



D3.2

GIS hazard layer dataset

Δεδομένα επικινδυνότητας σε επίπεδα GIS

Project name

TwinCity: Climate-Aware Risk and Resilience Assessment of Urban Areas under Multiple Environmental Stressors via Multi-Tiered Digital City Twinning.

Hellenic Foundation for Research and Innovation (H.F.R.I.) | Grant Agreement 2515
2nd Call for H.F.R.I. Research Projects to support Faculty Members & Researchers

Dissemination level	Public (PU) - Fully open
Type of deliverable	DEM - Demonstrator, pilot, prototype
Work package	WP3 – Natural hazard modeling & assessment
Deliverable number	D3.2 GIS hazard layer dataset
Status - version, date	Final – V1.0
Deliverable leader	E. Karaferi
Contractual date of delivery	31/07/2023

Ποιοτικός έλεγχος

	Name	Organisation	Date
Peer review 1	Δ. Βαμβάτσικος	ΕΜΠ	15/04/2023
Peer review 2	Β. Μελισσιανός	ΕΜΠ	12/05/2023

Ιστορικό παραδοτέου

Version	Date	Author	Summary of changes
01	18/03/2023	Ε. Καραφέρη	Πρώτο προσχέδιο εγγράφου
02	12/06/2023	Ε. Καραφέρη	Τελική έκδοση (V1.0) εγγράφου

Νομική διακήρυξη

Η παρούσα εργασία είναι χρηματοδοτούμενη από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ, Grant Agreement 2515). Οι απόψεις και οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο δεν αντικατοπτρίζουν τις απόψεις του ΕΛΙΔΕΚ και εκφράζουν μόνο τους συγγραφείς. Το ΕΛΙΔΕΚ δεν φέρει καμία νομική ή άλλη ευθύνη για τα περιεχόμενα του παρόντος εγγράφου. Οι πληροφορίες σε αυτό το έγγραφο παρέχονται "ως έχουν", και η ερμηνεία τους επαφίεται στον αναγνώστη. Οι συμπράττοντες τω έργω δεν φέρουν καμία ευθύνη για ζημίες οποιουδήποτε είδους, συμπεριλαμβανομένων έμμεσων ή άλλων ζημιών που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση του υλικού που παρουσιάζεται.

Copyright © TwinCity Consortium, 2023.

Περιεχόμενα

Ποιοτικός έλεγχος	2
Ιστορικό παραδοτέου.....	2
Νομική διακήρυξη.....	2
Κατάλογος σχημάτων.....	4
Κατάλογος πινάκων	5
Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων	5
Σύνοψη	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Σκοπός του παραδοτέου	7
1.2 Στοχευόμενο κοινό	7
2 Εκτίμηση διακινδύνευσης για την πόλη της Ρόδου	8
2.1 Εισαγωγή	8
2.2 Σεισμικός Κίνδυνος.....	8
2.3 Καιρικός κίνδυνος	14
3 Συμπεράσματα	16
4 Ευχαριστίες.....	16
5 Βιβλιογραφία	17

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1. Πεδίο εδαφικής κίνησης για τυχαίο σεισμικό συμβάν.....	13
Σχήμα 2. Χάρτης επικινδυνότητας για $S_a(1.0)$ και πιθανότητα 0.002105.	14
Σχήμα 3. Θερμοκρασία στην περιοχή της Ρόδου στις 11/04/2054 σύμφωνα με τις Φρανκενστάιν ημέρες.....	16

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Δομή αρχείου hdf5 για σεισμό.	8
Πίνακας 2: Δομή αρχείου csv για χάρτες επικινδυνότητας.	12
Πίνακας 3: Δομή αρχείου csv για κτήρια υψηλής βαθμίδας.	15
Πίνακας 4: Δομή αρχείου pickle για την πόλη της Ρόδου.	15

Κατάλογος συντομογραφιών και ακρωνύμιων

Συντομογραφία	Ολογράφως
PSHA	Πιθανοτική ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας (Probabilistic Seismic Hazard Analysis)

Σύνοψη

Το παραδοτέο 3.2 “GIS hazard layer dataset” παρουσιάζει όλα τα αρχεία και την δομή αυτών που περιγράφουν την επικινδυνότητα στην πόλη της Ρόδου. Οι κίνδυνοι που έχουν υπολογιστεί και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τους είναι ο σεισμός και η κλιματική αλλαγή, υπό μορφή σεισμικών και καιρικών εντάσεων, αντιστοίχως.

