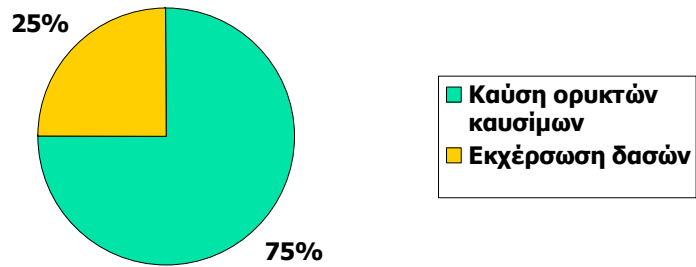
- Καύση ορυκτών καυσίμων (Ανθρωπογενής)
 - Μεταφορές
 - Θέρμανση
 - Βιομηχανία
 - Παραγωγή ενέργειας
- Κάθε κάτοικος του αναπτυγμένου κόσμου εκπέμπει 5 τόνους CO₂ ετησίως
- Στις αναπτυσσόμενες χώρες: 500 kg ετησίως



Πηγές CO₂

- Αποψίλωση δασών (Ανθρωπογενής)
- Ετήσιος ρυθμός εκχέρσωσης
 - Ν.Α. Ασία: 1,6% του συνόλου
 - Κεντρική Αμερική: 1,5%
 - Νότια Αμερική: 0,5%
- Στο βόρειο ημισφαίριο η συστηματική διαχείριση των δασών κατά τη δεκαετία του 1980 οδήγησε σε εξισορρόπηση των παραπάνω απωλειών

Ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂

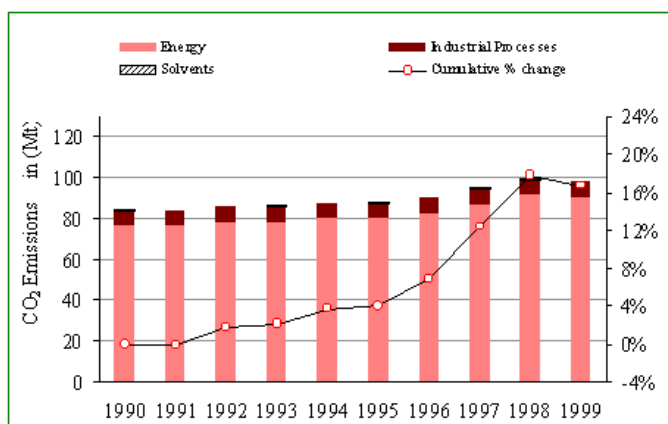


Χρόνος παραμονής του CO₂ στην ατμόσφαιρα

- Το CO₂ είναι **ιδιαιτέρως σταθερό**
- Μέθοδοι απομάκρυνσης από την ατμόσφαιρα
 - Απορροφάται από τα φυτά
 - Διαλύεται στα νερά των ωκεανών
- Οι παραπάνω οδοί απομάκρυνσης είναι **προσωρινές**
- Το μόνο **μόνιμο** σημείο αποθήκευσής του είναι τα βάθη των ωκεανών ως αδιάλυτο CaCO₃
- Η διαδικασία αυτή διαρκεί **αιώνες**



Εκπομπές CO₂ Ελλάδα



Υδρατμοί

- 0-5% κ.ο υδρατμοί στην ατμόσφαιρα
- Οι υδρατμοί, συνολικά, έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο ΦΤΘ
- Ανά μόριο βέβαια, το CO₂ παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση



Είναι οι υδρατμοί ατθ;

- Η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα αυξάνει εκθετικά με τη θερμοκρασία
- Άρα, οποιαδήποτε αύξηση στο ΦτΘ ως αποτέλεσμα της αύξησης της συγκέντρωσης των άλλων αερίων, αυτομάτως **πολλαπλασιάζεται** λόγω της αυξανόμενης συγκέντρωσης των υδρατμών



