

Common borders. Common solutions.

Κατολισθητική Επικινδυνότητα: Εκτίμηση σε Περιφερειακή Κλίμακα: Πιλοτική Εφαρμογή στην Ελλάδα

Ευχαριστίες:

Το έργο **SciNetNatHaz** χρηματοδοτείται μερικώς από την
Ε.Ε. και από εθνικούς πόρους στα πλαίσια του
Επιχειρησιακού Προγράμματος Μαύρη Θάλασσα

Black Sea Basin Joint Operational Programme 2007-2013

www.scinetnathaz.net

Κ. Παπαθεοδώρου, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Ελλάδα
Νίκος Κλήμης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ελλάδα

SciNetNatHazPrev project - Ανοικτό Σεμινάριο, ΞΑΝΘΗ, 6 Οκτωβρίου 2015

Common borders. Common solutions.

Εκτίμηση Κατολισθητικής Επικινδυνότητας (Ε.Κ.Ε) στην περιοχή της Μαύρης Θάλασσας. Τα....Κενά!

- **Έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων:** Ανεπαρκής ή συνήθως ανύπαρκτος κατάλογος προηγούμενων κατολισθήσεων ή και μη-προσβάσιμος.
- **Ανυπαρξία μεταδεδομένων (Metadata):** πολύ δύσκολη έως αδύνατη η εκτίμηση της **αξιοπιστίας & της ακρίβειας** των διαθέσιμων δεδομένων **(εάν βρεθούν!)**.
- **Χρήση διαφορετικών μεθοδολογιών για Ε.Κ.Ε.** ακόμα και στην ίδια χώρα, καθιστώντας τη σύγκριση των αποτελεσμάτων **πρακτικά ανεφάρμοστη**.
- **Η αναγνώριση της επικινδυνότητας και η αξιολόγηση της διακινδύνευσης σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα** έχει εφαρμοστεί **μόνον περιστασιακά**. (Παρόλο που μπορούν να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τον σχεδιασμό τυπικών προληπτικών μέτρων)

Common borders. Common solutions.

SciNetNatHaz : Εκτίμηση Κατολισθητικής Επικινδυνότητας (ΕΚΕ) - Σχετικές Δράσεις

Οι δράσεις του έργου **SciNetNatHaz** περιλαμβάνουν:

- Επιλογή **ευρέως αποδεκτών μεθοδολογιών**, που **εφαρμόζονται** στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μαύρης Θάλασσας, με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων
- **Προσαρμογή** των παραπάνω μεθοδολογιών στις «**τοπικές συνθήκες**» και **εφαρμογή τους σε περιφερειακή κλίμακα** και σε **πilotικές περιοχές**
- **Σύγκριση** επιλεγμένων μεθοδολογιών με βάση την **εφικτότητα** και την **ακρίβεια & αξιοπιστία** των αποτελεσμάτων
- Παροχή **ελεύθερης πρόσβασης στα δεδομένα** που παράγονται και τυγχάνουν επεξεργασίας με **μεταδεδομένα (Metadata)** σύμφωνα με τις διατάξεις της Κοινοτικής Οδηγίας INSPIRE (INSPIRE directive provisions)
- **Εκτίμηση της επικινδυνότητας σε περιφερειακή κλίμακα** και **εφαρμογή της ανάλυσης σε τοπική κλίμακα**, η οποία θα μπορούσε να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τον **σχεδιασμό τυπικών μέτρων πρόληψης**.

Common borders. Common solutions.

Εκτίμηση Κ.Ε. (Περιφερειακή & Τοπική Κλίμακα) για την προώθηση της Πρόληψης



- Εκτίμηση της Κατολισθητικής Επικινδυνότητας σε Περιφερειακή Κλίμακα για την προώθηση του στρατηγικού σχεδιασμού και της ανάπτυξης
- Ανάλυση ευστάθειας σε Τοπική Κλίμακα για την εκτίμηση τυπικών μέτρων πρόληψης

Common borders. Common solutions.

Επιλογή - Προσαρμογή στις «τοπικές συνθήκες» και Εφαρμογή Μεθοδολογιών

- A.** Μεθοδολογία των **Mora & Vahrson** (Sergio Mora C., & Wilhelm-Gunther Vahrson (1994): Macrozonation Methodology for Landslide Hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XXXI No.1, 1994, pp.49-58.
- B.** Μεθοδολογία Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης (FEMA, USA) – **HazUS**
(<https://www.fema.gov/hazus>)
- C.** Υπολογισμός **Συντελεστή Ασφαλείας** (Μοντέλο Απειρομήκους Πρανούς)

Common borders. Common solutions.

Περιοχές Εφαρμογής - Ελλάδα

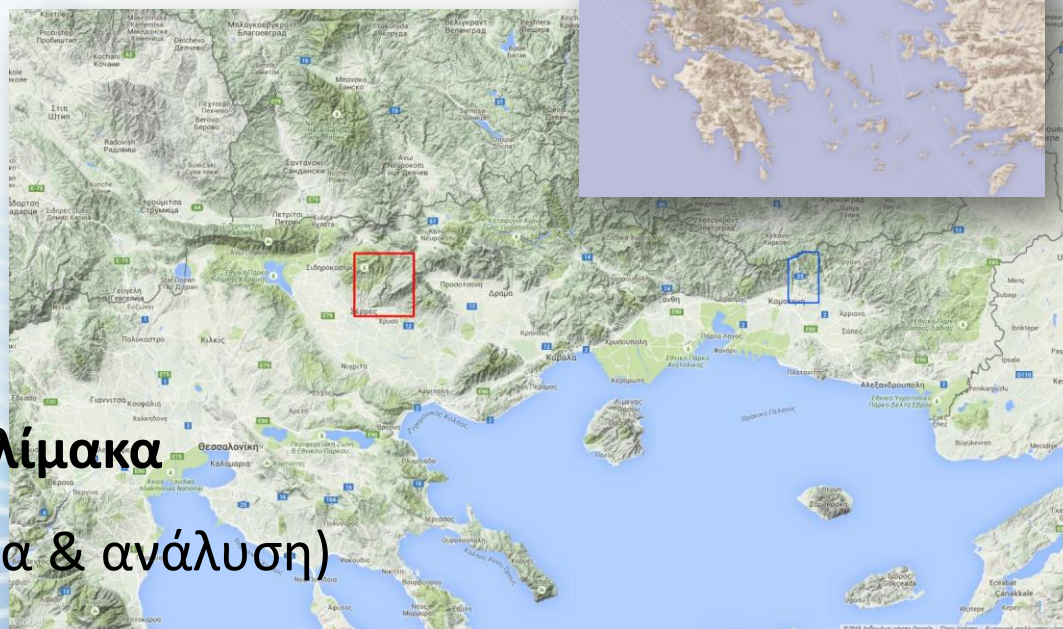
Οι δύο περιοχές της πιλοτικής εφαρμογής που
εμπίπτουν στην επιλέξιμη περιοχή του
Προγράμματος της Μαύρης Θάλασσας:

A. Σέρρες

B. Κομοτηνή-Νυμφαία

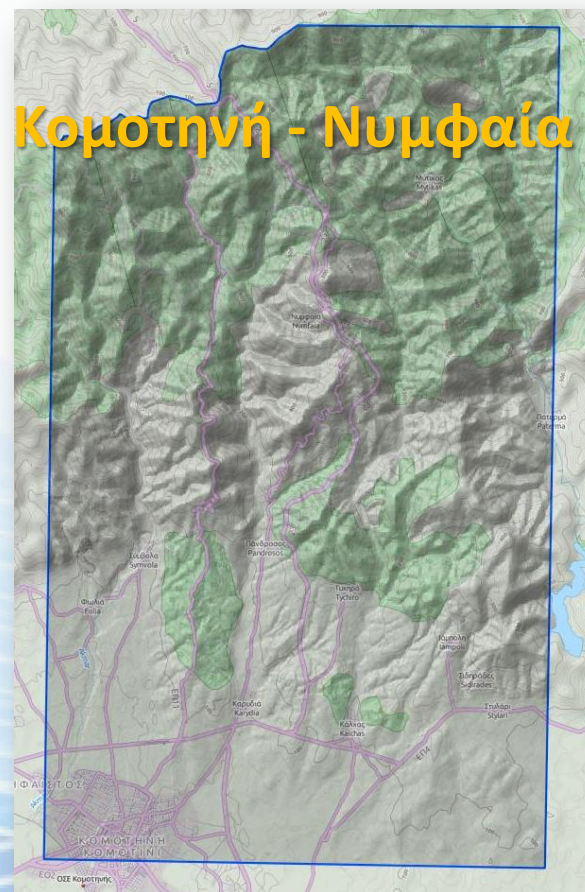
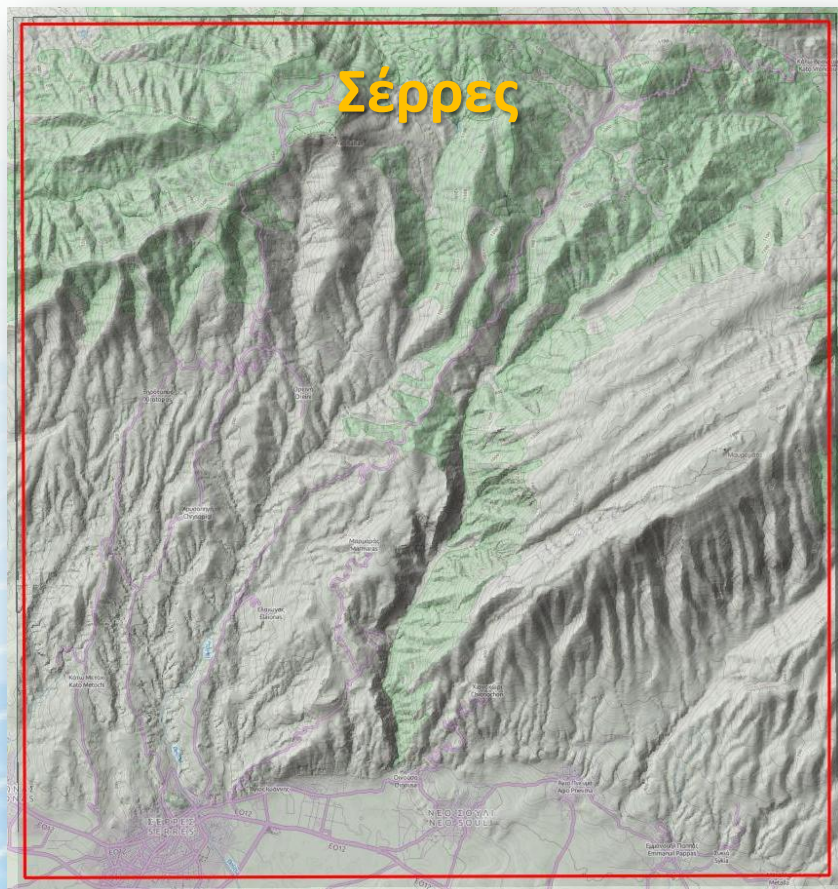
Εφαρμογή σε Περιφερειακή Κλίμακα

1:50.000 (εισαγόμενα δεδομένα & ανάλυση)



Common borders. Common solutions.

Περιοχές εφαρμογής - Ελλάδα



Common borders. Common solutions.

A. Μεθοδολογία των Mora & Vahrson

Υπολογίζει την “Εγγενή Κατολισθητική Επιδεκτικότητα” (SUSC)

Λαμβάνοντας υπόψη:

Συντελεστή Κλίσης (Sr)

Συντελεστή Λιθολογίας (SI)

Συνθήκες Υγρασίας Εδάφους (Sh)

$$HI = SUSC * TRIG =$$
$$= (Sr * SI * Sh) * (Ts + Tp)$$

Και τον Παράγοντα Ενεργοποίησης (TRIG)

Προκύπτει από τον συνδυασμό του:

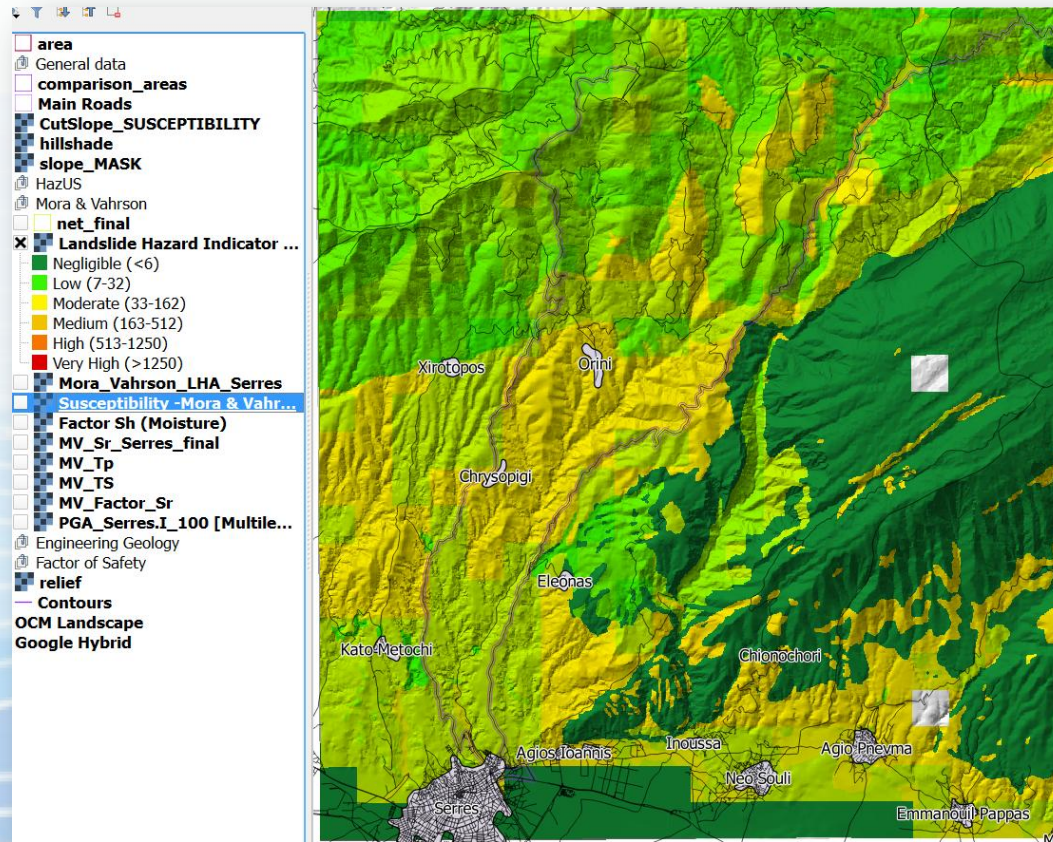
Σεισμικού Συντελεστή (Ts)

Συντελεστή Βροχόπτωσης (Tp)

Common borders. Common solutions.

Ταξινόμηση του Δείκτη Επικινδυνότητας (HI)

$$HI = SUSC * TRIG = (Sr * SI * Sh) * (Ts + Tp)$$



Common borders. Common solutions.

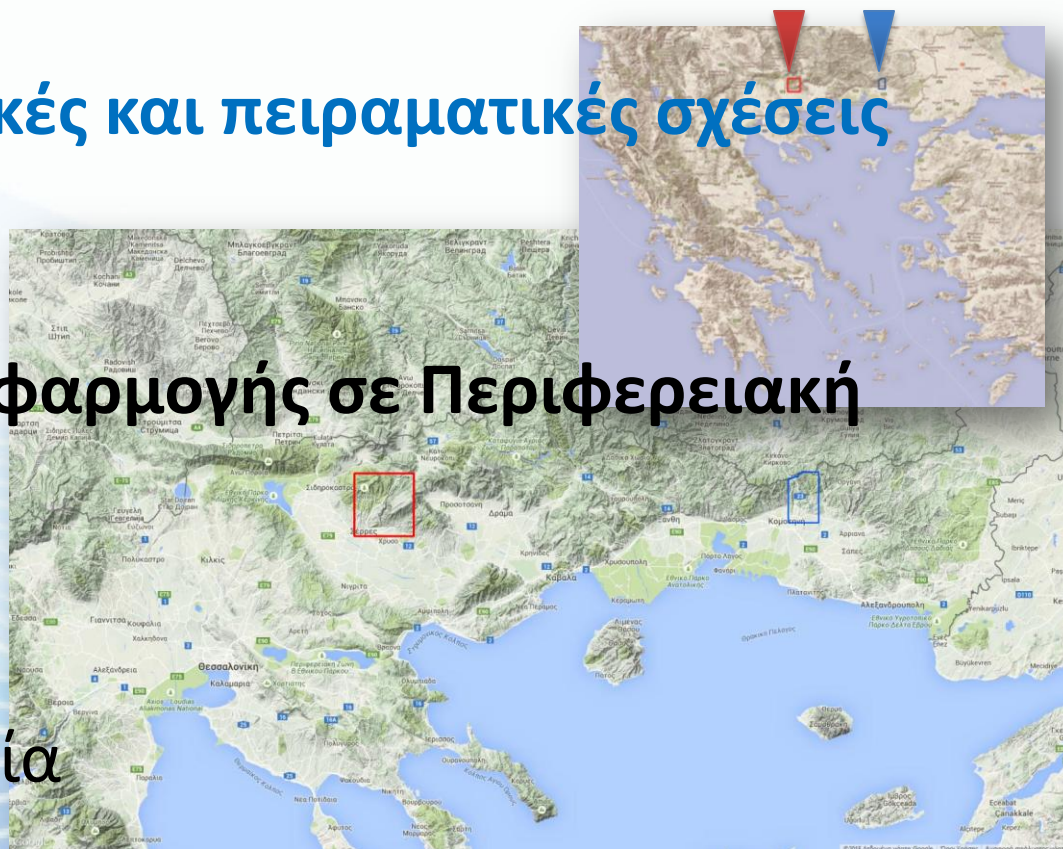
B. Μεθοδολογία FEMA (Hazard US)

Βασίζεται σε εμπειρικές και πειραματικές σχέσεις

Περιοχές πιλοτικής εφαρμογής σε Περιφερειακή
Κλίμακα (1:50.000)

A. Σέρρες

B. Κομοτηνή-Νυμφαία



Common borders. Common solutions.

