

**«Εκτίμηση του εύρους των
πιθανών επιπτώσεων στην
ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου,
λόγω υποθετικού μείζονος
πυρηνικού ατυχήματος»**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Διπλωματική εργασία
Γεώργιος Καλπαξής
Επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής
Δημήτριος Μητράκος
Αθήνα, Ιούλιος 2023



Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή

Στόχος και αξία της εργασίας

2 Εξεταζόμενη τοποθεσία

Πρότζεκτ Ακκούγιου,
Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα

3 Μοντελοποίηση και δεδομένα

Οδοί έκθεσης πληθυσμού,
Ραδιενέργεια και τροφική αλυσίδα,
Χρονικό πλαίσιο έκλυσης,
Βασικά μοντέλα υπολογιστικού προγράμματος,
Όρος πηγής,
Διεθνή κριτήρια δόσης

4 Μεθοδολογία

Διαδικασία υπολογισμών, στατιστική επεξεργασία, δημιουργία χαρτών αποτελεσμάτων

5 Αποτελέσματα

Παράθεση χαρτών,
σύγκριση τιμών με τα διεθνή επίπεδα αναφοράς,
παράδειγμα στατιστικής ανάλυσης

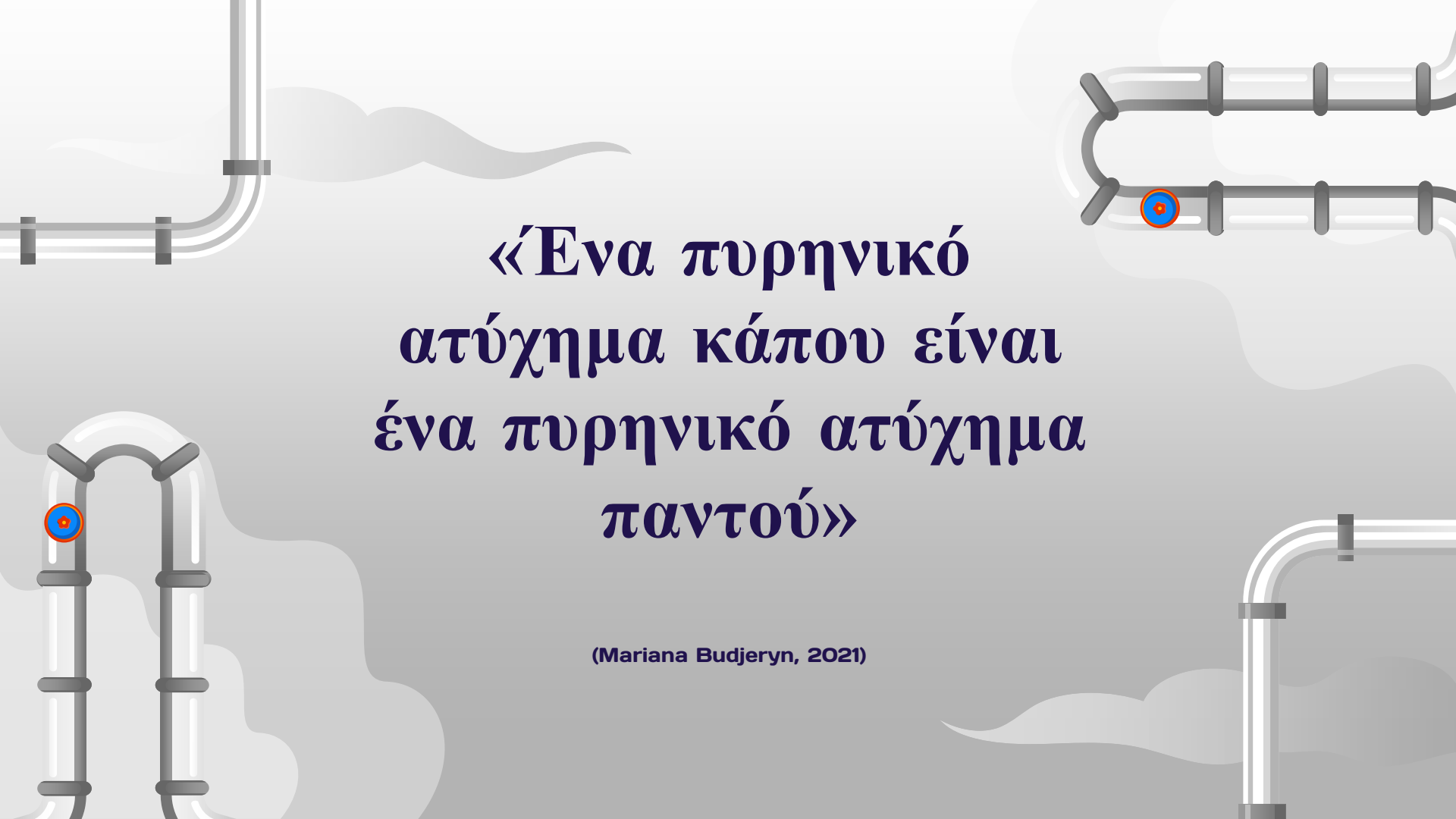
6 Συμπεράσματα

Σύνοψη κύριων συμπερασμάτων εργασίας

The background features a stylized industrial scene. On the left, two white smokestacks with red horizontal bands emit thick white smoke that drifts across the top of the frame. On the right, a red and orange industrial building with a windowed section is visible, with a tall silver pipe extending upwards. The overall color palette is muted, with greys, whites, and soft blues, creating a clean, modern aesthetic.

1

Εισαγωγή

The background features a light grey gradient with stylized grey pipes and blue/orange target icons. The pipes are arranged in various configurations: some are horizontal, some are vertical, and some are curved. The target icons are small circles with a blue center and an orange ring. The overall aesthetic is clean and modern.

**«Ένα πυρηνικό
ατύχημα κάπου είναι
ένα πυρηνικό ατύχημα
παντού»**

(Mariana Budjeryn, 2021)

Στόχος εργασίας

Κύριος στόχος της μελέτης είναι η εκτίμηση της διακύμανσης των επιπτώσεων ενός πυρηνικού ατυχήματος στο Ακκούγιου, και της μέγιστης πιθανής έκθεσης του πληθυσμού, όπως καθορίζονται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή.

Ανάπτυξη υπολογιστικής δυνατότητας και εργαλείων

- Μέγιστες πιθανές συγκεντρώσεις ραδιονουκλιδίων και αντίστοιχες δόσεις
- **JRodos**: ατμοσφαιρική διασπορά και εκτίμηση έκθεσης
- **Matlab**: στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων
- **QGIS**: Απεικόνιση σε χάρτες, επεξεργασία γεω-αναφερόμενων αποτελεσμάτων (ελεύθερο λογισμικό)

Κύριοι παράγοντες έκλυσης



Χρονική εξέλιξη και
χαρακτηριστικά έκλυσης
ραδιενεργού αερολύματος στην
ατμόσφαιρα (όρος πηγής)

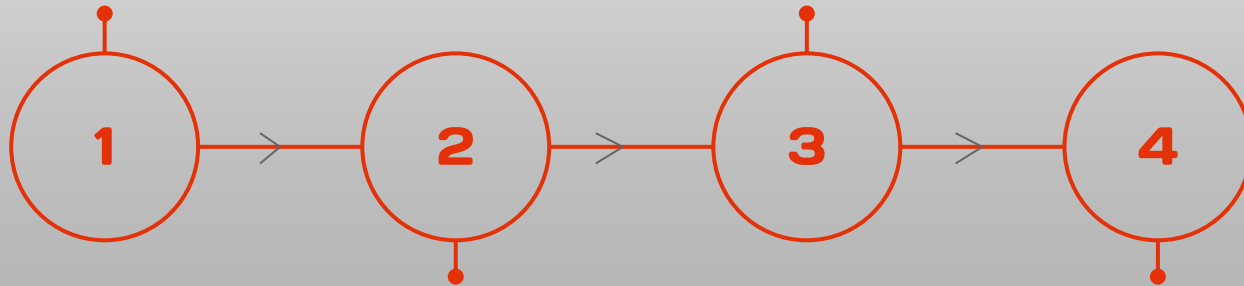
Επικρατούσες καιρικές συνθήκες

- Εξαιρετικά πολύπλοκη εξέλιξη της μεταφοράς και διασποράς των ρύπων, ανάλογα με τον συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων
- Η επεξεργασία μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων για διαφορετικές καιρικές συνθήκες επιτρέπει την **εκτίμηση της διακύμανσης των επιπτώσεων**

Σημασία εκτίμησης εύρους πιθανών ραδιολογικών επιπτώσεων

Εκπόνηση, θέσπιση και εφαρμογή εθνικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης

Αξιόπιστη απόκριση και αύξηση εμπιστοσύνης του κοινού



Επικοινωνία και εξήγηση κινδύνων στον πληθυσμό

Ελαχιστοποίηση ραδιολογικών και μη ραδιολογικών επιπτώσεων

Βασικά δεδομένα προσομοιώσεων



Τοποθεσία



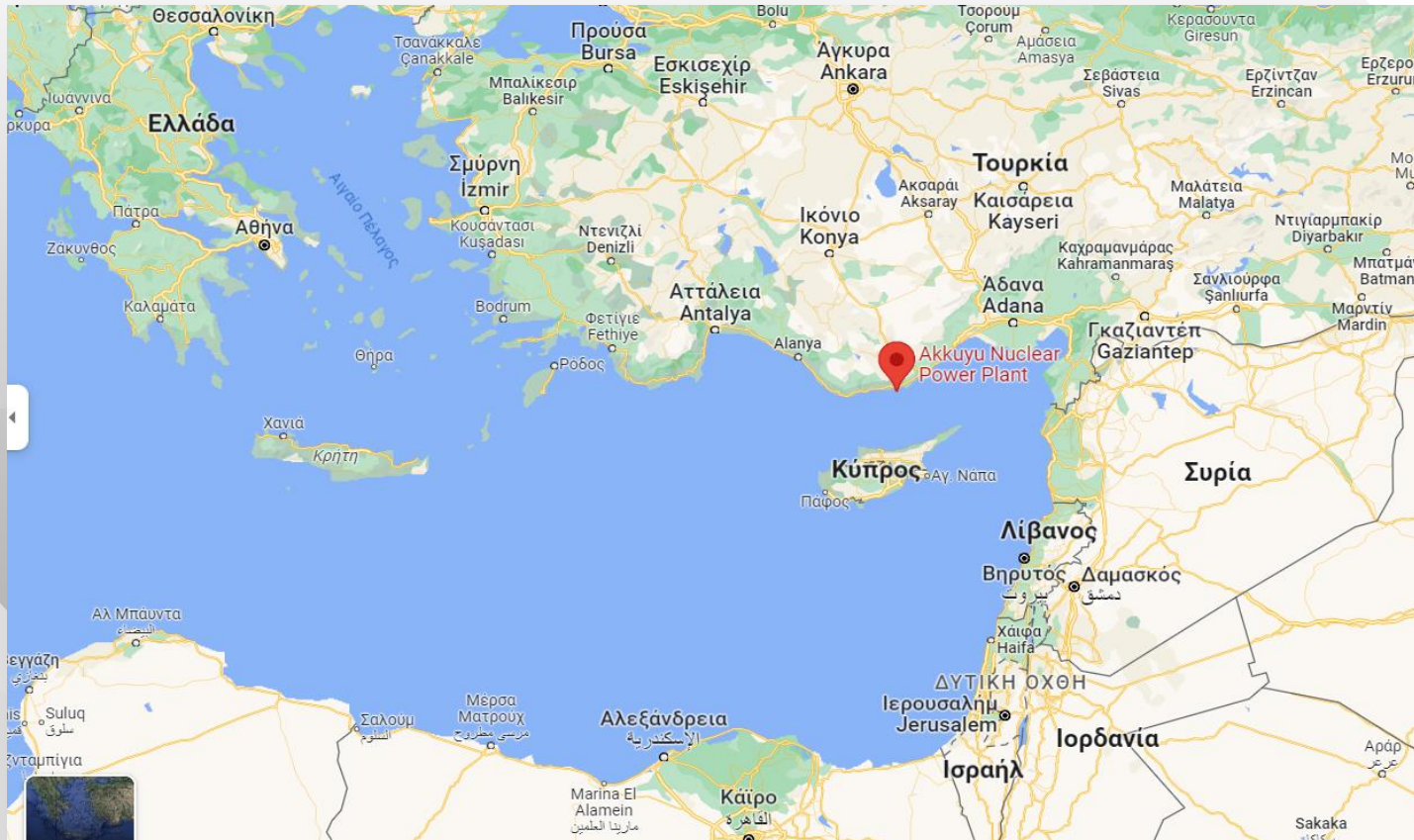
Όρος πηγής



Μετεωρολογικά δεδομένα

Εξεταζόμενη τοποθεσία

2



Πηγή: Google Maps

Πρότζεκτ Ακκούγιου (1)

- Στις 12 Μαΐου 2010 υπογράφηκε «Συμφωνία Συνεργασίας» από τις κυβερνήσεις της Ρώσικης Ομοσπονδίας και της Δημοκρατίας της Τουρκίας.
- Κατασκευή του πρώτου πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής στην Τουρκία.
- Τέσσερις μονάδες με αντιδραστήρες τύπου VVER-1200, συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 4800 MW
- Οι αντιδραστήρες στο Ακκούγιου μπορούν να θεωρηθούν αντιδραστήρες γενιάς III/III+, με προηγμένα συστήματα και χαρακτηριστικά ασφάλειας, τόσο παθητικά όσο και ενεργητικά.
- Αυτή τη στιγμή είναι το μεγαλύτερο έργο κατασκευής αντιδραστήρων στον κόσμο.

(Πηγή: Akkuyu.com)

Πηγή: Wikipedia.org



Πρότζεκτ Ακκούγιου (2)

- Όσον αφορά το συνολικό κόστος του έργου, αυτό ανέρχεται στα 20 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ.
- Στις 27 Απριλίου 2023 εγκαινιάστηκε ο πυρηνικός σταθμός Ακκούγιου. Ωστόσο, η λειτουργία του θα ξεκινήσει μέσα στο 2024.
- Ο σταθμός Ακκούγιου θα παράγει το 10% της ενέργειας της Τουρκίας, θα έχει 4 αντιδραστήρες και σύμφωνα με τον προγραμματισμό όλοι τους θα λειτουργούν μέχρι το 2028.

(Πηγές: Akkuyu.com, kathimerini.gr)

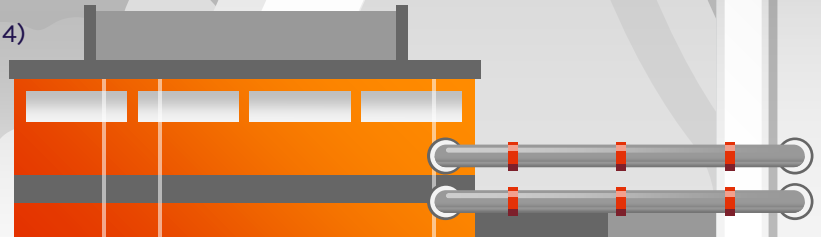
(Πηγή: <<http://www.akkuyu.com/photo-gallery>>)



Πλεονεκτήματα

- Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων καθώς αποτελούν κύρια πηγή αερίων του θερμοκηπίου
- Απαίτηση χαμηλού λειτουργικού κόστους ενός πυρηνικού εργοστασίου
- Ελάττωση τιμής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Βιώσιμη και συνεχής πηγή ενέργειας
- Υψηλό λειτουργικό προσδόκιμο ζωής (80+ χρόνια)

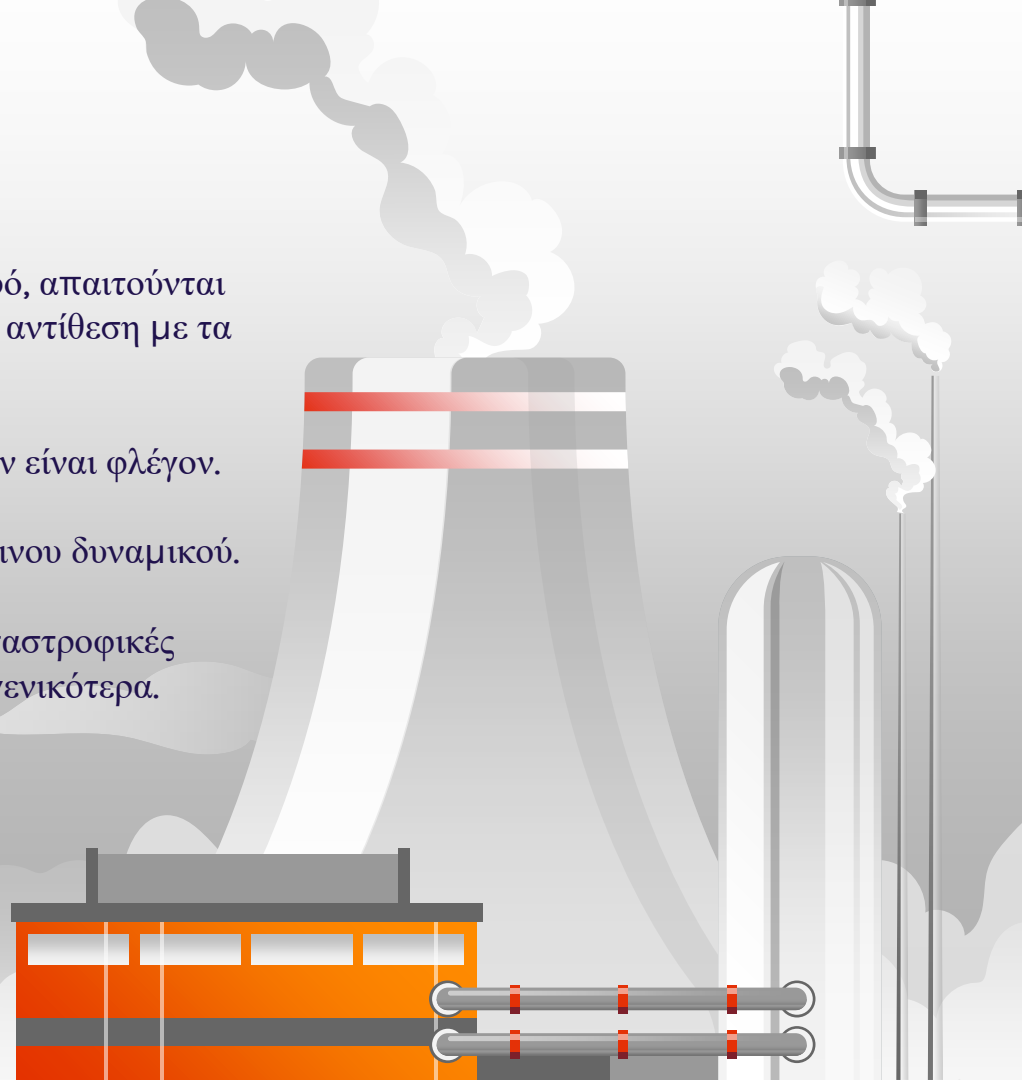
(Πηγές: E. Akyuz & Dr. Hanife Topal-Namli & Dr. Suat Sean Namli, 2014)



Μειονεκτήματα

- Αν και το λειτουργικό κόστος μπορεί να είναι μικρό, απαιτούνται τεράστια χρηματικά ποσά ως αρχική επένδυση, σε αντίθεση με τα συμβατικά εργοστάσια.
- Το ζήτημα της διαχείρισης των τοξικών αποβλήτων είναι φλέγον.
- Ανεπάρκεια έμπειρου και εκπαιδευμένου ανθρώπινου δυναμικού.
- Οι συνέπειες ενός ατυχήματος μπορεί να είναι καταστροφικές τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον γενικότερα.
- Το εργοστάσιο στο Ακκούγιου βρίσκεται κοντά σε μία ενεργή μεσογειακή σεισμική ζώνη.