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός του παραδοτέου

Σκοπός του παραδοτέου D3.2 με τίτλο “GIS hazard layer dataset” είναι παρουσίαση των αρχείων της διακινδύνευσης για την πόλη της Ρόδου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η δομή των αρχείων που παρέχονται στην ιστοσελίδα του προγράμματος. Τα αρχεία περιέχουν δεδομένα για σεισμικό και καιρικό κίνδυνο.

1.2 Στοχευόμενο κοινό

Το έγγραφο D3.2 είναι ένα δημόσιο έγγραφο και θα είναι προσβάσιμο από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, και συμμετέχοντες στο πρόγραμμα TwinCity. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για ερευνητές και υπηρεσίες που εμπλέκονται στην εκτίμηση διακινδύνευσης κατασκευών ή και ολόκληρων περιοχών. Οι μεθοδολογίες που παρουσιάζονται μπορούν μάλιστα να βοηθήσουν και σε τυχόν εκπαιδευτικούς σκοπούς που αφορούν σε νέους επιστήμονες που ενδιαφέρονται για τις εν λόγω θεματικές.

2 Εκτίμηση διακινδύνευσης για την πόλη της Ρόδου

2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο του TwinCity έχουν γίνει κατάλληλες αναλύσεις για τον προσδιορισμό των κινδύνων υπό των οποίων καταπονούνται οι κατασκευές και υποδομές της πόλης. Οι δύο κίνδυνοι υπό τους οποίους υπόκεινται είναι ο σεισμικός κίνδυνος και ο καιρικός. Τα δεδομένα που θα διατεθούν στην ιστοσελίδα του προγράμματος, για τον σεισμό είναι ένα hdf5¹ αρχείο και ένα csv² με τους χάρτες επικινδυνότητας και για το καιρό είναι csv αρχεία για τα εναλλακτικά κλιματικά μοντέλα και για σημαντικά κτήρια της πόλης της Ρόδου.

2.2 Σεισμικός Κίνδυνος

Η δημιουργία του αρχείου για την επικινδυνότητα σε σεισμό έγινε με την χρήση του OpenQuake (GEM, 2021) για μια πιθανοτική ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας (PSHA) βάσει διακριτών γεγονότων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο τύπου hdf5. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που περιγράφουν το πεδίο εδαφικής κίνησης. Περιλαμβάνει τη περιοχή μελέτης της πόλης και τα στοιχεία του ρήγματος με τα αντίστοιχα αποτελέσματα τους. Τα αποτελέσματα του σεισμού δίνονται για τα εντατικά μεγέθη: μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (peak ground acceleration: PGA) και φασματική επιτάχυνση (spectral acceleration: Sa) για ιδιοπεριόδους 0.5 και 1.0 sec. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει αναλυτικά όλα τα δεδομένα που περιέχονται στο αρχείο. Οι χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας δίνονται σε csv αρχείο και περιέχουν, εκτός των γεωγραφικών συντεταγμένων, τους σεισμούς με πιθανότητες 2% και 10% για 50 χρόνια για τα εντατικά μεγέθη που αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Ο Πίνακας 2 περιέχει τα στοιχεία του csv. Από το hdf5 αρχείο μπορούν για όλα τα συμβάντα της PSHA να οπτικοποιηθούν τα πεδία εδαφικής κίνησης για PGA, Sa(0.5), Sa(1.0), ενδεικτικά ένα συμβάν για Sa(1.0) φαίνεται στο Σχήμα 1. Επιπλέον, από το csv αρχείο των χαρτών επικινδυνότητας με τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη, φαίνεται ο χάρτης πάλι για το Sa(1.0) στο Σχήμα 2. Τα εντατικά μεγέθη δίνονται σε g (επιτάχυνση της βαρύτητας: 9.81 m/s²).

Πίνακας 1: Δομή αρχείου hdf5 για σεισμό.