Εκτίμηση Επικινδυνότητας σε Κατολίσθηση (FEMA)

1. Εκτίμηση της **Επιδεκτικότητας σε Κατολίσθηση** (υπό στατικές συνθήκες λειτουργίας)
2. Εκτίμηση της **Κρίσιμης Επιτάχυνσης** (A_c) & σύγκριση (A_c/PGA) του λόγου της Κρίσιμης Επιτάχυνσης (A_c) προς την Κορυφαία Εδαφική Επιτάχυνση (PGA)
3. Υπολογισμός των **Μόνιμων Εδαφικών Μετακινήσεων**

Όλες οι παραπάνω παράμετροι υπολογίζονται για δύο διαφορετικές συνθήκες υγρασίας / υπόγειου νερού: “ΞΗΡΕΣ” και “ΥΓΡΕΣ”, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι “ΞΗΡΕΣ” αντιστοιχούν στην κατάσταση που η στάθμη των υπογείων υδάτων είναι **ΚΑΤΩ** από την επιφάνεια αστοχίας, ενώ οι “ΥΓΡΕΣ” όταν η στάθμη των υπόγειων νερών είναι **ΜΕΧΡΙ** την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους.

Common borders. Common solutions.

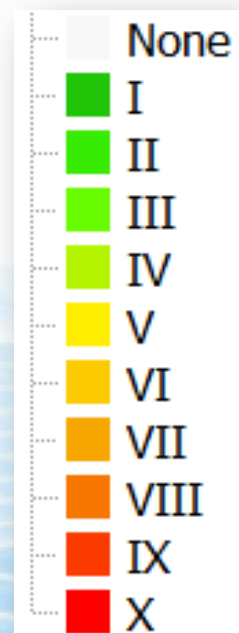
1. Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (υπό στατικές συνθήκες)

Πίνακας 8. Επιδεκτικότητα της Κατολίσθησης υπό στατικές συνθήκες
(HazUS MH, Chapter 4 – PESH)

Geologic Group		Slope Angle, degrees					
		0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40
(a) DRY (groundwater below level of sliding)							
A	Strongly Cemented Rocks (crystalline rocks and well-cemented sandstone, $c' = 300$ psf, $\phi' = 35^\circ$)	None	None	I	II	IV	VI
B	Weakly Cemented Rocks and Soils (sandy soils and poorly cemented sandstone, $c' = 0$, $\phi' = 35^\circ$)	None	III	IV	V	VI	VII
C	Argillaceous Rocks (shales, clayey soil, existing landslides, poorly compacted fills, $c' = 0$, $\phi' = 20^\circ$)	V	VI	VII	IX	IX	IX
(b) WET (groundwater level at ground surface)							
A	Strongly Cemented Rocks (crystalline rocks and well-cemented sandstone, $c' = 300$ psf, $\phi' = 35^\circ$)	None	III	VI	VII	VIII	VIII
B	Weakly Cemented Rocks and Soils (sandy soils and poorly cemented sandstone, $c' = 0$, $\phi' = 35^\circ$)	V	VIII	IX	IX	IX	X
C	Argillaceous Rocks (shales, clayey soil, existing landslides, poorly compacted fills, $c' = 0$, $\phi' = 20^\circ$)	VII	IX	X	X	X	X

Κλίμακα I: λιγότερο επιδεκτικό

Κλίμακα X: πλέον επιδεκτικό

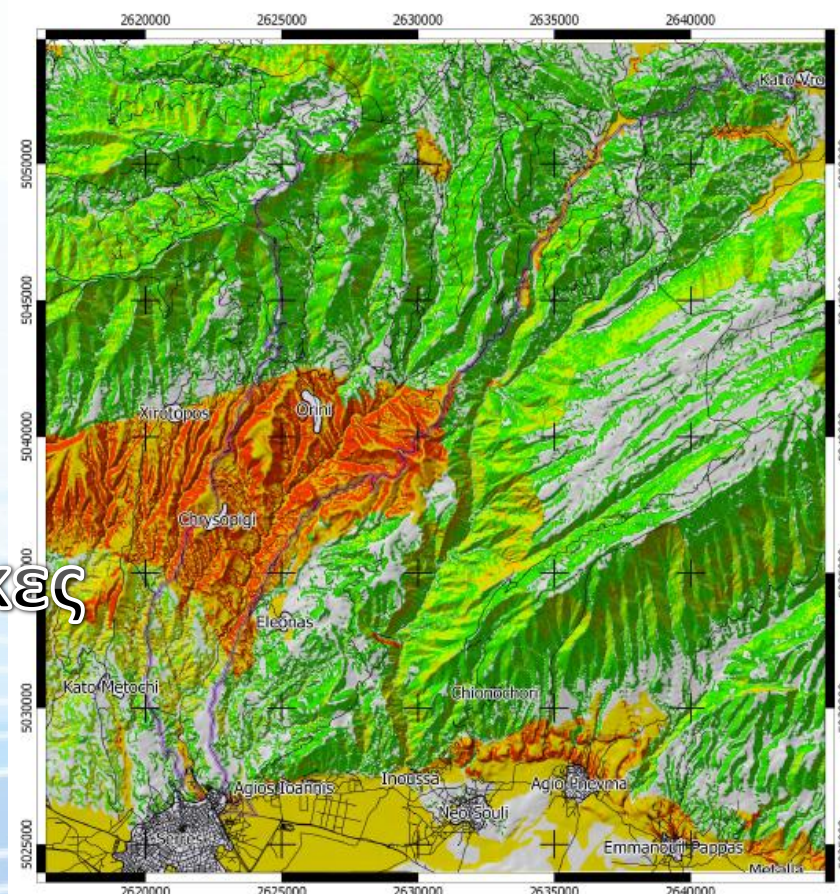


Common borders. Common solutions.

Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (υπό στατικές συνθήκες)

Επιδεκτικότητα σε
κατολίσθηση υπό
διαφορετικές
συνθήκες υγρασίας

Σέρρες
ΞΗΡΕΣ συνθήκες

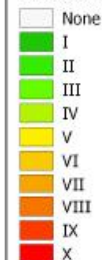


**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
2007-13**

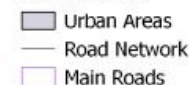
**Landslide Susceptibility of Geologic
Groups
under "DRY" groundwater
conditions
(HAZUS Methodology, FEMA)**

Legend

Landslide Susceptibility of Geologic Groups_DRY



General data



1 0 1 2 3 4 5 km

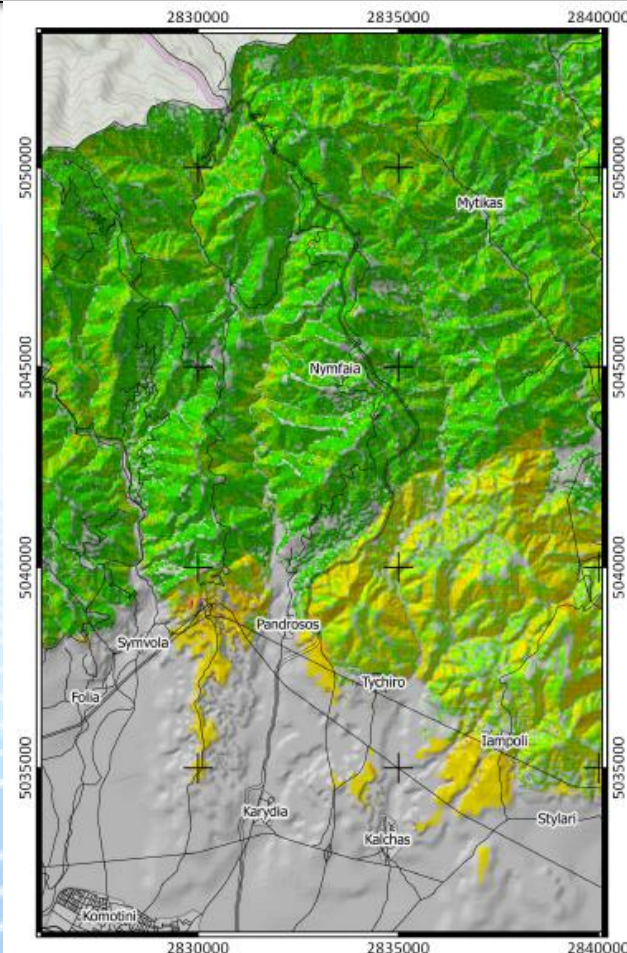
Coordinate Reference System: HGRS (Hellenic
Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (υπό στατικές συνθήκες)

Επιδεκτικότητα σε
κατολίσθηση υπό
διαφορετικές συνθήκες
υγρασίας

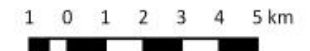
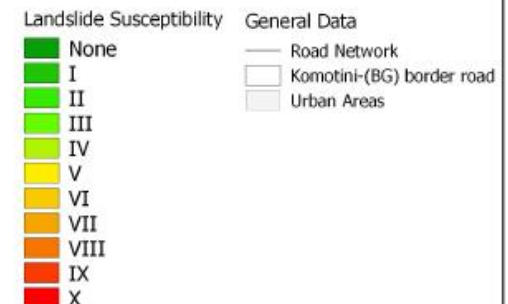
Νυμφαία
ΞΗΡΕΣ συνθήκες



**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP 2007-13**

**Landslide Susceptibility
of Geologic Groups
under "DRY" groundwater conditions
(HAZUS Methodology, FEMA)**

Legend



Scale 1 : 125 000

Coordinate Reference System: HGRS (Hellenic
Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

2. Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (σεισμικές συνθήκες)

Αρχή της Μεθόδου Οριακής Ισορροπίας: ο σεισμός θεωρείται ως μια οριζόντια δύναμη (σεισμικός συντελεστής * βάρος της δυνητικά ολισθαίνουσας μάζας του πρανούς)

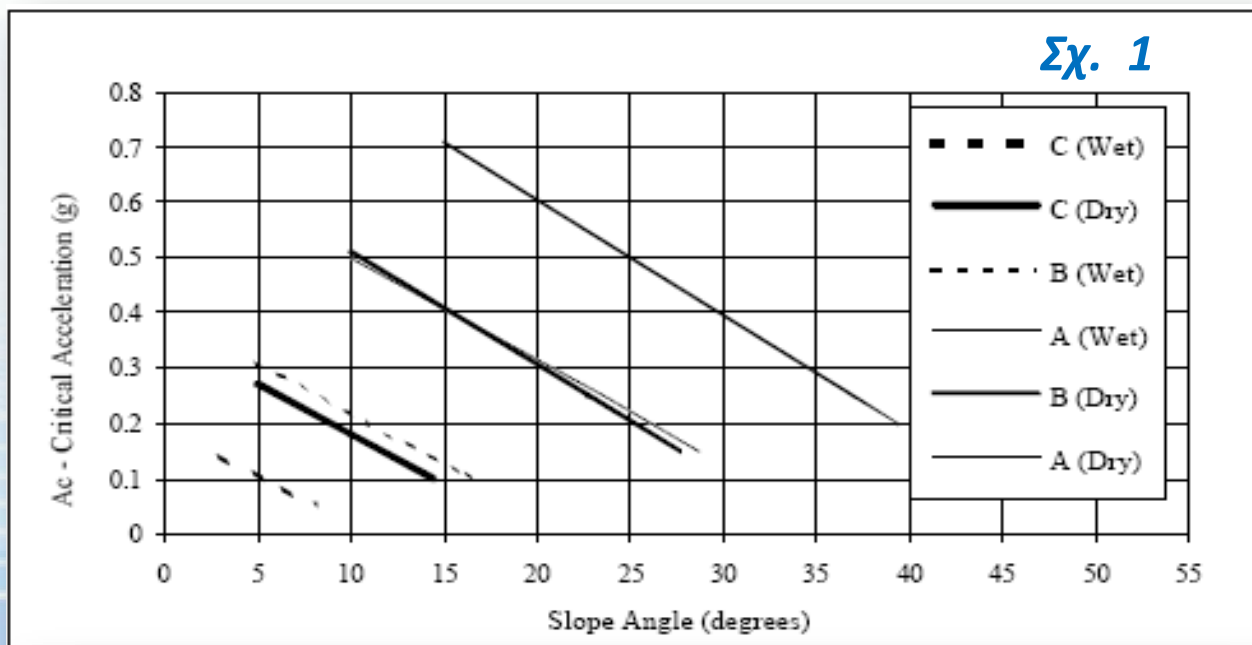
Κρίσιμη Επιτάχυνση (A_c) ορίζεται ως η οριζόντια επιτάχυνση που δίνει συντελεστή ασφάλειας $F_s = 1.0$

Common borders. Common solutions.

Υπολογισμός της Κρίσιμης Επιτάχυνσης A_c

Κρίσιμη Επιτάχυνση (A_c) είναι μια σύνθετη συνάρτηση της **κλίσης του πρανούς**, της **γεωλογίας**, του **υπόγειου νερού**, του **τύπου της κατολίσθησης** & της **ιστορικής συμπεριφοράς του πρανούς**.

Υπάρχουν ορισμένα
όρια για αυτές τις
σχέσεις (όπως φαίνεται
στο γράφημα)



Κρίσιμη Επιτάχυνση ως συνάρτηση Γεωλογικών Ομάδων και Εδαφικής Κλίσης
(Wilson and Keefer, 1985)

Common borders. Common solutions.

Τιμές PGA – Υπολογισμός σε «τοπικές συνθήκες»

Οι τιμές της **PGA** υπολογίζονται σύμφωνα με την **εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας** για την εξεταζόμενη περιοχή (δηλ. για μια περίοδο επαναφοράς 50, 100, 475 χρόνια κ.λ.π.) με τη χρήση:

- των κατάλληλων για την εξεταζόμενη περιοχή **Σχέσεων Πρόβλεψης της Εδαφικής Κίνησης (GMPE)** και **τον τύπο του ρήγματος και την κατηγορία του εδάφους**

Τοπικές GMPEs (Skarlatoudis et al., 2003) για την Ελλάδα

Παράδειγμα {

$$\log PGA = 1.07 + 0.45M - 1.35 \times \ln(R + 6) + 0.09F + 0.06S \pm 0.286$$

$$\log PGA = 0.86 + 0.45M - 1.27 \times \ln(R^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} + 0.10F + 0.06S \pm 0.286$$

Common borders. Common solutions.

Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (σεισμός)

Η Κρίσιμη Επιτάχυνση (A_c) ορίζεται ως η οριζόντια επιτάχυνση που δίνει $F_s = 1.0$

Κριτήριο:

Ο δείκτης A_c/PGA και μια
“υποκειμενική”
κατηγοριοποίηση

- ☐ Πολύ υψηλό: < 0.3
- ☐ Υψηλό: $0.3 - 0.6$
- ☐ Μεσαίο: $0.6 - 0.8$
- ☐ Χαμηλό: $0.8 - 1.0$
- ☐ Πολύ Χαμηλό: $1.0 - 3.0$
- ☐ Καθόλου: > 3.0

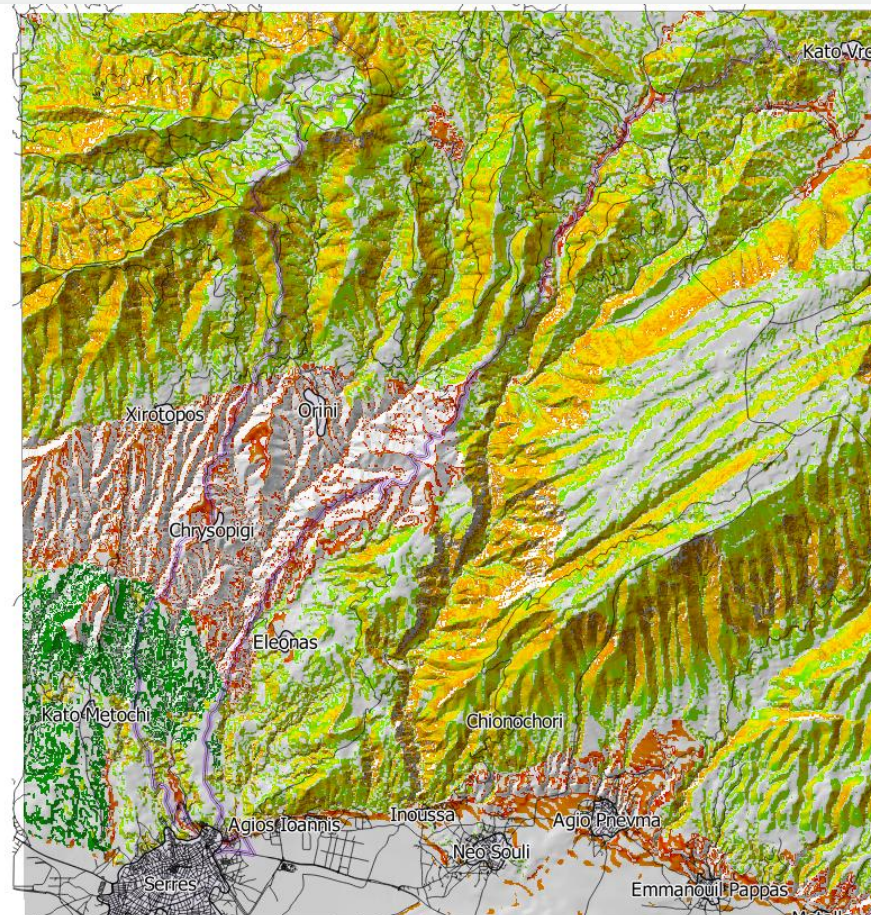
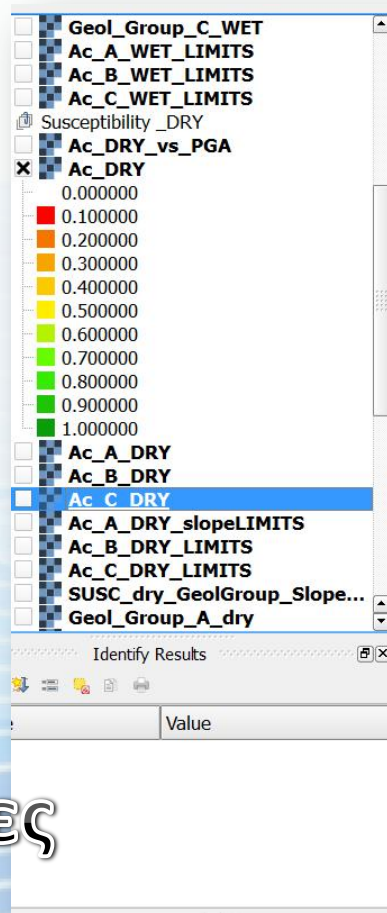
Επιδεκτικότητα εκδήλωσης επιφανειακής κατολίσθησης σε μετατοπίσεις που προκαλούνται από σεισμό, όπως ορίζονται από τον δείκτη A_c/PGA

Common borders. Common solutions.

Υπολογισμός της Κρίσιμης Επιτάχυνσης A_c

Σημείωση: Οι υψηλές τιμές της A_c λείπουν εξαιτίας των ορίων που εφαρμόζονται στην κλίση του πρανούς

Σέρρες
ΞΗΡΕΣ συνθήκες





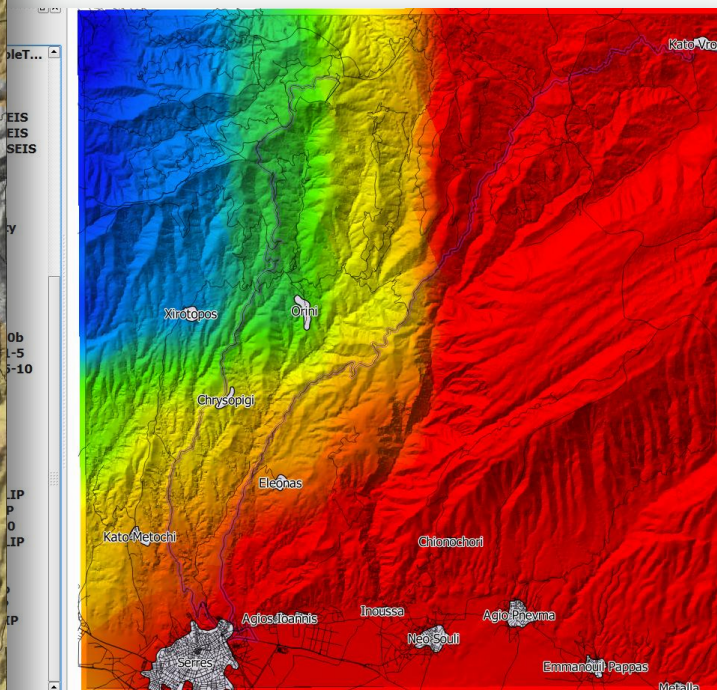
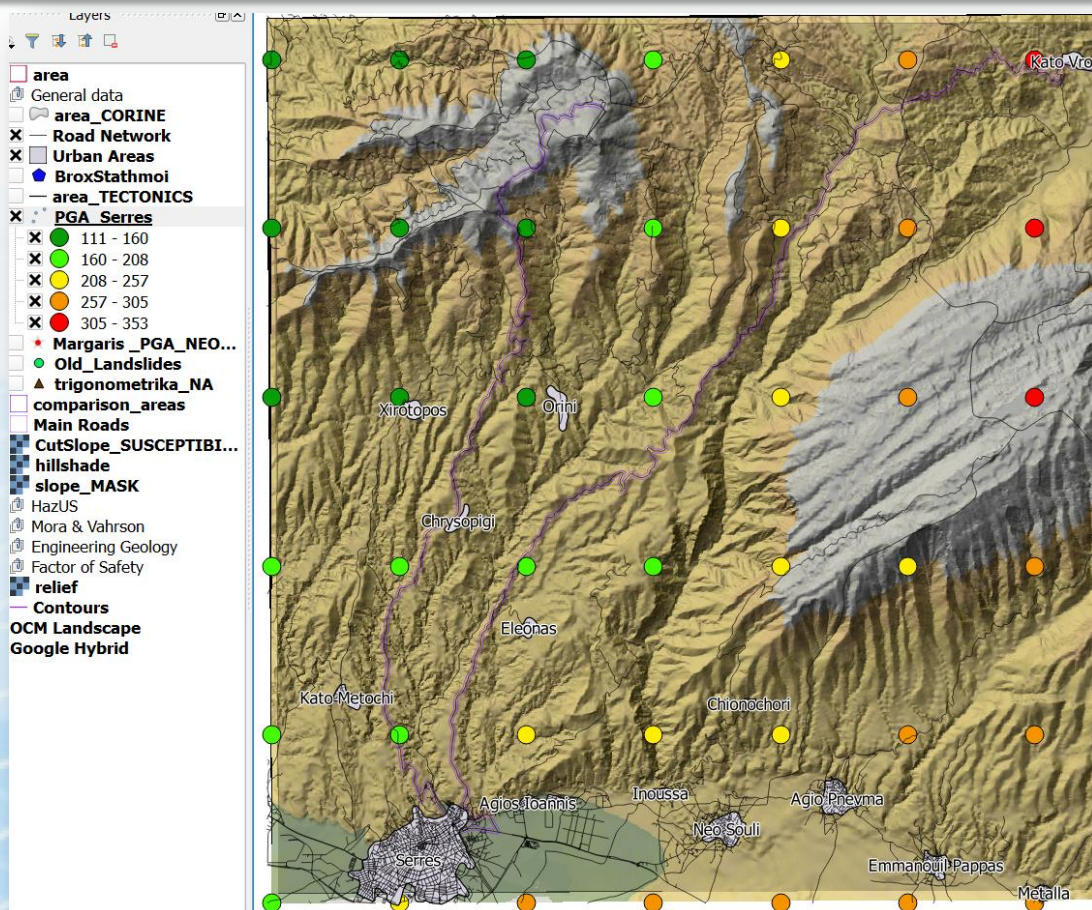
Project funded by the
EUROPEAN UNION



Common borders. Common solutions.

Τιμές PGA για την πιλοτική εφαρμογή στις Σέρρες

Τιμές PGA

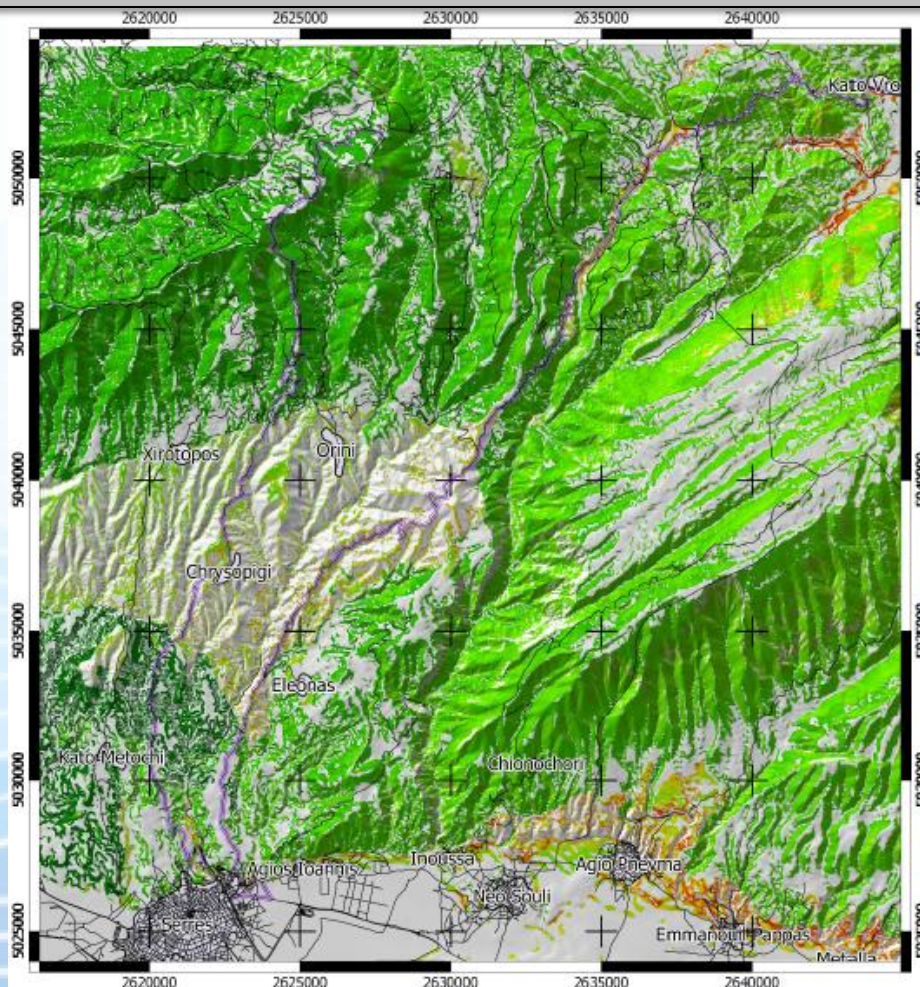


Common borders. Common solutions.

Επιδεκτικότητα σε Κατολίσθηση (σεισμός)

Ac/PGA

Σέρρες
ΞΗΡΕΣ
συνθήκες



SciNetNatHaz Project Black Sea Basin JOP 2007-13

Landslide Hazard as Ac/PGA
'DRY' groundwater conditions
(HAZUS Methodology, FEMA)

Ac: Critical Acceleration
PGA: Peak Ground Acceleration

Legend

Ac/PGA Index (dry conditions)

- non-computable
- Very High (<0.3)
- High (0.3-0.6)
- Moderate (0.6-0.8)
- Low (0.8-1.0)
- Very Low (1.0-3.0)
- None (>3.0)

General data

- Urban Areas
- Road Network
- Main Roads



Coordinate Reference System: HGRS (Hellenic
Coordinate Reference System '87)

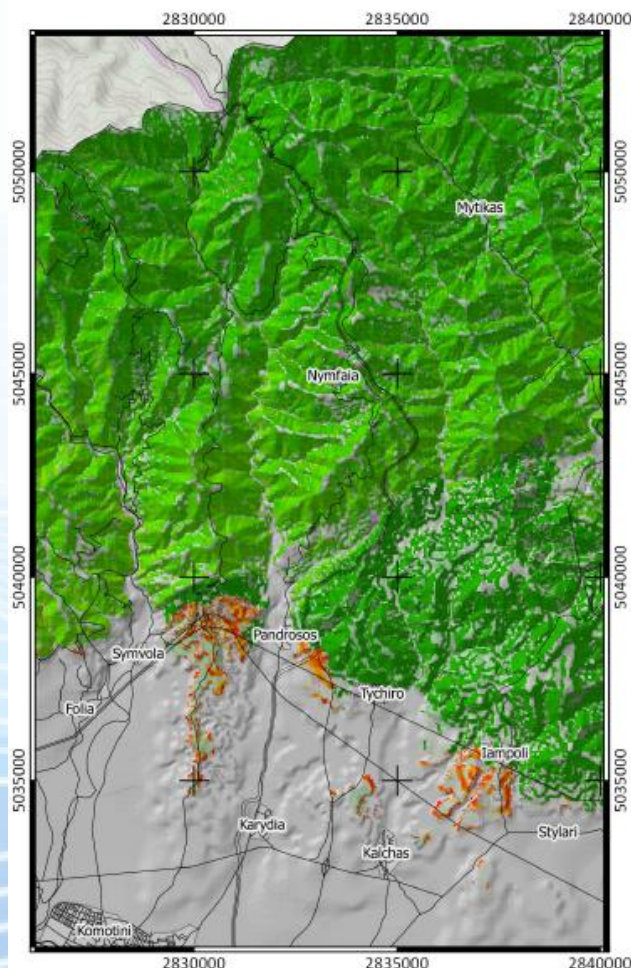
Common borders. Common solutions.

Επιδεκτικότητα σε Επιφανειακή Κατολίσθηση (σεισμός)

Ac/PGA

Νυμφαία

ΞΗΡΕΣ συνθήκες



**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP 2007-13**

**Landslide Hazard as Ac/PGA
'DRY' groundwater conditions
(HAZUS Methodology, FEMA)**

Ac: Critical Acceleration
PGA: Peak Ground Acceleration

Legend

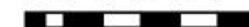
Ac/PGA DRY conditions

- 0.000000
- Very High (<0.3)
- High (0.3-0.6)
- Moderate (0.6-0.8)
- Low (0.8-1.0)
- Very Low (1.0-3.0)
- None (>3.0)

General Data

- Road Network
- Komotini-(BG) border road
- Urban Areas

1 0 1 2 3 4 5 km



Scale 1 : 125 000

Coordinate Reference System: HGRS (Hellenic
Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

3. Επικινδυνότητα Κατολίσθησης (σεισμός)

- Η μέθοδος FEMA βασίζεται στην εκτίμηση των **PGD (Μόνιμων Εδαφικών Μετατοπίσεων)** για κατολισθήσεις
- Είναι αξιόπιστη τόσο για “επιφανειακές” (βάθος κύκλου ολίσθησης έως 7 -8m), όσο και για «βαθείς» κατολισθήσεις.

Απαιτήσεις:

A_c : κρίσιμη επιτάχυνση (g), ορίζεται ως η οριζόντια επιτάχυνση που δίνει **$F_s = 1.0$**

Common borders. Common solutions.

Εκτίμηση Μόνιμων Εδαφικών Μετατοπίσεων (PGD)

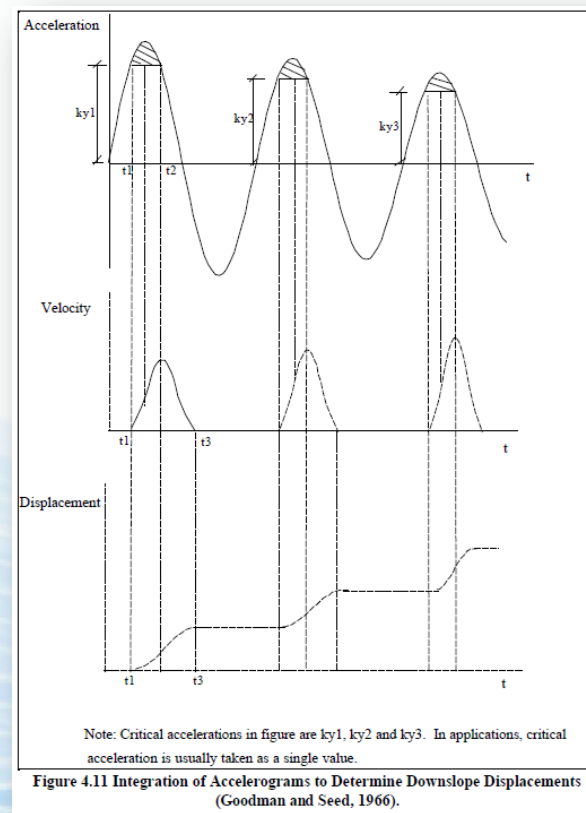
- Η μέθοδος FEMA βασίζεται στην εκτίμηση των **PGD (Μόνιμων Εδαφικών Μετατοπίσεων)** για κατολισθήσεις (Goodman and Seed, 1966)

$$E[PGD] = E[d/A_{is}] * A_{is} * n$$

A_{is} : προκαλούμενη επιτάχυνση (g) – $A_{is} = PGA$

n : αριθμός κύκλων φόρτισης (συνάρτηση του μεγέθους του σεισμού M_w)

$E[d/A_{is}]$: αναμενόμενος συντελεστής μετατόπισης για κάθε κύκλο φόρτισης



Common borders. Common solutions.

