



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Αναλυτική Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων  
για την Ενισχυμένη Χαρτογραφική Απόδοση  
του Τοπογραφικού Αναγλύφου**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Δ. ΤΖΕΛΕΠΗΣ**

Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:**

**Β. ΝΑΚΟΣ**

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2023





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

# **Αναλυτική Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων για την Ενισχυμένη Χαρτογραφική Απόδοση του Τοπογραφικού Αναγλύφου**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Δ. ΤΖΕΛΕΠΗΣ**

**Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**  
**Β. ΝΑΚΟΣ, Καθ. ΕΜΠ (Επιβλέπων)**  
**Μ. ΚΑΒΟΥΡΑΣ, Καθ. ΕΜΠ**  
**Α.Μ. ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΥ, Ομ. Καθ. ΕΜΠ**

**Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή**  
**Χ. ΜΠΟΥΤΟΥΡΑ, Καθ. ΑΠΘ**  
**Κ. ΚΑΡΑΝΤΖΑΛΟΣ, Αν. Καθ. ΕΜΠ**  
**Β. ΚΡΑΣΑΝΑΚΗΣ, Επ. Καθ. ΠΑΔΑ**  
**Α. ΣΚΟΠΕΛΙΤΗ, Επ. Καθ. ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, 2023**

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.)

“Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π. δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα” (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

©2023 Νικόλαος Δ. Τζελέπης (Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος).

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.



*“Light reveals all!”*

Eduard Imhof, 1965



*Στο Τινάκι, το Μελινάκι, το Μαγιουλάκι,  
τη Νίκη, τον Δημήτρη, τον Πανούλη.*

*Την οικογένειά μου.*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδακτορική διατριβή με τίτλο «*Αναλυτική Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων για την Ενισχυμένη Χαρτογραφική Απόδοση του Τοπογραφικού Αναγλύφου*» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας του Τομέα Τοπογραφίας, στη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Αποτελεί τη συνέχεια και την εξέλιξη μιας πολυετούς ερευνητικής, εκπαιδευτικής και επαγγελματικής ενασχόλησης με οπτικοποιήσεις του τοπογραφικού αναγλύφου και με έμφαση στη μέθοδο της φωτοσκίασης, ύστερα από την αρχική επαφή μαζί της στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, κατά τις προπτυχιακές σπουδές μου στο ΕΜΠ. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της ενασχόλησης, ήταν πάντα εντυπωσιακό το γεγονός πως αν και πρόκειται για μία τεχνική απεικόνιση που χρησιμοποιείται για περισσότερο από δύο αιώνες στους χάρτες, εντούτοις η ερευνητική δραστηριότητα που αναπτύσσεται γύρω από αυτήν συνεχίζει να εξελίσσεται και να γεννά νέες προκλήσεις και καινοτομίες.

Με επίκεντρο το *Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Ζυρίχης (ETH Zurich / Swiss Federal Institute of Technology in Zurich)* και με εμβληματική μορφή τον *Eduard Imhof (1895-1986)*, ιδρυτή του Ινστιτούτου Χαρτογραφίας και συγγραφέα του συγγράμματος αναφοράς “*Cartographic Relief Representation*” (πρώτη κυκλοφορία στη γερμανική γλώσσα το 1965 και στην αγγλική γλώσσα το 1982), αναπτύσσεται από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα η περίφημη Ελβετική χαρτογραφική σχολή, η οποία λειτουργεί ως κοιτίδα εκπαιδευτικής και ερευνητικής δραστηριότητας, αναδεικνύοντας και προσελκύοντας εξέχοντες επιστήμονες. Στις υποδειγματικές σειρές χαρτών και ατλάντων που παραδίδει στην παγκόσμια χαρτογραφική κοινότητα το ΕΤΗ, σε συνεργασία με την *Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Τοπογραφίας της Ελβετίας (Swiss Federal Office of Topography / swisstopo)*, αναπόσπαστο μέρος αποτελούν οι επιλογές στην απεικόνιση του τοπογραφικού αναγλύφου, οι οποίες απαρτίζουν έναν απαράμιλλο συνδυασμό καλλιτεχνικής δεξιοτεχνίας και τεχνικής ακρίβειας, με χαρακτηριστικότερη περίπτωση το λεγόμενο «Ελβετικό στυλ» έγχρωμης φωτοσκίασης (*Swiss-Style Colour Relief Shading*). Δεν προκαλεί επ' ουδενί έκπληξη το γεγονός, ότι η πρόκληση του 21<sup>ου</sup> αιώνα για τις ερευνητικές προοπτικές της αναλυτικής φωτοσκίασης είναι η προσπάθεια

μίμησης των έξυπνων χειρισμών της χειρωνακτικής σχεδίασης με μεθόδους βαθιάς μάθησης και εργαλεία νευρωνικών δικτύων.

Η λογική της μεθόδευσης του πολλαπλού φωτισμού, δηλαδή του φωτισμού από περισσότερες της συνήθους μίας και μοναδικής πηγής, διαφορετικές κατευθύνσεις φωτισμού έτυχε μεμονωμένων συζητήσεων, κριτικών και εφαρμογών ανά τα χρόνια, χωρίς να έχει διερευνηθεί εκτενέστερα από την επιστημονική κοινότητα. Είναι ωστόσο διαθέσιμη σε σύγχρονα λογισμικά περιβάλλοντα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (*ArcGIS Desktop/Pro/Online, QGIS+SAGA*) μέσω πρόσθετων ενοτήτων λογισμικού ή διαδικτυακών υπηρεσιών. Η μελέτη της ξεκίνησε με αφορμή συνεργατική ερευνητική εργασία στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ-ΕΜΠ και με βάση τα ενθαρρυντικά στοιχεία των πρώτων αποτελεσμάτων και το έντονο προσωπικό ενδιαφέρον, εξελίχθηκε στην παρούσα διδακτορική έρευνα, η οποία εύχομαι να συνεισφέρει στην περαιτέρω αξιοποίηση της μεθόδου.

Η ολοκλήρωση αυτής της ερευνητικής εργασίας δεν θα είχε επιτευχθεί χωρίς τη συνδρομή πολλών και ξεχωριστών προσώπων. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στον Ομότιμο Καθηγητή ΕΜΠ, κ. Βύρωνα Νάκο, ο οποίος μέσα από την πολυετή γνωριμία μας, από τα φοιτητικά χρόνια μέχρι και σήμερα σε συνεργασίες τόσο ερευνητικές, όσο και εκπαιδευτικές στα πλαίσια των μαθημάτων της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ, αποτέλεσε για μένα πηγή έμπνευσης και ένα μόνιμο κίνητρο για την συμπαγή προσέγγιση των ζητημάτων του μηχανικού (και όχι μόνον) με γνωστική αρτιότητα, ορθολογική διαχείριση και πρωτίστως, ηθική συνέπεια. Τον ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου, για την εμπιστοσύνη και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την επίβλεψη της διατριβής.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον Καθηγητή ΕΜΠ κ. Μαρίνο Κάβουρα, Διευθυντή του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ, από τον οποίο αποκόμισα πολύτιμες γνώσεις μέσω των συνεργασιών μας σε θέματα που άπτονται του τοπογραφικού αναγλύφου, και την Ομότιμο Καθηγήτρια, κα Αμαλία Αγατζά-Μπαλοδήμου, εκ των επιδραστικών προσωπικοτήτων της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ και συνολικά της γνωστικής περιοχής του ΑΤΜΜΓ, για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής μου. Θέλω επίσης με σεβασμό να αποτίσω φόρο τιμής στη μνήμη του Ομότιμου Καθηγητή ΕΜΠ, Γεωργίου Βέη που αποτέλεσε μέλος της ΤΣΕ, ενός εμπνευσμένου δασκάλου με ξεχωριστή αμεσότητα, τον οποίο είχα την τύχη να γνωρίσω

τόσο από τα έδρανα του αμφιθεάτρου, όσο και από τη συμμετοχή μου σε ερευνητικές εργασίες υπό την καθοδήγησή του.

Ευχαριστώ την Καθηγήτρια ΑΠΘ, κα Χρυσούλα Μπούτουρα, τον Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ, κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο, τον Επίκουρο Καθηγητή ΠΑΔΑ κ. Βασίλειο Κρασσανάκη και την Επίκουρο Καθηγήτρια ΕΜΠ κα Ανδριανή Σκοπελίτη για την πρόθυμη συμμετοχή τους στην επταμελή εξεταστική επιτροπή της διατριβής. Η συμβολή του κ. Κρασσανάκη ήταν καθοριστικής σημασίας και στην εξέλιξη της διατριβής, τόσο με την εργασία υποδομής που έχει αφήσει παρακαταθήκη στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ και τις συμβουλές σε ζητήματα οφθαλμικών παρατηρήσεων, όσο και με την ουσιώδη ερευνητική συνεργασία που είχαμε. Επιπλέον, οφείλω θερμές ευχαριστίες για την ηθική και έμπρακτη στήριξη και για την αγαστή συνεργασία στα εργαστηριακά μαθήματα στην κα Σκοπελίτη, και φυσικά στην αγαπητή συνάδελφο ΕΤΕΠ, Δρ. ΑΤΜ Λήδα Στάμου.

Οφείλω ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στην ΑΤΜ, κα Αλεξάνδρα Καλιακούδα για τη βοήθεια στη συλλογή πειραματικών δεδομένων, στα πλαίσια της διπλωματικής της εργασίας που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ. Ευχαριστίες απευθύνω ακόμη σε νυν και πρώην μέλη του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας και της ΣΑΤΜΜ του ΕΜΠ (ιδίως στον Βαγγέλη και στον Θανάση), για τα όσα μοιραζόμαστε στον κοινό εργασιακό μας χώρο, καθώς και στους στενούς μου φίλους που ελαχιστοποιούν τα διαφυγόντα κέρδη της καθημερινότητας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερω το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών που μου παρείχε οικονομική στήριξη για την εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής. Και φυσικά ευχαριστώ το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής και τον Τομέα Τοπογραφίας, των οποίων αισθάνομαι υπερήφανος που αποτελώ μέλος.

Τέλος, οφείλω ευγνωμοσύνη στην οικογένειά μου για την αμέριστη και διαρκή στήριξή της, αφού χωρίς αυτήν δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωση της διατριβής.

Νίκος Τζελέπης

Δεκέμβριος 2022





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	xi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xiii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xxi
EXTENDED ABSTRACT.....	xxiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Αντικείμενο της διατριβής.....	3
Περίγραμμα της διατριβής.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗ.....	9
1.1 Το τοπογραφικό ανάγλυφο και οι βασικές μέθοδοι αναπαράστασής του.....	9
1.2 Ο φωτισμός ως οπτικό ερέθισμα αντίληψης του χώρου και ως φυσική διαδικασία.....	13
1.3 Απλουστεύσεις και παραδοχές για τη φωτοσκίαση στους χάρτες.....	17
1.4 Αναλυτική φωτοσκίαση του αναγλύφου.....	18
1.5 Σύγχρονες εξελίξεις στην αναλυτική φωτοσκίαση.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ.....	29
2.1 Τοπική προσαρμογή της φωτεινής πηγής.....	30
2.2 Συνδυασμοί φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων.....	31
2.3 Φωτοσκίαση με μοντέλα φωτισμού του ουρανού.....	34
2.4 Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ).....	35
2.5 Συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής και ΦΠΚ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΦΠΚ.....	43
3.1 Προετοιμασία δεδομένων πειράματος.....	44
3.1.1 Επιλογή περιοχών μελέτης.....	44
3.1.2 Επεξεργασία ΨΜΕ.....	47
3.1.3 Υλοποίηση εικόνων φωτοσκίασης.....	51
3.2 Πειραματική διαδικασία καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων.....	53
3.2.1 Σύστημα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων και παράμετροι.....	53
3.2.2 Συμμετέχοντες (υποκείμενα του πειράματος) και διαδικασία.....	56
3.3 Ανάλυση καταγραφών των οφθαλμικών κινήσεων.....	58
3.3.1 Άμεση σύγκριση βασικών και παράγωγων μεγεθών καταγραφής.....	59
3.3.2 Σύγκριση βάσει του δείκτη αξιολόγησης LRI και εμπειρογνωμόνων.....	62

3.4	Συμπεράσματα.....	67
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΦΠΚ .....	71
4.1	Καθολικά σταθμισμένη (global-weighted) ΦΠΚ .....	71
4.2	Πλαγιο-σταθμισμένη (oblique-weighted) ΦΠΚ .....	72
4.2.1	Πρωτότυπη τεχνική του Mark (MDOW) .....	72
4.2.2	Παραλλαγή των Loissios et al. ....	74
4.2.3	Νέες παραλλαγές .....	75
4.3	Σταθμισμένη ΦΠΚ βάσει πρόσπτωσης του φωτός (incident-weighted).....	78
4.4	Υλοποίηση των μοντέλων και εφαρμογή .....	79
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΦΠΚ ...	83
5.1	Κατεύθυνση φωτισμού για αποτελεσματική αντίληψη .....	83
5.2	Αναλυτική προσέγγιση της βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού .....	86
5.2.1	Θεωρητική αποτίμηση .....	86
5.2.2	Προσδιορισμός βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού σε περιοχή μελέτης .....	91
5.3	Σταθμισμένος συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής και ΦΠΚ .....	93
5.4	Σταθμισμένος συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης με μοντέλα ΦΠΚ .....	96
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΜΕ ΦΠΚ .....	99
6.1	Επιλογή περιοχών ελέγχου και προετοιμασία οπτικού υλικού .....	100
6.2	Ερωτηματολόγιο και συμμετέχοντες .....	104
6.3	Παρουσίαση και ανάλυση βαθμολογήσεων .....	106
6.3.1	Σύγκριση μοντέλων φωτοσκίασης μίας πηγής, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης και ΦΠΚ .....	108
6.3.2	Σύγκριση συνδυασμών βέλτιστου φωτισμού μίας πηγής με μοντέλα ΦΠΚ	110
6.4	Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της ανάλυσης .....	111
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	115
	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα .....	115
	Σκέψεις για μελλοντική έρευνα .....	122
	ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ .....	124
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	125
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	135
A.	Αποσπάσματα οθόνης των διαδικτυακών ερωτηματολογίων .....	135
B.	Διαγράμματα ροής και φόρμες εισαγωγής δεδομένων των μοντέλων φωτοσκίασης (περιβάλλον λογισμικού: <i>ArcGIS ModelBuilder</i> ) .....	152
	ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ .....	168

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1:</b> Απεικόνιση εξάρσεων του τοπογραφικού αναγλύφου με καλλιτεχνικά σύμβολα που προσεγγίζουν τα φυσικά τους σχήματα. Απόσπασμα του Χάρτη του Καντονίου της Ζυρίχης, από τον Jos Murer το 1566 (Imhof, 1982).	10
<b>Εικόνα 1.2:</b> Αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου με ισοϋψείς καμπύλες και με υψομετρικά χρώματα (Imhof, 1982).	11
<b>Εικόνα 1.3:</b> Αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου με γραμμοσκίαση της κλίσης (Imhof, 1982).	12
<b>Εικόνα 1.4:</b> Αναπαράσταση τοπογραφικού αναγλύφου με φωτοσκίαση, αμιγώς και σε συνδυασμό με θεματικό χάρτη Περιοχή Νότιας Πίνδου (Νάκος, 2021).	13
<b>Εικόνα 1.5:</b> Διαφοροποίηση του βάθους παρατήρησης λόγω ατμοσφαιρικής προοπτικής (αριστερά πριν, δεξιά μετά την εφαρμογή). Περιοχή στην Πολιτεία Νεβάδα, ΗΠΑ (Jenny & Patterson, 2020).	14
<b>Εικόνα 1.6:</b> Φυσικός φωτισμός και οι παράγοντες που τον επηρεάζουν κατά τις διαδρομές του φωτός (Tzeleris & Nakos, 2003).	15
<b>Εικόνα 1.7:</b> Προσθήκη περιβάλλοντος φωτός (αριστερά πριν, δεξιά μετά την εφαρμογή) – Περιοχή στην Πολιτεία Washington, ΗΠΑ ( <a href="https://www.linkedin.com/pulse/ambient-hillshading-fme-jan-rykr">https://www.linkedin.com/pulse/ambient-hillshading-fme-jan-rykr</a> ).	18
<b>Εικόνα 1.8:</b> Στοιχεία προσανατολισμού (ζενίθια γωνία και γωνία αζιμουθίου) της τοπικής καθέτου του εδάφους, ( $\theta, \varphi$ ) και της φωτεινής δέσμης ( $\theta_0, \varphi_0$ ) και η μεταξύ τους γωνία πρόσπτωσης, $i$ του φωτισμού στο έδαφος.	19
<b>Εικόνα 1.9:</b> Βασικά χαρακτηριστικά της φωτοσκίασης αναγλύφου με το ελβετικό στυλ. Επάνω αριστερά, φωτοσκίαση διαχυτικής αντανάκλασης, επάνω δεξιά, φωτοσκίαση βάσει προσανατολισμού, κάτω αριστερά, ενιαίος φωτεινός τόνος στις επίπεδες περιοχές και κάτω δεξιά, ατμοσφαιρική προοπτική (Jenny, 2001).	21
<b>Εικόνα 1.10:</b> Φωτοσκίαση αναγλύφου με οπτικοποίηση των καμπυλοτήτων του εδάφους. Αριστερά, συνήθης φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού, δεξιά, φωτοσκίαση ενισχυμένη με την οριζόντια καμπυλότητα – Ηφαιστειώδης περιοχή στη Ν. Χαβάη (Kennelly, 2008).	23
<b>Εικόνα 1.11:</b> Φωτοσκίαση αναγλύφου με δείκτες ορατότητας πολλαπλών κατευθύνσεων, ή MVI (Multidirectional Visibility Index). Αριστερά η συνήθης φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού, δεξιά οι συνδυασμοί της με διάφορες εκδοχές του δείκτη MVI. Περιοχή Λιουμπλιάνας, Σλοβενία (Podobnikar, 2012).	24
<b>Εικόνα 1.12:</b> Φωτοσκίαση αναγλύφου μέσω Συντελεστή Θέασης του Ουρανού, ή SVF (Sky-view Factor). Περιοχή αρχαιολογικού χώρου στη Σλοβενία (Zaksek et al. 2011).	25
<b>Εικόνα 1.13:</b> Φωτοσκίαση με συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα U-Net (δεξιά) σε σύγκριση με τη συνήθη μέθοδο πλάγιου φωτισμού (αριστερά). Περιοχή στην Πολιτεία της Νότιας Καλιφόρνιας, ΗΠΑ (Jenny et al., 2021).	26
<b>Εικόνα 1.14:</b> Φωτοσκίαση με υπό όρους παραγωγικά, αντιπαραθετικά δίκτυα (δεξιά) σε σύγκριση με τη συνήθη μέθοδο πλάγιου φωτισμού (δεξιά). Ορεινή περιοχή στο δυτικό Θιβέτ (Li et al., 2022).	27
<b>Εικόνα 2.1:</b> Φωτοσκίαση γεωμετρικού μοντέλου που προσομοιώνει ορεινό όγκο με κορυφογραμμές όλων των διευθύνσεων (τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση του φωτός) και αναπαριστά τα προβλήματα από τη χρήση αποκλειστικά μίας φωτεινής πηγής (Imhof, 1982): (α) απεικόνιση μορφολογικών σχηματισμών διαφορετικού προσανατολισμού με τον ίδιο τόνο, λόγω κοινής, συμμετρικής απόκλισης από τις φωτεινές ακτίνες και (β) σχηματισμός δυσδιάκριτων, σκούρων τόνων σε περιοχές που στρέφονται μακριά από τη φωτεινή πηγή. 29	
<b>Εικόνα 2.2:</b> Φωτοσκίαση με ενιαία κατεύθυνση (αριστερά) και με τοπική προσαρμογή της κατεύθυνσης (δεξιά). Περιοχή Όρους Κιθαιρών, Στερεά Ελλάδα.	31

<b>Εικόνα 2.3:</b> Παράδειγμα συνδυασμού φωτοσκιάσεων πλάγιου και κατακόρυφου φωτισμού (δεξιά), με ανάμιξη φωτοσκίασης πλάγιου, διάχυτου φωτισμού από ΒΔ (αριστερά) και φωτοσκίασης κλίσης από κατακόρυφο φωτισμό (κέντρο) (Patterson & Hermann, 2004). ....	32
<b>Εικόνα 2.4:</b> Παράδειγμα συνδυασμού διαφορετικών φωτοσκιάσεων με σταθερούς συντελεστές: φωτοσκίαση πλάγιου, διάχυτου φωτισμού, αριστερά, τριπλός συνδυασμός των Lukas & Weibel (1995) στο κέντρο και διπλός συνδυασμός από ΒΔ και ΒΑ του Tzvetkof (2008) δεξιά - Περιοχή Simplon, Canton of Valais, Ελβετία.....	32
<b>Εικόνα 2.5:</b> Συνδυασμός με υπέρθεση και βέλτιστη ρύθμιση του βαθμού διαφάνειας κατά την ανάμιξη, τριών φωτοσκιάσεων διαφορετικού προσανατολισμού ως προς την κατεύθυνση και τη γωνία ύψους. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση με αζιμούθιο 350°, γωνία ύψους 70° και διαφάνεια 65%, φωτοσκίαση με αζιμούθιο 15°, γωνία ύψους 60° και διαφάνεια 50%, φωτοσκίαση με αζιμούθιο 270°, γωνία ύψους 55° και διαφάνεια 70% και τελικός συνδυασμός φωτοσκιάσεων (Gantenbein, 2012).....	33
<b>Εικόνα 2.6:</b> Συνδυασμός φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων ως σύνθεση χρωματικών συνιστωσών εικόνας RGB. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκιάσεις από τις κατευθύνσεις των αζιμουθίων 280°, 315° και 350° και η σύνθεση τους σε εικόνα RGB ως κόκκινης, πράσινης και μπλε συνιστώσας αντίστοιχα (Hobbs, 1995). ....	34
<b>Εικόνα 2.7:</b> Κάτοψη του ουράνιου θόλου και της κατάτμησής του σε τομείς, με την τοποθέτηση μίας πηγής φωτισμού σε κάθε τομέα (Kennelly & Stewart, 2006).....	35
<b>Εικόνα 2.8:</b> Αποδόσεις φωτοσκίασης του αναγλύφου με διάφορα μοντέλα φωτισμού του ουρανού: στην επάνω σειρά, πλάγιος φωτισμός με μία πηγή (αριστερά), έντονη ηλιοφάνεια (κέντρο), καθαρός ουρανός (δεξιά) και στην κάτω σειρά, θολή ατμόσφαιρα (αριστερά), νεφελώδης ουρανός (κέντρο), ομοιόμορφος φωτισμός (δεξιά) (Kennelly & Stewart, 2014) - Περιοχή του Grand Canyon, Arizona, ΗΠΑ. ....	36
<b>Εικόνα 2.9:</b> Αναλυτική διαδικασία παραγωγής Πλαγιο-σταθμισμένης Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων ( <i>Multi-Directional Oblique-Weighted Hillshade, MDOW</i> , Mark, 1992). Περιοχή Ν. Χαβάης.....	37
<b>Εικόνα 2.10:</b> Απόσπασμα του χάρτη έγχρωμου φωτοσκιασμένου αναγλύφου των όμορων Ηνωμένων Πολιτειών από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ, με χρήση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και με την τεχνική πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW) του Mark (δεξιά) - Περιοχή του Grand Canyon, Arizona, ΗΠΑ ( <a href="http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011">pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011</a> ). ....	37
<b>Εικόνα 2.11:</b> Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων ΦΠΚ. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992), ΦΠΚ με καθολικά βάρη στάθμισης και πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007). Ορεινή περιοχή δυτικά της πόλης Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ, σε κλίμακα 1:30.000. ....	38
<b>Εικόνα 2.12:</b> Φωτοσκίαση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και ΦΠΚ από τα λογισμικά περιβάλλοντα του οίκου ESRI (δεξιά) – Περιοχή Mt. Rainier, Washington, ΗΠΑ (Nagi, 2014). ....	39
<b>Εικόνα 2.13:</b> Φωτοσκίαση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ (κέντρο) σε σταθμισμένο συνδυασμό (δεξιά) με συντελεστές 3 και 1 αντίστοιχως. Περιοχή του Καντονιού του Valais, Ελβετία (Lukas & Weibel, 1995).....	40
<b>Εικόνα 2.14:</b> Συγκριτική επισκόπηση συνδυασμών ΦΠΚ. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992), συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με ΦΠΚ καθολικής στάθμισης και συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007). Ορεινή περιοχή δυτικά του Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ, σε κλίμακα 1:30.000.....	40
<b>Εικόνα 3.1:</b> Οι ευρύτερες γεωγραφικές, ορεινές περιοχές των περιοχών μελέτης της πειραματικής διαδικασίας. Αριστερά, περιοχή ανατολικά του Παναθηναϊκού Όρους στα όρια των περιφερειών Στερεάς και Δυτικής Ελλάδας. Δεξιά, περιοχή στη Βόρεια Πελοπόννησο, στα Αροάνια Όρη (Υπόβαθρο: Γεωμορφολογικός Χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1:800.000.	

Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, geo.aegean.gr/cartolab/site/index/sx_xar_gr.htm) .....	45
<b>Εικόνα 3.2:</b> Θέση της περιοχής μελέτης “Per”, βόρεια των οικισμών «Πλάτανος» και «Περίστα» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI). .....	45
<b>Εικόνα 3.3:</b> Θέση της περιοχής μελέτης “Kas”, νοτιοανατολικά των οικισμών «Προυσός» και «Καστανιά» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI).....	46
<b>Εικόνα 3.4:</b> Θέση της περιοχής μελέτης “Zar”, μεταξύ των οικισμών «Καλάβρυτα» και «Ζαρούχλα» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI).....	47
<b>Εικόνα 3.5:</b> Απόσπασμα των ΨΜΕ των περιοχών μελέτης, με αρχική ισαποχή 2μ., αριστερά και με ισαποχή 4μ. μετά την αναδόμηση, δεξιά (κλίμακα 1:20.000). .....	48
<b>Εικόνα 3.6:</b> Η διαφορά μεταξύ ΨΜΥ και ΨΜΕ (Νάκος, 2021, πηγή: charim.net/datamanagement/32. με τροποποίηση).....	48
<b>Εικόνα 3.7:</b> Τμήμα του γραφικού περιβάλλοντος επικοινωνίας του λογισμικού Terrain Sculptor, όπου καθορίζονται οι παράμετροι γενίκευσης του ΨΜΥ για τις ορεινές περιοχές. ..	49
<b>Εικόνα 3.8:</b> Αναπαράσταση των ΨΜΥ των περιοχών μελέτης με φωτοσκίαση, σε κλίμακα 1:75.000, πριν και μετά την επεξεργασία εξομάλυνσης με το λογισμικό <i>Terrain Sculptor</i> : Περιοχή “Per” στην πρώτη σειρά, περιοχή “Kas” στη δεύτερη και περιοχή “Zar” στην τρίτη σειρά.....	50
<b>Εικόνα 3.10:</b> Το σύστημα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων <i>Viewpoint Eye Tracker PC-60</i> της <i>Arrington Research</i> , στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π. (Καλιακούδα, 2017).....	53
<b>Εικόνα 3.11:</b> Εντοπισμός του κέντρου του οφθαλμού κατά την παρατήρηση (Μπαργιώτα, 2013). .....	54
<b>Εικόνα 3.12:</b> Βαθμονόμηση του συστήματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων: Αριστερά επιτυχής και δεξιά, ανεπιτυχής (Καλιακούδα, 2017). .....	55
<b>Εικόνα 3.13:</b> Εκτίμηση των θέσεων των στόχων του ελέγχου της βαθμονόμησης με αλγόριθμο ασαφούς ομαδοποίησης (Κρασανάκης, 2014). .....	55
<b>Εικόνα 3.14:</b> Θερμικοί χάρτες προσοχής για τις εννέα (9) εικόνες του πειράματος, όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό OGAMA (Καλιακούδα, 2017). .....	60
<b>Εικόνα 3.15:</b> Πλήθη προσηλώσεων των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις). .....	61
<b>Εικόνα 3.16:</b> Μέσες διάρκειες προσηλώσεων (σε ms) των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις). .....	61
<b>Εικόνα 3.17:</b> Μήκη οπτικών ιχνών (σε pixels) των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις).....	61
<b>Εικόνα 3.18:</b> Λόγοι διάρκειας προσηλώσεων προς διάρκεια σακκαδικών κινήσεων των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις). .....	61
<b>Εικόνα 3.19:</b> Θερμικοί χάρτες προσοχής για τις εννέα (9) εικόνες του πειράματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων, όπως υπολογίστηκαν από τη βιβλιοθήκη εργαλείων <i>LandRate</i> (Tzelepis et al., 2020).....	65
<b>Εικόνα 4.1:</b> Χωρική ανάλυση κατά ζώνες μεταξύ αζιμουθίων και γωνιών κλίσης τοπικού προσανατολισμού για τον υπολογισμό των καθολικών βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών προσανατολισμών (Β, ΒΔ, Δ και Ν) για τη σύνθεση ΦΠΚ (Loissios et al., 2007, με προσαρμογή από Τζελέπης κ.ά., 2008).....	72

<b>Εικόνα 4.2:</b> ΦΠΚ καθολικών βαρών (δεξιά εικόνα ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:30.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:80.000 (Loissios et al., 2007). .....	72
<b>Εικόνα 4.3:</b> Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού για τη σύνθεση της πλαγιοσταθμισμένης ΦΠΚ του Mark (MDOW). .....	73
<b>Εικόνα 4.4:</b> Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (δεξιά εικόνα ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:30.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:80.000. ....	74
<b>Εικόνα 4.6:</b> Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al., 2007 (δεξιά εικόνα κάθε ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:80.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:30.000. ....	75
<b>Εικόνα 4.7:</b> Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσαύξηση της διαφοράς αζιμουθίων μεταξύ τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά 45° .....	76
<b>Εικόνα 4.8:</b> Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσαύξηση της διαφοράς των διευθύνσεων τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά 90° .....	77
<b>Εικόνα 4.9:</b> Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους. ....	78
<b>Εικόνα 4.10:</b> Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου και μείωση κατά 45°, σε σχέση με την κατεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους. ....	78
<b>Εικόνα 4.11</b> Φωτοσκίασης μιας πηγής στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» για την εφαρμογή των μοντέλων ΦΠΚ, με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000. ....	79
<b>Εικόνα 4.12</b> Μοντέλα ΦΠΚ στο περιβάλλον του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, ArcGIS Desktop, συγκεντρωμένα κάτω από κοινή εργαλειοθήκη. ....	80
<b>Εικόνα 4.13:</b> Εφαρμογή μοντέλων ΦΠΚ στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000. ....	81
<b>Εικόνα 5.1:</b> Η εξάρτηση της απεικόνισης του αναγλύφου στη φωτοσκίαση από την κατεύθυνση φωτισμού και το φαινόμενο της αναστροφής του αναγλύφου (relief reversal effect): Αριστερά, ο βορειοδυτικός φωτισμός αναδεικνύει τις πλευρικές πτυχώσεις του κεντρικού σχηματισμού με ΝΔ-ΒΑ διεύθυνση ενώ δεξιά, ο νότιος φωτισμός τις απεικονίζει αντίστροφα – Περιοχή Uetliberg, κοντά στη Ζυρίχη, Ελβετία (Imhof, 1982). ....	84
<b>Εικόνα 5.2:</b> Παράδειγμα της προκατάληψης στην αντίληψη μιας μορφής του αναγλύφου ως κυρτής έξαρσης (convexity bias): Ο σχηματισμός που σημαίνεται με τα γράμματα ABC είναι πρόσχωση, όμως παρ' όλη την πληροφόρηση για την προέλευση του φωτισμού από νότια, αυθόρμητα ερμηνεύεται ως έξαρση (Coltekin & Biland, 2018). ....	85
<b>Εικόνα 5.3:</b> Ποσοστά επιτυχίας ή αποτυχίας στην παρατήρηση φωτοσκιάσεων όλων των κατευθύνσεων φωτισμού. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει τη γωνία της φωτεινής πηγής. Οι	

πράσινες (διακεκομμένες) γραμμές συνδέουν τις αντίστοιχες δυτικές και ανατολικές κατευθύνσεις φωτός, με την ίδια γωνιακή απόκλιση από τον βορρά. ....	86
<b>Εικόνα 5.4:</b> Αναγνώριση δομικών γραμμών για γενίκευση του εδάφους: Επάνω αριστερά, φωτοσκίαση του ΨΜΥ, επάνω δεξιά, οι εξαγόμενες δομικές γραμμές, κάτω αριστερά, σχηματισμός κοιλάδων (ως λεκάνες απορροής), κάτω δεξιά: σχηματισμός λόφων (Weibel, 1992). ....	88
<b>Εικόνα 5.5:</b> Εφαρμογές των αλγορίθμων ταξινόμησης γεωμορφών <i>Fuzzy Landform Element Classification</i> (επάνω) και <i>TPI (Topographic Position Index) Based Landform Classification</i> (κάτω) στο περιβάλλον του ελεύθερου λογισμικού GIS, SAGA ( <a href="http://dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring_a_subset_of_SAGA_Terrain_Analysis_tools">dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring_a_subset_of_SAGA_Terrain_Analysis_tools</a> ).....	90
<b>Εικόνα 5.6:</b> Διάγραμμα συχνότητας των αζιμουθίων στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα». ....	91
<b>Εικόνα 5.7:</b> Συνήθης φωτοσκίαση από ΒΔ, και ζώνες αζιμουθίου προσανατολισμού όπου εντοπίζονται οι βασικές δομικές γραμμές του αναγλύφου (κορυφογραμμές και μισγάγγειες), στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα». ....	91
<b>Εικόνα 5.8:</b> Φωτοσκίαση βέλτιστης κατεύθυνσης: Επάνω αριστερά, 315° (συνήθης ΒΔ κατεύθυνση), επάνω δεξιά, 337,5° (βέλτιστη κατεύθυνση κατά Biland & Coltekin), κάτω αριστερά, 345° και κάτω δεξιά, 300° (προτεινόμενες βέλτιστες κατευθύνσεις βάσει των προσανατολισμών του εδάφους).....	92
<b>Εικόνα 5.9:</b> Λεπτομέρειες φωτοσκίασης βέλτιστης κατεύθυνσης: 1 <sup>η</sup> στήλη, από 315° (συνήθης ΒΔ κατεύθυνση), 2 <sup>η</sup> στήλη, από 337,5° (βέλτιστη κατεύθυνση κατά Biland & Coltekin), 3 <sup>η</sup> στήλη, από 345° και 4 <sup>η</sup> στήλη, από 300° (προτεινόμενες βέλτιστες κατευθύνσεις βάσει των προσανατολισμών του εδάφους).....	93
<b>Εικόνα 5.10:</b> Διαγράμματα για τον σταθμισμένο συνδυασμό φωτοσκίασης βάσει μόνο του προσανατολισμού στις ορεινές περιοχές με φωτοσκίαση πλάγιου διάχυτου φωτισμού (αριστερά) στις πεδινές και ενιαίου, συνεχούς τόνου στις επίπεδες περιοχές (Jenny, 2001)..	94
<b>Εικόνα 5.11:</b> Φωτοσκιάσεις ορεινών περιοχών (αριστερά) και πεδινών περιοχών (δεξιά), οι οποίες σταθμίζονται βάσει της εκάστοτε τοπικής κλίσης (κέντρο) (Leonowicz et al., 2010)..	94
<b>Εικόνα 5.12:</b> Συγκριτική επισκόπηση συνδυασμών ΦΠΚ των Loissios et al. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, καθολικά σταθμισμένη ΦΠΚ, συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με καθολικά σταθμισμένη ΦΠΚ, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ και συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ - Ορεινή περιοχή δυτικά του Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ (Loissios et al., 2007). ....	96
<b>Εικόνα 5.13:</b> Συνδυασμός σταθερής στάθμισης μεταξύ βέλτιστης φωτοσκίασης (345°) με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark, σε αναλογία 70-30, στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» με ΨΜΥ ισαποχής 4μ. (κλίμακα 1:75.000).....	96
<b>Εικόνα 5.14:</b> Σταθμισμένοι συνδυασμοί βέλτιστης φωτοσκίασης (345°) με μοντέλα ΦΠΚ, στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000. ....	97
<b>Εικόνα 5.15</b> Μοντέλα συνδυασμών ΦΠΚ και μοντέλα ΦΠΚ ενοποιημένα σε κοινή εργαλειοθήκη, στο περιβάλλον του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, ArcGIS Desktop.....	98
<b>Εικόνα 6.1:</b> Περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» και οι τέσσερις (4) υποπεριοχές ελέγχου: 1) προς ΒΔ, «Νεραϊδόρραχη», 2) προς Ν, «Νεραϊδόλωνο», 3) προς ΒΑ, «Κεφαλάρι», 4) προς ΝΑ, «Διάσελα». Επάνω: Απόσπασμα χάρτη ΓΥΣ 1:50.000, ΦΧ «ΔΑΦΝΗ», με τη συνολική περιοχή μελέτης και με υπέρθεση φωτοσκίασης. Κάτω: Απεικόνιση των υποπεριοχών ελέγχου με αναπαράσταση του μορφολογικού ιστού με γραμμικά σύμβολα (μπλέ για τις μισγάγγειες, κόκκινο για τις κορυφογραμμές). ....	100
<b>Εικόνα 6.2:</b> Ρυθμίσεις του λογισμικού <i>Terrain Sculptor</i> για τη γενίκευση του ΨΜΥ ισαποχής 2μ. ....	101

<b>Εικόνα 6.3:</b> Εφαρμογή των επιλεγμένων προς αξιολόγηση μοντέλων φωτοσκίασης στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 2μ., σε κλίμακα 1:75.000. ....	102
<b>Εικόνα 6.4:</b> Εφαρμογή των υπό αξιολόγηση μοντέλων φωτοσκίασης στις τέσσερεις (4) περιοχές ελέγχου, σε κλίμακα 1:75.000.....	103
<b>Εικόνα 6.5:</b> Ενδεικτική σύνθεση εικόνων για την ατομική αξιολόγηση κάθε μοντέλου φωτοσκίασης σε μια περιοχή ελέγχου (εδώ, στην περιοχή «Νεραϊδόρραχη»). Αριστερά, η εφαρμογή του μοντέλου στη συνολική περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», στο κέντρο, η απεικόνιση του μορφολογικού ιστού της περιοχής ελέγχου (με κόκκινο οι κορυφογραμμές και με μπλε τα ρέματα) και δεξιά, η εφαρμογή του μοντέλου φωτοσκίασης στην περιοχή ελέγχου.....	105
<b>Εικόνα 6.6:</b> Ενδεικτική σύνθεση εικόνων για τη συγκριτική αξιολόγηση των μοντέλων φωτοσκίασης σε μια περιοχή ελέγχου (εδώ, στην περιοχή «Νεραϊδόρραχη»). Προηγείται επάνω αριστερά η απεικόνιση του μορφολογικού ιστού (με κόκκινο οι κορυφογραμμές και με μπλε τα ρέματα) και ακολουθούν οι εικόνες φωτοσκίασης από την εφαρμογή των επτά (7) μοντέλων. ....	105
<b>Εικόνα 6.7:</b> Κατανομή των τελικών βαθμολογήσεων κάθε μοντέλου σε κάθε περιοχή ελέγχου. ....	108
<b>Εικόνα 6.8:</b> Γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και ανά περιοχή ελέγχου και των μέσων τιμών των μοντέλων συνολικά για όλες τις περιοχές, για τη γενική σύγκριση.....	108
<b>Εικόνα 6.9:</b> Γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και ανά περιοχή ελέγχου και των μέσων τιμών των μοντέλων συνολικά για όλες τις περιοχές, για τη σύγκριση συνδυασμών με ΦΠΚ. ....	110
<b>Εικόνα 6.10:</b> Σχηματική σύνοψη των διαφορών αποτελεσματικότητας από τον συνολικό στατιστικό έλεγχο στη γενική σύγκριση μοντέλων φωτοσκίασης μίας πηγής, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης με ΦΠΚ. Τα γραμμικά σύμβολα δείχνουν προς το πιο αποτελεσματικό μοντέλο και το πάχος της γραμμής συμβολίζει ήπια ή πιο σαφή υπεροχή. ....	113
<b>Εικόνα 6.11:</b> Σχηματική σύνοψη των διαφορών αποτελεσματικότητας από τον συνολικό στατιστικό έλεγχο στη σύγκριση συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης με μοντέλα ΦΠΚ, με γραμμικά σύμβολα που δείχνουν προς το πιο αποτελεσματικό μοντέλο και διαφοροποιούνται σε πάχος αναλόγως της έκτασης της διαφοράς.....	114
<b>Εικόνα Ε.1.</b> Ποσοστιαία επιφανειακή κάλυψη τεταρτημορίων φωτεινότητας (σκούρο/μεσαίο-σκούρο/μεσαίο-φωτεινό/φωτεινό), ανά μέθοδο φωτοσκίασης (περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα»): Επάνω, με φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού από ΒΔ, στο κέντρο, με βέλτιστο πλάγιο φωτισμό (από 345°) και κάτω, με ανάμιξη βέλτιστου πλάγιου φωτισμού και ΦΠΚ (MDOW). ....	121



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Κωδικές ονομασίες των εικόνων από την εφαρμογή των τριών συγκρινόμενων μεθόδων στις τρεις περιοχές μελέτης. ....	52
Πίνακας 3.2: Οι χωρικές ακρίβειες των παρατηρήσεων των υποκειμένων που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση. ....	58
Πίνακας 3.3: Μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των μεγεθών καταγραφής ανά εικόνα και ανά μέθοδο φωτοσκίασης. ....	60
Πίνακας 3.4: Μεγέθη καταγραφής (προ κανονικοποίησης) και τα βάρη στάθμισής τους για τον υπολογισμό του δείκτη LRI, στις ομάδες υποκειμένων A και B, και στο σύνολό τους. ....	66
Πίνακας 6.1. Μοντέλα φωτοσκίασης και κωδικές ονομασίες στην πειραματική αξιολόγηση. ....	99
Πίνακας 6.2: Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή. ....	107
Πίνακας 6.3: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή και μέσες τιμές μοντέλων συνολικά, για τη γενική σύγκριση. ....	109
Πίνακας 6.4: Πιθανότητες ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων φωτοσκίασης (για $p < 0,05$ είναι διαφορετικά) και ένδειξη της υπεροχής και της σημαντικότητάς της, στις 4 περιοχές ελέγχου. ....	109
Πίνακας 6.5: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή και μέσες τιμές μοντέλων συνολικά, για τη γενική σύγκριση. ....	110
Πίνακας 6.6: Πιθανότητες ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων φωτοσκίασης (για $p < 0,05$ είναι διαφορετικά) και ένδειξη της υπεροχής και της σημαντικότητάς της, στις 4 περιοχές ελέγχου. ....	111



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή, με τίτλο: «Αναλυτική Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων για την Ενισχυμένη Χαρτογραφική Απόδοση του Τοπογραφικού Αναγλύφου» μελετά την μέθοδο της Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ) και εξετάζει τις δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει η αξιοποίησή της, στην αντιμετώπιση της αδυναμίας αναπαράστασης του συνόλου της μορφής της γήινης επιφάνειας κατά τη φωτοσκίασή της με μία φωτεινή πηγή. Η αδυναμία αυτή εκδηλώνεται με την πλήρη απόκρυψη του αναγλύφου για τις πλαγιές που αποκλίνουν από τη φωτεινή πηγή και με την ελλιπή απόδοση των μεταβολών του, σε όσες από τις υπόλοιπες πλαγιές προσανατολίζονται παράλληλα ή κάθετα στον φωτισμό.

Αρχικώς τοποθετείται το πρόβλημα με μία σύντομη περιγραφή των ιδιαιτεροτήτων και των απλουστεύσεων του φαινομένου της φωτοσκίασης για χαρτογραφική χρήση και με την ανασκόπηση των σύγχρονων εξελίξεων στην αναλυτική φωτοσκίαση και των προσπαθειών για την βελτίωση των αδυναμιών στη χρήση μίας αποκλειστικά φωτεινής πηγής. Εν συνεχεία, μέσω πειραματικής διαδικασίας καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων οι οποίες αναλύονται με τη βοήθεια και της κρίσης εμπειρογνομόνων, διασφαλίζεται με όρους πολυπλοκότητας η οπτική συνάφεια των εικόνων ΦΠΚ με τον οικείο χαρακτήρα των εικόνων φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, με αφορμή την ιδιόμορφη τονική ισοστάθμιση που προκαλεί ο πολλαπλός φωτισμός και την συνεπαγόμενη υστέρηση ενός κρίσιμου οπτικού ερεθίσματος της μεθόδου, αυτό της τονικής αντίθεσης.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία της διατριβής για την ενίσχυση των αδυναμιών βασίζεται σε τρία στάδια: i) στη επιλογή μίας βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού, αναλόγως της ταυτότητας του αναγλύφου της εκάστοτε περιοχής, ώστε να μεγιστοποιείται το όφελος στην απόδοση του, ii) στην υλοποίηση ενός μοντέλου ΦΠΚ, από μία διαθέσιμη γκάμα επιλογών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και iii) στη δημιουργία ενός σταθμισμένου συνδυασμού όπου το οπτικό αποτέλεσμα του σταδίου (i) θα κυριαρχεί, διασφαλίζοντας τον οικείο χαρακτήρα μιας εικόνας φωτοσκίασης και θα ενισχύεται στα αδύναμα τμήματα με ελεγχόμενο τρόπο, από την εικόνα του σταδίου (ii).

Τα τρία αυτά στάδια της μεθοδολογίας πλαισιώνονται με βιβλιογραφική μελέτη και με εφαρμογές σε ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα από τμήμα ορεινής περιοχής των

Καλαβρύτων. Ως προς τη διερεύνηση της βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού, τεκμηριώνεται η γενική προτίμηση της τοποθέτησης προς τον ΒΔ τομέα και προσδιορίζονται οι αναλυτικές διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων της μορφής της επιφάνειας που μπορούν να την εξειδικεύσουν (όπως η γενίκευση της επιφάνειας του εδάφους, η μορφομετρική ανάλυση ή η αναγνώριση δομικών γραμμών), εφαρμόζοντας ενδεικτικά την διαγραμματική ανάλυση των τιμών αζιμουθίου. Τα υφιστάμενα μοντέλα ΦΠΚ εμπλουτίζονται με πρόσθετα, εναλλακτικά μοντέλα και διατυπώνεται η κατηγοριοποίησή τους, με κριτήριο τον τρόπο στάθμισης των συνιστωσών φωτοσκιάσεων σε: μοντέλα καθολικής στάθμισης (*global-weighted*), μοντέλα πλαγιο-στάθμισης (*oblique-weighted*) και μοντέλα στάθμισης βάσει της γωνίας πρόσπτωσης (*incident-weighted*) του φωτισμού. Για το τελικό στάδιο ανάμιξης μεταξύ κυρίαρχης, βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής και ΦΠΚ, προτείνονται η σταθερή, αλλά κυρίως η μεταβλητή στάθμισή τους, συναρτώντας τον βαθμό παρέμβασης της δεύτερης με την τοπική γωνία πρόσπτωσης του βέλτιστου φωτισμού στο έδαφος. Η υλοποίηση των μοντέλων ΦΠΚ, καθώς και των συνδυασμών τους με φωτοσκίαση μίας πηγής έγινε στο ολοκληρωμένο λογισμικό περιβάλλον του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών *ArcGIS®* της *ESRI*.

Τα οπτικά αποτελέσματα επιλεγμένων συνδυασμών φωτοσκίασης με την προτεινόμενη μεθοδολογία, αξιολογούνται ως προς την πληρότητα απόδοσης του τοπογραφικού αναγλύφου με εμπειρική έρευνα που υλοποιήθηκε ως διαδικτυακό ερωτηματολόγιο και συμπληρώθηκε από επιστημονικό προσωπικό με εμπειρία στο αντικείμενο της Χαρτογραφίας και γενικότερα των χωρικών οπτικοποιήσεων. Οι απαντήσεις ελέγχονται με στατιστικά τεστ για τον εντοπισμό των επιλογών που επιτυγχάνουν σημαντικά βελτιωμένες επιδόσεις, με σαφέστατες ενδείξεις της ωφέλειας από τη χρήση ΦΠΚ.

Στην κατακλείδα της διατριβής, ανακεφαλαιώνονται οι κύριοι στόχοι και η μεθόδευση της εκπλήρωσής τους, συμπληρώνοντας ανοικτά ερωτήματα για περαιτέρω έρευνα.

## EXTENDED ABSTRACT

This doctorate dissertation, entitled: "Multi-directional Analytical Hill-Shading for Enhanced Cartographic Relief Presentation" studies the method of Multi-directional Hill-Shading (MDHS) and examines its potential to deal with the weakness of usual, one source hill-shading illustrating the entire shape of the earth's surface. This weakness is manifested by the complete hiding of the ground's shape, when its orientation diverges from the light source, and by the incomplete rendering of its variations for the rest of the cases, where the surface is oriented parallel or perpendicular to the illumination.

The framework of actions proposed to heal the above issues and enhance the visual effect of hill-shading is based on three axes:

- Implementation of dominant hill-shading with optimal illumination
- Implementation of a MDHS model
- Selective enhancement of the dominant, optimal hill-shading with MDHS

The ultimate goal of the thesis is to produce a hill-shading image that will maintain its intimate, realistic character and achieve maximum performance in the rendering of the information of relief. This combination is possible if a dominant illumination with strong tonal contrast, properly chosen to depict most of the terrain formations is maintained and enhanced in general and especially on the darkly shaded slopes with controlled participation of MDHS, in order to restore the incomplete information of the relief.

The two initial chapters of the thesis contain the general background for understanding the problem. Chapter 1 provides a brief description of the peculiarities and simplifications of hill-shading procedure for cartographic use. The analytical equations and concepts involved in the computation of gray tones and a review of current developments and related studies in analytical hill-shading complete the theoretical background. In Chapter 2, after clarifying the role of illumination direction, proposals are given to improve the shortcomings in the use of only a single source, with gradual enrichment of illumination from local light source adaptation, then to combinations of different light directions and up to multi-source sky models, to finally describe the term Multi-Directional Hill-Shading (MDHS).

This is followed, in Chapter 3, by the description of experimental evaluation of the visual complexity of single and multiple source hill-shading images using eye movement tracking. The analysis of observations was performed by calculating basic and derivative metrics of recorded observations and by integrated co-evaluation based on expert judgement. Finally, visual coherence of MDHS images with the familiar character of hill-shading images of topographic relief is established, despite the observed peculiarity of tonal equalization and the consequent lagging of tonal contrast, caused by multiple illumination.

Chapters 4 and 5 frame with the necessary literature review and put into practice the three axes of the proposed methodology. Chapter 4 lists the existing models for MDHS synthesis and explores additional, alternative models, which are distinguished in terms of how the components hill-shading images are weighted into: global-weighted, oblique-weighted and incident-weighted (i.e. weighted based on the incidence angle of their illumination). Chapter 5 documents the perceptually correct, general NW illumination origin, and discusses integrated analytical methods of terrain analysis that can assist to determine a specific light direction (e.g., diagrammatic analysis of orientation data, structural line identification, land surface generalization, morphometric classification and analysis, etc.). In the final mixing between dominant, optimal single-source hill-shading and MDHS, both fixed and variable weighting is applied, by controlling the degree of correction with the local incidence angle of optimal illumination on the ground.

Within the framework of the dissertation, practical application of MDHS models, as well as their combinations with single-source hill-shading was carried out in a mountainous study area of Kalavryta, by implementation in the integrated GIS software environment of *ESRI's ArcGIS®*. The visual results of selected combinations are evaluated in chapter 6, in terms of completeness in the rendering of topographic relief, with an empirical survey implemented as an online questionnaire and filled by scientific personnel with experience in cartographic and spatial visualizations. This is followed by statistical testing of the responses, to identify choices that achieve significantly improved performance, with a clear evidence that MDHS use is beneficial.

In the conclusion of the thesis, the main objectives and the methodology for fulfilling them are summarized, and some open questions for further research are set out.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φωτοσκίαση του τοπογραφικού αναγλύφου είναι μια μέθοδος για τη χαρτογραφική αναπαράστασή του, η οποία βασίζεται στην προσομοίωση του φυσικού οπτικού αποτελέσματος της πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός στη γήινη επιφάνεια. Προσφέρει το πλεονέκτημα της άμεσης αντίληψης της μορφής του αναγλύφου λόγω της απόλυτα ρεαλιστικής απόδοσης του, χωρίς δηλαδή αφαιρετικά χαρτογραφικά σύμβολα, παρά με την πραγματική του εικόνα. Παρ' όλο που στερείται μετρητικής ακρίβειας ως προς την ποσοτική απεικόνιση του φαινομένου του αναγλύφου του εδάφους, δρα καταλυτικά στην κατανόησή του από τους χρήστες των χαρτών, ιδίως από τους μη εξοικειωμένους σε θέματα ερμηνείας χαρτογραφικού συμβολισμού.

Η φωτοσκίαση ενσωματώνεται σε χάρτες από τις αρχές του 19ου αιώνα, όταν η ανακάλυψη της λιθογραφίας επέτρεψε την εκτύπωση και την αναπαραγωγή διαφορετικών εντάσεων και χρωμάτων. Κατά την εξέλιξη της σχεδίασής της μέσω αναλογικών, χειροκίνητων μεθόδων έχουν παραχθεί εξαιρετικά αποτελέσματα, τα οποία τοποθετούν πολύ ψηλά το μέτρο σύγκρισης για τις όποιες μεταγενέστερες ψηφιακές υλοποιήσεις φωτοσκίασης. Από τα τέλη του 20ου αιώνα η μέθοδος υλοποιείται αναλυτικά με τη βοήθεια Η/Υ, εφ' όσον διατίθεται η καταγραφή της γήινης επιφάνειας με τη μορφή ενός ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων. Με την αναλυτική φωτοσκίαση αναγλύφου εξασφαλίζεται η ταχεία, ακριβής και κυρίως, ορθή απόδοση της μορφής της γήινης επιφάνειας, καθώς εξαλείφεται η όποια υποκειμενικότητα ως προς την ερμηνεία του αναγλύφου, όπως συμβαίνει κατά την αναλογική σχεδίαση με το χέρι. Εντούτοις, υπάρχουν σημαντικές, διαισθητικές παρεμβάσεις που γίνονται από έναν έμπειρο σχεδιαστή και που αποσκοπούν στη βέλτιστη αντίληψη του αναγλύφου. Η μελέτη αυτών των ανθρώπινων παρεμβάσεων είναι αντικείμενο της σύγχρονης έρευνας, η οποία φιλοδοξεί να προσεγγίσει, ή και να υπερβεί την αποτελεσματικότητα των αναλογικών μεθόδων.

Κατά την υλοποίηση της φωτοσκίασης για χαρτογραφική χρήση, εισάγονται ορισμένες απλουστευτικές παραδοχές ως προς τις πραγματικές συνθήκες διαμόρφωσης του φυσικού οπτικού αποτελέσματος, δηλαδή την διαμόρφωση του τόνου σκίασης της γήινης επιφάνειας από το ηλιακό φως. Μία πρώτη παραδοχή είναι η θεώρηση της γεωμετρίας της φωτεινής ακτινοβολίας ως δέσμης παράλληλων ακτινών, που έχει σαν αποτέλεσμα την πρόσπτωση σε όλα τα σημεία της γήινης

επιφάνειας υπό την ίδια γωνία. Ακόμη, εξαιρείται η δημιουργία της λεγόμενης «σκιάς», δηλαδή της καθολικής απώλειας φωτεινότητας που προκύπτει όταν η επιφάνεια τοπικά αποκλίνει από το προσπίπτον φως και άρα δεν φωτίζεται (τουλάχιστον άμεσα) καθόλου. Η συγκεκριμένη παραδοχή εξυπηρετεί την πληρότητα της απεικόνισης του φαινομένου, προκειμένου να αποδίδεται η πληροφορία του τοπογραφικού αναγλύφου στο σύνολο της περιοχής.

Κατά κύριο λόγο, το οπτικό αποτέλεσμα της φωτοσκίασης οφείλεται στη συνεχή διαφοροποίηση της γεωμετρίας της γήινης επιφάνειας, λόγω της οποίας μεταβάλλεται το εμβαδόν του κάθε μοναδιαίου τμήματός της που εκτίθεται στη φωτεινή δέσμη και κατά συνέπεια και η ποσότητα φωτός που αυτό υποδέχεται. Βάσει του Νόμου Συνημιτόνου του Lambert, το εμβαδόν αυτό, και επομένως και η φωτεινότητα υπολογίζονται με το συνημίτονο της τοπικής γωνίας πρόσπτωσης του φωτός στην επιφάνεια. Χαρτογραφικά, η φωτεινότητα της γήινης επιφάνειας αποδίδεται με τη βοήθεια της οπτικής μεταβλητής της έντασης, η δε οπτικοποίησή της υλοποιείται μέσω μιας εικόνας τόνων του γκρι, μεταξύ του μαύρου (μηδενική φωτεινότητα) και του άσπρου (μέγιστη).

Βασική παράμετρος στη δημιουργία μιας εικόνας φωτοσκίασης αποτελούν τα στοιχεία προσανατολισμού της φωτεινής δέσμης, δηλαδή η κατεύθυνση προέλευσής της και η κλίση της. Ενώ η κλίση επηρεάζει τη φωτεινότητα με γενικό, συνολικό τρόπο, είναι η κατεύθυνση του φωτισμού που έχει τον κρισιμότερο ρόλο στην απεικόνιση των μορφών του αναγλύφου. Η καταλληλότερη επιλογή της μπορεί να αναδείξει περισσότερες λεπτομέρειες της μορφολογίας της φωτιζόμενης επιφάνειας, καθώς αυτές σχηματίζονται μέσω της ποικιλότητας των κατευθύνσεων των τοπικών προσανατολισμών. Έχει καταστεί δε κοινά αποδεκτό, τόσο εμπειρικά, όσο και επιστημονικά, πως ο άνθρωπος κατά την παρατήρηση του χώρου έχει την προδιάθεση να θεωρεί πως ο φωτισμός που συνοδεύει την αντίληψή του προέρχεται από «επάνω και αριστερά». Η σύμβαση αυτή έχει επικρατήσει και στη χαρτογραφία, με τη θεώρηση του βορειοδυτικού φωτισμού σκίασης ως μιας κατά κανόνα βέλτιστης επιλογής για τη σωστή ερμηνεία του αναγλύφου (Imhof, 1982).

Όμως, όπως είναι κατανοητό, το τοπογραφικό ανάγλυφο μιας περιοχής μπορεί να περιέχει μορφολογικούς σχηματισμούς με πολλούς, διαφορετικούς προσανατολισμούς που δεν θα αποδίδονται επαρκώς με τη μία, μοναδική φωτεινή πηγή, ή ενδεχομένως και να αποκρύπτονται εντελώς. Μια ολιστική προσέγγιση στο πρόβλημα αποτελεί η υλοποίηση φωτοσκίασης με περισσότερες της μίας, φωτεινών πηγών, προερχόμενων από διαφορετικές κατευθύνσεις, έτσι ώστε να φωτίζεται και



να απεικονίζεται με πληρότητα το σύνολο των μορφολογικών σχηματισμών. Μια τέτοια τεχνική εφαρμόστηκε από τον Robert Mark (1992) στο Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (USGS), χρησιμοποιώντας φωτεινές πηγές που τοποθετούνται στους τέσσερεις βασικούς προσανατολισμούς προς τα βόρεια, τα βορειοδυτικά, τα νότια και προς τα νοτιοδυτικά. Με την τεχνική αυτή ουσιαστικά υλοποιούνται τέσσερεις αντίστοιχες, ξεχωριστές εικόνες φωτοσκίασης, οι οποίες στη συνέχεια σταθμίζονται σε μία ενοποιημένη εικόνα *Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ)*, με τη χρήση βαρών που υπολογίζονται ανά εικονοστοιχείο, δηλαδή ανά μοναδιαία επιφάνεια του εδάφους και σε συνάρτηση με τον τοπικό προσανατολισμό, έτσι ώστε να ενισχύεται η συμμετοχή όποιας συνιστώσας, βασικής φωτοσκίασης τον «ωφελεί» περισσότερο.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής και συγκρίνοντάς τα με αυτά της συνήθους φωτοσκίασης από μία πηγή, διαπιστώνεται ότι ο πολλαπλός φωτισμός επιτρέπει την απεικόνιση λεπτομερειών που η μία πηγή δεν μπορεί να αναδείξει. Ταυτόχρονα όμως, παρατηρείται και μία αρνητική επίδραση στο στοιχείο ρεαλισμού της μεθόδου της φωτοσκίασης, η οποία οφείλεται στην -κατά κάποιο τρόπο- «υπερδιόρθωση» του προβλήματος: οι σκούρες πλαγιές των μορφολογικών σχηματισμών που αποκλίνουν από το φως, εμφανίζονται να έχουν πλέον ομογενοποιηθεί με τις πλευρές που φωτίζονται άμεσα, με συνέπεια την υποβάθμιση της τονικής αντίθεσης μεταξύ τους, η οποία αποτελεί βασική οπτική ένδειξη της φωτοσκίασης.

### **Αντικείμενο της διατριβής**

Η διατριβή επιχειρεί τη σύνταξη ενός πλαισίου ενεργειών που θα αποσκοπεί στη βελτίωση του οπτικού αποτελέσματος της φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, αξιοποιώντας τη μέθοδο της *Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ)*. Ως άξονες αυτού του πλαισίου, προτείνονται οι εξής:

- Υλοποίηση κυρίαρχης φωτοσκίασης με βέλτιστο φωτισμό
- Υλοποίηση ΦΠΚ
- Επιλεκτική ενίσχυση της κυρίαρχης, βέλτιστης φωτοσκίασης με ΦΠΚ

Αρχικά, τέθηκε ως προτεραιότητα η αντιμετώπιση του προβληματισμού που ανακύπτει σε μια εικόνα ΦΠΚ, όσον αφορά την ομογενοποίηση των τόνων και την υστέρηση του χαρακτηριστικού γνωρίσματος της τονικής αντίθεσης. Η επιφύλαξη αυτή υπαγόρευσε την διερεύνηση των αντιδράσεων των χρηστών ως προς την

οπτική πολυπλοκότητά του πολλαπλού φωτισμού, σε αντιπαράθεση με αυτόν της μίας πηγής. Προς το σκοπό τούτο, επιστρατεύθηκε η κατ' εξοχήν προτιμώμενη τα τελευταία χρόνια μέθοδος σε μελέτες οπτικής αντίληψης, αυτή της καταγραφής και της ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων. Με τη βοήθεια της εργαστηριακής διάταξης οφθαλμικής ιχνηλάτησης του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ και με δεδομένα Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (ΨΜΥ) που διατέθηκαν από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, οργανώθηκε η διενέργεια πειράματος για τη συλλογή παρατηρήσεων σε εικόνες φωτοσκίασης με απλό και πολλαπλό φωτισμό. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης επιδέχονται συχνά διττής ερμηνείας και για το λόγο αυτό, εκτός των ποσοτικών εκτιμήσεων των μεγεθών καταγραφής, μεθοδεύθηκε και η συνδρομή της γνώσης και της γνώμης εμπειρογνομόνων.

Προτού διερευνηθούν οι δυνατότητες της σύνθεσης μίας ΦΠΚ, η αναζήτηση μίας βέλτιστης κατεύθυνσης που θα εξαντλεί την απεικονιστική δυνατότητα του φωτισμού μίας πηγής, τονίζεται ιδιαίτερος ως το σημαντικό πρώτο βήμα, που αποσκοπεί στην ανάδειξη ενός κατά το δυνατόν ευρύτερου υποσυνόλου των μορφολογικών σχηματισμών της περιοχής. Ερευνάται η βιβλιογραφία, που σε μεγάλο βάθος χρόνου έχει καθιερώσει τη συνήθη επιλογή του ΒΔ φωτισμού υπό κλίσης  $45^\circ$ , ως υποδειγματική λύση για μια οποιαδήποτε, τυχαία σύνθεση αναγλύφου του εδάφους και αναζητούνται οι γενικές αρχές που υπαγορεύονται από την ανθρώπινη αντίληψη, καθώς και οι ανατροπές των *de facto* επιλογών από πρόσφατες μελέτες.

Με όποιον τρόπο κι αν αντιμετωπισθεί το θέμα της βέλτιστης επιλογής φωτισμού, θεωρείται απαραίτητη μια προσεκτική επισκόπηση και μελέτη της ιδιαίτερης ταυτότητας που έχει το τοπογραφικό ανάγλυφο κάθε περιοχής. Η μελέτη θα πρέπει να εμπεριέχει τόσο τον εμπειρικό παράγοντα με οπτικές εκτιμήσεις, όσο και τον αναλυτικό, με ποσοτικές ενδείξεις, όπως πχ. το ιστόγραμμα των αζιμουθίων, οι οποίες μπορούν να υποδείξουν καλύτερες επιλογές. Δεδομένα πάντως, στη διερεύνηση του βέλτιστου φωτισμού υπάρχει εμπλοκή ζητημάτων γενίκευσης της επιφάνειας του εδάφους, ενώ τεχνικές επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων του ΨΜΥ δείχνουν ικανές να δώσουν πολύ σημαντική ώθηση στο ζήτημα αυτό.

Η διερεύνηση των δυνατοτήτων στη σύνθεση ΦΠΚ, είχε ως σημείο εκκίνησης υφιστάμενη ερευνητική εργασία (Loissios et al., 2007), όπου γίνονται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στην υφιστάμενη τεχνική του Mark (1992), σε διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας. Κατά την πρώτη προσέγγιση, το βάρος στάθμισης κάθε συνιστώσας βασικής φωτοσκίασης υπολογίζεται ως ενιαία τιμή για

ολόκληρη την εικόνα της και εξαρτάται από το ποσοστό της απεικονιζόμενης έκτασης που «ωφελείται» από το φωτισμό της, με αποτέλεσμα την ανάδειξη των μεγαλύτερων σχηματισμών του αναγλύφου. Κατά τη δεύτερη προσέγγιση, διατηρείται ο υπολογισμός των βαρών στάθμισης ανά εικονοστοιχείο και δοκιμάζεται διαφορετική συνάρτηση ως προς την κατεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού, με ζητούμενο την ενίσχυση των λεπτομερών σχηματισμών. Οι ευνοϊκές προοπτικές των αποτελεσμάτων αυτής της εργασίας αποτέλεσαν γόνιμο έδαφος για την περαιτέρω αναζήτηση εναλλακτικών μοντέλων σύνθεσης της ΦΠΚ, με γνώμονα την καλύτερη κατανομή του βάρους στάθμισης στις συνιστώσες φωτοσκιάσεις βασικών προσανατολισμών.

Η υλοποίηση της τελικής επιδίωξης της διατριβής, είναι η παραγωγή μιας εικόνας φωτοσκίασης όπου θα διασφαλίζεται η ισχυρή οπτική ένδειξη της τονικής αντίθεσης και θα βελτιστοποιείται η πληρότητα της απόδοσης του αναγλύφου με βέλτιστο κυρίαρχο φωτισμό και ελεγχόμενη συμμετοχή ΦΠΚ για την αντιμετώπιση της ελλειμματικής απεικόνισης, έως και απώλειας, της πληροφορίας στις σκούρα σκιασμένες πλαγιές. Αυτή, λαμβάνει χώρα με την κατάλληλη ποσοτική ανάμιξη των αντίστοιχων εικόνων φωτοσκίασης απλού και πολλαπλού φωτισμού και με κριτήριο την τοπική γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού της πρώτης στην επιφάνεια του εδάφους. Η γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού, σε τιμές που προσεγγίζουν, ή και υπερβαίνουν την ορθή γωνία σηματοδοτεί την αποστροφή του προσανατολισμού του εδάφους από τον φωτισμό και την απόδοσή τους με πολύ σκούρους, έως και απόλυτα μαύρους τόνων που κρύβουν την πληροφορία του αναγλύφου, την οποία αποκαθιστά η ενσωμάτωση της ΦΠΚ.

Επιλεγμένα οπτικά αποτελέσματα φωτοσκιάσεων των παραπάνω παρεμβάσεων, κρίθηκε απαραίτητο να αξιολογηθούν από παρατηρητές με εμπειρία στο αντικείμενο της χαρτογραφίας και γενικότερα των οπτικοποιήσεων του χώρου, κάτι που ήρθε σε πέρας με τη σχεδίαση και συμπλήρωση έρευνας με τη μορφή διαδικτυακού ερωτηματολογίου. Οι απαντήσεις των ερωτηθέντων και η συναγωγή ανάλογων στατιστικών δεικτών πλαισίωσαν τις απαντήσεις των κύριων ερωτημάτων της διατριβής και αφήνουν παρακαταθήκη για περαιτέρω έρευνα.

### **Περίγραμμα της διατριβής**

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο ξεκινά με μία σύντομη ιστορική ανασκόπηση της μεθόδου της φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου. Ακολουθεί μία περιεκτική παρουσίαση

του φαινομένου του φωτισμού, ενώ παρατίθενται οι απλουστεύσεις και οι παραδοχές που χαρακτηρίζουν την χαρτογραφική αξιοποίηση της μεθόδου. Η παράθεση των αναλυτικών σχέσεων και των εννοιών που εμπλέκονται στον υπολογισμό των τόνων φωτοσκίασης και η παράθεση σύγχρονων μελετών ολοκληρώνουν το γενικό υπόβαθρο της διατριβής.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αφού αποσαφηνισθεί ο ρόλος της παραμέτρου της κατεύθυνσης, παρουσιάζονται σταδιακά οι προτάσεις εμπλουτισμού του φωτισμού από τη μία σταθερή πηγή, περνώντας από τη δυναμική, τοπική προσαρμογή της, στους συνδυασμούς διαφορετικών φωτοσκιάσεων και στα πολυεστιακά μοντέλα ουρανού, για να γίνει εν τέλει η εισήγηση του όρου της Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ).