(Πηγές: E. Akyuz & Dr. Hanife Topal-Namli
& Dr. Suat Sean Namli, 2014)

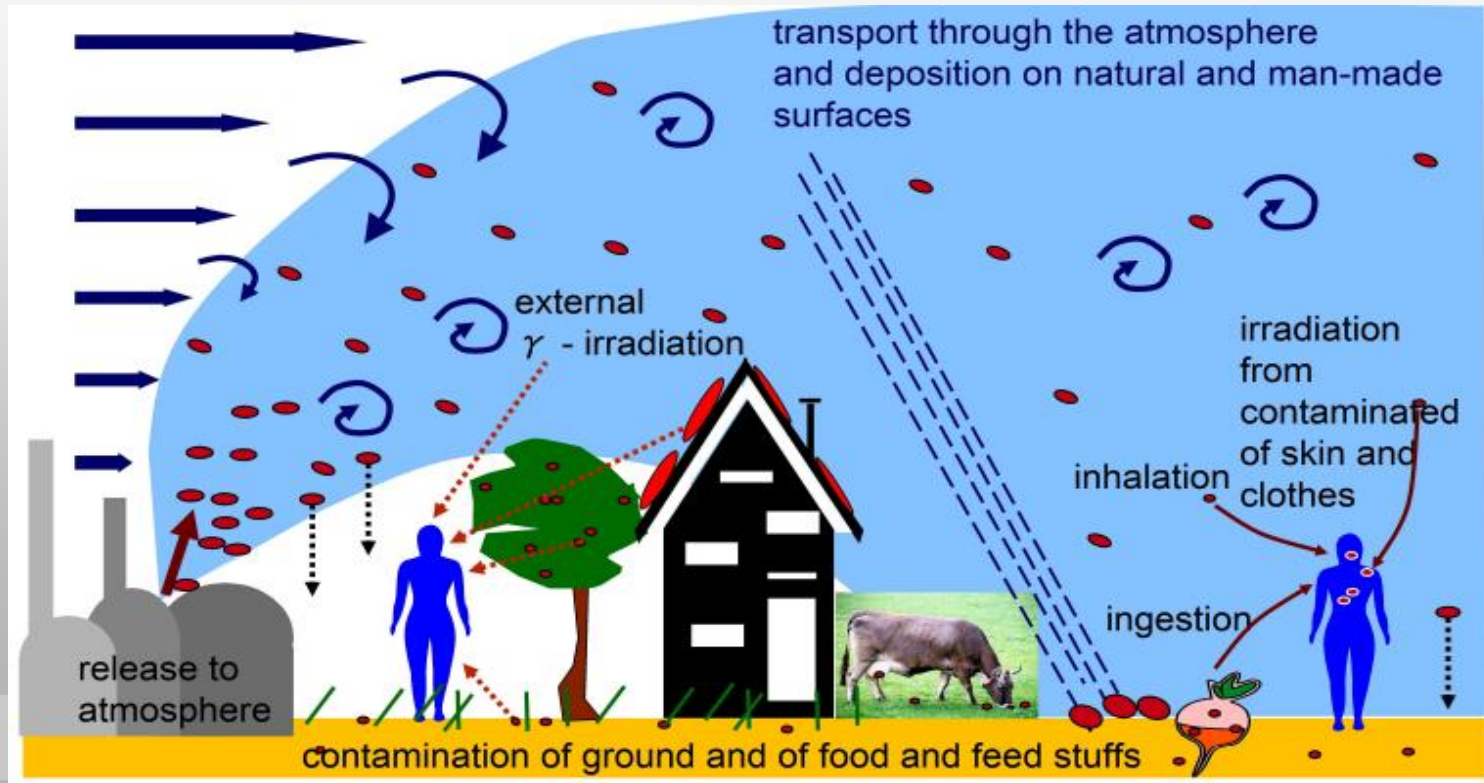


The background features a stylized industrial scene. On the left, two white smokestacks with red horizontal bands emit thick white smoke that drifts across the top of the frame. In the bottom right corner, there is a red and orange industrial building with a window and a tall silver pipe. The overall color palette is muted, with greys and whites dominating the background.

3

Μοντελοποίηση και δεδομένα

Οδοί έκθεσης πληθυσμού



Όρος πηγής

- Κλάσμα έκλυσης 10% μικρότερο του αντίστοιχου του ΔΟΑΕ

Ραδιονουκλίδιο <small>[IAEA 2017]</small>	Απόθεμα ενεργότητας σε τυπικό αντιδραστήρα (Bq) για LWR 3000Mwth <small>[IAEA 2017]</small>	KNPP (×1.2)	Κλάσματα έκλυσης	Συνολική έκλυση σε 10 ώρες (Bq)
Rb-86	9.60E+14	1.15E+15	0.01	1.15E+13
Sr-89	3.50E+18	4.20E+18	0.002	8.40E+15
Sr-90+	1.40E+17	1.68E+17	0.002	3.36E+14
Sr-91	4.10E+18	4.92E+18	0.002	9.84E+15
Y-91	4.40E+18	5.28E+18	0.0001	5.28E+14
Zr-95+	5.60E+18	6.72E+18	0.0001	6.72E+14
Zr-97+	5.60E+18	6.72E+18	0.0001	6.72E+14
Mo-99+	5.90E+18	7.08E+18	0.0001	7.08E+14
Ru-103+	4.10E+18	4.92E+18	0.0001	4.92E+14
Ru-105	2.70E+18	3.24E+18	0.0001	3.24E+14
Ru-106+	9.30E+17	1.12E+18	0.0001	1.12E+14
Rh-105	1.80E+18	2.16E+18	0.0001	2.16E+14
Te-127m+	4.10E+16	4.92E+16	0.005	2.46E+14
Te-127	2.20E+17	2.64E+17	0.005	1.32E+15
Te-129m+	2.00E+17	2.40E+17	0.005	1.20E+15
Te-131m	4.80E+17	5.76E+17	0.005	2.88E+15
Te-132+	4.40E+18	5.28E+18	0.005	2.64E+16
I-131	3.20E+18	3.84E+18	0.01	3.84E+16
I-133	6.30E+18	7.56E+18	0.01	7.56E+16
I-134	7.00E+18	8.40E+18	0.01	8.40E+16
I-135	5.60E+18	6.72E+18	0.01	6.72E+16
Cs-134	2.80E+17	3.36E+17	0.01	3.36E+15
Cs-136	1.10E+17	1.32E+17	0.01	1.32E+15
Cs-137+	1.70E+17	2.04E+17	0.01	2.04E+15

Πίνακας: Απόθεμα ραδιονουκλιδίων στην καρδιά του αντιδραστήρα και όρος πηγής

Χρονικό πλαίσιο έκλυσης

- Η έκλυση θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα με σταθερό ρυθμό σε διάστημα 10 ωρών.
- Χρήση πραγματικών μετεωρολογικών δεδομένων επαν-ανάλυσης (re-analysis) διαθέσιμα από την αμερικανική «Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας» (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).
- Για την εκτίμηση της διακύμανσης των πιθανών επιπτώσεων πραγματοποιείται σειρά υπολογισμών, για διαδοχικές μέρες έκλυσης, θεωρώντας μία έκλυση κάθε ημέρα.
- Συνολικά η σειρά των υπολογισμών καλύπτει το πρώτο εξάμηνο του 2021. Επομένως, πραγματοποιούνται συνολικά 174 προσομοιώσεις, σε τυχαία ώρα έναρξης κάθε μέρα.
- Η κάθε προσομοίωση καλύπτει χρονικό διάστημα 120 ωρών από την έναρξη της έκλυσης
- Οι υπολογισμοί καλύπτουν περιοχή που εκτείνεται 800 km γύρω από τον σταθμό.

Riso Mesoscale PUFF Model (RIMPUFF)

- Υπολογισμός συγκεντρώσεων και δόσεων που προκύπτουν από τη διασπορά αερομεταφερόμενων στοιχείων
- Lagrange μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς
- Διαδοχική απελευθέρωση σε ένα καθορισμένο πλέγμα μεγάλου αριθμού υπο-τμημάτων της έκλυσης (puffs), κάθε ένα από τα οποία διασπείρεται ακολουθώντας κατανομή Gauss
- Διάχυση ή εναπόθεση τμημάτων βάσει μετεωρολογικών δεδομένων
- Υπολογισμός ύστερα από άθροιση της συνεισφοράς όλων των τμημάτων που βρίσκονται στο σημείο

(S. Thykier-Nielsen et al, 1999)

Διεθνή κριτήρια δόσης

Τα επίπεδα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία για την αξιολόγηση της έκθεσης, λαμβάνοντας υπόψη τα γενικά κριτήρια για χρήση σε έκτακτη ανάγκη του ΔΟΑΕ, παρουσιάζονται στον πίνακα (ΙΑΕΑ 2011α, 2011β, 2013, 2015).