C. Μεθοδολογία Συντελεστή Ασφάλειας - F_s

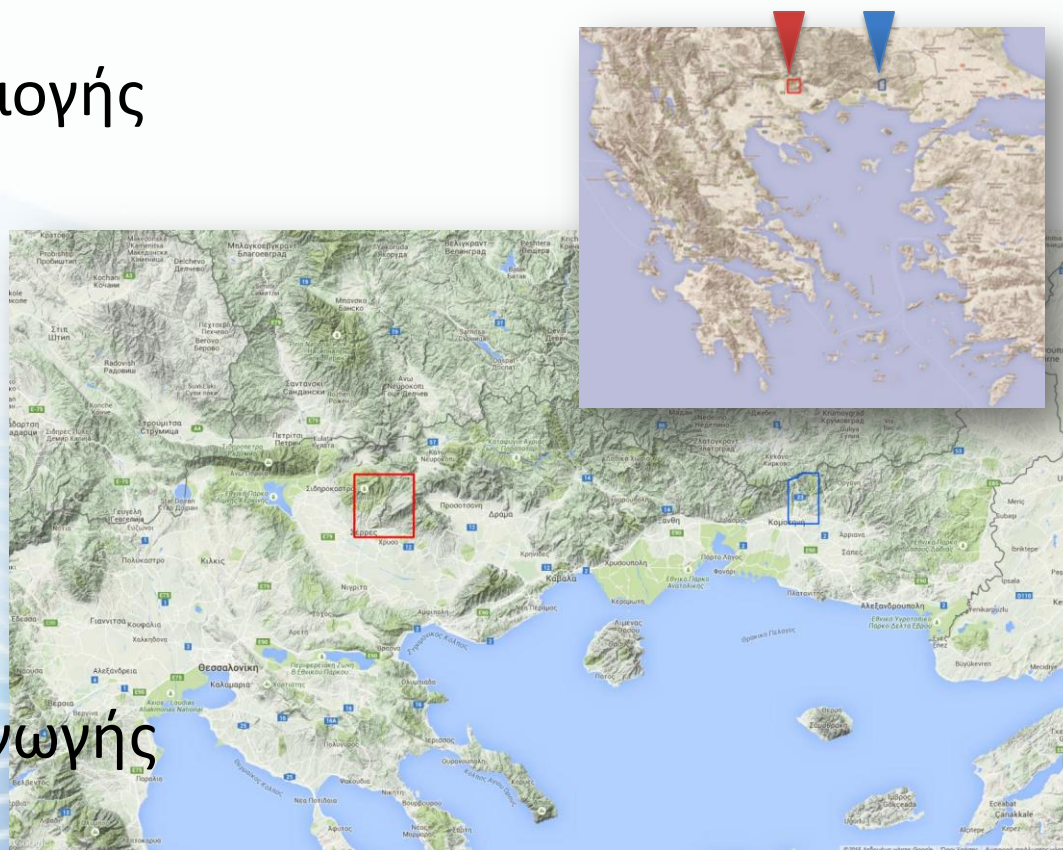
Πιλοτικές περιοχές εφαρμογής

A. Σέρρες

B. Κομοτηνή - Νυμφαία

Κλίμακα Περιφερειακής
εφαρμογής

1:50.000 (δεδομένα εισαγωγής
και ανάλυση)



Common borders. Common solutions.

C. Μεθοδολογία Συντελεστή Ασφάλειας - F_s

- Μέθοδοι αξιολόγησης κατολισθητικής επικινδυνότητας βασιζόμενες στην προσομοίωση της διαδικασίας αστοχίας ενός πρανούς (μέθοδοι με φυσική βάση)
- **Εφαρμόζονται** σε ευρείες περιοχές, εφόσον οι γεωλογικές & γεωμορφολογικές συνθήκες είναι σχετικά ομογενείς, ακόμη και εάν δεν υπάρχουν κατάλογοι κατολισθήσεων
- Μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή ασφάλειας F_s χρησιμοποιούν συχνά το μοντέλο απειρομήκους πρανούς (παράγοντες πρόκλησης: **βροχόπτωση και σεισμός**)

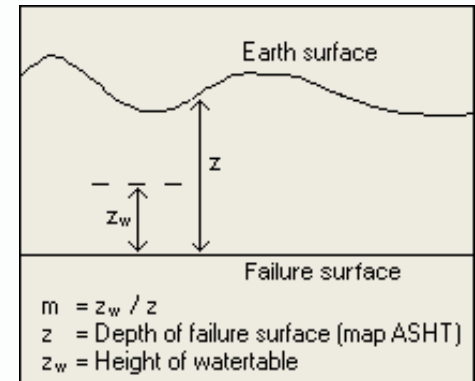
Common borders. Common solutions.

Κατολισθητική Επικινδυνότητα– Στατικές Συνθήκες / Νερά

Μοντέλο Απειρομήκους Πρανούς (Συντελεστής Ασφάλειας)

$$F_S = \frac{c' + (\gamma_{app} - m * \gamma_w) * z * \cos^2 \beta * \tan \phi'}{\gamma_{app} * z * \sin \beta * \cos \beta}$$

$$\gamma_{app} = \gamma * (1 - m) + \gamma_{sat} * m$$



ϕ' : ενεργός γωνία τριβής του γεωϋλικού ($^{\circ}$)

c' : ενεργός συνοχή του γεωϋλικού (kPa),

β : γωνία κλίσης πρανούς (Deg),

γ : ειδικό βάρος (kN/m³),

γ_w : ειδικό βάρος νερού (kN/m³),

z : πάχος ζώνης αστοχίας (m)

$m = z_w / z$ % κορεσμού με νερό της ζώνης
αστοχίας

Σε ξηρές συνθήκες, $\gamma_{app} = \gamma$ ($m=0\%$)

Σε πλήρως κορεσμένο πρανές $\gamma_{app} = \gamma_{sat}$
($m=100\%$)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Απαιτήσεις Δεδομένων

- **Τοπογραφικά δεδομένα** (τοπογραφικοί χάρτες, υψομετρικά δεδομένα, σημεία πλέγματος κ.α.). Σε περίπτωση όπου τοπογραφικά δεδομένα σε κλίμακα **1:50.000** δεν είναι διαθέσιμα, ASTER DEMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν εις βάρος της ακρίβειας.
- **Γεωλογικοί Χάρτες**
- **Γεωτεχνικές Παράμετροι** (συνοχή, γωνία τριβής, ειδικό βάρος)
- **Δεδομένα Ισχυρής Σεισμικής Κίνησης** (τιμές PGA)
- Μέση Μηνιαία **Βροχόπτωση** (mm) και **ΚΟΡΥΦΑΙΑ** τιμή κατακρημνίσεων

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Απαιτήσεις Δεδομένων

- **Γεωτεχνικές Παράμετροι** ανά **Γεωλογικό Σχηματισμό** (ϕ' , c' , γ)
- ✚ **Εάν είναι ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ**, τότε χρησιμοποιείται το κριτήριο θραύσης Hoek & Brown προκειμένου να δημιουργήσουμε 2 ζεύγη τιμών (ϕ' & c') που να αντιστοιχούν σε χαμηλές και υψηλές ΟΡΘΕΣ ΤΑΣΕΙΣ (π.χ. χαμηλό πρανές και ψηλό πρανές). **GSI** (Geological Strength Index – Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής) και η **Αντοχή σε Ανεμπόδιση Θλίψη** εκτιμώνται βάσει λιθολογικής σύστασης και κατάστασης βραχομάζας.
- ✚ **Εάν είναι ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ**, τότε βάσει γεωλογικής περιγραφής (βλέπε γεωλογικός χάρτης), της σχετικής βιβλιογραφίας και της εμπειρίας του χρήστη γίνεται επιλογή των κατάλληλων τιμών ϕ' , c' και γ .



Project funded by the
EUROPEAN UNION



Common borders. Common solutions.

Analysis of Rock Strength using RocLab

H=5m

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci) = 25 MPa
GSI = 32 mi = 8 Disturbance factor (D) = 1
intact modulus (Ei) = 16875 MPa
modulus ratio (MR) = 675

Hoek-Brown Criterion

mb = 0.062 s = 1.2e-5 a = 0.520

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.027 MPa friction angle = 34.17 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa
uniaxial compressive strength = 0.069 MPa
global strength = 0.723 MPa
deformation modulus = 503.42 MPa

Analysis of Rock Strength using RocLab

H=50m

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci) = 25 MPa
GSI = 32 mi = 8 Disturbance factor (D) = 1
intact modulus (Ei) = 16875 MPa
modulus ratio (MR) = 675

Hoek-Brown Criterion

mb = 0.062 s = 1.2e-5 a = 0.520

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.072 MPa friction angle = 21.91 deg

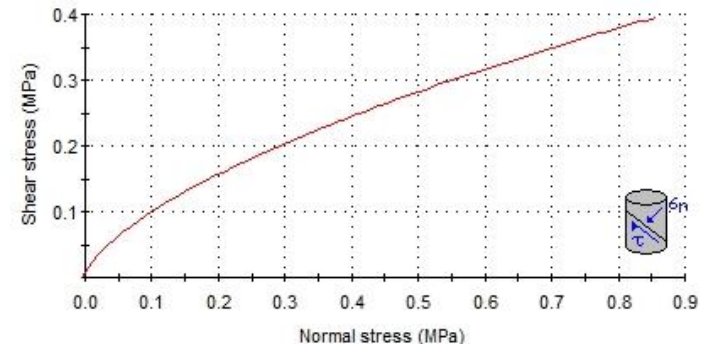
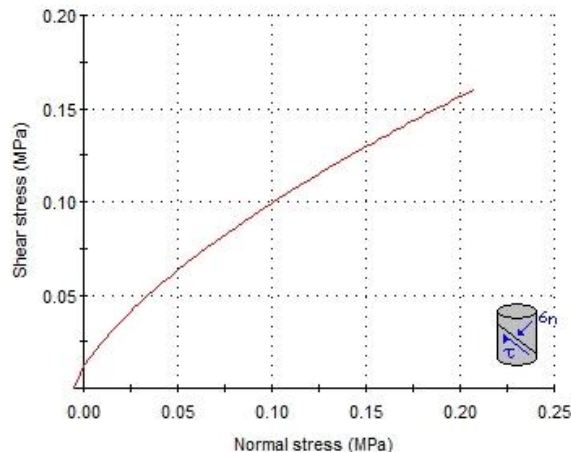
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.005 MPa
uniaxial compressive strength = 0.069 MPa
global strength = 0.723 MPa
deformation modulus = 503.42 MPa

<http://www.rocscience.com>

<http://www.rocscience.com>

A reliable freeware
software “RocLab”

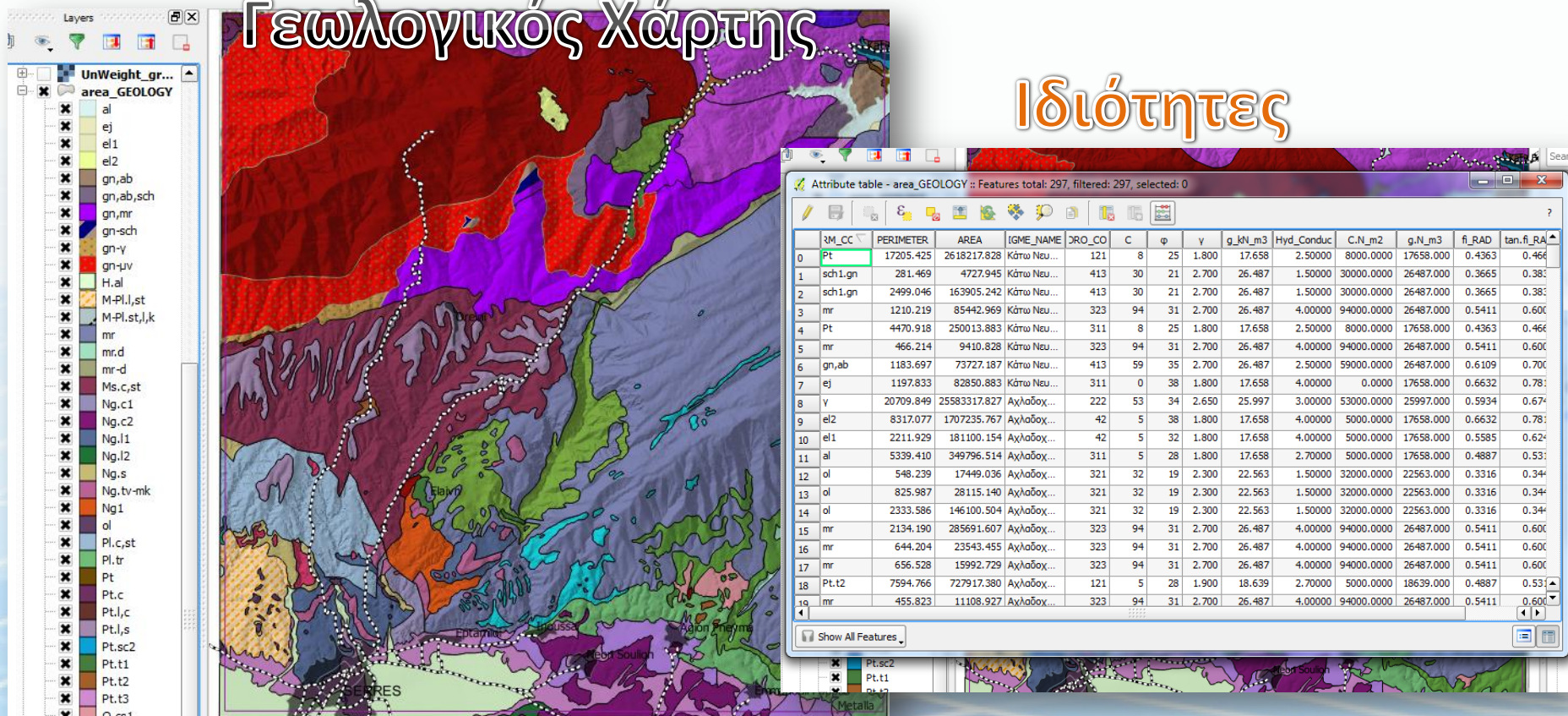


Common borders. Common solutions.

Χωρική Κατανομή Γεωτεχνικών Παραμέτρων

Γεωλογικός Χάρτης

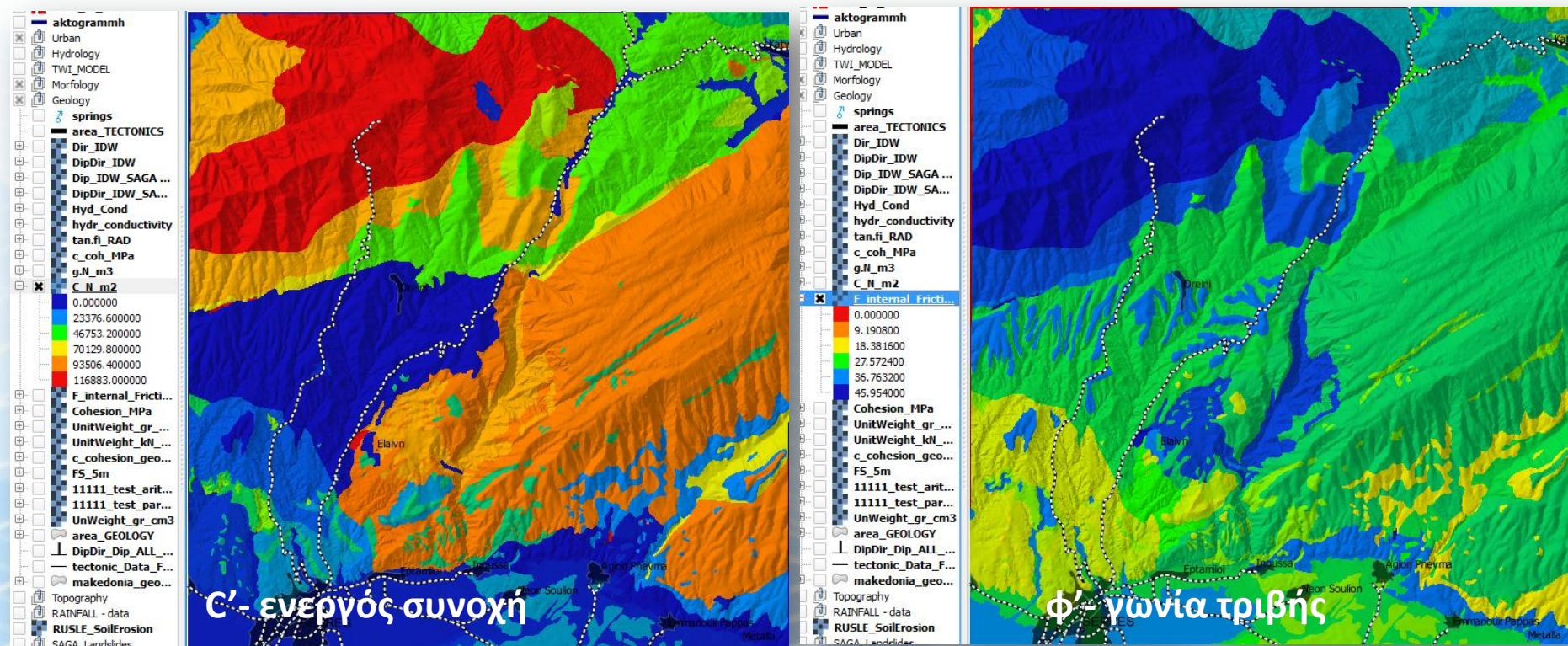
Ιδιότητες



Common borders. Common solutions.