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αφορά στην πειραματική αξιολόγηση της οπτικής πολυπλοκότητας εικόνων φωτοσκίασης απλού και πολλαπλού φωτισμού, καθώς και συνδυασμού τους, με τη μέθοδο της ιχνηλάτησης των οφθαλμικών κινήσεων, οι καταγραφές των οποίων αναλύθηκαν τόσο με τον υπολογισμό και τη σύγκριση μεγεθών καταγραφής, όσο και με την ολοκληρωμένη συνεκτίμηση τους, βάσει της κρίσης εμπειρογνομόνων.

Με το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο απარიθμούνται τα υφιστάμενα μοντέλα σύνθεσης ΦΠΚ και εξερευνώνται πρόσθετα, εναλλακτικά μοντέλα, που διακρίνονται ως προς τον τρόπο στάθμισης των συνιστωσών βασικών φωτοσκιάσεων σε καθολικής στάθμισης, στάθμισης βάσει της οριζόντιας πλαγιότητας του φωτισμού τους με τον τοπικό προσανατολισμό και στάθμισης βάσει της γωνίας πρόσπτωσης του φωτισμού τους με τον τοπικό προσανατολισμό. Ακολούθως γίνεται εφαρμογή των μοντέλων σε περιοχή μελέτης.

Το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζει το πλαίσιο ανάμιξης φωτοσκιάσεων απλού πλάγιου και πολλαπλού φωτισμού. Με τις απαραίτητες βιβλιογραφικές αναφορές, τεκμηριώνεται αρχικά η ορθή αντιληπτικά, γενική προέλευση φωτισμού από δυτικά έως βόρεια και ακολούθως η αναλυτικότερη εκτίμηση βέλτιστου φωτισμού, εκείνου δηλαδή που αναδεικνύει τη μέγιστη πληροφορία του αναγλύφου. Θίγονται ζητήματα αναγνώρισης δομικών γραμμών, γενίκευσης του εδάφους και μορφολογικής ταξινόμησης και ανάλυσής του, για να ακολουθήσει πρακτική εφαρμογή αναζήτησης βέλτιστου φωτισμού για περιοχή μελέτης.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η σύνταξη και εκτέλεση ενός ερωτηματολογίου, όπου ζητούνται οι αξιολογήσεις επί σειράς εικόνων φωτοσκίασης για τη διερεύνηση

της επίδρασης διαφόρων εκ των παραμέτρων που έχουν τεθεί στις αναλύσεις των προηγούμενων κεφαλαίων, σε ένα σύνολο ερωτηθέντων με χαρτογραφική, ή άλλη παρεμφερή επιστημονική εμπειρία. Οι απαντήσεις επεξεργάσθηκαν με μεθόδους περιγραφικής στατιστικής και παρατίθενται τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Καταλήγοντας στον επίλογο, επιχειρείται μια συνεπεξεργασία των αρχικών και τελικών σκέψεων, των δοκιμαστικών πειραμάτων και των ερευνητικών προσεγγίσεων στο σύνολο των θεμάτων που θίγονται στη διατριβή, διατυπώνοντας τελικά συμπεράσματα και αποτιμώντας τις περαιτέρω ερευνητικές προκλήσεις.

Τέλος, οι υλοποιηθείσες αλγοριθμικές διαδικασίες σε περιβάλλον μοντελοποίησης λογισμικού, καθώς και αποσπάσματα οθόνης των ενοτήτων των διαδικτυακών ερωτηματολογίων που πλακίσωσαν την έρευνα, συναρτούν το Παράρτημα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗ

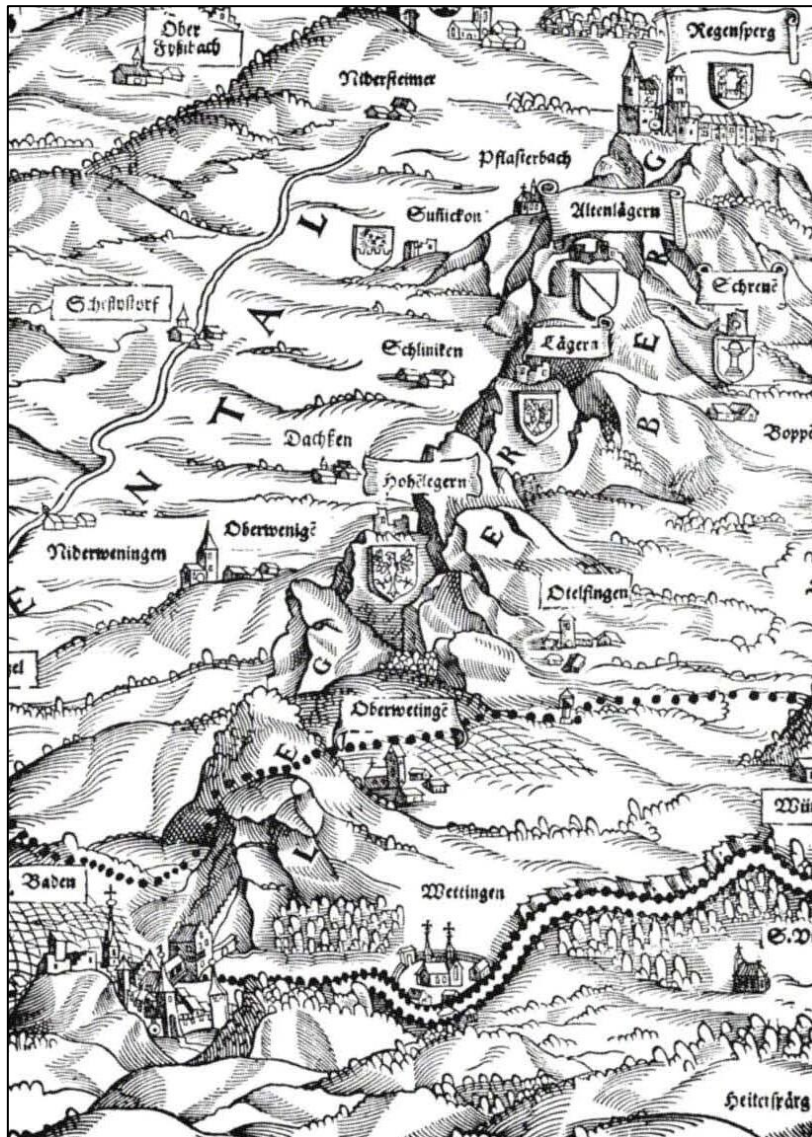
## 1.1 Το τοπογραφικό ανάγλυφο και οι βασικές μέθοδοι αναπαράστασής του

Το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι η μορφή της φυσικής γήινης επιφάνειας, συμπεριλαμβανομένων των υψομετρικών διαφορών, καθώς και των διαφορετικών ρυθμών μεταβολής των υψομέτρων, δηλαδή των υψομετρικών κλίσεων. Αποτελεί ένα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος χωρικό φαινόμενο που απεικονίζεται στους χάρτες, για μια σειρά από σημαντικούς λόγους (Νάκος & Φιλιππακοπούλου, 1993):

- Έχει τρισδιάστατο χαρακτήρα και ενέχει την πρόκληση της αναπαράστασής του στην δισδιάστατη επιφάνεια ενός χάρτη.
- Είναι αναγκαία η απεικόνιση της συνέχειάς του στον γεωγραφικό χώρο.
- Συνυπάρχει με μεγάλο πλήθος άλλων γεωχωρικών πληροφοριών, γεγονός που σε συνδυασμό με τον πεπερασμένο χώρο του χάρτη απαιτεί σύνθετες επιλογές χαρτογραφικής απόδοσης για να εξασφαλίζεται ευκρίνεια και ευκολία στην ερμηνεία.
- Αποτελεί ένα κατεξοχήν γνώριμο, αποτυπωμένο στην ανθρώπινη μνήμη στοιχείο του γεωγραφικού χώρου, κάτι που προϋποθέτει την αληθοφανή οπτικοποίησή του.

Οι ιδιαιτερότητες αυτές καθιστούν την αξιόπιστη αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου ως μια δύσκολη πρόκληση για τους χαρτογράφους και για το λόγο αυτό, στη μακρά ιστορία της ύπαρξης χαρτογραφικών ντοκουμέντων είτε απουσιάζει η απεικόνιση στοιχείων του τοπογραφικού ανάγλυφου, είτε αυτή γίνεται με τρόπους απλοϊκούς και περιγραφικούς (Εικόνα 1.1). Συστηματική αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου εμφανίζεται στους χάρτες μόλις τους δύο τελευταίους αιώνες, υπό την ευεργετική επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων που σχετίζονται με την συλλογή υψομετρικών δεδομένων και με τη χαρτογραφική απόδοση. Αρχικά, κατά την περίοδο των αναλογικών μέσων, η ανάπτυξη της λιθογραφίας και των εκτυπωτικών μηχανών έδωσαν τη δυνατότητα εκτύπωσης συνεχών, ομαλών μεταβολών σε τόνους και χρώματα και τώρα, στην εποχή των ψηφιακών μέσων τα υπολογιστικά συστήματα και οι υψηλής πιστότητας περιφερειακές συσκευές επιτρέπουν την τελειοποίηση των αναλυτικών διαδικασιών επεξεργασίας των

υπομετρικών δεδομένων, την ταχεία αναπαραγωγή και τη διαρκή ενημερότητα της απεικόνισης.

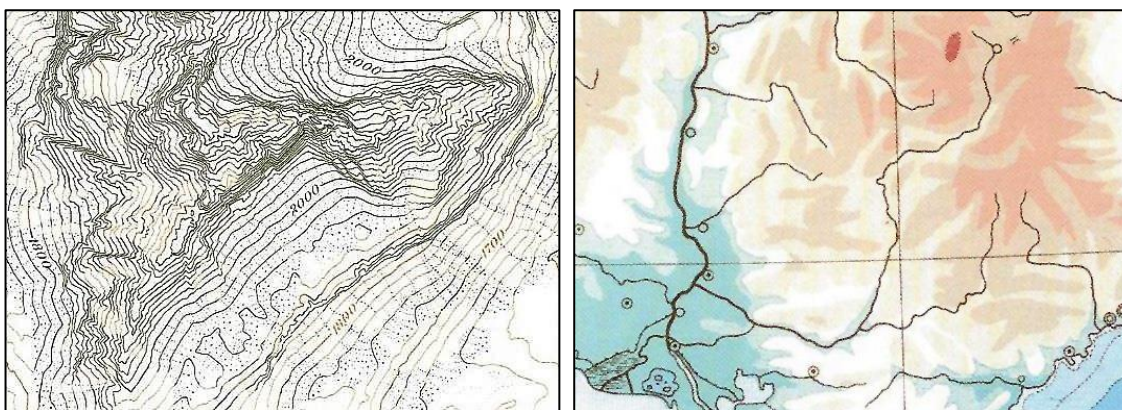


**Εικόνα 1.1:** Απεικόνιση εξάρσεων του τοπογραφικού αναγλύφου με καλλιτεχνικά σύμβολα που προσεγγίζουν τα φυσικά τους σχήματα. Απόσπασμα του Χάρτη του Καντονίου της Ζυρίχης, από τον Jos Murer το 1566 (Imhof, 1982).

Η πιο ακριβής γεωμετρικά μέθοδος αναπαράστασης του τοπογραφικού αναγλύφου είναι η απεικόνιση των *ισοϋψών και ισοβαθών καμπυλών* (Εικόνα 1.2), ως εφαρμογή της ισαριθμικής απεικόνισης για τα υψόμετρα και τα βάθη της φυσικής γήινης επιφάνειας. Κρίσιμο στοιχείο της επιτυχούς εφαρμογής της μεθόδου ως προς την αξιοπιστία του αποτελέσματος, αποτελεί η κατάλληλη επιλογή της σταθερής -κατά κανόνα- υπομετρικής διαφοράς (ισοδιάστασης) των καμπυλών, αναλόγως της μορφολογίας της εκάστοτε απεικονιζόμενης περιοχής και της ακρίβειας που προϋποθέτει η κλίμακα σχεδίασης του χάρτη.



Συγγενής ως προς τις ισοϋψείς καμπύλες μέθοδος, είναι η χρήση *υψομετρικών χρωμάτων* (Εικόνα 1.2), με την οποία γίνεται απόδοση της πληροφορίας του υψομέτρου -είτε κατά διακριτές ζώνες μεταξύ ισοϋψών καμπυλών, είτε και κατά συνεχή διαφοροποίησή της τιμής του υψομέτρου- με τη βοήθεια χρωματικών ακολουθιών ανάμικτων αποχρώσεων που αντλούνται από τη χρωματική γκάμα της φυσικής γήινης επιφάνειας, όπως πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και καφέ (ή γαλάζιο και μπλε για θαλάσσιες περιοχές). Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα προσφιλής σε χάρτες μικρών κλιμάκων, όπως πχ. οι άτλαντες ή οι χάρτες τοίχου, το δε οπτικό αποτέλεσμά της προάγει την συνολική αισθητική του χάρτη και προσδίδει ρεαλισμό.



**Εικόνα 1.2:** Αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου με ισοϋψείς καμπύλες και με υψομετρικά χρώματα (Imhof, 1982).

Η εστίαση σε ένα ρεαλιστικό, όσο και καλλιτεχνικό αποτέλεσμα αποτέλεσε βασικό στοιχείο στην παραγωγή ενός χάρτη, προτού η τεχνολογία εξελιχθεί αρκετά ώστε να αναπτυχθούν αξιόπιστες μέθοδοι αποτύπωσης της γης (Νάκος & Τζελέπης, 1994). Από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, όταν η εξέλιξη των τοπογραφικών μελετών ωρίμασε επαρκώς ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή οριζοντιογραφικά σχεδίαση, δίπλα στην καλλιτεχνική προσέγγιση κατά την σχεδίαση του χάρτη συνυπήρχε πλέον και το ορθολογικό στοιχείο, με τη μέθοδο της γραμμοσκίασης της κλίσης να κάνει την εμφάνισή της (Εικόνα 1.3). Η γραμμοσκίαση υλοποιείται με δέσμες μικρών γραμμών που προσανατολίζονται παράλληλα με την κλίση του εδάφους, ενώ το πάχος ή η πυκνότητά των γραμμών αυξάνονται ανάλογα με το μέγεθος της κλίσης του εδάφους.

Παρατηρώντας κανείς τη γραμμοσκίαση της κλίσης από απόσταση, καθώς τα πυκνά μοτίβο των γραμμών δημιουργούν την ψευδαίσθηση συμπαγών, διαφορετικών τόνων νομίζει πλέον ότι βλέπει μια φωτισμένη, τρισδιάστατη συνεχή επιφάνεια.

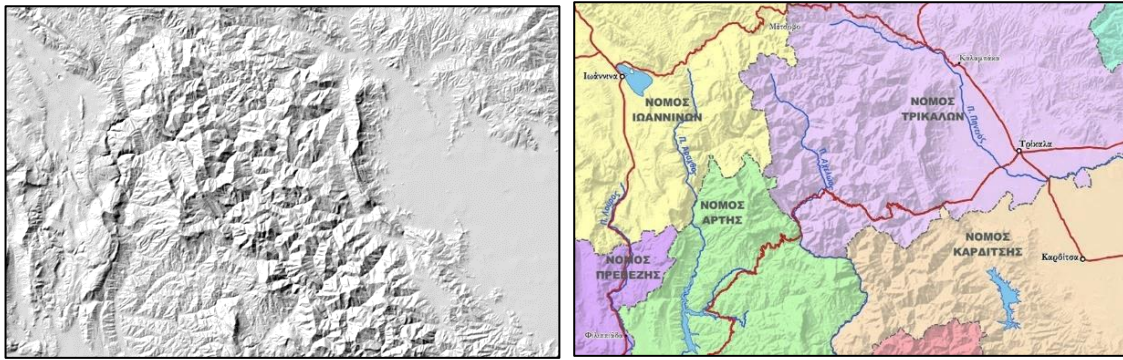


**Εικόνα 1.3:** Αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου με γραμμοσκίαση της κλίσης (Imhof, 1982).

Αυτή η γνώριμη αίσθηση και εντύπωση που δημιουργούνται παρατηρώντας έναν χάρτη εποπτικά, είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη λειτουργικότητά του ως μέσου μετάδοσης των γεωγραφικών και θεματικών πληροφοριών του, με την απεικόνιση της μορφής της φυσικής γήινης επιφάνειας να παίζει καθοριστικό ρόλο.

Η *φωτοσκίαση του τοπογραφικού αναγλύφου* είναι εκείνη ακριβώς η μέθοδος που παρέχει την άμεση και εύληπτη αντίληψη των μορφολογικών σχηματισμών, προσομοιώνοντας το φυσικό αποτέλεσμα της παραλλαγής του τόνου στη γήινη επιφάνεια, υπό την επίδραση φωτισμού. Παρέχει γρήγορη και εποπτική κατανόηση της τοπογραφίας, σε ειδικευμένους και μη χρήστες χαρτών, ενώ πλεονεκτεί κατά τη συνδυασμένη απεικόνιση με τις υπόλοιπες πληροφορίες ενός χάρτη, ακόμα και σε θεματικούς χάρτες καθολικής κάλυψης με επιφανειακούς συμβολισμούς (Εικόνα 1.4), λόγω της υλοποίησής της με μονοχρωματική ακολουθία έντασης, ως επί το πλείστον γκρίζων τόνων.

Οι παραπάνω βασικές μέθοδοι αναπαράστασης του τοπογραφικού αναγλύφου εμπίπτουν στους χαρτογραφικούς κανόνες ταξινόμησης και κωδικοποίησης του συμβολισμού των χωρικών δεδομένων βάσει οπτικών μεταβλητών, με έμφαση εντούτοις στην σχηματοποίηση συγκεκριμένων οπτικών ερεθισμάτων που ενεργοποιούν την τρισδιάστατη αντίληψη του χώρου. Από τα ερεθίσματα αυτά, ο φωτισμός και η επίδρασή του στο ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας με τη συνεπαγόμενη διαφοροποίηση του τόνου, είναι στην πραγματικότητα μια ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη φυσική διαδικασία.



**Εικόνα 1.4:** Αναπαράσταση τοπογραφικού αναγλύφου με φωτοσκίαση, αμιγώς και σε συνδυασμό με θεματικό χάρτη Περιοχή Νότιας Πίνδου (Νάκος, 2021).

## 1.2 Ο φωτισμός ως οπτικό ερέθισμα αντίληψης του χώρου και ως φυσική διαδικασία

Η αντίληψη της τρίτης διάστασης μέσα από έναν διδιάστατο χάρτη βασίζεται στην αξιοποίηση *εικονογραφικών* οπτικών ερεθισμάτων, ικανών να παράγουν την αίσθηση του βάθους στις εικόνες του γεωγραφικού χώρου (Kraak, 1988). Από αυτά, κάποια ξεχωρίζουν ως προς τον ιδιαίτερο ρόλο τους στην προσπάθεια αναπαράστασης της γήινης επιφάνειας, καθώς βασίζονται στις εμπειρικές παραστάσεις των χρηστών (Imhof, 1982).

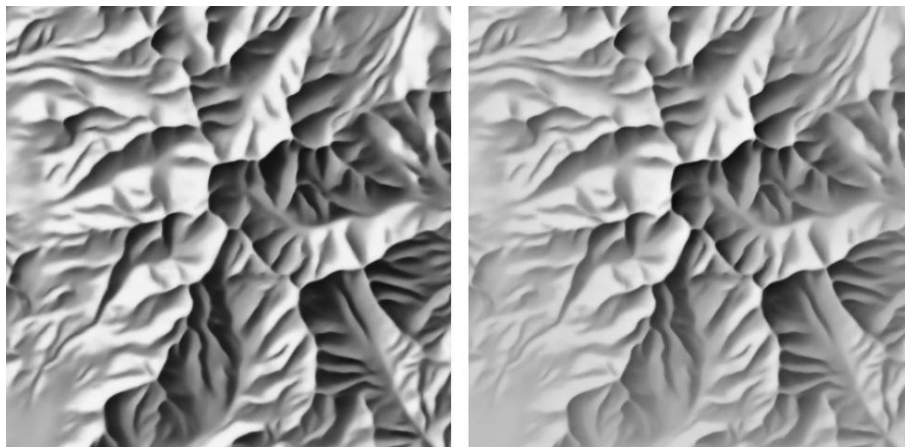
Με δεδομένες τις οικείες προς στους χρήστες των χαρτών χρωματικές συμβάσεις για την πληροφορία του υψομέτρου, το *χρώμα* είναι ένα εξαιρετικό μέσο για την ενίσχυση της προσομοίωσης του τοπογραφικού αναγλύφου, καθώς προσφέρει τις απαραίτητες γραφικές ενδείξεις για εύκολη κατανόηση της σύνθετης τοπογραφίας (Jenny & Hurni, 2006). Η συστηματική χρήση των ευχάριστων πράσινων, κίτρινων, καφέ *αποχρώσεων*<sup>1</sup>, καθώς και κόκκινων ή λευκών σε ορεινές περιοχές πολύ μεγάλων υψομέτρων είναι ένα στοιχείο που προκαλεί τον θαυμασμό στους χάρτες τοίχου, στους άτλαντες και στους χάρτες καιρού των τηλεοπτικών ειδήσεων (Patterson & Jenny, 2011). Επίσης, η υποβάθμιση της αντίθεσης στους επιφανειακούς συμβολισμούς των πεδινότερων περιοχών, μέσω ανάλογων παρεμβάσεων στις χρωματικές συνιστώσες της *έντασης*<sup>2</sup> και του *κορεσμού*<sup>3</sup>, η

<sup>1</sup> Απόχρωση: Η διάσταση του χρώματος που αφορά στα μήκη κύματος του φωτός που ανακλώνται από τη χρωματιστή επιφάνεια. Είναι πρακτικά το όνομα του χρώματος, όπως το αντιλαμβάνεται ο μέσος άνθρωπος (Στάμου, 2019).

<sup>2</sup> Ένταση: Η διάσταση του χρώματος που αφορά στην ποσότητα φωτός που ανακλάται από τη χρωματιστή επιφάνεια. Περιγράφει το πόσο έντονο ή άτονο είναι ένα χρώμα (Στάμου, 2019).

<sup>3</sup> Κορεσμός: Η διάσταση του χρώματος που αφορά στην ποσότητα γκριζού που περιέχεται. Περιγράφει το πόσο «καθαρό» είναι ένα χρώμα, αλλιώς το πόσο ζωηρό ή μουντό είναι (Στάμου, 2019).

οποία κάνει το οπτικό αποτέλεσμα πιο μουντό και αχνό (Jenny & Patterson, 2021), αποδίδει με αποτελεσματικότητα τη διαφοροποίηση του βάθους παρατήρησης που αντιστοιχεί στις αλλαγές του υψομέτρου της απεικονιζόμενης επιφάνειας (Εικόνα 1.5), όπως άλλωστε συμβαίνει και στην πραγματικότητα λόγω της ατμοσφαιρικής σκέδασης του φωτός, φαινόμενο που είναι γνωστό ως *ατμοσφαιρική προοπτική* (*aerial perspective*).



**Εικόνα 1.5:** Διαφοροποίηση του βάθους παρατήρησης λόγω ατμοσφαιρικής προοπτικής (αριστερά πριν, δεξιά μετά την εφαρμογή).  
Περιοχή στην Πολιτεία Νεβάδα, ΗΠΑ (Jenny & Patterson, 2020).

Εντούτοις, ο πιο αποτελεσματικός δείκτης της μορφής και του σχήματος των ανάγλυφων δομών είναι το φως, οι ακτίνες του οποίου κατευθυνόμενες υπό γωνία και ανακλώμενες σε μια επιφάνεια, παράγουν πλούσιες αλλαγές φωτεινότητας μεταξύ φωτός και σκιάς, έτσι ώστε ακόμη και οι μικρότερες διαφοροποιήσεις να μπορούν να αναδειχθούν με ευκρίνεια (Imhof, 1982).

Ο φυσικός φωτισμός είναι ένα περίπλοκο μείγμα μηχανισμών που ορίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ της ακτινοβολίας του ηλιακού φωτός και της φωτιζόμενης γήινης επιφάνειας και έχουν ως αποτέλεσμα μια πλούσια ποικιλία οπτικών εφέ που συνθέτουν την τελική, πραγματική εικόνα της επιφάνειας (Tzelervis & Nakos, 2003). Πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά βήματα (Εικόνα 1.6):

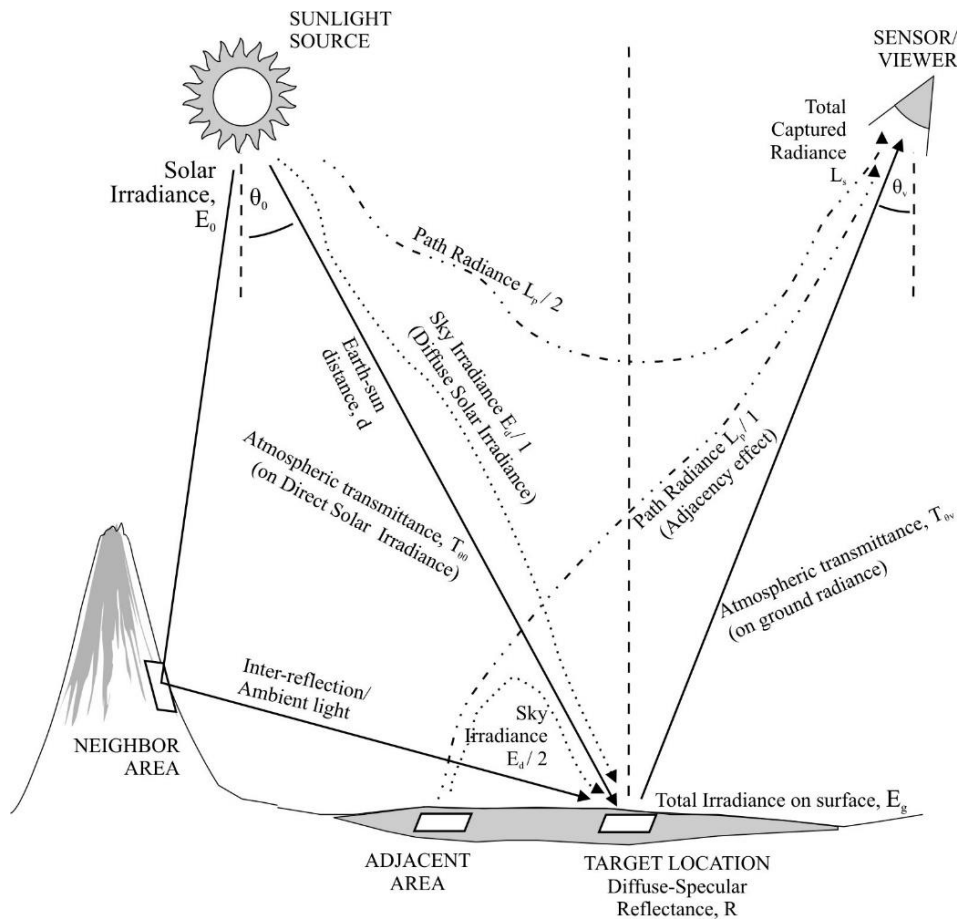
α) με τη μεταφορά της ποσότητας φωτός που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή (τον ήλιο) προς μία θέση της γήινης επιφάνειας και

β) με την επιστροφή της ποσότητας φωτός μέσω ανάκλασης από τη στοχευμένη θέση, προς τον αισθητήρα καταγραφής (ανθρώπινο μάτι ή τεχνητός αισθητήρας).

Και στις δύο διαδρομές, μέσω διαφόρων τρόπων συμπεριφοράς της φωτεινής ακτινοβολίας όπως η ανάκλαση, η διάθλαση, η σκέδαση και η απορρόφηση, η αρχική ποσότητα φωτός υφίσταται διαφοροποιήσεις λόγω απόκλισης κάποιων



ποσοτήτων προς άλλους προορισμούς (συγκεκριμένους ή απροσδιόριστους) και λόγω ενσωμάτωσης ποσοτήτων που αποκλίνουν από άλλες κατευθύνσεις. Οι παράγοντες που εκφράζουν τις διαφοροποιήσεις αυτές καθορίζονται από τις ιδιαίτερες συνθήκες φωτισμού που διαμορφώνουν οι ιδιότητες της ατμόσφαιρας και τα φυσικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας.



**Εικόνα 1.6:** Φυσικός φωτισμός και οι παράγοντες που τον επηρεάζουν κατά τις διαδρομές του φωτός (Tzelerpis & Nakos, 2003).

Ο κύριος παράγοντας απωλειών είναι η *ατμοσφαιρική διαπερατότητα (atmospheric transmittance)*, η οποία καθορίζει το ποσοστό της αρχικής, εισερχόμενης φωτεινής ενέργειας που καταφέρνει να διέλθει της ατμόσφαιρας. Για την εκτίμησή της κατά την εκάστοτε διαδρομή που ακολουθεί, έτσι όπως αυτή διαμορφώνεται από τη ζενίθια γωνία της και την απόσταση πηγής-στόχου, συνεισφέρουν συντελεστές εξασθένησης λόγω απορρόφησης και σκέδασης, συναρτήσεσι του μήκους κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας και του υψομέτρου της μετάδοσης. Αντιθέτως, ενισχυτικά δρουν διάφορα φαινόμενα διάχυσης τμημάτων της ηλιακής φωτεινής ενέργειας στην ατμόσφαιρα, είτε κατά τη μετάδοσή της, είτε μετά την ανάκλασή της από γειτονικές θέσεις της επιφάνειας, με τις μορφές αντίστοιχα της

ακτινοβολίας του ουρανού (*sky irradiance*) και της ακτινοβολίας διαδρομής (*path radiance*).

Η επίδραση των φυσικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας στον φωτισμό εκφράζεται μέσω της ανακλαστικότητάς της (*reflectance*) στη συγκεκριμένη θέση, που είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ποσότητας φωτός που ανακλάται, ανάλογα με τη δομή της επιφάνειας και με τον σχετικό, τοπικό προσανατολισμό μεταξύ επιφάνειας, φωτεινής πηγής και του αισθητήρα καταγραφής. Για την μοντελοποίηση της ανακλαστικότητας μιας φωτιζόμενης επιφάνειας, υπάρχουν δύο εκδοχές:

I) Να υιοθετηθεί η απλουστευτική υπόθεση της *διαχυτικής ανάκλασης* (*diffuse reflectance*) του φωτός (όπως συμβαίνει στις περισσότερες επιφάνειες λόγω πορώδους ή τραχιάς υφής) και κατά ιδανικό τρόπο, δηλαδή ισότροπα προς όλες τις κατευθύνσεις, λαμβάνοντας υπόψιν μόνον τον σχετικό προσανατολισμό μεταξύ θέσης της επιφάνειας και φωτεινής πηγής και αγνοώντας τη διαδρομή του φωτός μετά την ανάκλασή του.

II) Να θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα και *κατοπτρική ανάκλαση* (*specular reflectance*) του φωτός, με περισσότερη ένταση προς την κατεύθυνση της ανάκλασης (όπως στις σπανιότερες, στιλπνές επιφάνειες), όπου συνυπολογίζεται η σχετική θέση του αισθητήρα καταγραφής, άρα και η διαδρομή του φωτός μετά την ανάκλαση στην επιφάνεια, με την εφαρμογή μιας *συνάρτησης κατανομής αμφίδρομης ανάκλασης* (*Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF*) με την οποία παραμετροποιείται η συνολική γεωμετρία του φωτισμού, δηλαδή ο τοπικός προσανατολισμός με τη *ζενίθια γωνία* και το *αζιμούθιο*, η *γωνία πρόσπτωσης* του φωτός και η *γωνία ανάκλασής* του.

Ακόμη, σε ορεινές περιοχές με έντονο και τραχύ ανάγλυφο, η τελική φωτεινότητα μιας θέσης ενισχύεται και από αμοιβαίες ανακλάσεις του φωτός που προκύπτουν μεταξύ διαφορετικών, γειτονικών θέσεων της φωτιζόμενης επιφάνειας. Ο απόλυτα ακριβής υπολογισμός τους θα απαιτούσε απαιτητικούς και χρονοβόρους αλγόριθμους ιχνηλάτησης της φωτεινής ακτινοβολίας (*ray tracing*), ωστόσο προσεγγίζεται ικανοποιητικά ως μια σταθερή ποσότητα ενιαίου, *περιβάλλοντος φωτός* (*ambient light*).

Τέλος, η διαμορφούμενη ποσότητα φωτός πριν την πρόσπτωσή της στη φωτιζόμενη επιφάνεια, συναντά το εμπόδιο των μεγαλύτερων υψωμάτων που όχι απλώς διαφοροποιούν, παρά μπλοκάρουν κατ' απόλυτο τρόπο την πρόσβαση στις

χαμηλότερες περιοχές, διαμορφώνοντας το χαρακτηριστικό οπτικό γνώρισμα των σκιών (*cast shadows*).

### 1.3 Απλουστεύσεις και παραδοχές για τη φωτοσκίαση στους χάρτες

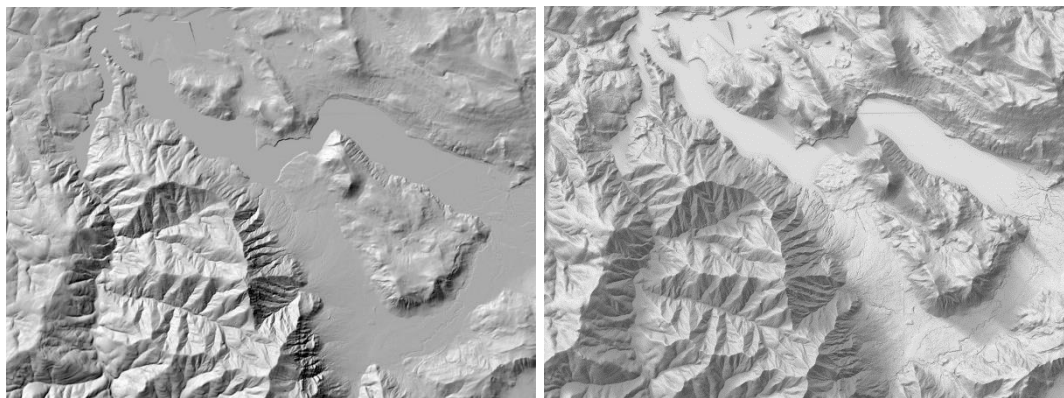
Σε μια χαρτογραφική μέθοδο αναλυτικής φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, ο στόχος δεν είναι η μίμηση του φυσικού οπτικού αποτελέσματος, παρά η διαμόρφωση μιας οπτικοποίησης που θα επικοινωνεί επιτυχώς την πληροφορία του φαινομένου. Ζητούμενο έτσι, είναι η αξιοποίηση του φωτισμού ως οπτικού ερεθίσματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να υλοποιείται ένας συσχετισμός μεταξύ τιμών του φαινομένου (γεωμετρική πληροφορία σε κάθε θέση του αναγλύφου) και επιφανειακών συμβόλων (τιμών φωτεινότητας της επιφάνειας). Κατά συνέπεια, από τους παραπάνω παράγοντες της φυσικής διαδικασίας φωτισμού που περιεγράφηκαν διεξοδικά, για τη φωτοσκίαση στους χάρτες το ενδιαφέρον εστιάζεται σε όσους εξασφαλίζουν και προάγουν το σκοπό αυτό, ενώ παραλείπονται όσοι δεν τον συνδράμουν, ή ενδεχομένως και να τον δυσκολεύουν.

Ο παράγοντας του φυσικού φωτισμού που έχει άμεση σχέση και αλληλεπίδραση με τα τοπικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αναγλύφου, όπως το υψόμετρο και ο προσανατολισμός, είναι η ανακλαστικότητα (Τζελέπης & Νάκος, 1995). Για τον υπολογισμό της, θεωρείται πως η επιφάνεια του αναγλύφου αντιδρά στο φως με βάση το μοντέλο της διαχυτικής ανάκλασης κατά ιδανικό τρόπο, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητα φαινόμενα της κατοπτρικής ανάκλασης (όπως πχ. οι έντονες φωτεινές κηλίδες) και να εξασφαλίζεται η ομαλότητα στην διαφοροποίηση των τόνων και η αλληλεπίδρασή με τις φόρμες του αναγλύφου (Imhof, 1982).

Παράγοντες υψηλής πολυπλοκότητας στην πλήρη έκτασή τους, όπως η ατμοσφαιρική διαπερατότητα ή η διαχεόμενη στην ατμόσφαιρα φωτεινή ακτινοβολία, οι οποίοι είτε δεν σχετίζονται άμεσα με γεωμετρικά στοιχεία της επιφάνειας, είτε διαφοροποιούνται από τη συνολική κατανομή του εδάφους ή από το υψόμετρο της περιοχής, καθώς και οι σκιές που αποκρύπτουν εντελώς την πληροφορία του αναγλύφου, προορίζονται για την κατασκευή τρισδιάστατων, ρεαλιστικών γεω-οπτικοποιήσεων της φυσικής πραγματικότητας.

Εντούτοις, απλουστευμένες προσεγγίσεις κάποιων παραγόντων, ή τμημάτων αυτών συναντώνται κατά περίπτωση. Το περιβάλλον φως συμπεριλαμβάνεται ενίοτε στα περιβάλλοντα φωτοσκίασης ή τρισδιάστατης απεικόνισης (Εικόνα 1.7), και η απώλεια διαύγειας λόγω του σκεδαστικού παράγοντα της ατμοσφαιρικής

διαπερατότητας, αλλιώς γνωστή ως *ατμοσφαιρική προοπτική* (*aerial perspective*, βλ.1.2), αποτελεί βασικό χειρισμό για την απόδοση του υψομέτρου στη σχεδίαση της φωτοσκίασης. Αλλά και παράγοντες σαφώς πιο πολύπλοκοι, όπως η διαχεόμενη στην ατμόσφαιρα ποσότητα του εκπεμπόμενου φωτός, αλλιώς ακτινοβολία του ουρανού, προσεγγίζονται υπολογιστικά σε υλοποιήσεις μεθόδων όπου γίνεται μοντελοποίηση του φωτισμού που εκπέμπει ο ουράνιος θόλος.



**Εικόνα 1.7:** Προσθήκη περιβάλλοντος φωτός (αριστερά πριν, δεξιά μετά την εφαρμογή) – Περιοχή στην Πολιτεία Washington, ΗΠΑ (<https://www.linkedin.com/pulse/ambient-hillshading-fme-jan-rykr>).

Σημαντικό είναι τέλος να αναφερθεί η γεωμετρικού χαρακτήρα παραδοχή που αφορά στον προσανατολισμό των φωτεινών ακτινών. Παρά το γεγονός ότι μια πηγή εκπομπής (στη φυσική πραγματικότητα ο ήλιος) είναι σημειακή, λόγω της άπειρης απόστασής της από τη φωτιζόμενη, γήινη επιφάνεια θεωρείται πρακτικά πως η γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού επάνω σε κάθε θέση είναι σταθερή, επομένως υλοποιείται ως δέσμη κατευθυντικού φωτός με σταθερό προσανατολισμό.

#### 1.4 Αναλυτική φωτοσκίαση του αναγλύφου

Η πρώτη μαθηματική περιγραφή για τον υπολογισμό τιμών φωτοσκίασης ήταν ο νόμος Lambert για την ιδανικά διαχυτική ανάκλαση του φωτός, βάσει του οποίου το μέγεθος της ανακλαστικότητας,  $R$  ισούται με το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ της τοπικής καθέτου στην επιφάνεια και της διεύθυνσης του φωτός (Hurni, 2008), ή αλλιώς της γωνίας πρόσπτωσης,  $i$  του φωτός (Εικόνα 1.8) στην επιφάνεια του αναγλύφου:

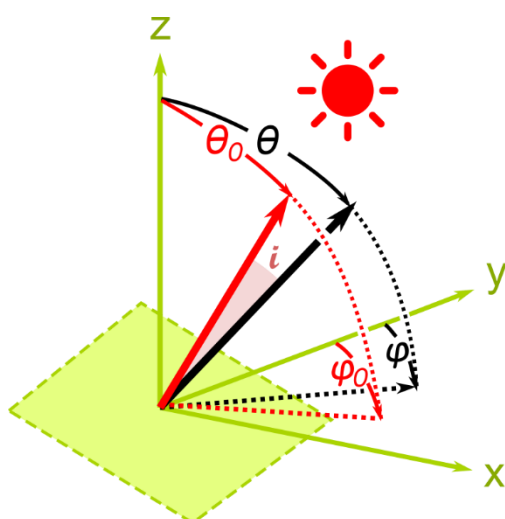
$$R = \cos(i).$$

Σε αυτή τη σχέση στηρίχθηκε πολλά χρόνια αργότερα η πρώτη απόπειρα αυτοματοποιημένης, αναλυτικής διαδικασίας φωτοσκίασης σε υπολογιστικό περιβάλλον από τον Pinhas Yoeli (1967), ενώ με την καθιέρωση της δομής του



Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ) ως βασικής μορφής οργάνωσης των ψηφιακών δεδομένων του τοπογραφικού ανάγλυφου που ακολούθησε, μειώθηκε σημαντικά ο χρόνος επεξεργασίας μέχρι και σήμερα που αποτελεί πλέον θέμα μερικών δευτερολέπτων. Μέσω ενός ΨΜΕ είναι δυνατός ο προσδιορισμός οποιασδήποτε ιδιότητας του αναγλύφου (κλίση, αζιμούθιο, καμπυλότητα, κ.ά.) μέσω παράγωγης επεξεργασίας. Για τις ανάγκες υπολογισμού της ανακλαστικότητας προσδιορίζονται η ζενίθια γωνία<sup>4</sup>,  $\theta$  και το αζιμούθιο<sup>5</sup>,  $\varphi$  της τοπικής καθέτου του εδάφους (Εικόνα 1.8), μεγέθη τα οποία μαζί με τα αντίστοιχα στοιχεία προσανατολισμού, ζενίθια γωνία,  $\theta_0$  και αζιμούθιο,  $\varphi_0$ , της κατεύθυνσης φωτισμού που έχει επιλεγεί, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συνημιτόνου της γωνίας πρόσπτωσης του φωτός (και κατά συνέπεια της ανακλαστικότητας) ως εξής (Horn, 1982):

$$R = \cos(i) = \cos(\theta) \cdot \cos(\theta_0) + \sin(\theta) \cdot \sin(\theta_0) \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)$$



**Εικόνα 1.8:** Στοιχεία προσανατολισμού (ζενίθια γωνία και γωνία αζιμουθίου) της τοπικής καθέτου του εδάφους, ( $\theta, \varphi$ ) και της φωτεινής δέσμης ( $\theta_0, \varphi_0$ ) και η μεταξύ τους γωνία πρόσπτωσης,  $i$  του φωτισμού στο έδαφος.

Κατά το πρότυπο της παραπάνω αυτοματοποιημένης διαδικασίας υπολογισμού των ανακλαστικότητας με ιδανική διάχυτη αντανάκλαση του φωτισμού από μία πηγή καθορισμένης κατεύθυνσης, είναι δυνατόν να υλοποιηθεί ένα οποιοδήποτε υπολογιστικό μοντέλο φωτοσκίασης ως συνδυασμός αλγεβρικών ή/και λογικών πράξεων, τριγωνομετρικών, στατιστικών και άλλων βασικών συναρτήσεων και προγραμματιστικών βρόγχων. Το μοντέλο, τροφοδοτούμενο από την υψομετρική πληροφορία ενός ΨΜΕ με τη μορφή δισδιάστατου τετραγωνικού κανάβου υψομέτρων θα παράγει τον αντίστοιχο κানাβο τιμών

<sup>4</sup> Ζενίθια γωνία μιας κατεύθυνσης είναι η κατακόρυφη γωνία που σχηματίζει με το ζενίθ, ενώ γωνία ύψους μιας κατεύθυνσης είναι η κατακόρυφη γωνία που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο και είναι συμπληρωματική της ζενίθιας γωνίας της.

<sup>5</sup> Αζιμούθιο μιας κατεύθυνσης είναι η δεξιόστροφη γωνία που σχηματίζει στο οριζόντιο επίπεδο με αφετηρία τον βορρά.

ανακλαστικότητα, ο οποίος θα μπορεί να απεικονισθεί μέσω μονοχρωματικής κλίμακας τόνων του γκρι και να σχηματίζει την εικόνα φωτοσκίασης του αναγλύφου της απεικονιζόμενης περιοχής.

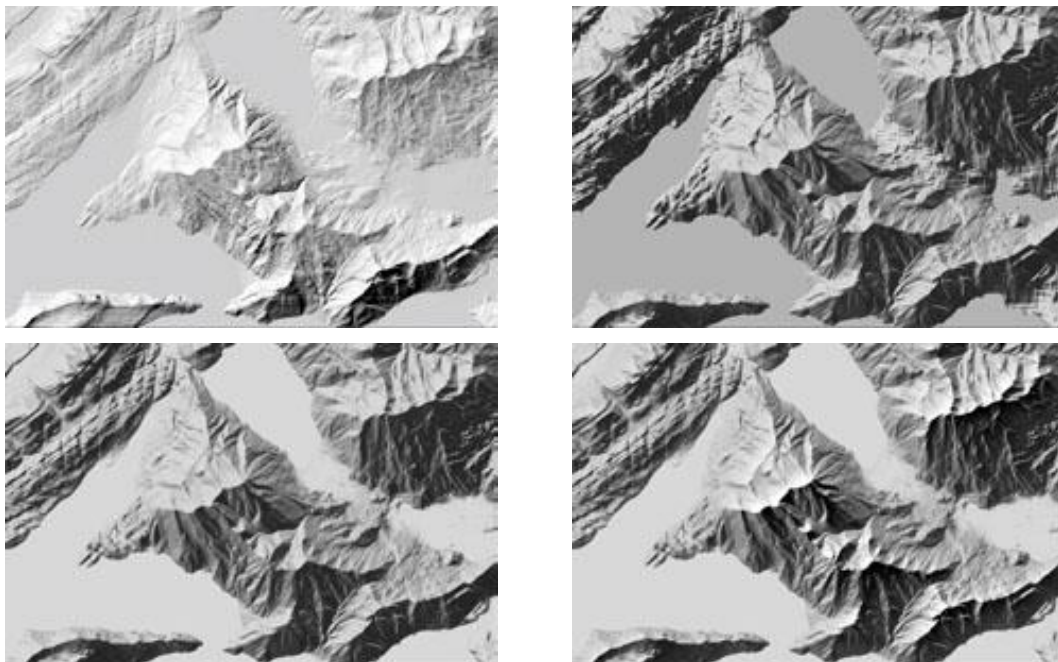
Βασικότατο πλεονέκτημα μιας τέτοιας αναλυτικής, αυτοματοποιημένης διαδικασίας υπολογισμού της φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου είναι η αντικειμενική και πιστή απόδοσή του, σε αντίθεση με την χειροκίνητη μέθοδο όπου το τελικό οπτικό αποτέλεσμα περιλάμβανε τις επιδράσεις της υποκειμενικής κρίσης του χαρτογράφου-σχεδιαστή, ενώ φυσικά συνυπάρχουν ο σαφώς λιγότερος χρόνος υλοποίησης, η επαναληπτικότητα, η δυνατότητα παρεμβάσεων στα δεδομένα και στη διαδικασία και της αντίστοιχης ενημέρωσης του οπτικού αποτελέσματος, καθώς επίσης και το χαμηλότερο κόστος παραγωγής (Νάκος & Τζελέπης, 1994).

Με δεδομένο ένα ευέλικτο λογισμικό πλαίσιο αναλυτικής φωτοσκίασης και με τους ρυθμούς ανάπτυξης του υπολογιστικού εξοπλισμού να επιταχύνονται διαρκώς, τις τελευταίες δύο δεκαετίες αναπτύχθηκαν πολλές ερευνητικές προτάσεις για μεθόδους αναλυτικής φωτοσκίασης, όπου αξιοποιούνται διαφορετικά μοντέλα φωτισμού, δοκιμάζονται συνδυασμοί πολλαπλών φωτεινών πηγών ή επιστρατεύονται διάφορες παράμετροι του αναγλύφου, πέραν της κλίσης και του προσανατολισμού (πχ. καμπυλότητες). Κυρίως όμως, επιχειρείται η αλγοριθμική μετάφραση των έξυπνων αποφάσεων και των ειδικών κανόνων που εφαρμόστηκαν κατά τη χειροκίνητη σχεδίαση της φωτοσκίασης για να προάγουν την ευαναγνωστικότητα και την αισθητική ποιότητα του οπτικού αποτελέσματος, ενώ έχουν καθιερωθεί ως «Ελβετικό στυλ» (*Swiss style*), καθώς τα πιο εντυπωσιακά δείγματα χαρτών με απεικόνιση του τοπογραφικού αναγλύφου έχουν σχεδιαστεί με το χέρι από διακεκριμένους, πολύπειρους ελβετούς χαρτογράφους. Έτσι, δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι σημαντικό μέρος της έρευνας, παρουσιάζεται από μέλη και συνεργάτες του Ινστιτούτου Χαρτογραφίας στο Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Ζυρίχης (*ETH Zurich*), της πρώτης διεθνώς ακαδημαϊκής μονάδας με επιστημονικό αντικείμενο τη χαρτογραφία που ιδρύθηκε το 1925 από τον Eduard Imhof, συγγραφέα του συγγράμματος αναφοράς με τίτλο «*Cartographic Relief Presentation*» (1982).

### **1.5 Σύγχρονες εξελίξεις στην αναλυτική φωτοσκίαση**

Ο Bernhard Jenny (2001) προσέγγισε την εφαρμογή των βασικών χαρακτηριστικών του ελβετικού στυλ, μέσω ενός γραφικού, διαδραστικού περιβάλλοντος επικοινωνίας

που επιτρέπει την επιλογή συγκεκριμένων περιοχών και την προσαρμοσμένη εφαρμογή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών σε αυτές. Τα χαρακτηριστικά αυτά, τα οποία και καθορίζουν τους τελικούς τόνους φωτοσκίασης είναι η χρήση ενός συνδυασμού *φωτοσκίασης βάσει προσανατολισμού* (Moellering & Kimerling, 1990) για τις περιοχές απότομων κλίσεων και φωτοσκίασης διαχυτικής αντανάκλασης για τις πεδινές περιοχές, η εφαρμογή ενός ενιαίου, ιδιαίτερα φωτεινού τόνου στις επίπεδες περιοχές, ενώ προστίθεται και το εφέ της ατμοσφαιρικής προοπτικής (Εικόνα 1.9). Ειδικά για την τελευταία, οι Jenny & Tom Patterson (2021) σχεδίασαν έναν αλγόριθμο για την προσθήκη της σε υφιστάμενες εικόνες φωτοσκίασης, όπου η προσαρμογή της αντίθεσης ανάλογα με το υψόμετρο διευκολύνεται ελέγχοντας το μέγεθος και την κατακόρυφη κατανομή του εφέ μέσω λίγων κατανοητών παραμέτρων, ενώ διατηρείται ο ενιαίος τόνος στις επίπεδες περιοχές (που διασφαλίζει τη διάκριση τους από υψηλότερες ή χαμηλότερες μορφές του αναγλύφου) και σε σχέση με την αντίστοιχη, πρώιμη προσέγγιση του Kurt Brassel (1974) αποτρέπονται οι υπερβολικά σκούροι τόνοι στα μεγάλα υψόμετρα.



**Εικόνα 1.9:** Βασικά χαρακτηριστικά της φωτοσκίασης αναγλύφου με το ελβετικό στυλ. Επάνω αριστερά, φωτοσκίαση διαχυτικής αντανάκλασης, επάνω δεξιά, φωτοσκίαση βάσει προσανατολισμού, κάτω αριστερά, ενιαίος φωτεινός τόνος στις επίπεδες περιοχές και κάτω δεξιά, ατμοσφαιρική προοπτική (Jenny, 2001)

Η ανάδειξη των μεγάλων μορφών του αναγλύφου μέσω ενιαίας προσαρμογής της φωτεινής πηγής στις πλευρές τους, αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του ελβετικού στυλ και για την επίτευξή του κατά τη χειροκίνητη σχεδίαση της φωτοσκίασης, αξιοποιούνται ο σκελετός των γραμμών ασυνέχειας, δηλαδή των

κορυφογραμμών και των ρεμάτων της απεικονιζόμενης περιοχής. Αυτή είναι η βασική έμπνευση στην εργασία των Brooke Marston & Jenny (2015), όπου ο σκελετός αυτός εξάγεται με κατάλληλη επεξεργασία από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και οι γραμμικές οντότητες που τον απαρτίζουν, εμπλουτίζονται με την πληροφορία των εκατέρωθεν προσαρμοσμένων διευθύνσεων φωτισμού και των αντίστοιχων τόνων φωτοσκίασης βάσει προσανατολισμού (Moellering & Kimerling, 1990).

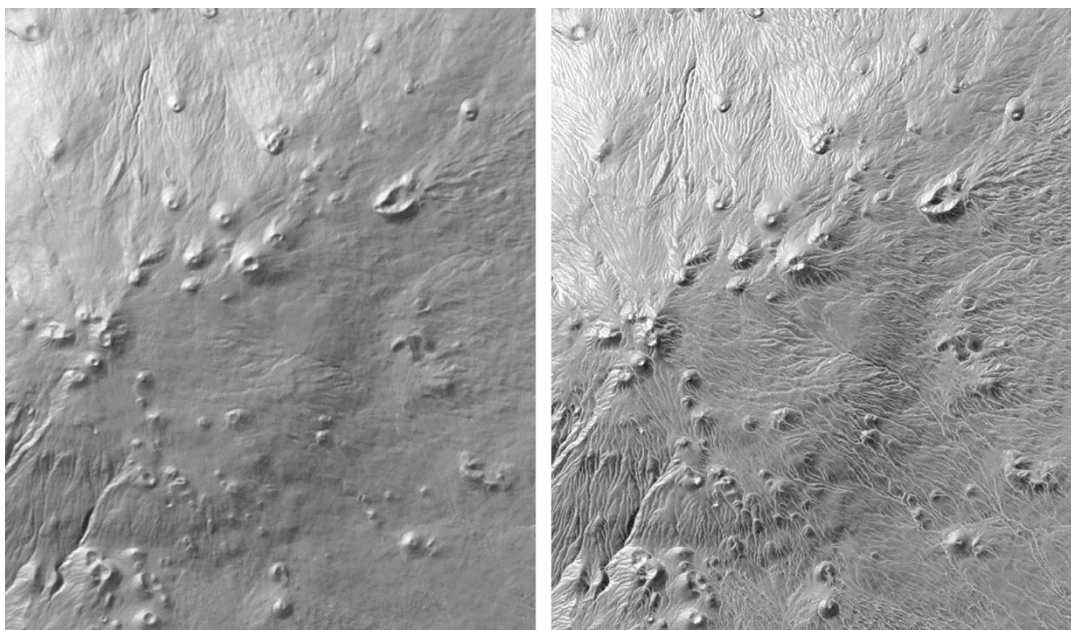
Οι εμπλουτισμένες σε πληροφορία γραμμές ασυνέχειας χρησιμοποιούνται ως *καμπύλες διάχυσης (diffusion curves)* σε ειδικό αλγόριθμο παρεμβολής για την παραγωγή μιας εικόνας *σκίασης καμπυλών διάχυσης (diffusion curve shading)*, η οποία τελικώς αναμιγνύεται στην τυπική φωτοσκίαση, προσδίδοντας έμφαση στην αναπαράσταση των κυρίαρχων μορφών του αναγλύφου. Η ανάδειξη των κύριων δομικών μορφών με εφαρμογή ενιαίας, βέλτιστα τροποποιημένης διεύθυνσης φωτισμού, είναι ο στόχος και των Fabio Veronesi & Lorenz Hurni (2014, 2015) που για τον αυτοματοποιημένο εντοπισμό των πλαγιών βασίζονται σε τεχνικές συσταδοποίησης των τιμών προσανατολισμού του εδάφους, ενώ παράλληλα παρέχουν εργαλεία για την αλλαγή της ζενίθιας γωνίας του φωτισμού, ανάλογα με το υψόμετρο ή την κλίση της πλαγιάς.

Ουσιαστικά η «έξυπνη» αφαίρεση των υπερβολικών λεπτομερειών της γήινης επιφάνειας κατά τη σχεδίαση της φωτοσκίασής της από έναν έμπειρο χαρτογράφο, αποτελεί διαδικασία γενίκευσης του αναγλύφου, την οποία η Anna Leonowicz κ.ά. (2010) προσομοίωσαν με την εξομάλυνση των ανεπιθύμητων τοπογραφικών λεπτομερειών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους μέσω βαθυπερατών (*low-pass*) φίλτρων. Παράλληλα, χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές καμπυλότητας παρήγαγαν δύο δευτερεύοντα μοντέλα, το ένα με τονισμένες τις κορυφογραμμές και το άλλο με έντονη βάθυνση των κοιλάδων, τα οποία συνδυάζονται ανάλογα με τον χαρακτήρα του εδάφους (ορεινές ή πεδινές περιοχές). Η συνολική διαδικασία υλοποιείται με την εφαρμογή του λογισμικού ανοικτού κώδικα, *Terrain Sculptor* που επιτρέπει την προσαρμογή των παραμέτρων σε υψομετρικά δεδομένα διαφορετικής κλίμακας.

Οι προσεγγίσεις των Patrick Kennely & James Stewart (2006, 2013, 2014) ασχολήθηκαν με την προσομοίωση του φωτισμού από όλον τον ουρανό με *μοντέλα φωτισμού του ουρανού (sky illumination models)*. Ένα μοντέλο φωτισμού του ουρανού υλοποιείται με έναν ημισφαιρικό θόλο που περιβάλλει την περιοχή του χάρτη και χωρίζεται σε πολλούς τομείς, με κάθε τομέα να λειτουργεί ως μία πηγή

φωτισμού, ενώ η φωτεινότητα κάθε θέσης του εδάφους προκύπτει με άθροιση της επίδρασης όλων φωτεινών πηγών έχουν ορατότητα με αυτήν. Κατ' αυτόν τον τρόπο, στα χαμηλότερα υψόμετρα της φωτιζόμενης επιφάνειας αποκρύπτεται μεγαλύτερο τμήμα του ουρανού και απεικονίζονται πιο σκούρα σε σχέση με τα ορεινότερα τμήματα, ενώ στη συνολική εικόνα φωτοσκίασης απεικονίζονται περισσότερες λεπτομέρειες του αναγλύφου λόγω του ολόπλευρου φωτισμού (διεξοδικότερη ανάλυση γίνεται στην παρ. 2.3).

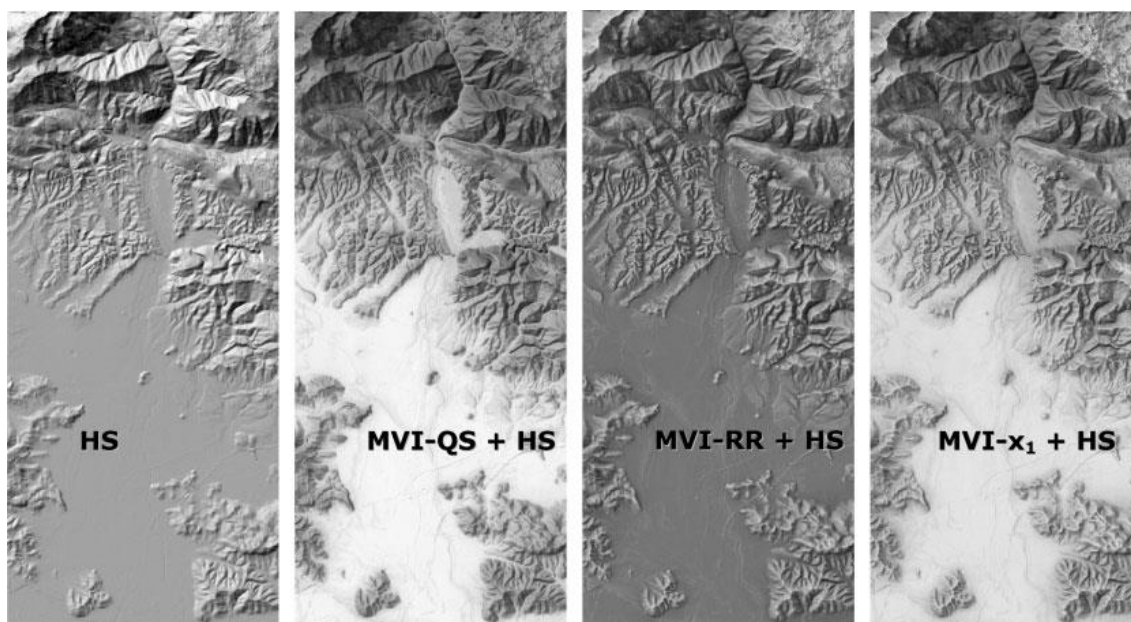
Ο Kennely (2008) παρουσίασε ακόμη οπτικοποιήσεις της καμπυλότητας του εδάφους (Εικόνα 1.10), που προκύπτουν με τις παραγώγους 2ης τάξης της συνάρτησης του υψομέτρου της επιφάνειας και συγκεκριμένα, της κατακόρυφης καμπυλότητας η οποία εκφράζει την τοπική μεταβολή κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης και της οριζόντιας καμπυλότητας που εκφράζει την τοπική μεταβολή του προσανατολισμού της επιφάνειας, κατά τη διεύθυνση της μηδενικής κλίσης, οι οποίες αναδεικνύουν τον σκελετό της δομής του ανάγλυφου και ιδίως τις μισγάγγειες γραμμές.



**Εικόνα 1.10:** Φωτοσκίαση αναγλύφου με οπτικοποίηση των καμπυλοτήτων του εδάφους. Αριστερά, συνήθης φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού, δεξιά, φωτοσκίαση ενισχυμένη με την οριζόντια καμπυλότητα – Ηφαιστειώδης περιοχή στη Ν. Χαβάη (Kennelly, 2008).

Ξεφεύγοντας από τη λογική της οπτικοποίησης του αναγλύφου βάσει των τοπικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας θέσης, σε κάποιες μεθόδους επιστρατεύονται δείκτες που σχετίζονται με τη γεωμετρία του ευρύτερου περιβάλλοντος. Ο Tomaz Rodobnikar (2012) παρουσίασε μια σύνθετη διαδικασία δημιουργίας πολυάριθμων

εικόνων αναπαράστασης της ορατότητας κατά τη θέαση της επιφάνειας του αναγλύφου από αντίστοιχες, πολλαπλές περιμετρικές κατευθύνσεις και ύψη (ακόμη και με αρνητικές γωνίες ύψους, δηλαδή κάτω από τον ορίζοντα), οι οποίες συνδυάζονται κατάλληλα (Εικόνα 1.11) για τον υπολογισμό διαφόρων εκδοχών ενός δείκτη ορατότητας πολλών κατευθύνσεων (*Multidirectional Visibility Index, MVI*).



**Εικόνα 1.11:** Φωτοσκίαση αναγλύφου με δείκτες ορατότητας πολλαπλών κατευθύνσεων, ή MVI (*Multidirectional Visibility Index*). Αριστερά η συνήθης φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού, δεξιά οι συνδυασμοί της με διάφορες εκδοχές του δείκτη MVI. Περιοχή Λιουμπλιάνας, Σλοβενία (Podobnikar, 2012).

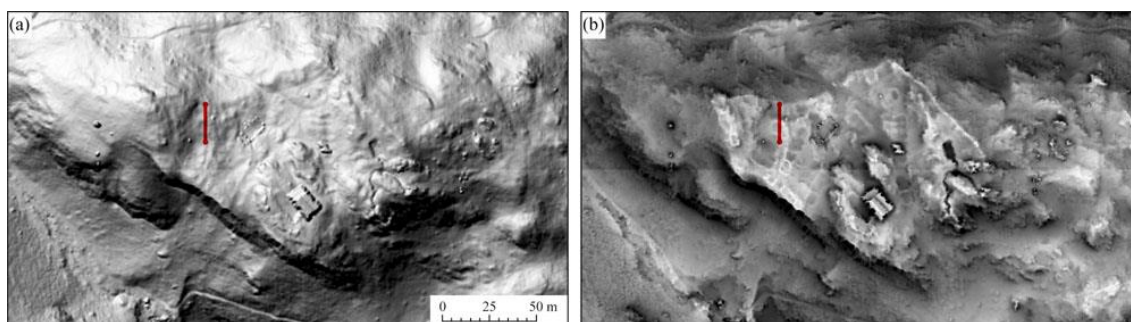
Παρόμοιας λογικής είναι και η απόδοση του αναγλύφου των Klemen Zaksek κ.ά. (2011), μέσω του *Συντελεστή Θέασης του Ουρανού (Sky-view factor, SVF)*, ενός μεγέθους που ποσοτικοποιεί το ορατό τμήμα του ουρανού από μία θέση και απεικονίζει με σκούρους τόνους τις κοίλες μορφές και με ανοικτούς τόνους τις κυρτές (Εικόνα 1.12).

Οι οπτικοποιήσεις με κλίμακα γκριζών τόνων για τους δείκτες SVF και MVI και για τις καμπυλότητες του εδάφους, οι οποίες δεν σχετίζονται άμεσα με αρχές φωτισμού, όπως και οι φωτοσκιάσεις μοντέλων μη-κατευθυντικού φωτισμού του ουρανού, παράγουν εικόνες που βελτιώνουν μεν την αναγνώριση λεπτομερειών του αναγλύφου, εντούτοις δεν κεντρίζουν τη διαισθητικότητα των χρηστών καθώς δεν θυμίζουν συνήθεις εικόνες φωτοσκίασης πλάγιου φωτισμού. Περισσότερο μοιάζουν με εικόνες φωτοσκίασης κατακόρυφου φωτισμού, όπου οι τόνοι σκίασης διαφοροποιούνται μόνο ως προς τις αλλαγές της κλίσης (*slope shading*) κατά τη λογική «όσο πιο απότομη κλίση, τόσο πιο σκούρος τόνος» (*“the steeper, the darker”*)



και αξιοποιούνται χαρτογραφικά σε συνδυασμό με τυπικές εικόνες φωτοσκίασης, εμπλουτίζοντάς τες ως προς την απόδοση των λεπτομερειών των μορφολογικών σχηματισμών (Λέλλη κ.ά., 2015).

Με την πληθώρα των διαθέσιμων αναλυτικών μεθόδων, προκύπτει ένα ερευνητικός προβληματισμός ως προς την αναζήτηση κριτηρίων επιλογής του κατάλληλου μοντέλου φωτισμού ή το πλήθος των φωτεινών πηγών, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις μορφολογικές δομές του αναγλύφου. Με απώτερο στόχο την ανάπτυξη μιας μεθόδου πολλαπλών χρήσεων, οι Marianna Farmakis-Serebryakova και Hurni (2020) διεξήγαγαν μία εκτεταμένη έρευνα για να αξιολογήσουν εικόνες φωτοσκίασης με διάφορες προσεγγίσεις φωτισμού, όπως ο συνήθης κατευθυντικός φωτισμός διαχυτικής ανάκλασης, ο φωτισμός πολλαπλών πηγών, ο φωτισμός με τοπική προσαρμογή της κατεύθυνσής του και ο φωτισμός βάσει ουράνιου μοντέλου, σε περιοχές που περιείχαν αντιπροσωπευτικούς τύπους μορφολογίας του εδάφους, όπως ορεινοί σχηματισμοί μεγάλων απότομων όγκων, βουνών με πτυχώσεις ή ομαλών λόφων, κοιλάδες απότομες σχήματος U ή πιο ομαλές σχήματος V, οροπέδια, αλλουβιακά ριπίδια, επιμήκεις ωοειδείς λόφοι και παγετώνες. Η αξιολόγηση των εικόνων βασίστηκε στην αποτελεσματικότητά τους ως προς την αντίληψη των ερωτηθέντων για τον χαρακτήρα μιας μορφολογικής δομής, το σχήμα, τον όγκο, τον προσανατολισμό καθώς και τις αμοιβαίες σχέσεις με παρακείμενα εδαφών.

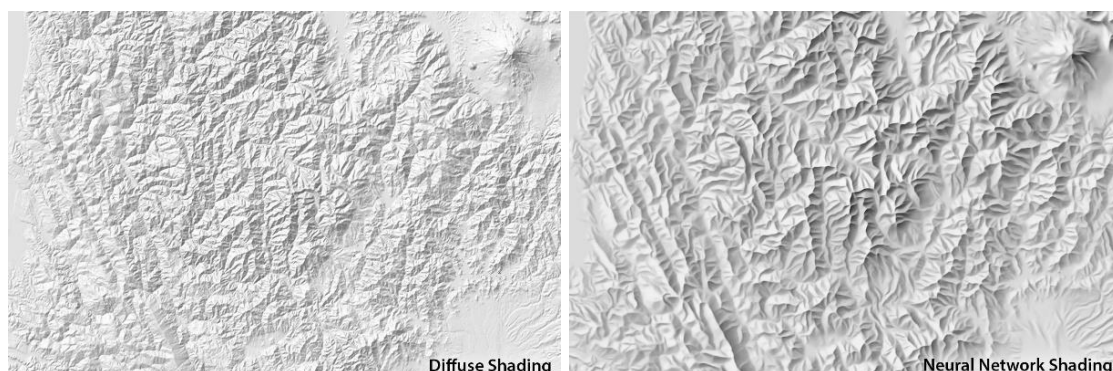


**Εικόνα 1.12:** Φωτοσκίαση αναγλύφου μέσω Συντελεστή Θέασης του Ουρανού, ή SVF (Sky-view Factor). Περιοχή αρχαιολογικού χώρου στη Σλοβενία (Zaksek et al., 2011).