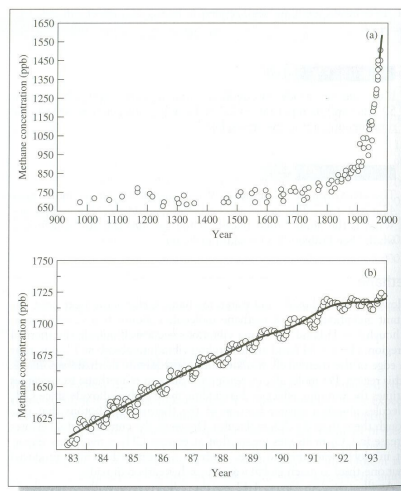
- Το ΦτΘ λόγω των υδρατμών είναι **έμμεσο αποτέλεσμα** της αύξησης της συγκέντρωσης των υπολοίπων αερίων
- Γι' αυτό το λόγο, οι υδρατμοί δεν κατατάσσονται, συνήθως, ως ΑτΘ

Μεθάνιο (CH₄)

- Είναι το τρίτο πιο σημαντικό αέριο από την άποψη της συνολικής συνεισφοράς του στο ΦΤΘ
- Η συγκέντρωση του CH₄ στην ατμόσφαιρα έχει υπερδιπλασιαστεί σε σχέση με τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής
- Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα: 10-15 έτη

Η εξέλιξη της συγκέντρωσης CH₄ στην ατμόσφαιρα

Figure 4-12
Growth of atmospheric methane concentration:
(a) over the past 1,000 years, using data from various ice cores, and
(b) in recent times; the smooth curve in the latter averages out the seasonal fluctuations shown by the circles. (Source: J. T. Houghton et al. 1995. *Climate Change 1994—Radiative Forcing of Climate Change*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.)





Πηγές CH₄



- Ανθρωπογενείς
 - Γεωργία - Παραγωγή τροφίμων (κυρίως ορυζώνες)
 - ΧΥΤΑ και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων: αναερόβια χώνευση ιλύος και οργανικού υλικού
 - Μηρυκαστικά ζώα: ως αποτέλεσμα της αναερόβιας δράσης στα στομάχια τους
 - Καύση βιομάζας
 - Αποψίλωση δασών
- Το 70% των εκπομπών μεθανίου είναι σήμερα ανθρωπογενείς



Η εξέλιξη των ανθρωπ. εκπομπών CH₄ στην ατμόσφαιρα

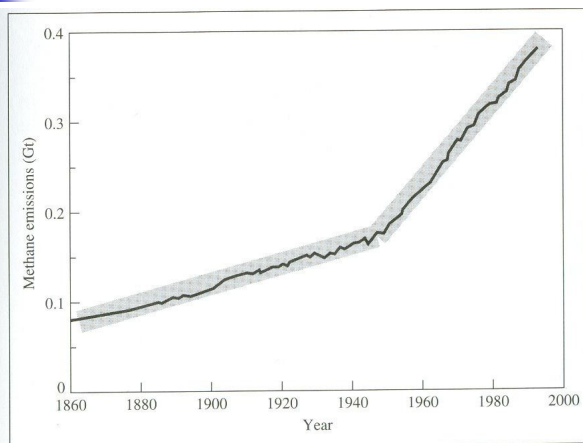
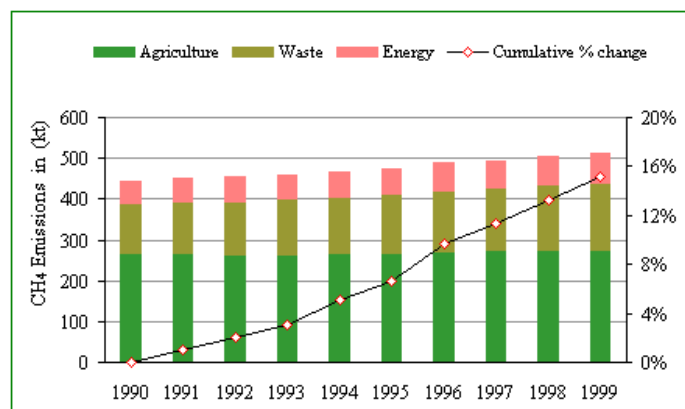


Figure 4-13
Annual rates of
anthropogenic
emissions of methane
since 1860. (Source:
Reproduced from
D. I. Stern and R. K.
Kaufman, 1996.
Chemosphere 33:
159–176.)