Υπολογισμός ενεργού συνοχής (c') & γωνίας τριβής (ϕ')

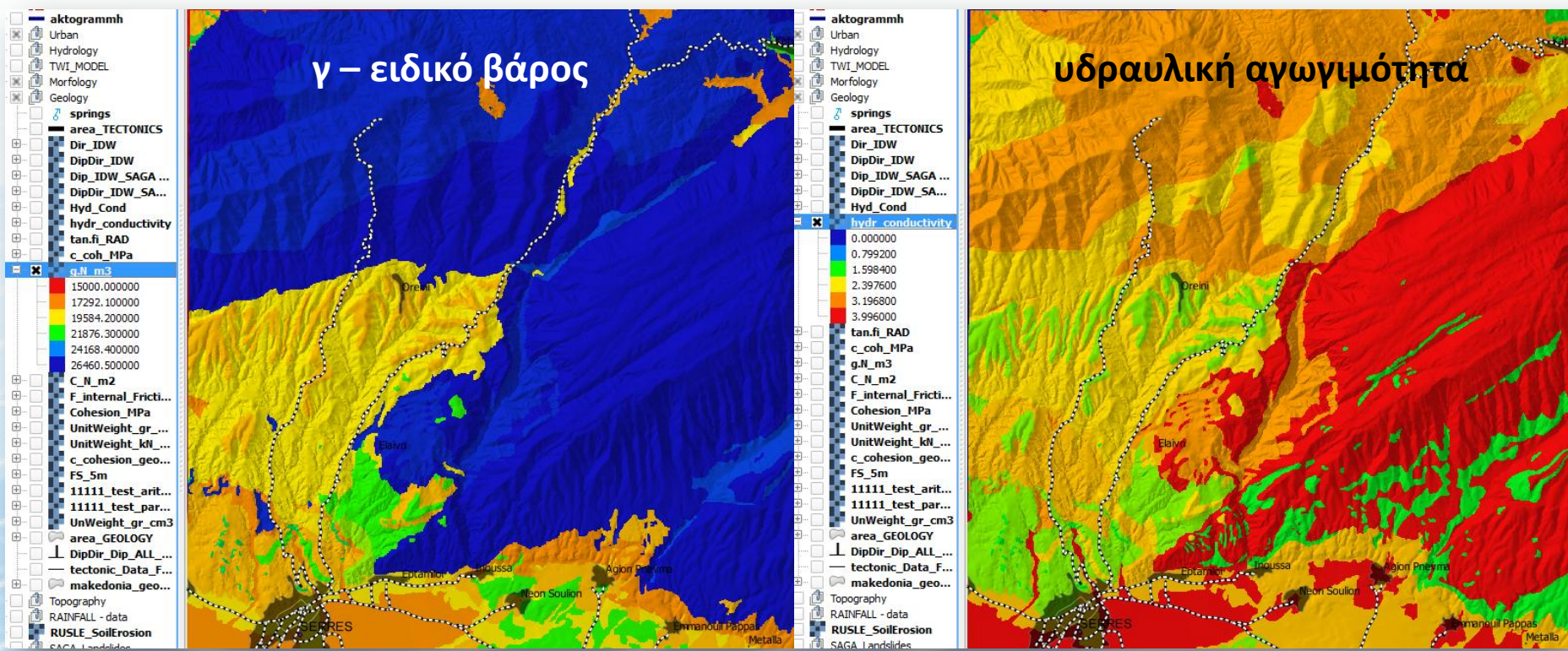
- Προετοιμασία των παραμέτρων για τον υπολογισμό του Συντελεστή Ασφάλειας (μετατροπή διανύσματος σε Raster); c' – ενεργός συνοχή & ϕ' – ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής



Common borders. Common solutions.

Χωρική Κατανομή Ειδικού Βάρους & Υδραυλικής Αγωγιμότητας

- Προετοιμασία των παραμέτρων για τον υπολογισμό του Συντελεστή Ασφάλειας: Ειδικό Βάρος και Υδραυλική Αγωγιμότητα (που απαιτούνται για να υπολογισθεί ο Κορεσμός στο **SAGA GIS**)



Common borders. Common solutions.

Πάχος και κορεσμός της ζώνης αστοχίας

Οι πιο δύσκολες παράμετροι του μοντέλου απειρομήκους πρανούς για εκτίμηση !

z: το πάχος της ζώνης αστοχίας (m)

m: το ποσοστό κορεσμού της ζώνης αστοχίας (%)

- Το πάχος της ζώνης αστοχίας (z) καθορίζεται ως συνάρτηση της κλίσης του πρανούς (β), ώστε να υπολογισθεί ο συντελεστής ασφάλειας
- Ποσοστό κορεσμού (m%) απαιτείται να συσχετιστεί με την βροχόπτωση (mm) και μια μέση περίοδο επαναφοράς εμφάνισης βροχόπτωσης συγκεκριμένου μεγέθους (εφόσον υπάρχουν δεδομένα για την εξεταζόμενη περιοχή)

Common borders. Common solutions.

Πάχος και κορεσμός της ζώνης αστοχίας

- Το πάχος της ζώνης αστοχίας (z) μπορεί να ορισθεί παραμετρικά (π.χ. 1m, 5m, 10m) και να λαμβάνεται υπόψη ως έχει ή **μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα με φυσική βάση για να συνδεθεί με το ανάγλυφο του εδάφους**. Δηλαδή φυσικές παράμετροι συνδεδεμένοι με την αποσάθρωση, τη διάβρωση και την εναπόθεση (μορφομετρικοί παράμετροι: κλίση, καμπυλότητα, θέση στο πραινές, κ.α. υδρολογικοί, γεωλογικοί κ.α.)

Ενδεικτική Σχετική Έρευνα: Dietrich και Reiss, 1995; Catani et.al, 2010; Shafique et al, 2011.

Χρήσιμες Πληροφορίες:

- [Pan-European Soil Databases for Landslide Mapping \(JRC\)](#)
- [ESDAC Data Inventory](#)
- [EU Soils](#)

Common borders. Common solutions.

Πάχος και κορεσμός της ζώνης αστοχίας

- Το **Ποσοστό Κορεσμού Percentage (m %)** είναι αναγκαίο να συσχετιστεί με την βροχόπτωση (mm) και μια μέση περίοδο επαναφοράς εμφάνισης βροχόπτωσης συγκεκριμένου μεγέθους (εφόσον δεδομένα υπάρχουν για την εξεταζόμενη περιοχή)
γ – ειδικό βάρος
- Δημιουργεί το Ποσοστό Κορεσμού (SP) χρησιμοποιώντας το στοιχείο WETNESS INDEX στο SAGA GIS
- Σημείωση! Το **SP υπολογίζεται** για ένα **αντίστοιχο πάχος της ζώνης αστοχίας**
- Βιβλιογραφία και βοήθεια δίνονται μέσα από το πρόγραμμα SAGA GIS (βλέπε παρακάτω).

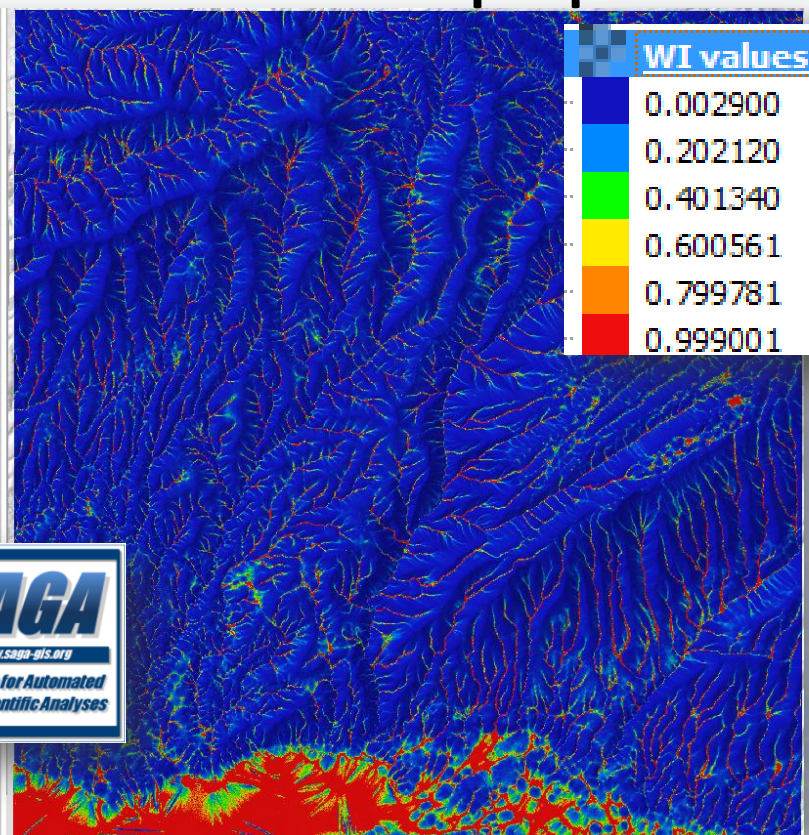
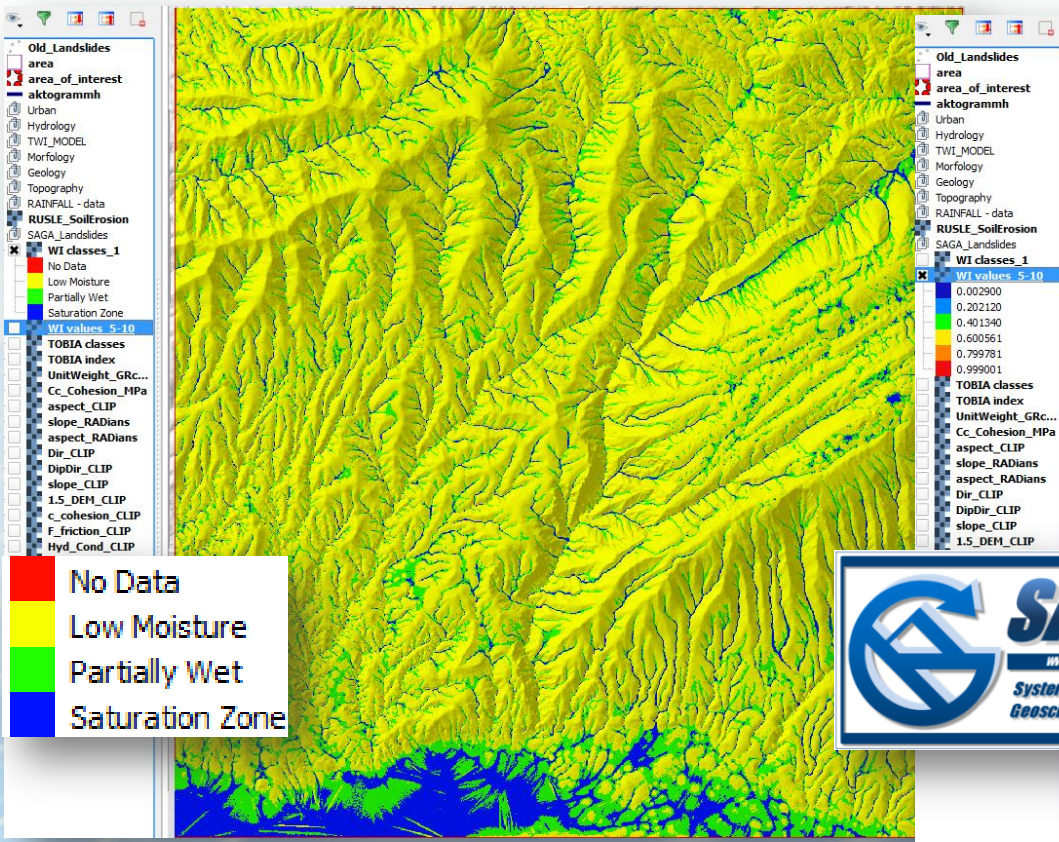
Βιβλιογραφία:

- Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979) A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrology Science Bulletin, 24, 43-69..
- Montgomery D. R., Dietrich, W. E. (1994) A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. Water Resources Research, 30, 1153-1171.

Ποσοστό κορεσμού της ζώνης αστοχίας

Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας

Ποσοστό Κορεσμού



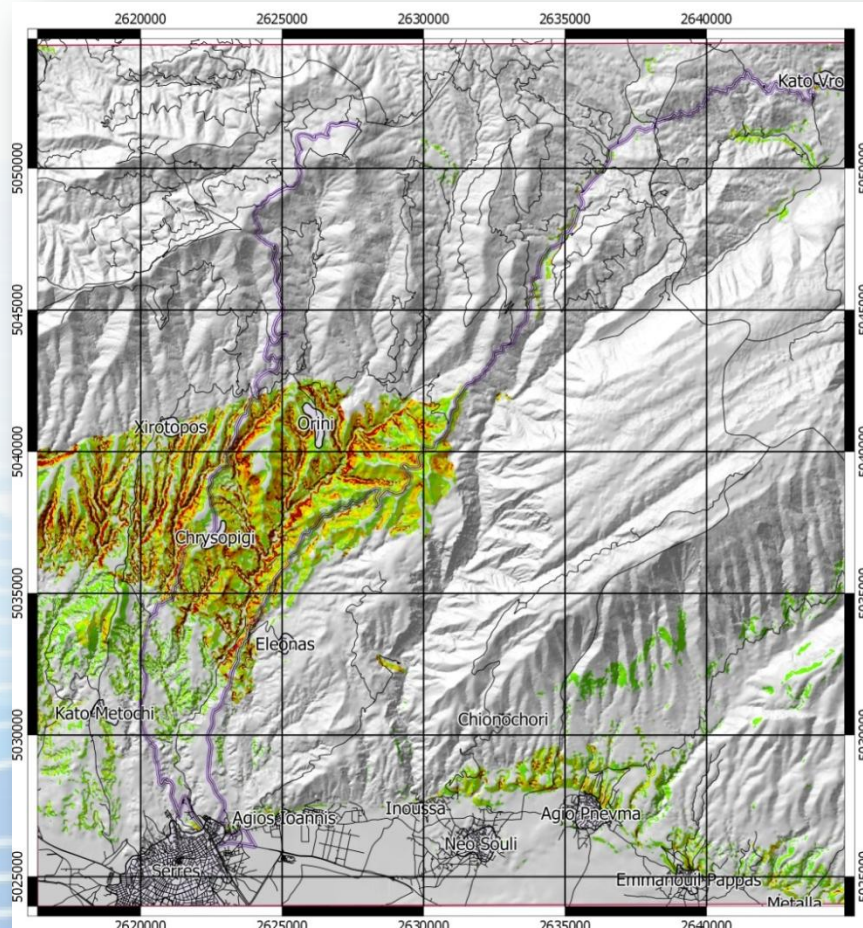
Σημείωση! Τα χρώματα του υπομνήματος αντιστοιχούν σε μια συνεχή τιμή μετάβασης

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

ΥΓΡΕΣ
συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας: 1m



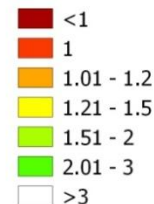
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
200713**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

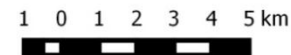
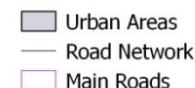
Triggering factor: Precipitation (200 yrs)
Sliding mass thickness: 1m
Moisture conditions: Wet

Legend

Factor of Safety



General data



Scale 1 : 125000

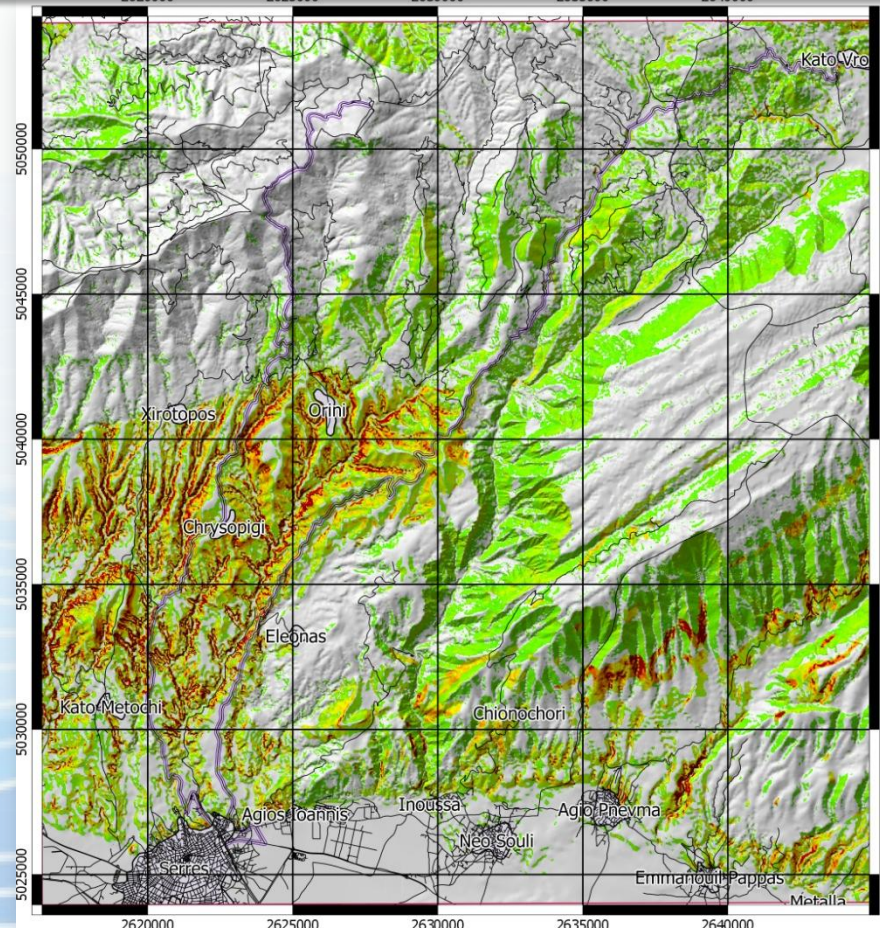
Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