Το επόμενο βήμα της εν λόγω έρευνας ήταν η αξιοποίηση τεχνικών βαθιάς μάθησης, και συγκεκριμένα *συνελικτικών νευρωνικών δικτύων (convolutional neural networks, U-Net)*, μιας αρχιτεκτονικής που αναπτύχθηκε για εφαρμογές κατάτμησης εικόνας και στη συγκεκριμένη έρευνα αξιοποιήθηκε για τον διαχωρισμό της επιφάνειας του αναγλύφου σε αναγνωρίσιμες μορφολογικές δομές, προκειμένου

στη συνέχεια να εφαρμοσθούν σε αυτές οι κατάλληλες τεχνικές φωτοσκίασης (Farmakis-Serebryakova, 2022). Η εκπαίδευση των μοντέλων βασίστηκε σε διαθέσιμα δεδομένα ΨΜΕ και πολύγωνα μορφολογικών δομών σε κανονικοποιημένη μορφή, ενώ στη συνέχεια τα μοντέλα σημείωσαν ως και 65% επιτυχία στην αναγνώριση των μορφολογικών δομών της συνολικής περιοχής, ενώ για συγκεκριμένα είδη δομών που ήταν ιδιαίτερα ευανάγνωστες σημειώθηκαν ακόμη υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας.

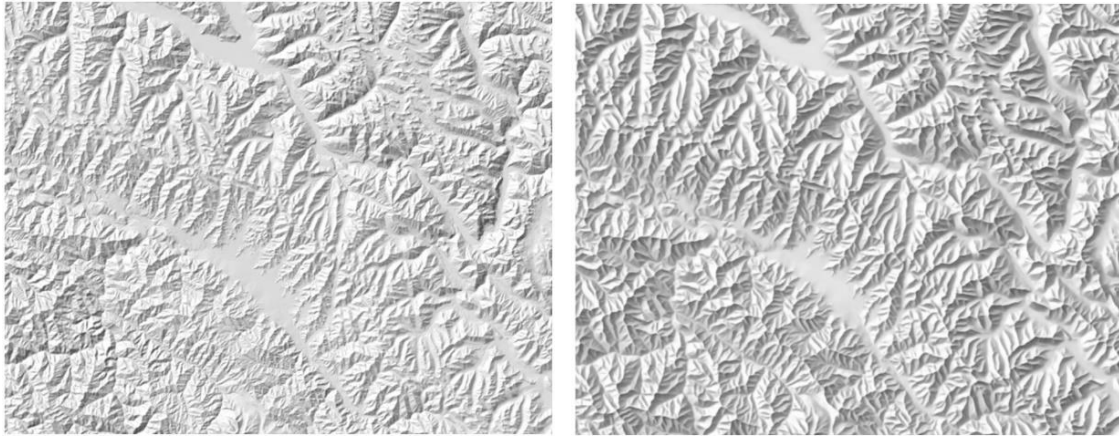
Με τεχνικές βαθιάς μάθησης επιχειρείται να λυθεί και το θέμα της προσομοίωσης των βασικών αρχών σχεδιασμού φωτοσκίασης με το χέρι. Ο Jenny κ.ά. (2021) δημιούργησαν μοντέλα βασισμένα στην ίδια τεχνολογία U-Net, εκπαιδεύοντας τα νευρωνικά δίκτυα με διαθέσιμα δεδομένα οπτικοποιήσεων ΨΜΕ και αντίστοιχων, υφιστάμενων εικόνων χειροκίνητης φωτοσκίασης. Οι εικόνες φωτοσκίασης που παράχθηκαν από τα μοντέλα (Εικόνα 1.13), αξιολογήθηκαν με ιδιαίτερα θετικά και ενθαρρυντικά σχόλια ως προς την προσέγγιση της ποιότητας των χειροκίνητων φωτοσκιάσεων.



**Εικόνα 1.13:** Φωτοσκίαση με συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα U-Net (δεξιά) σε σύγκριση με τη συνήθη μέθοδο πλάγιου φωτισμού (αριστερά). Περιοχή στην Πολιτεία της Νότιας Καλιφόρνιας, ΗΠΑ (Jenny et al., 2021).

Οι Shaomei Li κ.ά. (2022) χρησιμοποίησαν μια διαφορετική αρχιτεκτονική, τα *υπό όρους παραγωγικά αντιπαραθετικά δίκτυα (conditional generative adversarial nets)*, όπου η προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου βασίζεται στη συνεχή αντιπαράθεση δύο νευρωνικών δικτύων, με το ένα να παράγει τα δεδομένα της παράγωγης εικόνας και το άλλο να τα ταξινομεί ως σωστά ή λάθος. Στις δοκιμές που έγιναν, το οπτικό αποτέλεσμα της φωτοσκίασης είχε ποιότητα και αισθητική παρόμοια με εκείνες της χειροκίνητης σχεδίασης, ακόμα και σε δεδομένα πολλαπλών κλιμάκων (Εικόνα 1.14).





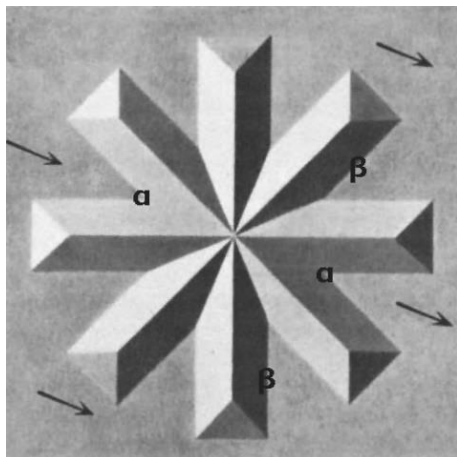
**Εικόνα 1.14:** Φωτοσκίαση με υπό όρους παραγωγικά, αντιπαραθετικά δίκτυα (δεξιά) σε σύγκριση με τη συνήθη μέθοδο πλάγιου φωτισμού (δεξιά). Ορεινή περιοχή στο δυτικό Θιβέτ (Li et al., 2022).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ

Η τρισδιάστατη αντίληψη του αναγλύφου από μια εικόνα φωτοσκίασης εξαρτάται κατά το μεγαλύτερο βαθμό από την κατεύθυνση του φωτός. Ένας μορφολογικός σχηματισμός του εδάφους μπορεί να είναι αρκετά ευδιάκριτος όταν το φως έρχεται από μια κατάλληλη κατεύθυνση, ενώ από κάποια άλλη μπορεί να είναι μετά βίας ορατός (Imhof, 1982). Για παράδειγμα, είναι δυνατό πιο ομαλές και πιο απότομες περιοχές (δηλαδή με διαφορετικές κλίσεις), ή οι εκατέρωθεν πλευρές μισογαγγειών και κορυφογραμμών με προσανατολισμό παράλληλο με τη διεύθυνση των φωτεινών ακτινών να φωτίζονται υπό την ίδια γωνία πρόσπτωσης (Εικόνα 2.1) και επομένως, με βάση την εξάρτηση της ανακλαστικότητας από τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός να απεικονίζονται με ομοιόμορφους τόνους που δεν αναδεικνύουν την καμπυλότητά τους (Brassel, 1974).

Περαιτέρω, ολόκληρα τμήματα της επιφάνειας που στρέφονται μακριά από την κατεύθυνση προέλευσης του φωτισμού απεικονίζονται με ιδιαίτερα σκούρους, ως και απόλυτα σκοτεινούς τόνους, οι οποίοι εν γένει δυσχεραίνουν ή και στερούν την ερμηνεία της ποικιλομορφίας του αναγλύφου (Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1:**

Φωτοσκίαση γεωμετρικού μοντέλου που προσομοιώνει ορεινό όγκο με κορυφογραμμές όλων των διευθύνσεων (τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση του φωτός) και αναπαριστά τα προβλήματα από τη χρήση αποκλειστικά μίας φωτεινής πηγής (Imhof, 1982): (α) απεικόνιση μορφολογικών σχηματισμών διαφορετικού προσανατολισμού με τον ίδιο τόνο, λόγω κοινής, συμμετρικής απόκλισης από τις φωτεινές ακτίνες και (β) σχηματισμός δυσδιάκριτων, σκούρων τόνων σε περιοχές που στρέφονται μακριά από τη φωτεινή πηγή.

Όπως είναι κατανοητό, προβλήματα όπως τα παραπάνω που απορρέουν από τη συνήθη υλοποίηση της φωτοσκίασης βάσει μίας φωτεινής πηγής, ενιαίας για τη συνολική γεωγραφική περιοχή του χάρτη, διαμορφώνουν μια πλημμελή απεικόνιση του τοπογραφικού αναγλύφου σε έναν χάρτη, όπου άλλες μορφές του εδάφους είναι εμφανείς και άλλες όχι, εμποδίζοντας τον χρήστη να προβεί σε συγκρίσεις και συμπεράσματα με πληρότητα και αμεροληψία. Και όσο βέλτιστη κι αν είναι η

επιλογή της φωτεινής πηγής, δεν μπορεί να αποτρέψει την ελλιπή αναπαράσταση του συνόλου των μορφολογικών σχηματισμών μιας περιοχής, λόγω των εν δυνάμει πολλών, διαφορετικών τοπικών προσανατολισμών (Τζελέπης κ.ά., 2008). Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων υπάρχουν βελτιωτικές λύσεις για τον φωτισμό, είτε με προσαρμογές της μίας χρησιμοποιούμενης φωτεινής πηγής, είτε με την αύξηση του πλήθους των πηγών.

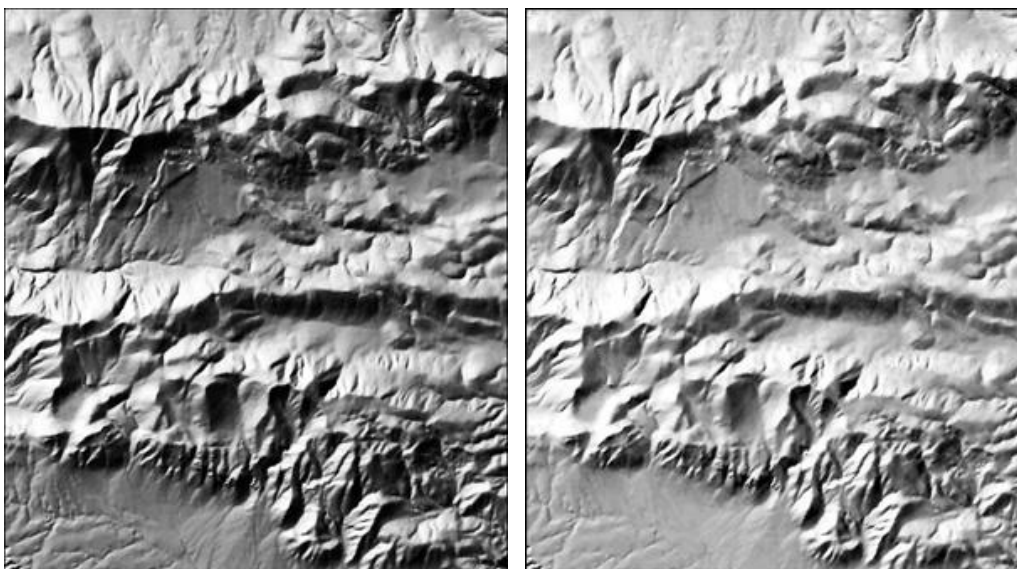
## 2.1 Τοπική προσαρμογή της φωτεινής πηγής

Ο Brassel (1974), διαπιστώνοντας ότι βασική μέριμνα του χειροκίνητου, «ελβετικού στυλ» φωτοσκίασης του αναγλύφου είναι η προσαρμογή της φωτεινής πηγής κατακόρυφα και οριζόντια ανάλογα με τις τοπικές φόρμες του αναγλύφου, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι περιπτώσεις υποτονικής απεικόνισης όσων κορυφογραμμών και χαραδρών προσανατολίζονται δυσμενώς ως προς την βασική διεύθυνση φωτισμού, προχώρησε πρώτος στην αναλυτική περιγραφή έξυπνων, διακριτικών τοπικών διορθώσεων τόσο στη διεύθυνση, όσο και στην κλίση της φωτεινής δέσμης (Εικόνα 2.2).

Με την τεχνολογία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους να βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, στην αρχική αυτή προσέγγιση τα στοιχεία τοπικού προσανατολισμού αντλούνταν από τις εγγύτερες, ψηφιοποιημένες γραμμές ασυνέχειας. Ο Berthold Horn (1982) αναδιατύπωσε τις σχέσεις υπολογισμού των προσαρμοσμένων στοιχείων προσανατολισμού του φωτός, δηλαδή της ζενίθιας γωνίας  $\theta_0$  και του αζιμουθίου  $\varphi_0$  έτσι ώστε να χρησιμοποιείται ο εκάστοτε τοπικός προσανατολισμός (αντίστοιχα οι γωνίες  $\theta$  και  $\varphi$ ), ενώ η έκταση των προσαρμογών ελέγχεται από συντελεστές βάρους (αντίστοιχα  $\alpha$  και  $\beta$ ). Εκφρασμένες ως προς τα μεγέθη των προσαρμογών,  $\delta\theta$  για την αρχική ζενίθια γωνία του φωτός και  $\delta\varphi$  για το αρχικό αζιμούθιο του φωτός, οι σχέσεις έχουν ως εξής (Τζελέπης & Νάκος, 1995):

$$\delta\theta = \alpha \cdot (\theta - \theta_0) \quad \text{και} \quad \delta\varphi = \arcsin[(\beta/2) \cdot \sin 2(\varphi - \varphi_0)]$$

Οι προσαρμογές στην κατεύθυνση του φωτός δεν πρέπει βεβαίως να χρησιμοποιούνται καταχρηστικά, προκειμένου να παραμένουν ανεπαίσθητες και να μην αλλοιώνουν την πραγματική μορφή του αναγλύφου, κάτι που θα διατάρασσε την προσπάθεια της κατανόησης και της ερμηνείας του από τον χρήστη του χάρτη. Ο Imhof (1982) συνέστησε οι αλλαγές να κυμαίνονται έως  $30^\circ$ , αποφεύγοντας όμως την εφαρμογή τόσο μεγάλων αποκλίσεων σε γειτονικές, παράλληλες πλαγιές, γεγονός που θα οδηγούσε σε φωτισμό από εντελώς διαφορετικές κατευθύνσεις.



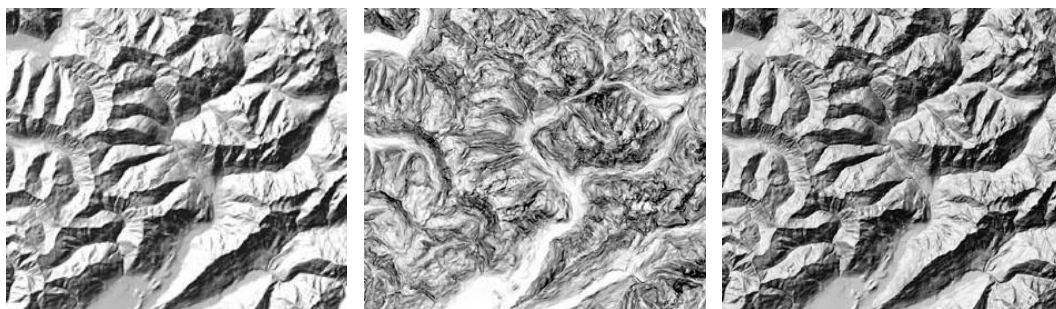
**Εικόνα 2.2:** Φωτοσκίαση με ενιαία κατεύθυνση (αριστερά) και με τοπική προσαρμογή της κατεύθυνσης (δεξιά). Περιοχή Όρους Κιθαιρώνα, Στερεά Ελλάδα.

## 2.2 Συνδυασμοί φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων

Μία προφανής, λογική λύση για να αντιμετωπισθούν οι ολιγωρίες στην αναπαράσταση του αναγλύφου με φωτοσκίαση μίας φωτεινής πηγής, είναι η εισαγωγή πρόσθετων πηγών φωτισμού από διαφορετικές κατευθύνσεις, με την επίδραση των οποίων μπορεί να ανακτηθεί ή να βελτιωθεί η πληροφορία της μορφής του εδάφους στις προβληματικές περιοχές. Η υλοποίησή της γίνεται με τον υπολογισμό αρχικά των τόνων φωτοσκίασης που παράγει καθεμιά από τις πολλαπλές, διαφορετικών αλλά σταθερών κατευθύνσεων πηγές, ενώ στη συνέχεια επιλέγεται ένας σταθμισμένος συνδυασμός των επί μέρους τόνων για κάθε στοιχείο της επιφάνειας ώστε να σχηματισθεί η τελική, συνδυασμένη φωτοσκίαση (Lukas & Weibel, 1995; Kennelly & Stewart, 2006).

Ένα κοινό παράδειγμα συνδυασμού φωτοσκιάσεων συναντάται ήδη από παλαιότερους, σχεδιασμένους στο χέρι ελβετικούς χάρτες και αφορά στην ανάμιξη της συνήθους φωτοσκίασης από διάχυτο, πλάγιο φωτισμό με φωτοσκίαση κλίσης από κατακόρυφο φωτισμό, η οποία ελλείψει σκιών μπορεί να αναδείξει το σύνολο των λεπτομερειών. Η μέθοδος περιγράφεται και αναλύεται διεξοδικά από τον Imhof (1982), ενώ σε πιο σύγχρονες δημοσιεύσεις αναπαράγεται με ψηφιακή επεξεργασία, όπως στις εργασίες των Kennelly & Stewart (2006) αλλά και Patterson και Mike Hermann (2004). Οι τελευταίοι συστήνουν πολύ περιορισμένη συμμετοχή της φωτοσκίασης κλίσης, ώστε να αποφεύγονται οι έντονα σκούροι τόνοι

των πλαγιών που ενδέχεται να δυσχεραίνουν την τρισδιάστατη εντύπωση της φωτοσκίασης (Εικόνα 2.3).



**Εικόνα 2.3:** Παράδειγμα συνδυασμού φωτοσκιάσεων πλάγιου και κατακόρυφου φωτισμού (δεξιά), με ανάμιξη φωτοσκίασης πλάγιου, διάχυτου φωτισμού από ΒΔ (αριστερά) και φωτοσκίασης κλίσης από κατακόρυφο φωτισμό (κέντρο) (Patterson & Hermann, 2004).

Με απλά εργαλεία γραφικής επεξεργασίας εικόνων, καθίσταται εύκολη η επισκόπηση και η υλοποίηση συνδυασμών διαφορετικών φωτοσκιάσεων με σταθερούς συντελεστές. Οι Karl Lukas και Robert Weibel (1995) χρησιμοποίησαν τρεις πηγές φωτός κατανεμημένες σε ένα ευρύ φάσμα αζιμουθίων μεταξύ δύσης και βορρά, με την κύρια πηγή προς τη ΒΔ κατεύθυνση (με αζιμούθιο  $315^\circ$ ) με συντελεστή 2 και τις άλλες δύο πηγές να τοποθετούνται  $75^\circ$  εκατέρωθεν της κύριας (με αζιμούθια  $30^\circ$  και  $240^\circ$ , αντίστοιχα) και να σταθμίζονται με 1, επιτυγχάνοντας βελτίωση στο φωτισμό τμημάτων του εδάφους που με την κύρια μόνο πηγή παρέμεναν σε σκιά (Εικόνα 2.4). Σε ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα, ο Jordan Tzvetkov (2018) βασίστηκε σε εμπειρικές μελέτες και δοκίμασε ένα συνδυασμό δύο φωτοσκιάσεων από ΒΔ (με αζιμούθιο στις  $315^\circ$ ) και από ΒΑ (με αζιμούθιο στις  $45^\circ$ ), ο οποίος υπερτερεί της απλής ΒΔ φωτοσκίασης, αλλά σε σχηματισμούς με διεύθυνση Α-Δ διατηρεί πολύ σκοτεινές τις νότιες πλαγιές (Εικόνα 2.4).

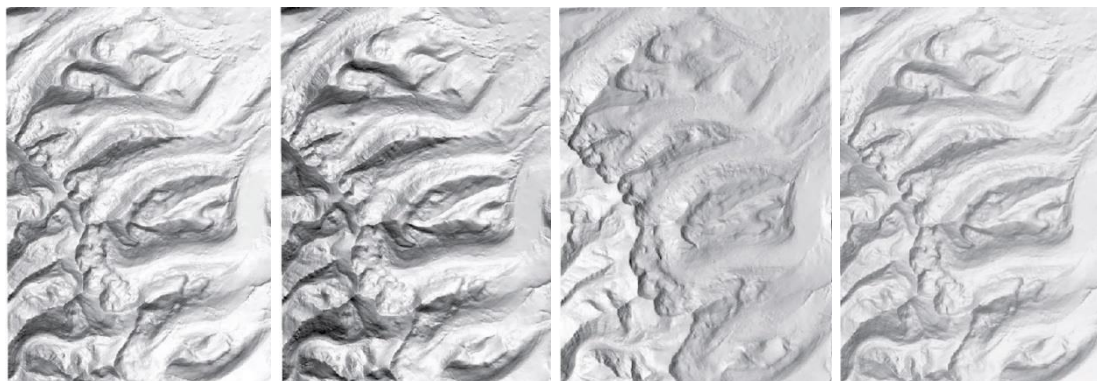


**Εικόνα 2.4:** Παράδειγμα συνδυασμού διαφορετικών φωτοσκιάσεων με σταθερούς συντελεστές: φωτοσκίαση πλάγιου, διάχυτου φωτισμού, αριστερά, τριπλός συνδυασμός των Lukas & Weibel (1995) στο κέντρο και διπλός συνδυασμός από ΒΔ και ΒΑ του Tzvetkov (2008) δεξιά - Περιοχή Simplon, Canton of Valais, Ελβετία.

Ο συνδυασμός φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων φωτισμού είναι δυνατόν να προκύψει και ως σύνθεση των αποδοτικότερων τμημάτων των συνδυαζόμενων φωτοσκιάσεων, συγκρίνοντάς τες κατά τόπους οπτικά, μέσω υπέρθεσης και

επιλέγοντας τις περιοχές που θα συμπεριληφθούν από κάθε μια με χρήση μασκών, όπως στο παράδειγμα του Patterson (1997) όπου προτάθηκε ο συνδυασμός δύο ή και περισσότερων φωτοσκιάσεων από κατευθύνσεις ελαφρώς διαφοροποιημένες, έως και 30° γύρω από τη ΒΔ κατεύθυνση.

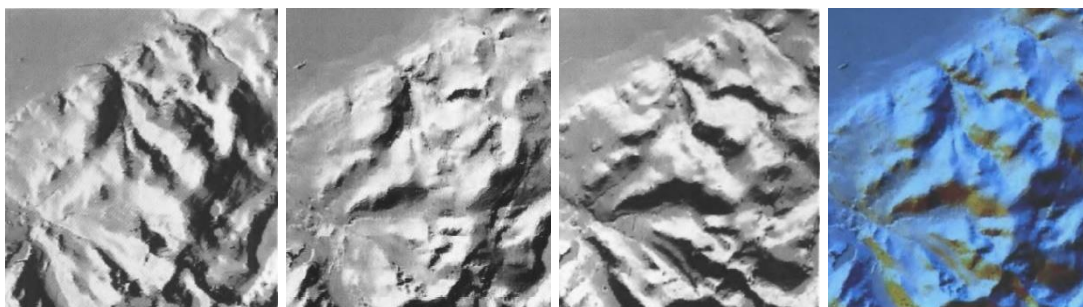
Ένα άλλο παράδειγμα συνδυασμού με υπέρθεση φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων παρουσιάζεται από την Collette Gantenbein (2012), όπου για τις ανάγκες της αναπαράστασης του αναγλύφου σε γεωλογικούς, θεματικούς χάρτες, επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικοί προσανατολισμοί φωτισμού, όχι μόνον ως προς την κατεύθυνση αλλά και ως προς τη γωνία ύψους κάθε φωτεινής δέσμης. Το οπτικό αποτέλεσμα του τελικού συνδυασμού επηρεάζεται από το βαθμό ανάμιξης κάθε συμμετέχουσας εικόνας μέσω της ρύθμισης του ποσοστού διαφάνειας χειροκίνητα, όπου οι φωτοσκιάσεις με τους πιο σκούρους τόνους συμμετέχουν με μεγαλύτερο βαθμό διαφάνειας (Εικόνα 2.5).



**Εικόνα 2.5:** Συνδυασμός με υπέρθεση και βέλτιστη ρύθμιση του βαθμού διαφάνειας κατά την ανάμιξη, τριών φωτοσκιάσεων διαφορετικού προσανατολισμού ως προς την κατεύθυνση και τη γωνία ύψους. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση με αζιμούθιο 350°, γωνία ύψους 70° και διαφάνεια 65%, φωτοσκίαση με αζιμούθιο 15°, γωνία ύψους 60° και διαφάνεια 50%, φωτοσκίαση με αζιμούθιο 270°, γωνία ύψους 55° και διαφάνεια 70% και τελικός συνδυασμός φωτοσκιάσεων (Gantenbein, 2012).

Έναν συνδυασμό με ιδιαίτερο ενδιαφέρον δημιούργησε ο Frank Hobbs (1995, 1999), με την υλοποίηση φωτοσκιάσεων από τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις με αζιμούθια των 280°, 315° και 350° και τη σύνθεσή τους σε μία έγχρωμη εικόνα βάσει του προτύπου RGB, ως χρωματικές συνιστώσες του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε, αντίστοιχα. Η επιλογή των κατευθύνσεων φωτισμού καλύπτει τον συνήθως προτιμώμενο, βορειοδυτικό τομέα αζιμουθίων, ενώ η χρωματική αντιστοίχιση καθοδηγείται από τη διαισθητική θεώρηση του δυτικού φωτισμού ως θερμότερου (κόκκινο) και του βόρειου ως ψυχρότερου (μπλε). Πρακτικά, όπου οι τιμές φωτεινότητας των τριών χρωμάτων είναι ίσες, εμφανίζεται γκρι τόνος (και στην πράξη αυτό κυριαρχεί), ενώ αν οι τρεις τιμές διαφέρουν σημαντικά εμφανίζονται

αποχρώσεις που αναδεικνύουν περισσότερη πληροφορία για την τοπική κλίση (Εικόνα 2.6).



**Εικόνα 2.6:** Συνδυασμός φωτοσκιάσεων διαφορετικών κατευθύνσεων ως σύνθεση χρωματικών συνιστωσών εικόνας RGB. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκιάσεις από τις κατευθύνσεις των αζιμουθίων 280°, 315° και 350° και η σύνθεση τους σε εικόνα RGB ως κόκκινης, πράσινης και μπλε συνιστώσας αντίστοιχα (Hobbs, 1995).

### 2.3 Φωτοσκίαση με μοντέλα φωτισμού του ουρανού

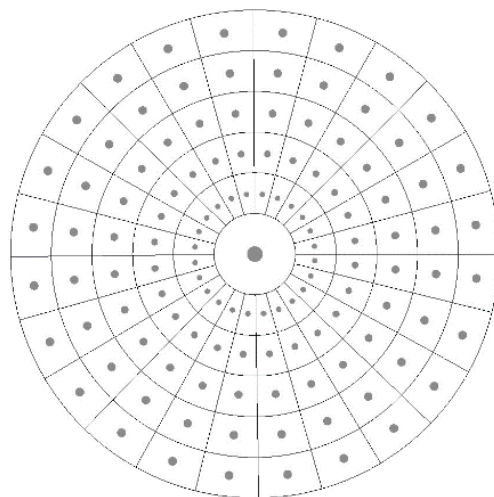
Επεκτείνοντας σε ευρύ βαθμό τη λογική του φωτισμού από πολλαπλές πηγές, με σειρά εργασιών τους οι Kennelly & Stewart (2006, 2013, 2014) παρουσίασαν μοντέλα φωτοσκίασης όπου ο φωτισμός φτάνει σε κάθε θέση της επιφάνειας από όλες τις κατευθύνσεις, προερχόμενος από έναν ημισφαιρικό, υποθετικό ουράνιο θόλο που περιβάλλει την περιοχή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, στα χαμηλότερα υψόμετρα της φωτιζόμενης επιφάνειας αποκρύπτεται μεγαλύτερο τμήμα του ουρανού, με αποτέλεσμα αυτά να απεικονίζονται πιο σκούρα σε σχέση με τα ορεινότερα τμήματα και τη φωτεινότητα κάθε θέσης να είναι συνάρτηση της έκτασης του ορατού σε αυτήν τμήματος του ουράνιου θόλου (*"the less of the sky visible, the darker"*).

Σε σχέση με τον πλάγιο φωτισμό από μία κατεύθυνση, στο οπτικό αποτέλεσμα της φωτοσκίασης από κατανεμημένο, ουράνιο φωτισμό απεικονίζονται περισσότερες λεπτομέρειες του αναγλύφου, μέσω πυκνότερων διαφοροποιήσεων στους τόνους. Η παραπάνω μεθοδολογία μετουσιώθηκε σε ειδική εφαρμογή λογισμικού, η οποία παράγει την εικόνα της φωτοσκίασης αναγλύφου που αντιστοιχεί σε διάφορα μοντέλα προσομοίωσης του φωτισμού του ουρανού.

Κάθε προσομοίωση βασίζεται στην κατάτμηση του ουράνιου θόλου σε τομείς και στην τοποθέτηση σε κάθε τομέα μιας φωτεινής πηγής (Εικόνα 2.7), που συνοδεύεται με την περιγραφή του διανύσματος φωτισμού προς την εκάστοτε θέση της φωτιζόμενης επιφάνειας.



Σε κάθε διάνυσμα φωτισμού αντιστοιχεί βάρος ανάλογο της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας του αντίστοιχου τομέα, με το οποίο και συμμετέχει στη συνολική φωτεινότητα της θέσης της επιφάνειας, ενώ για την ομαλή διαφοροποίηση των τόνων φωτοσκίασης θεωρείται ότι αρκεί η κατάτμηση του θόλου σε περίπου 250 τομείς, με την περιγραφή των αντίστοιχων διανυσμάτων φωτισμού μέσω γωνιών αζιμουθίου και ζενίθων γωνιών και με τον καθορισμό των αντίστοιχων βαρών τους.



**Εικόνα 2.7:** Κάτοψη του ουράνιου θόλου και της κατάτμησής του σε τομείς, με την τοποθέτηση μίας πηγής φωτισμού σε κάθε τομέα (Kennelly & Stewart, 2006).

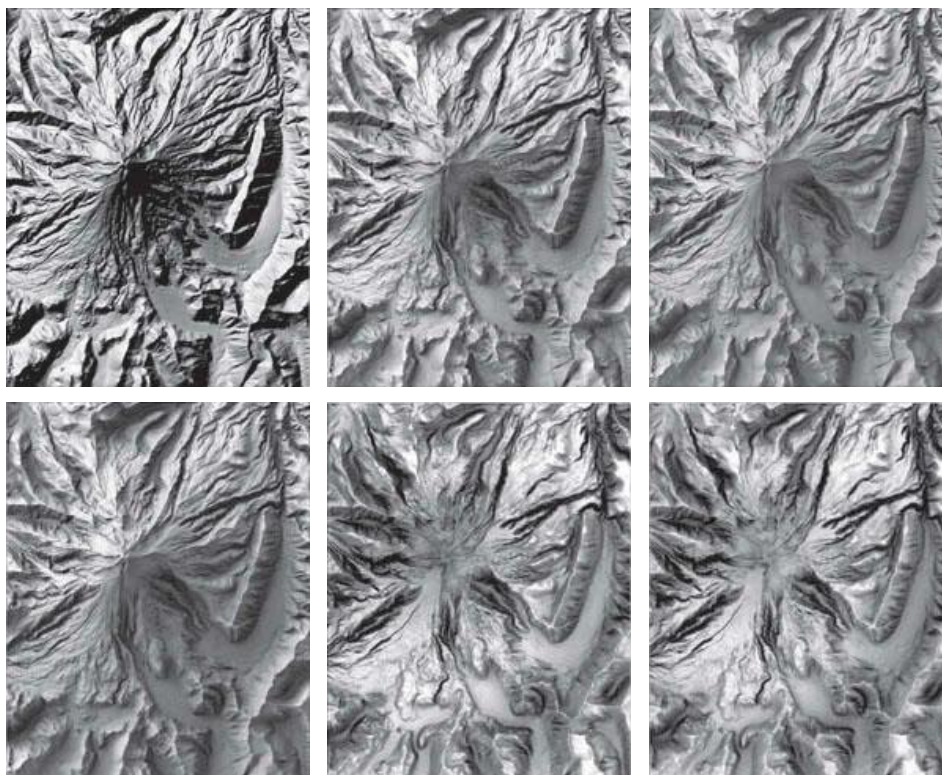
Τα μοντέλα προσομοίωσης του ουρανού διακρίνονται σε αυτά που αναπαράγουν συνθήκες κατευθυντικού ή μη-κατευθυντικού φωτισμού. Τα μοντέλα κατευθυντικού φωτισμού περιλαμβάνουν προσομοιώσεις συνθηκών όπως η έντονα διαυγής («αιχμηρή») ηλιοφάνεια (*sharp sky*), ο καθαρός ουρανός από σύννεφα (*clear sky*) ή η θολή, ελαφρώς νεφελώδης ατμόσφαιρα (*turbid sky*), συνθήκες όπου οι τομείς κάποιας περιοχής του θόλου (πχ. προς τα βορειοδυτικά) έχουν μεγαλύτερο βάρος, ήτοι θα ακτινοβολούν με μεγαλύτερη ένταση, διαμορφώνοντας ένα οπτικό αποτέλεσμα φωτοσκίασης συναφές με αυτό του συνήθους, πλάγιου φωτισμού από μία φωτεινή πηγή.

Αντίθετα, τα μοντέλα μη-κατευθυντικού φωτισμού αφορούν συνθήκες πλήρους συννεφιάς (*overcast sky*), με φωτισμό συμμετρικό ως προς το ζενίθ ή καθολικά ομοιόμορφου (*uniform*), διάχυτου φωτισμού, με αποτέλεσμα η φωτοσκίασή τους να στερείται της δυνατότητας οπτικής συσχέτισης των τόνων με το στοιχείο του προσανατολισμού των μορφών του αναγλύφου (Εικόνα 2.8).

#### 2.4 Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ)

Στα πλαίσια τεχνικής εργασίας του Γεωλογικού Ινστιτούτου των Η.Π.Α. (*United States Geological Survey, USGS*) με αντικείμενο την οπτικοποίηση του αναγλύφου της Ν. Χαβάης, ο Robert Mark (1992) εφάρμοσε έναν σταθμισμένο με βάρη συνδυασμό εικόνων φωτοσκίασης, οι οποίες παράγονται από πολλαπλούς,

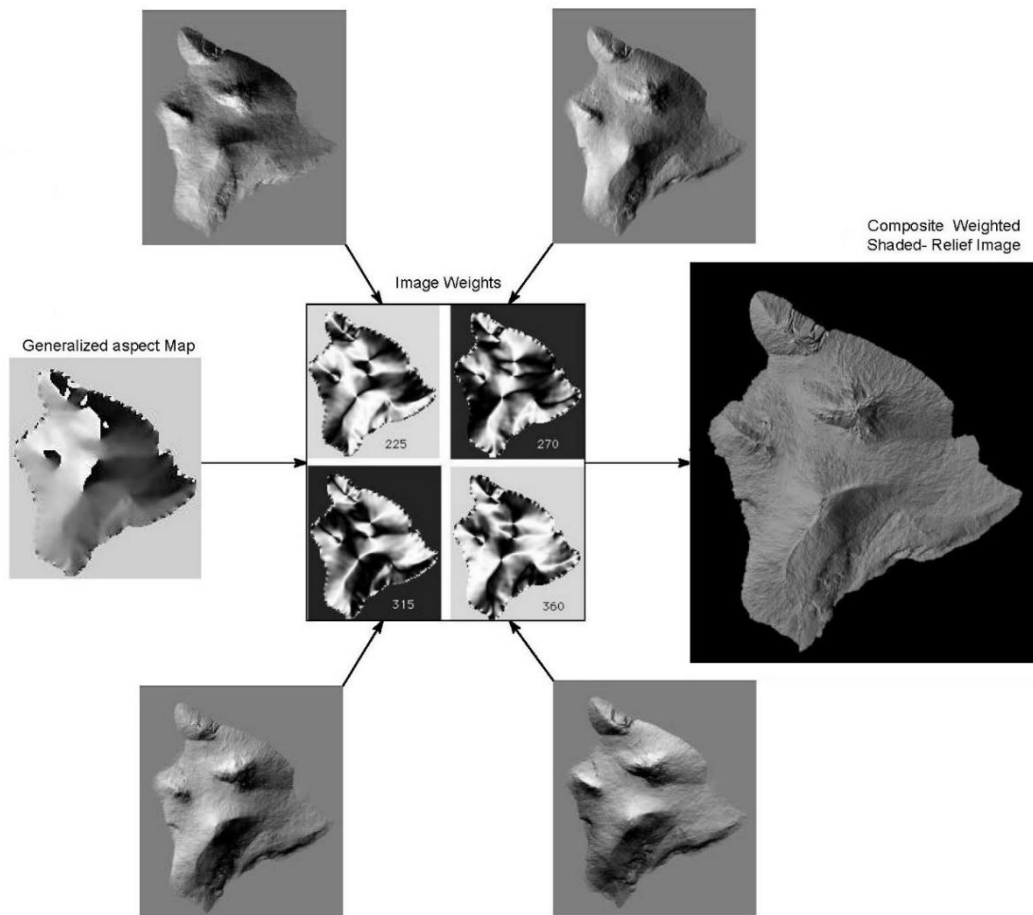
διαφορετικούς προσανατολισμούς φωτισμού και συγκεκριμένα από τη βόρεια κατεύθυνση, τη βορειοδυτική, τη δυτική και τη νοτιοδυτική.



**Εικόνα 2.8:** Αποδόσεις φωτοσκίασης του αναγλύφου με διάφορα μοντέλα φωτισμού του ουρανού: στην επάνω σειρά, πλάγιος φωτισμός με μία πηγή (αριστερά), έντονη ηλιοφάνεια (κέντρο), καθαρός ουρανός (δεξιά) και στην κάτω σειρά, θολή ατμόσφαιρα (αριστερά), νεφελώδης ουρανός (κέντρο), ομοιόμορφος φωτισμός (δεξιά) (Kennely & Stewart, 2014) - Περιοχή του Grand Canyon, Arizona, ΗΠΑ.

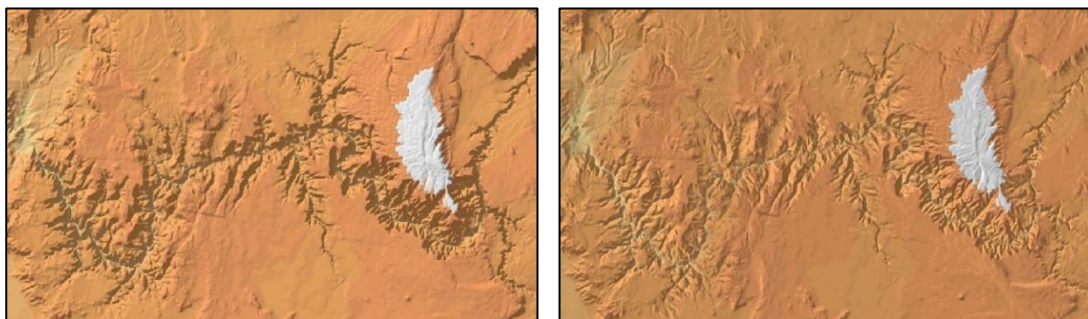
Τα βάρη στάθμισης έχουν τη μορφή πινάκων, ίσων διαστάσεων με τις συνιστώσες εικόνες φωτοσκίασης επειδή διαφοροποιούνται αναλόγως της διαφοράς μεταξύ κατεύθυνσης φωτισμού και κατεύθυνσης τοπικού προσανατολισμού. Με τον συνδυασμό αυτό (Εικόνα 2.9), συντίθεται μια εικόνα *Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (Multi-Directional)*, ή εν συντομία *ΦΠΚ*, η στάθμιση των οποίων εξαρτάται από το πόσο πλάγιως προσπίπτει ο φωτισμός τους ως προς την διεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους.

Με αυτή την τεχνική *Πλαγιο-σταθμισμένης Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (Multi-Directional Oblique-Weighted Hillshade, MDOW)*, βελτιστοποιείται η αναπαράσταση της λεπτομέρειας και της πληρότητας των σχηματισμών του αναγλύφου, ανεξαρτήτως συγκεκριμένου προσανατολισμού ενώ συμπεριλαμβάνονται και οι περιοχές που με τη χρήση μίας φωτεινής πηγής θα παρέμεναν σκοτεινές (Τζελέπης, κ.ά., 2008).



**Εικόνα 2.9:** Αναλυτική διαδικασία παραγωγής Πλαγιο-σταθμισμένης Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (*Multi-Directional Oblique-Weighted Hillshade, MDOW*, Mark, 1992). Περιοχή Ν. Χαβάης.

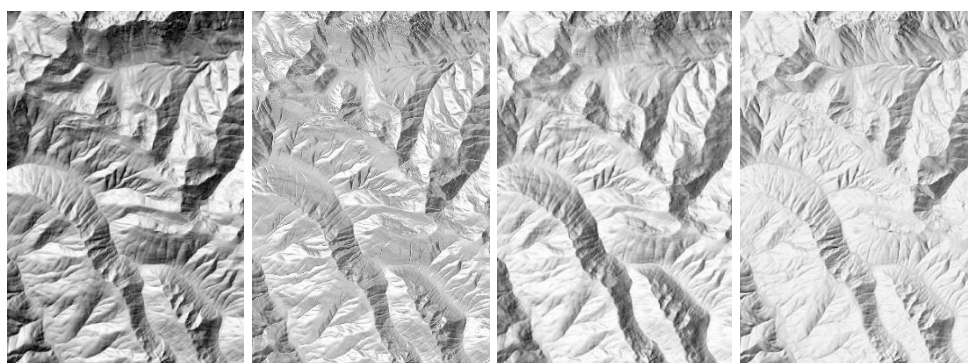
Παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικής του Mark σε χαρτογραφικό προϊόν μεγάλης κλίμακας, αποτελεί ο χάρτης έγχρωμου, φωτοσκιασμένου αναγλύφου των όμορων Ηνωμένων Πολιτειών (Schruben, 1999) που εκδόθηκε από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ και απεικονίζει με σαφήνεια και πληρότητα τις μορφολογικές δομές της επικράτειας της ηπείρου (Εικόνα 2.10).



**Εικόνα 2.10:** Απόσπασμα του χάρτη έγχρωμου φωτοσκιασμένου αναγλύφου των όμορων Ηνωμένων Πολιτειών από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ, με χρήση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και με την τεχνική πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW) του Mark (δεξιά) - Περιοχή του Grand Canyon, Arizona, ΗΠΑ ([pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011](https://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011)).

Στις εργασίες των Dimitrios Loissios κ.ά. (2007) και Νικόλαος Τζελέπης κ.ά. (2008) εφαρμόστηκαν δύο παραλλαγές σύνθεσης ΦΠΚ, όπου διαφοροποιείται ο τρόπος υπολογισμού των βαρών στάθμισης κατά την ενοποίηση των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων. Η μία παραλλαγή αφορά στην τροποποίηση της συνάρτησης του βάρους στάθμισης ως προς τις κατευθύνσεις του εδάφους και του φωτισμού, ενώ με την άλλη παραλλαγή τα βάρη στάθμισης είναι καθολικά για κάθε βασική φωτοσκίαση και εκπροσωπούν την κατανομή των προσανατολισμών του εδάφους της περιοχής στις τέσσερις βασικές διευθύνσεις.

Κατά τη συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους, σε σχέση με τις μεθόδους της συνήθους φωτοσκίασης του πλάγιου, διάχυτου φωτισμού μίας πηγής και της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark (Εικόνα 2.11), με ΦΠΚ καθολικών βαρών παρατηρήθηκαν βελτιώσεις στην απεικόνιση των κυρίων μορφών του αναγλύφου και αναδείχθηκαν πρόσθετες λεπτομέρειες στις περιοχές σκούρων τόνων, ενώ στην παραλλαγή της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ, η ανάδειξη πρόσθετων λεπτομερειών επιτεύχθηκε σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό.

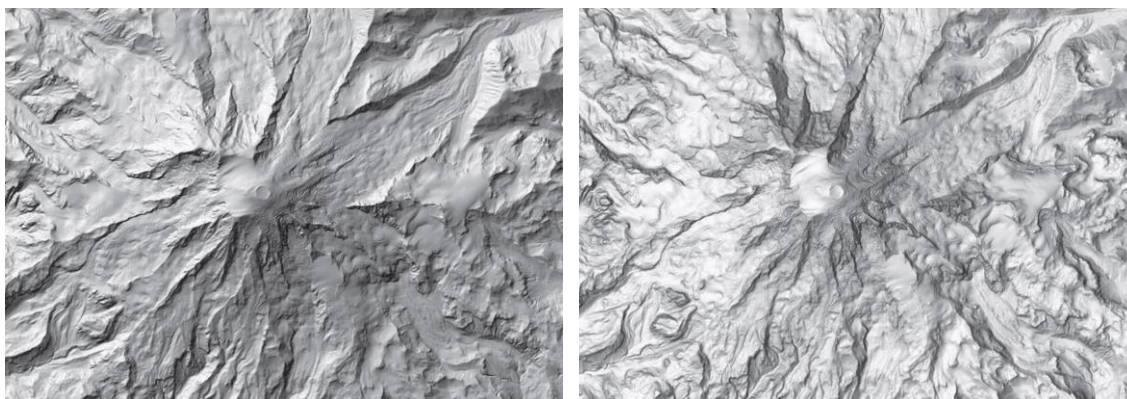


**Εικόνα 2.11:** Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων ΦΠΚ. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992), ΦΠΚ με καθολικά βάρη στάθμισης και πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007). Ορεινή περιοχή δυτικά της πόλης Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ, σε κλίμακα 1:30.000.

Ένας ακόμη πιο πληθωρικός συνδυασμός ΦΠΚ είναι διαθέσιμος στο περιβάλλον της διαδικτυακής εφαρμογής *ArcGIS Online* και μέσω αυτής και στα περιβάλλοντα των λογισμικών πακέτων για Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφορικών, *ArcGIS Desktop* και *ArcGIS Pro*, του οίκου λογισμικού *ESRI*, ως διαδικτυακή υπηρεσία πρόσβασης και απεικόνισης δεδομένων εικόνας (Nagi, 2014). Η εν λόγω υπηρεσία (*Multi-directional Hillshade*) απεικονίζει μία εικόνα φωτοσκίασης έξι διαφορετικών, σταθμιζόμενων κατευθύνσεων, παραγόμενη από έναν προκαθορισμένο, «κλειστό» (μη παραμετρικό) αλγόριθμο, ο οποίος τροφοδοτείται με -επίσης διαδικτυακά διαθέσιμα- υψομετρικά δεδομένα, ποικίλης και κατά τόπους υψηλής ανάλυσης. Το



οπτικό αποτέλεσμα έχει έντονο το στοιχείο του εντυπωσιασμού και ισορροπία μεταξύ υπερτονισμένων και σκοτεινών περιοχών (Εικόνα 2.12).



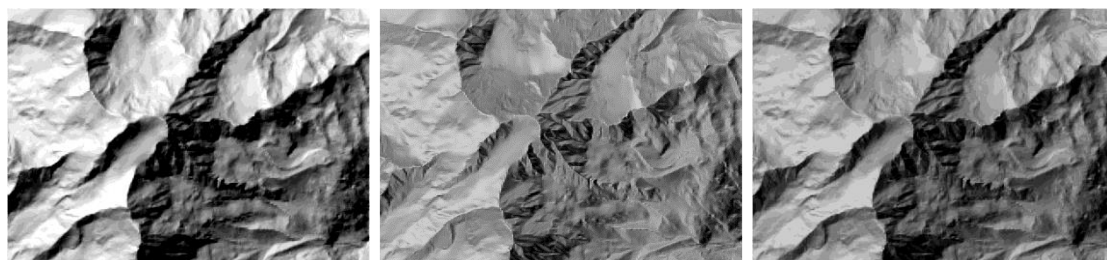
**Εικόνα 2.12:** Φωτοσκίαση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και ΦΠΚ από τα λογισμικά περιβάλλοντα του οίκου ESRI (δεξιά) – Περιοχή Mt. Rainier, Washington, ΗΠΑ (Nagi, 2014).

Στον αντίποδα των θετικών επιπτώσεων του πολλαπλού φωτισμού στην πληρέστερη ανάδειξη της πληροφορίας του αναγλύφου, πρέπει εντούτοις να αναφερθεί πως η αυξημένη ενίσχυση της φωτεινότητας μειώνει την αντίθεση των τόνων φωτοσκίασης, στοιχείο που αποτελεί χαρακτηριστικό οπτικό γνώρισμα της μεθόδου και μπορεί να επηρεάζει την αντιληπτική λειτουργικότητά της (Τζελέπης κ.ά., 2008).

## 2.5 Συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής και ΦΠΚ

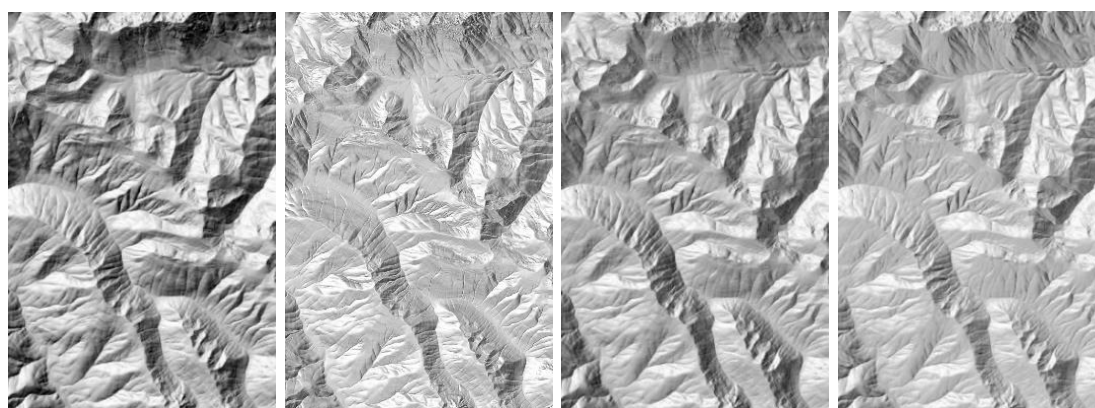
Παρατηρώντας κανείς τα οπτικά αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων φωτοσκίασης που έχουν παρουσιασθεί, φαντάζει μάλλον αδύνατον κάποια να υπερτερεί όλων των υπολοίπων, για όλους τους σκοπούς και για όλες τις διαφορετικές συνθήκες και μορφές αναγλύφου που συναντώνται στη γήινη επιφάνεια. Η έντονη διαφοροποίηση και η αντίθεση των τόνων που χαρακτηρίζουν τη συνήθη φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού από μία πηγή, είναι το οπτικό χαρακτηριστικό που προκαλεί τη διαισθητική αντίληψη των μορφών του τοπογραφικού αναγλύφου, αλλά ταυτόχρονα συνοδεύεται από προβληματικές περιπτώσεις απώλειας της πληροφορίας. Από την άλλη πλευρά, μεθοδεύοντας τη χρήση περισσότερων φωτεινών πηγών για την παραγωγή φωτοσκίασης πολλών κατευθύνσεων, τα προβλήματα αυτά θεραπεύονται αλλά η μείωση των σκοτεινών τόνων ταυτόχρονα επιφέρει και την εξασθένηση του χαρακτηριστικού για την τρισδιάστατη αντίληψη γνώρισμα, αυτού της αντίθεσης, με αποτέλεσμα την απώλεια του διαισθητικού, οικείου χαρακτήρα της φωτοσκίασης.

Οι Lukas & Weibel (1995) διερευνώντας τις δυνατότητες σύνθεσης διαφορετικών φωτοσκιάσεων, μεταξύ διαφόρων σταθμισμένων συνδυασμών υπέδειξαν ως πιο πολλά υποσχόμενο τον συνδυασμό της φωτοσκίασης μίας φωτεινής πηγής με τη μέθοδο πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark, με την πρώτη μέθοδο να δίνει έμφαση στους μεγαλύτερους σχηματισμούς και με τη δεύτερη να αναδεικνύει τις λεπτότερες δομές (βλ. Εικόνα 2.13). Με αφετηρία τον συνδυασμό αυτό, ενθάρρυναν την ανάπτυξη παραλλαγών με μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα, καθώς και την εξέταση πτυχών της απαιτούμενης γενίκευσης του αναγλύφου, στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης λύσης αναλυτικής φωτοσκίασης.



**Εικόνα 2.13:** Φωτοσκίαση μίας φωτεινής πηγής (αριστερά) και πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ (κέντρο) σε σταθμισμένο συνδυασμό (δεξιά) με συντελεστές 3 και 1 αντιστοίχως. Περιοχή του Καντονίου του Valais, Ελβετία (Lukas & Weibel, 1995).

Οι Loissios et al. (2007) και Τζελέπης κ.ά. (2008) επεδίωξαν να συνδυάσουν τη φωτοσκίαση μιας δεσπόζουσας πηγής με εικόνα ΦΠΚ η οποία θα βελτιώνει την απεικόνιση της πληροφορίας, γενικότερα και ιδίως στις σκούρες περιοχές της φωτοσκίασης μίας πηγής (Εικόνα 2.14).



**Εικόνα 2.14:** Συγκριτική επισκόπηση συνδυασμών ΦΠΚ. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992), συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με ΦΠΚ καθολικής στάθμησης και συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007). Ορεινή περιοχή δυτικά του Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ, σε κλίμακα 1:30.000.

Η στάθμιση της συμμετοχής της εικόνας ΦΠΚ στον συνδυασμό διαφοροποιείται σε επίπεδο εικονοστοιχείου, έχει επομένως τη μορφή πίνακα, ίδιων διαστάσεων με τις δύο συνδυαζόμενες εικόνες φωτισκίας, ο δε υπολογισμός της βασίζεται στην τοπική γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού της δεσπόζουσας φωτεινής πηγής, έτσι ώστε όσο περισσότερο αυτή προσεγγίζει την οριακή τιμή των  $90^\circ$  (κάτι που συμβαίνει στις περιοχές που αποκλίνουν από την πηγή φωτισμού, οπότε δέχονται λίγο ή και καθόλου φως), τόσο να κυριαρχεί η ΦΠΚ στην τελική εικόνα.





### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΦΠΚ

Κατά την ανάμιξη εικόνων φωτοσκίασης από διαφορετικές πηγές διαπιστώνεται αισθητή μείωση της αντίθεσης των τόνων, ως συνέπεια του συνδυασμού τους μέσω σταθμισμένου μέσου όρου, ενώ στη μέθοδο της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark, με την πληθωρική επιλογή των τεσσάρων κατευθύνσεων φωτισμού που ισοκατανέμονται σε όλο το εύρος διευθύνσεων και με την σαφώς πιο εκλεπτυσμένη στάθμιση των παραγόμενων εικόνων φωτοσκίασης, παρατηρείται αξιοσημείωτη ενίσχυση της αναπαράστασης των πιο λεπτών δομών του τοπογραφικού αναγλύφου, αλλά με τις μεγαλύτερες μορφές να απεικονίζονται λιγότερο ευδιάκριτα (Lukas & Weibel, 1995). Η ενίσχυση της λεπτομέρειας επιβεβαιώνεται από τη διαδικτυακή έρευνα των Farmakis-Serebyakova και Hurni (2020), οι οποίοι δοκίμασαν μεταξύ άλλων, τη μέθοδο πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark σε ποικιλία μορφών του αναγλύφου, με το οπτικό αποτέλεσμα της να κρίνεται σε κάποιες από αυτές έως και υπερβολικά περιεκτικό. Διαφαίνεται λοιπόν, πως η διαφορετικότητα του οπτικού αποτελέσματος της φωτοσκίασης από πολλαπλές κατευθύνσεις, σε σύγκριση με τη συνήθη φωτοσκίαση πλάγιου φωτισμού από μία πηγή είναι κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία της αντίληψης, σε ότι αφορά την παράμετρο της *οπτικής πολυπλοκότητας* της εικόνας (Τζελέπης κ.ά., 2020).

Η οπτική πολυπλοκότητα αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης και συμπεριφοράς, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την παρατήρηση οπτικών ερεθισμάτων διαφορετικού τύπου (Machado et al., 2015). Όσον αφορά την παρατήρηση εικονογραφικών αναπαραστάσεων, η οπτική πολυπλοκότητα έχει περιγραφεί ως ο πλούτος και η ποσότητα των πληροφοριών που μπορεί ένας παρατηρητής να κοιτάξει και να σκεφτεί (Karlan & Karlan, 1989). Επιπλέον, σύμφωνα με τον Rob Kuper (2017), τα χαρακτηριστικά της πολυπλοκότητας μπορεί να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων «υφές, σχήματα και φυσικές διαστάσεις της τοπογραφίας και των δομών». Η επιρροή αυτών των χαρακτηριστικών στην ανθρώπινη αντίληψη θα μπορούσε να εξεταστεί και να αξιολογηθεί μέσω της εκτέλεσης αντιληπτικών πειραμάτων. Μεταξύ των υφιστάμενων μεθόδων, οι τεχνικές ιχνηλάτησης των οφθαλμών (*eye tracking*) και οι αναλύσεις των οφθαλμικών κινήσεων θεωρούνται σύγχρονες και αντικειμενικές προσεγγίσεις για την εξέταση της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης, με εφαρμογές σε διάφορους

ερευνητικούς τομείς. Τις τελευταίες δεκαετίες, η επιρροή αυτών των μεθόδων στη χαρτογραφική έρευνα είναι σαφής, λαμβάνοντας υπόψη τις πολυάριθμες υπάρχουσες μελέτες που σχετίζονται με τις διεργασίες ανάγνωσης των χαρτών (Krassanakis & Cybulski, 2019). Οι καταγραφές της ιχνηλάτησης των οφθαλμών μπορούν να αποκαλύψουν την οπτική συμπεριφορά κατά την παρατήρηση χαρτογραφικών μεθόδων απεικόνισης, όπως οι διαφορετικές μέθοδοι φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, ενώ βασικά και παράγωγα μεγέθη που υπολογίζονται από τα δεδομένα των καταγραφών μπορούν να συνοψίσουν τα σχετικά επίπεδα της οπτικής πολυπλοκότητας με συνοπτικό και ποσοτικό τρόπο (Tzelepis et al., 2020).

Προκειμένου να διαπιστωθεί αν η χρήση πολλών κατευθύνσεων φωτισμού αντί της μίας, επιφέρει διαφοροποίηση της αντιληπτής οπτικής πολυπλοκότητας σε μια εικόνα φωτοσκίασης του αναγλύφου, σχεδιάσθηκε και πραγματοποιήθηκε μία πειραματική διαδικασία ελέγχου βασισμένη στην καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Ως οπτικά ερεθίσματα χρησιμοποιήθηκαν εικόνες φωτοσκίασης του αναγλύφου με φωτισμό μίας φωτεινής πηγής ή/και με πολλαπλό φωτισμό, σε επιλεγμένες ορεινές περιοχές, οι οποίες αξιολογήθηκαν και κατατάχθηκαν ως προς την αντιληπτική οπτική πολυπλοκότητά τους.

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων των συμμετεχόντων κατά την παρατήρηση των εικόνων φωτοσκίασης και στη συνέχεια, τη διεξαγωγή αναλύσεων των μετρήσεων της καταγραφής και την εξαγωγή των ανάλογων συμπερασμάτων ως προς την οπτική πολυπλοκότητα. Η συλλογή των δεδομένων καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ (Καλιακούδα, 2017).

### **3.1 Προετοιμασία δεδομένων πειράματος**

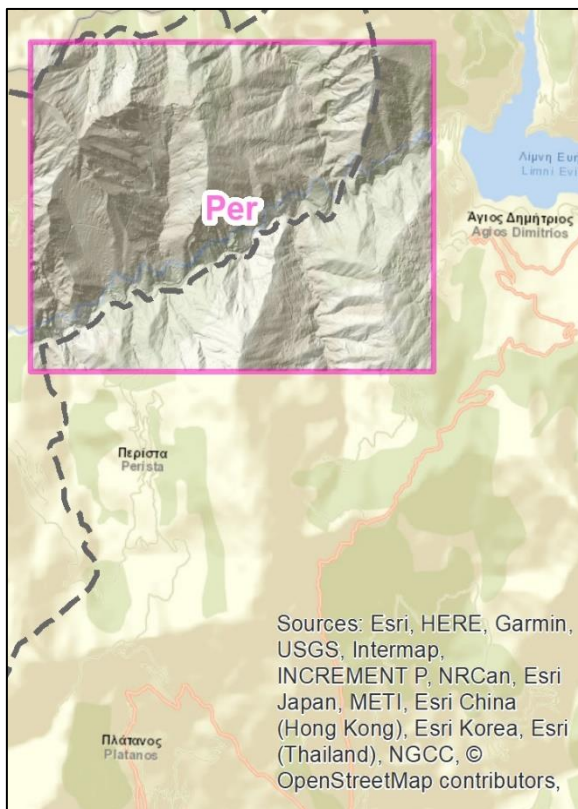
#### **3.1.1 Επιλογή περιοχών μελέτης**

Η επιλογή των περιοχών μελέτης για την εφαρμογή των συγκρινόμενων μεθόδων φωτοσκίασης είχε σαν στόχους την παρουσία μορφολογικών σχηματισμών με πολλούς διαφορετικούς προσανατολισμούς εντός κάθε περιοχής και την συμπερίληψη ποικιλίας μορφών του εδάφους στο σύνολο των εικόνων, ώστε να αναδειχθεί η επίδραση του πολλαπλού φωτισμού και να εξυπηρετηθεί ο σκοπός της συγκριτικής αξιολόγησης της διαμορφούμενης φωτοσκίασης σε εναλλακτικές μορφές του τοπογραφικού ανάγλυφου.



**Εικόνα 3.1:** Οι ευρύτερες γεωγραφικές, ορεινές περιοχές των περιοχών μελέτης της πειραματικής διαδικασίας. Αριστερά, περιοχή ανατολικά του Παναϊτωλικού Όρους στα όρια των περιφερειών Στερεάς και Δυτικής Ελλάδας. Δεξιά, περιοχή στη Βόρεια Πελοπόννησο, στα Αροάνια Όρη (Υπόβαθρο: Γεωμορφολογικός Χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1:800.000.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας,  
[geo.aegean.gr/cartolab/site/index/sx\\_xar\\_gr.htm](http://geo.aegean.gr/cartolab/site/index/sx_xar_gr.htm)



**Εικόνα 3.2:** Θέση της περιοχής μελέτης “Per”, βόρεια των οικισμών «Πλάτανος» και «Περίστα» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI).

Επιλέχθηκαν τρεις περιοχές μελέτης σε έντονα ορεινά εδάφη, διαστάσεων 5,1 χλμ. x 4,1 χλμ. και έκτασης περίπου 21 τ.χλμ. η κάθε μία (η αναλογία των διαστάσεων επελέγη βάσει της αναλογίας των διαστάσεων της οθόνης προβολής του συστήματος συλλογής οφθαλμικών κινήσεων που θα χρησιμοποιηθεί). Οι δύο περιοχές τοποθετούνται κοντά στα όρια μεταξύ των περιφερειών Στερεάς και Δυτικής Ελλάδας, στην περιοχή του Παναϊτωλικού Όρους και η τρίτη στην Βόρεια Πελοπόννησο, στα Αροάνια Όρη (Εικόνα 3.1). Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές μελέτης είναι οι εξής:

α) Περιοχή βόρεια του οικισμών "Πλάτανος" και "Περίστα" (συμβολίζεται ως "Per") και δίπλα στη Λίμνη του Εύηνου, υψομετρικού εύρους 335-1570μ. που τοποθετείται στα όρια μεταξύ των Δήμων Θέρμου και Ναυπακτίας, με την κοίτη του ποταμού Εύηνου να διασχίζει σε ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνση, με γραμμικούς σχηματισμούς σε Β-Ν διεύθυνση και αρκετές κάθετες, μικρές πτυχώσεις (Εικόνα 3.2).

β) Περιοχή ανατολικά των οικισμών "Προυσός" και "Καστανιά" (συμβολίζεται ως "Kas"), υψομετρικού εύρους 510-1781μ. που βρίσκεται εντός του Δήμου Καρπενησίου, με γραμμικούς σχηματισμούς σε Β-Ν και ΝΔ-ΒΑ διευθύνσεις και με αρκετές ήπιες, κάθετες πτυχώσεις (Εικόνα 3.3).



**Εικόνα 3.3:** Θέση της περιοχής μελέτης "Kas", νοτιοανατολικά των οικισμών «Προυσός» και «Καστανιά» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI).

γ) Περιοχή νοτιοανατολικά του οικισμού των Καλαβρύτων και δυτικά του οικισμού "Ζαρούχλα" (συμβολίζεται ως "Zar"), υψομετρικού εύρους 1104-2354μ., που βρίσκεται στα όρια μεταξύ των Δήμων Καλαβρύτων και Ακράτας, όπου στο κέντρο της εκτείνεται ένας κύριος, σχεδόν συμμετρικός ορεινός όγκος και εκατέρωθεν δύο επιμήκεις μορφολογικοί σχηματισμοί με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, όλοι με σχετικά ομαλές πλαγιές προς τα δυτικά αλλά αρκετές έντονες, κάθετες πτυχώσεις προς τα ανατολικά (Εικόνα 3.4).

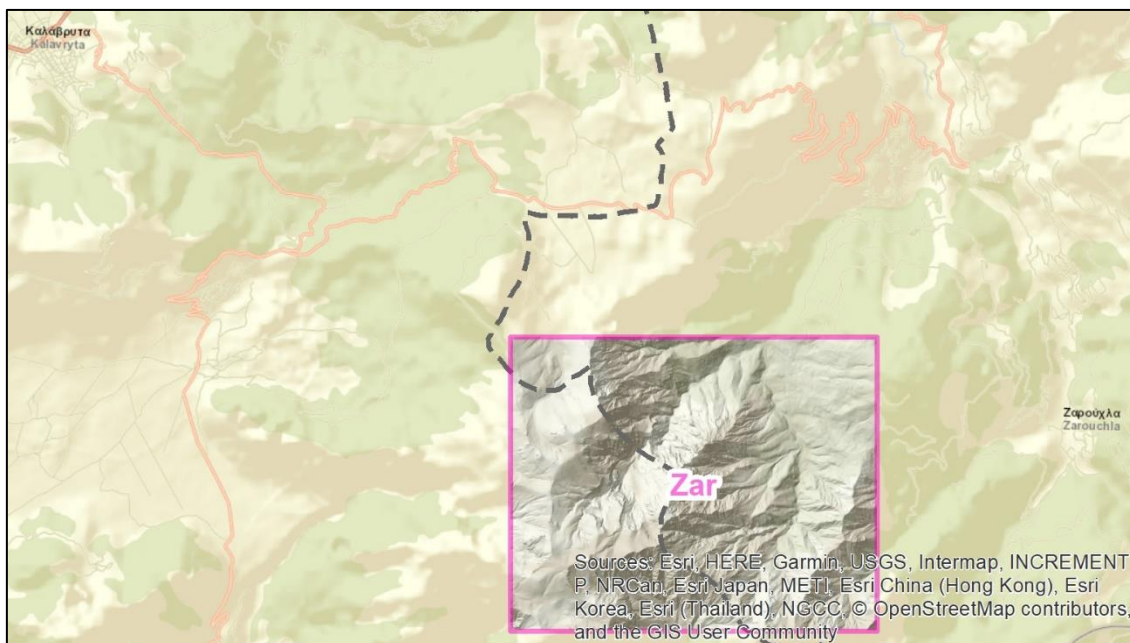
Για τη δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων υψομέτρων στις τρεις περιοχές μελέτης, διατέθηκαν από το «Ελληνικό Κτηματολόγιο», δεδομένα Ψηφιακού Μοντέλου Επιφάνειας, εν συντομία ΨΜΕ<sup>6</sup> από τη σειρά δεδομένων "Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους του έργου LS025" σε δομή κανάβου υψομέτρων, ισαποχής 2 μέτρων και

---

<sup>6</sup> Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας, ΨΜΕ (*Digital Surface Model, DSM*): Η ψηφιακή καταγραφή της τελικής επιφάνειας που διαμορφώνεται από τη φυσική γήινη επιφάνεια με τα διάφορα φυσικά και τεχνητά αντικείμενα που βρίσκονται επάνω σε αυτήν (Νάκος, 2021).



αναφερόμενων στο ΕΓΣΑ'87. Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από το έργο “Large Scale Orthophotos 25cm (LSO25)” που είχε σαν στόχο την παραγωγή ορθοεικόνων από έγχρωμες αεροφωτογραφίες με έτη λήψης 2014-2016 και ισαποχή 25cm, ώστε να δημιουργηθεί το απαραίτητο χαρτογραφικό υπόβαθρο της χώρας προκειμένου να εντοπιστούν σε αυτό και να απεικονιστούν τα γεωτεμάχια της ελληνικής επικράτειας, για τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου.