HDF5	Περιγραφή		
events	Σεισμικό συμβάν	id	Κωδικός συμβάντος
		rup_id	Κωδικός ρήγματος
		rlz_id	Κωδικός πραγματοποίησης
		year	Χρόνια

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Hierarchical_Data_Format

² https://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values

		ses_id	Κωδικός σετ στοχαστικών συμβάντων				
full_lt	Λογικά Δέντρα	gsim_lt	Μοντέλο έντασης εδαφικής δόνησης (Ground shaking intensity model)				
		sm_data	Μοντέλο πηγής (Source model)				
		Source_model_lt	Λογικό δέντρο μοντέλου πηγής (Source model logic tree)				
gmf_data	Πεδίο εδαφικής κίνησης	Data	Δεδομένα				
		events_by_sid	Συμβάν ανά κωδικό τοποθεσίας				
		imts	Εντατικό μέγεθος				
		indices	Δείκτες				
		sigma_epsilon	σ-ε	eid	Κωδικός συμβάντος		
				rlz_id	Κωδικός πραγματοποίησης		
				sig_inter	σ	PGA	
						Sa(0.5)	
						Sa(1.0)	
				eps_inter	ε	PGA	
						Sa(0.5)	
						Sa(1.0)	
		time_by_rup	Χρόνος της διάρρηξης	rup_id	Κωδικός διάρρηξης		
				nsites	Πλήθος σημείων		
				time	Χρόνος		
				task_no	Αριθμός έργου		
grp_ids	Κωδικός ομάδας						
hcurves-stats	Καμπύλες επικινδυνότητας						
hmaps-stats	Χάρτες επικινδυνότητας						
input	Αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις (xml/csv)						

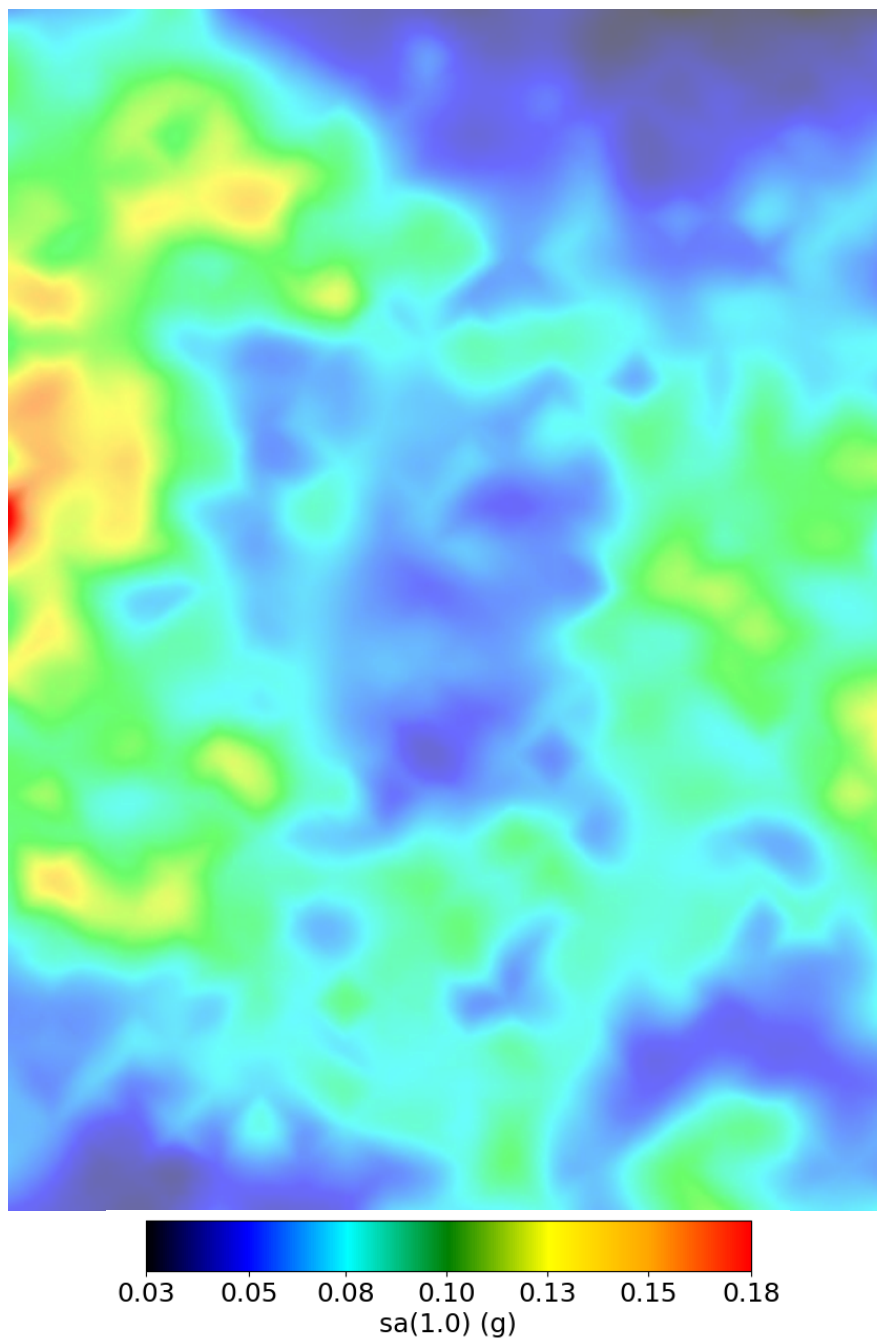
oqparam	Παράμετροι αναλύσεων		
performance_data	Χαρακτηριστικά εκτέλεσης της ανάλυσης		
rupgeoms	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διάρρηξης	lon	Γεωγραφικό μήκος
		lat	Γεωγραφικό πλάτος
		depth	Βάθος
ruptures	Χαρακτηριστικά ρήγματος	id	Κωδικός διάρρηξης
		serial	Σειριακός αριθμός διάρρηξης
		srcidx	Κωδικός πηγής
		grp_id	Κωδικός ομάδας
		code	Κώδικας
		n_occ	Πλήθος εμφανίσεων
		mag	Μέγεθος σεισμού
		rake	Κλίση ρήγματος
		occurrence_rate	Ρυθμός εμφάνισης
		minlon, minlat, maxlon, maxlat	Γεωγραφικά όρια διάρρηξης
		hypo	Υπόκεντρο διάρρηξης
		gidx1,gidx2	Γεωλογικός δείκτης (1: αρχή διάρρηξης, 2: τέλος διάρρηξης)
		sx,sy	Συνιστώσες του διανύσματος ολίσθησης
		e0,e1	Δείκτες του ρήγματος (1: αρχή ρήγματος, 2: τέλος ρήγματος)
site_model	Μοντέλο εδάφους	lat	Γεωγραφικό πλάτος
		lon	Γεωγραφικό μήκος
		vs30	Ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων
		z1pt0	Επίπεδο επικινδυνότητας του εδάφους