ΥΓΡΕΣ
συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας: 5m



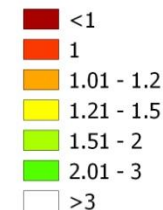
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
200713**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

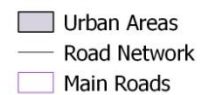
Triggering factor: Precipitation (200 yrs)
Sliding mass thickness: 5m
Moisture conditions: Wet

Legend

Factor of Safety



General data



1 0 1 2 3 4 5 km

Scale 1 : 125000

Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Κατολισθητική Επικινδυνότητα – Σεισμός / Νερά

**Μοντέλο Απειρομήκους Πρανούς (Συντελεστής Ασφάλειας
για ΥΓΡΟ πρανές υπό σεισμική φόρτιση)**

$$F = \frac{c' + (z \gamma \cos^2 \beta - z \rho a \cos \beta \sin \beta - \gamma_w z_w \cos^2 \beta) \tan \phi'}{z \gamma \sin \beta \cos \beta + z \rho a \cos^2 \beta}$$

ϕ' : ενεργός γωνία τριβής του γεωϋλικού ($^\circ$)

c' : ενεργός συνοχή του γεωϋλικού (kPa),

β : γωνία κλίσης πρανού (Deg),

ρ : πυκνότητα (Kg/m³)

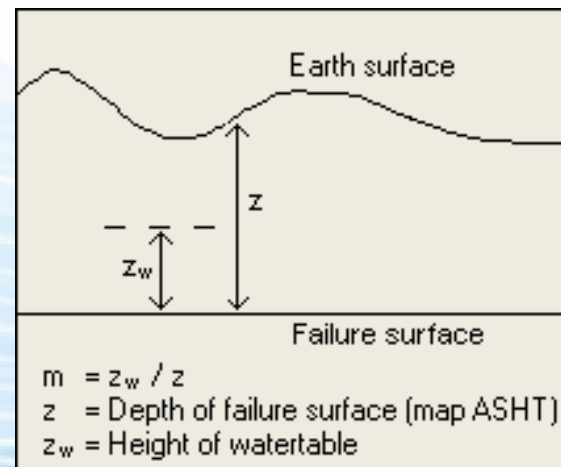
γ : ειδικό βάρος (kN/m³),

γ_w : ειδικό βάρος νερού (kN/m³),

a : σεισμική επιτάχυνση εδάφους (m/sec²)

z : κανονικό πάχος ζώνης αστοχίας (m)

$m = z_w / z$ % κορεσμού με νερό της ζώνης αστοχίας





Project funded by the
EUROPEAN UNION



Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

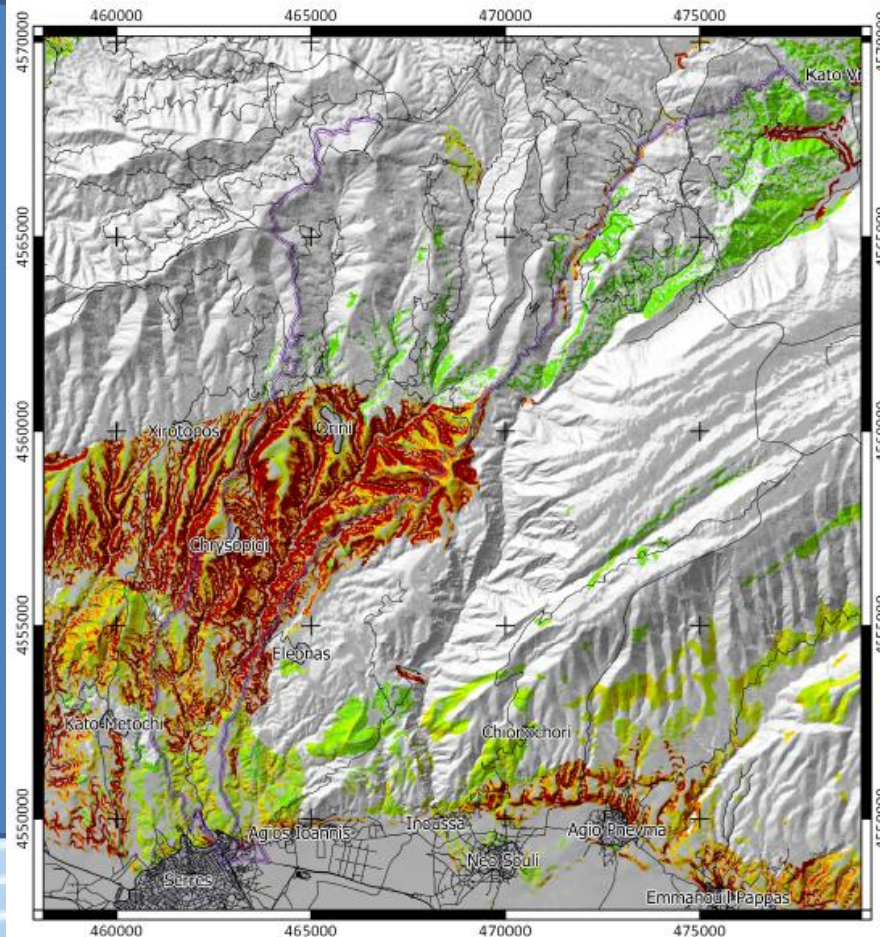
ΥΓΡΕΣ
συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας:

Μεταβλητό

&

Σεισμός (T=475
έτη)



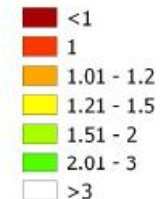
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
2007-13**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

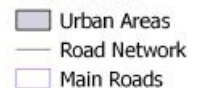
Triggering factors: Earthquake (475yrs)
Precipitation (50 yrs)
Sliding mass thickness: Variable
Moisture conditions: Wet

Legend

Factor of Safety



General data



1 0 1 2 3 4 5 km

Scale 1 : 125000

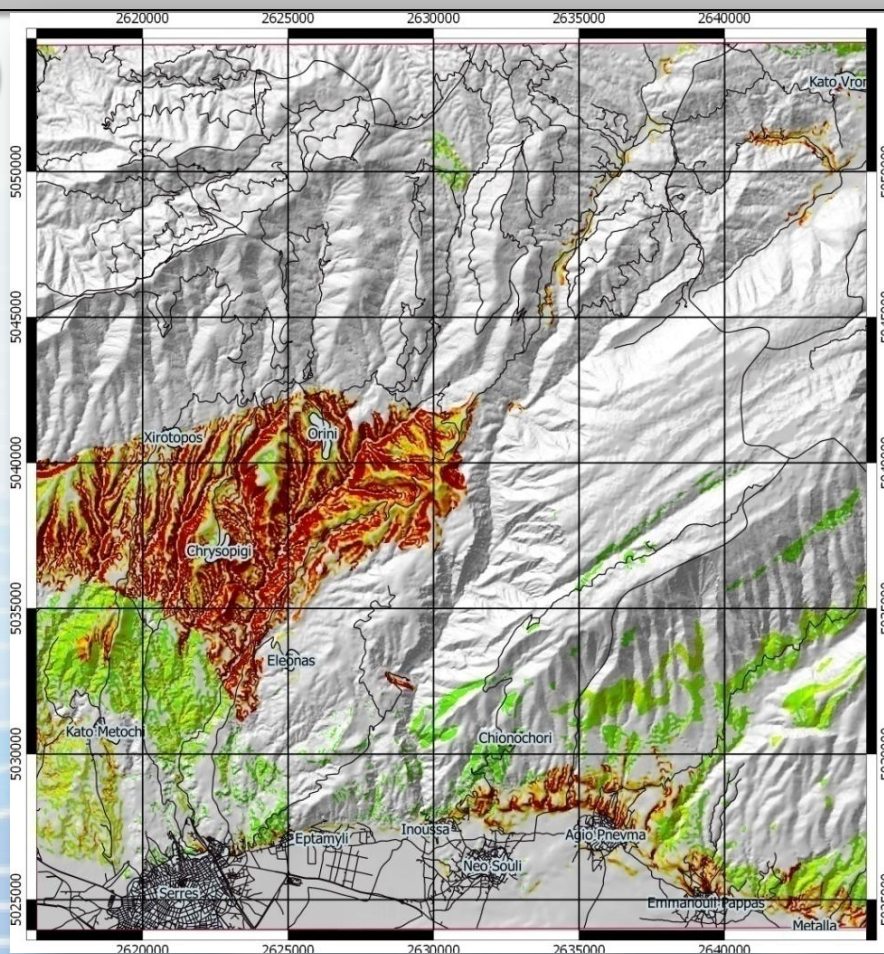
Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Geodetic Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

Σεισμός (475 έτη)
ΞΗΡΕΣ συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας: 1m



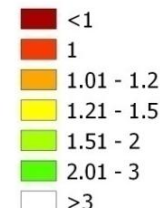
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
2007-13**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

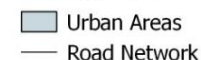
Triggering factor: Earthquake (475 yrs)
Sliding mass thickness: 1m
Moisture conditions: Dry

Legend

Factor of Safety



General data



1 0 1 2 3 4 5 km



Scale 1 : 125000

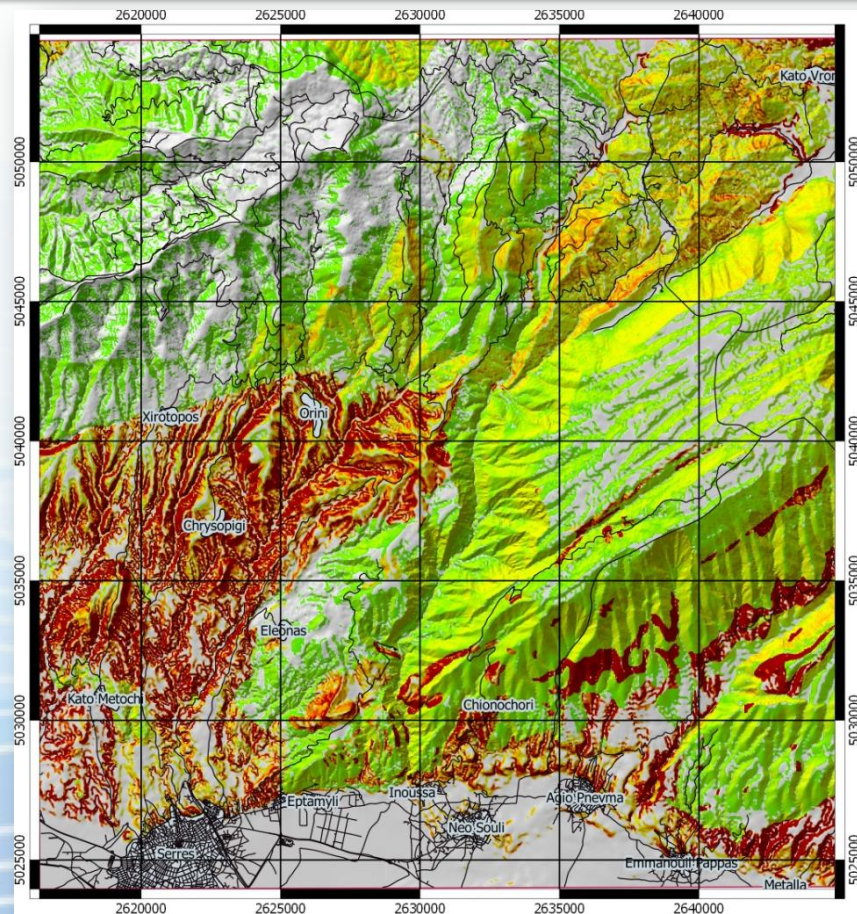
Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Geodetic Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

Σεισμός (475 έτη)
ΞΗΡΕΣ συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας: 5m



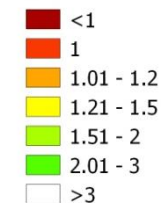
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
2007-13**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

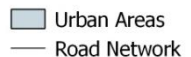
Triggering factor: Earthquake (475 yrs)
Sliding mass thickness: 5m
Moisture conditions: Dry

Legend

Factor of Safety



General data



1 0 1 2 3 4 5 km



Scale 1 : 125000

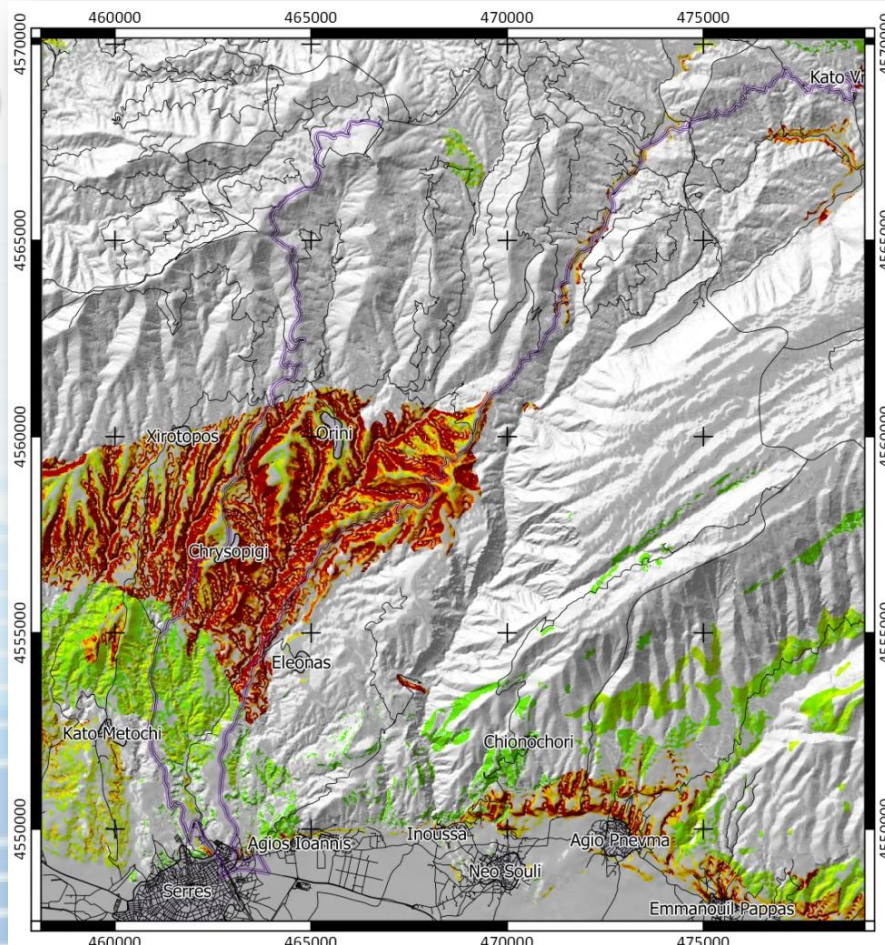
Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Geodetic Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Πιλοτική Εφαρμογή περιοχής Σερρών

Σεισμός (475 έτη)
ΥΓΡΕΣ συνθήκες

Πάχος ζώνης
αστοχίας: 1m



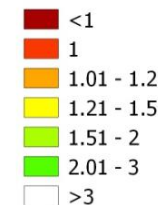
**SciNetNatHaz Project
Black Sea Basin JOP
2007-13**

**Infinite Slope Model
Factor of Safety map**

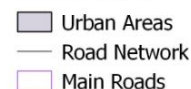
Triggering factors: Earthquake (475yrs)
Precipitation (50 yrs)
Sliding mass thickness: 1m
Moisture conditions: Wet