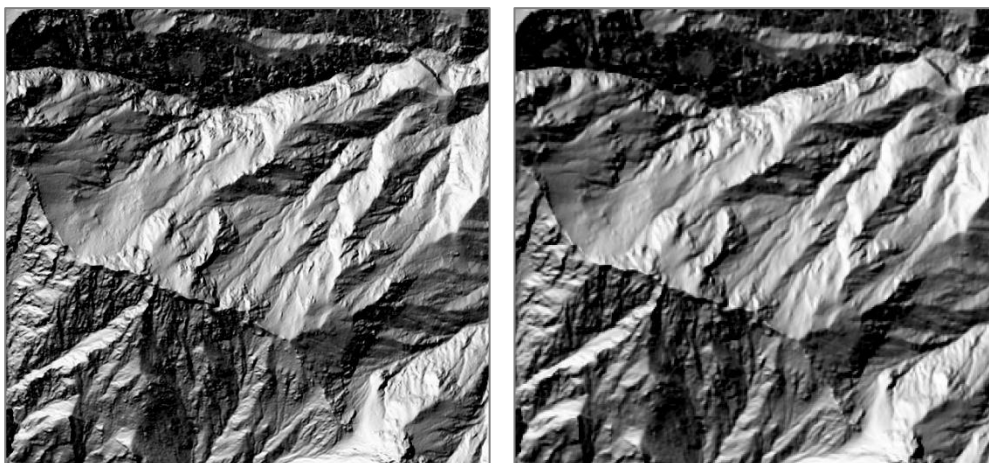


**Εικόνα 3.4:** Θέση της περιοχής μελέτης “Zar”, μεταξύ των οικισμών «Καλάβρυτα» και «Ζαρούχλα» (Υπόβαθρο: Παγκόσμιος οδικός χάρτης, κλίμακα 1:100.000, ESRI).

### 3.1.2 Επεξεργασία ΨΜΕ

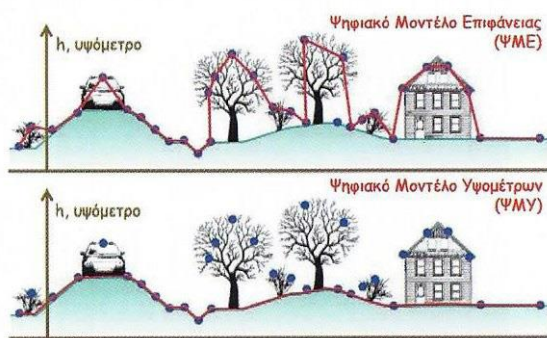
Με την οπτικοποίηση του τοπογραφικού αναγλύφου της φυσικής γήινης επιφάνειας μέσω φωτοσκίασης, βάσει των πρωταρχικών ΨΜΕ των περιοχών μελέτης, ισαποχής 2μ., διαπιστώθηκε αναμενόμενη, υπέρμετρη απεικόνιση λεπτομερειών που αφορούν είτε ελαφρές ανωμαλίες του μικροαναγλύφου του εδάφους, χωρίς υπόσταση αυτόνομου μορφολογικού σχηματισμού, είτε ίσως και πρόσθετα χαρακτηριστικά μεγάλου μεγέθους επί της φυσικής γήινης επιφάνειας. Προκειμένου να εξασφαλισθεί ένα περιβάλλον απρόσκοπτης, χωρίς «θόρυβο» παρατήρησης για τους συμμετέχοντες στο σχεδιαζόμενο πείραμα, ώστε η προσπάθεια αντίληψης των απεικονιζόντων μορφών του αναγλύφου να μην εμποδίζεται λόγω σύγχυσης, ή ακόμη και εστίασης της προσοχής σε άνευ σημασίας στοιχεία, κρίθηκε αναγκαία η υλοποίηση κατάλληλων παρεμβάσεων γενίκευσης των υψομετρικών δεδομένων του

ΨΜΕ με τη μορφή της εξομάλυνσης, που θα επιφέρει εξάλειψη ή έστω ελαχιστοποίηση των ανεπιθύμητων λεπτομερειών.



**Εικόνα 3.5:** Απόσπασμα των ΨΜΕ των περιοχών μελέτης, με αρχική ισαποχή 2μ., αριστερά και με ισαποχή 4μ. μετά την αναδόμηση, δεξιά (κλίμακα 1:20.000).

Πρώτο βήμα αποτέλεσε η αναδόμηση των ΨΜΕ με μείωση της ισαποχής από τα δύο (2) στα τέσσερα (4) μέτρα (Εικόνα 3.5). Μέσω αυτής, θεωρήθηκε πως απαλείφεται το αποτύπωμα τυχόν υπερτιθέμενων αντικειμένων στη φυσική γήινη επιφάνεια και οι ψηφιακές αναπαραστάσεις των επιφανειών αναπαριστούν δομές Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων, ή εν συντομία ΨΜΥ<sup>7</sup> (Εικόνα 3.6).



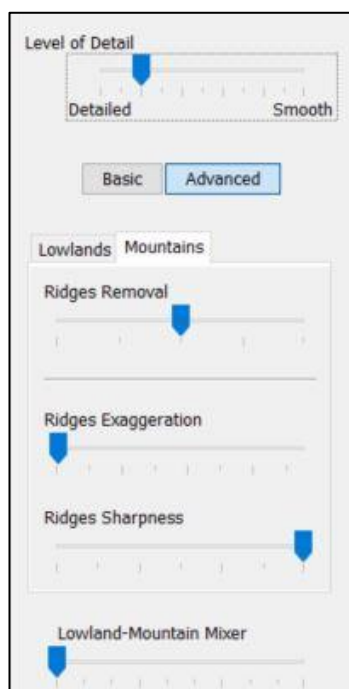
**Εικόνα 3.6:** Η διαφορά μεταξύ ΨΜΥ και ΨΜΕ (Νάκος, 2021, πηγή: [charim.net/datamanagement/32](http://charim.net/datamanagement/32) με τροποποίηση).

Η κυρίως διαδικασία γενίκευσης των ΨΜΥ ήρθε σε πέρας με τη βοήθεια του ελεύθερου λογισμικού *Terrain Sculptor* των Leonowicz κ.ά. (2010). Το λογισμικό αυτό υλοποιεί μια μεθοδολογία γενίκευσης για ΨΜΥ υψηλής ανάλυσης, επιτυγχάνοντας την αφαίρεση των περίπλοκων λεπτομερειών αλλά και την ενίσχυση των σημαντικών μορφών του

αναγλύφου, με σκοπό τη χρήση του μοντέλου ειδικά για την υλοποίηση εφαρμογών φωτοσκίασης. Η βασική φιλοσοφία της μεθοδολογίας είναι ο διαχωρισμός του

<sup>7</sup> Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων, ΨΜΥ (*Digital Elevation Model, DEM*): Η ψηφιακή καταγραφή που αφορά αποκλειστικά και μόνο τη φυσική γήινη επιφάνεια (Νάκος, 2021).

εδάφους σε ορεινές και πεδινές περιοχές και η ξεχωριστή επεξεργασία των υψομετρικών δεδομένων σε κάθε μία από τις δύο κατηγορίες.



**Εικόνα 3.7:** Τμήμα του γραφικού περιβάλλοντος επικοινωνίας του λογισμικού Terrain Sculptor, όπου καθορίζονται οι παράμετροι γενίκευσης του ΨΜΥ για τις ορεινές περιοχές.

Πιο συγκεκριμένα, αφού εφαρμοσθεί αρχικά στο ΨΜΥ ένας τελεστής εξομάλυνσης κεντρικού μέσου όρου (*mean filter*), υπολογίζονται κατάλληλοι συντελεστές καμπυλότητας για τον εντοπισμό των κορυφογραμμών και των μισγαγγειών του αναγλύφου, οι οποίες στη συνέχεια αξιοποιούνται για την προσθήκη αντίστοιχων κατακόρυφων υπερβολών στις ορεινές περιοχές και βαθύνσεων στις πεδινές περιοχές, προς εμπλουτισμό του εξομαλυμένου ΨΜΥ. Η διαδικασία ελέγχεται για κάθε μία από τις δύο κατηγορίες αναγλύφου ξεχωριστά, μέσω ειδικών παραμέτρων που καθορίζουν την έκταση της εφαρμογής των αντίστοιχων παρεμβάσεων (Εικόνα 3.7), ως εξής:

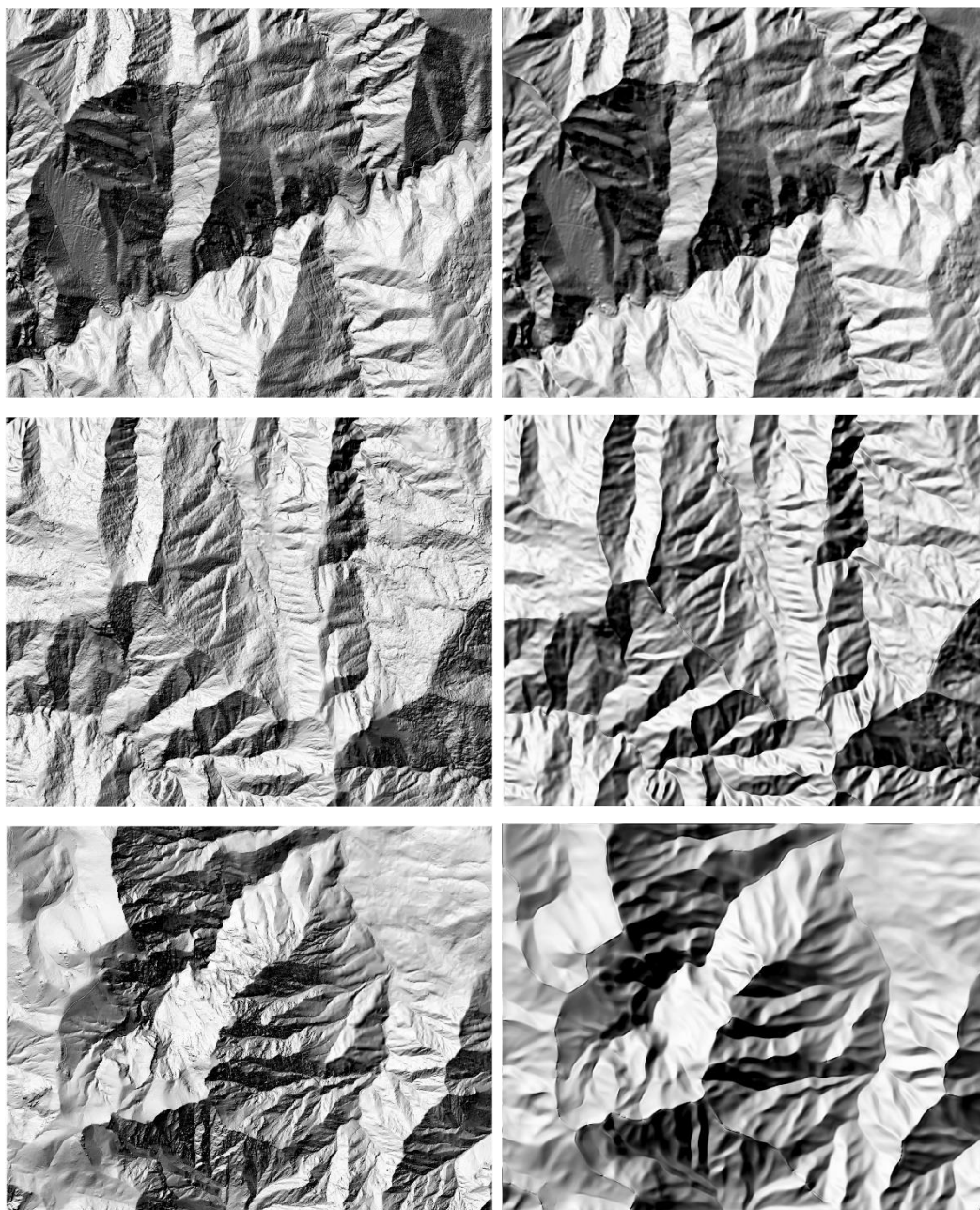
α) για τις μισγάγγειες στις πεδινές περιοχές (ενότητα παραμέτρων *Lowlands*), καθορίζονται ο βαθμός αφαίρεσης τους (*Valleys Removal*), ο βαθμός βάθυνσης (*Valley Depth*) και το πλάτος τους (*Valley Width*),

β) για τις κορυφογραμμές στις ορεινές περιοχές (ενότητα παραμέτρων *Mountains*), καθορίζονται ο βαθμός αφαίρεσης τους (*Ridges Removal*), ο βαθμός υπερβολής (*Ridges Exaggeration*) και η ευκρίνεια (*Ridges Sharpness*).

Στις γενικότερες παραμέτρους του λογισμικού, καθορίζονται ο βαθμός της αρχικής εξομάλυνσης του ΨΜΥ (*Level of Detail*) και η ισορροπία του συνδυασμού μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών (*Lowland-Mountain Mixer*), οι οποίες κατά την αναλυτική διαδικασία της μεθοδολογίας γενίκευσης διαχωρίζονται μέσω του μεγέθους της κλίσης. Όλες δε οι παράμετροι καθορίζονται με οπτική εκτίμηση της επίπτωσης της διαφοροποίησής τους στο υψομετρικό μοντέλο, βάσει προεπισκόπησης της φωτοσκιάσής του.

Στις περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν επικρατεί ο ορεινός χαρακτήρας του αναγλύφου, έτσι κατά την γενίκευση των ΨΜΥ η συμμετοχή του ορεινού τμήματος ήταν 100%, ενώ επιβλήθηκε μικρού βαθμού αρχική εξομάλυνση (20% της κλίμακας

του λογισμικού). Επίσης, και στις τρεις περιοχές οι σχηματισμοί των κορυφογραμμών δεν χρειάστηκε να ενισχυθούν υπερβολικά, ενώ τονίσθηκε στο μέγιστο η ευκρίνειά τους. Ο βαθμός αφαίρεσης της πληροφορίας των κορυφογραμμών ρυθμίστηκε στο 65% για την περιοχή μελέτης “Per” και στο 55% για τις περιοχές μελέτης “Kas” και “Zar”.



**Εικόνα 3.8:** Αναπαράσταση των ΨΜΥ των περιοχών μελέτης με φωτοσκίαση, σε κλίμακα 1:75.000, πριν και μετά την επεξεργασία εξομάλυνσης με το λογισμικό *Terrain Sculptor*: Περιοχή “Per” στην πρώτη σειρά, περιοχή “Kas” στη δεύτερη και περιοχή “Zar” στην τρίτη σειρά.

Στις εικόνες φωτοσκίασης των εξομαλυμένων ΨΜΥ των τριών περιοχών (Εικόνα 3.8), διακρίνεται η χαρακτηριστική αφαίρεση των υπερβολικών λεπτομερειών που



κάνει πλέον εφικτή την μακροσκοπική εξέταση των σχηματισμών του αναγλύφου, όπως αυτοί διαμορφώνονται από τις ουσιαστικές διαφοροποιήσεις του εδαφικού υψομέτρου.

### 3.1.3 Υλοποίηση εικόνων φωτοσκίασης

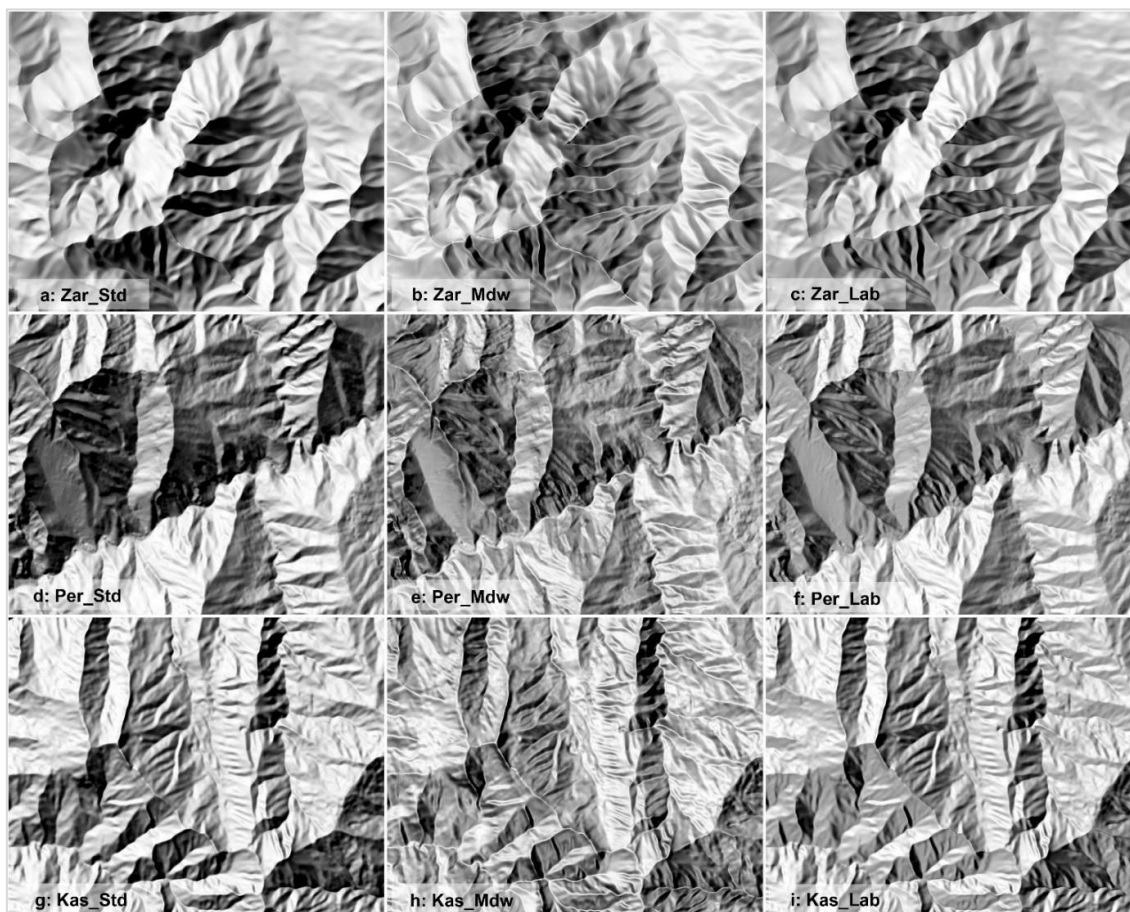
Για την σύνθεση των οπτικών ερεθισμάτων παρατήρησης του σχεδιαζόμενου πειράματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων, εφαρμόστηκαν στις παραπάνω τρεις περιοχές μελέτης, τρεις διαφορετικές μέθοδοι φωτοσκίασης των ΨΜΥ τους. Οι συγκρινόμενες μέθοδοι υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών *ArcGIS Desktop* και είναι:

- (i) Η συνήθης μέθοδος φωτοσκίασης πλάγιου, διάχυτου φωτισμού μίας φωτεινής πηγής από τη ΒΔ κατεύθυνση και υπό γωνίας κλίσης  $45^\circ$  -συμβολίζεται ως “Std” (ο υπολογισμός της έγινε με τη χρήση του υφιστάμενου εργαλείου *Hillshade*).
- (ii) Η μέθοδος πλαγιο-σταθμισμένης φωτοσκίασης πολλαπλών κατευθύνσεων (*Multidirectional Oblique-Weighted – MDOW*) του Mark (1992) -συμβολίζεται ως “Mdw” (ο υπολογισμός της έγινε με τη χρήση του εργαλείου *MDOWHillshade* που συμπεριλαμβάνεται στην πρόσθετη ομάδα εργαλείων αναπαράστασης του αναγλύφου του εδάφους, *TerrainTools*).
- (iii) Ο συνδυασμός της συνήθους ΒΔ φωτοσκίασης και της παραλλαγής της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW) των Loissios κ.ά. (2007), με κοινή κλίση φωτισμού υπό τις  $45^\circ$  -συμβολίζεται ως “Lab” (ο υπολογισμός της βασίστηκε σε υφιστάμενα μοντέλα για το περιβάλλον αυτοματοποίησης διαδικασιών ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, *ModelBuilder*, τα οποία υπέστησαν προγραμματιστικές βελτιώσεις).

Οι εννέα (9) εικόνες που προέκυψαν από τους συνδυασμούς της εφαρμογής των τριών μεθόδων φωτοσκίασης στα ΨΜΥ των τριών περιοχών μελέτης και αποτέλεσαν τα οπτικά ερεθίσματα της πειραματικής διαδικασίας, απεικονίζονται στην Εικόνα 3.9, ενώ οι διαστάσεις τους προσαρμόζονται στη χρησιμοποιούμενη οθόνη προβολής του συστήματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (1280x1024 pixels). Χάριν συντομίας, οι ονομασίες των εικόνων των οπτικών ερεθισμάτων κωδικοποιούνται όπως περιγράφεται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1:** Κωδικές ονομασίες των εικόνων από την εφαρμογή των τριών συγκρινόμενων μεθόδων στις τρεις περιοχές μελέτης.

Κωδική ονομασία	Περιγραφή μεθόδου και περιοχή
<i>Kas_Std</i>	Φωτοσκίαση μίας πηγής στην περιοχή «Καστανιά»
<i>Kas_Mdw</i>	Φωτοσκίαση MDOW στην περιοχή «Καστανιά»
<i>Kas_Lab</i>	Φωτοσκίαση συνδυασμού στην περιοχή «Καστανιά»
<i>Per_Std</i>	Φωτοσκίαση μίας πηγής στην περιοχή «Περίστα»
<i>Per_Mdw</i>	Φωτοσκίαση MDOW στην περιοχή «Περίστα»
<i>Per_Lab</i>	Φωτοσκίαση συνδυασμού στην περιοχή «Περίστα»
<i>Zar_Std</i>	Φωτοσκίαση μίας πηγής στην περιοχή «Ζαρούχλα»
<i>Zar_Mdw</i>	Φωτοσκίαση MDOW στην περιοχή «Ζαρούχλα»
<i>Zar_Lab</i>	Φωτοσκίαση συνδυασμού στην περιοχή «Ζαρούχλα»



**Εικόνα 3.9:** Οπτικά ερεθίσματα για την διεξαγωγή του πειράματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίπτωση του πολλαπλού φωτισμού στην οπτική πολυπλοκότητα της φωτοσκίασης (Tzelepis et al., 2020).

Ανά σειρά οι περιοχές: “Zar” στην πρώτη (εικόνες a,b,c),

“Per” στη δεύτερη (εικόνες d,e,f) και “Kas” στην τρίτη σειρά (εικόνες g,h,i).

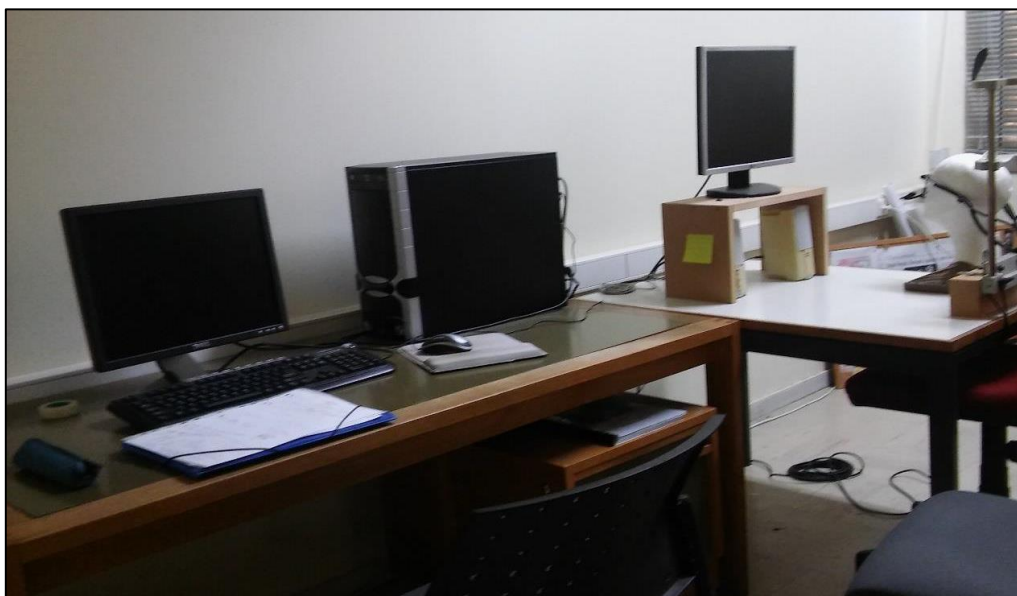
Ανά στήλη οι μέθοδοι: “Std” στην πρώτη (εικόνες a,d,g),

“Mdw” στη δεύτερη (εικόνες b,e,h) και “Lab” στην τρίτη στήλη (εικόνες c,f,i).

## 3.2 Πειραματική διαδικασία καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων

### 3.2.1 Σύστημα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων και παράμετροι

Για την καταγραφή των δεδομένων των οφθαλμικών κινήσεων κατά την παρατήρηση των οπτικών ερεθισμάτων των εικόνων φωτοσκίασης, χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο σύστημα *Viewpoint Eye Tracker PC-60* της *Arrington Research*, το οποίο είναι εγκατεστημένο στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π. Το σύστημα απαρτίζεται από το λογισμικό καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων οφθαλμικών κινήσεων και από τον εξοπλισμό καταγραφής, ο οποίος συνίσταται σε ένα σύστημα πρόσδεσης στο κεφάλι του παρατηρητή και σε μία κάρτα βίντεο που εγκαθίσταται σε επιτραπέζιο Η/Υ και μεσολαβεί για την επικοινωνία των συσκευών στο σύστημα πρόσδεσης με το λογισμικό καταγραφής. Το σύστημα καταγραφής που προσδένεται στον παρατηρητή, φέρει για κάθε οφθαλμό μία κάμερα που καταγράφει την εικόνα του οφθαλμού και μία φωτοδίοδο υπέρυθρης ακτινοβολίας, η οποία φωτίζει τον οφθαλμό.



**Εικόνα 3.10:** Το σύστημα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων *Viewpoint Eye Tracker PC-60* της *Arrington Research*, στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Ε.Μ.Π. (Καλιακούδα, 2017).

Ο εξοπλισμός συμπληρώνεται από ένα σταθερό μηχανισμό ακινητοποίησης της κεφαλής του παρατηρητή, ώστε να εξασφαλίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο η ακινησία κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και η επίτευξη καλύτερης χωρικής ακρίβειας. Τέλος, ο Η/Υ του συστήματος διαθέτει δύο ανεξάρτητες εξόδους οθόνης,

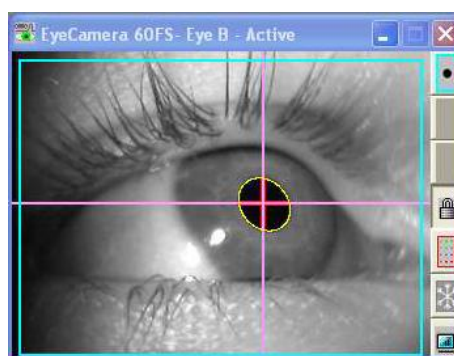
μία για την οθόνη προβολής του παρατηρητή και μία για την οθόνη του χειριστή (Εικόνα 3.10).

Τα κύρια τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του εγκατεστημένου συστήματος είναι τα κάτωθι:

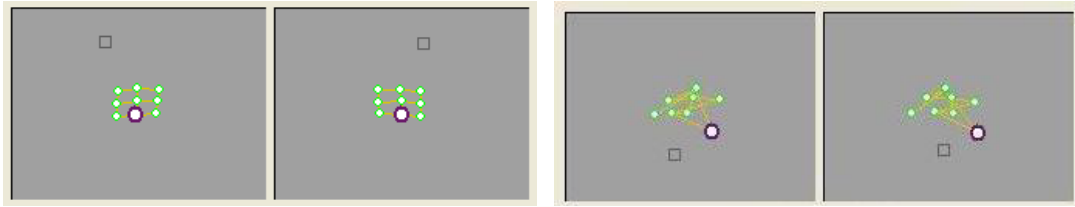
- i) Συχνότητα δειγματοληψίας 60Hz, ή  $\sim 16,67\text{ms}$
- ii) Διακριτική ικανότητα  $0,15^\circ$  οπτικής γωνίας
- iii) Οπτικό εύρος καταγραφής  $\pm 44^\circ$  οριζοντίως και  $\pm 20^\circ$  κατακορύφως
- iv) Κάθετη απόσταση οφθαλμών - οθόνης προβολής 60cm
- v) Μέγεθος οθόνης προβολής 19", με λόγο διαστάσεων 4:3 και ανάλυση 1280x1024 pixels
- vi) Χωρική ακρίβεια καταγραφής  $0,25^\circ$ - $1,00^\circ$  οπτικής γωνίας, ή μέχρι  $\sim 35$  pixels για τη συγκεκριμένη απόσταση και τη συγκεκριμένη οθόνη προβολής.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη δημιουργία ενός μαθηματικού μετασχηματισμού που αντιστοιχεί τις κινήσεις του οφθαλμού σε θέσεις επάνω στην παρατηρούμενη εικόνα, συσχετίζοντας το σύστημα συντεταγμένων του οφθαλμού με το αντίστοιχο της οθόνης προβολής των εικόνων.

Για τη διαμόρφωση του μετασχηματισμού αυτού, πραγματοποιείται από το λογισμικό καταγραφής μια διαδικασία βαθμονόμησης του συστήματος πριν τη διεξαγωγή παρατηρήσεων κάθε συμμετέχοντα, με την παρατήρηση προκαθορισμένου πλήθους σταθερών στόχων -εν προκειμένω εννέα (9)- τοποθετημένων στις κορυφές κανονικού κανάβου που καλύπτει την έκταση της οθόνης προβολής, σε συνδυασμό με τον αντίστοιχο εντοπισμό του κέντρου του οφθαλμού για κάθε στόχο, με την υποβοήθηση του υπέρυθρου φωτισμού (Εικόνα 3.11). Η βαθμονόμηση είναι επιτυχής όταν οι υπολογισμένες -με εφαρμογή του εκτιμώμενου μετασχηματισμού- θέσεις των στόχων σχηματίζουν μία κατά το δυνατόν ορθογώνια, κανονική διάταξη, ενώ αν κάτι τέτοιο δεν επιτευχθεί, απαιτείται επανάληψη της διαδικασίας (Εικόνα 3.12).

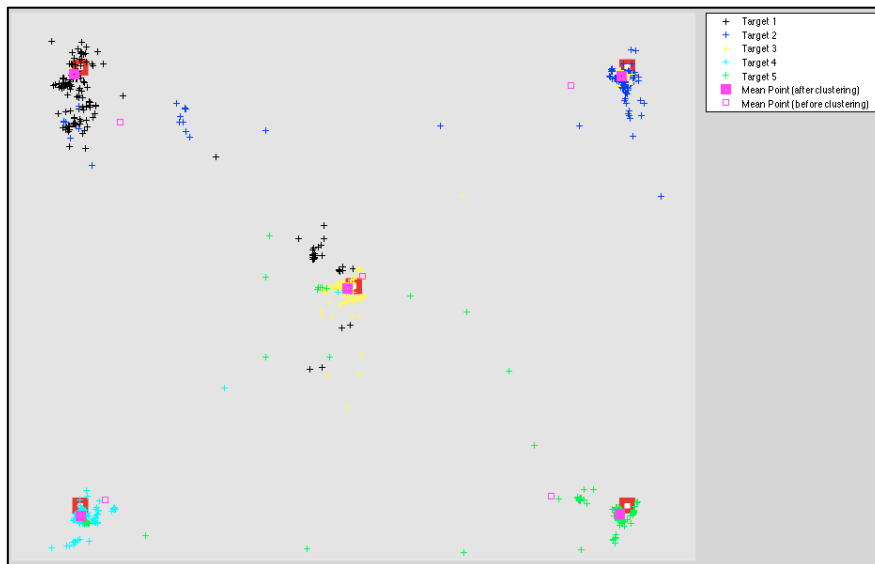


**Εικόνα 3.11:** Εντοπισμός του κέντρου του οφθαλμού κατά την παρατήρηση (Μπαργιώτα, 2013).



**Εικόνα 3.12:** Βαθμονόμηση του συστήματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων: Αριστερά επιτυχής και δεξιά, ανεπιτυχής (Καλιακούδα, 2017).

Επιπλέον, για την ποσοτική εκτίμηση της χωρικής ακρίβειας της βαθμονόμησης, άρα και της ποιότητας του συνόλου των παρατηρήσεων επί της οθόνης προβολής, εφαρμόζεται πρόσθετη διαδικασία παρατήρησης σταθερών στόχων -εν προκειμένω πέντε (5)- πριν, αλλά και μετά τις παρατηρήσεις των πειραματικών δεδομένων. Ο υπολογισμός της χωρικής ακρίβειας σε αυτή τη διαδικασία ποσοτικού ελέγχου της βαθμονόμησης, γίνεται με εκτίμηση των θέσεων των στόχων μέσω αλγορίθμου ασαφούς ομαδοποίησης, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.13 (Κρασανάκης, 2014). Απαραίτητη προϋπόθεση για την συμπερίληψη των παρατηρήσεων ενός συμμετέχοντα παρατηρητή, αποτελεί η διατήρηση της χωρικής ακρίβειας καθ' όλη την πειραματική διαδικασία σε αποδεκτά επίπεδα, όπως καθορίζονται από τα παραπάνω κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος. Διευκρινίζεται δε, ότι οι καταγραφές αφορούν στις κινήσεις και των δύο οφθαλμών και εν τέλει επιλέγεται εκείνος με τη μεγαλύτερη ακρίβεια, πάντα εντός των προβλεπόμενων ορίων.



**Εικόνα 3.13:** Εκτίμηση των θέσεων των στόχων του ελέγχου της βαθμονόμησης με αλγόριθμο ασαφούς ομαδοποίησης (Κρασανάκης, 2014).

Είναι σημαντικό ακόμη να αποσαφηνισθεί, πως η ακινητοποίηση της κεφαλής του υποκειμένου (με τη βοήθεια του συμπληρωματικού, σταθερού μηχανισμού) και των καμερών καταγραφής (με το σύστημα πρόσδεσης στην κεφαλή), αποτελούν

Βασικούς παράγοντες για τη σωστή διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας, καθώς οποιαδήποτε μικρομετακίνηση ή στροφή της κεφαλής ή κάποιας κάμερας επιφέρει τροποποίηση του μετασχηματισμού συντεταγμένων που ιδρύεται με τη διαδικασία βαθμονόμησης.

### 3.2.2 Συμμετέχοντες (υποκείμενα του πειράματος) και διαδικασία

Στην πειραματική διαδικασία συμμετείχαν αρχικά 25 άτομα (με φυσιολογική όραση), ή αλλιώς *υποκείμενα* του πειράματος. Όμως μετά τον παραπάνω έλεγχο της ακρίβειας της βαθμονόμησης, στην ανάλυση που ακολούθησε την καταγραφή των παρατηρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των δεκαπέντε (15) εξ' αυτών (12 γυναίκες και 3 άνδρες), λόγω υπέρβασης των ανεκτών ορίων από τους υπόλοιπους. Από πλευράς εξοικείωσης με το ευρύτερο αντικείμενο των οπτικών ερεθισμάτων, δηλαδή την χρήση απεικονίσεων του γεωγραφικού χώρου, 5 υποκείμενα ήταν πτυχιούχοι Αγρονόμοι Τοπογράφοι μηχανικοί (4 μέλη του εκπαιδευτικού προσωπικού και 1 ΥΔ), 7 υποκείμενα ήταν τελειόφοιτοι φοιτητές της ΣΑΤΜΜΓ και 3 υποκείμενα ήταν μέλη προσωπικού με συναφή εκπαίδευση.

Η έκθεση των υποκειμένων στην παρατήρηση των εικόνων φωτοσκίασης των οπτικών ερεθισμάτων έγινε υπό συνθήκες ελεύθερης, αυθόρμητης αναζήτησης, χωρίς να ζητείται η διεκπεραίωση κάποιας συγκεκριμένης, υπό περιορισμό εργασίας ως διαδικασίας «από πάνω προς τα κάτω» (*top-down*) με χρήση ήδη υπάρχουσας γνώσης (πχ. η αναζήτηση κάποιου συμβόλου ή η απάντηση σε κάποιο ερώτημα).

Αντιθέτως, σκοπός ήταν η καταγραφή αντιδράσεων στο στάδιο της προ-προσοχής (Castner & Eastman, 1984), δηλαδή στο αρχικό αντιληπτικό στάδιο που λαμβάνει χώρα κατά την πρώτη θέαση του οπτικού ερεθίσματος, όπου η ίδια η πληροφορία κινεί μια διαδικασία αντίληψης «από κάτω προς τα πάνω» (*bottom-up*). Κατ' αυτόν τον τρόπο, διενεργείται μια γρήγορη επεξεργασία των χαρακτηριστικών της εικόνας, με την προδιάθεση να δοθεί περισσότερη προσοχή σε κάποια από αυτά, γιατί σχετίζονται είτε με φυσικές ιδιότητες μετρήσιμων διαστάσεων (πχ. μέγεθος, σχήμα, χρώμα, αντίθεση φωτεινότητας, κλπ), είτε με ιδιότητες *Gestalt*<sup>8</sup> (πχ. εγγύτητα,

---

<sup>8</sup> Gestalt: Θεωρία της Ψυχολογίας που υποστηρίζει την τάση της ανθρώπινης αντίληψης να ομαδοποιεί τα αντικείμενα και (κατ' αντιστοιχία στην οπτική αντίληψη) την τάση του ανθρώπινου ματιού να ομαδοποιεί τα οπτικά ερεθίσματα.



ομοιότητα, κλπ), είτε με ισχυρά συνειρμικές γνωστικές ιδιότητες (πχ. ευχάριστο, καινούργιο, ασυνήθιστο, κλπ).

Προκειμένου να εξασφαλισθούν οι συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης, τα υποκείμενα δεν έλαβαν καμία γνώση του περιεχομένου του πειράματος, παρά μόνον μία πολύ σύντομη εισαγωγή με ελάχιστες, χρηστικές οδηγίες. Αυτές αφορούσαν σε μια συνοπτική περιγραφή του συστήματος, σε κάποιες υποδείξεις για την καλύτερη στάση του σώματος προκειμένου να γίνει σωστά η διεξαγωγή του πειράματος καθ' όλη τη διάρκειά του (συνθήκες «απόλυτης» ακινησίας) και τέλος, στα βήματα της πειραματικής διαδικασίας (βαθμονόμηση, έλεγχος βαθμονόμησης, παρατήρηση των πειραματικών δεδομένων και επανάληψη του ελέγχου βαθμονόμησης).

Πριν την έναρξη του πειράματος, προκειμένου να διασφαλισθεί η συνεχής καταγραφή των κινήσεων και των δύο οφθαλμών του υποκειμένου σε οποιαδήποτε διεύθυνση του βλέμματος, ο χειριστής έπρεπε να ελέγχει και αν χρειαστεί, να προσαρμόζει τις τοποθετήσεις των καμερών και των φωτοδιόδων, έτσι ώστε το υποκείμενο να είναι σε θέση να εστιάσει την προσοχή του και στις τέσσερις γωνίες της οθόνης προβολής, με την αντίστοιχη, σταθερή ανίχνευση του κέντρου κάθε οφθαλμού ξεχωριστά.

Η διάρκεια προβολής κάθε εικόνας οπτικού ερεθίσματος ήταν 10 sec. Η σειρά προβολής των οπτικών ερεθισμάτων για κάθε υποκείμενο ήταν διαφορετική, ώστε οι παρατηρήσεις να είναι ισοβαρείς και να μην επηρεάζονται από τη σειρά προβολής. Κρίθηκε απαραίτητη η προβολή μίας λευκής εικόνας, διάρκειας 0,5 sec πριν και μετά από κάθε οπτικό ερέθισμα, για τη στιγμιαία αποφόρτιση του βλέμματος του παρατηρητή, αλλά κυρίως ως ένδειξη αλλαγής του οπτικού ερεθίσματος. Η διάρκεια της εγγενούς βαθμονόμησης του συστήματος με 9 στόχους διήρκεσε 28 sec. Η προβολή καθενός από τους 5 στόχους του ελέγχου της βαθμονόμησης διήρκεσε 2 sec. Συνολικά η αμιγής διάρκεια του πειράματος ήταν 143 sec (~2,4 min) και απαρτίζεται από τα εξής βήματα:

- I) Βαθμονόμηση: 28 sec
- II) Έλεγχος Βαθμονόμησης: 10 sec (5 εικόνες στόχων των 2 sec)
- III) Διενέργεια παρατηρήσεων: 95 sec (συμπεριλαμβάνονται 5 sec, για 10 λευκές εικόνες των 0,5 sec)
- IV) Επανάληψη Ελέγχου Βαθμονόμησης: 10 sec (5 εικόνες στόχων των 2 sec)

### 3.3 Ανάλυση καταγραφών των οφθαλμικών κινήσεων

Τα πρωτογενή δεδομένα που δημιουργήθηκαν με τις εγγραφές του συνόλου των οφθαλμικών κινήσεων κατά την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας από κάθε υποκείμενο, αποθηκεύτηκαν σε σειριακό αρχείο κειμένου με ένα εκτεταμένο σύνολο μεγεθών για κάθε παρατήρηση. Αφού απορριφθούν εγγραφές σημείων παρατήρησης που δεν εμπίπτουν εντός των αναμενόμενων ορίων συντεταγμένων της οθόνης προβολής (λόγω εστίασης των οφθαλμών σε θέσεις εκτός της οθόνης), γίνεται μετεγγραφή των παρατηρήσεων, ώστε να απομονωθούν εκείνα τα μεγέθη καταγραφής που είναι χρήσιμα για την περαιτέρω ανάλυση, δηλαδή ο χρόνος καταγραφής και οι συντεταγμένες των σημείων παρατήρησης στην οθόνη προβολής.

Πριν την ανάλυση των δεδομένων παρατήρησης, προτεραιότητα είχε η απομόνωση των παρατηρήσεων που αφορούσαν στα δύο στάδια του ελέγχου της βαθμονόμησης (πριν και μετά την παρατήρηση των πειραματικών εικόνων) ώστε να υπολογισθούν οι χωρικές ακρίβειες και αναλόγως να αποφασισθεί το αν οι παρατηρήσεις του συγκεκριμένου υποκειμένου θα συμπεριληφθούν στην περαιτέρω επεξεργασία, ή αν τυχόν θα πρέπει να απορριφθούν.

**Πίνακας 3.2:** Οι χωρικές ακρίβειες των παρατηρήσεων των υποκειμένων που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση.

Κωδικός Υποκειμένου	Χωρική ακρίβεια στην αρχή (pixels)	Χωρική ακρίβεια στο τέλος (pixels)
S1	28	38
S2	24	43
S3	21	15
S4	17	18
S5	25	48
S6	18	37
S7	17	34
S8	30	33
S9	27	41
S10	13	14
S11	18	29
S12	21	24
S13	21	47
S14	13	24
S15	23	42

Η ανάλυση των δύο ελέγχων της βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε με δέσμη εντολών στο λογισμικό περιβάλλον αριθμητικής ανάλυσης *Matlab* (Κρασανάκης,



2009) και είχε ως αποτέλεσμα την απόρριψη 10 εκ των 25 αρχικά υποκειμένων του πειράματος. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι ακρίβειες που σημειώθηκαν από τα 15 υποκείμενα που τελικώς συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση των παρατηρήσεων.

### 3.3.1 Άμεση σύγκριση βασικών και παράγωγων μεγεθών καταγραφής

Από την ανάλυση των δεδομένων χρόνου και θέσης των σημείων των οφθαλμικών παρατηρήσεων προέκυψαν αρχικά τα δύο βασικά μεγέθη της καταγραφής, οι *προσηλώσεις (fixations)*<sup>9</sup> και οι *σακκαδικές κινήσεις (saccades)*<sup>10</sup> και στη συνέχεια από αυτά υπολογίσθηκαν και άλλα, σημαντικά παράγωγα μεγέθη της καταγραφής, όπως το *πλήθος προσηλώσεων*, η *μέση διάρκεια προσηλώσεων*, το *μήκος του οπτικού ίχνους (scanpath length)*<sup>11</sup> και ο *λόγος της διάρκειας προσηλώσεων προς τη διάρκεια των σακκαδικών κινήσεων*.

Για τα δεδομένα των 15 τελικώς επιλεγμένων υποκειμένων του πειράματος, έγινε ο προσδιορισμός των ποσοτικών στοιχείων των προσηλώσεων σε κάθε εικόνα (θέσεις και χρόνοι) με το ελεύθερο λογισμικό ανάλυσης δεδομένων οφθαλμικών κινήσεων *OGAMA*, καθορίζοντας τις παραμέτρους για την ανάλυση των δεδομένων:

- Μέγιστη απόσταση σημείου παρατήρησης από κέντρο προσήλωσης: 20 pixels
- Ελάχιστη διάμετρος προσήλωσης: 31 pixels
- Ελάχιστο πλήθος σημείων παρατήρησης μίας προσήλωσης: 5

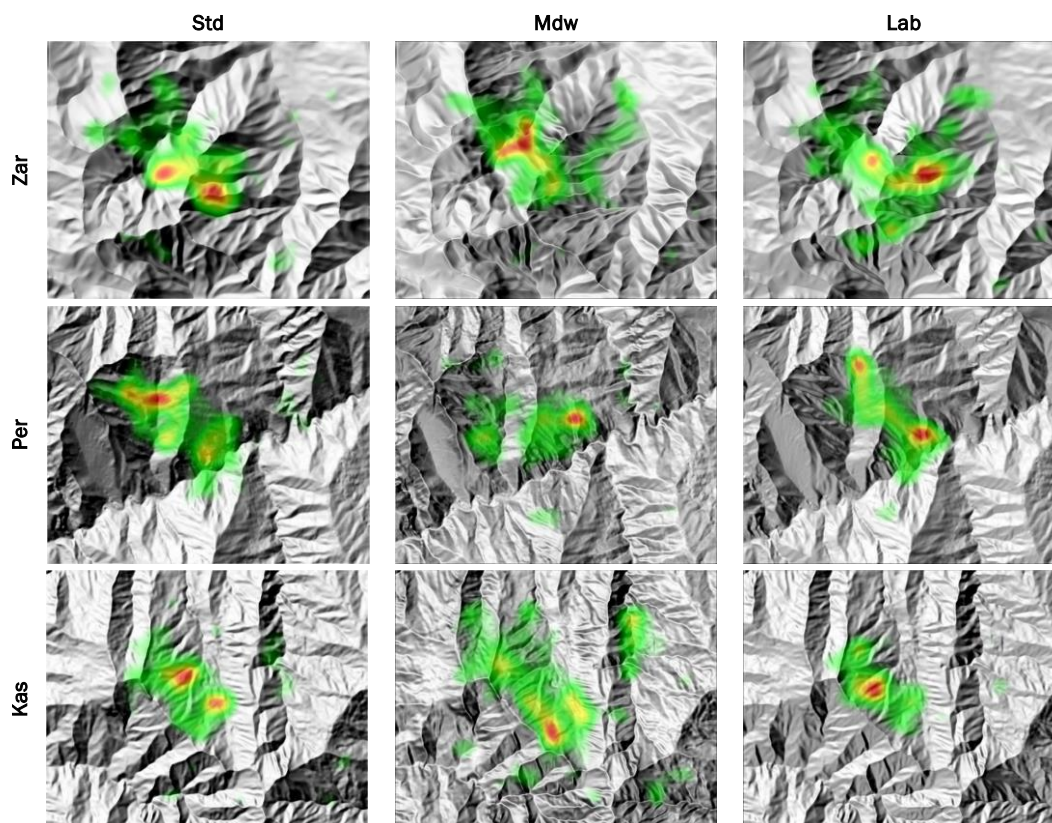
Παράλληλα, τα ποσοτικά στοιχεία των προσηλώσεων οπτικοποιήθηκαν με θερμικούς χάρτες προσοχής, όπου απεικονίζεται η συγκέντρωση των προσηλώσεων μέσω συνεχούς χρωματικής ακολουθίας πλήρους φάσματος (Εικόνα 3.14). Εν συνεχεία, από τα καταγεγραμμένα στοιχεία των προσηλώσεων (αύξων αριθμός, χρόνος έναρξης, χρονική διάρκεια και συντεταγμένες θέσης) προέκυψαν με επεξεργασία τα στοιχεία των βασικών και των παράγωγων μεγεθών και συγκεκριμένα οι μέσες, οι ελάχιστες, οι μέγιστες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις κάθε μεγέθους ανά εικόνα, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3 και οπτικοποιούνται με διαγράμματα στις Εικόνες 3.15-3.18.

---

<sup>9</sup> Προσήλωση (*fixation*): Η σχετική ακινησία και εστίαση του οφθαλμού σε μία θέση παρατήρησης.

<sup>10</sup> Σακκαδική κίνηση (*saccade*): Η κίνηση του οφθαλμού μεταξύ δύο προσηλώσεων.

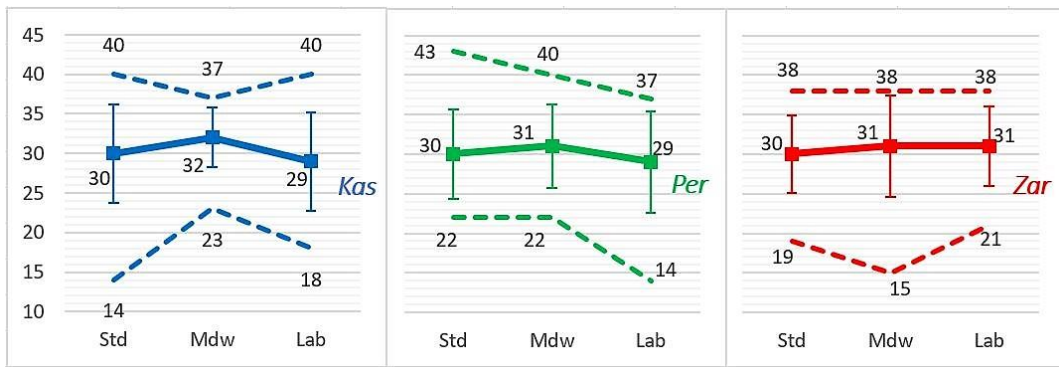
<sup>11</sup> Οπτικό ίχνος (*scanpath length*): Η αλληλουχία των δύο βασικών μεγεθών καταγραφής κατά το πρότυπο «προσήλωση-σακκαδική κίνηση-προσήλωση».



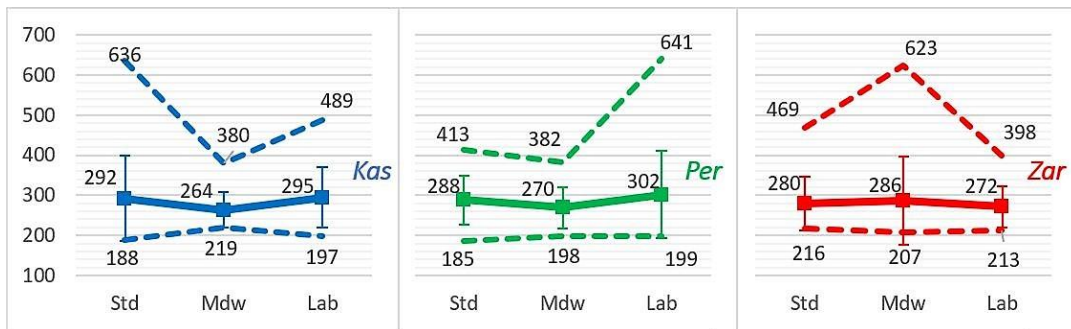
Εικόνα 3.14: Θερμικοί χάρτες προσοχής για τις εννέα (9) εικόνες του πειράματος, όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό OGAMA (Καλιακούδα, 2017).

Πίνακας 3.3: Μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των μεγεθών καταγραφής ανά εικόνα και ανά μέθοδο φωτοσκίασης.

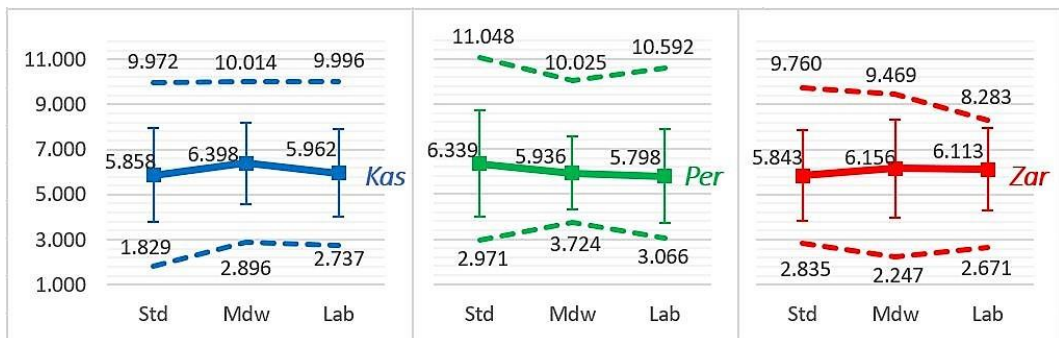
	<i>Kas_Std</i>	<i>Kas_Mdw</i>	<i>Kas_Lab</i>	<i>Per_Std</i>	<i>Per_Mdw</i>	<i>Per_Lab</i>	<i>Zar_Std</i>	<i>Zar_Mdw</i>	<i>Zar_Lab</i>
<b>Πλήθη προσηλώσεων</b>									
<b>μ.τ.</b>	30	32	29	30	31	29	30	31	31
<b>αποκλ.</b>	6.2	3.8	6.2	5.7	5.2	6.4	4.9	6.4	5.0
<b>ελαχ.</b>	14	23	18	22	22	14	19	15	21
<b>μεγ.</b>	40	37	40	43	40	37	38	38	38
<b>Μέσες διάρκειες προσηλώσεων [ms]</b>									
<b>μ.τ.</b>	292	264	295	288	270	302	280	286	272
<b>αποκλ.</b>	106.0	43.4	74.8	61.4	51.3	108.2	66.1	110.1	51.2
<b>ελαχ.</b>	188	219	197	185	198	199	216	207	213
<b>μεγ.</b>	636	380	489	413	382	641	469	623	398
<b>Μήκη οπτικών ιχνών [px]</b>									
<b>μ.τ.</b>	5858	6398	5962	6339	5936	5798	5843	6156	6113
<b>αποκλ.</b>	2073.5	1800.6	1940.3	2359.1	1624.8	2087.6	2029.1	2160.4	1822.8
<b>ελαχ.</b>	1829	2896	2737	2971	3724	3066	2835	2247	2671
<b>μεγ.</b>	9972	10014	9996	11048	10025	10592	9760	9469	8283
<b>Λόγοι διάρκειας προσηλώσεων προς διάρκεια σακκαδικών κινήσεων</b>									
<b>μ.τ.</b>	5.8	5.4	5.8	5.6	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4
<b>αποκλ.</b>	1.83	1.35	1.22	1.90	1.88	2.14	1.79	3.25	2.06
<b>ελαχ.</b>	3.4	3.5	3.8	3.5	2.2	2.3	3.0	3.2	1.2
<b>μεγ.</b>	8.8	8.1	7.8	10.4	9.4	10.4	9.4	16.0	10.2



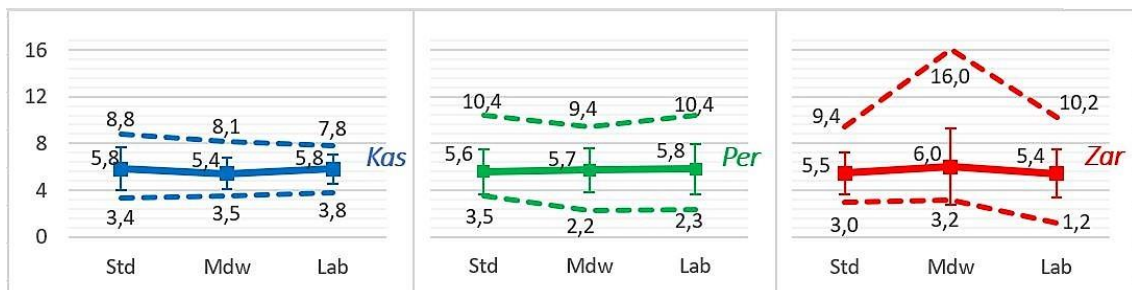
**Εικόνα 3.15:** Πλήθη προσηλώσεων των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις).



**Εικόνα 3.16:** Μέσες διάρκειες προσηλώσεων (σε ms) των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις).



**Εικόνα 3.17:** Μήκη οπτικών ιχνών (σε pixels) των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις).



**Εικόνα 3.18:** Λόγοι διάρκειας προσηλώσεων προς διάρκεια σακκαδικών κινήσεων των συγκρινόμενων μεθόδων ανά εικόνα (ελάχιστες, μέσες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις).

### 3.3.2 Σύγκριση βάσει του δείκτη αξιολόγησης LRI και εμπειρογνομόνων

Ο Vassilios Krassanakis κ.ά. (2018) σε πρόσφατη ερευνητική μελέτη εισήγαγαν την εφαρμογή του δείκτη *LRI (Landscape Rating Index)* για την αξιολόγηση και την κατάταξη διαφορετικών εικόνων τοπίων. Πρόκειται για έναν σταθμισμένο μέσο όρο μεγεθών καταγραφής, όπου τα βάρη στάθμισης των μεγεθών καθορίζονται από διαδικασίες *κρίσης εμπειρογνομόνων*, με γνώμονα την επίδρασή τους κατά μία συγκεκριμένη έννοια, ή αλλιώς για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Στην παρούσα περίπτωση, η έννοια αυτή είναι η αντιληπτή οπτική πολυπλοκότητα που παράγεται κατά την παρατήρηση των διαφορετικών οπτικών ερεθισμάτων που σχηματίζονται από εικόνες φωτοσκίασης διαφορετικών μεθόδων. Ο γενικός τύπος του δείκτη LRI δίνεται με το ακόλουθο μοντέλο:

$$LRI = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times m_i)}{\sum_{i=1}^n |w_i|}$$

Στο παραπάνω μοντέλο, οι μεταβλητές  $m_i$  αντιστοιχούν στις μέσες τιμές των μεγεθών καταγραφής, κανονικοποιημένες (σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο) στο εύρος μεταξύ 0 και 1, οι μεταβλητές  $w_i$  αποτελούν τα βάρη στάθμισης, εκφρασμένα μετά την κανονικοποίηση στο εύρος μεταξύ -1 και 1, ο δείκτης  $i$  αντιστοιχεί στα  $n$  συμμετέχοντα μεγέθη καταγραφής και οι τελικές τιμές του δείκτη LRI βρίσκονται μεταξύ -1 και 1. Η εφαρμογή του δείκτη βασίζεται στην προσαρμογή του μοντέλου υπολογισμού του, το οποίο περιλαμβάνει τα μεγέθη καταγραφής που θεωρούνται σχετικά με την εξεταζόμενη έννοια (εν προκειμένω, η οπτική πολυπλοκότητα), ενώ οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη για κάθε πειραματικό οπτικό ερέθισμα χρησιμοποιούνται για την άμεση σύγκριση και κατάταξή του συνόλου των εικόνων των οπτικών ερεθισμάτων.

Η διαδικασία της *κρίσης εμπειρογνομόνων* (πιο κοινά, εμπειρογνωμοσύνη) είναι μια πρακτική κατά την οποία εξειδικευμένα άτομα σε έναν συγκεκριμένο επιστημονικό ή επαγγελματικό τομέα (εμπειρογνώμονες) παρέχουν δεδομένα και πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων ή/και στη λήψη αποφάσεων (Meyer & Booker, 2001). Χρησιμοποιείται ευρέως σε τεχνικούς τομείς και επιλέγεται για τη λήψη αποφάσεων όταν άλλες πηγές άντλησης γνώσης (π.χ. παρατηρήσεις, πειράματα κλπ) δεν είναι διαθέσιμες ή δεν ταιριάζουν στο εξεταζόμενο φαινόμενο λόγω της ιδιαιτερότητας, της σπανιότητας ή της ασάφειας του (Misthos et al., 2017). Για την παρούσα πειραματική διαδικασία, εμπειρογνώμονες στους τομείς της Γεωπληροφορικής, της Χαρτογραφίας, της Γεω-Οπτικοποίησης (Ομάδα Α), της Πειραματικής Ψυχολογίας, της Γνωστικής Επιστήμης,

της Νευροεπιστήμης και της Ιχνηλάτησης των Οφθαλμών (Ομάδα Β) κλήθηκαν να συμμετάσχουν σε ένα ερωτηματολόγιο, όσον αφορά την αξιολόγηση έξι (6) προεπιλεγμένων μεγεθών καταγραφής οφθαλμικών παρατηρήσεων ως προς το επίπεδο συνάφειάς τους με την οπτική πολυπλοκότητα διαφορετικών τεχνικών/αναπαραστάσεων φωτοσκίασης.

Η γνώση αυτή αξιοποιήθηκε για να καθοριστεί ποια μεγέθη καταγραφής και με ποιο βάρος στάθμισης τα μεγέθη αυτά συμμετέχουν στη διαμόρφωση του μοντέλου υπολογισμού του δείκτη LRI. Η πρακτική αυτή είναι σύμφωνη με μία από τις ενδεικτικές εφαρμογές της κρίσης των εμπειρογνομόνων, την "επιλογή των μεταβλητών εισόδου και απόκρισης για ένα επιλεγμένο μοντέλο" (Meyer & Booker, 2001: χχι). Δεδομένου ότι η εμπειρογνωμοσύνη σχετίζεται μεν, αλλά δεν καθορίζεται πλήρως από την εμπειρία (Patel et al., 1999), λήφθηκαν υπόψιν και τα έτη εμπειρίας κάθε συμμετέχοντα στο ερωτηματολόγιο, ως εξής: εμπειρία έως και 20 ετών, κανονικοποιήθηκε στο εύρος τιμών 0-1, ενώ σε περιπτώσεις μεγαλύτερης εμπειρίας ο σχετικός συντελεστής έλαβε τη μέγιστη τιμή 1.

Το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε μέσω διαδικτύου στην ελεύθερη πλατφόρμα σύνταξης και διαχείρισης στατιστικών ερευνών *Google Forms*, η οποία διατίθεται μέσω της ιστοσελίδας [docs.google.com/forms](https://docs.google.com/forms) (αποσπάσματα οθόνης με τις σχεδιασμένες φόρμες παρατίθενται στο Παράρτημα). Οι αρχικές, προπαρασκευαστικές ενότητες περιείχαν μια σύντομη περιγραφή της υποθετικής σχέσης μεταξύ των εικόνων φωτοσκίασης του αναγλύφου και της οπτικής συμπεριφοράς των παρατηρητών τους, ενώ ακολούθησαν πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις κινήσεις των οφθαλμών και την περιγραφή έξι βασικών μεγεθών καταγραφής:

- $m_1$ : συνολικός αριθμός προσηλώσεων (*total number of fixations*),
- $m_2$ , μέση διάρκεια προσήλωσης (*average fixation duration*),
- $m_3$ : μέσο μήκος σακκαδικής κίνησης (*average saccade length*),
- $m_4$ : συνολική διάρκεια οπτικού ίχνους (*total scanpath duration*),
- $m_5$ : συνολικό μήκος οπτικού ίχνους (*total scanpath length*),
- $m_6$ : λόγος διάρκειας σακκαδικών κινήσεων / προσηλώσεων (*ratio of saccade duration/fixation duration*).

Στη συνέχεια, δόθηκαν οδηγίες στους συμμετέχοντες σχετικά με το σκεπτικό συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου, όπου για καθένα από τα παραπάνω έξι (6) μεγέθη καταγραφής ζητήθηκε να επιλέξουν:

- το επίπεδο επιρροής (*level of influence*), που κυμαίνεται από έντονα αρνητικό (-3) έως έντονα θετικό (+3) και
- το επίπεδο εμπιστοσύνης (*level of confidence*), που ορίζεται σε: ελαφρώς (1), μέτρια (2) ή πολύ βέβαιο (3).

Πριν την ολοκλήρωση του ερωτηματολογίου, οι συμμετέχοντες παρείχαν ορισμένες πληροφορίες δημογραφικού χαρακτήρα. Συνολικά, συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο 41 εμπειρογνώμονες, 15 γυναίκες, 25 άνδρες και ένας που δεν δήλωσε φύλο, ηλικίας από 21 έως 78 ετών (με μέσο όρο τα 41.1 έτη), με καταγωγή κυρίως από την Ευρώπη, αλλά και από την Αμερική, την Ασία και την Ωκεανία.

Μέσω των παραπάνω αντιστοιχίσεων, οι περιγραφικές απαντήσεις του ερωτηματολογίου αντικαταστάθηκαν με αριθμητικές κλίμακες, επιτρέποντας την κατάλληλη ποσοτική ανάλυση. Για κάθε εμπειρογνώμονα και για κάθε μέγεθος καταγραφής, το επίπεδο επιρροής πολλαπλασιάστηκε με το επίπεδο εμπιστοσύνης και με τον συντελεστή εμπειρογνωμοσύνης, ενώ οι τελικοί συντελεστές των μεγεθών καταγραφής υπολογίστηκαν ως μέσοι όροι όλων των συμμετεχόντων και κανονικοποιήθηκαν. Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν επίσης ξεχωριστά για κάθε ομάδα εμπειρογνομόνων (A και B). Για την υλοποίηση της βαθμολόγησης εικόνων με τον δείκτη LRI, έχει σχεδιασθεί η βιβλιοθήκη εργαλείων *LandRate* για το λογισμικό περιβάλλον *Matlab* (Krassanakis et al., 2018), με την οποία πραγματοποιείται πλήρης ανάλυση των δεδομένων των οφθαλμικών παρατηρήσεων.

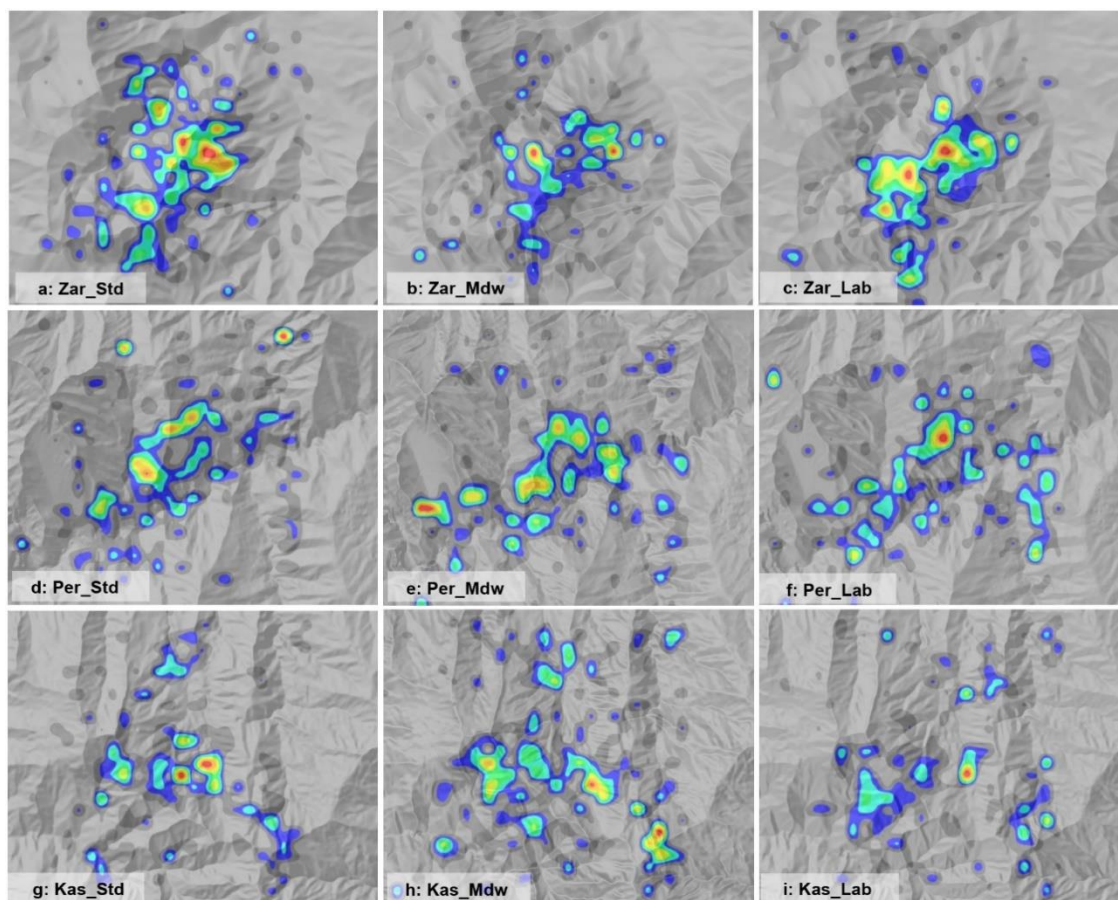
Με το επεξεργασμένο αρχείο παρατηρήσεων των δύο οφθαλμών (βλ. παρ. 3.3), έγινε εκ νέου η ανίχνευση των προσηλώσεων και η απεικόνισή τους σε θερμικούς χάρτες προσοχής (Εικόνα 3.19). Η ανίχνευση βασίστηκε σε αλγόριθμο διασποράς των Krassanakis et al. (2014, 2016), με τις εξής παραμέτρους:

- Μέγιστη απόσταση σημείου παρατήρησης από κέντρο προσήλωσης: 35 pixels
- Μέγιστη ακτίνα προσήλωσης: 35 pixels
- Ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης: 100 ms

Από τις ανιχνευθείσες προσηλώσεις, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των έξι (6) μεγεθών καταγραφής που επιλέχθηκαν να συμπεριληφθούν στο μοντέλο υπολογισμού του δείκτη LRI, για κάθε διαφορετική εικόνα. Συνολικά, οι υπολογισθείσες τιμές των μεγεθών καταγραφής (προ κανονικοποίησης) και οι τιμές των βαρών στάθμισής τους για τον υπολογισμό του δείκτη LRI, βάσει των



απαντήσεων του συνόλου των εμπειρογνομώνων, ή αυτών της Ομάδας Α, ή της Ομάδας Β, απεικονίζονται στον Πίνακα 3.4.