sitecol	Στοιχεία τοποθεσίας	sids	Κωδικός σημείου τοποθεσίας
		lon	Γεωγραφικό μήκος
		lat	Γεωγραφικό πλάτος
		depth	Βάθος
		backarc_distance	Απόσταση backarc
		vs30	Ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων
		vs30measured	Καταγεγραμμένη τιμή ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων
source_info	Χαρακτηριστικά πηγής	source_id	Κωδικός πηγής
		gidx	Κωδικός γεωλογικού δείκτη πηγής
		code	Κώδικας
		multiplicity	Πολλαπλότητα
		calc_time	Χρόνος υπολογισμού πηγής
		num_sites	Αριθμός σημείων που σχετίζονται με την πηγή
		eff_ruptures	Αποτελεσματικός αριθμός ρηγμάτων
		checksum	Έλεγχος ακεραιότητας
		serial	Σειριακός αριθμός πηγής
source_mags	Κατηγορίες των σεισμικών μεγεθών με βάση πηγής	Active Shallow Crust	Ενεργός ρηχός φλοιός
		Shield	Ασπιδοειδές
		Stable Shallow Crust	Ευσταθής ρηχός φλοιός
		Subduction Deep	Βαθιά καταβύθιση
		Subduction Inslab	Φλοιός καταβύθισης
		Subduction Interface	Διεπαφή καταβύθισης
		Volcanic	Ηφαιστειακός
source_wkt	Γεωμετρική θέση πηγής		