Legend

Factor of Safety



General data



1 0 1 2 3 4 5 km

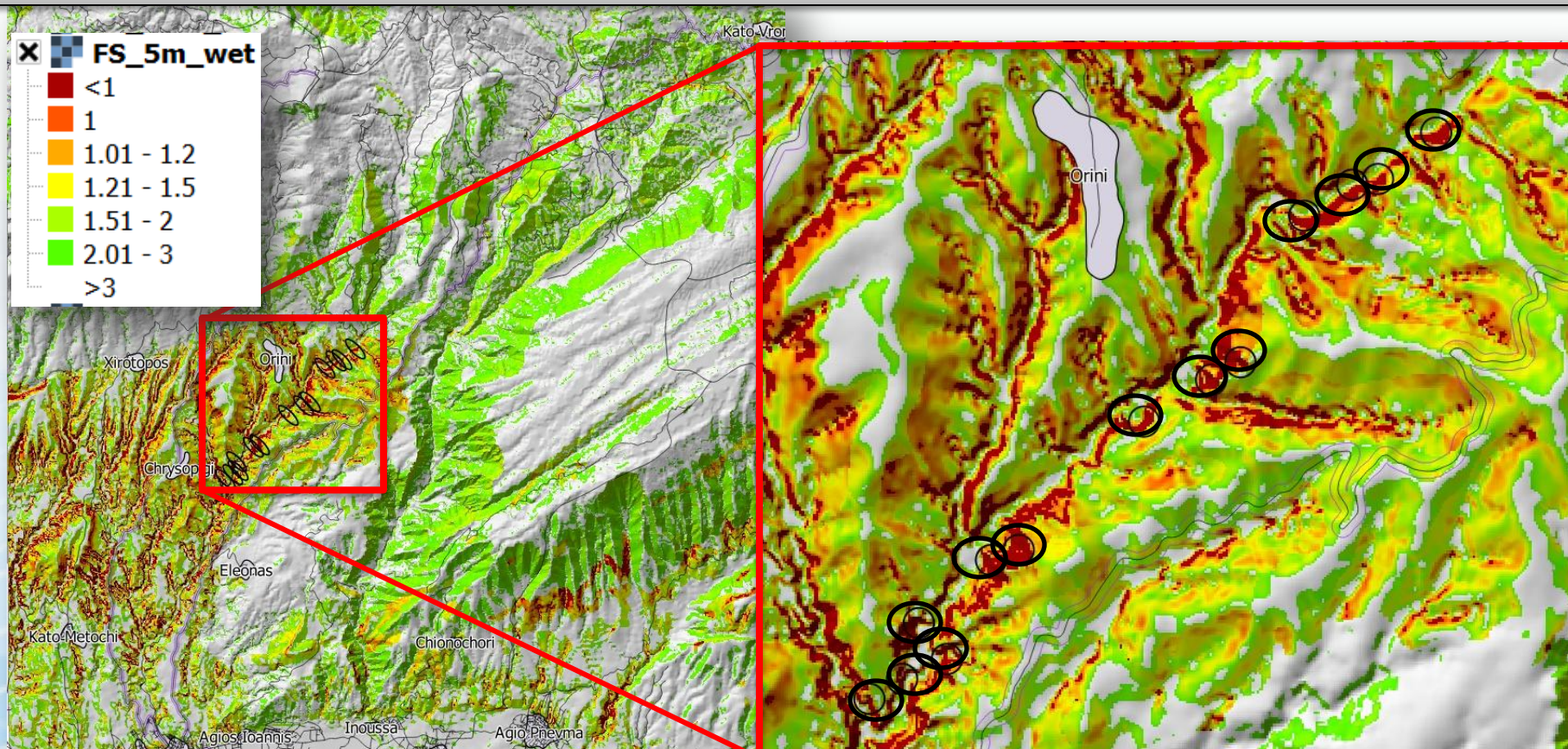


Scale 1 : 125000

Coordinate Reference System: HGRS
(Hellenic Geodetic Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

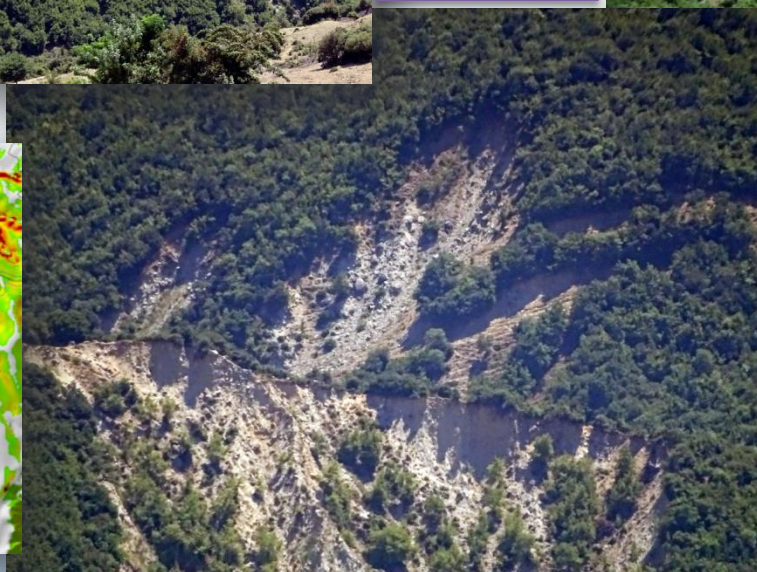
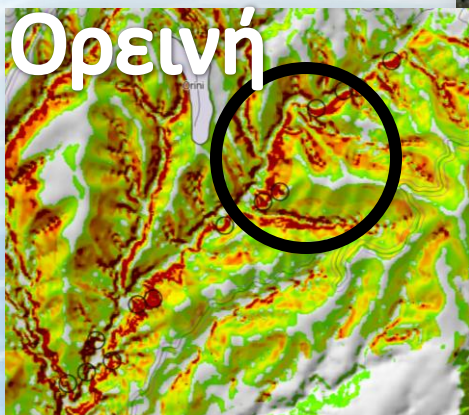
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ των Αποτελεσμάτων – Υγρές Συνθήκες & $z=5m$



Σύγκριση F_s με καταγεγραμμένες Κατολισθήσεις

Common borders. Common solutions.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ των Αποτελεσμάτων – Καταγραφμένες Κατολισθήσεις

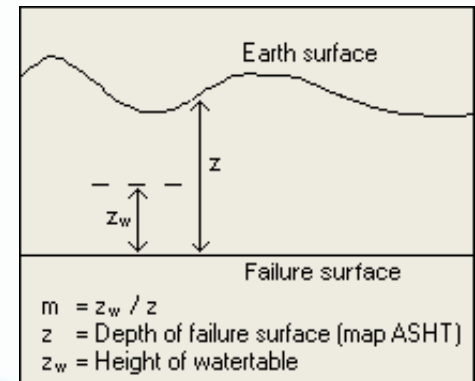


Common borders. Common solutions.

Κατολισθητική Επικινδυνότητα – Στατικές συνθήκες / Βροχόπτωση

**Ντετερμινιστικό Μοντέλο για κυκλικές
κατολισθήσεις (Ferentinou et.al 2006)**

$$F_s = 4.32 * \left[\frac{c'}{\gamma * H * \sin\beta} \right] + 1.22 * (1 - r_u) * \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} + 0.005$$



ϕ' : ενεργός γωνία τριβής του γεωϋλικού ($^{\circ}$)

c' : ενεργός συνοχή του γεωϋλικού (kPa),

γ : ειδικό βάρος (kN/m³),

β : γωνία κλίσης πρανούς (Deg),

γ_w : ειδικό βάρος νερού (kN/m³),

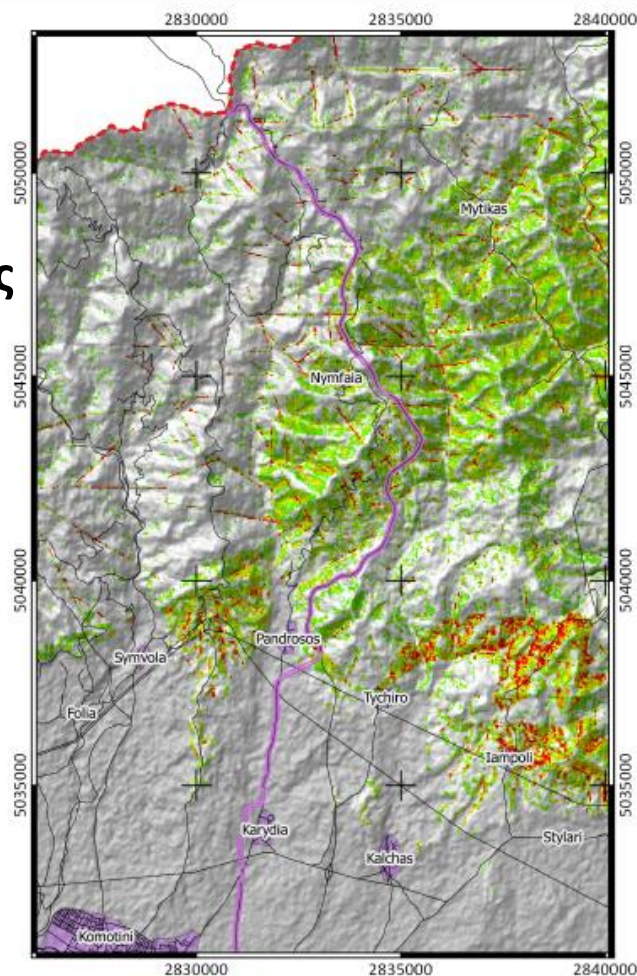
H : Ύψος πρανούς (m)

r_u : ποσοστό κορεσμού με νερό της
ζώνης αστοχίας (γ_w/γ)

Common borders. Common solutions.

Συντελεστής Ασφάλειας – Νυμφαία - Πιλοτική Περιοχή Εφαρμογής

- ✓ Κυκλικές κατολισθήσεις
- ✓ ΥΓΡΕΣ Συνθήκες
- ✓ Φωτογραμμώσεις
- ✓ Υψος Πρανούς: $H=20\text{m}$



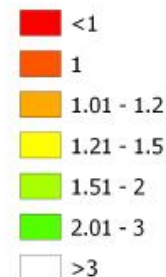
SciNetNatHaz Project Black Sea Basin JOP 2007-13

DETERMINISTIC MODEL for Circular Landslides FACTOR OF SAFETY MAP

Triggering Factor: Precipitation (50yrs)
Moisture Conditions: Wet
Sliding mass thickness: 20m

Legend

Factor of Safety



General Data



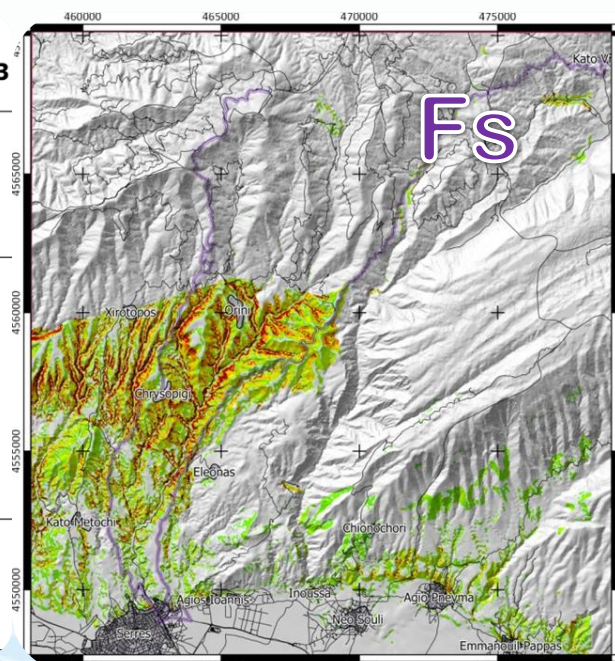
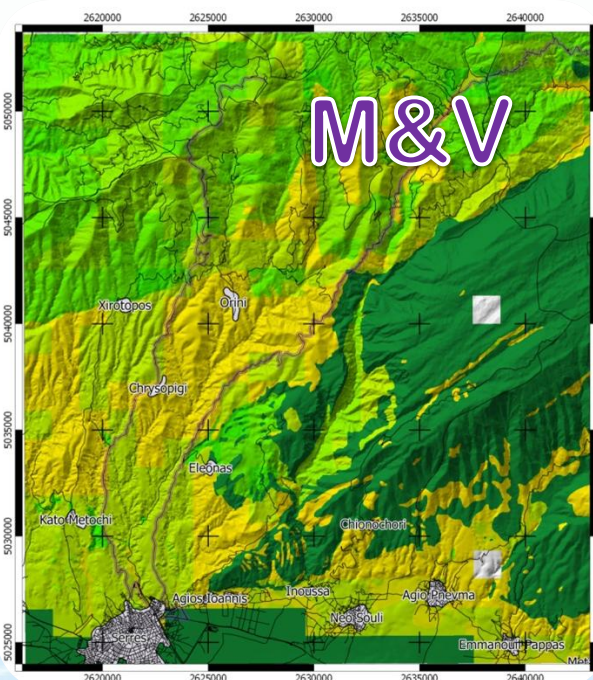
1 0 1 2 3 4 5 km

Scale 1 : 125 000

Coordinate Reference System: HGRS (Hellenic
Coordinate Reference System '87)

Common borders. Common solutions.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ των Αποτελεσμάτων – Σύγκριση Μεθοδολογιών



Common borders. Common solutions.

Αποτελέσματα & Σχολιασμός

- Όλες οι μεθοδολογίες απαιτούν περίπου **τον ίδιο τύπο και ίδιας ακρίβειας δεδομένα**. Ιδιαίτερης σημασίας η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων των εδαφικών & βραχωδών σχηματισμών
- Mora & Vahrson (M&V) **αποτελέσματα είναι ποιοτικά και γενικόλογα**, ακολουθεί η **FEMA (σεισμός)** και η πλέον «ακριβής» αποδεικνύεται ο F_s .
- Η μεθοδολογία της FEMA είναι η πλέον απαιτητική στην εφαρμογή ενώ η F_s ως η πλέον εφαρμόσιμη και ευρύτερα αντιληπτή.
- Οι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν είναι ομογενείς, όπως παρουσιάζονται στους χάρτες περιφερειακής κλίμακας Ε.Κ.Ε. Ο λόγος: τα χωρικά μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά τους και οι εξωγενείς παράγοντες, όπως: ρήγματα και αποσάθρωση.
- Η κατείσδυση (παράγοντας πρόκλησης) και η υγρασία (ποσοστό κορεσμού) είναι επίσης συσχετισμένα με τη ρηγμάτωση - τεκτονισμό.

Common borders. Common solutions.

Αδυναμίες

- Η ετερογένεια των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών
- Η ύπαρξη ζωνών έντονου τεκτονισμού υποβαθμίζουν σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού σχηματισμού, ανάλογα με το βαθμό ρηγμάτωσης-κερματισμού
- Η κατείδυση της βροχής και το επαγόμενο ποσοστό κορεσμού εξαρτάται και αυτό από το ποσοστό κερματισμού
- Τέλος, η αποσάθρωση είναι και αυτή συσχετισμένη με τον τεκτονισμό. Οι αποσαθρωμένες ζώνες, συχνά πλούσιες σε αργιλικά/αργιλώδη υλικά εντοπίζονται μέσα σε διαρρηγμένες ζώνες και καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά του γεωλογικού σχηματισμού
- **Εφόσον υπάρχει τρόπος να αποτιμηθεί η παράμετρος αυτή στον υπολογισμό του Συντελεστή Ασφάλειας, θα βελτώνε τις εκτιμήσεις**

Common borders. Common solutions.

Βελτιώνοντας την Ε.Κ.Ε με χρήση της Τηλεπισκόπησης

- Οι ζώνες διάρρηξης μπορούν να ανιχνευτούν με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης.
- Αντιστοιχούν σε «Φωτογραμμώσεις» σε δορυφορικές εικόνες. Όλες οι «φωτογραμμώσεις» ΔΕΝ αντιστοιχούν σε ρήγματα ή τεκτονικές διαρρήξεις
- Εικόνες Landsat TM και ETM+ data χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των τεκτονικών διαρρήξεων - ρηγμάτων
- Ζώνες εύρους 15m σχηματίσθηκαν εκατέρωθεν κάθε «φωτογράμμωσης» σχηματίζοντας έτσι μια ζώνη έντονου τεκτονισμού της τάξης των 30m.
- Οι μηχανικές παράμετροι των ζωνών αυτών μεταβλήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του γεωλογικού σχηματισμού και τις αρχικές του ιδιότητες.
- Τα νέα δεδομένα ενσωματώθηκαν στους αρχικούς γεωλογικούς χάρτες και οι επικαιροποιημένοι γεωλογικοί χάρτες χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο για τον υπολογισμό του F_s .