**Εικόνα 3.19:** Θερμικοί χάρτες προσοχής για τις εννέα (9) εικόνες του πειράματος καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων, όπως υπολογίστηκαν από τη βιβλιοθήκη εργαλείων *LandRate* (Tzelepis et al., 2020).

Βάσει των υπολογισμένων βαρών, τα αντίστοιχα τρία (3) μοντέλα υπολογισμού του δείκτη LRI, διαμορφώνονται επομένως ως εξής:

- Με τις απαντήσεις των εμπειρογνομόνων της Ομάδας Α  

$$LRI=0.313 \cdot m_1+0.347 \cdot m_2+0.135 \cdot m_3+0.024 \cdot m_4+0.066 \cdot m_5+0.115 \cdot m_6$$
- Με τις απαντήσεις των εμπειρογνομόνων της Ομάδας Β  

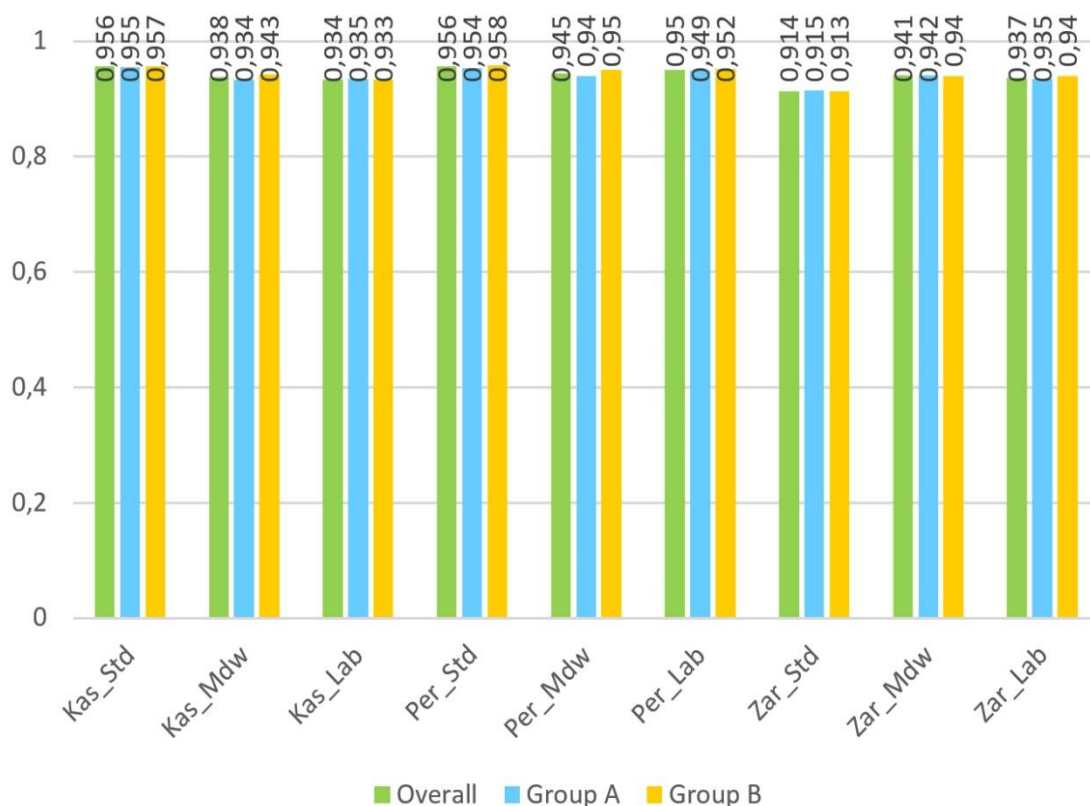
$$LRI=0.243 \cdot m_1+0.24 \cdot m_2+0.07 \cdot m_3+0.104 \cdot m_4+0.204 \cdot m_5+0.138 \cdot m_6$$
- Με τις απαντήσεις του συνόλου των εμπειρογνομόνων  

$$LRI=0.283 \cdot m_1+0.301 \cdot m_2+0.108 \cdot m_3+0.06 \cdot m_4+0.123 \cdot m_5+0.123 \cdot m_6$$

Με την εφαρμογή και των μέσων τιμών των έξι (6) μεγεθών καταγραφής σε κάθε μοντέλο, υπολογίζονται οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη βαθμολόγησης LRI, οι οποίες παρουσιάζονται συγκριτικά στο ραβδόγραμμα της Εικόνας 20.

**Πίνακας 3.4:** Μεγέθη καταγραφής (προ κανονικοποίησης) και τα βάρη στάθμισής τους για τον υπολογισμό του δείκτη LRI, στις ομάδες υποκειμένων A και B, και στο σύνολό τους.

Εικόνα	Πλήθος προσηλώσεων	Μέση διάρκεια προσηλώσης [ms]	Μέσο μήκος σακκαδικής κίνησης [px]	Συνολικό μήκος οπτικού ίχνους [px]	Συνολική διάρκεια οπτικού ίχνους [ms]	Λόγος σακκαδικών κινήσεων προς προσηλώσεις
<i>Kas_Std</i>	24.07	322.20	212.08	4972.31	9793.61	0.37
<i>Kas_Mdw</i>	26.53	289.18	214.17	5447.68	9801.82	0.31
<i>Kas_Lab</i>	24.40	312.97	221.43	5188.45	9572.09	0.30
<i>Per_Std</i>	25.00	309.67	226.28	5444.89	9789.67	0.33
<i>Per_Mdw</i>	26.00	294.91	208.67	5238.63	9826.23	0.34
<i>Per_Lab</i>	24.67	315.80	212.91	5016.06	9878.30	0.34
<i>Zar_Std</i>	25.20	306.12	199.21	4917.79	9519.49	0.28
<i>Zar_Mdw</i>	24.87	323.78	198.26	4823.89	9735.27	0.32
<i>Zar_Lab</i>	23.73	307.21	208.72	4796.26	9697.83	0.38
<b>Βάρη Ομάδας Α'</b>						
μ.τ.	0.21	0.23	0.09	0.04	0.02	0.08
κανον. μ.τ.	0.313	0.347	0.135	0.024	0.066	0.115
<b>Βάρη Ομάδας Β'</b>						
μ.τ.	0.14	0.14	0.04	0.12	0.06	0.08
κανον. μ.τ.	0.243	0.240	0.070	0.104	0.204	0.138
<b>Συνολικά βάρη</b>						
μ.τ.	0.18	0.19	0.07	0.08	0.04	0.08
κανον. μ.τ.	0.283	0.301	0.108	0.060	0.123	0.123



**Εικόνα 3.20:** Δείκτες βαθμολόγησης LRI για τις εννέα (9) εικόνες φωτοσκίασης που προκύπτουν από την εφαρμογή των τριών (3) υπό σύγκριση μεθόδων φωτοσκίασης στις τρεις (3) επιλεγμένες περιοχές μελέτης (Tzelepis et al., 2020).



### 3.4 Συμπεράσματα

Δύο στοιχεία που αναμένονταν να αποτυπωθούν στα αποτελέσματα της ανάλυσης των οφθαλμικών παρατηρήσεων είναι η δυσκολότερη εξαγωγή πληροφορίας στις δύο περιοχές της Στερεάς Ελλάδας (“Per”, στα Περιστά Ναυπακτίας και “Kas”, στην Καστανιά Καρπενησίου), επειδή χαρακτηρίζονται από λεπτομερές και τραχύ ανάγλυφο, με πυκνότερη πληροφορία, σε σχέση με την περιοχή της Πελοποννήσου (“Zar”, στη Ζαρούχλα Καλαβρύτων), καθώς και η υστέρηση του οπτικού χαρακτήρα με έντονη τονική αντίθεση που χαρακτηρίζει μια τυπική εικόνας φωτοσκίασης, στις εικόνες που παράγονται με την τεχνική πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark (“Mdw”), λόγω της ισοστάθμισης των τόνων και της οπτικής ομογενοποίησης της εικόνας που προκαλεί ο πολλαπλός φωτισμός.

Παρατηρώντας τους θερμικούς χάρτες προσοχής της προκαταρκτικής ανάλυσης των δεδομένων των οφθαλμικών κινήσεων, διαπιστώνεται γενικά η συγκέντρωση της προσοχής στο κέντρο των εικόνων, αλλά με περισσότερη ομοιομορφία στις κατανομές των μεθόδων φωτοσκίασης μίας πηγής (“Std”) και του συνδυασμού της με ΦΠΚ των Loissios et al. (“Lab”) και με μεγαλύτερη διασπορά στην κατανομή με την τεχνική ΦΠΚ του Mark (“Mdw”), που θα μπορούσε να συσχετισθεί με την εκτεταμένη αναζήτηση, λόγω υψηλότερης ισοστάθμισης των τόνων της εικόνας.

Μελετώντας ακόμη τα διαγράμματα των αντιπροσωπευτικών τιμών (μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις) των βασικών και παράγωγων μεγεθών καταγραφής, διακρίνεται συσχέτιση αρκετών εξεχουσών συμπεριφορών με τη μέθοδο Mdw. Πιο συγκεκριμένα:

- Στα πλήθη προσηλώσεων, τα εύρη τιμών της Mdw είναι σαφώς πιο περιορισμένα στις περιοχές με λεπτομερέστερο ανάγλυφο (Kas και Per), ίσως λόγω μικρότερης ποικιλίας των τόνων που επιφέρει η μέθοδος, ενώ ακόμη και στις απλούστερες δομές (περιοχή Zar), η μέθοδος Mdw εμφανίζει μικρότερη ελάχιστη τιμή.
- Στις μέσες χρονικές διάρκειες προσήλωσης, παρατηρούνται υψηλές μέγιστες τιμές των μεθόδων Std και Lab στις περιοχές Kas και Per, πιθανότατα λόγω της μεγαλύτερης ποικιλίας και λεπτομέρειας του αναγλύφου στις αντίστοιχες εικόνες, ενώ αντίθετα στην περιοχή Zar όπου κυριαρχούν πιο απλές μορφές, με τη μέθοδο Mdw σημειώνεται υψηλότερη μέγιστη τιμή που ίσως υποδηλώνει παρατεταμένη προσπάθεια κατανόησης.

- Στα μήκη οπτικών ιχνών, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά όλων των μεθόδων. Επισημαίνεται εντούτοις η διττή συχνά ερμηνεία της καθοριστικής για το μέγεθος έννοιας της διάρκειας προσήλωσης, ως προς το αν σηματοδοτεί επιτυχία ή αποτυχία κατανόησης της πληροφορίας.
- Στους λόγους διάρκειας προσηλώσεων προς διάρκεια σακκαδικών κινήσεων, επίσης υπάρχει ομοιότητα συμπεριφοράς, με εξαίρεση όμως την υψηλότερη μέγιστη τιμή της μεθόδου Mdw στην περιοχή Zar, που συνάδει με την παραπάνω καταγραφείσα υψηλότερη μέγιστη διάρκεια προσήλωσης, και μπορεί να ερμηνευθεί ως λιγότερο αποδοτική αναζήτηση.

Στη δεύτερη ανάλυση των δεδομένων των οφθαλμικών κινήσεων που πραγματοποιείται για τη σύγκριση των εικόνων μέσω του δείκτη αξιολόγησης *LandRate*, οι εκ νέου υπολογιζόμενες προσηλώσεις είναι λιγότερες, λόγω της μικρότερης τιμής στην παράμετρο της μεθόδου που αφορά στη διάρκεια προσήλωσης, αλλά όπως παρατηρείται στους αντίστοιχους θερμικούς χάρτες προσοχής οι προσηλώσεις κατανέμονται σε μεγαλύτερη έκταση, λόγω ευνοϊκότερων γεωμετρικών κριτηρίων σε σχέση με αυτά της πρώτης ανάλυσης με το λογισμικό OGAMA και συγκεκριμένα λόγω μεγαλύτερων τιμών στις παραμέτρους της μέγιστης διαμέτρου της προσήλωσης και της μέγιστης απόστασης παρατήρησης - κέντρου προσήλωσης.

Η δημιουργία και η εφαρμογή των τριών μοντέλων υπολογισμού του δείκτη LRI δείχνουν ότι η αντιληπτή οπτική πολυπλοκότητα των τριών (3) συγκρινόμενων μεθόδων φωτοσκίασης αναγλύφου είναι πρακτικά η ίδια, άρα αν και φαινομενικά με μεγαλύτερο πλούτο πληροφορίας, οι εικόνες ΦΠΚ δεν εμφανίζονται να είναι πιο πολύπλοκες και πιο σύνθετες -τουλάχιστον για τις περιοχές που μελετήθηκαν. Καταγράφεται πάντως μία ελάχιστη υστέρηση της συνήθους φωτοσκίασης μίας πηγής στην περιοχή Zar με τις λιγότερο τραχείς ανάγλυφες μορφές, όπου τα άλλα δύο μοντέλα με ΦΠΚ εμφανίζουν επιδόσεις ισάξιες με την κοινή εικόνα όλων των μεθόδων στις περιοχές με το πλουσιότερο ανάγλυφο.

Συμπερασματικά, βάσει των παρατηρήσεων στις συγκρίσεις με τις δύο παραπάνω μεθοδολογίες, η εφαρμογή μεθόδων ΦΠΚ δείχνει σε μακροσκοπικό επίπεδο να διατηρεί τα επίπεδα ρεαλισμού και λειτουργικότητας που επιτρέπουν την επικοινωνία των μορφών του αναγλύφου μέσω φωτοσκίασης, επιτρέποντας την αξιοποίηση της βελτιωμένης έκθεσης λεπτομερειών που προσφέρει ο πολλαπλός φωτισμός. Σε

μικροσκοπικό επίπεδο πάντως, σημειώνονται αντιληπτικές διαφορές στην ΦΠΚ που συνοδεύουν οπτικά χαρακτηριστικά ιδιομορφίας και δεν θα πρέπει να παραβλεφθούν.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΦΠΚ

Η αναλυτική διαδικασία υπολογισμού Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ), όπως αναφέρθηκε και στην παρ. 2.4 παρουσιάστηκε από τον Mark (1992), ο οποίος χρησιμοποιώντας ένα ΨΜΥ ανάλυσης 30μ. της N. Χαβάης παρήγαγε και συνδύασε τέσσερις φωτοσκιάσεις από αντίστοιχους βασικούς προσανατολισμούς, δηλαδή από βόρεια με αζιμούθιο 360°, από βορειοδυτικά με αζιμούθιο 315°, από δυτικά με αζιμούθιο 270° και από νοτιοδυτικά με αζιμούθιο 225°. Η συμμετοχή κάθε μίας από τις τέσσερις εικόνες φωτοσκίασης,  $\Phi\Sigma_j$ , με  $j=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$  σταθμίζεται μέσω βάρους στάθμισης, έτσι ώστε η σταθμισμένη εικόνα ΦΠΚ να υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\Phi\Pi\kappa = \Sigma(W_j \cdot \Phi\Sigma_j)$$

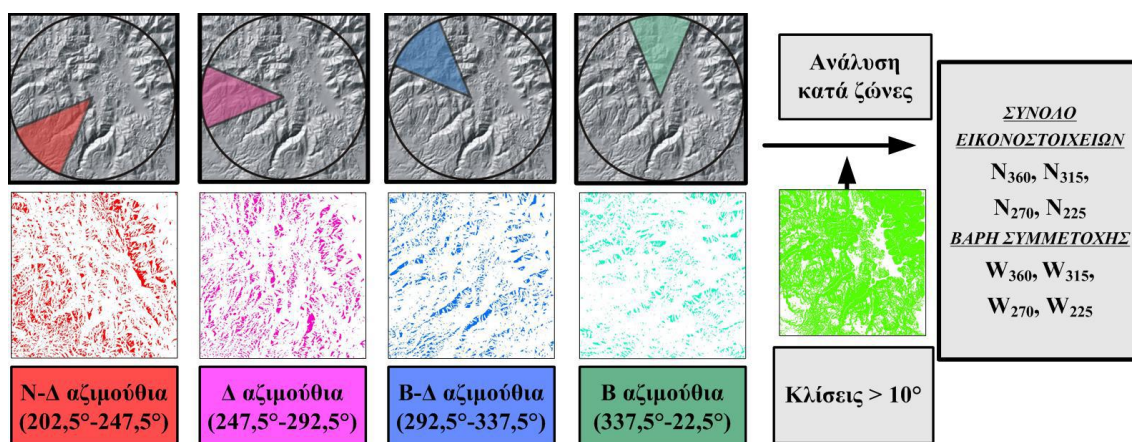
### 4.1 Καθολικά σταθμισμένη (global-weighted) ΦΠΚ

Ο Loissios κ.ά. (2007) εφάρμοσαν μία διαδικασία σύνθεσης ΦΠΚ, κατά την οποία τέσσερις βασικές φωτοσκιάσεις από Β, ΒΔ, Δ και ΝΔ συνδυάζονται με αριθμητικά, καθολικά για κάθε συμμετέχουσα εικόνα βάρη στάθμισης, ανάλογα με το ποσοστό της επιφάνειας του ΨΜΥ που προσανατολίζεται προς την εκάστοτε φωτεινή πηγή, αφού εξαιρεθούν οι επίπεδες περιοχές και με τον φωτισμό να τοποθετείται στη συνήθη γωνία ύψους 45° (προκειμένου να περιοριστεί η έκταση των πολύ σκούρων τόνων).

Πιο συγκεκριμένα, για την υλοποίηση της παραπάνω καθολικά σταθμισμένης ΦΠΚ (*Multi-Directional Global-weighted Hillshade*), υπολογίζονται από το ΨΜΥ οι γωνίες αζιμουθίου και κλίσης τοπικού προσανατολισμού και στη συνέχεια, για κάθε μία εκ των τεσσάρων βασικών κατευθύνσεων φωτοσκίασης (Β, ΒΔ, Δ και ΝΔ) εντοπίζονται οι περιοχές όπου η γωνία αζιμουθίου κυμαίνεται εντός εύρους  $\pm 22,5^\circ$  εκατέρωθεν αυτής (συνολικού εύρους 45°) και συνδυάζονται με τις περιοχές κλίσεων εδάφους άνω του 10°, ώστε να προκύψουν τα τμήματα της απεικονιζόμενης περιοχής που πληρούν και τα δύο κριτήρια (Εικόνα 4.1). Ακολούθως γίνεται καταμέτρηση των εικονοστοιχείων των τμημάτων αυτών,  $N_j$ , με  $j=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$  &  $360^\circ$  και υπολογίζονται οι ποσοστιαίες συμμετοχές των τμημάτων κάθε βασικής φωτοσκίασης επί του αθροίσματος των εικονοστοιχείων των τμημάτων και των τεσσάρων βασικών

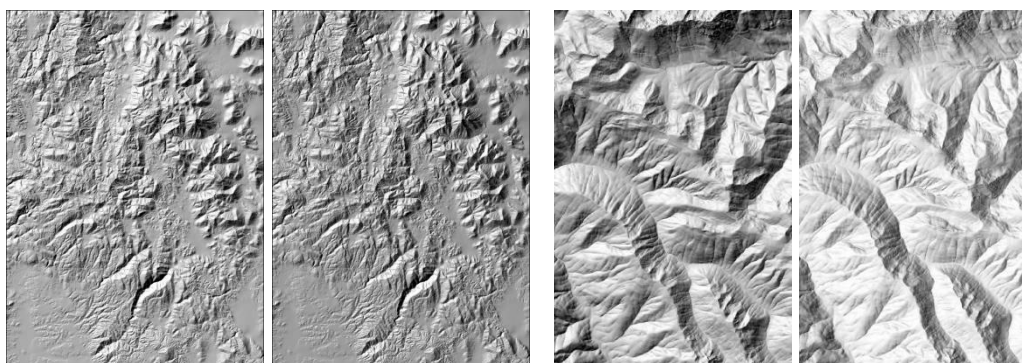
κατευθύνσεων, οι οποίες αποτελούν τα καθολικά βάρη στάθμισής τους στην ενοποίησή τους,  $W_j$  ως εξής:

$$W_j = N_j / N_{total}, \text{ όπου } N_{total} = \sum N_j.$$



**Εικόνα 4.1:** Χωρική ανάλυση κατά ζώνες μεταξύ αζιμουθίων και γωνιών κλίσης τοπικού προσανατολισμού για τον υπολογισμό των καθολικών βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών προσανατολισμών (B, ΒΔ, Δ και N) για τη σύνθεση ΦΠΚ (Loissios et al., 2007, με προσαρμογή από Τζελέπης κ.ά., 2008)

Η δοκιμαστική εφαρμογή της μεθόδου, η οποία έγινε σε δύο ορεινές περιοχές, μία στην ΠΕ Αρκαδίας, δυτικά της Τρίπολης, με ΨΜΥ ισαποχής 25μ. και μία στην Πολιτεία της Washington των ΗΠΑ, δυτικά του Seattle με ΨΜΥ ισαποχής 10μ. παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2.



**Εικόνα 4.2:** ΦΠΚ καθολικών βαρών (δεξιά εικόνα ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:30.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:80.000 (Loissios et al., 2007).

## 4.2 Πλαγιο-σταθμισμένη (oblique-weighted) ΦΠΚ

### 4.2.1 Πρωτότυπη τεχνική του Mark (MDOW)

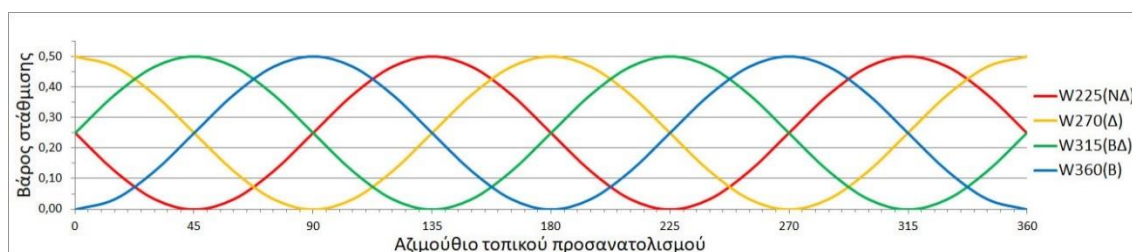
Κατά την πρωτότυπη μέθοδο σύνθεσης ΦΠΚ του Mark (1992), όπως περιγράφεται στην παρ. 2.4, συνδυάζονται τέσσερις βασικές φωτοσκιάσεις από Β, ΒΔ, Ν και ΝΔ,

όλες με φωτισμό υπό γωνία κλίσης  $30^\circ$  και με βάρη στάθμισης που διαφοροποιούνται ανά εικονοστοιχείο, βάσει της διαφοράς μεταξύ της κατεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού και της εκάστοτε εκ των τεσσάρων βασικών κατευθύνσεων φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το συνδυασμό πλαγιο-σταθμισμένης φωτοσκίασης πολλαπλών διευθύνσεων (*Multi-Directional Oblique-Weighted, MDOW*), το βάρος στάθμισης,  $W_j$  μιας συμμετέχουσας βασικής φωτοσκίασης,  $j$  έχει τη μορφή πίνακα, ίσων διαστάσεων με την εικόνα φωτοσκίασης και κάθε στοιχείο του πίνακα υπολογίζεται ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} \sin^2(\varphi - j)$$

όπου  $j=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$  &  $360^\circ$  και  $\varphi$  είναι το αζιμούθιο της κατεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού, το οποίο υπολογίζεται από γενικευμένο ΨΜΥ ισαποχής 1000μ., προκειμένου να εξομαλυνθούν οι μικρομεταβολές του αναγλύφου και να αναδειχθούν οι ενιαίοι προσανατολισμοί των κύριων, δομικών μορφών του. Κατά τα παραπάνω, η συμμετοχή μιας βασικής φωτοσκίασης αυξάνεται ανάλογα με τη διαφορά μεταξύ της διεύθυνσης του φωτισμού της και της διεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού, προτιμώντας πρωτίστως εκείνη εκ των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων που ο φωτισμός της είναι (στο οριζόντιο επίπεδο) πιο κάθετος στη διεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού και δευτερευόντως τις φωτοσκιάσεις των πιο πλαγίων φωτισμών. Η συνολική συμπεριφορά των αντιστοίχων βαρών στάθμισης παρουσιάζεται εποπτικά στο διάγραμμα της Εικόνας 4.3 και παραδείγματα εφαρμογής της τεχνικής σε δύο ορεινές περιοχές, με ΨΜΥ μεσαίας και μεγάλης κλίμακας παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.4.

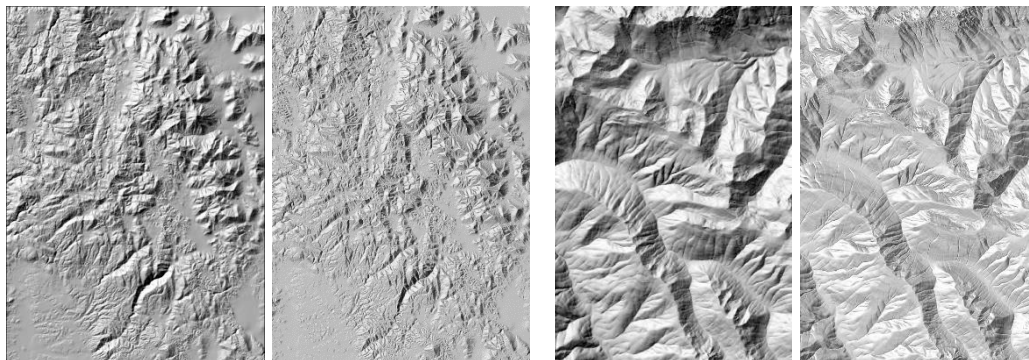
Για τις γωνιακές συγκρίσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την υλοποίηση της μεθόδου, εφιστάται η προσοχή στο γεγονός ότι -λόγω της ημιτονοειδούς συνάρτησης και της



**Εικόνα 4.3:** Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού για τη σύνθεση της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark (MDOW).

ύψωσής στο τετράγωνο- πρακτικά συσχετίζονται οι διευθύνσεις των προσανατολισμών του εδάφους και του φωτισμού (αντί των κατευθύνσεων). Τούτο βασίζεται στη λογική του ότι, μέσω της φωτοσκίασης του αναγλύφου επιδιώκεται η

ικανοποιητική αναπαράσταση των εδαφικών εξάρσεων ως συνολικές μορφές (οι οποίες κατά κανόνα διαθέτουν μία ελάχιστη γραμμικότητα) και όχι μεμονωμένα ως προς κάθε πλαγιά τους, με αποτέλεσμα η ωφέλεια μιας έξαρσης από τον φωτισμό να προκύπτει ακόμα και από τις πλαγιές που τον αποστρέφονται, οι οποίες αποδιδόμενες μέσω σκούρων τόνων διαμορφώνουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα της αντίθεσης των τόνων σε μία απεικόνιση φωτοσκίασης.



**Εικόνα 4.4:** Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (δεξιά εικόνα ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:30.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:80.000.

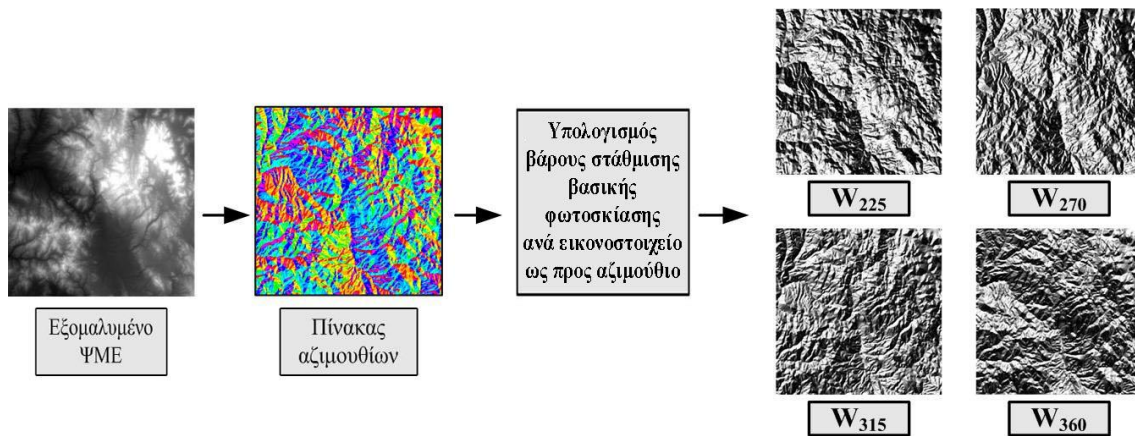
#### 4.2.2 Παραλλαγή του Loissios κ.ά. (2007)

Στις εργασίες των Loissios et al. (2007) εφαρμόστηκε μία παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (Εικόνα 4.5), όπου η γωνία ύψους του φωτισμού τέθηκε στην συνήθη τιμή των  $45^\circ$  (για τον περιορισμό των πολύ σκούρων τόνων), χρησιμοποιείται το πρωτογενές και όχι γενικευμένο ΨΜΥ για τον υπολογισμό των γωνιών αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού -κατά τις συστάσεις και του Mark (1992)- με ήπια εξομάλυνση, ενώ ο υπολογισμός των βαρών στάθμισης της ΦΠΚ,  $W_j$  βασίζεται σε αναλυτική σχέση του Jenny (2001) και έχει ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} [\cos(\varphi - j) + 1] / \sum W_j$$

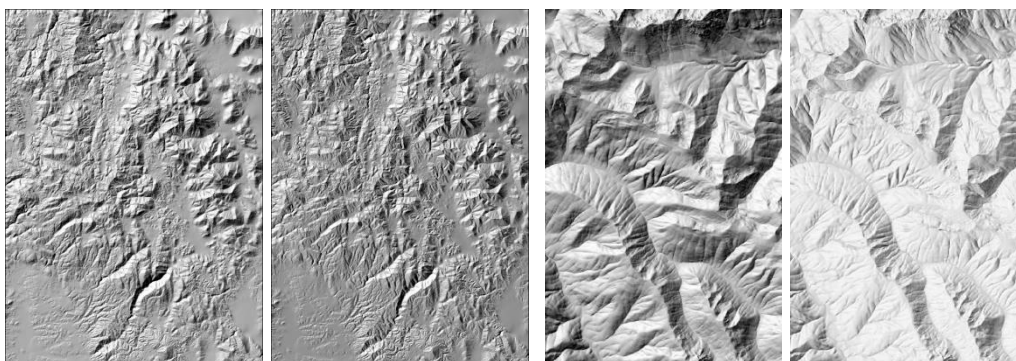
Με την παραπάνω σχέση, η τιμή του βάρους στάθμισης μεγιστοποιείται όταν η κατεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού,  $\varphi$  και η κατεύθυνση της εκάστοτε βασικής φωτοσκίασης,  $j$  συγκλίνουν, ενώ ελαχιστοποιείται όταν αυτές διαφέρουν κατά  $180^\circ$ . Επομένως μεγαλύτερη συμμετοχή θα έχει εκείνη εκ των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων που ο φωτισμός της παραλληλίζεται περισσότερο (στο οριζόντιο επίπεδο) με την κατεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού στην εκάστοτε θέση του εδάφους, ενώ γενικώς η συμμετοχή είναι ανάλογη της σύγκλισης μεταξύ της κατεύθυνσης του φωτισμού και της κατεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού.





**Εικόνα 4.5:** Υπολογισμός βαρών στάθμησης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών προσανατολισμών (Β, ΒΔ, Δ και Ν) για τη σύνθεση της πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ των Loissios et al., 2007 (Προσαρμογή από Τζελέπης κ.ά., 2008).

Η δοκιμαστική εφαρμογή της μεθόδου που πραγματοποιήθηκε σε δύο ορεινές περιοχές: στην ΠΕ Αρκαδίας, δυτικά της Τρίπολης, έκτασης 27,4 x 37,8 χλμ., με ΨΜΥ ισαποχής 25μ. και στην Πολιτεία της Washington των ΗΠΑ, δυτικά του Seattle, έκτασης 9,4 x 14 χλμ. με ΨΜΥ ισαποχής 10μ. παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6.



**Εικόνα 4.6:** Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al., 2007 (δεξιά εικόνα κάθε ζεύγους) σε σύγκριση με φωτοσκίαση μίας πηγής (αριστερή εικόνα ζεύγους). Αριστερά, ΨΜΥ ισαποχής 25μ. ορεινής περιοχής στην Τρίπολη σε κλίμακα 1:80.000, δεξιά ΨΜΥ ισαποχής 10μ. ορεινής περιοχής στο Seattle των ΗΠΑ σε κλίμακα 1:30.000.

#### 4.2.3 Νέες παραλλαγές

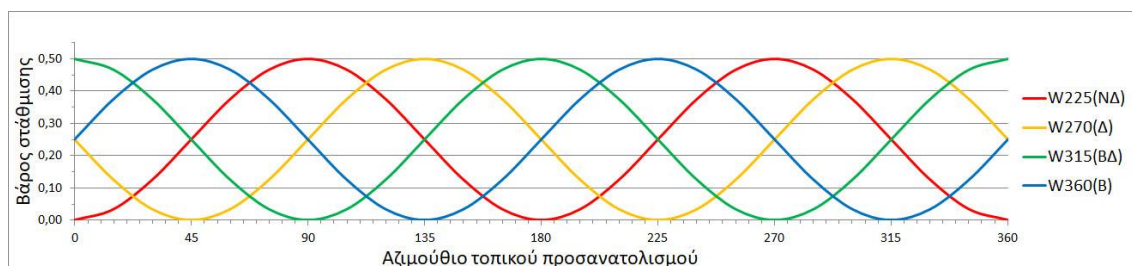
Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, διερευνήθηκαν εναλλακτικές σχέσεις υπολογισμού των βαρών στάθμησης κατά τη σύνθεση μιας εικόνας πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ωφέλεια των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων στην οπτικοποίηση της πληροφορίας του αναγλύφου. Με την πρωτότυπη τεχνική του Mark, δίνεται μεγαλύτερο βάρος στη φωτοσκίαση της οποίας ο φωτισμός προσπίπτει κάθετα στον τοπικό προσανατολισμό του εδάφους, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ομοιόμορφοι τόνοι στις εκατέρωθεν πλευρές μιας

εδαφικής έξαρσης, δυσκολεύοντας την ανάδειξή της, ενώ με την παραλλαγή του Loissios κ.ά., δίνεται μεγαλύτερο βάρος στη φωτοσκίαση με φωτισμό που προσπίπτει παράλληλα με τον τοπικό προσανατολισμό, οπότε και προκύπτουν πολύ φωτεινοί τόνοι στις φωτιζόμενες πλαγιές που δυσκολεύουν την διάκριση των λεπτομερειών.

Δεδομένου ότι κατά τον Imhof (1982), η επιδιωκόμενη γεωμετρία φωτισμού και εδάφους είναι η διαγώνια τομή μεταξύ των αξόνων των βασικών σχηματισμών και της διεύθυνσης φωτισμού (κατά προτίμηση υπό οξεία γωνία), δοκιμάσθηκε η προσάυξη της διαφοράς αζιμουθίων μεταξύ των διευθύνσεων τοπικού προσανατολισμού και φωτισμού κατά 45°, προκειμένου η μέγιστη τιμή βάρους καθεμιάς εκ των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων να προκύπτει σε τοπικούς προσανατολισμούς του εδάφους των οποίων οι διευθύνσεις διαφέρουν από τη διεύθυνση φωτισμού κατά 45°. Η κατ' αυτή τη λογική τροποποιημένη σχέση υπολογισμού του βάρους στάθμισης  $W_j$ , έχει ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} \sin^2(\varphi + \pi/4 - j)$$

και το αντίστοιχο διάγραμμα τιμών της παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.7.

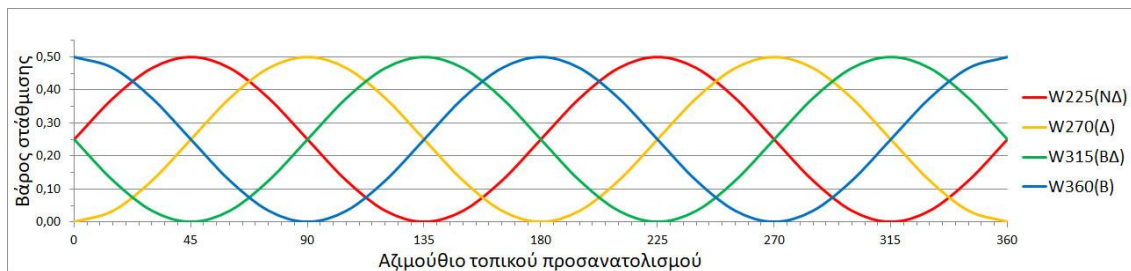


**Εικόνα 4.7:** Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσάυξη της διαφοράς αζιμουθίων μεταξύ τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά 45°.

Εάν η προσάυξη της γωνιακής διαφοράς μεταξύ των αζιμουθίων της διεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού και των διευθύνσεων φωτισμού των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων τεθεί στις 90°, τότε προμοδοτείται η βασική φωτοσκίαση της οποίας η διεύθυνση φωτισμού τοποθετείται πιο παράλληλα με τη διεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους και η υπόλοιπη συμμετοχή μοιράζεται στις άλλες δύο βασικές φωτοσκιάσεις που έχουν διευθύνσεις φωτισμού εκατέρωθεν αυτής και προσπίπτουν πλαγίως ως προς τον τοπικό προσανατολισμό (άρα δεν συμμετέχει καθόλου η φωτοσκίαση με κάθετη διεύθυνση φωτισμού). Για την παραλλαγή αυτή, η σχέση υπολογισμού του βάρους στάθμισης  $W_j$ , έχει ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} \sin^2(\varphi + \pi/2 - j)$$

και το αντίστοιχο διάγραμμα τιμών της παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8. Πρακτικά, το αποτέλεσμα είναι ίδιο αν αντί προσάυξης κατά  $90^\circ$ , γινόταν αντικατάσταση της συνάρτησης ημιτόνου με το συνημίτονο:  $W_j = \frac{1}{2} \cos^2(\varphi - j)$ .



**Εικόνα 4.8:** Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσάυξη της διαφοράς των διευθύνσεων τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά  $90^\circ$ .

Βάσει βεβαίως των παραπάνω, στο οπτικό αποτέλεσμα της συγκεκριμένης εναλλακτικής παραλλαγής πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ, είναι επόμενο να επικρατούν πολύ φωτεινοί τόνοι στις φωτιζόμενες πλαγιές, καθώς συγκεντρώνονται όλες οι συμμετέχουσες φωτεινές πηγές σε θέση έναντι στον εκάστοτε, τοπικό προσανατολισμό της επιφάνειας του εδάφους.

Ένα άλλο έναυσμα για τη διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων υπολογισμού των βαρών στάθμισης, ήταν η επίτευξη συχνότερης, πιο γρήγορης αυξομείωσης των τιμών τους ως προς την μεταβολή του τοπικού προσανατολισμού, προκειμένου κάθε βασική φωτοσκίαση να συνεισφέρει στη διαμόρφωση των τόνων της συντιθέμενης ΦΠΚ για περισσότερα και πιο ανομοιογενή μορφολογικά τμήματα του αναγλύφου. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί εάν στη σχέση του βάρους στάθμισης,  $W_j$  της πρωτότυπης τεχνικής του Mark γίνει διπλασιασμός του μεγέθους του αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού της επιφάνειας,  $\varphi$  οπότε αυτή διαμορφώνεται ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} \sin^2(2\varphi - j)$$

ενώ το διάγραμμα τιμών παίρνει τη μορφή της Εικόνας 4.9. Με αυτή την κατανομή των βαρών στάθμισης, εξασφαλίζεται η παρουσία επαρκούς πλάγιου φωτισμού, υπό μία ενιαία ή δύο ξεχωριστές κατευθύνσεις -εκ των τεσσάρων βασικών κατευθύνσεων ΦΠΚ- για όλους τους προσανατολισμούς των εξάρσεων του αναγλύφου, οδηγώντας στην ανάκτηση σημαντικά αυξημένου ποσοστού της πληροφορίας του.

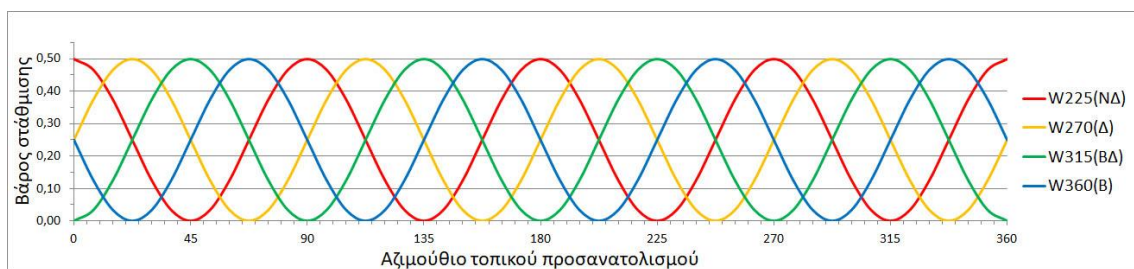


**Εικόνα 4.9:** Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους.

Επιπρόσθετα, διερευνήθηκε το αποτέλεσμα μίας δευτερογενώς παράγωγης και παρόμοιας οπτικά εναλλακτικής παραλλαγής, που προκύπτει με περαιτέρω γωνιακή μετατόπιση της κατανομής των βαρών στάθμισης κατά  $45^\circ$  (μειούμενου) και με τη σχέση υπολογισμού τους να διαμορφώνεται ως εξής:

$$W_j = \frac{1}{2} \sin^2(2\varphi - \pi/4 - j)$$

ενώ το αντίστοιχο διάγραμμα τιμών διαμορφώνεται όπως στην Εικόνα 4.10.



**Εικόνα 4.10:** Διάγραμμα τιμών των βαρών στάθμισης των τεσσάρων φωτοσκιάσεων βασικών κατευθύνσεων ως προς το αζιμούθιο τοπικού προσανατολισμού, για την εναλλακτική παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου και μείωση κατά  $45^\circ$ , σε σχέση με την κατεύθυνση του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους.

### 4.3 Σταθμισμένη ΦΠΚ βάσει πρόσπτωσης του φωτός (incident-weighted)

Στη θέση της οριζόντιας γωνίας μεταξύ κατεύθυνσης φωτισμού και της κατεύθυνσης του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους, ως παράγοντας για τη στάθμιση των τεσσάρων βασικών φωτοσκιάσεων στη διαμόρφωση μίας εικόνας ΦΠΚ, μπορεί να αξιοποιηθεί η πιο σύνθετη, τρισδιάστατη γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης της εκάστοτε εξ' αυτών ως προς την κάθετο του τοπικού προσανατολισμού,  $i_j$ . Αυτή είναι δυνατόν να υπολογισθεί αντιστρέφοντας τη σχέση υπολογισμού της μέσω του συνημιτόνου της (Horn, 1982), ως εξής:

$$i_j = \arccos [\cos(\theta) \cdot \cos(\theta_j) + \sin(\theta) \cdot \sin(\theta_j) \cdot \cos(\varphi - \varphi_j)]$$

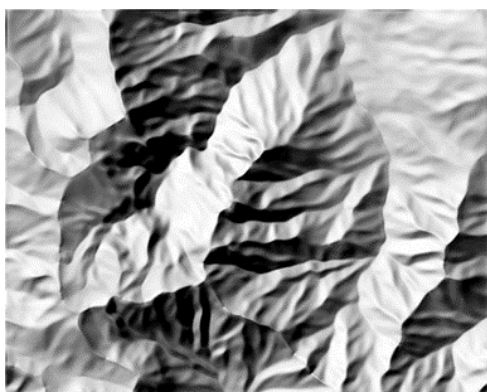


$\theta$  και  $\varphi$  είναι τα στοιχεία αντίστοιχα της ζενίθιας γωνίας και της γωνίας αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού του εδάφους και  $\theta_j$ ,  $\varphi_j$  είναι τα στοιχεία αντίστοιχα της ζενίθιας γωνίας και της γωνίας αζιμουθίου της κατεύθυνσης φωτισμού της σταθμιζόμενης βασικής φωτοσκίασης, με  $j=225^\circ, 270^\circ, 315^\circ \text{ \& } 360^\circ$ , ενώ η σχέση υπολογισμού του βάρους στάθμισης μιας βασικής φωτοσκίασης, διαμορφώνεται ως εξής:

$$W_j = \sin^2(i_j) / \Sigma W_j$$

#### 4.4 Υλοποίηση των μοντέλων και εφαρμογή

Τα παραπάνω αναφερόμενα μοντέλα ΦΠΚ εφαρμόστηκαν σε ορεινή περιοχή δυτικά του οικισμού "Ζαρούχλα" του δήμου Καλαβρύτων, με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., υψομετρικό εύρος 1104-2354μ., διαστάσεις 5,1 χλμ. x 4,1 χλμ. και έκταση περίπου 21 τ.χλμ., στην οποία περιέχονται τρεις κύριοι ορεινοί όγκοι με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και πολλές μικρότερες πτυχώσεις ποικίλων προσανατολισμών (Εικόνα 4.11).



**Εικόνα 4.11**

Φωτοσκίασης μιας πηγής στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» για την εφαρμογή των μοντέλων ΦΠΚ, με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000.

Η υλοποίηση όλων των εφαρμογών ΦΠΚ έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, *ArcGIS Desktop* (Εικόνα 4.12). Πιο συγκεκριμένα:

- Για την εφαρμογή της τεχνικής MDOW του Mark χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο *MDOWHillshade* που συμπεριλαμβάνεται στην πρόσθετη ομάδα εργαλείων αναπαράστασης του αναγλύφου του εδάφους, *TerrainTools*.
- Για την εφαρμογή της καθολικά σταθμισμένης ΦΠΚ και της παραλλαγής πλαγιοσταθμισμένης ΦΠΚ του Loissios κ.ά. (2007) χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενα μοντέλα για το περιβάλλον αυτοματοποίησης διαδικασιών ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, *ModelBuilder*, τα οποία υπέστησαν προγραμματιστικές βελτιώσεις.

- Για την εφαρμογή των εναλλακτικών παραλλαγών πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ και για την ΦΠΚ με στάθμιση βάσει γωνίας πρόσπτωσης, δημιουργήθηκαν νέα μοντέλα για το περιβάλλον *Modelbuilder*.



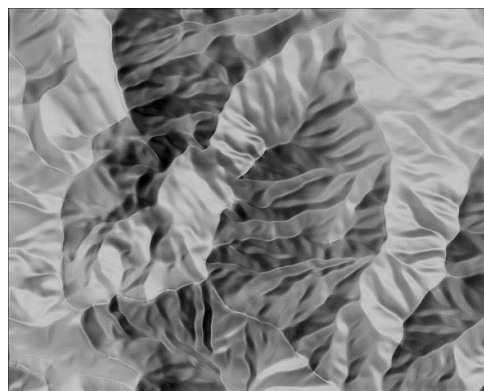
**Εικόνα 4.12**

*Μοντέλα ΦΠΚ στο περιβάλλον του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, ArcGIS Desktop, συγκεντρωμένα κάτω από κοινή εργαλειοθήκη.*

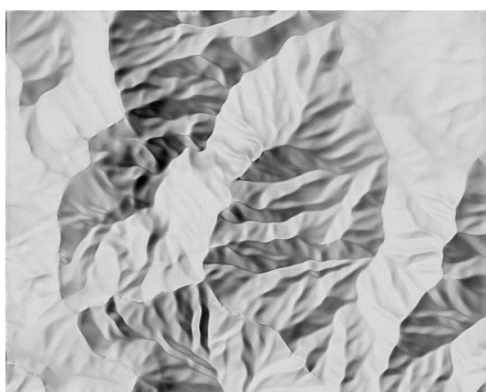
Τα διαγράμματα ροής και οι φόρμες εισαγωγής δεδομένων για όλα τα μοντέλα παρατίθενται στο Παράρτημα. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων ΦΠΚ παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.13.



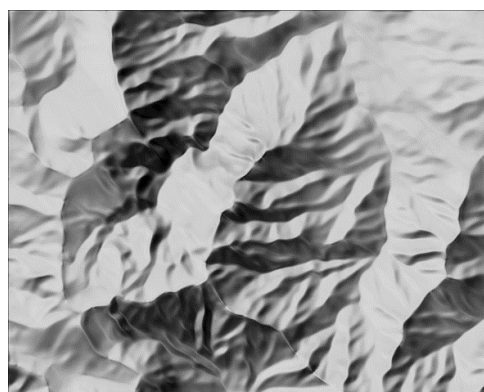
Καθολικά σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007)



Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark - MDOW (1992)



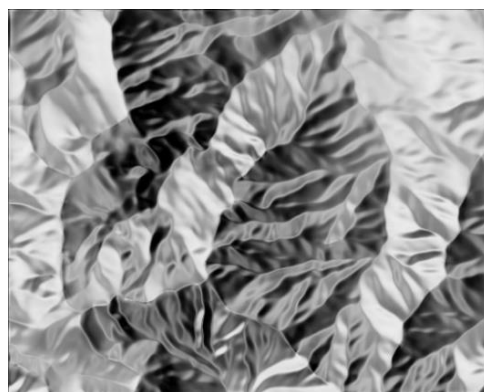
Πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007)



Εναλλακτική πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ με προσαύξηση 45°



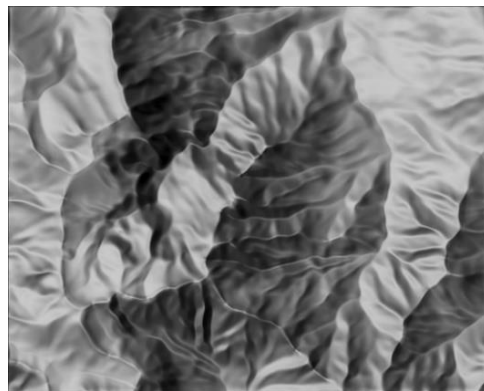
Εναλλακτική πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ με προσαύξηση 90°



Εναλλακτική πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ με διπλασιασμό αζιμουθίου



Εναλλακτική πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ με διπλασιασμό αζιμουθίου και μείωση 45°



Εναλλακτική ΦΠΚ με στάθμιση βάσει πρόσπτωσης φωτός

**Εικόνα 4.13:** Εφαρμογή μοντέλων ΦΠΚ στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΦΩΤΟΣΚΙΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΦΠΚ

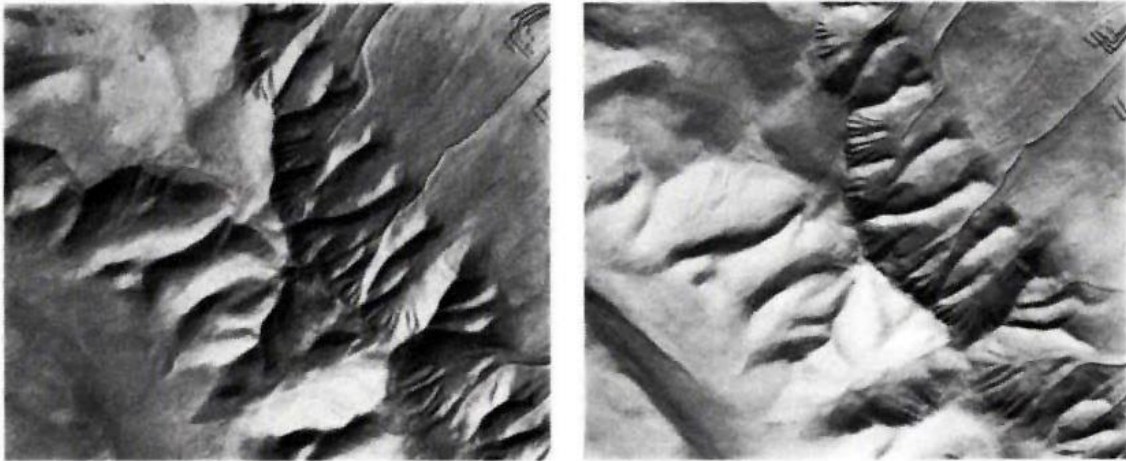
### 5.1 Κατεύθυνση φωτισμού για αποτελεσματική αντίληψη

Η κατεύθυνση φωτισμού σε μια εικόνα φωτοσκίασης τοποθετείται κατά κανόνα προς τα «επάνω» και «αριστερά», ήτοι, σε μία χαρτογραφική απεικόνιση όπου ο βορράς βρίσκεται προς τα επάνω, η κατεύθυνση φωτοσκίασης θα προέρχεται από τα βορειοδυτικά (Imhof, 1982). Ο βορειοδυτικός φωτισμός στις χαρτογραφικές εφαρμογές δεν καθορίζεται από τη γεωγραφία και την τοπογραφία, μάλιστα στην πραγματικότητα δεν συνάδει καν με το ρεαλιστικό χαρακτήρα της φωτοσκίασης, αφού στον φυσικό κόσμο οι ακτίνες του ηλίου δεν κατευθύνονται μόνιμα από τα βορειοδυτικά (Patterson, 2016).

Η προτίμηση αυτή πηγάζει ψυχολογικά από καθημερινές, βαθιά ριζωμένες συνήθειες του ανθρώπου στη γραφή και στη σχεδίαση, εδώ και αρκετούς αιώνες. Κατά τη γραφή, οι γραμμές των χαρακτήρων που παράγονται από τις αδύναμες, λεπτές ανοδικές κινήσεις του χεριού σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες ισχυρές, λόγω κεντρομόλου δύναμης, καθοδικές κινήσεις, δημιουργούν ένα μοτίβο αλληλεπίδρασης λεπτών και πυκνών πινελιών που δίνει την εντύπωση των τριών διαστάσεων, με φωτισμό από τα αριστερά. Άλλωστε, ο φωτισμός από τα αριστερά επιτρέπει στην ίδια τη γραφή να φαίνεται, κατά την εξέλιξή της από αριστερά προς τα δεξιά, με αποτέλεσμα συγγραφείς και σχεδιαστές να αναζητούν θέση για την επιφάνεια εργασίας τους όπου το φως (φυσικό ή τεχνητό) να προέρχεται από αριστερά, ή από επάνω και αριστερά. Ως ακούσια δε, αντίδραση των επαγγελματιών της γραφικής σχεδίασης στη συνήθη αυτή προέλευση του φωτός από αριστερά, η τοποθέτηση των σκιάσεων των αντικειμένων στο ελεύθερο γραφικό ή στο τεχνικό σχέδιο, γίνεται προς τη δεξιά πλευρά (Imhof, 1982).

Πέραν του βορειοδυτικού, ο δυτικός φωτισμός, καθώς και ο νοτιοδυτικός, οι οποίοι είναι και σε αρμονία με συνήθειες συνθήκες του ηλιακού φωτός στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, μπορούν να δώσουν λύσεις σε περιπτώσεις όπου κυριαρχούν εδαφικές εξάρσεις των οποίων οι κύριοι άξονες βρίσκονται σε διευθύνσεις Α-Δ ή ΒΑ-ΝΔ. Οι φωτισμοί όμως που προέρχονται από τις υπόλοιπες κατευθύνσεις είναι προβληματικοί, καθώς κατά τη θέαση και την ερμηνεία των μορφολογικών

σχηματισμών προκαλούν το φαινόμενο της αναστροφής του αναγλύφου (*relief reversal effect*), όπως άμεσα διακρίνεται στην Εικόνα 5.1. όπου δημιουργείται η οπτική ψευδαίσθηση πως οι κοίλες μορφές (όπως οι κοιλάδες) είναι κυρτές (όπως οι κορυφογραμμές) και το αντίστροφο.

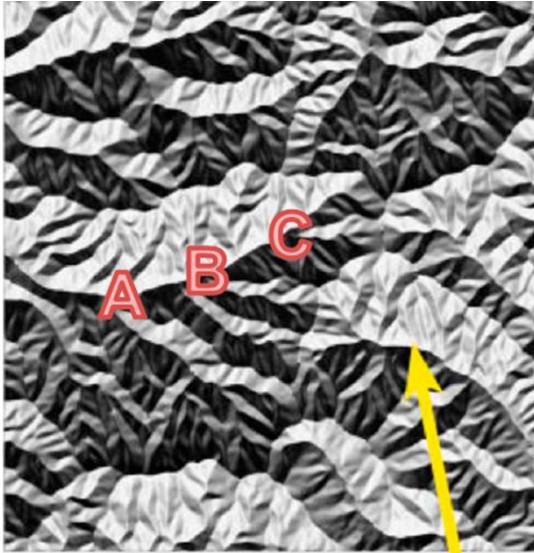


**Εικόνα 5.1:** Η εξάρτηση της απεικόνισης του αναγλύφου στη φωτοσκίαση από την κατεύθυνση φωτισμού και το φαινόμενο της αναστροφής του αναγλύφου (*relief reversal effect*): Αριστερά, ο βορειοδυτικός φωτισμός αναδεικνύει τις πλευρικές πτυχώσεις του κεντρικού σχηματισμού με ΝΔ-ΒΑ διεύθυνση ενώ δεξιά, ο νότιος φωτισμός τις απεικονίζει αντίστροφα – Περιοχή Uetliberg, κοντά στη Ζυρίχη, Ελβετία (Imhof, 1982).

Η αναστροφή του αναγλύφου είναι μάλιστα ιδιαίτερα προβληματική όταν χρησιμοποιείται φωτισμός από τα νοτιοανατολικά, ενώ εντείνεται ακόμη περισσότερο με όλους τους προβληματικούς φωτισμούς αν η φωτεινή δέσμη τύχει να είναι κάθετη στους άξονες των γραμμικών σχηματισμών, ή αν οι εδαφικές εξάρσεις βρίσκονται εν τω μέσω επίπεδων περιοχών (Patterson, 2016).

Με αφορμή το φαινόμενο της αναστροφής του αναγλύφου και λόγω μη επαρκούς εμπειρικής τεκμηρίωσης της συσχέτισής του με τη μεταβαλλόμενη κατεύθυνση του φωτός, σύγχρονες ερευνητικές εργασίες (Biland & Coltelkin, 2016, Coltekin & Biland, 2018, Coltekin et al., 2018) προχώρησαν στη συστηματική επισκόπηση των σχετικών μελετών αντιληπτικής ψυχολογίας και στη σύνδεσή τους με τη χαρτογραφία, ώστε να κατανοηθούν οι υποκείμενοι παράγοντες που μπορούν να προκαλούν αυτή την αντιληπτική πλάνη.

Οι Biland & Coltelkin (2016) αναφέρουν ότι κατά την παρατήρηση οπτικοποιήσεων του αναγλύφου του εδάφους, οι περισσότεροι χρήστες χαρτών αντιλαμβάνονται τις διαφορούμενες μορφές του αναγλύφου με προκατάληψη ως κυρτές (*convexity bias*), προτιμώντας έτσι να τις χαρακτηρίζουν ως βουνά, συχνότερα από ότι ως κοιλάδες



**Εικόνα 5.2:** Παράδειγμα της προκατάληψης στην αντίληψη μιας μορφής του αναγλύφου ως κυρτής έξαρσης (convexity bias): Ο σχηματισμός που σημαίνεται με τα γράμματα ABC είναι πρόσχωση, όμως παρ' όλη την πληροφόρηση για την προέλευση του φωτισμού από νότια, αυθόρμητα ερμηνεύεται ως έξαρση (Coltekin & Biland, 2018).

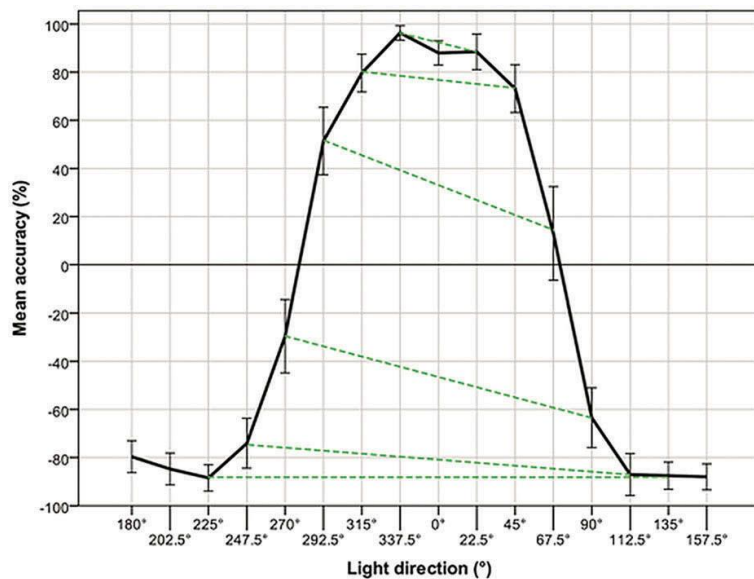
και καθιστώντας για το λόγο αυτό τις προσχώσεις περισσότερο ευαίσθητες ως προς την αναστροφή της ερμηνείας τους (Patterson, 2016). Η προκατάληψη αυτού του είδους μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι τόσο ισχυρή, ώστε ακόμη και όταν ο παρατηρητής ενημερώνεται για την προέλευση του φωτός και για την πραγματική ταυτότητα της απεικονιζόμενης μορφής του αναγλύφου, δεν είναι αντιληπτικά ικανός να παρακάμψει την αυθόρμητη, λανθασμένη ερμηνεία του (Εικόνα 5.2).

Ο πιο σημαντικός παράγοντας κατά την αναστροφή του αναγλύφου, ο οποίος καταδεικνύει και τον κυρίαρχο ρόλο της κατεύθυνσης φωτισμού στην ανάδειξη του

σχήματος σε μια εικόνα φωτοσκίασης, είναι η προκατάληψη ενός παρατηρητή ότι το φως προέρχεται από επάνω (*overhead illumination bias*), λόγω της οικείας προέλευσης της ηλιακής φωτεινής πηγής. Εξ' αιτίας αυτής της προκατάληψης, η πεποίθηση ότι η πηγή φωτός βρίσκεται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση επηρεάζει την εμπειρία της αντίληψης του χώρου, ενώ μια λανθασμένη πληροφόρηση της θέσης του φωτός μπορεί να προκαλέσει και λανθασμένη αντίληψη του σχήματος (Biland & Coltelkin, 2016).

Παράλληλα με την αξιοποίηση των αντιληπτικών μελετών για την ερμηνεία του χώρου, στις παραπάνω εργασίες διεξήχθησαν πειραματικές έρευνες όπου ελέγχθηκε η παρουσία ή η απουσία του φαινομένου της αναστροφής του φωτοσκιασμένου αναγλύφου, υπό συνθήκες φωτισμού από σταδιακά μεταβαλλόμενες κατευθύνσεις. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων καταλήγουν στη διατύπωση αναλυτικών, εν μέρει ανατρεπτικών συμπερασμάτων, με τα οποία ο ωφελιμότερος φωτισμός μετατοπίζεται προς περισσότερο βορεινή προέλευση. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφεται επιτυχής αντίληψη της μορφής του εδάφους σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%, όταν η πηγή της φωτοσκίασης βρίσκεται στο τόξο

μεταξύ ΒΔ και ΒΑ κατεύθυνσης (εύρος αζιμουθίου 315°-45°), ενώ με τον φωτισμό μεταξύ ΒΒΔ και Β κατεύθυνσης (εύρος αζιμουθίου 337,5°-0°) το ποσοστό επιτυχίας στην αντίληψη των ανάγλυφων μορφών κορυφώνεται, με μέγιστη τιμή το ποσοστό επιτυχίας 96,3% για φωτισμό από ΒΒΔ, δηλαδή στις 337,5° (Εικόνα 5.3).



**Εικόνα 5.3:** Ποσοστά επιτυχίας ή αποτυχίας στην παρατήρηση φωτοσκιάσεων όλων των κατευθύνσεων φωτισμού. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει τη γωνία της φωτεινής πηγής. Οι πράσινες (διακεκομμένες) γραμμές συνδέουν τις αντίστοιχες δυτικές και ανατολικές κατευθύνσεις φωτός, με την ίδια γωνιακή απόκλιση από τον βορρά.

Όσον αφορά την κατακόρυφη γωνία της κατεύθυνσης του φωτός (προσδιοριζόμενη μέσω της ζενίθιας γωνίας ή μέσω της γωνίας κλίσης), αυτή θα πρέπει να προσαρμόζεται στη γενικότερη κατάσταση της μορφολογίας του εδάφους. Σε περιπτώσεις σχετικά επίπεδων εδαφών με μικρές εξάρσεις ήπιων κλίσεων, θα χρειαστεί φωτισμός από χαμηλά (πχ. με γωνία κλίσης μικρότερη των 20°) προκειμένου να αναπαράγονται οι τρισδιάστατες μορφές των εξάρσεων, ενώ σε εδάφη με απότομες πλαγιές, οι φωτισμοί με μικρές γωνίες κλίσης θα δημιουργούσαν σκούρους τόνους σε μεγάλα τμήματα της γήινης επιφάνειας που θα απέκρυπταν τη λεπτομέρεια του αναγλύφου, γι' αυτό συστήνονται γωνίες κλίσης άνω των 45° (Imhof, 1982).

## 5.2 Αναλυτική προσέγγιση της βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού

### 5.2.1 Θεωρητική αποτίμηση

Η υιοθέτηση μίας συγκεκριμένης κατεύθυνσης φωτισμού που θα εφαρμόζεται στη φωτοσκίαση μιας τυχαίας περιοχής, είναι ευνόητο πως δεν μπορεί δεδομένα να αποτελεί πάντα την βέλτιστη επιλογή, καθώς κάτι τέτοιο θα εξαρτάται από την εκάστοτε σύνθεση του αναγλύφου. Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω (βλ. παρ. 5.1)

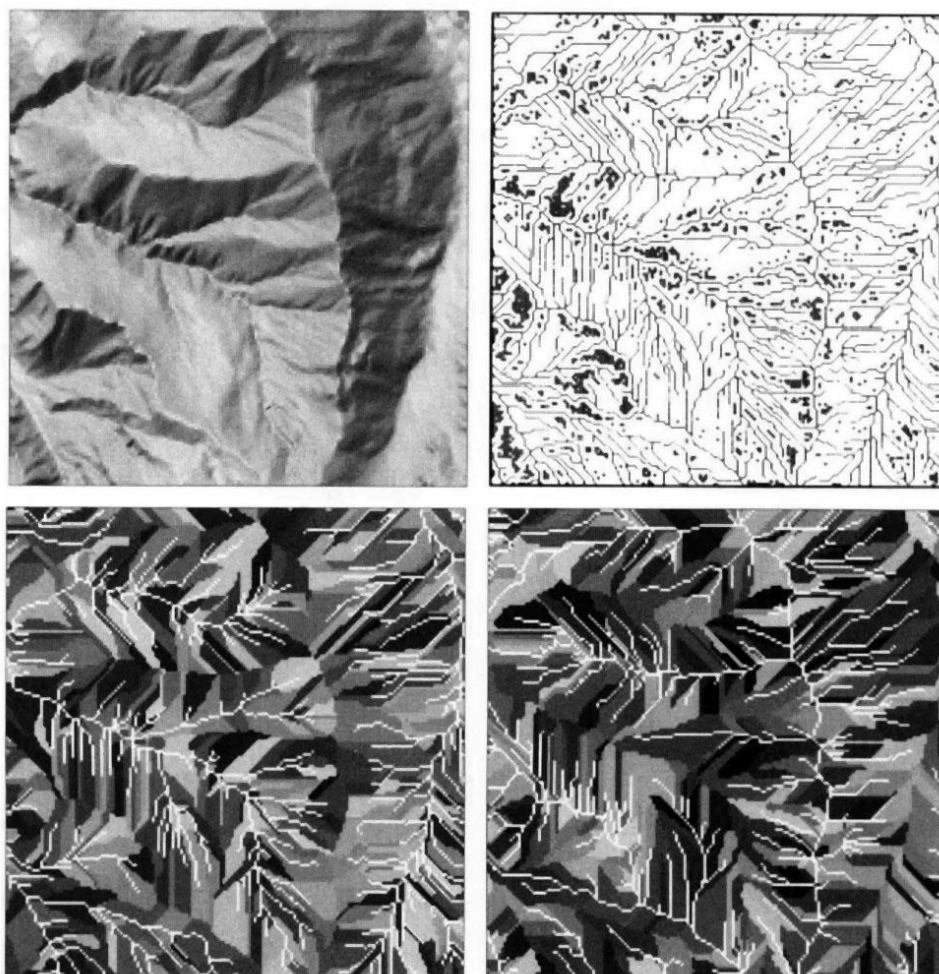
περί της αποτελεσματικής αντιληπτικά κατεύθυνσης φωτισμού στη φωτοσκίαση, συνοψίζονται στην οριοθέτηση ενός ευρέως φάσματος κατευθύνσεων από τα δυτικά έως τα βόρεια, εξειδικεύοντας περαιτέρω την επιλογή της βέλτιστης κατεύθυνσης σε συνάρτηση με την αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων του τοπογραφικού αναγλύφου της εκάστοτε αναπαριστώμενης περιοχής.