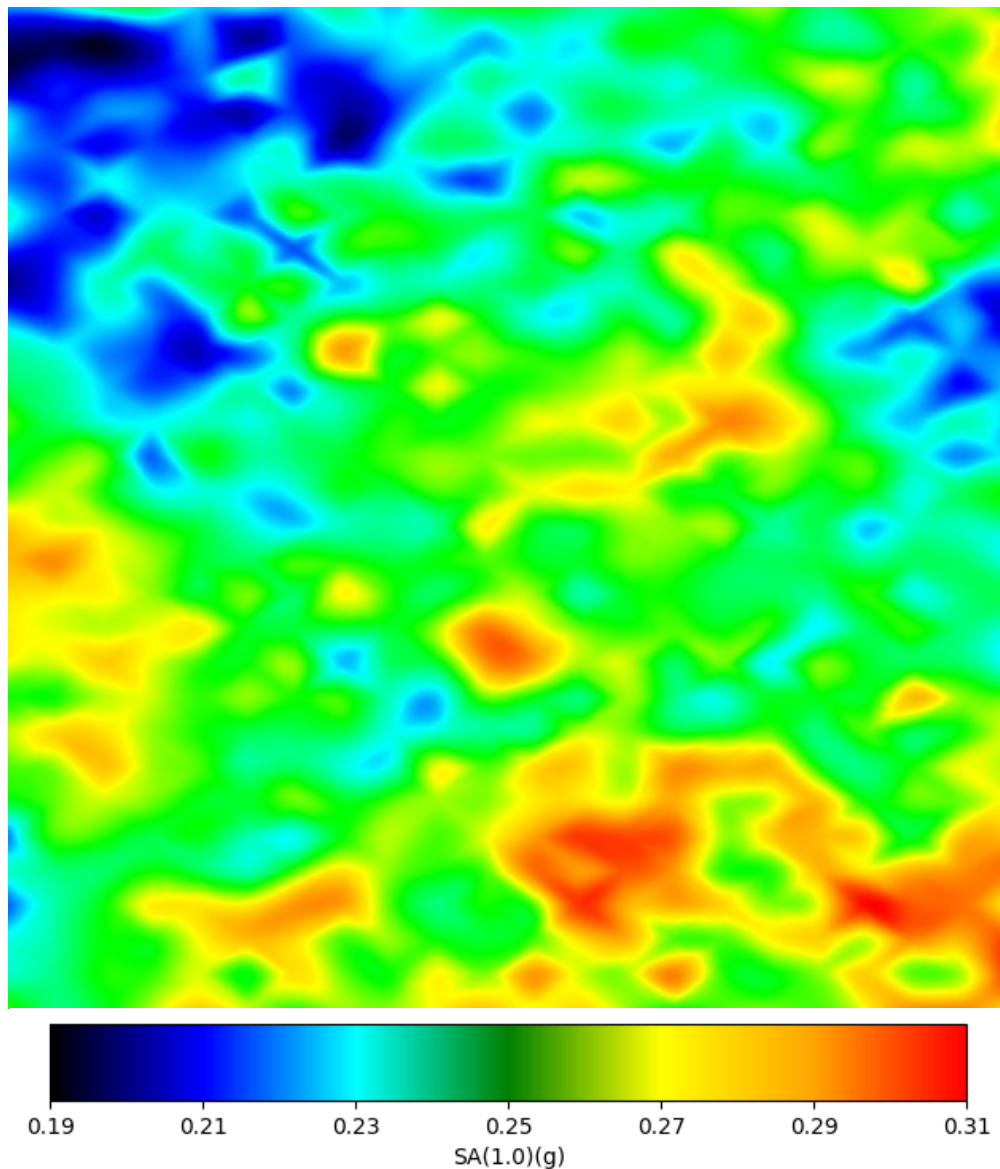
task_info	Χαρακτηριστικά έργου
task_sent	-
weights	Βαρύτητα έργων

Πίνακας 2: Δομή αρχείου csv για χάρτες επικινδυνότητας.

CSV	Περιγραφή
lon	Γεωγραφικό μήκος
lat	Γεωγραφικό πλάτος
PGA-0.002105	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 10% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος PGA
PGA-0.000404	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 2% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος PGA
SA(0.5)-0.002105	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 10% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος SA(0.5)
SA(0.5)-0.000404	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 2% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος SA(0.5)
SA(1.0)-0.002105	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 10% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος SA(1.0)
SA(1.0)-0.000404	Χάρτης επικινδυνότητας με πιθανότητα 2% στα 50 χρόνια για το εντατικό μέγεθος SA(1.0)



Σχήμα 1. Πεδίο εδαφικής κίνησης για τυχαίο σεισμικό συμβάν.