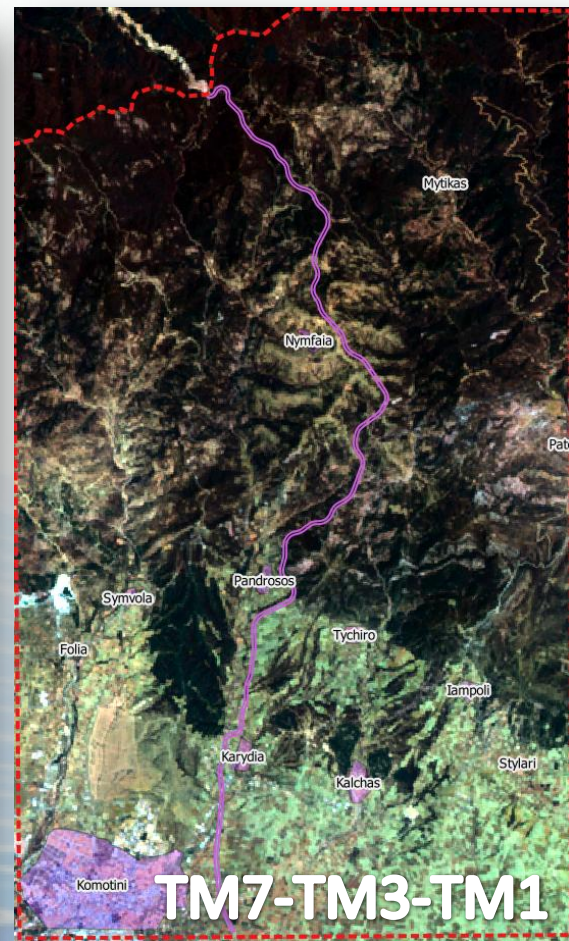
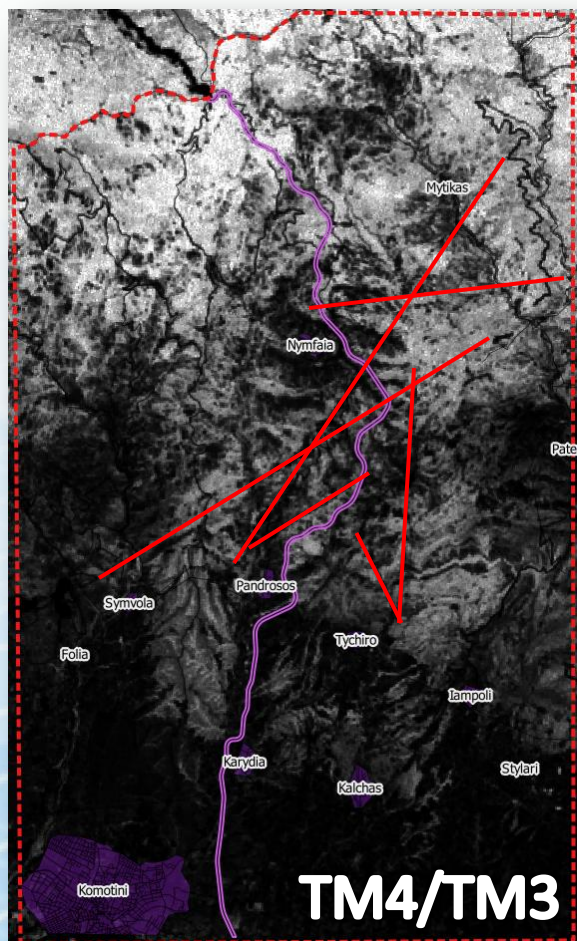


Project funded by the
EUROPEAN UNION



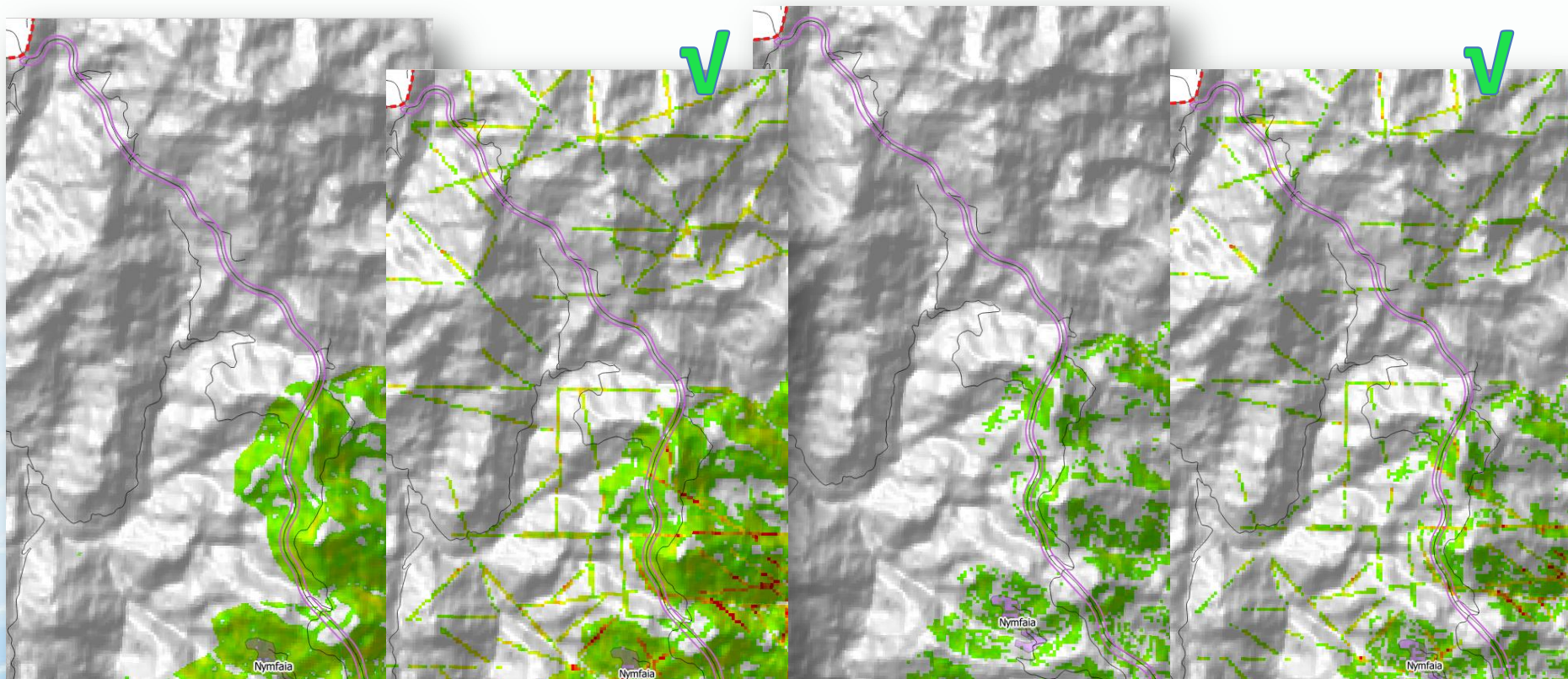
Common borders. Common solutions.

Βελτιώνοντας την Ε.Κ.Ε με χρήση της Τηλεπισκόπησης



Common borders. Common solutions.

Βελτιώνοντας την Ε.Κ.Ε με χρήση της Τηλεπισκόπησης

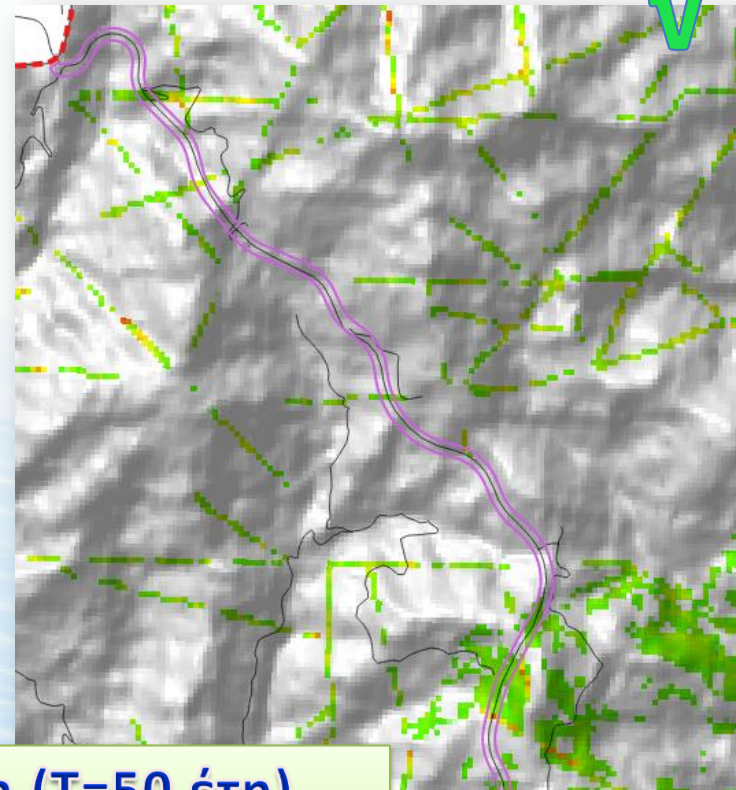


Αίτιο: Σεισμός
Πάχος ολισθαίνουσας πλάκας: 5m

Αίτιο: Βροχόπτωση (T=50 έτη)
Πάχος ολισθαίνουσας πλάκας: 5m

Common borders. Common solutions.

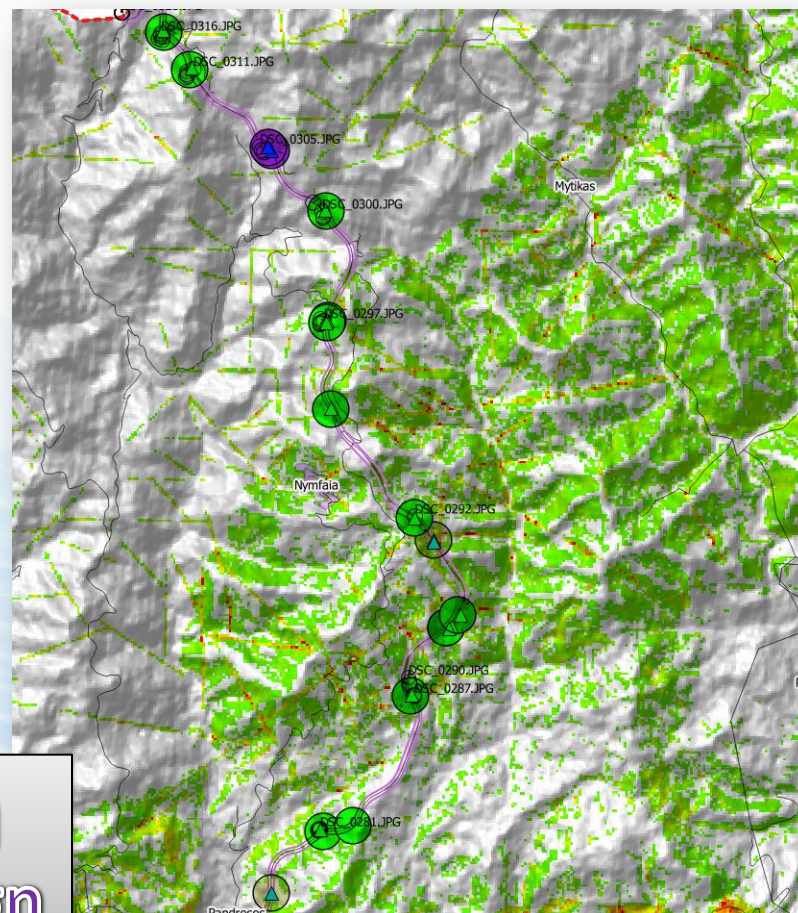
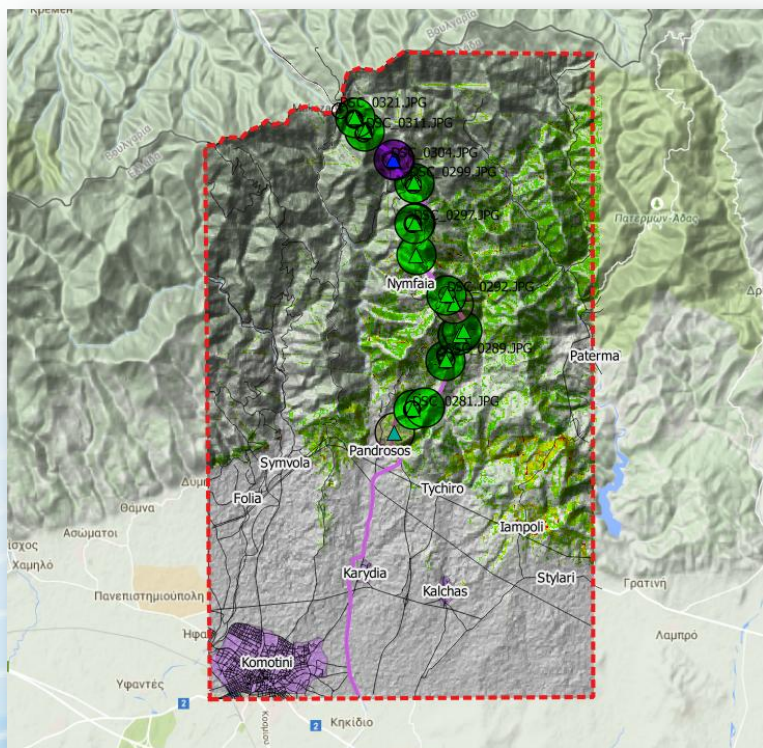
Χωρίς / Με ζώνες διάρρηξης



Αίτιο: Βροχόπτωση (T=50 έτη)
Πάχος Ολισθαίνουσας Πλάκας: 5m

Common borders. Common solutions.

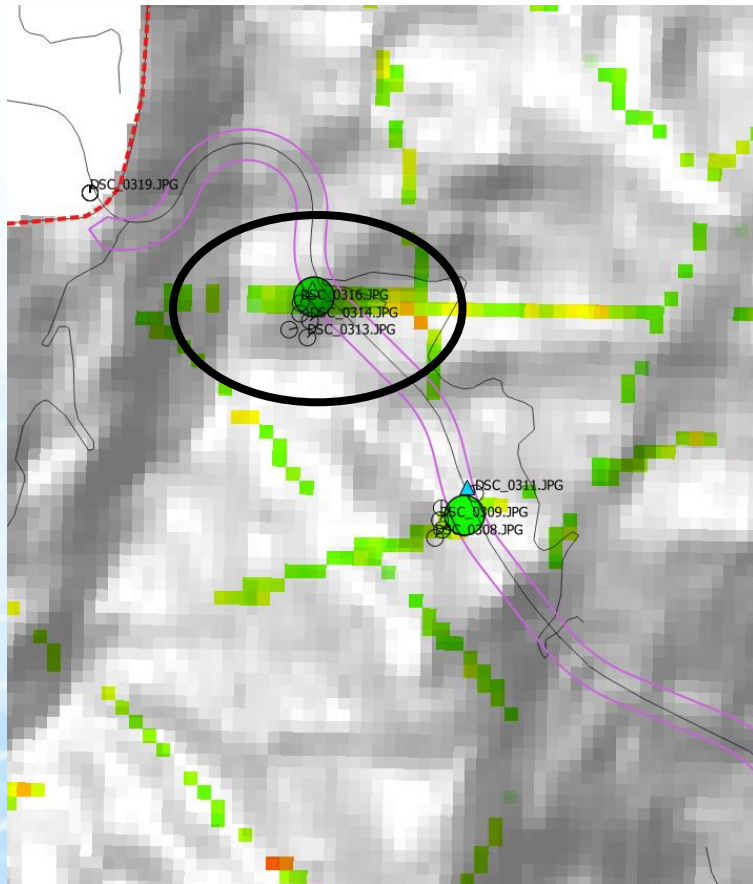
Αξιολόγηση Περιφερειακής ΕΚΕ – Περιοχή Νυμφαία



- Πράσινο: Επιτυχής εκτίμηση
- Μωβ: Αποτυχημένη εκτίμηση

Common borders. Common solutions.

Και τέλος: Η ακρίβεια της Ε.Κ.Ε !

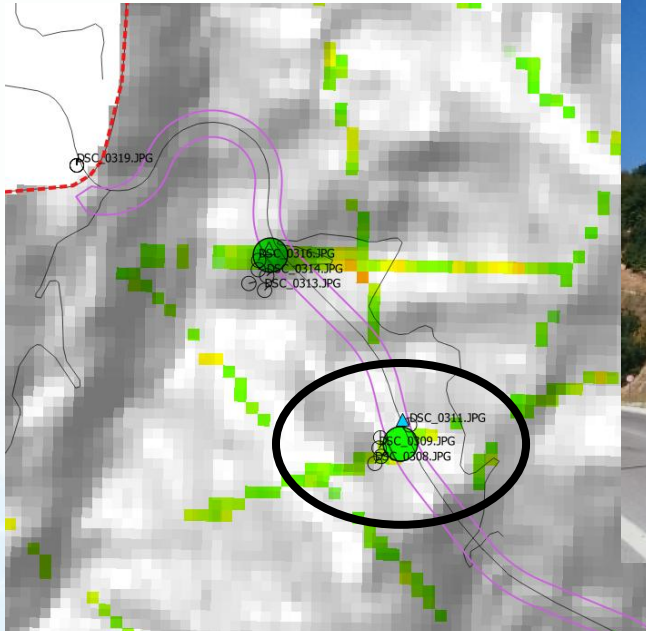




Project funded by the
EUROPEAN UNION



Common borders. Common solutions.



Common borders. Common solutions.

Landslide Hazard Assessment on Regional Scales:

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας

Acknowledgments:

The SciNetNatHaz Project
is partially funded by the EU and Hellenic National funds
within the context of the

Black Sea Basin Joint Operational Programme 2007-2013

K. Papatheodorou, TEI of Kentriki Makedonia, Hellas
Nikos Klimis, Democritus University of Thrace, Hellas

www.scinetnathaz.net