Παλιότερα, κατά τη χειροκίνητη σχεδίαση της φωτοσκίασης ο χαρτογράφος βασιζόταν στο υπόβαθρο των ισοϋψών καμπυλών και έπρεπε προσεκτικά να εκτελεί μία συνεχή διαδικασία απλουστευτικής γενίκευσης των γραμμών, προκειμένου να επικεντρώνεται στην απόδοση των κύριων εξάρσεων που δεσπόζουν στη χαρτογραφούμενη περιοχή. Η επίτευξη του στόχου αυτού, κατά τον Imhof (1982) διέπεται από την τήρηση των εξής βασικών αρχών:

- α) ιχνογράφηση των ακμών του σκελετού του αναγλύφου (δηλ. των κορυφογραμμών και των μισογαγγειών γραμμών),
- β) λεπτομερή διερεύνηση των μορφών του ανάγλυφου στην περιοχή,
- γ) καθορισμό της κύριας κατεύθυνσης φωτισμού, η οποία πρέπει να τέμνει διαγωνίως, υπό οξεία γωνία την επικρατέστερη διεύθυνση των αξόνων των κυρίαρχων μορφών του εδάφους και να κυμαίνεται εντός του εύρους των ορθών αντιληπτικά κατευθύνσεων (δηλαδή από δυτικά έως βόρεια).

Οι ίδιες αυτές αρχές διέπουν και τις προσεγγίσεις της σύγχρονης, αναλυτικής χαρτογραφίας στο καθοριστικό ζήτημα της αναγνώρισης των βασικών μορφών του αναγλύφου, ή αλλιώς «γεωμορφών», προκειμένου να επιλεγεί η κατεύθυνση φωτισμού που θα ευνοεί την απεικόνισή τους κατά το βέλτιστο τρόπο. Ένας ευρύς ορισμός της έννοιας της «γεωμορφής» (*landform*) είναι «κάθε φυσικό χαρακτηριστικό της γήινης επιφάνειας που έχει ένα αναγνωρίσιμο σχήμα», ενώ κατά μία πιο γεωμετρική έννοια αποτελεί «υποδιαίρεση της επιφάνειας που, σε δεδομένη κλίμακα ή χωρική ανάλυση, οριοθετείται από τοπογραφικές ασυνέχειες και έχει ομοιόμορφη μορφομετρία» (Guilbert & Moulin, 2017).

Η αναγνώριση των δομικών γραμμών του εδάφους (*structure recognition*) και μέσω αυτών η οριοθέτηση, αλλά και η ταυτοποίηση των γεωμορφών που περιγράφουν (Εικόνα 5.4), ερευνάται εκτεταμένα στα πλαίσια του ερευνητικού πεδίου της χαρτογραφικής γενίκευσης, καθώς αποτελεί τη βάση για την επιλογή και εφαρμογή των κατάλληλων τελεστών γενίκευσης της επιφάνειας του αναγλύφου (Weibel, 1992). Αποτελεί δε, μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής για τη γενίκευση του



**Εικόνα 5.4:** Αναγνώριση δομικών γραμμών για γενίκευση του εδάφους: Επάνω αριστερά, φωτοσκίαση του ΨΜΥ, επάνω δεξιά, οι εξαγόμενες δομικές γραμμές, κάτω αριστερά, σχηματισμός κοιλάδων (ως λεκάνες απορροής), κάτω δεξιά: σχηματισμός λόφων (Weibel, 1992).

εδάφους (*terrain generalization*), με μεθόδους που δεν αρκούνται στη απλή θεώρησή του ως επιφανειακού χωρικού φαινομένου, παρά το εκλαμβάνουν ως μία σύνθεση αντικειμένων, υπό την έννοια των γεωμορφών (Guilbert et al., 2014).

Κάτω από αυτή την οπτική, η γενίκευση της επιφάνειας του εδάφους, πέρα από πρόβλημα βελτιστοποίησης για δεδομένης κλίμακας ακρίβεια, αντιμετωπίζεται και από χαρτογραφική σκοπιά επειδή η απεικόνιση του εδάφους χρήζει παρεμβάσεων είτε ως προς το σκοπό του χάρτη, ή ως προς τη βελτίωση της αισθητικής του χάρτη, καθώς και ως προς τυχόν ασυμβατότητες με άλλα χωρικά στοιχεία, ανάγκες για τις οποίες χρειάζεται η ταυτοποίηση και η ταξινόμηση των γεωμορφών (*landform classification*). Η επίλυση του πρώτου προβλήματος αναφέρεται ως γενίκευση μοντέλου (*model generalization*) και παράγει ένα ψηφιακό μοντέλο του τοπίου (*Digital Landscape Model, DLM*) με την εφαρμογή τεχνικών φιλτραρίσματος, ενώ η

επίλυση του δεύτερου αναφέρεται ως *χαρτογραφική γενίκευση (cartographic generalization)* και παράγει ένα *ψηφιακό χαρτογραφικό μοντέλο (Digital Cartographic Model, DCM)* με την εφαρμογή τελεστών που τροποποιούν και αναδεικνύουν συγκεκριμένα στοιχεία του εδάφους, αναλόγως της μεθόδου αναπαράστασης (Guilbert et al., 2014).

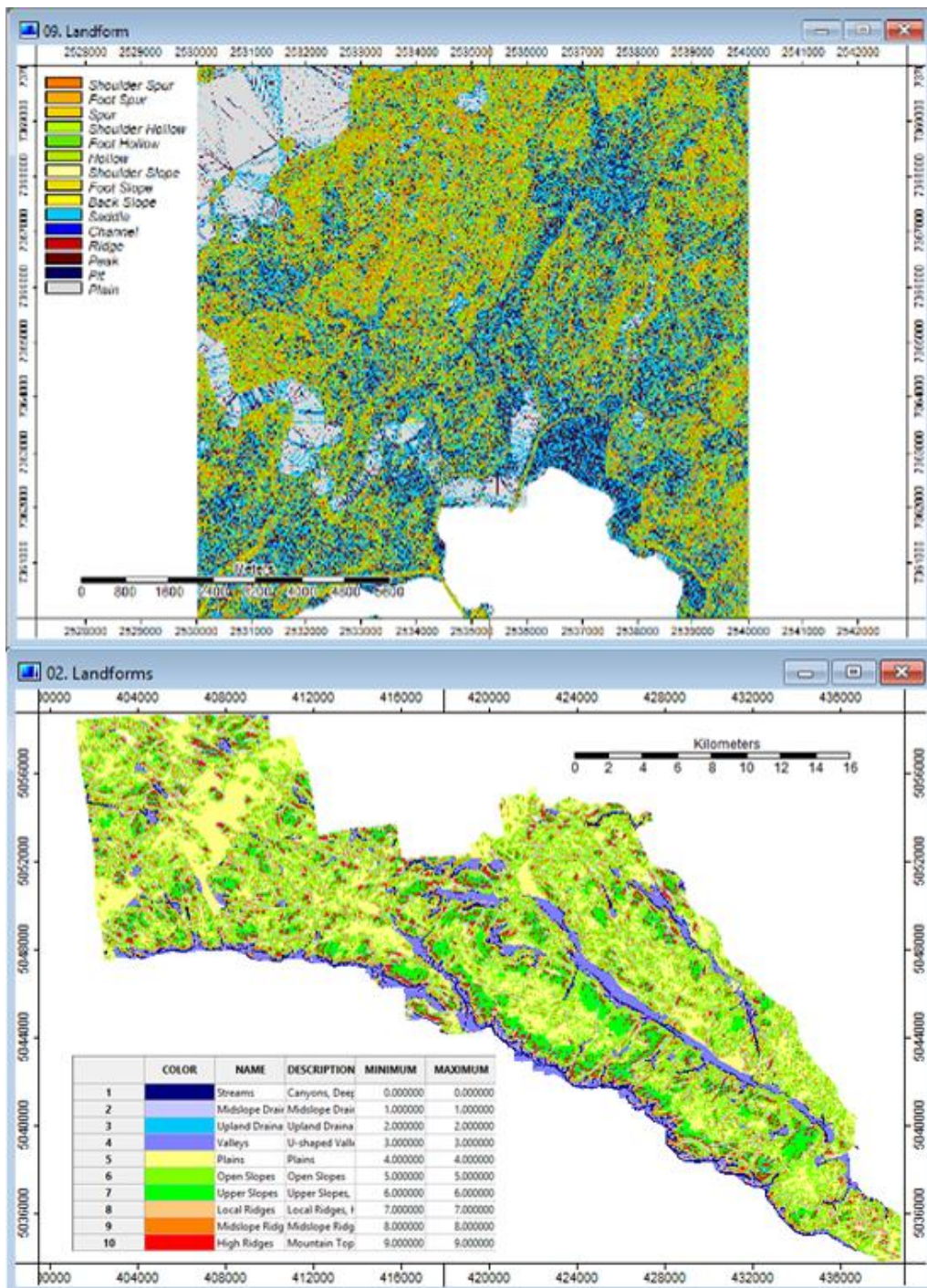
Ο προσδιορισμός των γεωμορφών του αναγλύφου ερευνάται ακόμη στο πεδίο των διαδικασιών *ανάλυσης του εδάφους (Terrain Analysis)*, μέσω των οποίων επιδιώκεται η ποιοτική και η ποσοτική περιγραφή τους μέσα από ένα φάσμα φυσικών και οπτικών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά διαφοροποιούν τις γεωμορφές ως προς την κλίμακα (μεγάλες πεδιάδες και οροσειρές, έως μεμονωμένες ρεματιές, ρήγματα και κοιλάδες) και ως προς την προέλευση (ανθρωπογενείς, είτε εκ φυσικής γένεσης), με την τελική ταξινόμησή τους να γίνεται βάσει προτύπων, με απόδοση του κατάλληλου χαρακτηρισμού (Schillaci et al. 2015). Δεδομένης μάλιστα της υποκειμενικότητας που διέπει τις απόπειρες ορισμού τους, απαιτείται η ύπαρξη ενός οντολογικού πλαισίου που θα μετασχηματίζει τους αρχικούς, ασαφείς ορισμούς σε υλοποιήσιμες δομές δεδομένων (Guilbert & Moulin, 2017). Η έρευνα στην επιστημονική περιοχή της Φυσικής Γεωγραφίας έχει παράξει τεχνικές για την τοπογραφική μελέτη και την οπτικοποίηση των γεωμορφών για τις ανάγκες πλειάδας εφαρμογών, όπως η μελέτη υδρολογικού δικτύου, η οριοθέτηση λεκανών απορροής, η αξιολόγηση της τραχύτητας της γήινης επιφάνειας, η πρόβλεψη της χωρικής κατανομής της διάβρωσης του εδάφους, κ.ά., ενώ εξελιγμένοι αλγόριθμοι διατίθενται σε περιβάλλοντα ελεύθερου λογισμικού, με απόλυτα φιλικές διεπαφές αλληλεπίδρασης (Εικόνα 5.5).

Η πιο διαδεδομένη ερευνητική εργασία γενίκευσης του εδάφους με σκοπό την ανάπτυξη εφαρμογών φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, έχει υλοποιηθεί με τη μορφή της αυτόνομης εφαρμογής ελεύθερου λογισμικού *Terrain Sculptor*, έχει προταθεί από την Leonowicz κ.ά. (2010) και βασίζεται σε μεθόδους φιλτραρίσματος του ΨΜΥ (βλ. και παρ. 1.5, 3.1.2).

Χρήζει επίσης αναφοράς η εργασία των Xiuguang Zhou και Egon Dorrer (1995), στην οποία υλοποιείται ένας *μετασχηματισμός κυματιδίων (wavelet transform)* της επιφάνειας ενός ΨΜΥ για την αναδόμησή της σε πολλαπλά επίπεδα χωρικής ανάλυσης της πληροφορίας του εδάφους. Με την έκφραση των συντελεστών μερικών κλίσεων βάσει του μετασχηματισμού, είναι εφικτή η ανίχνευση ακμών του



εδάφους, που σε επίπεδο χονδροειδούς ανάλυσης μπορεί να εντοπίσει τις ακμές του περιγράμματος μίας μορφής αναγλύφου και μέσω αυτών να προσδιορισθεί η κύρια διεύθυνση στην έκταση της γεωμορφής (*RMD, regional main direction*).

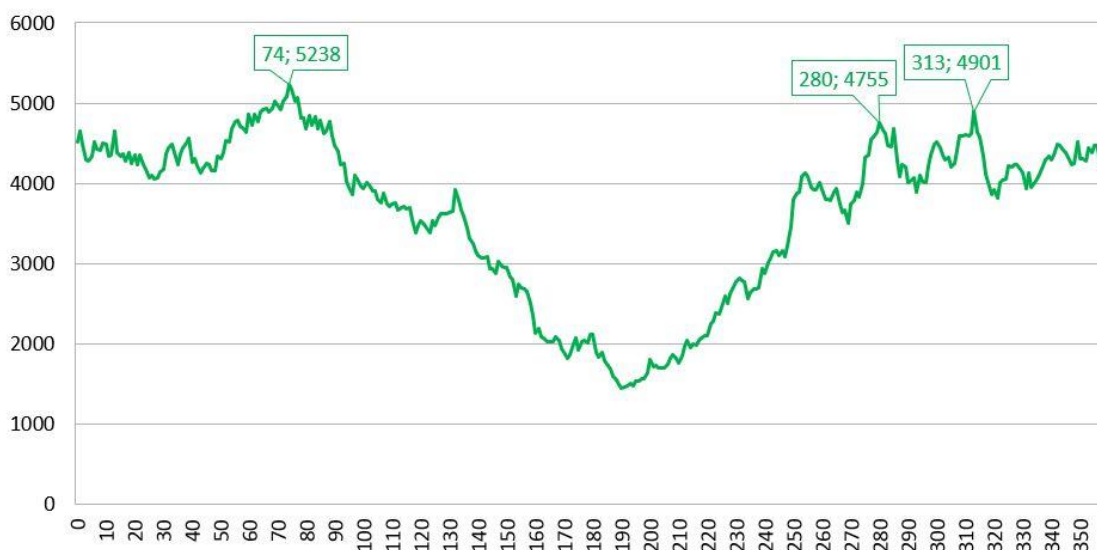


**Εικόνα 5.5:** Εφαρμογές των αλγορίθμων ταξινόμησης γεωμορφών *Fuzzy Landform Element Classification* (επάνω) και *TPI (Topographic Position Index) Based Landform Classification* (κάτω) στο περιβάλλον του ελεύθερου λογισμικού GIS, SAGA ([dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring\\_a\\_subset\\_of\\_SAGA\\_Terrain\\_Analysis\\_tools](http://dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring_a_subset_of_SAGA_Terrain_Analysis_tools))



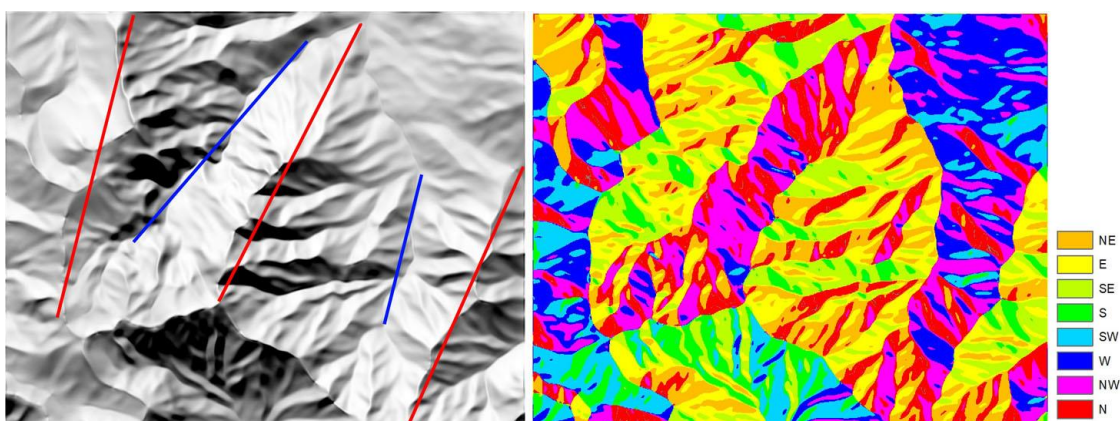
### 5.2.2 Προσδιορισμός βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού σε περιοχή μελέτης

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας, διερευνήθηκε η βέλτιστη κατεύθυνση φωτισμού για την περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», δίπλα στον ομώνυμο οικισμό, μεταξύ των δήμων Καλαβρύτων και Ακράτας, στην Πελοπόννησο (βλ. παρ. 3.1.1). Στο διάγραμμα συχνοτήτων των γωνιών αζιμουθίου της περιοχής, οι υψηλότερες τιμές συχνοτήτων καταγράφονται προς τα ΒΔ, στις 313° και στις 280°, καθώς και προς Α-ΒΑ, στις 74° (Εικόνα 5.6).



**Εικόνα 5.6:** Διάγραμμα συχνοτήτων των αζιμουθίων στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα».

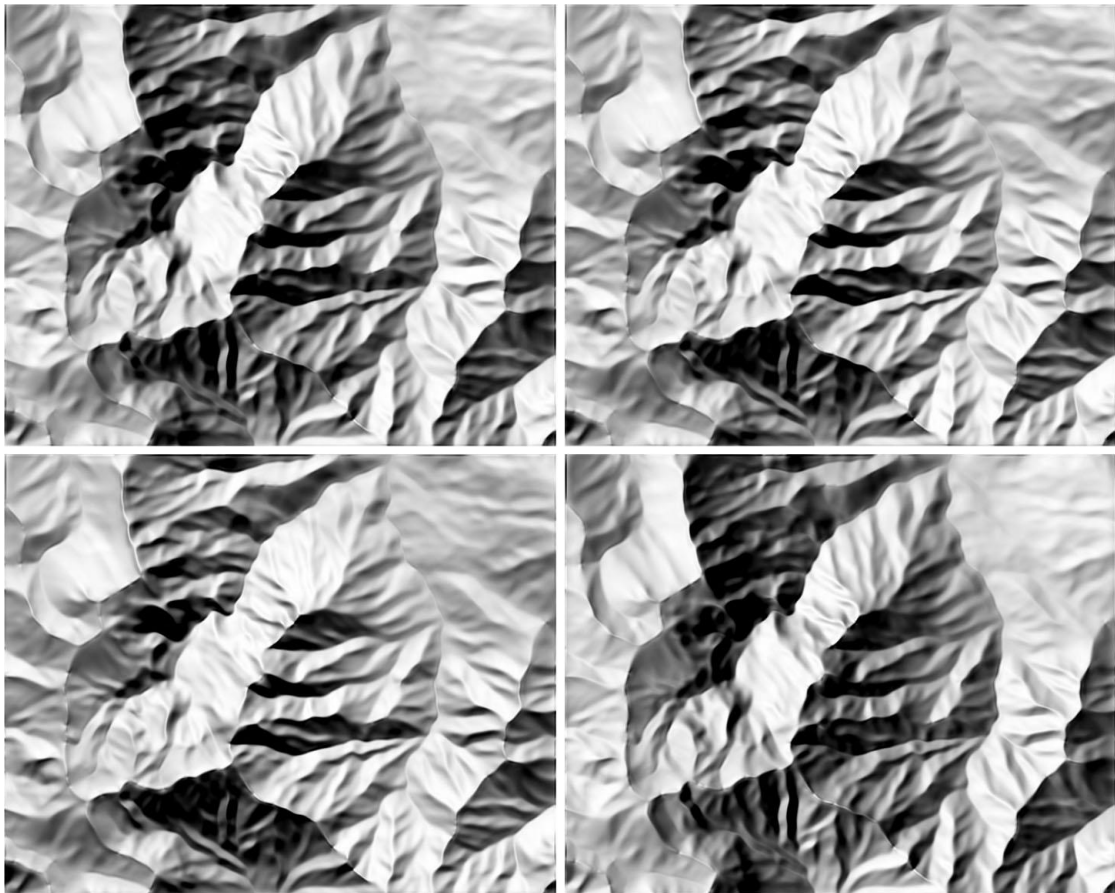
Παρατηρώντας τη συνήθη φωτισμό της περιοχής από ΒΔ και παράλληλα τις ζώνες των αζιμουθίων προσανατολισμού (Εικόνα 5.7), γίνεται αντιληπτό ότι οι επικρατούντες ΒΔ προσανατολισμοί του εδάφους προέρχονται από τις δυτικές



**Εικόνα 5.7:** Συνήθης φωτισμός από ΒΔ, και ζώνες αζιμουθίου προσανατολισμού όπου εντοπίζονται οι βασικές δομικές γραμμές του αναγλύφου (κορυφογραμμές και μισγάγγειες), στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα».

πλαγιές των τριών κυρίαρχων εξάρσεων και οι ABA προσανατολισμοί από τις ανατολικές πλαγιές περισσότερων αλλά μικρότερων, μεμονωμένων τμημάτων της επιφάνειας.

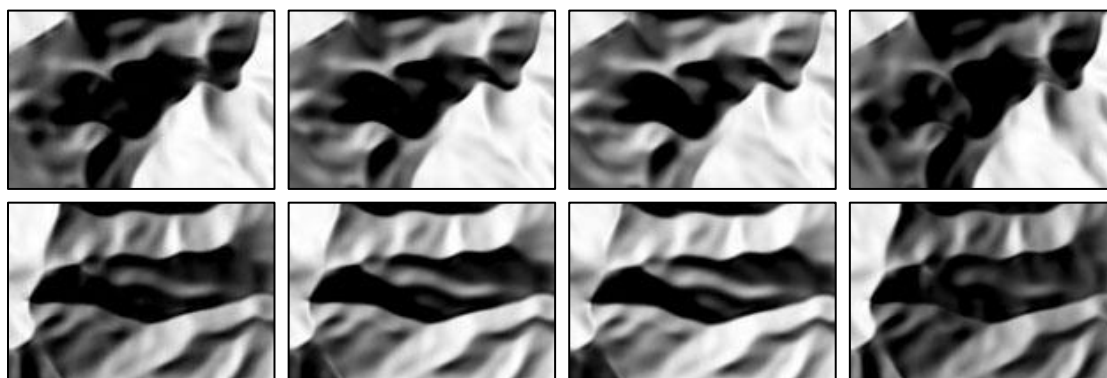
Οι κεντρικοί άξονες των βασικών εξάρσεων και προσχώσεων της περιοχής (κορυφογραμμές και μισγάγγειες) προσανατολίζονται με αζιμούθια  $15^{\circ}$ - $45^{\circ}$ . Ως προτεινόμενη, βέλτιστη κατεύθυνση φωτισμού βάσει των κύριων προσανατολισμών της συγκεκριμένης περιοχής, λαμβάνεται η υπό οξεία γωνία  $45^{\circ}$  από το μέσο όρο του παραπάνω εύρους αζιμουθίων των βασικών δομικών γραμμών (ήτοι  $30^{\circ}$ ) και κυμαίνεται εντός του ορθού αντιληπτικά εύρους προσανατολισμών (δυτικά ως βόρεια), ήτοι η κατεύθυνση με αζιμούθιο  $345^{\circ}$ . Επιπρόσθετα, αν και δεν εντοπίζονται οπτικά κάποιες διακεκριμένες, συμβατές γεωμορφές, για τις πλαγιές προς ABA (στο διάγραμμα συχνοτήτων εκπροσωπούνται με την υψηλότερη τιμή  $74^{\circ}$ ) που αντιστοιχούν σε κάθετες διευθύνσεις σχηματισμών, δηλαδή BBD-NNA,



**Εικόνα 5.8:** Φωτοσκίαση βέλτιστης κατεύθυνσης: Επάνω αριστερά,  $315^{\circ}$  (συνήθης ΒΔ κατεύθυνση), επάνω δεξιά,  $337,5^{\circ}$  (βέλτιστη κατεύθυνση κατά Biland & Coltekin), κάτω αριστερά,  $345^{\circ}$  και κάτω δεξιά,  $300^{\circ}$  (προτεινόμενες βέλτιστες κατευθύνσεις βάσει των προσανατολισμών του εδάφους).

λαμβάνεται ως πιθανή βέλτιστη κατεύθυνση με αντίστοιχο τρόπο (δηλαδή υπό οξεία γωνία  $45^\circ$  και εντός του εύρους προσανατολισμών από δυτικά ως βόρεια), η γωνία αζιμουθίου των  $300^\circ$ .

Στην εικόνα 5.8, απεικονίζονται συγκριτικά οι φωτοσκιάσεις υπό γωνίας αζιμουθίου των  $315^\circ$  (τυπική βέλτιστη, ΒΔ κατεύθυνση), των  $337,5^\circ$  (βέλτιστη κατεύθυνση κατά τους Julien Biland και Arzu Coltekin) και των  $345^\circ$  και  $300^\circ$  (προτεινόμενων βέλτιστων κατευθύνσεων βάσει των κύριων προσανατολισμών της συγκεκριμένης περιοχής). Η συγκριτική επισκόπηση των παραπάνω τεσσάρων εικόνων φωτοσκίασης σε λεπτομέρειες του αναγλύφου (Εικόνα 5.9), υποδεικνύει ως ωφελιμότερες επιλογές φωτισμού την προτεινόμενη κατά Biland και Coltekin από Β-ΒΔ, με αζιμούθιο  $337,5^\circ$  και την προτεινόμενη βάσει των προσανατολισμών των κυρίαρχων μορφών του εδάφους, επίσης από Β-ΒΔ με αζιμούθιο  $345^\circ$ , με ελαφρύ προβάδισμα της δεύτερης.

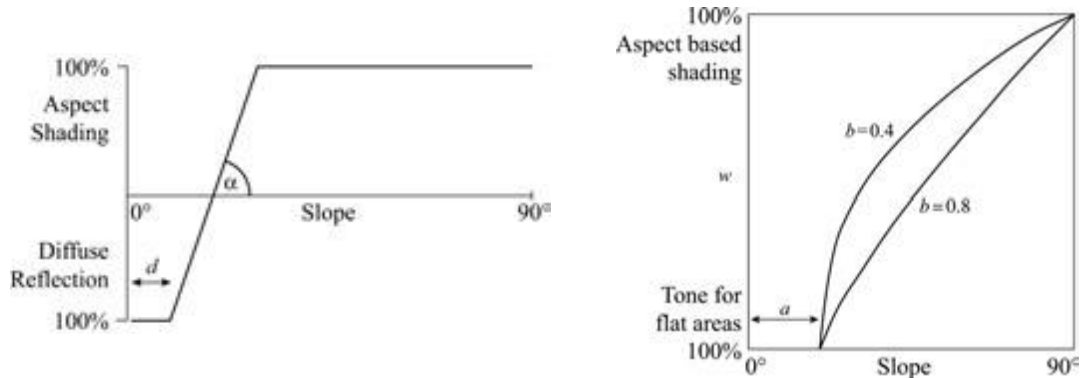


**Εικόνα 5.9:** Λεπτομέρειες φωτοσκίασης βέλτιστης κατεύθυνσης: 1<sup>η</sup> στήλη, από  $315^\circ$  (συνήθης ΒΔ κατεύθυνση), 2<sup>η</sup> στήλη, από  $337,5^\circ$  (βέλτιστη κατεύθυνση κατά Biland & Coltekin), 3<sup>η</sup> στήλη, από  $345^\circ$  και 4<sup>η</sup> στήλη, από  $300^\circ$  (προτεινόμενες βέλτιστες κατευθύνσεις βάσει των προσανατολισμών του εδάφους).

### 5.3 Σταθμισμένος συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής και ΦΠΚ

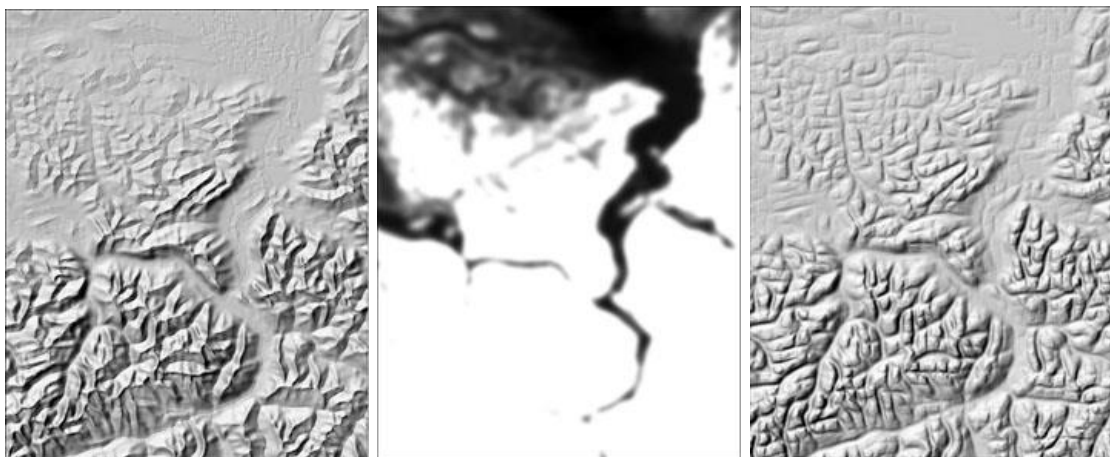
Ο Jenny (2001) εφάρμοσε αναλυτικούς, σταθμισμένους ως προς την κλίση του εδάφους συνδυασμούς μεταξύ διαφορετικών μεθόδων φωτοσκίασης (Εικόνα 5.10), για να αντιμετωπίσει με ολοκληρωμένο τρόπο τις εναλλαγές της πολυπλοκότητας του αναγλύφου (η οποία συνήθως συναρτάται από το υψόμετρο). Πρότεινε την ανάμιξη φωτοσκίασης βάσει μόνο του προσανατολισμού του εδάφους (δηλαδή αγνοώντας την κλίση) για ορεινές περιοχές, οι οποίες εμφανίζουν έντονο, πυκνό ανάγλυφο, με συνεχείς διαφοροποιήσεις που συχνά αποφέρουν ανεπιθύμητες

λεπτομέρειες στην απεικόνισή τους, με φωτοσκίαση πλάγιου, διάχυτου φωτισμού για την ακριβέστερη απόδοση των ήπιων ανωμαλιών στις πεδινές περιοχές ή με ενιαίους, φωτεινούς γκρίζους τόνους για περιοχές επιπεδότητας που περιέχουν μικρές, τυχαίες αλλαγές υψομέτρου που αποσυντονίζουν τον χρήστη.



**Εικόνα 5.10:** Διαγράμματα για τον σταθμισμένο συνδυασμό φωτοσκίασης βάσει μόνο του προσανατολισμού στις ορεινές περιοχές με φωτοσκίαση πλάγιου διάχυτου φωτισμού (αριστερά) στις πεδινές και ενιαίου, συνεχούς τόνου στις επίπεδες περιοχές (Jenny, 2001).

Επίσης, οι Leonowicz et al. (2010) χρησιμοποίησαν σταθμισμένο συνδυασμό για την ανάμιξη διαφορετικών γενικεύσεων του ΨΜΥ, οι οποίες έγιναν ξεχωριστά για τις ορεινές και τις πεδινές περιοχές, με γνώμονα όμως την τελική εφαρμογή τους στην παραγωγή φωτοσκίασης και σταθμίσθηκαν βάσει της πληροφορίας της κλίσης, κατάλληλα φιλτραρισμένης ώστε να απαλειφθούν οι μικρές λεπτομέρειες και να δημιουργηθούν συμπαγή τμήματα βουνών και πεδιάδων (Εικόνα 5.11).



**Εικόνα 5.11:** Φωτοσκιάσεις ορεινών περιοχών (αριστερά) και πεδινών περιοχών (δεξιά), οι οποίες σταθμίζονται βάσει της εκάστοτε τοπικής κλίσης (κέντρο) (Leonowicz et al., 2010).

Καθώς το οπτικό αποτέλεσμα της εφαρμογής μοντέλων ΦΠΚ για την αναπαράσταση του τοπογραφικού αναγλύφου, να μεν διατηρεί σε αποδεκτά επίπεδα την οπτική του πολυπλοκότητα, εντούτοις χρήζει βελτίωσης ως προς την υπερβολική ενίσχυση

της συνολικής λαμπρότητας, η οποία υποβαθμίζει την αντίθεση των τόνων -κρίσιμη οπτική ένδειξη της φωτοσκίασης-, η δυνατότητα στάθμισής του με την ανάμιξη μίας φωτοσκίασης μίας πηγής μπορεί να δώσει τη λύση. Έναν τέτοιο συνδυασμό προέκριναν άλλωστε και οι Lukas & Weibel (1995), προκειμένου να συγκεραστούν η έμφαση των μεγαλύτερων σχηματισμών από τον κύριο φωτισμό μίας φωτεινής πηγής και η ανάδειξη των λεπτότερων δομών από τον πολλαπλό φωτισμό.

Στις εργασίες των Loissios et al. (2007) και Τζελέπης κ.ά. (2008), όπου η φωτοσκίαση μιας πηγής,  $H_{Init}$  αναμιγνύεται με προσαρμοσμένες εκδοχές ΦΠΚ,  $H_{MD}$ , μέσω ενός ρυθμιστικού συντελεστή βάρους,  $W_{MD}$ , η τελική εικόνα φωτοσκίασης,  $H_{Final}$ , διαμορφώνεται με την παρακάτω σχέση:

$$H_{Final} = W_{MD} \cdot H_{MD} + (1 - W_{MD}) \cdot H_{Init}$$

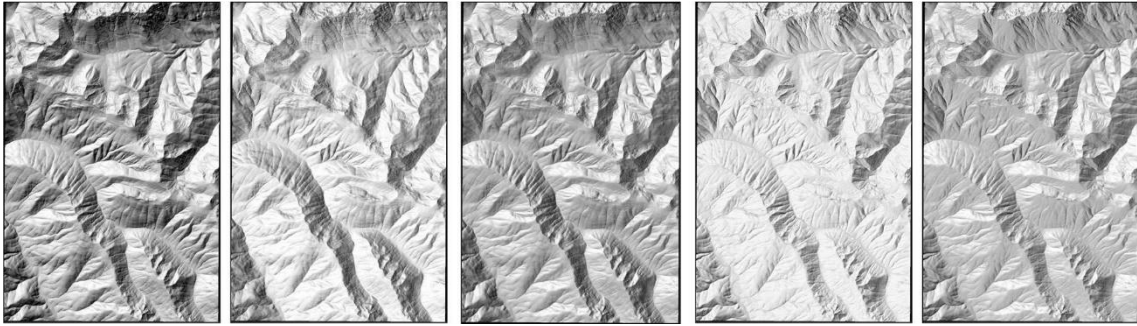
Στην απλούστερη μορφή του, ο συντελεστής βάρους,  $W_{MD}$  (με τιμές 0-1) θα μπορούσε να έχει μία σταθερή τιμή (πχ. 0.3), ώστε οι τόνοι των εικόνων της ΦΠΚ και της φωτοσκίασης μίας πηγής να αναμιγνύονται αναλόγως (πχ. με αναλογία 30/70). Σε μια πιο εύστοχη προσέγγιση, ο συντελεστής βάρους μπορεί να είναι μεταβαλλόμενος και να έχει τη μορφή πίνακα, ίδιων διαστάσεων με τις αναμιγνυόμενες εικόνες φωτοσκίασης όπου υπολογίζεται βάσει της τοπικής γωνίας πρόσπτωσης του φωτισμού ως προς την εκάστοτε τοπική κάθετο του εδάφους,  $i$  (που επίσης θα έχει τη μορφή πίνακα):

$$W_{MD} = \sin^2 i$$

Βάσει της σχέσης αυτής, όσο περισσότερο πλησιάζει η γωνία πρόσπτωσης την τιμή των 90° (κάτι που συμβαίνει στις περιοχές που αποκλίνουν από την πηγή φωτισμού, οπότε δέχονται λίγο ή και καθόλου φως), τόσο περισσότερο κυριαρχεί η ΦΠΚ στην τελική εικόνα. Ο πίνακας των γωνιών πρόσπτωσης υπολογίζεται με τα δεδομένα των γωνιών τοπικού προσανατολισμού (της ζενίθιας γωνίας,  $\theta$ , και της γωνίας αζιμουθίου,  $\varphi$  που υπολογίζονται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους) και με τα αντίστοιχα στοιχεία προσανατολισμού της κυρίαρχης κατεύθυνσης φωτισμού ( $\varphi_0$ ,  $\theta_0$ ), αντιστρέφοντας τη σχέση έμμεσου υπολογισμού μέσω του συνημιτόνου της προσπίπτουσας γωνίας του Horn (1982), ως εξής:

$$i = \arccos [\cos(\theta) \cdot \cos(\theta_0) + \sin(\theta) \cdot \sin(\theta_0) \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)].$$

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των συνδυασμών του Loissios κ.ά. (2007) και Τζελέπης κ.ά. (2008) παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.11.



**Εικόνα 5.12:** Συγκριτική επισκόπηση συνδυασμών ΦΠΚ των Loissios et al. Από αριστερά προς δεξιά: φωτοσκίαση μίας πηγής, καθολικά σταθμισμένη ΦΠΚ, συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με καθολικά σταθμισμένης ΦΠΚ, πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ και συνδυασμός φωτοσκίασης μίας πηγής με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ - Ορεινή περιοχή δυτικά του Seattle, στην Πολιτεία Washington των ΗΠΑ (Loissios et al., 2007).

#### 5.4 Σταθμισμένος συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης με μοντέλα ΦΠΚ

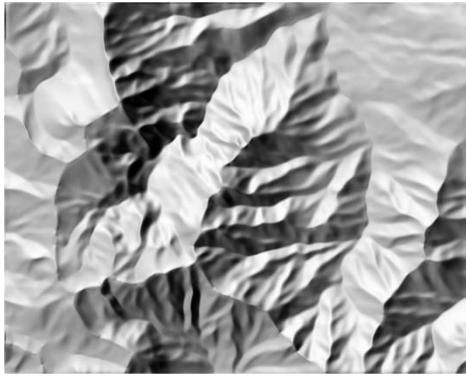
Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση ανάμιξης, είναι δυνατός ο συνδυασμός της βέλτιστης φωτοσκίασης μιας περιοχής, η οποία θα αποδίδει όσο το δυνατόν πιο περιεκτικά το ανάγλυφο και θα δεσπάζει στο οπτικό αποτέλεσμα -ώστε να διασφαλίζεται ο οικείος, διαισθητικός χαρακτήρας της μεθόδου της φωτοσκίασης- με εικόνα ΦΠΚ, η οποία θα βελτιώνει την απεικόνιση της πληροφορίας. Ιδίως στις σκούρες περιοχές της φωτοσκίασης μίας πηγής.



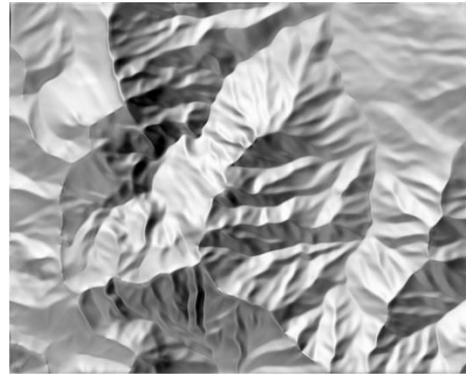
**Εικόνα 5.13:** Συνδυασμός σταθερής στάθμησης μεταξύ βέλτιστης φωτοσκίασης ( $345^\circ$ ) με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark, σε αναλογία 70-30, στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» με ΨΜΥ ισαποχής 4μ. (κλίμακα 1:75.000).

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, η βέλτιστη φωτοσκίαση που επελέγη για την περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» με φωτισμό υπό αζιμουθίου  $345^\circ$  (βλ. παρ. 5.2), συνδυάζεται με υφιστάμενα και νέα, προτεινόμενα μοντέλα ΦΠΚ (βλ. παρ.4.4). Στην Εικόνα 5.12 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα μίας σταθερής στάθμησης με το πρωτότυπο μοντέλο του Mark (ανάμιξη ΦΠΚ σε ποσοστό 30%) και στην Εικόνα 5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συνδυασμών μεταβλητής στάθμησης με όλα τα μοντέλα ΦΠΚ.

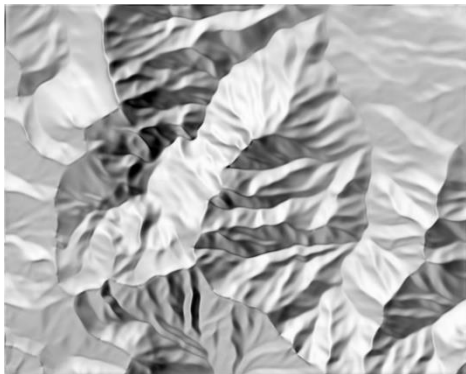




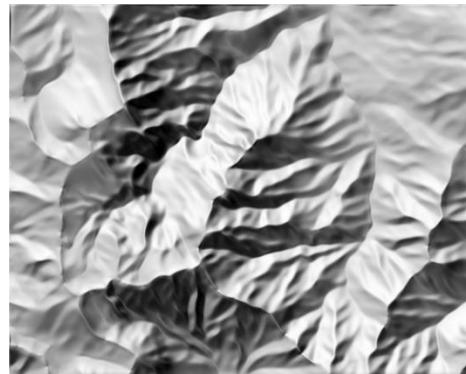
Βέλτιστη φωτοσκίαση με καθολικά σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007)



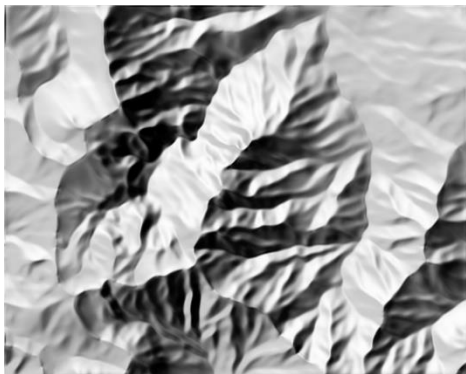
Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992)



Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007)



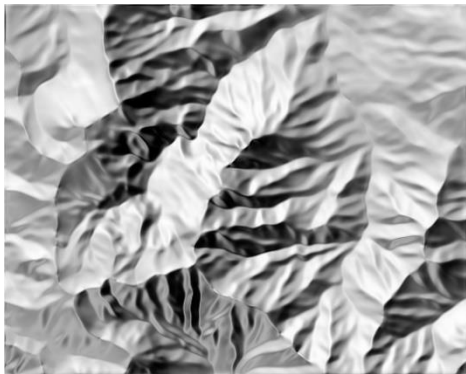
Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ υπό προσαύξεσης 45°



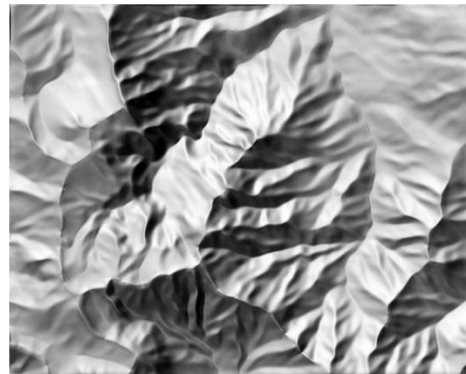
Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ υπό προσαύξεσης 90°



Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ υπό διπλασιασμού αζιμουθίου



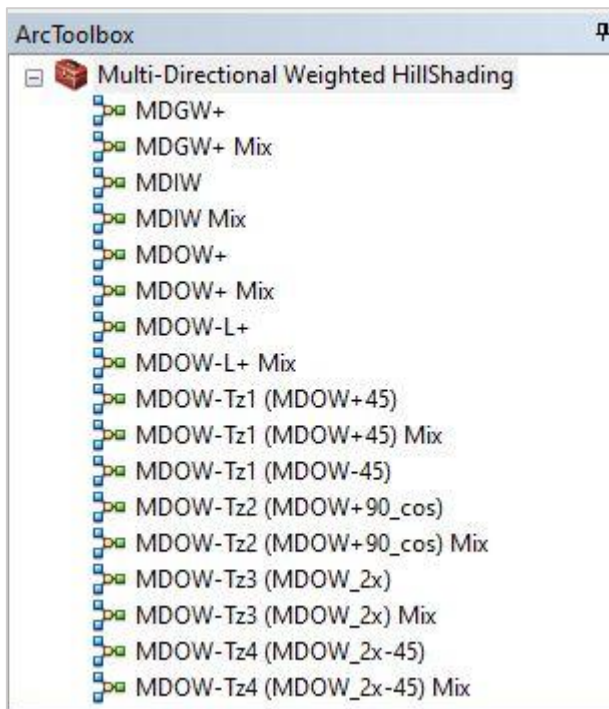
Βέλτιστη φωτοσκίαση με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ υπό διπλ. αζιμουθίου και μείωσης 45°



Βέλτιστη φωτοσκίαση με ΦΠΚ σταθμισμένη βάσει πρόσπτωσης φωτός

**Εικόνα 5.14:** Σταθμισμένοι συνδυασμοί βέλτιστης φωτοσκίασης (345°) με μοντέλα ΦΠΚ, στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 4μ., σε κλίμακα 1:75.000.

Η υλοποίηση όλων των παραπάνω συνδυασμών πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία αντίστοιχων μοντέλων στο περιβάλλον αυτοματοποίησης διαδικασιών ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, *ModelBuilder* του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, *ArcGIS Desktop*, τα οποία προστέθηκαν σε κοινή εργαλειοθήκη με τα μοντέλα ΦΠΚ (Εικόνα 5.14). Τα διαγράμματα ροής και οι φόρμες εισαγωγής δεδομένων παρατίθενται στο Παράρτημα.



**Εικόνα 5.15**

Μοντέλα συνδυασμών ΦΠΚ και μοντέλα ΦΠΚ ενοποιημένα σε κοινή εργαλειοθήκη, στο περιβάλλον του λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, *ArcGIS Desktop*.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΜΕ ΦΠΚ

Η ερευνητική αναζήτηση της διατριβής, μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης, της καταγραφής γεωμετρικών και οπτικών παραμέτρων και της διερεύνησης αυτών μέσω δοκιμαστικών εφαρμογών, υπέδειξε μια σειρά επιλογών που διαμορφώνουν μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία σύνθεσης μιας εικόνας φωτοσκίασης αφενός από μία φωτεινή πηγή, αφετέρου με τη στοχευμένη, τεκμηριωμένη παρέμβαση ΦΠΚ. Οι επιλογές αυτές, κρίθηκε αναγκαίο να δοκιμασθούν ως προς την βελτίωση της αναπαράστασης του μορφολογικού σκελετού του τοπογραφικού αναγλύφου και τα οπτικά αποτελέσματά τους να αξιολογηθούν από χρήστες με εμπειρία στις οπτικοποιήσεις του γεωγραφικού χώρου.

**Πίνακας 6.1.** Μοντέλα φωτοσκίασης και κωδικές ονομασίες στην πειραματική αξιολόγηση

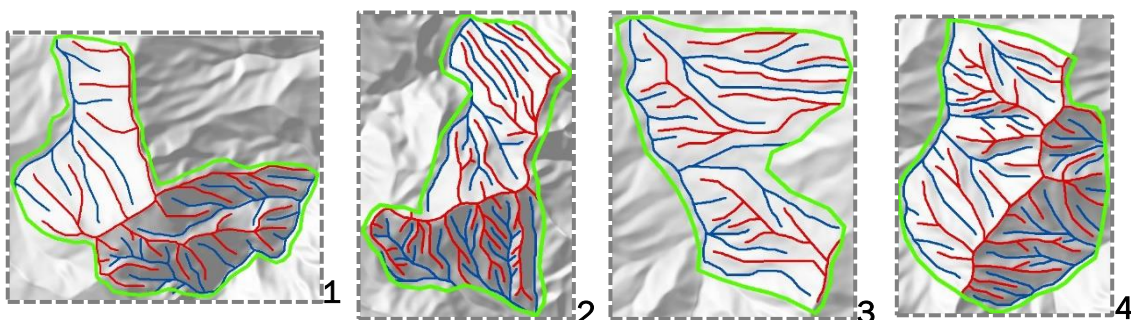
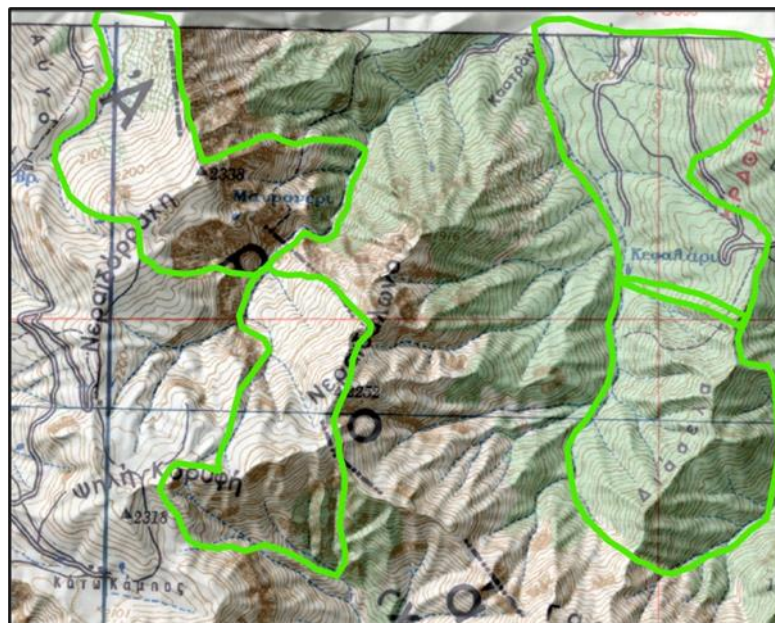
Κωδική ονομασία	Περιγραφή μοντέλου
<i>HS</i>	Τυπική φωτοσκίαση ΒΔ πλάγιου φωτισμού
<i>MDOW</i>	Πρωτότυπη πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark (1992)
<i>MDOWOD</i>	Σταθμισμένος συνδυασμός φωτοσκίασης βέλτιστου φωτισμού (Optimal Direction) με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark
<i>MDOW7OOD</i>	Σταθερός συνδυασμός (70%-30%) φωτοσκίασης βέλτιστου φωτισμού με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ του Mark
<i>MDOWL0D</i>	Σταθμισμένος συνδυασμός φωτοσκίασης βέλτιστου φωτισμού με πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ των Loissios et al. (2007)
<i>MDOWTZOD</i>	Σταθμισμένος συνδυασμός φωτοσκίασης βέλτιστου φωτισμού με την εναλλακτική πλαγιο-σταθμισμένη ΦΠΚ υπό τον διπλασιασμό του αζιμουθίου και της μείωσης κατά $\pi/4$ , σύμφωνα με την παρ. 4.2.3.
<i>MDIWOD</i>	Συνδυασμός φωτοσκίασης βέλτιστου φωτισμού με ΦΠΚ σταθμισμένος βάσει γωνίας πρόσπτωσης (Incident-weighted), σύμφωνα με την παρ. 4.3.

Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε με τη μορφή διαδικτυακού ερωτηματολογίου, μία πειραματική αξιολόγηση εικόνων οι οποίες παράχθηκαν από επιλεγμένα μοντέλα φωτοσκίασης και κρίθηκαν με κριτήριο την αποτελεσματικότητά τους ως προς την απόδοση των μορφολογικών στοιχείων του αναγλύφου. Τα μοντέλα φωτοσκίασης που υλοποιήθηκαν περιγράφονται με κατάλληλη ονομαστική κωδικοποίηση στον Πίνακα 6.1. Η κατεύθυνση του τυπικού,

ΒΔ πλάγιου φωτισμού έχει αζιμούθιο  $315^{\circ}$  και οι κλίσεις όλων των κατευθύνσεων φωτισμού που έχουν υλοποιηθεί είναι υπό γωνία  $45^{\circ}$ . Η περιοχή που επιλέχθηκε για την πειραματική αξιολόγηση, είναι η περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με κατεύθυνση βέλτιστου φωτισμού σε αζιμούθιο  $345^{\circ}$  (βλ. παρ. 5.2.2).

### 6.1 Επιλογή περιοχών ελέγχου και προετοιμασία οπτικού υλικού

Για τις ανάγκες της πειραματικής αξιολόγησης των επιλεγμένων μοντέλων φωτοσκίασης, εντός της περιοχής μελέτης «Ζαρούχλα» οριοθετήθηκαν οι παρακάτω τέσσερις υποπεριοχές ελέγχου (Εικόνα 6.1).

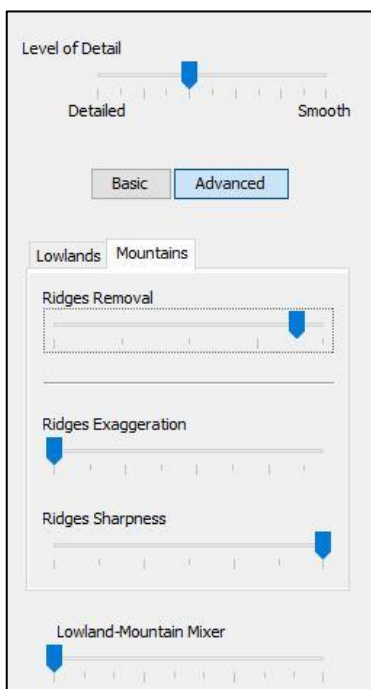


**Εικόνα 6.1:** Περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα» και οι τέσσερις (4) υποπεριοχές ελέγχου:

- 1) προς ΒΔ, «Νεραϊδόρραχη», 2) προς Ν, «Νεραϊδάλωνο»,
- 3) προς ΒΑ, «Κεφαλάρι», 4) προς ΝΑ, «Διάσελα».

Επάνω: Απόσπασμα χάρτη ΓΥΣ 1:50.000, ΦΧ «ΔΑΦΝΗ», με τη συνολική περιοχή μελέτης και με υπέρθεση φωτοσκίασης. Κάτω: Απεικόνιση των υποπεριοχών ελέγχου με αναπαράσταση του μορφολογικού ιστού με γραμμικά σύμβολα (μπλέ για τις μισγάγγειες, κόκκινο για τις κορυφογραμμές).

- 1) «Νεραϊδόρραχη», στο ΒΔ τμήμα: περιέχει στο κέντρο τμήμα κορυφογραμμής με αζιμούθιο διεύθυνσης  $\sim 50^\circ$ , με ομαλό τμήμα πλαγιάς προς ΒΒΔ και με τραχύ τμήμα πλαγιάς προς ΝΝΑ, όπου ξεχωρίζει κορυφογραμμή με αζιμούθιο διεύθυνσης  $80^\circ$ .
- 2) «Νεραϊδάλωνο», στο νότιο τμήμα: περιέχει στο κέντρο τμήμα κορυφογραμμής με αζιμούθιο διεύθυνσης  $\sim 80^\circ$ , με ελαφρώς ομαλό τμήμα πλαγιάς προς ΒΒΔ και με τραχύ τμήμα πλαγιάς προς νότια, με αλληλουχία κορυφογραμμών Β-Ν διεύθυνσης.
- 3) «Κεφαλάρι», στο ΒΑ τμήμα: αποτελείται από πολύ ήπιες κλίσεις, με λίγες προσχώσεις ρεμάτων με διεύθυνση Δ-Α και πολύ ήπια κορυφογραμμή με αζιμούθιο διεύθυνση  $135^\circ$ .
- 4) «Διάσελα», στο ΝΑ τμήμα: κύριο τμήμα ορεινού όγκου με αζιμούθιο διεύθυνσης της κορυφογραμμής του  $20^\circ-25^\circ$  και εκατέρωθεν κάθετες αλληλουχίες πτυχώσεων ρεμάτων με διεύθυνση από Α-Δ έως ΝΑ-ΒΔ.



**Εικόνα 6.2:** Ρυθμίσεις του λογισμικού *Terrain Sculptor* για τη γενίκευση του ΨΜΥ ισαποχής 2μ.

Καθώς για την αξιολόγηση του δομικού ιστού του τοπογραφικού αναγλύφου, η παρατήρηση των συμμετεχόντων θα εστιάζοταν σε μικρότερης έκτασης περιοχές ελέγχου που περιέχουν μεμονωμένες μορφές του εδάφους, ή τμήματα αυτών, ήταν αναγκαία η αξιοποίηση της ισαποχής 2μ. των πρωτογενών δεδομένων ΨΜΥ (βλ. παρ. 3.1.1). Εφαρμόστηκε η διαδικασία γενίκευσης που περιγράφεται στην παρ. 3.1.2, με το ελεύθερο λογισμικό *Terrain Sculptor*, αλλά με αυξημένες τιμές εξομάλυνσης και αφαίρεσης των κορυφογραμμών λόγω της λεπτομερέστερης, μικρότερης ισαποχής (Εικόνα 6.2), ακολούθως υλοποιήθηκαν οι εικόνες φωτοσκίασης των επιλεγμένων μοντέλων συνολικά για την περιοχή μελέτης (Εικόνα 6.3) και τελικώς έγιναν οι απαραίτητες αποκοπές εικόνων στα όρια των υποπεριοχών ελέγχου, ώστε να προκύψει το οπτικό υλικό προς αξιολόγηση (Εικόνα 6.4).



HS



MDOW



MDOWOD



MDOW700D



MDOWL0D



MDOWTZ0D

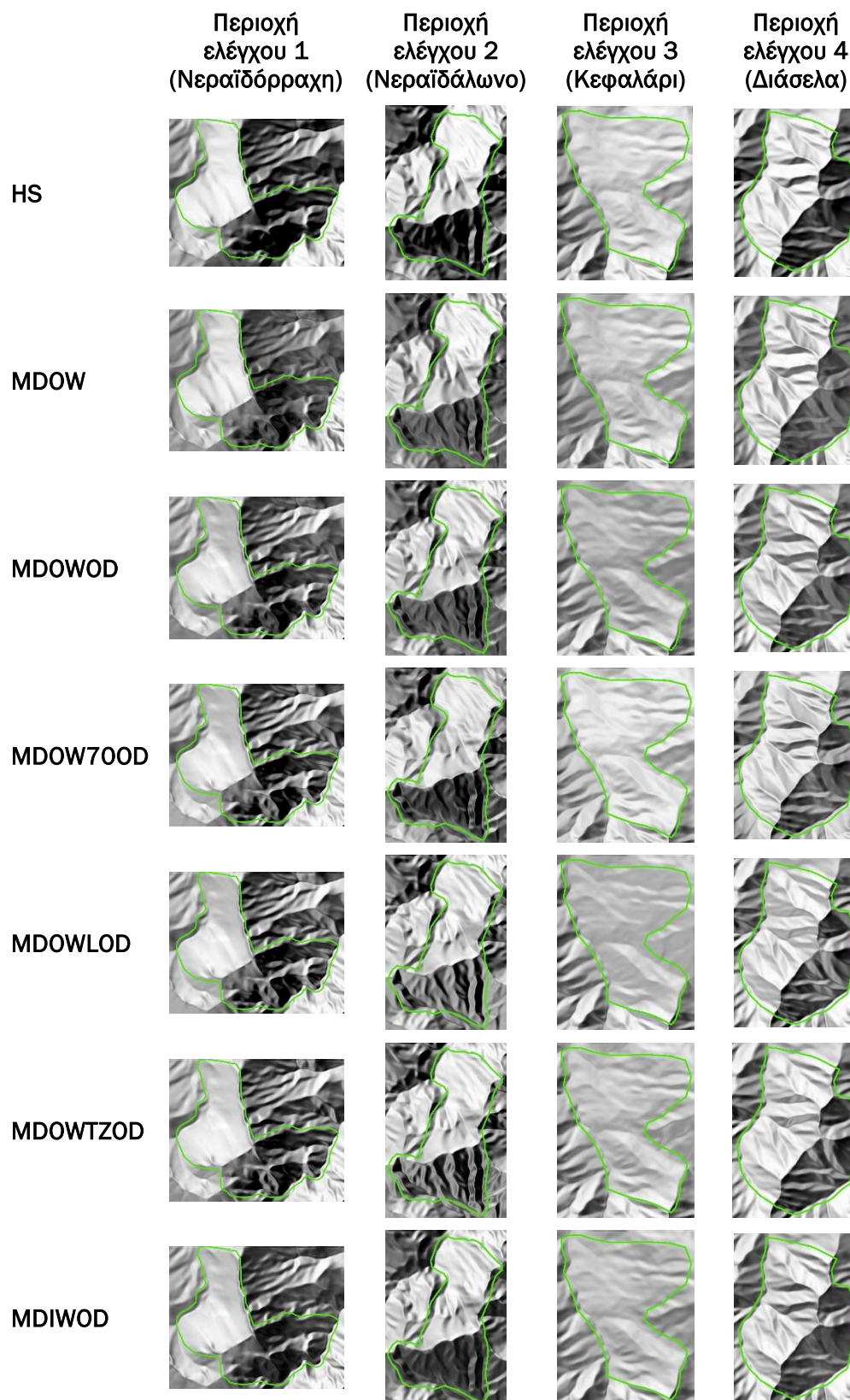


MDIW0D

**Εικόνα 6.3:**

Εφαρμογή των επιλεγμένων προς αξιολόγηση μοντέλων φωτοσκίασης στην περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», με ΨΜΥ ισαποχής 2μ., σε κλίμακα 1:75.000.





**Εικόνα 6 4:** Εφαρμογή των υπό αξιολόγηση μοντέλων φωτοσκίασης στις τέσσερις (4) περιοχές ελέγχου, σε κλίμακα 1:75.000.

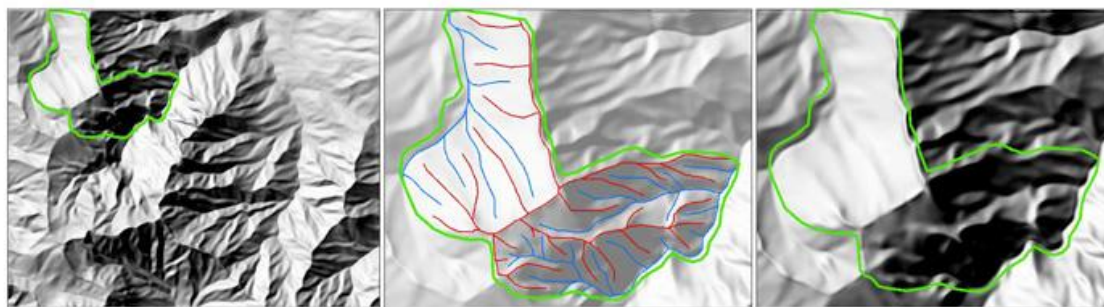
## 6.2 Ερωτηματολόγιο και συμμετέχοντες

Το ερωτηματολόγιο της πειραματικής αξιολόγησης συντάχθηκε και διενεργήθηκε στη διαδικτυακή πλατφόρμα στατιστικών ερευνών *LimeSurvey*, που παρέχεται μέσω της ιστοσελίδας *limesurvey.net* (αποσπάσματα οθόνης με τις σχεδιασμένες φόρμες παρατίθενται στο Παράρτημα). Στις πρώτες δύο ενότητες καταγράφηκαν δημογραφικά στοιχεία των συμμετεχόντων και παρασχέθηκαν οδηγίες για το αντικείμενο της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα:

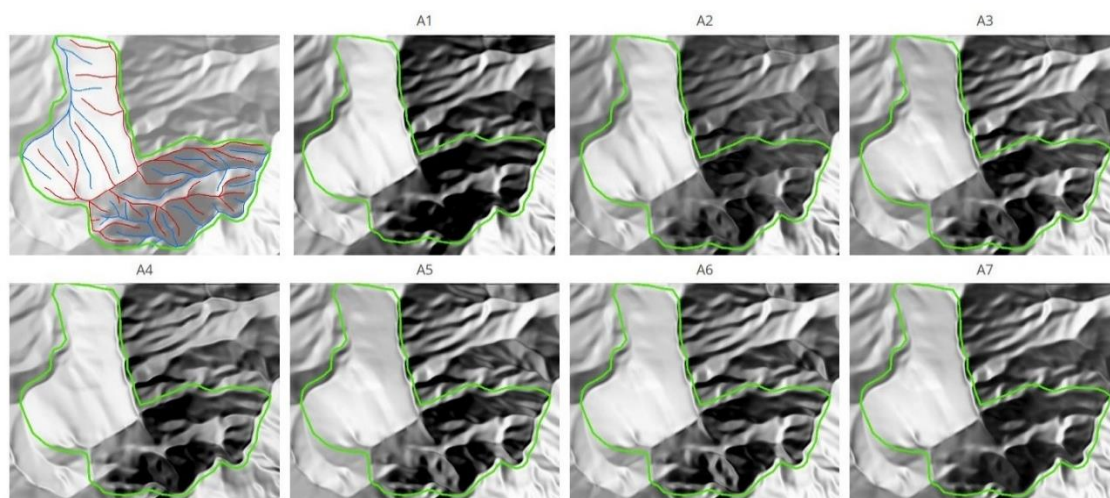
- √ Εξηγήθηκε το σκεπτικό της αξιοποίησης ΦΠΚ για τη θεραπεία των αδύναμων απεικονιστικά τμημάτων σε μία εικόνα φωτοσκίασης από μία φωτεινή πηγή,
- √ παρατέθηκαν τα ποσοτικά στοιχεία της αξιολόγησης, δηλαδή η εφαρμογή επτά (7) μοντέλων φωτοσκίασης σε τέσσερις (4) περιοχές ελέγχου, με κλίμακα αξιολόγησης 1-5,
- √ παρουσιάστηκαν ενδεικτικές συνθέσεις εικόνων της αξιολόγησης και
- √ διασαφηνίσθηκε το κριτήριο αξιολόγησης κάθε εικόνας φωτοσκίασης, ως: «η πιστότητα απόδοσης της πληροφορίας του τοπογραφικού αναγλύφου, λαμβάνοντας υπόψιν το πλήθος των μορφολογικών δομών που διακρίνονται, αλλά και το πόσο ευδιάκριτες αυτές είναι μέσω των τονικών αντιθέσεων της φωτοσκίασης», σε αντιπαράθεση με την αντίστοιχη απεικόνιση του μορφολογικού ιστού (κορυφογραμμές και μισγάγγειες) με γραμμικά σύμβολα.

Το κύριο μέρος του ερωτηματολογίου, το οποίο αφορούσε στην αξιολόγηση των εικόνων φωτοσκίασης κάθε περιοχής ελέγχου από τους συμμετέχοντες, αποτελούνταν από ενότητες που έθεταν το ερώτημα της βαθμολόγησης με δύο διαφορετικούς τρόπους: α) σε συνθήκες απεικόνισης κάθε μοντέλου ξεχωριστά και β) σε συνθήκες ταυτόχρονης απεικόνισης όλων των μοντέλων κάθε περιοχής ελέγχου, μαζί. Με τον πρώτο τρόπο, παρατηρώντας μία σύνθεση τριών (3) εικόνων ο παρατηρητής μπορούσε να αξιολογήσει ατομικά την εικόνα φωτοσκίασης της περιοχής ελέγχου με το εκάστοτε μοντέλο, ως προς τον βαθμό πληρότητας της απόδοσης του μορφολογικού ιστού μέσα από τις τονικές αντιθέσεις της φωτοσκίασης, συγκρίνοντας με την απεικόνιση των υφιστάμενων κορυφογραμμών και μισγαγγειών γραμμών με γραμμικά σύμβολα (βλ. Εικόνα 6.1), ενώ παράλληλα είχε στη διάθεσή του και μπορούσε να λάβει υπόψη του και την αντίστοιχη εικόνα φωτοσκίασης από την εφαρμογή του μοντέλου στη συνολική περιοχή μελέτης (Εικόνα 6.5).

Με τον δεύτερο τρόπο, παρατηρώντας μία σύνθεση οκτώ (8) εικόνων, ο παρατηρητής είχε την ευκαιρία να εξετάσει συγκριτικά την εφαρμογή όλων των μοντέλων φωτοσκίασης στην περιοχή ελέγχου, ως προς το ίδιο κριτήριο, δηλαδή την πληρότητα της απόδοσης του μορφολογικού ιστού, σε συνδυασμό πάντα με την απεικόνιση της υφιστάμενων κορυφογραμμών και μισογαγγειών γραμμών (Εικόνα 6.6).



**Εικόνα 6.5:** Ενδεικτική σύνθεση εικόνων για την ατομική αξιολόγηση κάθε μοντέλου φωτοσκίασης σε μια περιοχή ελέγχου (εδώ, στην περιοχή «Νεραϊδόρραχη»). Αριστερά, η εφαρμογή του μοντέλου στη συνολική περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα», στο κέντρο, η απεικόνιση του μορφολογικού ιστού της περιοχής ελέγχου (με κόκκινο οι κορυφογραμμές και με μπλε τα ρέματα) και δεξιά, η εφαρμογή του μοντέλου φωτοσκίασης στην περιοχή ελέγχου.



**Εικόνα 6.6:** Ενδεικτική σύνθεση εικόνων για τη συγκριτική αξιολόγηση των μοντέλων φωτοσκίασης σε μια περιοχή ελέγχου (εδώ, στην περιοχή «Νεραϊδόρραχη»). Προηγείται επάνω αριστερά η απεικόνιση του μορφολογικού ιστού (με κόκκινο οι κορυφογραμμές και με μπλε τα ρέματα) και ακολουθούν οι εικόνες φωτοσκίασης από την εφαρμογή των επτά (7) μοντέλων.