Πηγές CH₄

- Φυσικές
 - Αναερόβια αποσύνθεση φυτικού υλικού ιδιαίτερα σε εκτάσεις που καλύπτονται με νερό (π.χ υγροβιότοπους)
 - Ωκεανοί: δράση βακτηρίων

Εκπομπές CH₄ Ελλάδα





Υποξείδιο του αζώτου (N_2O)

- Το αέριο του γέλιου
- Σταθερές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα μέχρι και πριν 300 χρόνια
- Περίπου 40% των εκπομπών του είναι ανθρωπογενείς
- Συνεισφέρει στο ΦΤΘ το 1/3 της συνεισφοράς του CH_4



Φυσικές πηγές N_2O

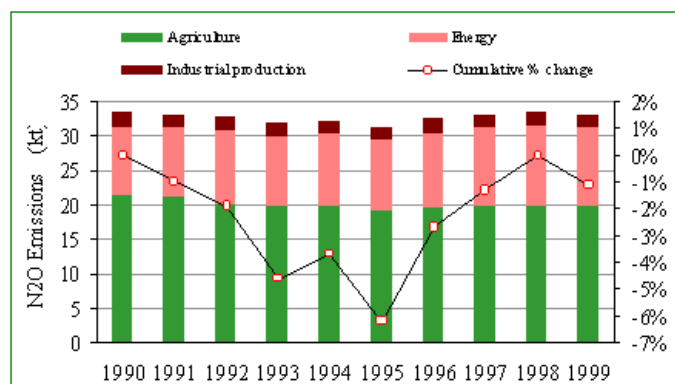
- Ωκεανοί (Μεγαλύτερη πηγή)
- Διεργασίες στα τροπικά δάση
- Ο ατμοσφαιρικός κύκλος του αζώτου

Ανθρωπογενείς πηγές N₂O

- Λιπάσματα: η σημαντικότερη πηγή
- Κοπριές για λίπανση
- Καύση καυσίμων που περιέχουν άζωτο
 - βιομάζα και κάρβουνο
- Βιομηχανία
- Μεταφορές

- Χρόνος παραμονής: 120 χρόνια

Εκπομπές N₂O Ελλάδα





CFCs

- Τα αέρια με δεσμούς C-F και C-Cl έχουν τη μεγαλύτερη σχετική δυναμικότητα ως ατθ
- Τα CFCs είναι αμιγώς ανθρωπογενή
- Το μόνο ουσιαστικό μέτρο αντιμετώπισής τους είναι η πρόληψη της διαφυγής τους στην ατμόσφαιρα



Συνεισφορά των CFCs στο ΦΤΘ

- Τα CFCs είναι πολύ αποτελεσματικά ψυκτικά τα οποία συνέβαλαν στη λειτουργία ενεργειακά αποδοτικών ψυκτικών μηχανημάτων



Παρούσα γνώση για τις μελλοντικές επιπτώσεις

Climate Change 2007: Climate Change
Impacts, Adaption and Vulnerability

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις

- Στους υδατικούς πόρους
- Στα οικοσυστήματα
- Στην τροφή και τα δασικά προϊόντα
- Στις παράκτιες περιοχές
- Στην κοινωνία
- Στην ανθρώπινη υγεία

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους

- Μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα σε νερό προβλέπεται να αυξηθεί κατά 10-40% στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και σε ορισμένες υγρές τροπικές περιοχές και να μειωθεί κατά 10-30% σε ορισμένες ξηρές περιοχές στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και ξηρές τροπικές περιοχές (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους

- Οι περιοχές που αντιμετωπίζουν ξηρασία πιθανόν να αυξηθούν σε έκταση. Οι πολύ δυνατές βροχοπτώσεις, οι οποίες είναι πολύ πιθανό να αυξηθούν σε συχνότητα, θα αυξήσουν τον κίνδυνο για πλημμύρες (**πολύ μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους

- Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, τα υδατικά αποθέματα στους παγετώνες και τα χιόνια προβλέπεται να μειωθούν, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα του νερού στις περιοχές που υδροδοτούνται από αυτά. Σε τέτοιες περιοχές ζει περισσότερο από το 1/6 του πληθυσμού της γης (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

- Η αντοχή πολλών οικοσυστημάτων είναι πιθανό να ξεπεραστεί κατά τον 21ο αιώνα από έναν πρωτοφανή συνδυασμό κλιματικής αλλαγής, σχετιζόμενων διαταραχών (πλημμύρες, ξηρασία, πυρκαγιές, έντομα, οξίνιση των ωκεανών) και άλλων πιέσεων (αλλαγή χρήσεων γης, ρύπανσης, υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων) (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

- Στη διάρκεια του 21ου αιώνα η συνολική πρόσληψη άνθρακα από τα εδαφικά οικοσυστήματα είναι πιθανό να κορυφωθεί πριν από τα μέσα του αιώνα και μετά να εξασθενήσει είτε και να αντιστραφεί, επιτείνοντας έτσι την κλιματική αλλαγή (μεγάλη πιθανότητα)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

- Το 20-30% των φυτών και ζώων που είναι γνωστά σήμερα είναι πιθανό να βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης εάν η αύξηση στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία ξεπεράσει τους 1,5-2,5 °C (μέτρια πιθανότητα)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

- Για αύξηση της μέσης θερμοκρασίας μεγαλύτερης από 1,5-2,5 °C προβλέπεται να υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών και στις γεωγραφικές κατανομές των ειδών με πιθανές αρνητικές συνέπειες στη βιοποικιλότητα και την παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων (μεγάλη πιθανότητα)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα

- Η προοδευτική οξίνιση των ωκεανών λόγω του αυξανόμενου CO₂ προβλέπεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς (π.χ. κοράλια) και στα εξαρτούμενα από αυτούς είδη

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές

- Οι ακτές προβλέπεται να εκτεθούν σε αυξημένους κινδύνους, συμπεριλαμβανομένης της διάβρωσης, λόγω της κλιματικής αλλαγής και την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Τα αποτελέσματα θα επιδεινωθούν λόγω των ανθρωπογενών πιέσεων στις παράκτιες περιοχές (**πολύ μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές

- Τα κοράλια είναι ευαίσθητα στο θερμικό στρες και έχουν μικρή ικανότητα προσαρμογής. Αυξήσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας από 1-3 °C προβλέπεται να επιφέρουν πιο συχνή θανάτωση των κοραλιών, εκτός εάν υπάρξει θερμική προσαρμογή ή εγκλιματισμός των κοραλιών (**πολύ μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές

- Πολλοί περισσότεροι άνθρωποι προβλέπεται να υποφέρουν από πλημμύρες λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2080
- Ιδιαίτερο κίνδυνο αντιμετωπίζουν όσοι βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου η ικανότητα προσαρμογής είναι χαμηλή και οι οποίοι ήδη αντιμετωπίζουν και άλλες απειλές όπως οι τροπικές καταιγίδες