Δοσιμετρικό μέγεθος	Επίπεδο δόσης
Ντετερμινιστικές επιπτώσεις	
Απορροφούμενη δόση στο έμβρυο	100 Gy
Απορροφούμενη δόση στον θυρεοειδή	10000 Gy
Στοχαστικές επιπτώσεις	
Ενεργός δόση	20-100 mSv
Ισοδύναμη δόση στο έμβρυο	20-100 mSV
Ισοδύναμη δόση στον θυρεοειδή	50 mSv

Πίνακας: Κριτήρια δόσης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία

4

Μεθοδολογία



Υπολογισμοί ατμοσφαιρικής διασποράς και έκθεσης (JRodos: Statistic Output Tool)

Εισαγωγή δεδομένων

- Εικονική προσομοίωση της ατμοσφαιρικής διασποράς και έκθεσης (αρχείο εισόδου «XML file»)
- Γεωγραφικές συντεταγμένες
- Όρος πηγής
- Μελετώμενες ημερομηνίες (1-24/06/2021)
- Διάρκεια έκλυσης (10h)
- Διάρκεια πρόγνωσης (120h)
- Μετεωρολογικά δεδομένα
- Χρονικό βήμα μελέτης (1h)
- Δημιουργία 1 φακέλου/είδος δόσης

Αυτόματη
εκτέλεση σειράς
174
προσομοιώσεων



Εξαγωγή αποτελεσμάτων

- Υπολογισμός τιμών (πχ. συγκεντρώσεις ανά νουκλίδιο, δόσεις)
- 174 αρχεία/φάκελο το καθένα με ένα πίνακα :

8056 σειρές (κελιά χωρικού πλέγματος) × 121 στήλες (κελί + ώρες διάρκειας πρόγνωσης)

Υπολογιστικό κόστος

- Σε κάθε περίπτωση το **JRodos** χρειάζεται να τρέξει περίπου **4-5** ημέρες!
- Ο όγκος των μετεωρολογικών δεδομένων για το εξάμηνο είναι της τάξης των **264 GB!**

Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων (Matlab R2019b)

Εισαγωγή δεδομένων

- Σύνολο αρχείων από τον φάκελο του εκάστοτε μεγέθους
- 1 αρχείο txt/ μελετώμενη δόση για μετέπειτα αποθήκευση των αποτελεσμάτων

Στατιστική
επεξεργασία



Μελέτη
αθροιστικής
δόσης

Εξαγωγή αποτελεσμάτων

- Υπολογισμός της μέγιστης και της μέσης τιμής κάθε είδους μελετώμενης δόσης ή συγκέντρωσης ενεργότητας, για κάθε σημείο του πλέγματος
- Τελικός πίνακας της μορφής:

8057 σειρές (τίτλοι στηλών + σημεία) × 4 στήλες (αρίθμηση σημείου πλέγματος, τετμημένη, τεταγμένη, τιμή δόσης)
- Αποθήκευση πίνακα σε txt αντιστοίχως

Δημιουργία χαρτών QGIS 3.28 Firenze (1)

- Effective_Dose_1Y_Max.csv
- Effective_Dose_1Y_Mean.csv
- Effective_Dose_Adults_Max.csv
- Effective_Dose_Adults_Mean.csv
- Ground_Contamination_Drywet_Max.csv
- Ground_Contamination_Drywet_Mean.csv
- Ground_Effective_Max.csv
- Ground_Effective_Mean.csv
- Inhalation_Dose_Effective_Max.csv
- Inhalation_Dose_Effective_Mean.csv
- Total_Potential_Effective_Max.csv
- Total_Potential_Effective_Mean.csv
- Total_Potential_Thyroid_Max.csv
- Total_Potential_Thyroid_Mean.csv

Data Source Manager — Delimited Text

File name: C:\ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΩΡΓΟΥ\ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ\ΙΑΕΑ\CSVs\Effective_Dose_1Y_Max.csv

Layer name: Effective_Dose_1Y_Max Encoding: UTF-8

File Format

- CSV (comma separated values)
- Regular expression delimiter
- Custom delimiters

Record and Fields Options

Number of header lines to discard: 0

- First record has field names
- Detect field types
- Decimal separator is comma
- Trim fields
- Discard empty fields

Custom boolean literals

True: False:

Geometry Definition

- Point coordinates X field: X Z field:
- Well known text (WKT) Y field: Y M field:
- DMS coordinates
- No geometry (attribute only table) Geometry CRS: EPSG:32636 - WGS 84 / UTM zone 36N

Layer Settings

Sample Data

	Cell	X	Y	Value
	123 Integer (32 bit)	1.2 Decimal (double)	1.2 Decimal (double)	1.2 Decimal (double)
1	0	529670.5	3981056	0.64858
2	1	531670.5	3981056	0.71081

Close Add Help

Σύστημα
γεω-αναφοράς!

Δημιουργία χαρτών

QGIS 3.28 Firenze (2)

QGIS Generate Contours

Parameters Log

Input point layer
Effective_Dose_Adults_Max [EPSG:32636]

Selected features only

Value to contour
1.2 Value

Duplicate point tolerance [optional]
0.000000

Contour type
Filled contour polygons

Extend filled contour options [optional]
[Not selected]

Method used to calculate the contour levels
Logarithmic intervals

Number (or max number) of contours [optional]
20

Minimum contour level (omit to use data minimum) [optional]
Not set

Maximum contour level (omit to use data maximum) [optional]
Not set

Contour interval [optional]
1.000000

User selected contour levels [optional]

0%

Advanced Run as Batch Process... Run Close Help

Generate Contours

The Generate Contours algorithm creates a layer of contour lines, filled contour polygons, or contour layer polygons representing contours of data values at a set of data points. The parameters are as follows:

Input point layer: The source of data points to contour

Value to contour: A field or expression defining the data value at each point

Duplicate point tolerance: If greater than zero then where points are closer than this to each other only one of the points will be used

Contour type: The type of layer to create. Can be contour lines, filled contour polygons each representing the area where the data lies between two contour levels, or layer polygons representing the area where the data is greater than the contour level

Filled contour options: If creating filled contours then select whether to create polygons where the data is less than the minimum contour level and/or greater than the maximum contour level

Method used to calculate the contour levels: The contour levels can be calculated from the data values using one of a number of possible algorithms. Options are:

- * N equal intervals: the range from the minimum to the maximum data value is

QGIS Layer Properties — Effective_Dose_Adults_Max — Symbology

Graduated

Value: 1.2 Value_max

Symbol

Legend format: %1 - %2 Precision 4 Trim

Color ramp

Classes Histogram

Symbol	Values	Legend
<input type="checkbox"/>	0.001000 - 0.010000	$10^{-3} - 10^{-2}$
<input checked="" type="checkbox"/>	0.010000 - 0.100000	$10^{-2} - 10^{-1}$
<input checked="" type="checkbox"/>	0.100000 - 1.000000	$10^{-1} - 10^0$
<input checked="" type="checkbox"/>	1.000000 - 10.000000	$10^0 - 10^1$
<input checked="" type="checkbox"/>	10.000000 - 100.000000	$10^1 - 10^2$
<input checked="" type="checkbox"/>	100.000000 - 10000.000000	$10^2 - 10^4$

Mode: Logarithmic Scale

Classes: 6

Handling of 0 or negative values: no handling (faster)

Classify Delete All

Advanced

Layer Rendering

Style

OK Cancel Apply Help

The background features a stylized industrial scene. On the left, there are two tall smokestacks with red and white horizontal stripes, emitting thick white smoke. In the foreground, a red and orange industrial building with a windowed section is visible. A grey fence runs across the bottom. On the right, there are large, billowing grey clouds and a set of grey pipes with black joints. The overall color palette is muted, with greys, whites, and a touch of red and orange.

5

Αποτελέσματα

Εκτίμηση στατιστικής διακύμανσης μοναδιαίας δόσης ανά νουκλίδιο

- Η ανάλυση αφορά στα δύο σημαντικότερα ραδιονουκλίδια, δηλαδή I-131 και Cs-137.
- Δόση ανά TBq I-131 και Cs-137

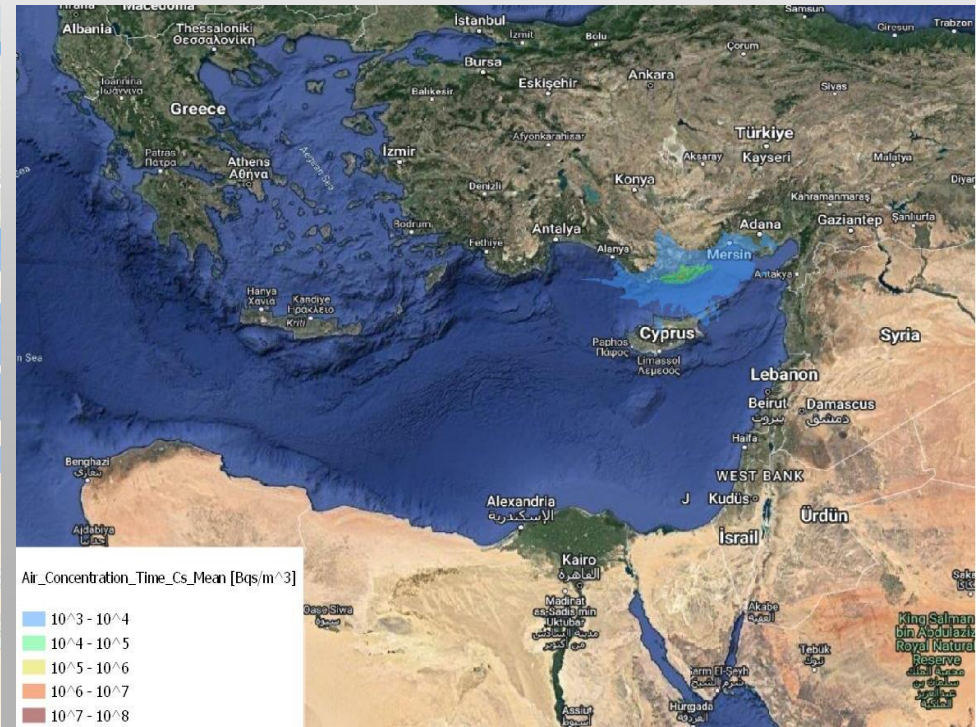
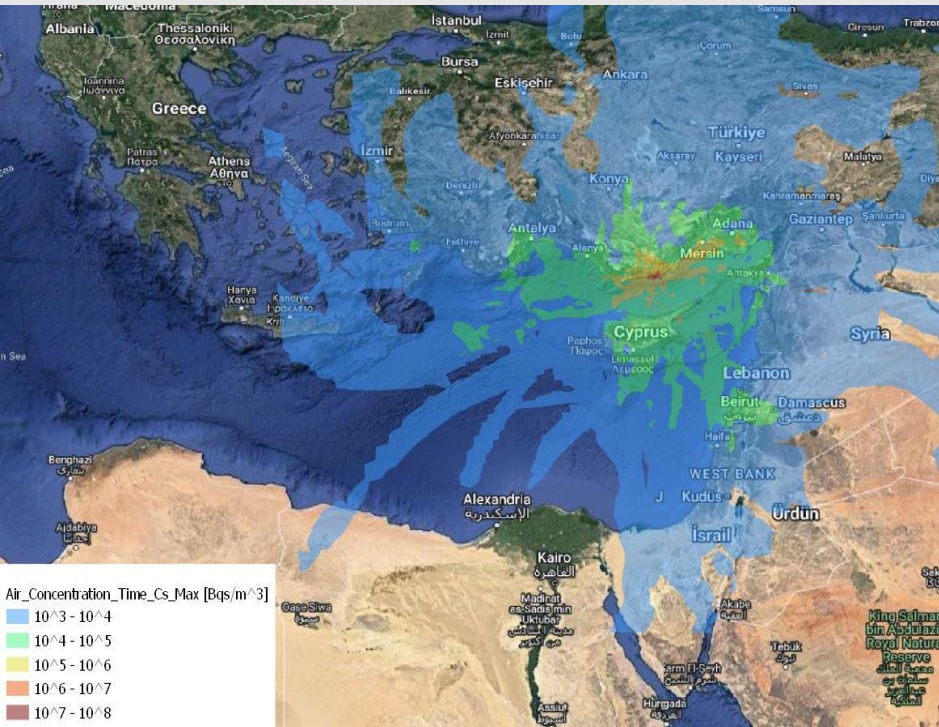
Τα μελετώμενα μεγέθη είναι τα εξής:

- Συγκέντρωση καισίου και ιωδίου στον αέρα
- Συγκέντρωση καισίου και ιωδίου στο έδαφος (υγρή και ξηρή εναπόθεση)
- Ενεργός δόση στο έδαφος ανά ώρα λόγω καισίου και ιωδίου
- Ολική δυνητική δόση λόγω καισίου και ιωδίου
- Ολική δυνητική δόση στον θυρεοειδή

Χάρτες μέγιστης και μέσης (ολοκληρωμένης στον χρόνο) συγκέντρωσης καισίου

Κύπρος: $10^4 - 10^5$ Bqs/m³

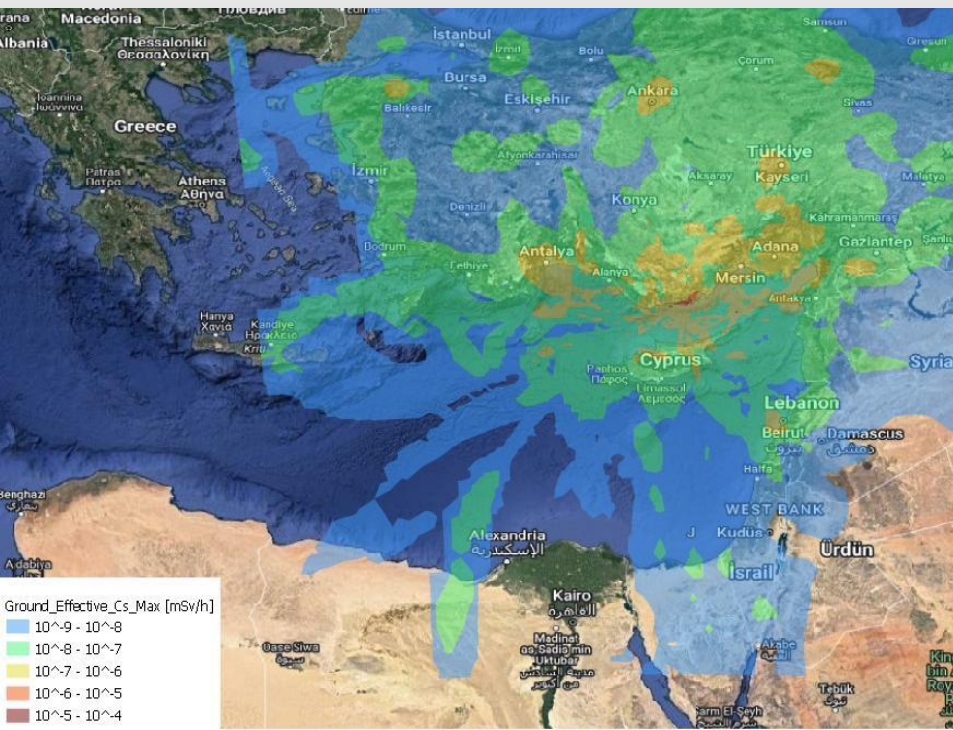
Ελλάδα: $10^3 - 10^4$ Bqs/m³



Χάρτες μέγιστης και μέσης ενεργού δόσης στο έδαφος ανά ώρα λόγω καισίου

Κύπρος: 10^{-7} – 10^{-6} mSv/h

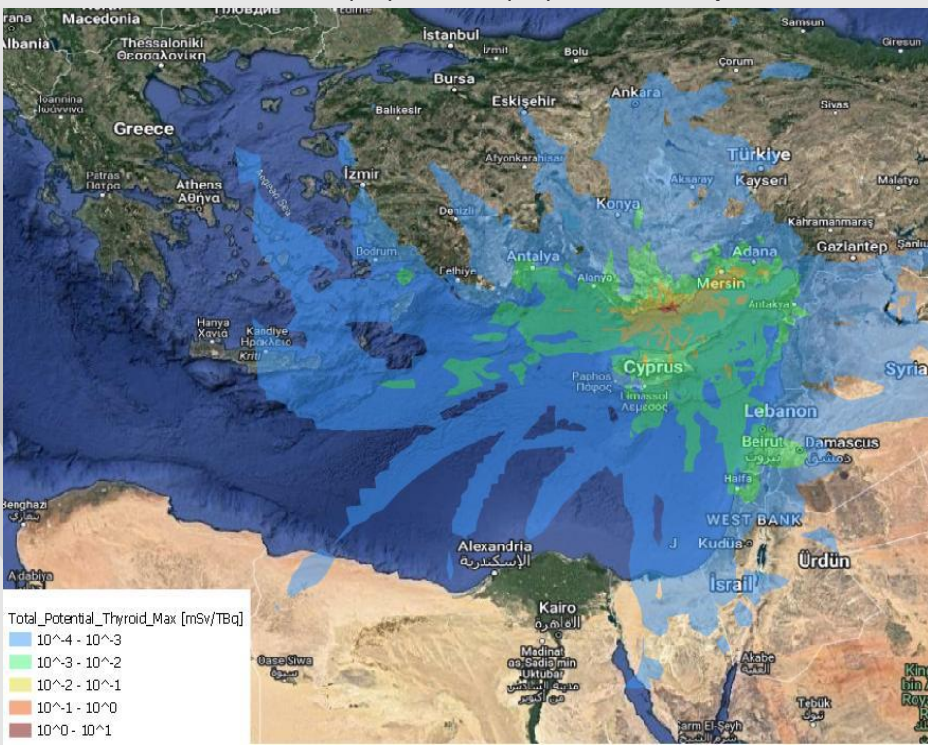
Ελλάδα: 10^{-8} – 10^{-7} mSv/h



Χάρτες μέγιστης και μέσης ολικής δυσνητικής δόσης ανά ΤΒq στον θυρεοειδή

Κύπρος: 10^{-2} – 10^{-1} mSv/TBq

Ελλάδα: 10^{-4} – 10^{-3} mSv/TBq



Εκτίμηση ραδιολογικών επιπτώσεων λόγω υποθετικού όρου πηγής

Ο όρος πηγής είναι 10 φορές χαμηλότερος σε σύγκριση με αυτόν του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας - ΔΟΑΕ (International Atomic Energy Agency, IAEA) για τυπικούς αντιδραστήρες.

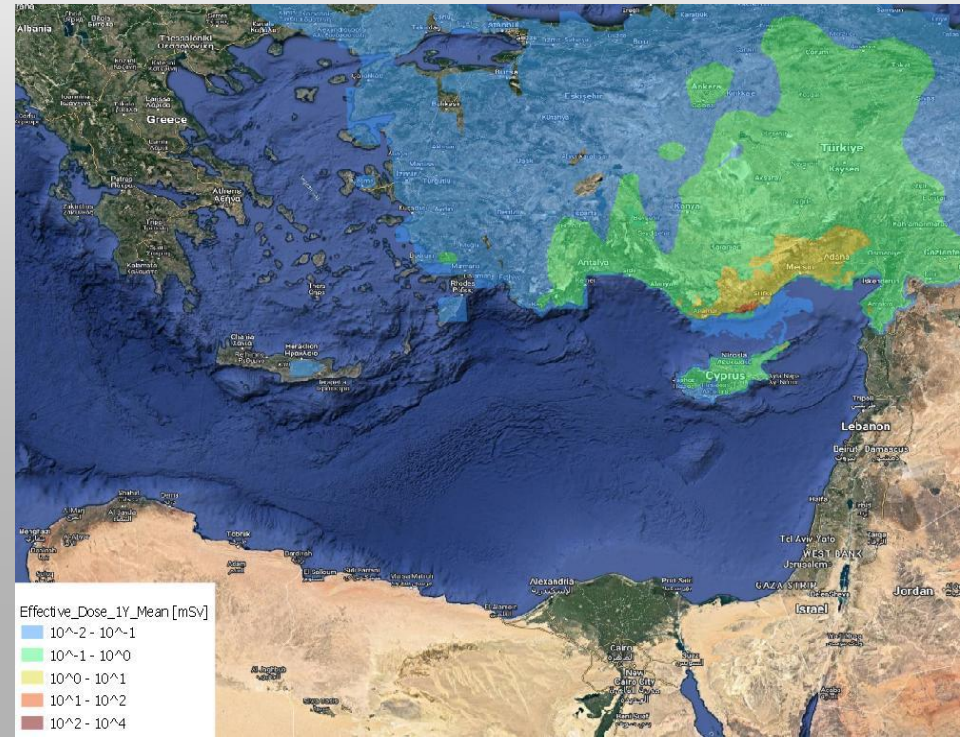
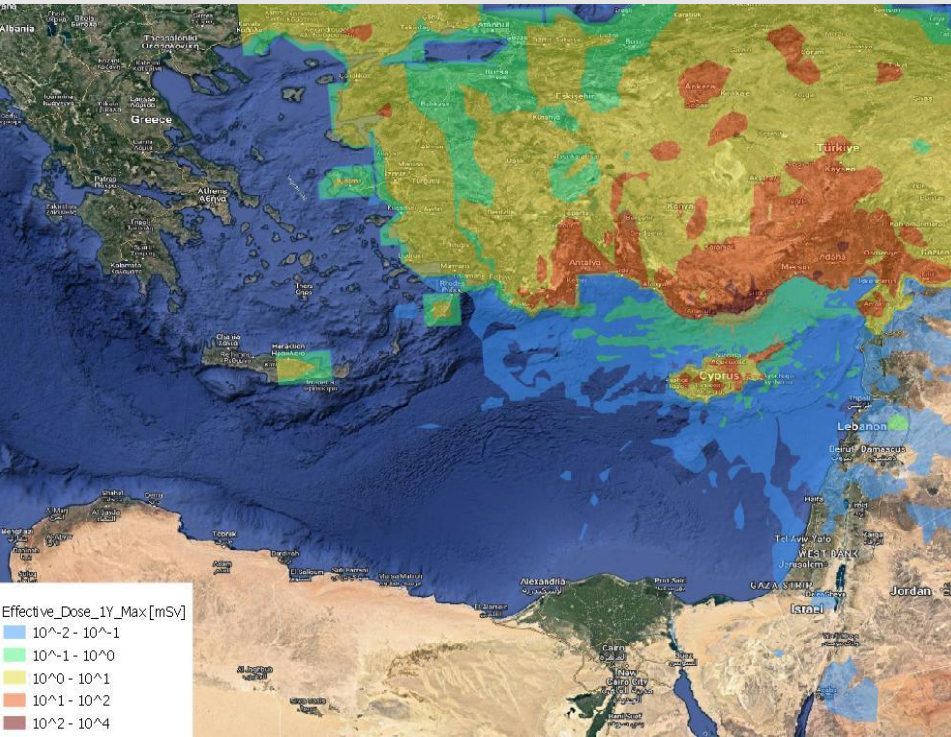
Τα μελετώμενα μεγέθη είναι τα εξής:

- Αθροιστική ενεργός δόση από όλα τα νουκλίδια σε 1 έτους παιδιά σε 1 έτος
- Αθροιστική ενεργός δόση από όλα τα νουκλίδια σε ενήλικες σε 1 έτος
- Συγκέντρωση στο έδαφος (υγρή και ξηρή εναπόθεση)
- Ενεργός δόση ανά ώρα
- Ενεργός δόση λόγω εισπνοής
- Ολική δυνητική ενεργός δόση
- Ολική δυνητική δόση στον θυρεοειδή

Χάρτες μέγιστης και μέσης αθροιστικής ενεργού δόσης από όλα τα νουκλίδια σε 1 έτους παιδιά μέσα σε 1 έτος

Κύπρος: $10^1 - 10^2$ mSv

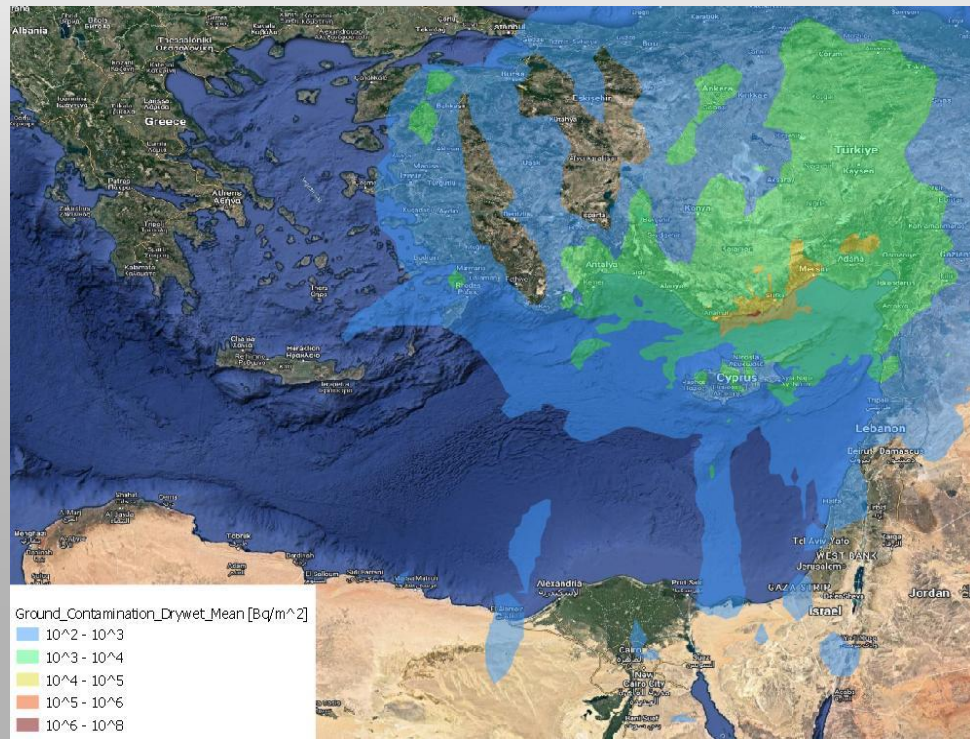
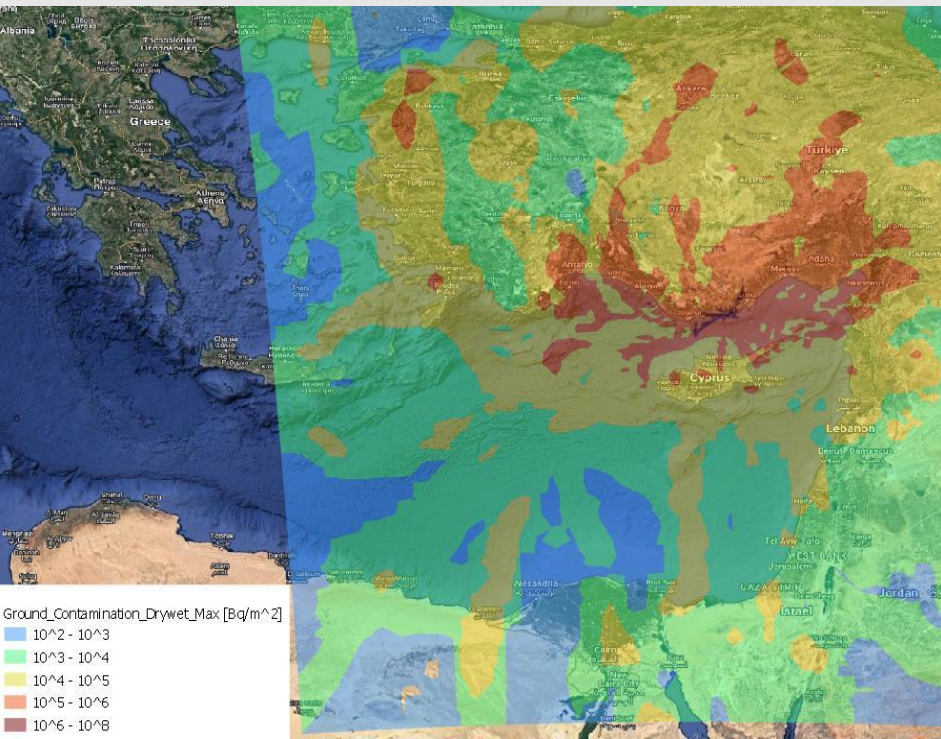
Ελλάδα: $10^0 - 10^1$ mSv



Χάρτες μέγιστης και μέσης συγκέντρωσης στο έδαφος (υγρή και ξηρή εναπόθεση)