Συνολικά, κάθε συμμετέχων χρειάστηκε να παρατηρήσει 32 συνθέσεις εικόνων, 7 ατομικές και μία συγκριτική, για τις 4 περιοχές ελέγχου (αποσπάσματα οθόνης όλων των συνθέσεων εικόνων παρατίθενται στο Παράρτημα), ενώ υπέβαλλε 56 βαθμολογήσεις, μία ατομική και μία συγκριτική για 7 εικόνες φωτοσκίασης, στις 4 περιοχές ελέγχου. Σημειώνεται ότι το ερωτηματολόγιο παρείχε τη δυνατότητα στους

συμμετέχοντες δυνητικά να αναθεωρήσουν μία ήδη επιλεγμένη βαθμολόγησή τους, σε οποιοδήποτε βήμα της διαδικασίας, μέχρι την τελική υποβολή. Με τη δυνατότητα αυτή, ένας συμμετέχων μπορούσε να αξιοποιήσει την εξοικείωση που αποκτούσε προοδευτικά με το ανάγλυφο μιας περιοχής ελέγχου, προκειμένου να επαναξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής κάποιου μοντέλου φωτοσκίασης.

Το ερωτηματολόγιο συμπλήρωσαν και υπέβαλλαν 39 συμμετέχοντες (21 άντρες και 18 γυναίκες), κατά πλειοψηφία Αγρονόμοι Τοπογράφοι Μηχανικοί – Μηχανικοί Γεωπληροφορικής και σε ένα μικρό ποσοστό κάτοχοι ειδικοτήτων από τους χώρους της Γεωλογίας και του Περιβάλλοντος. Σε ποσοστό 75% ήταν μέλη εργαστηριακού προσωπικού των ΑΕΙ (διδασκτικό και τεχνικό) και οι υπόλοιποι ήταν διδάκτορες, υποψήφιοι διδάκτορες και μεταπτυχιακοί σπουδαστές. Επίσης, σε ποσοστό 40% ανήκαν στην ηλικιακή ομάδα 50-65 ετών, 50% στην ομάδα 35-50 ετών και 10% στην ομάδα 20-35 ετών.

### **6.3 Παρουσίαση και ανάλυση βαθμολογήσεων**

Σύμφωνα με την παραπάνω περιγραφή του ερωτηματολογίου, κάθε συμμετέχων υπέβαλλε για κάθε εικόνα φωτοσκίασης δύο βαθμολογήσεις (μία ατομική και μία συγκριτική), ως εκ τούτου υπολογίσθηκε και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των δύο τιμών, εξασφαλίζοντας την υποκειμενικότητα της τελικής βαθμολόγησης. Μία εποπτική εικόνα των τελικών βαθμολογήσεων όλων των μοντέλων και στις τέσσερις περιοχές ελέγχου, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.2 με αντιπροσωπευτικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, καθώς και στην Εικόνα 6.7 με τα ραβδογράμματα των συχνοτήτων τους.

Στο πλαίσιο της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων των βαθμολογήσεων, το μοντέλο φωτοσκίασης θεωρείται ως η ανεξάρτητη, ελεγχόμενη μεταβλητή που περιγράφει δεδομένα με ονομαστική διαφοροποίηση και η βαθμολόγησή του, ως η εξαρτημένη, παρατηρούμενη μεταβλητή που περιγράφει ποσοτικώς διαφοροποιούμενα δεδομένα, με κλίμακα διαστήματος. Στην τελευταία στήλη του Πίνακα 6.2, παρουσιάζεται η πιθανότητα επικύρωσης της υπόθεσης της κανονικότητας στην κατανομή των παρατηρήσεων της εκάστοτε εικόνας φωτοσκίασης, με βάση το κριτήριο *Shapiro-Wilk* (Χαλικιάς κ.ά., 2015). Με το σύνηθες επίπεδο σημαντικότητας του 5%, παρατηρείται



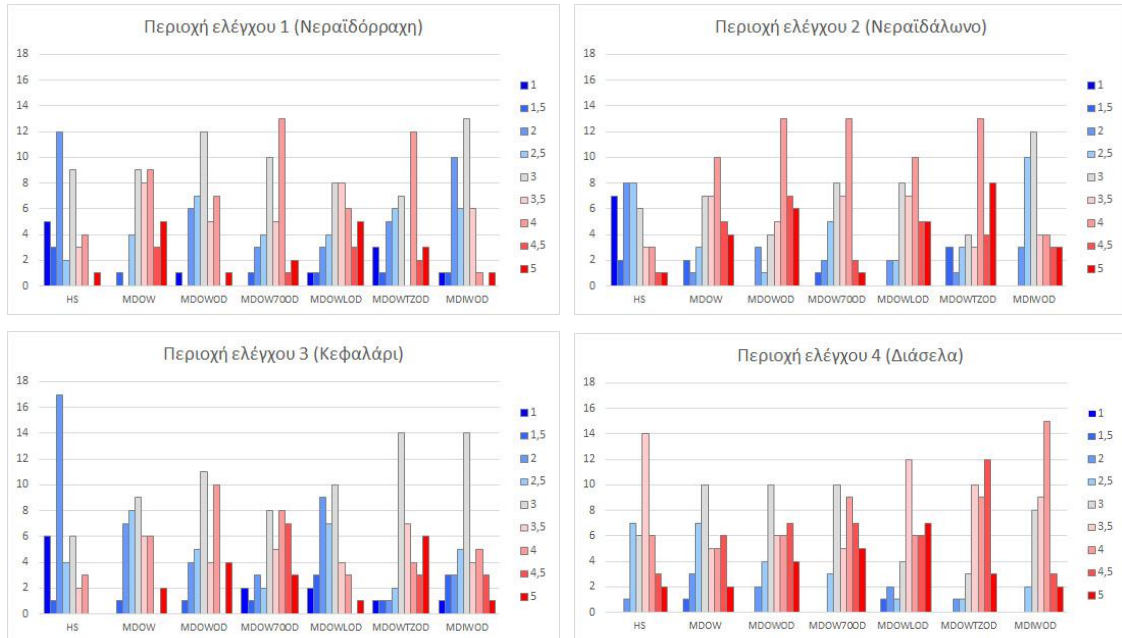
ότι περίπου τα μισά δείγματα μετρήσεων δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή ( $p < 0.05$ ).

**Πίνακας 6.2:** Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή.

Μοντέλο & περιοχή ελέγχου	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Εύρος τιμών	$p_{\text{Shapiro-Wilk}}$
HS1	2.5	1.00	1.0-5.0	0.030
MDOW1	3.6	0.83	1.5-5.0	0.058
MDOWOD1	3.0	0.80	1.0-5.0	0.083
MDOW7OOD1	3.4	0.82	1.5-5.0	0.037
MDOWL0D1	3.4	1.01	1.0-5.0	0.171
MDOWTZOD1	3.1	1.13	1.0-5.0	0.024
MDIWOD1	2.7	0.75	1.0-5.0	0.019
HS2	2.5	1.04	1.0-5.0	0.052
MDOW2	3.6	0.91	1.5-5.0	0.056
MDOWOD2	3.9	0.84	2.0-5.0	0.003
MDOW7OOD2	3.4	0.77	1.5-5.0	0.037
MDOWL0D2	3.7	0.82	2.0-5.0	0.057
MDOWTZOD2	3.8	1.04	1.5-5.0	0.001
MDIWOD2	3.2	0.85	2.0-5.0	0.002
HS3	2.3	0.84	1.0-4.0	0.002
MDOW3	3.0	0.84	1.5-5.0	0.040
MDOWOD3	3.3	0.90	1.5-5.0	0.039
MDOW7OOD3	3.5	1.06	1.0-5.0	0.025
MDOWL0D3	2.6	0.87	1.0-5.0	0.174
MDOWTZOD3	3.5	0.97	1.0-5.0	0.008
MDIWOD3	3.0	0.91	1.0-5.0	0.141
HS4	3.4	0.72	2.0-5.0	0.038
MDOW4	3.3	0.90	1.5-5.0	0.083
MDOWOD4	3.6	0.86	2.0-5.0	0.035
MDOW7OOD4	3.8	0.78	2.5-5.0	0.008
MDOWL0D4	3.8	0.89	1.5-5.0	0.011
MDOWTZOD4	3.9	0.68	2.0-5.0	0.008
MDIWOD4	3.7	0.60	2.5-5.0	0.012

Οι ομάδες βαθμολογήσεων των μοντέλων φωτοσκίασης αποτέλεσαν τις παρατηρήσεις της εξαρτημένης μεταβλητής, καταγεγραμμένες από την ίδια ομάδα παρατηρητών, με τις οποίες πραγματοποιήθηκαν στατιστικοί έλεγχοι για σημαντικές διαφορές μεταξύ πολλαπλών (περισσότερων των δύο) μοντέλων φωτοσκίασης (εκδοχές της ανεξάρτητης μεταβλητής). Δεδομένης της μη κανονικής κατανομής στο σύνολο των ομάδων των παρατηρήσεων-βαθμολογήσεων, επιλέχθηκε το τεστ Μη-Παραμετρικής Ανάλυσης Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων (*Non-Parametric Repeated Measures ANOVA/ANalysis Of VAriance*), αλλιώς γνωστού ως *Friedman's test* (Wanzer, 2022).

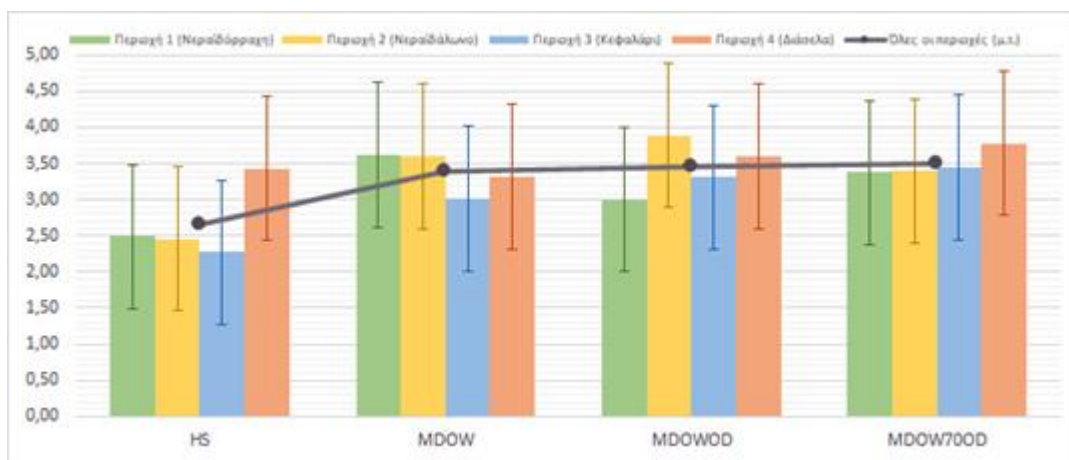
Για την κρίση των υποθέσεων των στατιστικών ελέγχων, το επίπεδο σημαντικότητας τέθηκε στο σύνηθες 5%, επομένως η πιθανότητα  $p$  για απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ομοιότητας πρέπει να είναι μικρότερη του 0.05.



Εικόνα 6.7: Κατανομή των τελικών βαθμολογήσεων κάθε μοντέλου σε κάθε περιοχή ελέγχου.

### 6.3.1 Σύγκριση μοντέλων φωτοσκίασης μίας πηγής, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης και ΦΠΚ

Ο πρώτος συγκριτικός έλεγχος γίνεται μεταξύ των μοντέλων φωτισμού μίας πηγής, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστου φωτισμού και ΦΠΚ, όπου συγκρίνονται τα μοντέλα: HS, MDOW, MDOWOD και MDOW700D.



Εικόνα 6.8: Γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και ανά περιοχή ελέγχου και των μέσων τιμών των μοντέλων συνολικά για όλες τις περιοχές, για τη γενική σύγκριση.

Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων των βαθμολογήσεων ανά περιοχή ελέγχου και ανά μοντέλο, μαζί με τις μέσες τιμές των μοντέλων από τις βαθμολογήσεις τους σε όλες τις περιοχές ελέγχου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3 και σε διάγραμμα, στην Εικόνα 6.8.

**Πίνακας 6.3:** Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή και μέσες τιμές μοντέλων συνολικά, για τη γενική σύγκριση.

		<i>HS</i>	<i>MDOW</i>	<i>MDOWOD</i>	<i>MDOW700D</i>
<b>Περιοχή ελέγχου 1</b> ( <i>Νεραϊδόρραχη</i> )	Μέση τιμή:	2,49	3,62	3,00	3,37
	Τυπική απόκλιση:	1,00	0,83	0,79	0,82
<b>Περιοχή ελέγχου 2</b> ( <i>Νεραϊδάλωνο</i> )	Μέση τιμή:	2,46	3,60	3,88	3,40
	Τυπική απόκλιση:	1,04	0,90	0,84	0,77
<b>Περιοχή ελέγχου 3</b> ( <i>Κεφαλάρι</i> )	Μέση τιμή:	2,27	3,01	3,31	3,45
	Τυπική απόκλιση:	0,84	0,84	0,90	1,06
<b>Περιοχή ελέγχου 4</b> ( <i>Διάσελα</i> )	Μέση τιμή:	3,44	3,32	3,60	3,78
	Τυπική απόκλιση:	0,72	0,90	0,86	0,78
<b>Όλες οι περιοχές</b>	Μέση τιμή:	2,66	3,39	3,45	3,50

**Πίνακας 6.4:** Πιθανότητες ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων φωτοσκίασης (για  $p < 0,05$  είναι διαφορετικά) και ένδειξη της υπεροχής και της σημαντικότητας της, στις 4 περιοχές ελέγχου.

<i>Σύγκριση μοντέλων</i>	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$
<i>HS - MDOW - MDOWOD - MDOW700D</i>	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
<i>HS - MDOW</i>	<0.001 ◀	<0.001 ◀	<0.001 ◀	0.355
<i>HS - MDOWOD</i>	0.007 ◀	<0.001 ◀	<0.001 ◀	0.258
<i>HS - MDOW700D</i>	<0.001 ◀	<0.001 ◀	<0.001 ◀	0.005 ◀
<i>MDOW - MDOWOD</i>	<0.001 ▶	0.036 ◀	0.111	0.041 ◀
<i>MDOW - MDOW700D</i>	0.256	0.442	0.012 ◀	<0.001 ◀
<i>MDOWOD - MDOW700D</i>	0.003 ◀	0.005 ▶	0.343	0.082

- ▶ Σημαντική υπεροχή του πρώτου μοντέλου    ▶ Υπεροχή του πρώτου μοντέλου  
 || Ομοιότητα συγκρινόμενων μοντέλων  
 ◀ Υπεροχή του δεύτερου μοντέλου    ◀ Σημαντική υπεροχή του δεύτερου μοντέλου

Στο στατιστικό τεστ σύγκρισης του συνόλου των μοντέλων φωτοσκίασης ανά περιοχή, η μηδενική υπόθεση της συνολικής ομοιότητας απορρίφθηκε λόγω εξαιρετικά μικρής πιθανότητας ( $p \leq 0.002$ ) σε όλες τις περιοχές, ενώ ακολούθησαν εκ των υστέρων (*post hoc*) συγκριτικοί έλεγχοι των μοντέλων ανά ζεύγη. Όταν τα δύο συγκρινόμενα μοντέλα είναι διαφορετικά ( $p < 0.05$ ), η σημαντικότητα της διαφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους της πιθανότητας, ενώ η υπεροχή προκύπτει από τη σύγκριση των μέσων τιμών των βαθμολογήσεών τους (βλ.

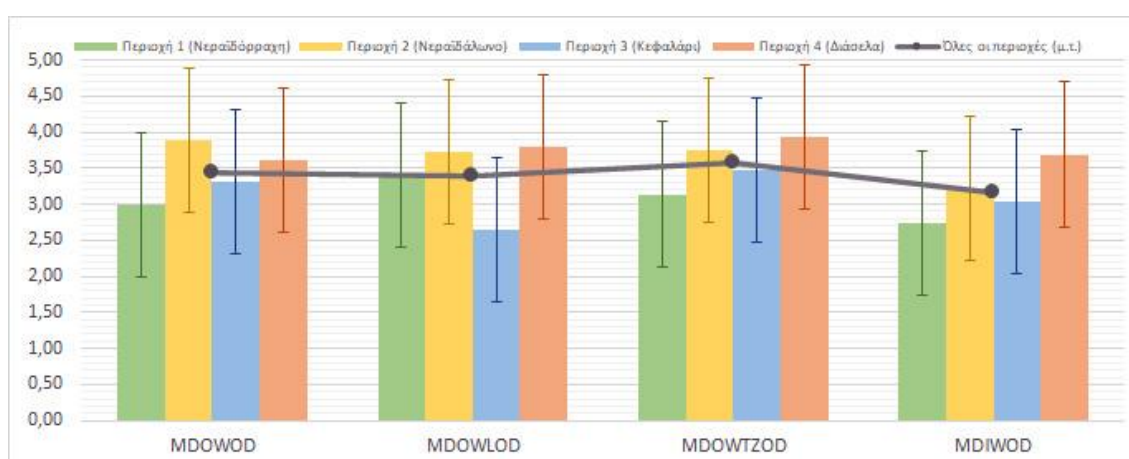
Πίνακα 6.3). Τα αποτελέσματα των πιθανοτήτων ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων για κάθε περιοχή, συνολικά και ανά ζεύγη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4.

### 6.3.2 Σύγκριση συνδυασμών βέλτιστου φωτισμού μίας πηγής με μοντέλα ΦΠΚ

Η δεύτερη σύγκριση γίνεται μεταξύ συνδυασμών βέλτιστου φωτισμού μίας πηγής με διάφορα μοντέλα ΦΠΚ, όπου συγκρίνονται τα εξής μοντέλα: MDOWOD, MDOWL0D, MDOWTZ0D και MDIW0D. Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων των βαθμολογήσεων ανά περιοχή ελέγχου και ανά μοντέλο, μαζί με τους μέσους όρους των μοντέλων από όλες τις περιοχές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5 και σε διάγραμμα, στην Εικόνα 6.9.

**Πίνακας 6.5:** Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και περιοχή και μέσες τιμές μοντέλων συνολικά, για τη γενική σύγκριση.

		MDOWOD	MDOWL0D	MDOWTZ0D	MDIW0D
<b>Περιοχή ελέγχου 1</b> (Νεραϊδόρραχη)	Μέση τιμή:	3,00	3,41	3,14	2,73
	Τυπική απόκλιση:	0,79	1,01	1,13	0,75
<b>Περιοχή ελέγχου 2</b> (Νεραϊδόλιανο)	Μέση τιμή:	3,88	3,72	3,76	3,22
	Τυπική απόκλιση:	0,84	0,82	1,04	0,85
<b>Περιοχή ελέγχου 3</b> (Κεφαλάρι)	Μέση τιμή:	3,31	2,64	3,47	3,04
	Τυπική απόκλιση:	0,90	0,87	0,97	0,91
<b>Περιοχή ελέγχου 4</b> (Διάσελα)	Μέση τιμή:	3,60	3,79	3,94	3,69
	Τυπική απόκλιση:	0,86	0,89	0,68	0,60
<b>Όλες οι περιοχές</b>	Μέση τιμή:	3,45	3,39	3,58	3,17



**Εικόνα 6.9:** Γραφική παράσταση των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των βαθμολογήσεων ανά μοντέλο και ανά περιοχή ελέγχου και των μέσων τιμών των μοντέλων συνολικά για όλες τις περιοχές, για τη σύγκριση συνδυασμών με ΦΠΚ.

Σε αυτή τη σύγκριση, επίσης το αρχικό στατιστικό τεστ συνολικής ομοιότητας ανά περιοχή απέρριψε τη μηδενική υπόθεση ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων -με σχετικά αυξημένη εντούτοις πιθανότητα στην 4<sup>η</sup> περιοχή ελέγχου- και ακολούθησαν οι εκ των υστέρων (*post hoc*) έλεγχοι ομοιότητας ανά ζεύγη. Αναλόγως με την προηγούμενη σύγκριση, τα ζεύγη μοντέλων που είναι διαφορετικά συνοδεύονται με  $p < 0.05$ , ενώ όσο μικρότερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τους, με την υπεροχή να προκύπτει από τη διαφορά των μέσων τιμών των βαθμολογήσεών τους (βλ. Πίνακα 6.5). Τα αποτελέσματα των πιθανοτήτων ομοιότητας της αρχικής, συνολικής σύγκρισης και των *post hoc* συγκρινόμενων ζευγών μοντέλων για κάθε περιοχή, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6.

**Πίνακας 6.6:** Πιθανότητες ομοιότητας των συγκρινόμενων μοντέλων φωτοσκίασης (για  $p < 0,05$  είναι διαφορετικά) και ένδειξη της υπεροχής και της σημαντικότητάς της, στις 4 περιοχές ελέγχου.

Σύγκριση μοντέλων	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>
MDOWOD - MDOWLOD - MDOWTZOD - MDIWOD	<0.001	<0.001	<0.001	0.039
MDOWOD - MDOWLOD	0.003 ◀	0.759	<0.001 ▶▶	0.078
MDOWOD - MDOWTZOD	0.658	0.506	0.151	0.013 ◀
MDOWOD - MDIWOD	0.033 ▶	<0.001 ▶▶	0.032 ▶	0.805
MDOWLOD - MDOWTZOD	0.010 ▶	0.720	<0.001 ◀◀	0.461
MDOWLOD - MDIWOD	<0.001 ▶▶	<0.001 ▶▶	<0.001 ◀◀	0.129
MDOWTZOD - MDIWOD	0.010 ▶	<0.001 ▶▶	<0.001 ▶▶	0.025 ▶

▶▶ Σημαντική υπεροχή του πρώτου μοντέλου    ▶ Υπεροχή του πρώτου μοντέλου  
 || Ομοιότητα συγκρινόμενων μοντέλων  
 ◀ Υπεροχή του δεύτερου μοντέλου    ◀◀ Σημαντική υπεροχή του δεύτερου μοντέλου

#### 6.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Μελετώντας τα παραπάνω αποτελέσματα των πιθανοτήτων των στατιστικών ελέγχων, οι οποίες σηματοδοτούν τις ομοιότητες ή τις διαφορές (σημαντικές ή ηπιότερες) μεταξύ των συγκρινόμενων μοντέλων φωτοσκίασης στις περιοχές ελέγχου, συμπληρωματικά με τα περιγραφικά στοιχεία των μέσων τιμών βαθμολόγησης, είναι δυνατόν να διεξαχθούν ενδεικτικά συμπεράσματα για την καλύτερη αποτελεσματικότητα κάποιων μοντέλων.

Από την πρώτη, γενική σύγκριση μεταξύ εικόνων φωτοσκίασης από μία πηγή, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστου φωτισμού και ΦΠΚ, διαπιστώνεται κατ' αρχάς η σαφής υπεροχή όλων των μοντέλων που ενσωματώνουν φωτισμό πολλαπλών

κατευθύνσεων, έναντι του φωτισμού μίας πηγής ( $p < 0.001$  στις 3 από τις 4 περιοχές ελέγχου). Η διαπίστωση αυτή αποκλίνει από την αντίστοιχη αξιολόγηση του πειράματος οφθαλμικών κινήσεων (βλ. παρ. 3.4), κατά την οποία τα οπτικά αποτελέσματα των μεθόδων απλού και πολλαπλού φωτισμού παρουσιάζουν παρεμφερή οπτική πολυπλοκότητα κατά την αντιληπτική διαδικασία. Η διαφοροποίηση θα μπορούσε να αποδοθεί στη διαφορετική φύση του πειράματος, ως προς τις συνθήκες (ελεύθερη παρατήρηση έναντι διεκπεραίωσης συγκεκριμένων ερωτημάτων), ως προς την τεχνική (καταγραφή οφθαλμικών παρατηρήσεων έναντι ερωτηματολογίου), αλλά και ως προς την παράμετρο του χρόνου διεκπεραίωσης (συγκεκριμένο αντί απεριορίστου χρονικού περιθωρίου).

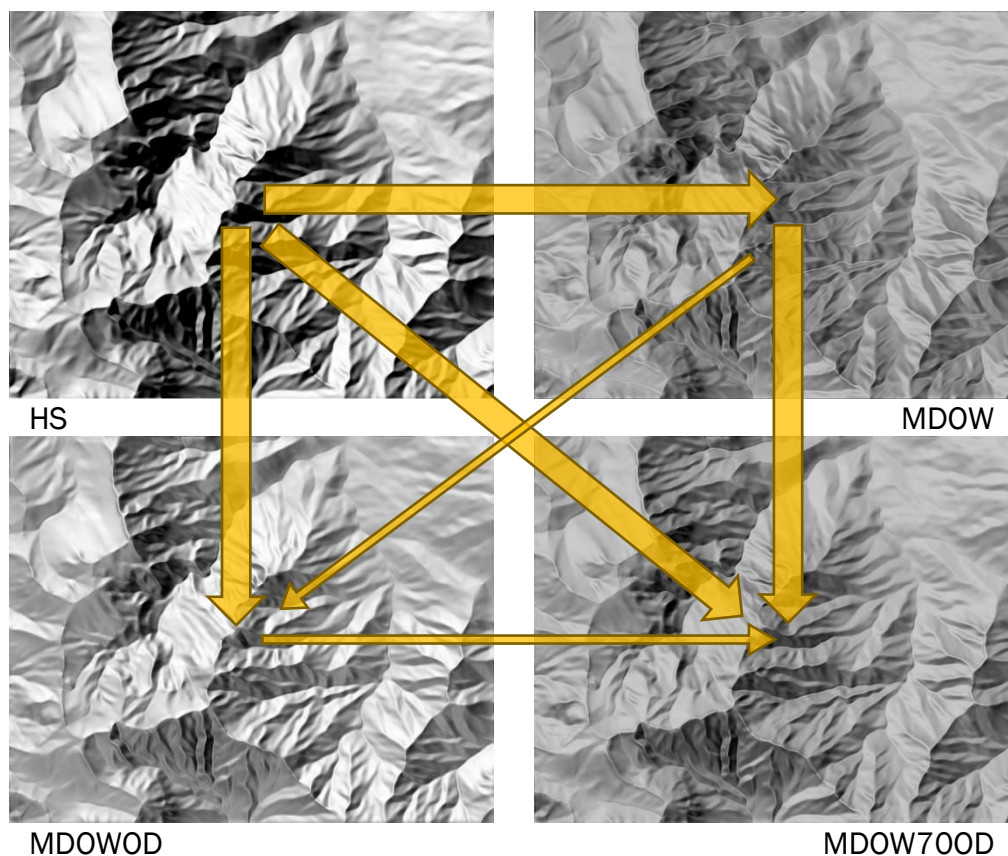
Σαφής επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί και η υπεροχή του συνδυασμού σταθερής στάθμισης (70/30) μεταξύ βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής και πρωτότυπης πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW7OOD) έναντι της αμιγούς πρωτότυπης πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW), καθώς υπερέχει ήπια στην περιοχή 3 και σε σημαντικό βαθμό στην περιοχή 4, ενώ στις υπόλοιπες δύο περιοχές τα δύο μοντέλα έχουν παρόμοιες επιδόσεις.

Στα υπόλοιπα δύο ζεύγη συγκρίσεων, όπου εμπλέκεται ο σταθμισμένος συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης και πρωτότυπης πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOWOD), η υπεροχή στις περιοχές ελέγχου είναι ισορροπημένη και επιστρατεύεται η σύγκριση των μέσων τιμών των βαθμολογήσεων. Στη σύγκριση του μοντέλου της πρωτότυπης MDOW με το μοντέλο MDOWOD, στην περιοχή 3 τα δύο μοντέλα είναι όμοια, στην περιοχή 1 υπερέχει σημαντικά το πρώτο και στις περιοχές 2 και 4 υπερέχει πιο ήπια το δεύτερο (πιθανά επειδή στις περιοχές αυτές οι προσανατολισμοί του εδάφους ταιριάζουν περισσότερο στην επιλεγμένη βέλτιστη κατεύθυνση), ενώ ως προς τη συνολική τιμή βαθμολόγησης, το μοντέλο MDOWOD είναι ανεπαίσθητα αποτελεσματικότερο. Στη σύγκριση μεταξύ MDOWOD και MDOW7OOD, υπάρχει ομοιότητα στις περιοχές 3 και 4, ήπια υπεροχή του δεύτερου στην περιοχή 1 και ήπια υπεροχή του πρώτου στην περιοχή 2, ενώ η μέση τιμή βαθμολόγησης του δεύτερου είναι ανεπαίσθητα μεγαλύτερη του πρώτου.

Τα παραπάνω σχόλια συνοψίζονται σχηματικά στην Εικόνα 6.10. Συμπερασματικά, σημειώνεται πολύ μικρό προβάδισμα του μοντέλου σταθερού συνδυασμού βέλτιστης φωτοσκίασης και πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOW7OOD), εντούτοις όχι εκείνης της έκτασης που θα τεκμηρίωνε γενικευμένη υπεροχή και το γεγονός χρήζει



περαιτέρω διερεύνησης. Επιβεβαιώνεται δε, η -μικρή έστω- βελτίωση έναντι της πρωτότυπης MDOW που καταγράφηκε ως προοπτική στα συμπεράσματα της παρ. 3.4.



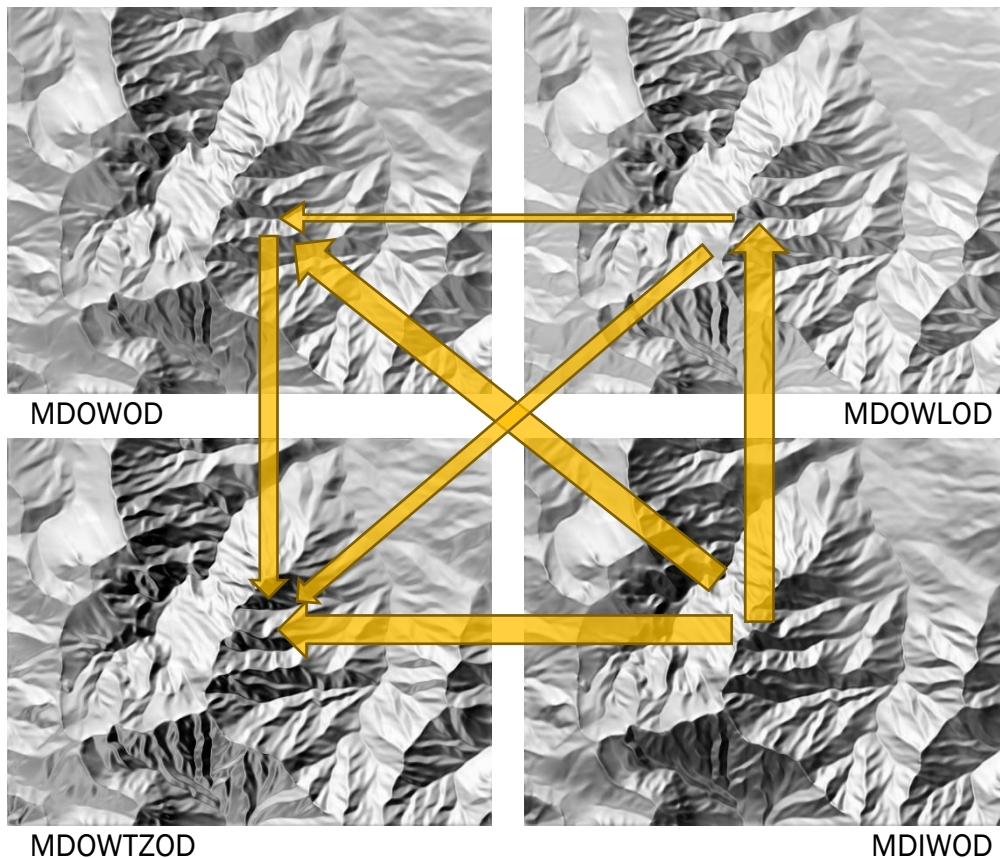
**Εικόνα 6.10:** Σχηματική σύνοψη των διαφορών αποτελεσματικότητας από τον συνολικό στατιστικό έλεγχο στη γενική σύγκριση μοντέλων φωτοσκίασης μίας πηγής, ΦΠΚ και συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης με ΦΠΚ. Τα γραμμικά σύμβολα δείχνουν προς το πιο αποτελεσματικό μοντέλο και το πάχος της γραμμής συμβολίζει ήπια ή πιο σαφή υπεροχή.

Στη δεύτερη σύγκριση μεταξύ συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με διάφορα μοντέλα ΦΠΚ, σημειώνεται κατ' αρχάς η σαφής υστέρηση του μοντέλου συνδυασμού βέλτιστης φωτοσκίασης και ΦΠΚ σταθμισμένης ως προς τη γωνία πρόσπτωσης, MDIOWD, έναντι των υπολοίπων τριών μοντέλων, αφού στα τεστ των μεταξύ τους συγκρίσεων, σε όλες σχεδόν τις περιοχές υπολείπεται σε σημαντικό, ή έστω ήπιο βαθμό.

Οι συγκρίσεις των υπόλοιπων τριών ζευγών, χαρακτηρίζονται από ομοιότητα των μοντέλων σε 2-3 περιοχές ελέγχου, ενώ στις υπόλοιπες η υπεροχή είναι μοιρασμένη είτε υπέρ του ενός και είτε υπέρ του άλλου μοντέλου. Καταφεύγοντας στη σύγκριση των συνολικών μέσων τιμών βαθμολόγησης, ο συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης και της εναλλακτικής πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOWTZOD) εμφανίζει ελαφρώς



υψηλότερη τιμή από τους άλλους δύο συνδυασμούς, βέλτιστης φωτοσκίασης και πρωτότυπης πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ (MDOWOD) και βέλτιστης φωτοσκίασης και πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Loissios κ.ά. (MDOWL0D), ενώ στη σύγκριση μεταξύ των δύο τελευταίων υπερέρχει ανεπαίσθητα το πρώτο μοντέλο. Συνοψίζοντας τη δεύτερη σύγκριση (Εικόνα 6.11), διαπιστώνεται ότι υπάρχει ελαφρώς αποτελεσματικότερη επίδοση του μοντέλου MDOWTZOD.



**Εικόνα 6.11:** Σχηματική σύνοψη των διαφορών αποτελεσματικότητας από τον συνολικό στατιστικό έλεγχο στη σύγκριση συνδυασμών βέλτιστης φωτοσκίασης με μοντέλα ΦΠΚ, με γραμμικά σύμβολα που δείχνουν προς το πιο αποτελεσματικό μοντέλο και διαφοροποιούνται σε πάχος αναλόγως της έκτασης της διαφοράς.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί, πως στις περιοχές 2 και 4 προκύπτουν πολλές ομοιότητες σε ζεύγη συγκρινόμενων μοντέλων, ενώ στην περιοχή 3 σημειώθηκε σημαντική μείωση της βαθμολόγησης του μοντέλου MDOWL0D, πιθανά λόγω μειωμένης επίδοσης στις ομαλές κλίσεις του εδάφους και στη χαμηλή διαφοροποίηση του αναγλύφου.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα

Η διδακτορική διατριβή ασχολείται με το ερευνητικό πεδίο της αναλυτικής φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου στους χάρτες και ερευνά ειδικότερα την τεχνική της σύνθεσης Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων (ΦΠΚ). Πρόκειται για μια οπτικοποίηση της μορφής της γήινης επιφάνειας, μέσω σταθμισμένης ανάμιξης φωτοσκιάσεων από (τουλάχιστον τρεις) διαφορετικές κατευθύνσεις φωτισμού, ώστε να βελτιώνεται η πληρότητα της χαρτογραφούμενης πληροφορίας του αναγλύφου, είτε πυκνώνοντας την λεπτομέρεια των ήδη απεικονιζόμενων μορφολογικών σχηματισμών, είτε ακόμη και αποκαλύπτοντας τμήματα που με μία φωτεινή πηγή, «παραμένουν στο σκοτάδι» (δηλαδή αναπαρίστανται με πολύ σκούρους τόνους, οι οποίοι αποκρύπτουν την πληροφορία του αναγλύφου).

Η μελέτη της τεχνικής της σύνθεσης ΦΠΚ, εστιάζεται μεν στην αυτόνομη χαρτογραφική χρήση των οπτικών αποτελεσμάτων της, κυρίως δε αποσκοπεί στη συνδρομή της για συνδυαστική ανάμιξη με τη συνήθη φωτοσκίαση μίας πηγής, προκειμένου να βελτιώνονται οι παραπάνω αδυναμίες. Η σκοπιμότητα μιας τέτοιας συνδυαστικής λύσης, πηγάζει σε μία κρίσιμη οπτική διαπίστωση: πως ο φωτισμός από μία κατεύθυνση και η έντονη τονική αντίθεση που τον συνοδεύει, όσο μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα γιατί -κατά το προφανές- αδυνατεί να φωτίσει αποτελεσματικά όλους τους σχηματισμούς του εδάφους, άλλο τόσο συνιστά και ισχυρό οπτικό ερέθισμα αναγνώρισης του βάθους στο χώρο, μα και χαρακτηριστικό γνώρισμα της οικείας, ρεαλιστικής οπτικής εντύπωσης της μεθόδου της φωτοσκίασης. Προκειμένου να είναι εφικτή μία ισορροπημένη θεραπεία των αδυναμιών μιας εικόνας φωτοσκίασης, χωρίς απώλεια των ρεαλιστικών χαρακτηριστικών της, η διατριβή εισάγει μία προτεινόμενη μεθοδολογία φωτοσκίασης με συνδρομή ΦΠΚ, η οποία στηρίζεται σε τρία στάδια:

- 1<sup>ον</sup>) Στην επιλογή και υλοποίηση μίας κυρίαρχης, δεσπόζουσας φωτοσκίασης με βέλτιστο φωτισμό.
- 2<sup>ον</sup>) Στην υλοποίηση ενός μοντέλου ΦΠΚ.
- 3<sup>ον</sup>) Στην ανάμιξη κυρίαρχης, βέλτιστης φωτοσκίασης και ΦΠΚ, με γνώμονα την επιλεκτική ενίσχυση της πρώτης.

Η ερευνητική εργασία της διατριβής εκπληρώνει μια σειρά από στόχους που αφορούν στην βιβλιογραφική ανασκόπηση και στην πειραματική διερεύνηση των ζητημάτων που επηρεάζουν και διαμορφώνουν την παραπάνω μεθοδολογία.

Πρώτος στόχος είναι η ενσωμάτωση μιας αλληλουχίας προτάσεων, που στην πάροδο του χρόνου έχουν παρουσιασθεί ως θεραπείες στην πλημμελή απόδοση των μορφολογικών σχηματισμών μέσω της συνήθους φωτοσκίασης μίας πηγής, σε ένα συμπαγές εννοιολογικό πλαίσιο. Το πλαίσιο αυτό εκτείνεται από την πρώτη βελτιωτική προσέγγιση, με την προσαρμογή του φωτισμού σε κάθε σημείο εδάφους ανάλογα με τον τοπικό προσανατολισμό, έως την πληθωρική προσομοίωση του ουράνιου θόλου με ένα δίκτυο μεγάλου πλήθους φωτεινών πηγών. Η διερευνητική πορεία που οδήγησε εν τέλει στην διατύπωση από τον Mark (1992) του όρου «Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων», ή εν συντομία ΦΠΚ (*Multi-Directional Relief Shading*), είχε ξεκινήσει ήδη από τους παραδοσιακούς χαρτογράφους του 18<sup>ου</sup> αιώνα, με τη μεθόδευση του συμπληρωματικού κατακόρυφου φωτισμού (Imhof, 1982), ενώ τη δεκαετία του '90, με τη συμβολή των λογισμικών επεξεργασίας εικόνας, ωρίμασαν οι συνθήκες για την ταυτόχρονη απεικόνιση φωτοσκιάσεων από διαφορετικές κατευθύνσεις, μέσα από εργασίες όπως των Lukas & Weibel (1995), Hobbs (1995) και Patterson (1997). Ωστόσο, η τεχνική του Mark έθεσε το ζήτημα της επιλογής των διαφορετικών κατευθύνσεων φωτισμού με ολοκληρωμένο τρόπο και εισήγαγε την παραμετροποίηση της στάθμισής τους ως προς τα στοιχεία προσανατολισμού του αναγλύφου, με δύο περαιτέρω παραλλαγές της ΦΠΚ να παρουσιάζονται στην εργασία του Loissios κ.ά. (2007), όπου και προτείνεται η συνδυαστική ανάμιξη της ΦΠΚ με φωτοσκίαση μίας πηγής.

Δεύτερος στόχος της διατριβής είναι η αποσαφήνιση του προβληματισμού που γεννά η τονική ομογενοποίηση που επέρχεται στους τόνους φωτοσκίασης από τον πολλαπλό φωτισμό. Η αντίθεση των τόνων, αποτελεί ένα οπτικό χαρακτηριστικό άρρηκτα συνδεδεμένο με μια συνήθη εικόνα φωτοσκίασης και κρίσιμα αποτελεσματικό στην αντίληψη των τρισδιάστατων μορφών του αναγλύφου μέσω αυτής. Η μείωση της τονικής αντίθεσης σε μία εικόνα ΦΠΚ, μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στην αντιληπτή οπτική πολυπλοκότητα της, παρ' όλο που θεωρητικά αυτή λόγω του πολλαπλού φωτισμού θα απεικονίζει περισσότερη πληροφορία. Για τη διερεύνηση του προβληματισμού αυτού σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε εμπειρική έρευνα, όπου αξιολογήθηκαν οι αντιδράσεις μιας ομάδας 15 υποκειμένων κατά την ελεύθερη παρατήρηση εικόνων που δημιουργήθηκαν με ΦΠΚ, με φωτοσκίαση μιας

πηγής και με συνδυασμό αυτών των δύο. Η διεξαγωγή της έρευνας βασίστηκε στην πλέον σύγχρονη μέθοδο μελέτης της οπτικής αντίληψης, αυτή της καταγραφής και ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων των υποκειμένων, όπου χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ViewPoint EyeTracker® της Arrington Research, Inc. που λειτουργεί στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜΜΓ του ΕΜΠ. Οι υπό αξιολόγηση εικόνες φωτοσκίασης παράχθηκαν από δεδομένα Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (ΨΜΥ) υψηλής ανάλυσης (ισαποχής 2m) που παραχωρήθηκαν από το ΝΠΔΔ «Ελληνικό Κτηματολόγιο» και αφορούν σε ορεινές περιοχές με τραχύ και με λείο ανάγλυφο.

Η προκαταρκτική ανάλυση των καταγραφών των οφθαλμικών κινήσεων έγινε με τον υπολογισμό και τη μελέτη τεσσάρων (4) βασικών και παράγωγων μεγεθών της καταγραφής, όπου σε γενικές γραμμές παρατηρούνται παρόμοιες συμπεριφορές των υποκειμένων στις τρεις μεθόδους φωτοσκίασης, με μεμονωμένες ενδείξεις υστέρησης της αμιγούς ΦΠΚ μέσω περιγραφικών στοιχείων των προσηλώσεων, όπως τα μικρότερα εύρη στο πλήθος τους ή η υψηλότερη μέγιστη διάρκειά τους. Τα δεδομένα των καταγραφών αναλύθηκαν με μία δεύτερη προσέγγιση, για την εφαρμογή του δείκτη συνολικής αξιολόγησης LRI (LandRate Index), ενός σταθμισμένου συνδυασμού επιλεγμένων μεγεθών καταγραφής που η επίδρασή τους υποδεικνύεται από την κρίση εμπειρογνομόνων σε οικείους επιστημονικούς χώρους. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αξιολόγησης παρουσιάζεται στην εργασία του Νικόλαος Tzelepis κ.ά. (2020) και κατά κύριο λόγο επιβεβαιώνει την ομοιότητα των αντιδράσεων των υποκειμένων έναντι των φωτοσκίασεων των τριών αξιολογούμενων μεθόδων, με μικρή μόνο υστέρηση της συνήθους φωτοσκίασης μίας πηγής στην περιοχή με το απλούστερο ανάγλυφο. Η συνολική αποτίμηση της διερεύνησης είναι πως η αντιληπτική επίδοση της ΦΠΚ (αμιγώς ή συνδυαστικά) παρουσιάζει παρόμοια πολυπλοκότητα με τη φωτοσκίαση μίας πηγής και μπορεί να αξιοποιηθεί απρόσκοπτα. Υπάρχουν μικρές ενδείξεις διαφορετικής συμπεριφοράς των υποκειμένων που ενδεχομένως σχετίζονται με την διαφορετικότητα και την ιδιομορφία που χαρακτηρίζουν το οπτικό αποτέλεσμα της ΦΠΚ, αλλά τα χαρακτηριστικά αυτά κατά τη συνδυαστική χρήση με τη φωτοσκίαση μίας πηγής (η οποία θα έχει και δεσπόζοντα ρόλο), αναμένεται ότι θα απαλειφθούν.

Ο τρίτος στόχος της διατριβής αφορά στην τεκμηρίωση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, με την θεωρητική πλαisiώση των τριών (3) σταδίων που την απαρτίζουν. Για το 1<sup>ο</sup> στάδιο της μεθοδολογίας, που αφορά στην υλοποίηση της «βέλτιστης» φωτοσκίασης μίας πηγής με κυρίαρχο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα,

διερευνάται η έννοια της «βέλτιστης» κατεύθυνσης φωτισμού, δηλαδή εκείνης της κατεύθυνσης που θα αναδεικνύει ένα κατά το δυνατόν ευρύτερο υποσύνολο μορφολογικών σχηματισμών της εκάστοτε χαρτογραφούμενης περιοχής. Αναλύοντας τις αντιληπτικές προκαταλήψεις που ενυπάρχουν στη διαδικασία παρατήρησης χωρικών απεικονίσεων (*convexity bias, overhead illumination bias*), εμπεδώνεται η επικρατούσα αρχή ότι η ορθή ερμηνεία του χώρου προϋποθέτει φωτισμό που έρχεται από επάνω και αριστερά, ή αλλιώς, στην επιφάνεια ενός χάρτη, από βόρεια και δυτικά, ενώ αντιδιαμετρικοί φωτισμοί προκαλούν την εντύπωση της αναστροφής της μορφής της φωτιζόμενης επιφάνειας. Μέσα από αυτό το εύρος προσανατολισμών, διαπιστώνεται ότι η κατά παράδοση υποδειγματική επιλογή της ΒΔ κατεύθυνσης φωτισμού, με σύγχρονες μελέτες που συνοδεύονται από εκτεταμένα πειραματικά δεδομένα, έχει πλέον ανατραπεί και ως καλύτερη επιλογή υποδεικνύεται η ΒΒΔ κατεύθυνση.

Καθώς όμως η τυχαιότητα του φυσικού γήινου αναγλύφου καθιστά αδύνατη την υιοθέτηση μιας *de facto* λύσης βέλτιστου φωτισμού, στα πλαίσια της διατριβής προτάσσεται η ορθολογική αντιμετώπιση του προβλήματος με την ποσοτική ανάλυση της επιφάνειας του εδάφους, προκειμένου να εντοπισθούν οι διευθύνσεις των αξόνων των κυρίαρχων μορφών. Ολοκληρωμένες λύσεις για το θέμα αυτό, διατίθενται μέσα από αυτόνομα ερευνητικά αντικείμενα, όπως η μορφομετρική ανάλυση, η αναγνώριση και ταξινόμηση των γεωμορφών ή η αναγνώριση του δομικού ιστού του εδάφους, ενώ πρωτίστως απαιτείται προεπεξεργασία για τη γενίκευση της επιφάνειας του εδάφους, προκειμένου να διαμορφωθεί το κρίσιμο σώμα του αναγλύφου. Ως πιο απλές και έμπρακτες λύσεις για τις ανάγκες των εφαρμογών της διατριβής, εφαρμόστηκαν η εμπειρική οπτική εκτίμηση και μέτρηση των προσανατολισμών των κυρίαρχων εξάρσεων και η μελέτη του ιστογράμματος των αζιμουθίων στην απεικονιζόμενη περιοχή, ενώ δοκιμάσθηκε με επιτυχία το ελεύθερο λογισμικό γενίκευσης ΨΜΥ *Terrain Sculptor* (Leonovicz et al., 2010).

Για το 2<sup>ο</sup> στάδιο της μεθοδολογίας, δηλαδή την υλοποίηση ενός μοντέλου ΦΠΚ, στη διατριβή απαριθμούνται μια σειρά μοντέλων (πέραν την πρωτότυπης τεχνικής MDOW). Η σύνθεση ΦΠΚ εκφράζεται με τη γενική σχέση:  $\Phi ΠΚ = \sum (W_j \cdot \Phi \Sigma_j)$ , όπου  $j = 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$  και κάθε μοντέλο αποτελεί μία διαφορετική πρόταση προσέγγισης των βαρών στάθμισης  $W_j$ . Δύο (2) εξ' αυτών των μοντέλων έχουν παρουσιασθεί στην εργασία του Loissios κ.ά. (2007), ενώ εισάγονται άλλες τέσσερις (4) νέες προτάσεις, που προέκυψαν με κίνητρο την ανεύρεση

αποτελεσματικότερων κατανομών των βαρών στάθμισης των συνιστωσών φωτοσκιάσεων. Προτείνεται η ταξινόμηση των μοντέλων ΦΠΚ σε τρεις (3) κατηγορίες, ως εξής:

α) μοντέλα καθολικής στάθμισης, όπου το βάρος στάθμισης για κάθε συνιστώσας φωτοσκίασης είναι ενιαίο,

β) πλαγιο-σταθμισμένα μοντέλα (δηλαδή με στάθμιση βάσει της οριζόντιας γωνίας μεταξύ φωτισμού συνιστώσας φωτοσκίασης και γωνίας αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού), και

γ) μοντέλα στάθμισης βάσει της γωνίας πρόσπτωσης μεταξύ φωτισμού συνιστώσας φωτοσκίασης και τοπικής καθέτου.

Με το 3<sup>ο</sup> στάδιο της εισαχθείσας μεθοδολογίας, η οποία αφορά στην ανάμιξη των εικόνων της ΦΠΚ και της κύριας, βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής, επιτυγχάνεται ελεγχόμενη παρέμβαση του πολλαπλού φωτισμού στα αδύναμα τμήματα του κυρίου, είτε μέσω σταθερών βαρών στάθμισης, είτε κυρίως μέσω μεταβλητής στάθμισης που ενσωματώνει την τοπική γωνία πρόσπτωσης στο έδαφος της βέλτιστης κατεύθυνσης φωτισμού και το κατά πόσον αυτή προσεγγίζει, ή και υπερβαίνει τις 90°, με την τελευταία περίπτωση να σηματοδοτεί την πλήρη απόκρυψη της φωτιζόμενης επιφάνειας και την ανάθεση της απόδοσής της στην ΦΠΚ.

Η τελική, διαμορφούμενη ως αποτέλεσμα της ανάμιξης εικόνα φωτοσκίασης, διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- √ Μεγιστοποίηση του πλήθους των απεικονιζόμενων μορφολογικών σχηματισμών του αναγλύφου, στα τμήματα της περιοχής που στρέφονται προς τον κύριο φωτισμό.
- √ Αποτελεσματική αντιμετώπιση των ελλειμματικών απεικονίσεων της πληροφορίας του αναγλύφου στα σκούρα τμήματα που αποκλίνουν από τον κύριο φωτισμό.
- √ Διασφάλιση της ισχυρής τονικής αντίθεσης που χαρακτηρίζει τον οικείο χαρακτήρα της μεθόδου της φωτοσκίασης.

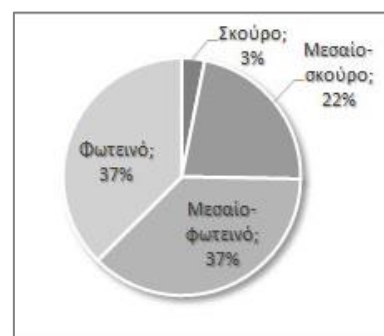
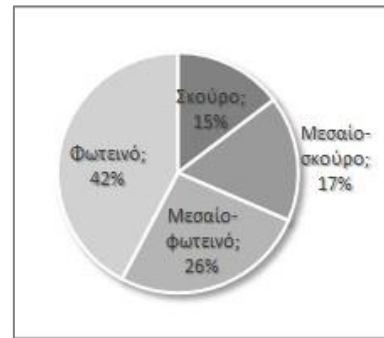
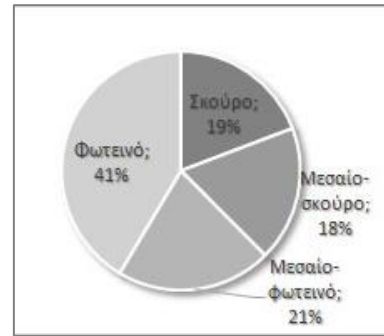
Τέταρτος και τελικός στόχος της διατριβής, είναι η αξιολόγηση επιλεγμένων μοντέλων από όσα παρουσιάστηκαν και οι αναμίξεις τους με βέλτιστο κύριο φωτισμό, κατά την προτεινόμενη μεθοδολογία. Στην εμπειρική έρευνα που

σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ως διαδικτυακό ερωτηματολόγιο, επιστημονικό προσωπικό των Πανεπιστημίων, με εμπειρία στο αντικείμενο της Χαρτογραφίας και σε συγγενή αντικείμενα όπου αξιοποιούνται χωρικές οπτικοποιήσεις, παρατήρησαν και βαθμολόγησαν εικόνες φωτοσκίασης που παράχθηκαν για μικρές περιοχές ελέγχου, ποικίλης μορφολογίας (τραχύ ή ήπιας υψής ανάγλυφο, με ορεινές ή πεδινές εκτάσεις και απότομες ή ομαλές κλίσεις). Η βαθμολόγηση εστιάσθηκε στο ποσοστό πληρότητας της πληροφορίας του αναγλύφου που απεικονίζεται στην εικόνα φωτοσκίασης, συγκρίνοντας με την απεικόνιση του δομικού ιστού, δηλαδή το δίκτυο κορυφογραμμών και μισγαγγειών γραμμών της υπό έλεγχο περιοχής. Οι τιμές των βαθμολογήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή στατιστικών τεστ στα πλαίσια συγκριτικών ελέγχων, εκ των οποίων εξάγονται τα παρακάτω βασικά συμπεράσματα:

- Η αμιγής ΦΠΚ, καθώς και οι συνδυασμοί της με βέλτιστη φωτοσκίαση υπερτερούν της φωτοσκίασης μίας πηγής (Σημ.: Παρ' όλο που με την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων υπό ελεύθερη παρατήρηση καταδείχθηκε παρόμοια πολυπλοκότητα, η οπτική αξιολόγηση βάσει διεκπεραίωσης συγκεκριμένων διαδικασιών θεωρείται πιο στοχευμένη, γι' αυτό και πιο έγκυρη).
- Η ενδυνάμωση της φωτοσκίασης μίας πηγής μέσω ανάμιξης με ΦΠΚ, βελτιώνει και μεγιστοποιεί το οπτικό αποτέλεσμα.
- Εκ των νέων προτεινόμενων μοντέλων ΦΠΚ, διαφαίνονται προοπτικές περαιτέρω βελτίωσης των συνδυασμών βέλτιστης κύριας φωτοσκίασης και ΦΠΚ.

Εν κατακλείδι, η διατριβή εστιάζει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας -η οποία ενσωματώνεται ως ελεύθερο λογισμικό σε ολοκληρωμένο περιβάλλον συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, εν προκειμένω το ArcGIS® του οίκου ESRI- για την αναλυτική φωτοσκίαση ψηφιακών χαρτών με την αξιοποίηση πολλαπλού φωτισμού. Με την προτεινόμενη μεθοδολογία φωτοσκίασης, μειώνονται αισθητά οι ελλείψεις και βελτιώνονται ακόμη περισσότερο οι ήδη αναπαριστώμενοι μορφολογικοί σχηματισμοί του τοπογραφικού αναγλύφου από την εφαρμογή αποκλειστικά μιας μόνο φωτεινής πηγής, όπως εύληπτα αποτυπώνεται στην ανά μέθοδο ποσοστιαία κάλυψη της περιοχής μελέτης από τους σκουρότερους τόνους (Εικόνα 7.1).





**Εικόνα Ε.1.** Ποσοστιαία επιφανειακή κάλυψη τεταρτημορίων φωτεινότητας (σκούρο/μεσαίο-σκούρο/μεσαίο-φωτεινό/φωτεινό), ανά μέθοδο φωτισκίασης (περιοχή μελέτης «Ζαρούχλα»): Επάνω, με φωτισκίαση πλάγιου φωτισμού από ΒΔ, στο κέντρο, με βέλτιστο πλάγιο φωτισμό (από 345°) και κάτω, με ανάμιξη βέλτιστου πλάγιου φωτισμού και ΦΠΚ (MDOW).

## Σκέψεις για μελλοντική έρευνα

Μία παράμετρος της φωτοσκίασης που έντονα καταδείχθηκε στην ερευνητική εργασία της διατριβής, είναι η κατάλληλη επιλογή της κατεύθυνσης φωτισμού ανάλογα με τους επικρατούντες προσανατολισμούς, προκειμένου να «αποκαλύπτεται» το μέγιστο ποσοστό της πληροφορίας του τοπογραφικού αναγλύφου. Η ενδεικτική αναφορά που έγινε σε αναλυτικές τεχνικές και μεθοδολογίες (υφιστάμενες και υπό εξέλιξη) για την επεξεργασία της μορφής του εδάφους -καταγεγραμμένης σε δομές ψηφιακών μοντέλων υψομέτρων- όπως η μορφομετρική ανάλυση, η αναγνώριση του δομικού ιστού του αναγλύφου ή η κατάτμηση της επιφάνειας του εδάφους με τεχνικές βαθιάς μάθησης, θα χρειαστεί να προχωρήσει σε βάθος ώστε να διαμορφωθεί ένα αντικειμενικό και πιο αυτοματοποιημένο πλαίσιο επιλογής του βέλτιστου φωτισμού.

Μια τέτοια, εξελιγμένης μορφής ποσοτική και ποιοτική ανάλυση της γήινης επιφάνειας, θα αποτελέσει πρόσφορο έδαφος για περισσότερες ακόμη διερευνητικές μελέτες παραμετροποίησης της ΦΠΚ ως προς την φυσιογνωμία του αναγλύφου της εκάστοτε απεικονιζόμενης περιοχής, σχετικά με την επιλογή του πλήθους των φωτεινών πηγών, τη μελέτη επίδρασης της κλίσης του φωτισμού στο οπτικό αποτέλεσμα και την ξεχωριστή επιλογή κλίσης για κάθε διαφορετική κατεύθυνση φωτισμού, ή τον υπολογισμό των σταθερών βαρών σε περίπτωση καθολικά σταθμισμένης ΦΠΚ.

Τα πειράματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων αποτελούν τεχνολογική αιχμή στη διερεύνηση ζητημάτων χαρτογραφικής σχεδίασης και αντίληψης, παρέχοντας αντικειμενικά δεδομένα αξιολόγησης, στα οποία μπορεί κανείς με ασφάλεια να επενδύσει ερευνητικά. Ως επόμενο βήμα στην αξιολόγηση των μοντέλων αμιγούς ή συνδυασμένης ΦΠΚ, θα προσέφερε σημαντικά στοιχεία η υλοποίηση πειραμάτων με συγκεκριμένα ερωτήματα και διαδικασίες, όπως πχ. η διάκριση υψομετρικών διαφορών, ο εντοπισμός ορίων των εδαφικών εξάρσεων, ή ο εντοπισμός του δομικού ιστού του αναγλύφου. Κρίνεται δε σκόπιμη η διεξαγωγή συγκριτικών ελέγχων στο σύνολο των μοντέλων ΦΠΚ και σε περισσότερες περιοχές ελέγχου, προκειμένου να εξαχθούν ισχυρά κριτικά συμπεράσματα, ενώ με αφορμή ενδείξεις στα πειράματα της διατριβής, ενδιαφέρον θα είχε η διερεύνηση του ρόλου που μπορεί να έχει το χαρακτηριστικό της τραχύτητας του αναγλύφου στην αποδοτικότητα της ΦΠΚ.

Τέλος, αποτελεί οπωσδήποτε πρόκληση η ενσωμάτωση εικόνων ΦΠΚ σε ολοκληρωμένες χαρτοσυνθέσεις μέσω υπέρθεσης. Λόγω της υψηλότερης πυκνότητας πληροφορίας και των περισσότερων εναλλαγών τονικότητας, αναμένεται πως η χρήση τους θα είναι εφικτή σε συνθέσεις με περιορισμένο πλήθος επιπέδων πληροφορίας, όπως οι θεματικοί χάρτες επιφανειακών συμβόλων (χωροπληθείς, ισοπληθείς ή απεικονίσεις ονομαστικής διαφοροποίησης μέσω απόχρωσης) και οι ενημερωτικοί χάρτες διαδικτυακών υπηρεσιών, εφαρμόζοντας βεβαίως τους κατάλληλους χειρισμούς στη ρύθμιση της φωτεινότητας και κυρίως, της τονικής αντίθεσης.

## ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

- Tzelepis N., Nakos B. (2003). A study on the lightning factors affecting relief presentation. In *Proceedings of 21th International Cartographic Conference* (pp. 1343-1350). Durban, South Africa: International Cartographic Association.
- Loissios D., Tzelepis N., Nakos B. (2007). A methodology for creating analytical hill-shading by combining different lighting directions. In *Proceedings of 23rd International Cartographic Conference* (διαθέσιμο στην ιστοθέση [icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm)). Moscow, Russia: International Cartographic Association.
- Τζελέπης Ν., Λοΐσιος Δ., Νάκος Β. (2008). Μια μεθοδολογία για τη δημιουργία αναλυτικής σκίασης του αναγλύφου με συνδυασμό διαφορετικών διευθύνσεων φωτισμού. Στα *Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας* (σσ. 539-549). Ιωάννινα: Εκδόσεις Ζήτη.
- Λέλλη Α., Τζελέπης Ν., Νάκος Β. (2016). Ανασκόπηση Σύγχρονων Αναλυτικών Τεχνικών βελτιστοποίησης της Σκίασης του Αναγλύφου. Στο *Τιμητικός Τόμος για τον Ομότιμο Καθηγητή Χρηστογεώργη Καλτσίκη* (Επιμ. Ι. Παρασχάκης, Δ. Ρωσσικόπουλος, Α. Φωτίου, σσ. 211-224). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Tzelepis N., Kaliakouda A., Krassanakis V., Misthos L.M., Nakos B. (2020). Evaluating the perceived visual complexity of multidirectional hill-shading. *Geodesy and Cartography*, 69, 161-172.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Biland J., Çöltekin A. (2017). An empirical assessment of the impact of the light direction on the relief inversion effect in shaded relief maps: NNW is better than NW. *Cartography and Geographic Information Science*, 44(4), 358-372.
- Brassel K. (1974). A Model for Automatic Hill-Shading. *The American Cartographer*, 1(1), 15-27.
- Castner H.W., Eastman R.J., (1984). Eye-Movement Parameters and Perceived Map Complexity - I. *The American Cartographer*, 11(2), 107-117.
- Coltekin A., Rautenbach, V., Coetzee S., Mokwena, T. (2018). Landform perception accuracy in shaded relief maps: a replication study confirms that NNW lighting is better than NW against the relief inversion effect. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4, 101-106.
- Coltekin A., Biland J. (2019). Comparing the terrain reversal effect in satellite images and in shaded relief maps: an examination of the effects of color and texture on 3D shape perception from shading. *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 442-459.
- Farmakis-Serebryakova M., Hurni L. (2020). Comparison of relief shading techniques applied to landforms. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 253.
- Farmakis-Serebryakova M., Heitzler M., Hurni L. (2022). Terrain Segmentation Using a U-Net for Improved Relief Shading. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 395.
- Gantenbein C. (2012). Creating Shaded Relief for Geologic Mapping using Multiple Light Sources. In *Digital Mapping Techniques' 10 - Workshop Proceedings*. U.S. Geological Survey, Open File Report 2012-1171 (διαθέσιμο στην ιστοθέρση [pubs.usgs.gov/of/2012/1171](https://pubs.usgs.gov/of/2012/1171)).
- Guilbert E., Gaffuri J., Jenny B. (2014). Terrain generalization, in *Abstracting geographic information in a data rich world* (Eds. D. Burghardt, C.

- Duchene, W. Mackaness, pp. 227-258). Berlin: Springer International Publishing.
- Guilbert E., Moulin B. (2017). Towards a common framework for the identification of landforms on terrain models. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 6(1), 12.
- Hobbs F. (1995). The rendering of relief images from digital contour data. *The Cartographic Journal*, 32(2), 111-116.
- Hobbs F. (1999). An investigation of RGB multi-band shading for relief visualisation. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 1(3-4), 181-186.
- Horn B.K. (1982). Hill shading and the reflectance map. *Geo-Processing*, 2, 65-146.
- Hurni L. (2008). Cartographic Mountain Relief Presentation 150 Years of Tradition and Progress at ETH Zurich. In *Mountain mapping and visualisation: Proceedings of the 6th ICA mountain cartography workshop* (διαθέσιμο στην ιστοθέρση [mountaincartography.org/publications/papers/papers\\_lenk\\_08](http://mountaincartography.org/publications/papers/papers_lenk_08)). Lenk, Switzerland: ETH Zurich.
- Imhof E. (1982). *Cartographic relief presentation* (ed. H.J. Steward). Berlin, Germany: Walter de Gruyter.
- Jenny B. (2001). An interactive approach to analytical relief shading. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 38(1-2), 67-75.
- Jenny B., Hurni L. (2006). Swiss-style colour relief shading modulated by elevation and by exposure to illumination. *The Cartographic Journal*, 43(3), 198-207.
- Jenny B., Heitzler M., Singh D., Farmakis-Serebryakova M., Liu J.C., Hurni L. (2020). Cartographic relief shading with neural networks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer graphics*, 27(2), 1225-1235.
- Jenny B., Patterson T. (2021). Aerial perspective for shaded relief. *Cartography and Geographic Information Science*, 48(1), 21-28.

- Καλιακούδα Α., (2017). Αξιολόγηση εναλλακτικών τεχνικών φωτοσκίασης του αναγλύφου με πολλαπλές φωτεινές πηγές με τη βοήθεια μετρήσεων οφθαλμικών κινήσεων. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (διαθέσιμο στην ιστοθέση [dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/46544](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/46544)).
- Kaplan R., Kaplan S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kennelly P.J. (2008). Terrain maps displaying hill-shading with curvature. *Geomorphology*, 102(3-4), 567-577.
- Kennelly P.J., Stewart A.J. (2006). A uniform sky illumination model to enhance shading of terrain and urban areas. *CaGIS*, 33, 21–36.
- Kennelly P., Stewart J. (2013). The Application and Effects of Sky Models on Hill Shading. In *Proceedings of 26th International Cartographic Conference* (Eds. M. Buchroithner, F. Buchroithner, N. Prechtel, D. Burghardt, K. Pippig, B. Schroter). Dresden, Germany: International Cartographic Association, διαθέσιμο στην ιστοθέση [icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2013](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013).
- Kennelly P.J., Stewart A.J. (2014). General sky models for illuminating terrains. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(2), 383-406.
- Kraak M. (1988). *Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques*. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Netherlands: Delft University Press.
- Krassanakis V., Filippakopoulou V., Nakos B. (2014). EyeMMV toolbox: An eye movement post-analysis tool based on a two-step spatial dispersion threshold for fixation identification. *Journal of Eye Movement Research*, 7(1), 1-10.
- Krassanakis V., Filippakopoulou V., Nakos B. (2016). Detection of moving point symbols on cartographic backgrounds. *Journal of Eye Movement Research*, 9(2), 1-16.



- Krassanakis V., Misthos L. M., Menegaki M. (2018). LandRate toolbox: an adaptable tool for eye movement analysis and landscape rating. In *ET4S Eye Tracking for Spatial Research, Proceedings of the 3rd International Workshop* (Eds. P. Kiefer, I. Giannopoulos, F. Gobel, M. Raubal, A. Duchowski, pp. 40-45). Zurich, Switzerland: ETH Zurich.
- Krassanakis V., Cybulski P. (2019). A review on eye movement analysis in map reading process: the status of the last decade, *Geodesy and Cartography*, 68(1), 191-209.
- Κρασανάκης Β. (2009). *Καταγραφή του ίχνους της οπτικής αναζήτησης: Μια μέθοδος διερεύνησης της επιλεκτικότητας της οπής ως βασικού χαρακτηριστικού του σχήματος*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (διαθέσιμο στην ιστοθέση [dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/3006](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/3006)).
- Κρασανάκης Β., (2014). *Ανάπτυξη μεθοδολογίας ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων για τη μελέτη της οπτικής αντίληψης σε χάρτες κινούμενης εικόνας*. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (διαθέσιμο στην ιστοθέση [dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/39974](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/39974)).
- Kuper R. (2017). Evaluations of landscape preference, complexity, and coherence for designed digital landscape models. *Landscape and Urban Planning*, 157, 407–421.
- Λέλλη Α., Τζελέπης Ν., Νάκος Β. (2016). Ανασκόπηση Σύγχρονων Αναλυτικών Τεχνικών βελτιστοποίησης της Σκίασης του Αναγλύφου. Στο *Τιμητικός Τόμος για τον Ομότιμο Καθηγητή Χρηστογεώργη Καλτσίκη* (Επιμ. Ι. Παρασχάκης, Δ. Ρωσσικόπουλος, Α. Φωτίου, σσ. 211-224). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Leonowicz A.M., Jenny B., Hurni L. (2010). *Terrain sculptor: generalizing terrain models for relief shading*. *Cartographic Perspectives*, 67, 51-60.
- Li S., Yin G., Ma J., Wen B., Zhou Z. (2022). Generation Method for Shaded Relief Based on Conditional Generative Adversarial Nets. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 374.
- Loissios D., Tzelepis N., Nakos B. (2007). A methodology for creating analytical hill-shading by combining different lighting directions. In *Proceedings of 23rd International Cartographic Conference* (διαθέσιμο στην ιστοθέση

- [icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm)). Moscow, Russia: International Cartographic Association.
- Lukas K., Weibel R. (1995). Assessment and improvement of methods for analytical hillshading. In *Proceedings of 16th International Cartographic Conference*. Barcelona, Spain: International Cartographic Association (διαθέσιμο στην ιστοθέση [icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC1995](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC1995)).
- Machado P., Romero J., Nadal M., Santos A., Correia J. Carballal A. (2015). Computerized measures of visual complexity. *Acta Psychologica*, 160, 43–57.
- Mark R.K. (1992). *Multidirectional, oblique-weighted, shaded-relief image of the Island of Hawaii*. U.S. Geological Survey, Open File Report 1992-422 (διαθέσιμο στην ιστοθέση [pubs.er.usgs.gov/publication/ofr92422](http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr92422)).
- Marston B. E., Jenny B. (2015). Improving the representation of major landforms in analytical relief shading. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(7), 1144-1165.
- Meyer M.A., Booker J.M. (2001). *Eliciting and analyzing expert judgment: a practical guide*. Philadelphia, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Misthos L.M., Messaris G., Damigos D., Menegaki M. (2017). Exploring the perceived intrusion of mining into the landscape using the fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Engineering*, 101, 60–74.
- Moellering H., Kimerling J.A. (1990). A new digital slope-aspect display process. *Cartography and Geographic Information Systems*, 17(2), 151-159.
- Μπαργιώτα Θ. (2013). *Ανάλυση περιοχών κρίσιμων σημείων χαρτογραφικών γραμμών με τη βοήθεια οφθαλμικών κινήσεων*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (διαθέσιμο στην ιστοθέση [dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/8600](http://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/8600)).
- Nagi R. (2014). Multi-Directional Hillshade Makes Your Eyes Maps Pop. *ArcUser*, 17(4), 54-55.
- Νάκος Β. (2021). *Στοιχεία Αναλυτικής Χαρτογραφίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.