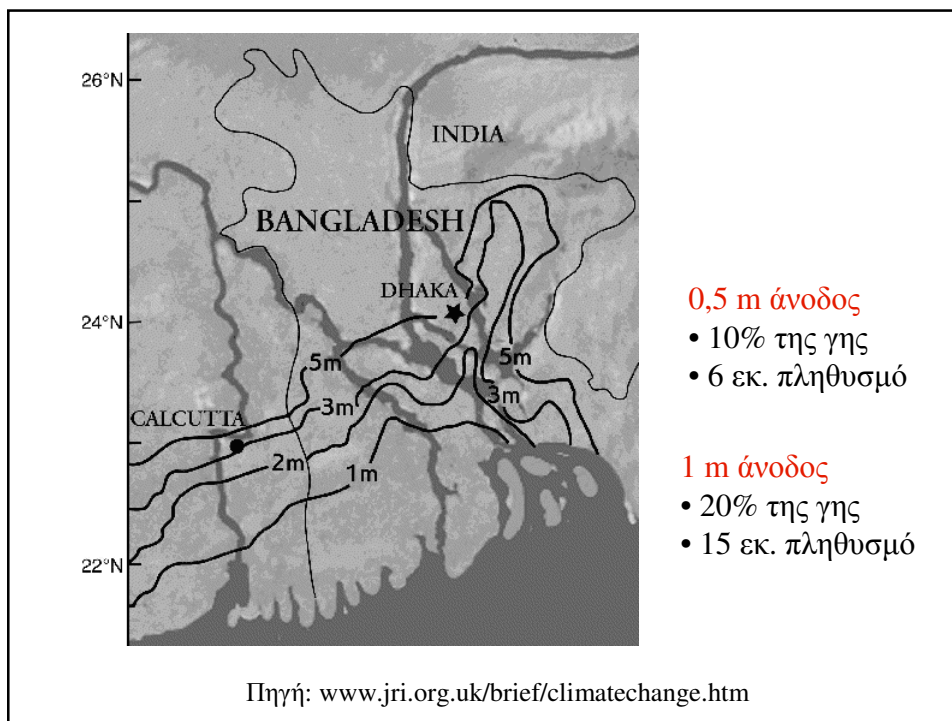
Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Συνέχεια...

- Οι αριθμοί αυτών που θα πληγούν θα είναι μεγαλύτεροι στα μεγάλα δέλτα των ποταμών της Αφρικής και της Ασίας ενώ τα μικρά νησιά είναι ιδιαίτερα ευπρόσβλητα (**πολύ μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στην κοινωνία

- Τα οφέλη και οι ζημιές από την κλιματική αλλαγή για την κοινωνία διαφέρουν ανά περιοχή και κλίμακα. Τα συνολικά όμως αποτελέσματα θα είναι τόσο πιο αρνητικά όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στην κοινωνία

- Οι πλέον ευπρόσβλητες κοινωνίες είναι αυτές που βρίσκονται κοντά σε παράκτιες και παραποτάμιες περιοχές, αυτές των οποίων οι οικονομία εξαρτάται από φυσικούς πόρους ευαίσθητους στην κλιματική αλλαγή και αυτές που βρίσκονται σε περιοχές με συχνά ακραία καιρικά φαινόμενα, ιδιαίτερα εάν υπάρχουν ισχυρές τάσεις αστικοποίησης (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στην κοινωνία

- Οι φτωχές κοινότητες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες, ιδιαίτερα αυτές που βρίσκονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Έχουν χαμηλότερη ικανότητα προσαρμογής και εξαρτούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από ευαίσθητους, στην κλιματική αλλαγή φυσικούς πόρους, όπως τοπικό πόσιμο νερό και τροφή (**μεγάλη πιθανότητα**)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (μεγάλη πιθανότητα)

- Αύξηση του υποσιτισμού και των συνεπακόλουθων επιπλοκών
- Αυξημένοι θάνατοι, ασθένειες και τραυματισμοί λόγω καυσώνων, πλημμυρών, καταιγίδων και ξηρασιών
- Αυξημένες διαρροϊκές επιδημίες
- Αλλαγή στη γεωγραφική κατανομή των μεταδοτικών ασθενειών

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers



Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

- Στα εύκρατα κλίματα η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει και οφέλη λόγω μειωμένων θανάτων από το κρύο. Συνολικά όμως, τα όποια οφέλη θα υπερκεραστούν από τους θανάτους σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω της αυξανόμενης θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (μεγάλη πιθανότητα)

Πηγή: IPCC WGII 4th Assessment Report, Summary for Policy Makers