Σχήμα 2. Χάρτης επικινδυνότητας για $Sa(1.0)$ και πιθανότητα 0.002105.

2.3 Καιρικός κίνδυνος

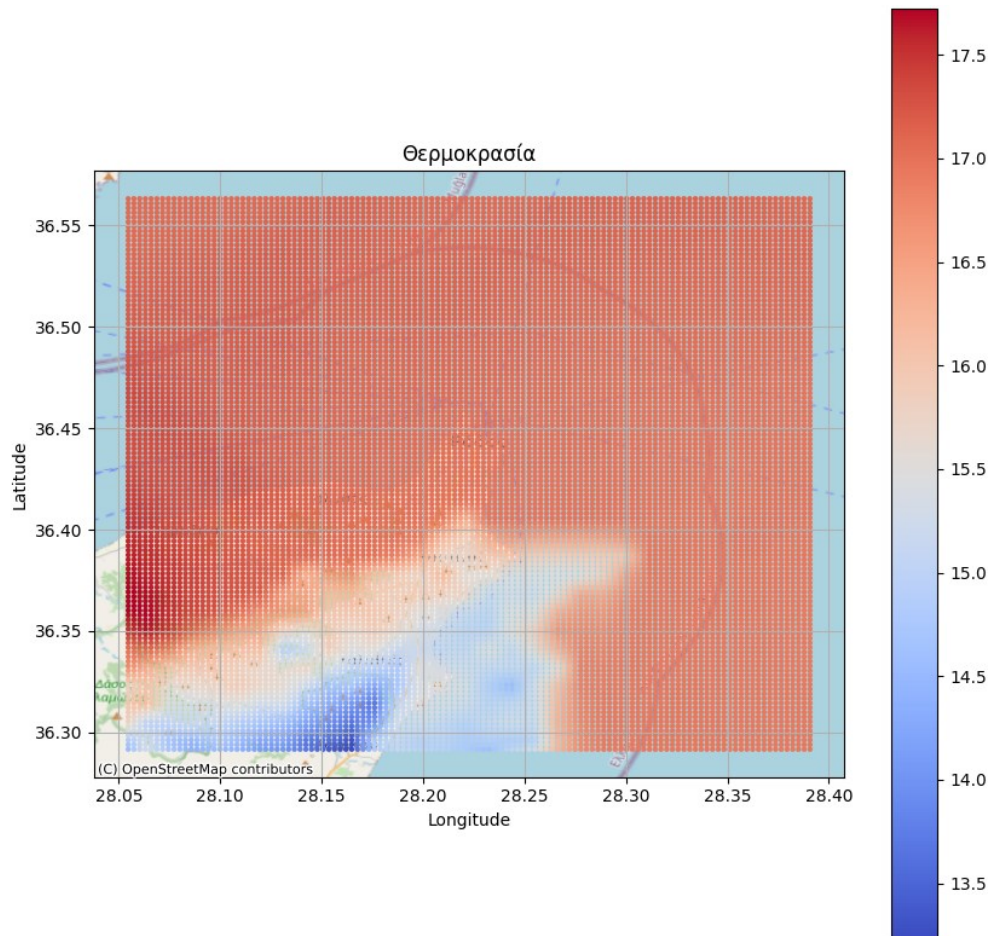
Ο καιρικός κίνδυνος προκύπτει λαμβάνοντας υπόψιν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην μεταβολή των καιρικών μεταβλητών για τα επόμενα χρόνια, μέχρι το 2100. Τα αποτελέσματα παράχθηκαν χρησιμοποιώντας τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα EuroCORDEX, με την μεθοδολογία Frankenstein days (Chatzidaki 2023, Chatzidaki et al. 2024) η οποία μας δίνει τις καιρικές μεταβλητές ανά μία ώρα για ένα κάναβο γύρω από την πόλη της Ρόδου με χωρική ανάλυση 250 μέτρων. Ο Πίνακας 3 περιέχει την δομή των αρχείων για τα κτήρια υψηλής σημασίας της Ρόδου, τα αποτελέσματα έχουν δοθεί ως μέση μηνιαία τιμή για τα διαθέσιμα κλιματικά μοντέλα. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ενδεικτικά μία μελλοντική ημέρα Φρανκενστάιν στην περιοχή της Ρόδου

Πίνακας 3: Δομή αρχείου csv για κτήρια υψηλής βαθμίδας.