Κύπρος: $10^5 - 10^6$ Bq/m²

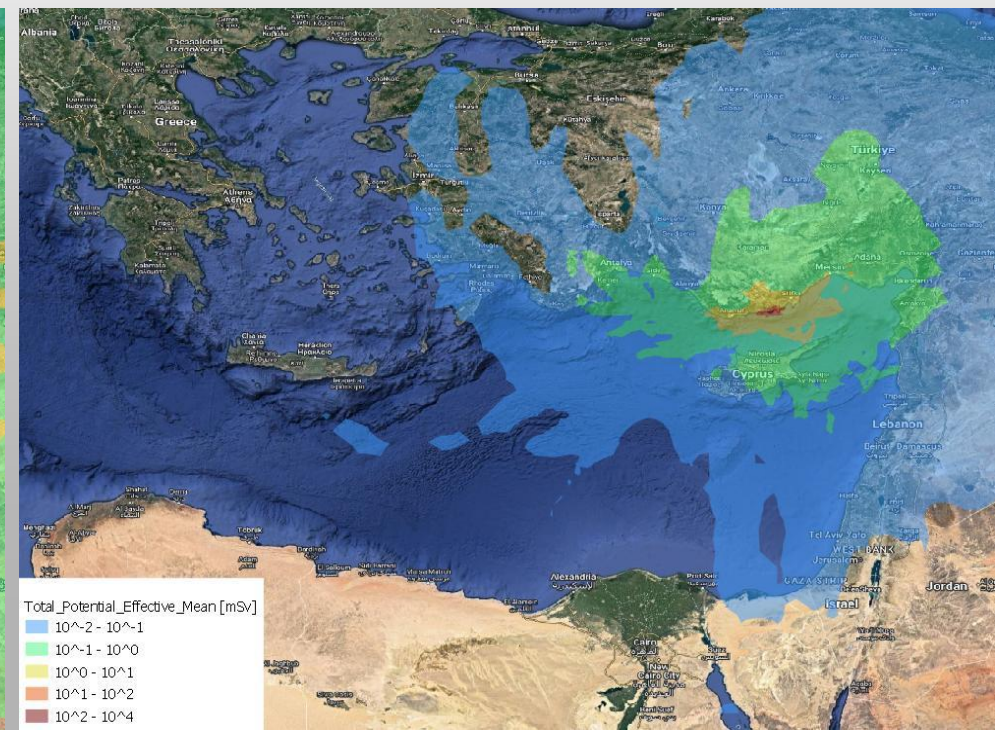
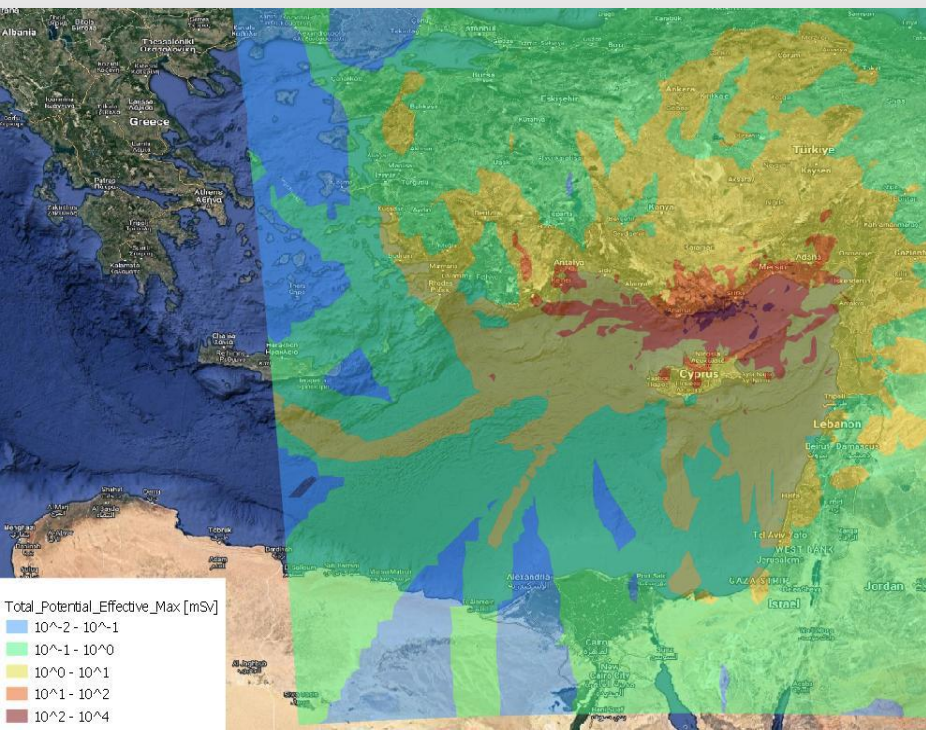
Ελλάδα: $10^4 - 10^5$ Bq/m²



Χάρτες μέγιστης και μέσης ολικής δυσνητικής ενεργού δόσης

Κύπρος: $10^1 - 10^2$ mSv

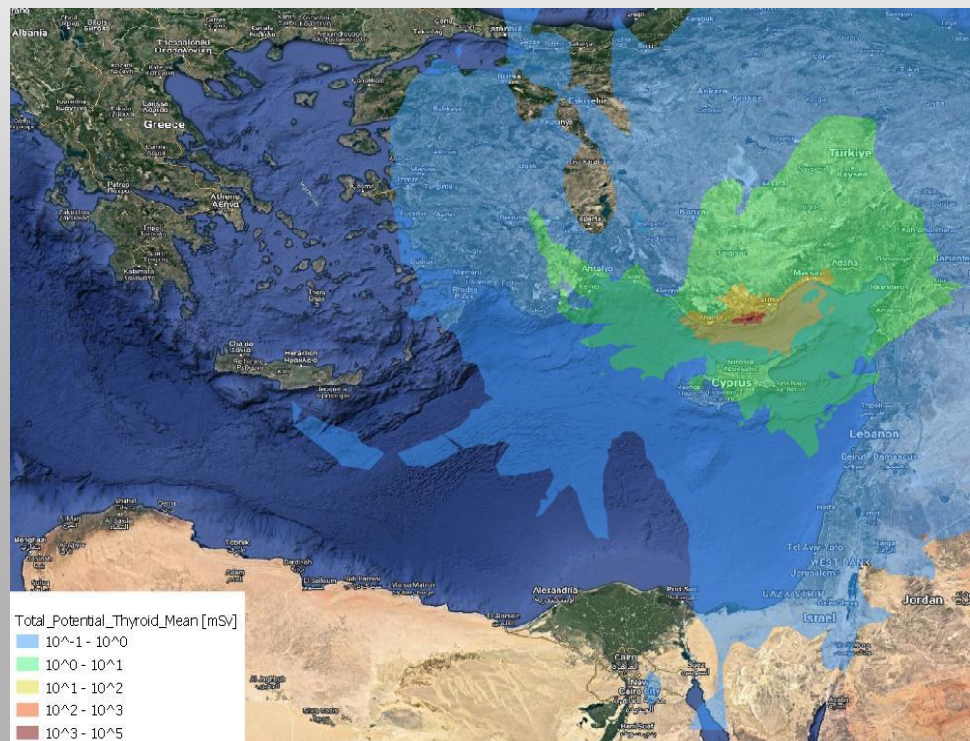
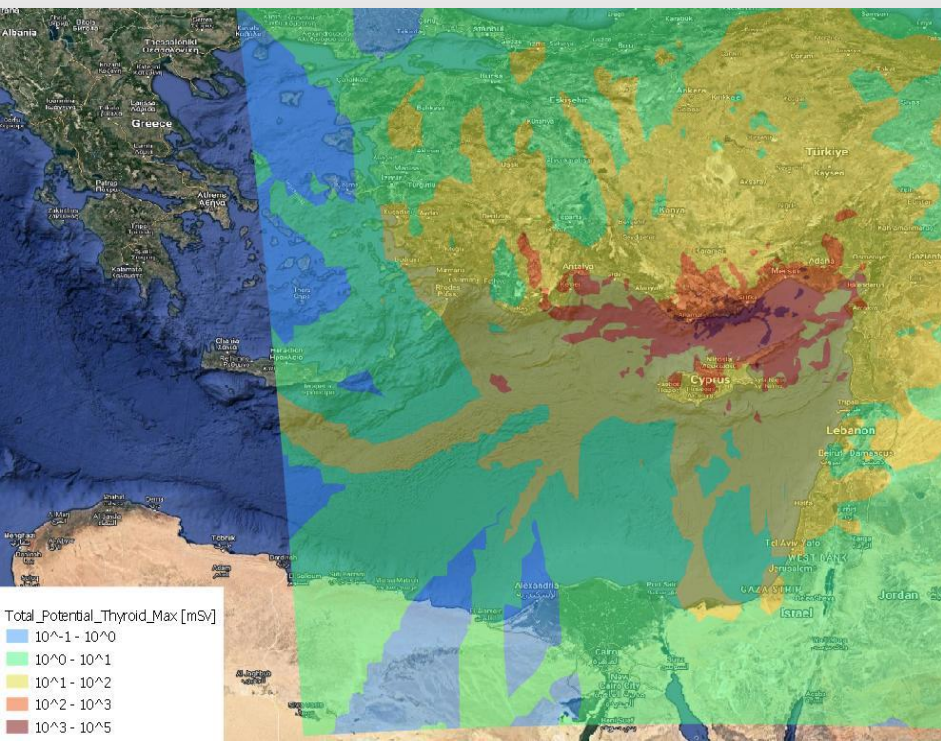
Ελλάδα: $10^0 - 10^1$ mSv



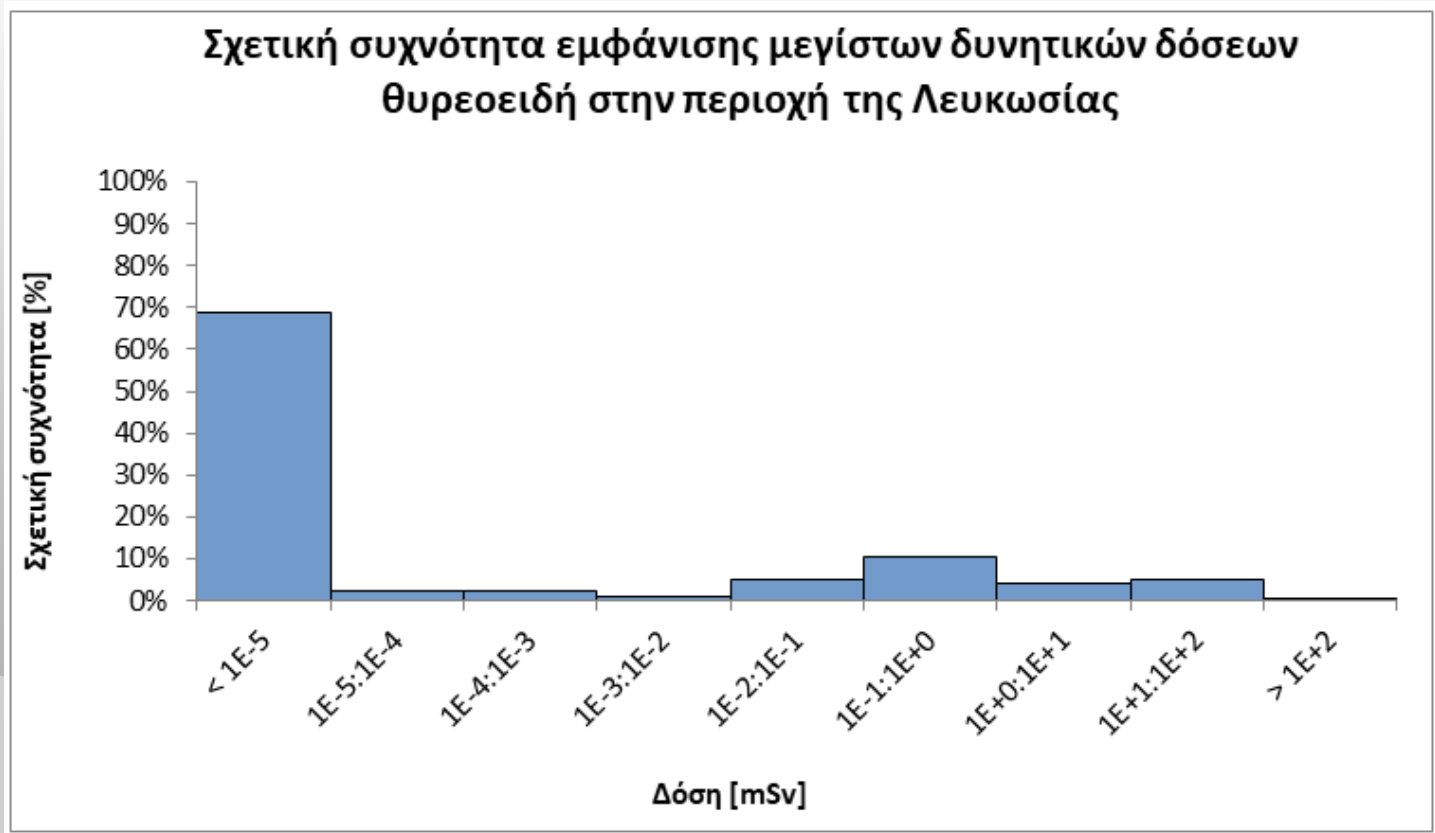
Χάρτες μέγιστης και μέσης ολικής δυσνητικής δόσης στον θυρεοειδή