CSV	Μεταβλητές	Περιγραφή	Μονάδες μέτρησης
Καιρικές μεταβλητές (μέση μηνιαία τιμή) από τον Ιανουάριο του 2006 έως το Δεκέμβριο του 2100 για τα 7 κλιματικά μοντέλα	Temperature	Θερμοκρασία	Βαθμοί κελσίου (°C)
	Precipitation	Βροχόπτωση	Χιλιοστά (mm)
	Humidity	Υγρασία	Ποσοστό (%)
	Cloud cover	Νεφοκάλυψη	Ποσοστό (%)
	Mean wind speed	Μέση ταχύτητα ανέμου	Μέτρα το δευτερόλεπτο ($\frac{m}{s}$)
	Wind direction	Κατεύθυνση ανέμου	Μοίρες (°)
	Long-wave radiation	Μακροκυματική ακτινοβολία	Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ($\frac{W}{m^2}$)
	Short-wave radiation	Μικροκυματική ακτινοβολία	Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ($\frac{W}{m^2}$)

Πίνακας 4: Δομή αρχείου pickle για την πόλη της Ρόδου.

PKL	Περιγραφή	
Ημέρες Φρανκενστάιν	frankenstein_day	Καιρικές μεταβλητές ανά μέρα
	frankenstein_day_scale_factors	Συντελεστές για μέρες Φρανκενστάιν
	frankenstein_day_idx_LES	Δείκτης συσχέτισης LES- με μέρα Φρανκενστάιν
	frankenstein_day_idx_mesoscale	Δείκτης συσχέτισης mesoscale μοντέλου- με μέρα Φρανκενστάιν
	CFDdir_sites	Κατεύθυνση ανέμου από CFD
	mt_data	Μεταδεδομένα



Σχήμα 3. Θερμοκρασία στην περιοχή της Ρόδου στις 11/04/2054 σύμφωνα με τις Φρανκενστάιν ημέρες.

3 Συμπεράσματα

Η επικινδυνότητα της πόλης της Ρόδου υπολογίστηκε από ένα σεν αναλύσεων για τους δυο βασικούς κινδύνους για τους οποίους μελετάται η πόλη, τον σεισμικό και τον καιρικό. Αφού πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις τα αποτελέσματα αποθηκεύτηκαν σε αρχεία διαφόρων τύπων ανάλογα με το λογισμικό ή και τον κώδικα με βάση του οποίου υλοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να οπτικοποιηθούν ώστε να γίνουν πιο κατανοητά ενώ η δομή τους είναι επεξηγείται αναλυτικά στους παραπάνω πίνακες ώστε οι πληροφορίες που περιέχουν να είναι ευρέως προσβάσιμες στους χρήστες της ιστοσελίδας.

4 Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες πρέπει να απευθυνθούν στους Δρ. Ettore Faga, Andrea Spillatura και Mohsen Kohrangi της RED, Risk Engineering + Development SpA η οποίοι βοήθησαν με τους υπολογισμούς για την σεισμική επικινδυνότητα, στους Δρ. Jukka-Pekka Keskinen και Antti Hellsten του Finnish Meteorological Institute για την επεξεργασία των δεδομένων EuroCORDEX και στους Δρ. Φώτη Μπάρμπα, Γεώργιο Τσέγκα και Ελευθέριο Χουρδάκη του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που παρείχαν τα δεδομένα για καιρικά χωρικά μοντέλα.

5 Βιβλιογραφία

Chatzidaki A (2023). Risk and resilience assessment of highways under multiple natural hazards. PhD Thesis, National Technical University of Athens (NTUA), Greece.

Chatzidaki A, Vamvatsikos D, Barmpas F, Hellsten A, Auvinen M, Tsegas G. (2024). Correlated spatiotemporal downscaling of Euro-CORDEX climatic data for infrastructure resilience assessment. International Journal of Climatology, 44(10): 3380–3404. DOI: 10.1002/joc.8529

GEM (2021). The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model, OpenQuake Manual for Engine version 3.12.1. <http://dx.doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.12.1>