Κύπρος: $10^2 - 10^3$ mSv

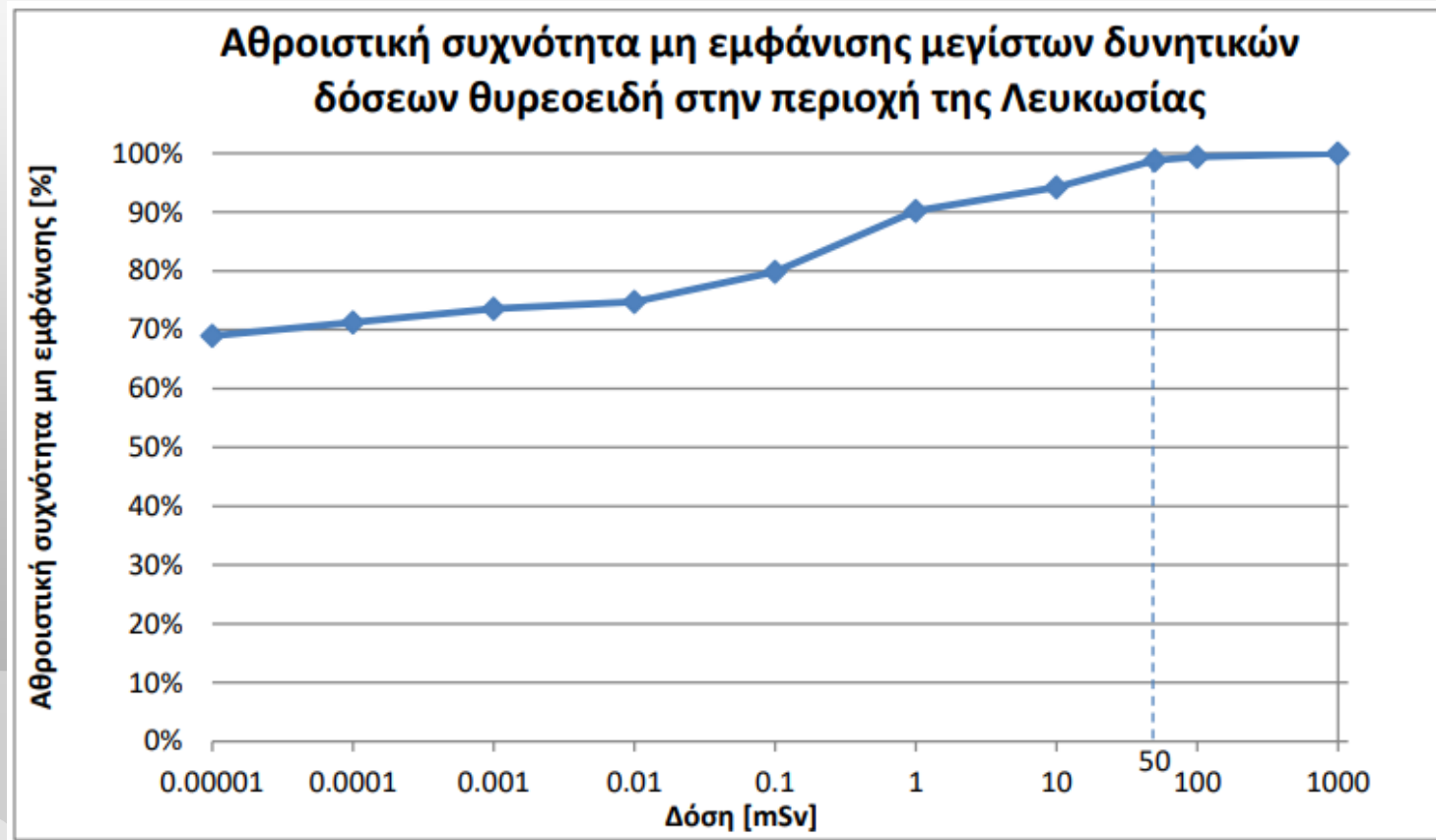
Ελλάδα: $10^1 - 10^2$ mSv



Πιθανότητα υπέρβασης κριτηρίων



Πιθανότητα ΜΗ υπέρβασης κριτηρίων



The background features a stylized industrial scene. On the left, two white smokestacks with red horizontal bands emit thick white smoke that drifts across the top. On the right, a red and orange industrial building with a windowed section is visible, with a tall silver pipe extending upwards. The overall color palette is muted, with greys and whites dominating the background, and red and orange providing accents for the industrial elements.

6

Συμπεράσματα

- Οι **μέγιστες** δόσεις εμφανίζονται συνήθως σε μία ακτίνα περίπου 2 χιλιομέτρων γύρω από τον πυρηνικό σταθμό. Πρόκειται για **μέγιστες** δόσεις που κυμαίνονται ενδεικτικά γύρω στα 10^4 mSv, ξεπερνώντας αισθητά το μέγιστο επίπεδο αναφοράς των 100 mSv και φτάνοντας σε ντετερμινιστικές επιπτώσεις.
- Ωστόσο, και ειδικά για μεγαλύτερες αποστάσεις, οι χάρτες παρουσιάζουν εξαιρετικά πολύπλοκη και μεταβαλλόμενη εικόνα των ραδιολογικών επιπτώσεων. Η ακτίνα, μέσα στην οποία οι **μέγιστες** μελετώμενες δόσεις ξεπερνούν το επίπεδο αναφοράς των 100 mSv μπορεί να μεταβάλλεται πολύ ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, ενώ η απόσταση δεν είναι απαραίτητα η σημαντικότερη παράμετρος.
- Σχετικά με τις **μέσες** μελετώμενες δόσεις, αυτές φαίνεται ότι δεν υπερβαίνουν το μέγιστο επίπεδο αναφοράς των 100 mSv σε ακτίνες μεγαλύτερες από 4 χιλιόμετρα. Εξαίρεση αποτελεί η **μέση** δόση στον θυρεοειδή η οποία ενδέχεται να ξεπεράσει το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς των 50 mSv ακόμα και σε ακτίνα 40 χιλιομέτρων.

- Σχετικά με την ολική δυνητική δόση στον θυρεοειδή, παρατηρούνται υψηλά επίπεδα μέγιστης δόσης σε μεγάλο τμήμα της μελετώμενης περιοχής. Συγκεκριμένα σε πολλές περιοχές της τάξης των 300 χιλιομέτρων από τον σταθμό, οι **μέγιστες** δόσεις ξεπερνούν το επίπεδο δόσης των 50 mSv.
- Όσον αφορά τη **μέγιστη** συγκέντρωση στο έδαφος, φαίνεται ότι μπορεί να ξεπεράσει το επίπεδο των 37 kBq/m² σε περιοχές που ξεπερνούν τα 300 χιλιόμετρα από το Ακκούγιου. Αντιστοίχως, η **μέση** συγκέντρωση ξεπερνά το επίπεδο αναφοράς σε ακτίνα 30 χιλιομέτρων, αλλά ενδέχεται να συμβεί το ίδιο ακόμα και σε περιοχή 60 χιλιομέτρων.
- Επιπλέον εκτιμήθηκε με χωριστές προσομοιώσεις η δόση ανά μοναδιαία τιμή έκλυσης για τα δύο κυριότερα ραδιονουκλίδια, δηλαδή το I-131 και το Cs-137, οι οποίες μπορεί να δώσουν μια γρήγορη εκτίμηση των μέγιστων δόσεων.

- Όσον αφορά την Κύπρο, φαίνεται ότι στις περισσότερες μελετώμενες περιπτώσεις δεν ξεπερνώνονται τα ανώτατα επίπεδα αναφοράς για την ενεργό δόση. Η **μέγιστη** δόση στον θυρεοειδή φάνηκε να ξεπερνά το επίπεδο αναφοράς των 50 mSv, φτάνοντας τα 245 mSv στην περιοχή της Λευκωσίας. Η **μέγιστη** συγκέντρωση στο έδαφος φτάνει τα 1.4×10^5 Bq/m² στην περιοχή της Λευκωσίας υπερβαίνοντας την τιμή των 37 kBq/m².
- Στην Ελλάδα, η οποία βρίσκεται πιο μακριά από το Ακκούγιου σε σχέση με την Κύπρο, δεν ξεπερνώνονται ούτε τα κατώτατα επίπεδα αναφοράς δόσεων και συγκεντρώσεων, ενώ οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στο Καστελόριζο και στην Ρόδο.
- Από την στατιστική ανάλυση και την εκτίμηση της πιθανότητας επιβεβαιώνεται το πολύ μεγάλο εύρος της πιθανής έκθεσης ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Σας ευχαριστώ!

CREDITS: This presentation template was created by **Slidesgo**, including icons by **Flaticon**, and infographics & images by **Freepik**