- Νάκος Β., Τζελέπης Ν. (1994). Η Σκιά του Ανάγλυφου στους χάρτες. *Πυρφόρος*, 16, 44-48.
- Νάκος Β., Φιλιππακοπούλου Β. (1993). *Γενική Χαρτογραφία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Patel V.L., Arocha J.F., Kaufman, D.R. (1999). Expertise and Tacit Knowledge in Medicine. In *Tacit Knowledge in Professional Practice: Research and Practitioner Perspectives* (Eds. R.J. Sternberg, J.A. Horvath, pp. 75–99). New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Patterson T. (1997). A Desktop Approach to Shaded Relief Production. *Cartographic Perspectives*, 28, 38-40.
- Patterson T. (2016). Some thoughts about shaded relief presentation. *shadedrelief.com* (διαθέσιμο στην ιστοθέση [shadedrelief.com/retro/discussion.html](http://shadedrelief.com/retro/discussion.html)).
- Patterson T., Hermann M. (2014). Creating value-enhanced shaded relief in Photoshop. *shadedrelief.com* (διαθέσιμο στην ιστοθέση [shadedrelief.com/value/value.html](http://shadedrelief.com/value/value.html)).
- Patterson T., Jenny B. (2011). The Development and Rationale of Cross-blended Hypsometric Tints. *Cartographic Perspectives*, 69, 31-45.
- Podobnikar T. (2012). Multidirectional visibility index for analytical shading enhancement. *The Cartographic Journal*, 49(3), 195-207.
- Schruben P. (1999). *Color Shaded Relief Map of the Conterminous United States*. U.S. Geological Survey, Open File Report 99-11 (διαθέσιμο στην ιστοθέση [pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011](http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-011)).
- Στάμου Λ. (2019). Χάρτης και τέχνη, το χρώμα ως κρίσιμη παράμετρος. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (διαθέσιμο στην ιστοθέση [dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/49911](http://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/49911)).
- Tzelepis N., Kaliakouda A., Krassanakis V., Misthos L.M., Nakos B. (2020). Evaluating the perceived visual complexity of multidirectional hill-shading. *Geodesy and Cartography*, 69, 161-172.
- Tzelepis N., Nakos B. (2003). A study on the lightning factors affecting relief presentation. In *Proceedings of 21th International Cartographic*

- Conference (pp. 1343-1350). Durban, South Africa: International Cartographic Association.
- Τζελέπης Ν., Νάκος Β. (1995). Διερεύνηση μεθόδων αναπαράστασης της σκιάς του αναγλύφου στους χάρτες. Στα *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας* (σσ. 275-283). Βόλος: Εκδόσεις Ζήτη.
- Τζελέπης Ν., Λοΐσιος Δ., Νάκος Β. (2008). Μια μεθοδολογία για τη δημιουργία αναλυτικής σκίασης του αναγλύφου με συνδυασμό διαφορετικών διευθύνσεων φωτισμού. Στα *Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας* (σσ. 539-549). Ιωάννινα: Εκδόσεις Ζήτη.
- Tzvetkov J. (2018). Relief visualization techniques using free and open source GIS tools. *Polish Cartographical Review*, 50(2), 61-71.
- Veronesi F., Hurni L. (2014). Changing the light azimuth in shaded relief representation by clustering aspect. *The Cartographic Journal*, 51(4), 291-300.
- Veronesi F., Hurni L. (2015). A GIS tool to increase the visual quality of relief shading by automatically changing the light direction. *Computers & Geosciences*, 74, 121-127.
- Wanzer D. (2022). *Statistics with jamovi* (διαθέσιμο στην ιστοθέση [danawanzer.github.io/stats-with-jamovi](https://danawanzer.github.io/stats-with-jamovi)).
- Weibel R. (1992). Models and experiments for adaptive computer-assisted terrain generalization. *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(3), 133-153.
- Χαλικιάς Μ., Μανωλέσσου Α., Λάλου Π. (2015). *Μεθοδολογία Έρευνας και Εισαγωγή στη Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το IBM SPSS STATISTICS* (διαθέσιμο στην ιστοθέση [repository.kallipos.gr/handle/11419/5075](https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5075)). Ζωγράφου: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Yoeli P. (1967). The mechanisation of analytical hill shading. *The Cartographic Journal*, 4(2), 82-88.
- Zaksek K., Ostir K., Kokalj Z. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote sensing*, 3(2), 398-415.

Zhou X., Dorrer E. (1995). An adaptive algorithm of shaded-relief images from DEMs based on wavelet transform. In *Digital photogrammetry and Remote Sensing '95* (Ed. E.A. Fedosov, pp. 212-224). St. Petersburg, Russia: SPIE Digital Library.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

**Relief Shading:** Ιστότοπος με βιβλιογραφία, τεχνικές, ιστορικά στοιχεία, λογισμικό, διακεκριμένους χαρτογράφους και άλλες εμπειριστατωμένες πληροφορίες σχετικά με τη φωτοσκίαση του αναγλύφου, από το Ινστιτούτο Χαρτογραφίας του ETH Zurich.

[www.reliefshading.com](http://www.reliefshading.com)

**Shaded Relief:** Αποθετήριο χαρτών, χαρτογραφικών δεδομένων, άρθρων και εκπαιδευτικού υλικού, κυρίως για φωτοσκίαση αναγλύφου, από τον Tom Patterson.

[www.shadedrelief.com](http://www.shadedrelief.com)

**Natural Earth:** Ελεύθερα χαρτογραφικά δεδομένα μικρής κλίμακας για όλο τον κόσμο, από την NACIS (North American Cartographic Information Society) και με συνεισφορά εθελοντικής πληροφορίας.

[www.naturalearthdata.com](http://www.naturalearthdata.com)

**Shaded Relief Archive:** Αρχείο ψηφιοποιημένων χαρτών φωτοσκιασμένου ανάγλυφου (κατά πλειοψηφία γεωαναφερμένων) με τη συνδρομή διαφόρων οργανισμών και

[www.shadedreliefarchive.com](http://www.shadedreliefarchive.com)

**Terrain Models:** Ιστότοπος για τα φυσικά μοντέλα εδάφους, τις τεχνικές παραγωγής, την ιστορία της μοντελοποίησης, αντιπροσωπευτικούς καλλιτέχνες και εφαρμογές.

[www.terrainmodels.com](http://www.terrainmodels.com)

**Commission on Mountain Cartography:** Ιστότοπος της Επιτροπής Χαρτογραφίας Ορεινών Περιοχών, δημοσιεύσεις άρθρων συνεδρίων και ημερίδων.

[www.mountaincartography.org](http://www.mountaincartography.org)





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### A. Αποσπάσματα οθόνης των διαδικτυακών ερωτηματολογίων

#### A.1 Ερωτηματολόγιο έρευνας για την επίδραση των μεγεθών καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων στην αξιολόγηση εικόνων φωτοσκίασης αναγλύφου

##### Relief shading evaluation based on eye movement analysis

Dear participant,

This study constitutes an expert judgement process which is a part of a research work that takes place at the Cartography Lab. of National Technical University of Athens and aims to examine how people perceive different topographic relief shading methods.

You are kindly requested to read very carefully the first four sections, which give all the important background information that you need in order to complete a questionnaire (section 5). In section 6 you are also kindly asked to fill in with a few relevant demographic information, while in section 7 you can optionally add any comments.

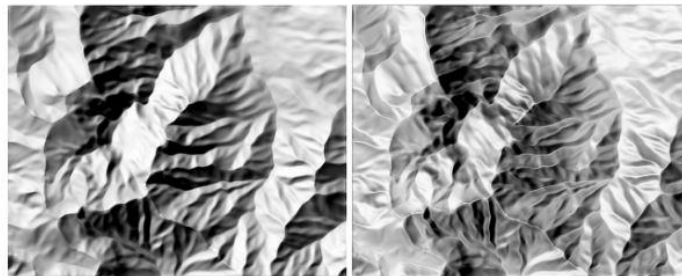
All the data are collected anonymously and will be used only for scientific research/purposes.

Thank you for your participation!

##### Short description of the research

We are carrying out a series of eye tracking experiments regarding the assessment of different topographic relief shading images based on their complexity. Our experiments are based on the collection of eye tracking data under 'free viewing' conditions (i.e. without the need to complete any visual task). The level of information existing in an image could be linked with human responses reflected through eye tracking measurements. We claim that different hill-shading methods are associated with different complexity levels shaping the occurring visual behaviors. In the figure below, we provide an indicative example of different visual complexity levels in hill-shaded maps.

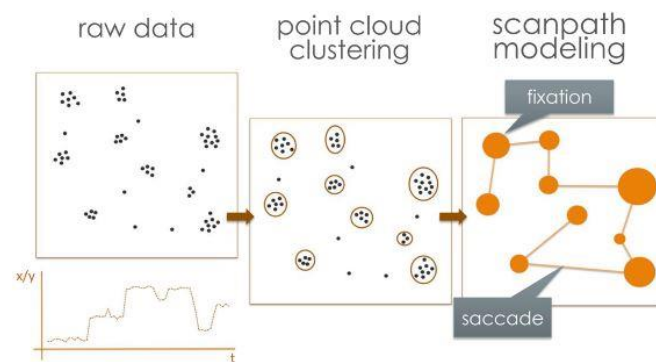
Example of different visual complexity levels in hill-shaded maps: The map on the right side is characterized by higher complexity level.



Certain eye tracking metrics (ETMs) can be utilized to characterize these visual behaviors, as well as to assess and/or rank the different relief shading images based on their complexity. For this purpose, we are interested in knowing, among a set of pre-selected ETMs, which of them are the most relevant and in which way they affect the ranking of hill-shading images.

## Description of Eye Tracking Metrics

Eye movements are successive during the observation of any type of visual stimulus, while the position of human gaze continuously changes. The main performed movements, which are also connected with the basic eye tracking metrics (ETMs), refer to two types of events: fixations and saccades. During a fixation event, eyes remain relative stationary on specific points of a visual scene, while saccades correspond to transition movements from the several points of the scene. The sequence between fixation and saccades generates a visual trace, the so-called 'scanpath' (see also the abstract diagram below).



## Relevant Eye Tracking Metrics (ETMs)

For the purpose of the present study, the relevant eye tracking metrics (per stimulus) with their meanings are presented below:

ETM	What it measures (according to Poole & Ball, 2005)
Number of fixations	More overall fixations indicate less efficient search (perhaps due to sub-optimal layout of the interface).
Duration (average) of fixations	A longer fixation duration indicates difficulty in extracting information, or it means that the object is more engaging in some way.
Length (average) of saccades	Larger saccades indicate more meaningful cues, as attention is drawn from a distance.
Scanpath duration	A longer-lasting scanpath indicates less efficient scanning.
Length of scanpath	A longer scanpath indicates less efficient searching (perhaps due to a sub-optimal layout).
Saccade duration/Fixation duration Ratio	This compares time spent searching (saccades) to time spent processing (fixating). A higher ratio indicates more searching or less processing.

### Rationale for selecting and ranking ETMs

Now, you will have to attribute the level of influence to each of the six aforementioned ETMs according to their degree of relevance and their positive or negative (+/-) contribution. The possible influence levels are the following ones:

- Strong positive influence
- Moderate positive influence
- Weak positive influence
- Not relevant
- Weak negative influence
- Moderate negative influence
- Strong negative influence

This influence refers to whether, how much and in what way the selected ETM is affected by the visual complexity of each hillshading technique. For instance, if a participant attributes 'Moderate positive influence' to a selected ETM – e.g., 'Duration of Fixations' –, this means that as visual complexity of hillshaded maps increases, then 'Duration of Fixations' increases, as well, while their interrelationship degree is moderate.

In addition, another coefficient is required, representing the participant's level of confidence about the contribution of each ETM:

- Very certain
- Moderately certain
- Slightly certain

### Questionnaire

#### Metric's influence \*

	Strong negative	Moderate negative	Weak negative	Not relevant	Weak positive	Moderate positive	Strong positive
Number of fixations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Average fixation duration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Average saccade length	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scanpath duration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scanpath length	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Saccade duration/fixation duration ratio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

#### Metric's level of confidence \*

	Slightly certain	Moderately certain	Very certain
Number of fixations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Average fixation duration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Average saccade length	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scanpath duration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Scanpath length	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Saccade duration/fixation duration ratio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Background/Demographic questions

Field/domain of expertise: \*

Η απάντησή σας

Years of experience in the domain: \*

Η απάντησή σας

Level: \*

- Undergraduate student
- Postgraduate student
- PhD student
- Postdoctoral researcher
- Research fellow/Independent researcher
- Professor (at any level)
- Άλλο: \_\_\_\_\_

Age: \*

Η απάντησή σας

Gender: \*

- Female
- Male
- Prefer not to say

Nationality: \*

Η απάντησή σας

## A.2 Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης μοντέλων φωτοσκίασης αναγλύφου

Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων Load unfinished survey [Resume later](#)

0%

### Περιγραφή - Στοιχεία

Η παρούσα έρευνα γίνεται στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής που εκπονείται στο **Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου** και αφορά σε μία αξιολόγηση εικόνων Φωτοσκίασης Πολλαπλών Κατευθύνσεων.

Επιλέξτε φύλο:

Άνδρας  Γυναίκα  Δεν επιθυμώ να πω

Επιλέξτε ηλικιακή ομάδα:

20-35 ετών  35-50 ετών  50-65 ετών

Επιλέξτε ηλικιακή ομάδα:

20-35 ετών  35-50 ετών  50-65 ετών

Επιλέξτε ιδιότητα:

Ε.Δ.Π.-Ε.Τ.Ε.Π.  Δρ.-Υ.Δ.-Μετ.Σπουδ.

[Next](#)

Φωτοσκίαση Πολλαπλών Κατευθύνσεων Resume later

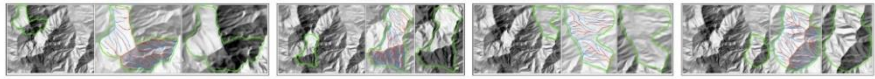
2%

### Οδηγίες

Με τη μέθοδο της φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, αναπαρίσταται με εποπτικό και ρεαλιστικό τρόπο η μορφή της γήινης επιφάνειας. Κατά την υλοποίηση της μεθόδου χρησιμοποιείται κατά κανόνα μόνο μία φωτεινή πηγή, ως επί το πλείστον από τη βορειοδυτική κατεύθυνση. Είναι αναμενόμενο ότι, αναλόγως της μορφολογίας του αναγλύφου της εκάστοτε περιοχής, θα προκύπτουν ιδιαίτερα σκοτεινά, ή ιδιαίτερα φωτεινά τμήματα όπου η πληροφορία της ποικιλίας του αναγλύφου θα αποδίδεται ελλιπώς, ή και καθόλου.

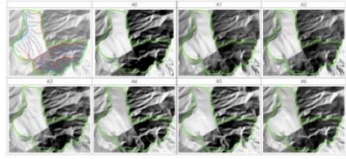
Στις εικόνες που ακολουθούν, επιχειρείται η θεραπεία του προβλήματος με την αξιοποίηση διαφόρων παραλλαγών φωτοσκίασης πολλαπλών κατευθύνσεων. Σε μία περιοχή που χαρακτηρίζεται από ποικιλία μορφολογικών σχηματισμών, έχουν υλοποιηθεί επτά (7) μοντέλα φωτοσκίασης και για την αξιολόγησή τους έχουν επιλεγεί τέσσερα (4) συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής (Α, Β, Γ, Δ).

Τμήμα Α Τμήμα Β Τμήμα Γ Τμήμα Δ



Για κάθε τμήμα, παρουσιάζονται τα επτά (7) υλοποιημένα μοντέλα φωτοσκίασης, παραθέτοντας την εφαρμογή τους στην ευρύτερη περιοχή (εικόνα αριστερά), τη μεγέθυνση στο συγκεκριμένο τμήμα που επισημαίνεται με πράσινο περίγραμμα (εικόνα δεξιά) και τις μορφολογικές δομές του τμήματος, δηλ. τις κορυφογραμμές και τα υδατορεύματα, με κόκκινο και μπλέ χρώμα αντιστοίχως (εικόνα στο κέντρο).

Για κάθε μοντέλο, αφού παρατηρήσετε το μεγενθυμένο τμήμα φωτοσκίασης σε αντιπαράθεση με την απεικόνιση των μορφολογικών δομών, ζητείται να αξιολογήσετε σε κλίμακα 1 ως 5 την **πιστότητα με την οποία αποδίδεται η πληροφορία του τοπογραφικού αναγλύφου**. Θα πρέπει να λάβετε υπόψην **το ποσοστό των συνολικών μορφολογικών δομών που διακρίνεται**, αλλά και **το πόσο ευδιάκριτες** είναι μέσω των τονικών αντιθέσεων της φωτοσκίασης.



Στο τέλος των αξιολογήσεων κάθε τμήματος, παρατίθενται και οι επτά (7) εικόνες φωτοσκίασης μαζί, όπου ζητείται η ίδια αξιολόγηση -βάσει δηλαδή της αντιπαράθεσης με τις μορφολογικές δομές- με τη διαφορά ότι δίνεται η δυνατότητα οπτικής σύγκρισης και μεταξύ των διαφορετικών φωτοσκιάσεων.

Η παράθεση των επτά (7) ατομικών αξιολογήσεων και της συνολικής αξιολόγησης επαναλαμβάνεται για κάθε ένα από τα τέσσερα (4) διαφορετικά τμήματα Α, Β, Γ και Δ.

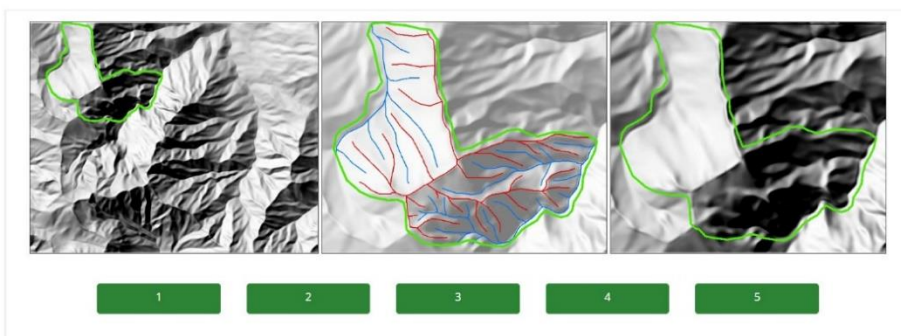
Κατά την πρώτη θέση κάθε αξιολόγησης είναι υποχρεωτική η επιλογή ενός βαθμού, προκειμένου να επιτραπεί η μετάβαση στην επόμενη. Κατόπιν, μπορείτε αν θέλετε να επανέλθετε και να διαφοροποιήσετε τις επιλογές σας πριν την τελική, συνολική υποβολή της έρευνας. Επισημαίνεται ακόμη, πως είναι δυνατή η προσωρινή αποθήκευση των αξιολογήσεών σας και η επανόρθωσή τους για την ολοκλήρωση της έρευνας και της υποβολής της.

[Previous](#) [Next](#)



4%

Εικόνα A1

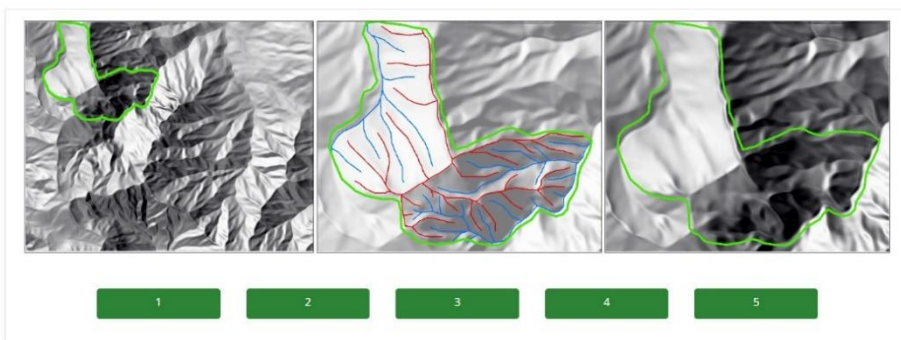


Previous

Next

7%

Εικόνα A2

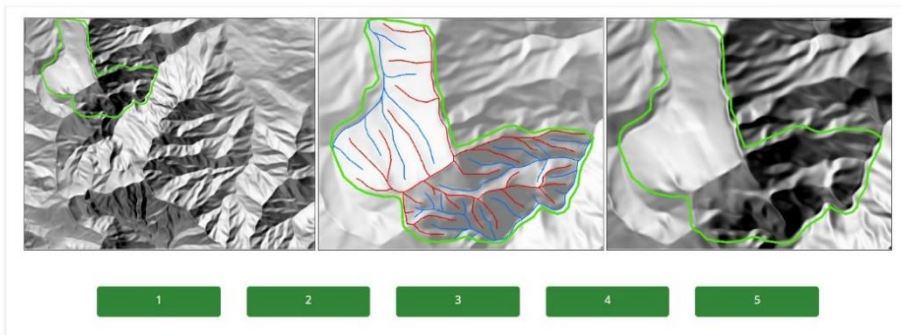


Previous

Next

9%

Εικόνα A3

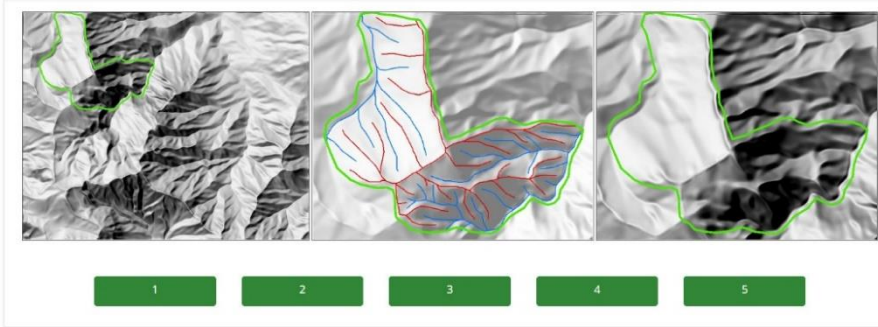


Previous

Next

11%

Εικόνα A4

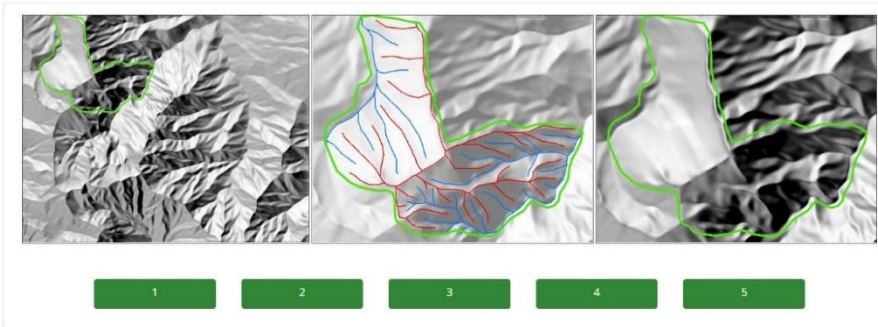


Previous

Next

15%

Εικόνα A5

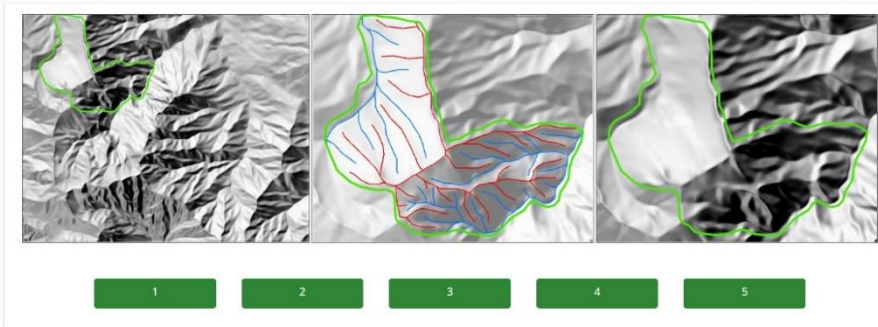


Previous

Next

16%

Εικόνα A6



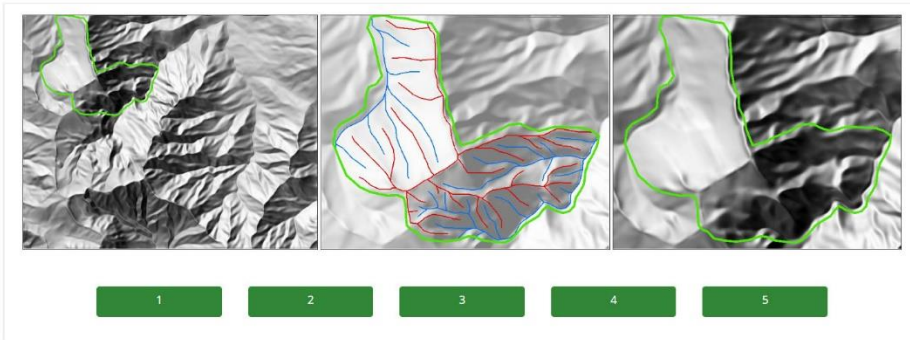
Previous

Next



19%

Εικόνα A7

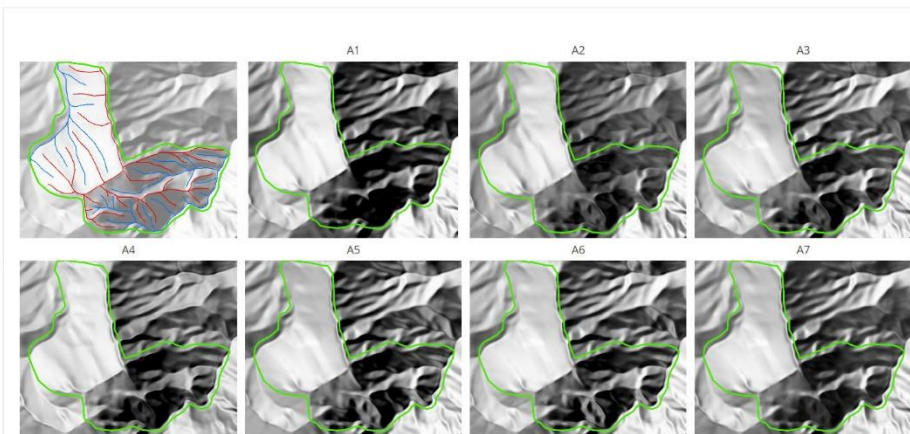


Previous

Next

26%

Επισκόπηση A



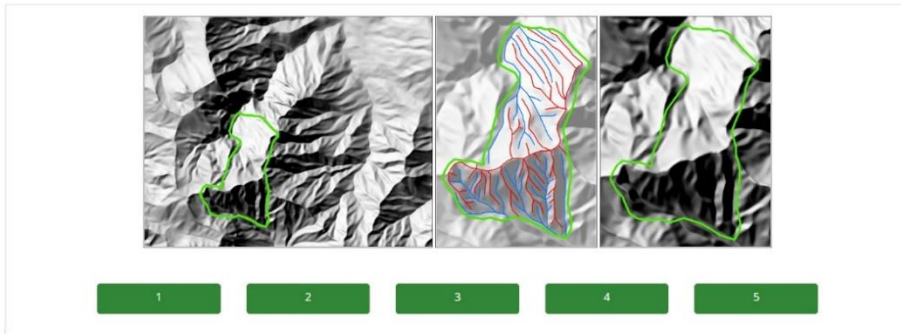
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Previous

Next

28%

Εικόνα B1

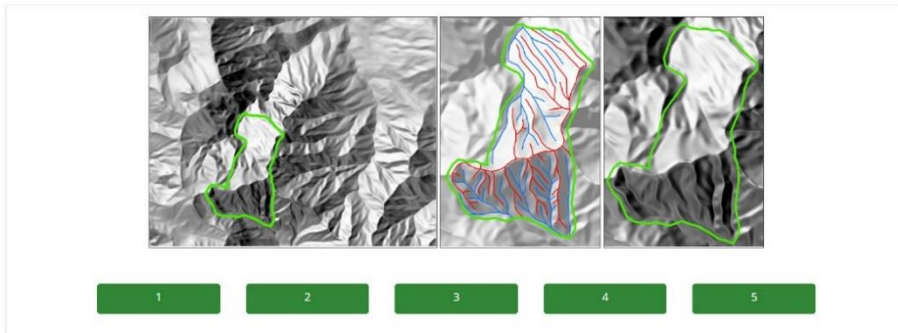


Previous

Next

30%

Εικόνα B2

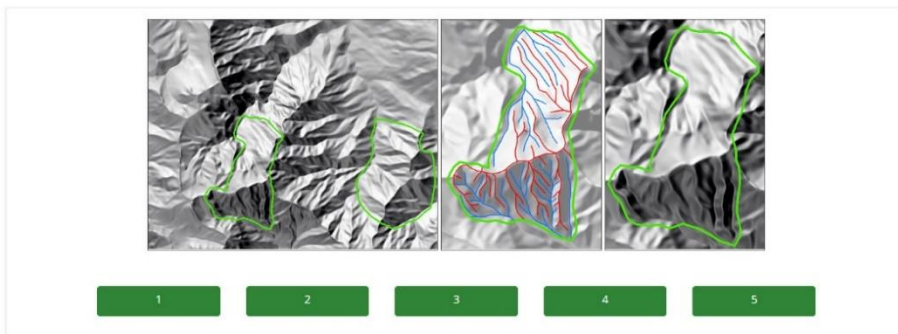


Previous

Next

33%

Εικόνα B3

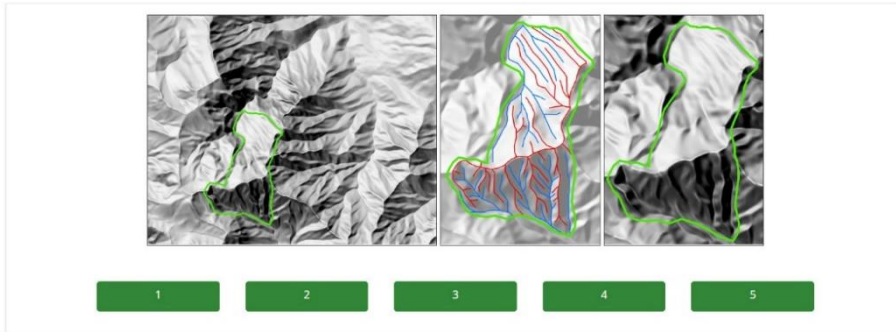


Previous

Next

35%

Εικόνα B4

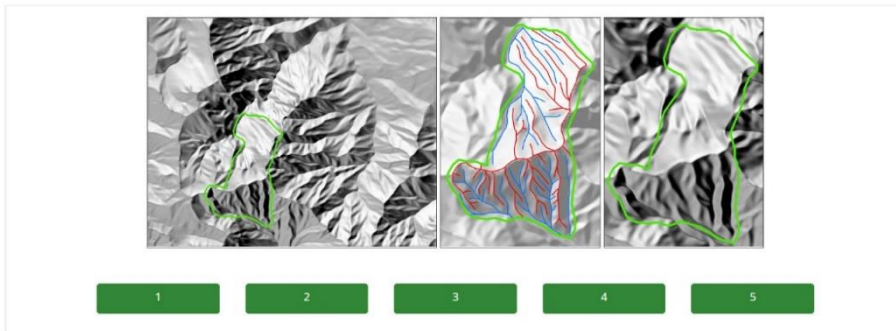


Previous

Next

38%

Εικόνα B5

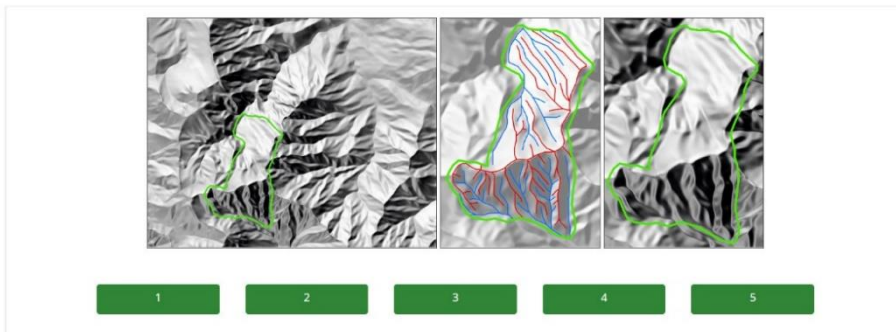


Previous

Next

40%

Εικόνα B6

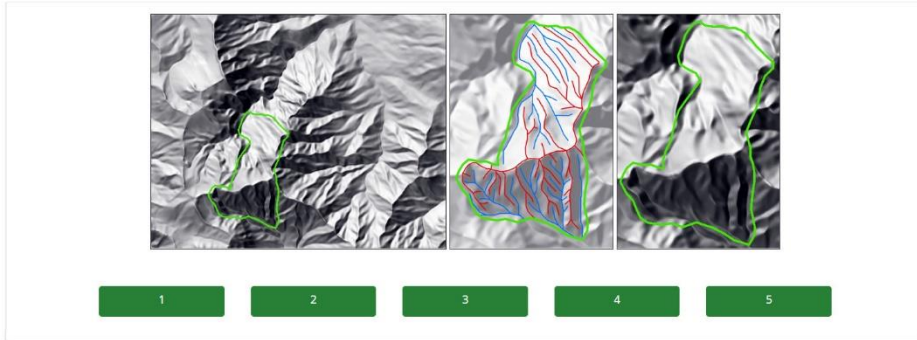


Previous

Next

42%

Εικόνα Β7

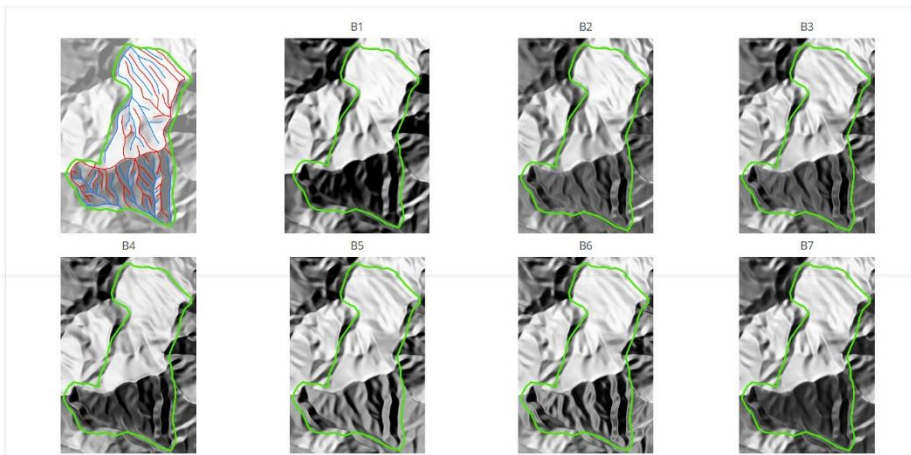


Previous

Next

50%

Επισκόπηση Β



	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

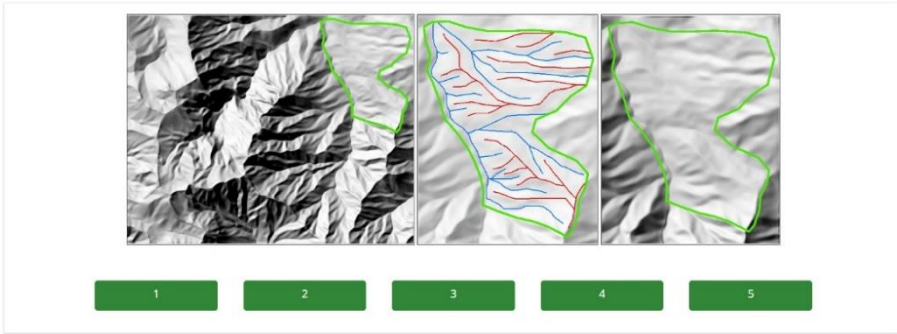
Previous

Next



52%

Εικόνα Γ1

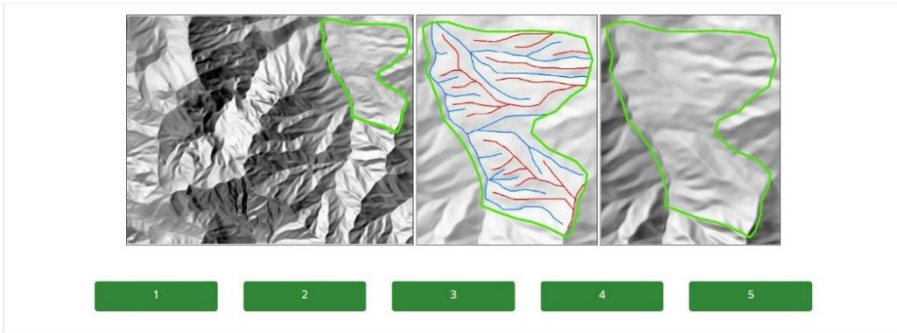


Previous

Next

54%

Εικόνα Γ2

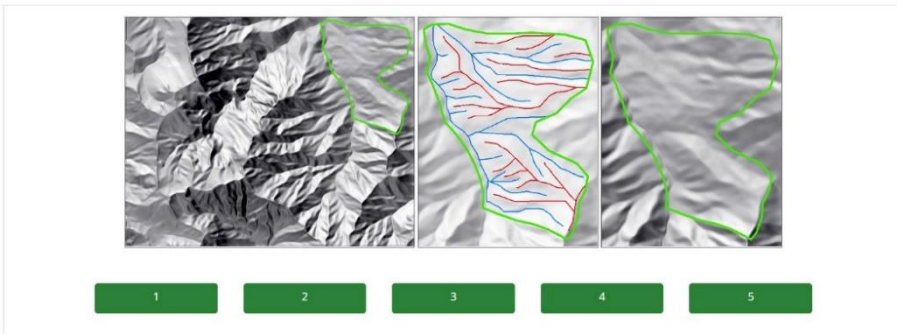


Previous

Next

57%

Εικόνα Γ3

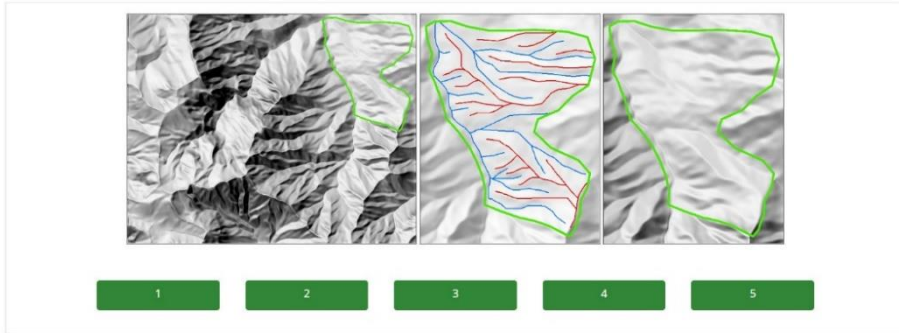


Previous

Next

59%

Εικόνα Γ4

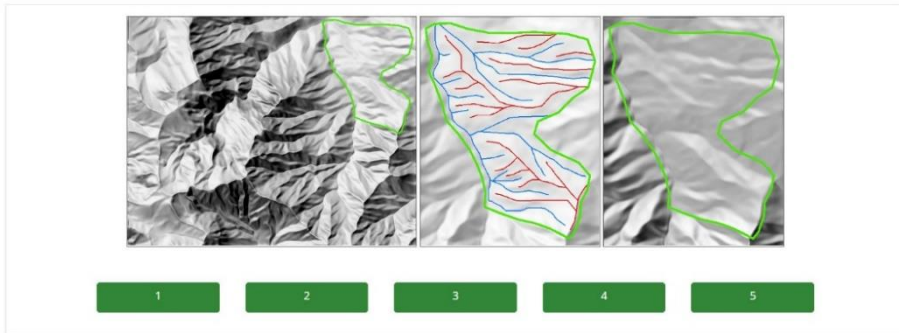


Previous

Next

61%

Εικόνα Γ5

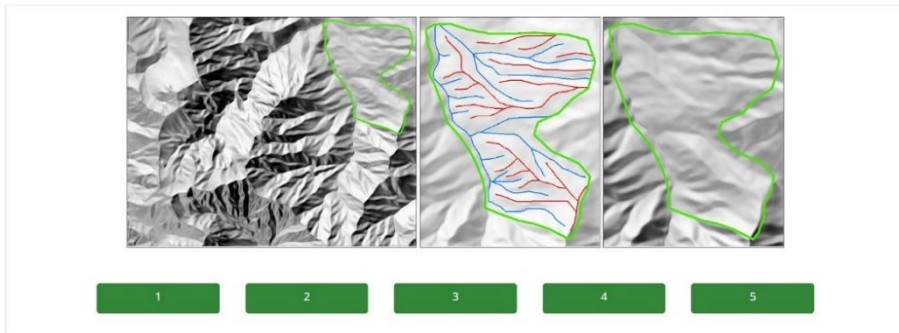


Previous

Next

64%

Εικόνα Γ6

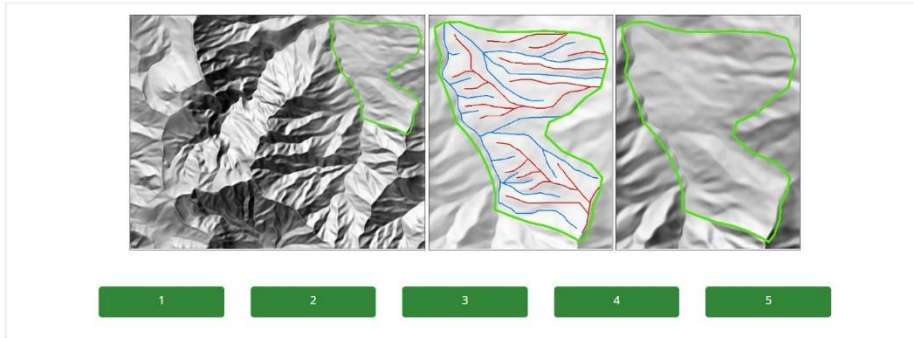


Previous

Next

66%

Εικόνα Γ7



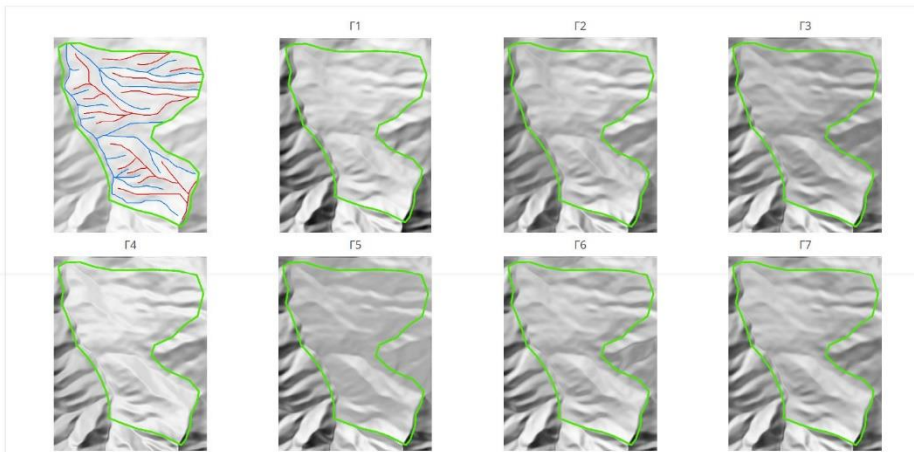
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Previous

Next

73%

Επισκόπηση Γ



	Γ1	Γ2	Γ3	Γ4	Γ5	Γ6	Γ7
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

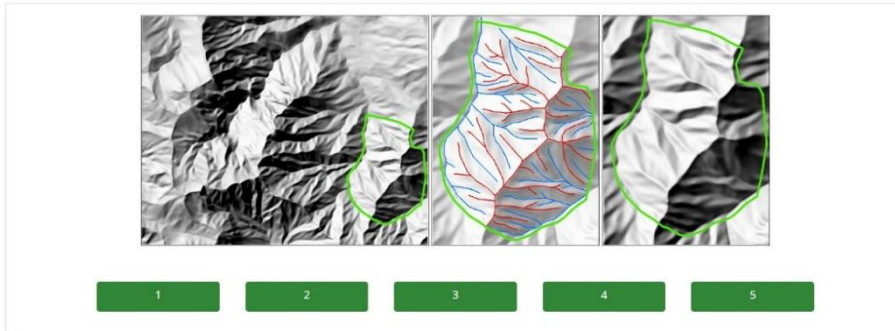
Previous

Next



76%

Εικόνα Δ1

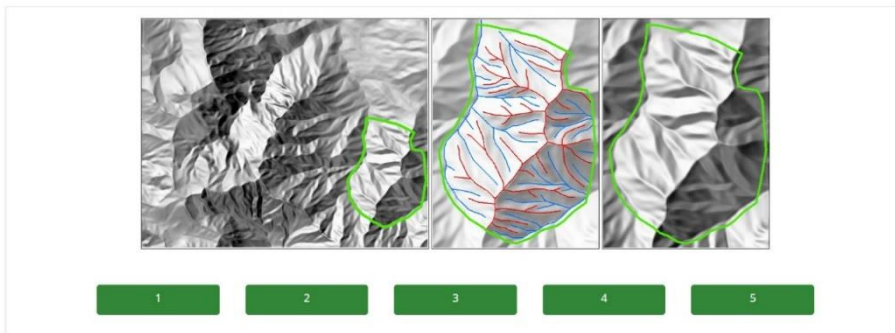


Previous

Next

78%

Εικόνα Δ2

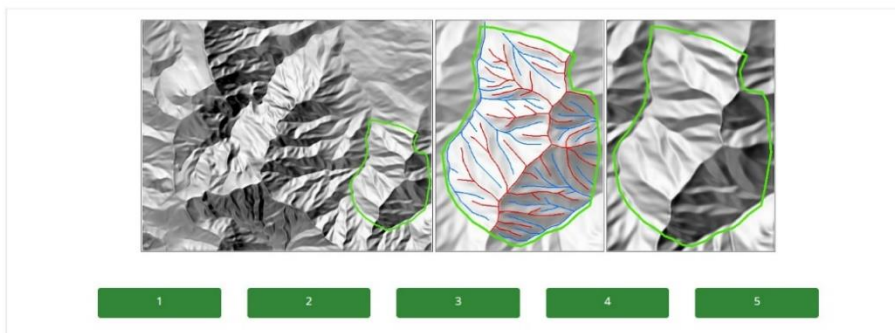


Previous

Next

80%

Εικόνα Δ3

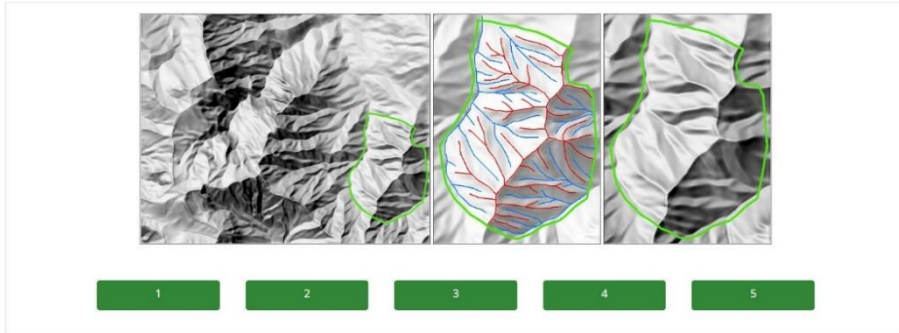


Previous

Next

83%

Εικόνα Δ4

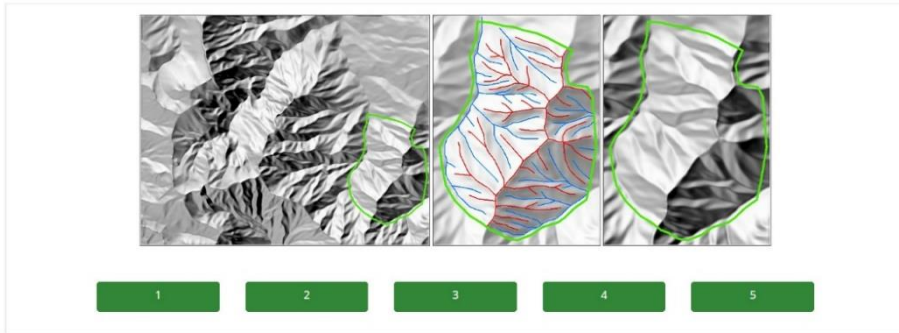


Previous

Next

85%

Εικόνα Δ5

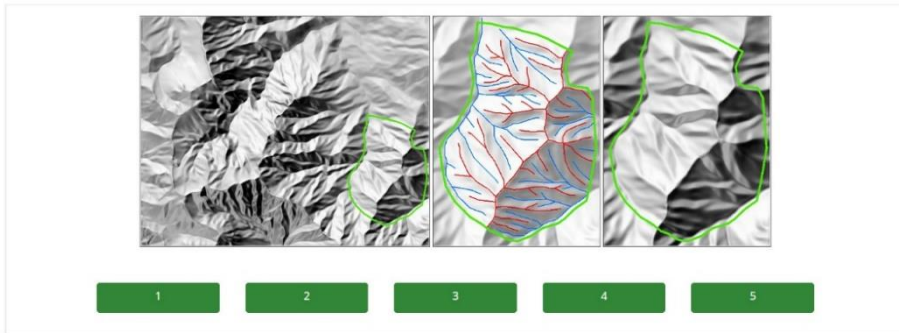


Previous

Next

88%

Εικόνα Δ6

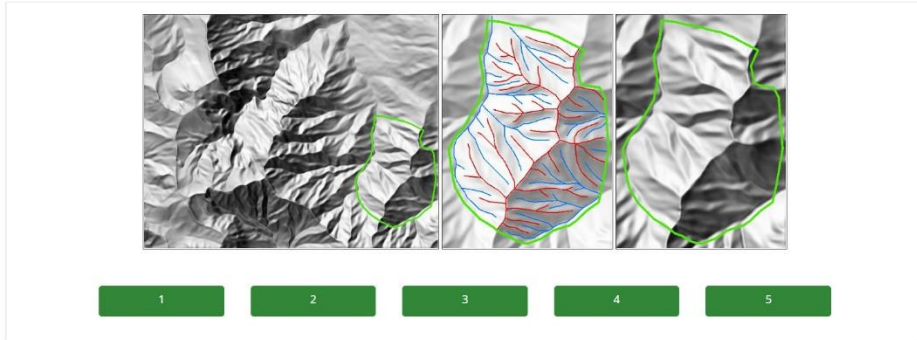


Previous

Next

90%

Εικόνα Δ7

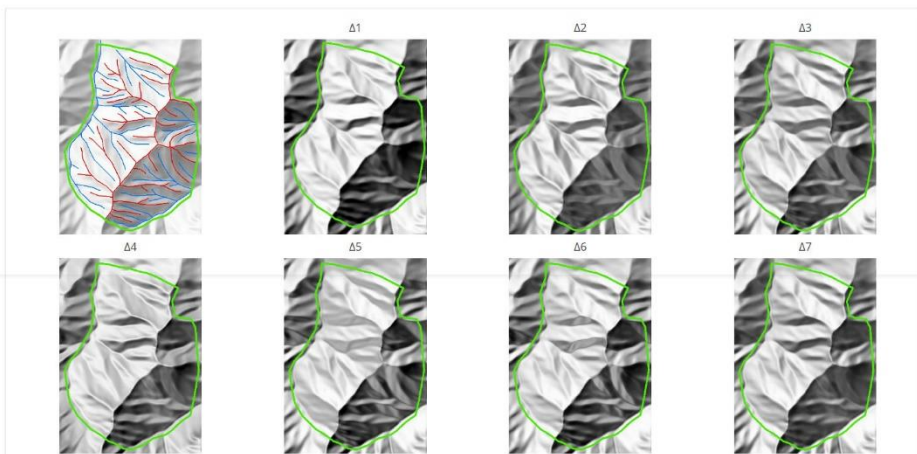


Previous

Next

97%

Επισκόπηση Δ



	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

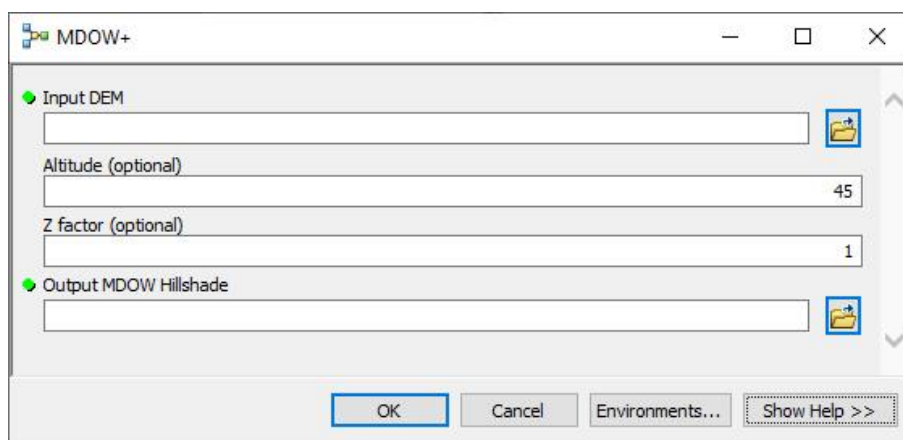
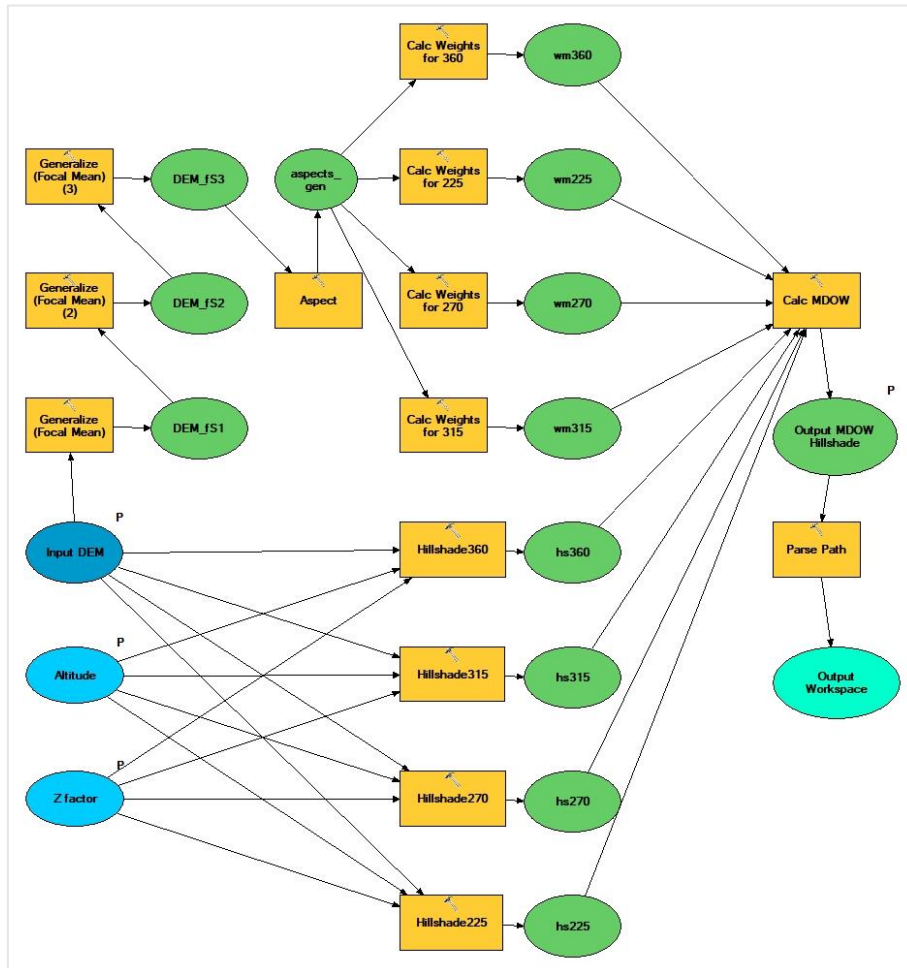
Previous

Submit

B. Διαγράμματα ροής και φόρμες εισαγωγής δεδομένων των μοντέλων φωτοσκίασης (περιβάλλον λογισμικού: *ArcGIS ModelBuilder*)

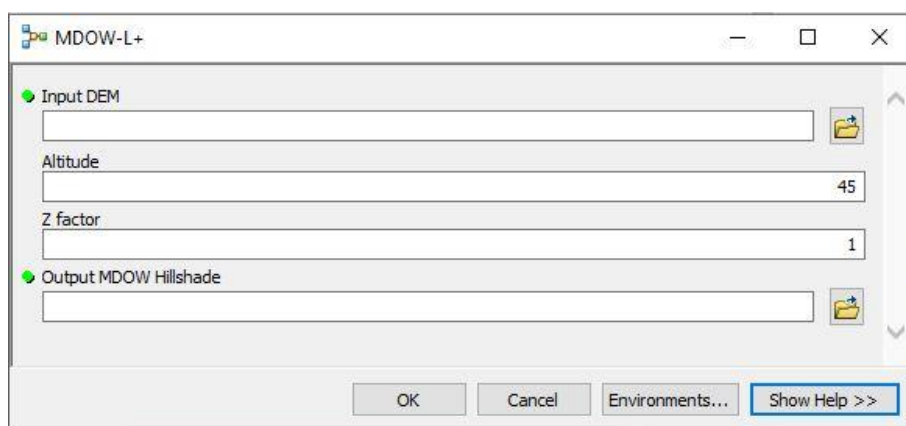
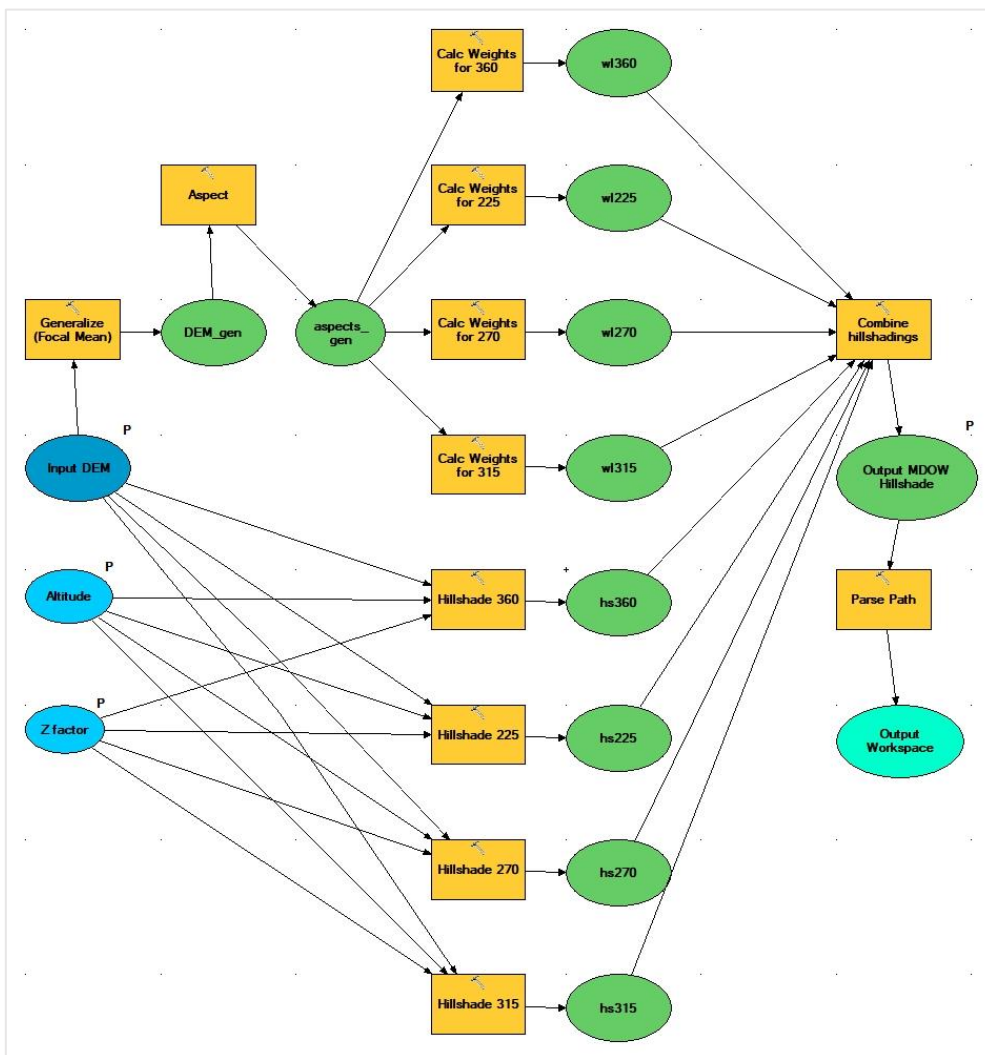
B.1 MDOW+

Πρωτότυπη τεχνική πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ του Mark (1992), με προσθήκη παραμέτρων καθορισμού της κλίσης φωτισμού και του συντελεστή υψομέτρων.



## B.2 MDOW-L+

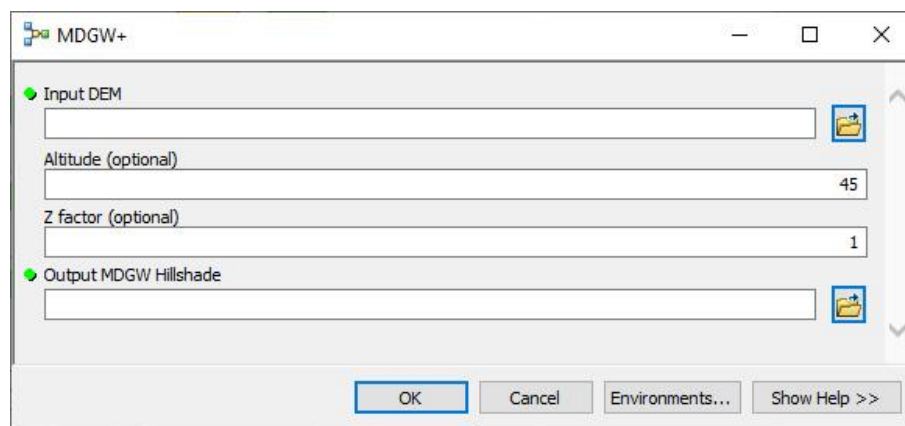
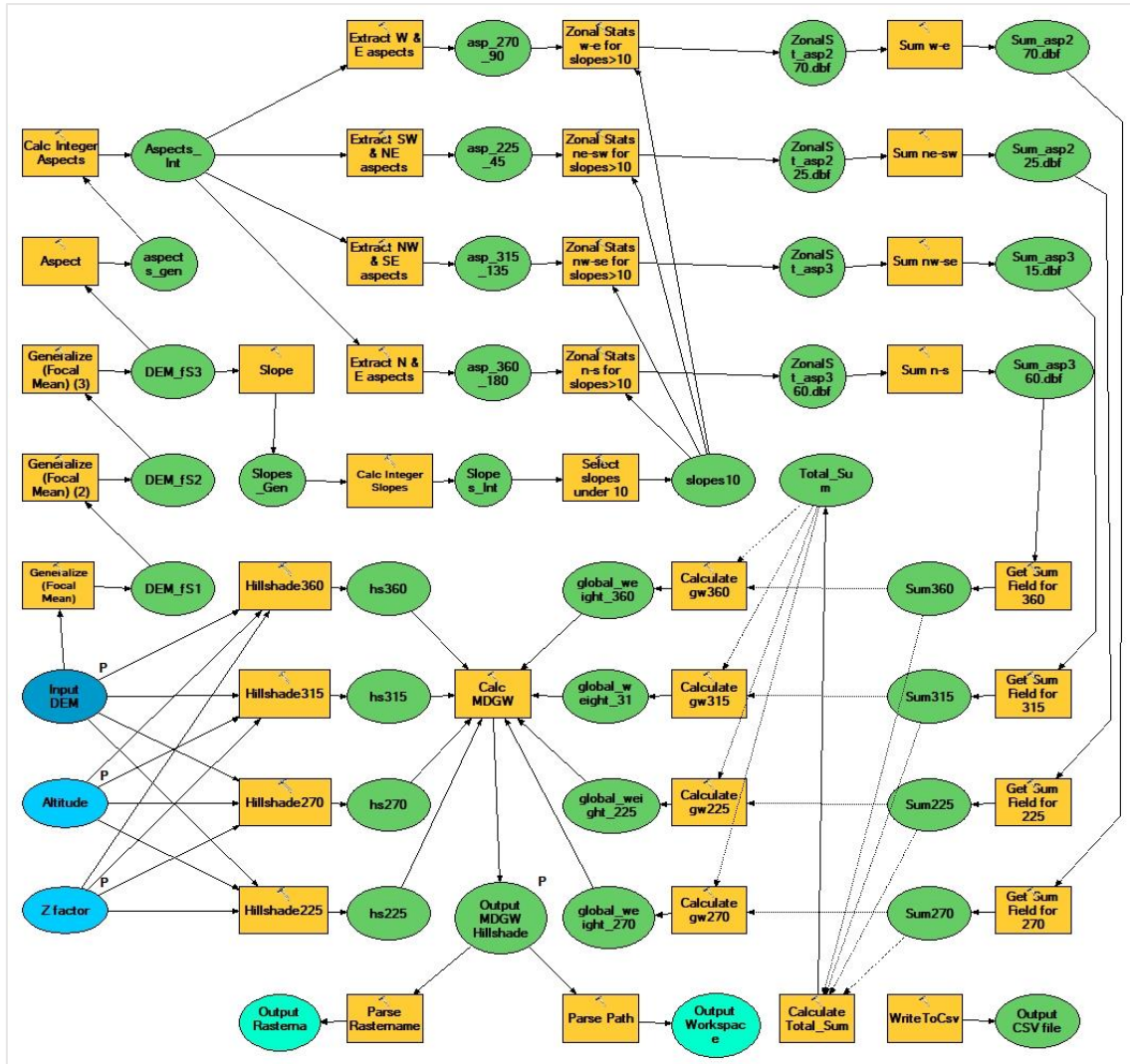
Παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ των Loissios et al. (2007), με προσθήκη παραμέτρων καθορισμού της κλίσης φωτισμού και του συντελεστή υψομέτρων.





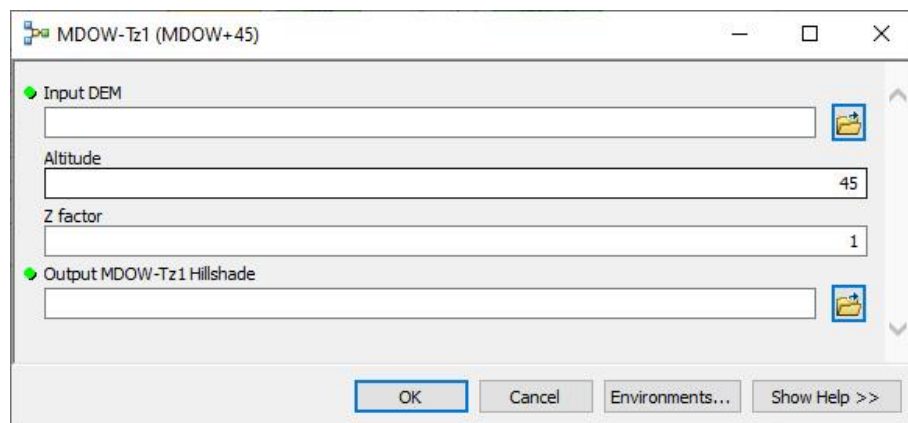
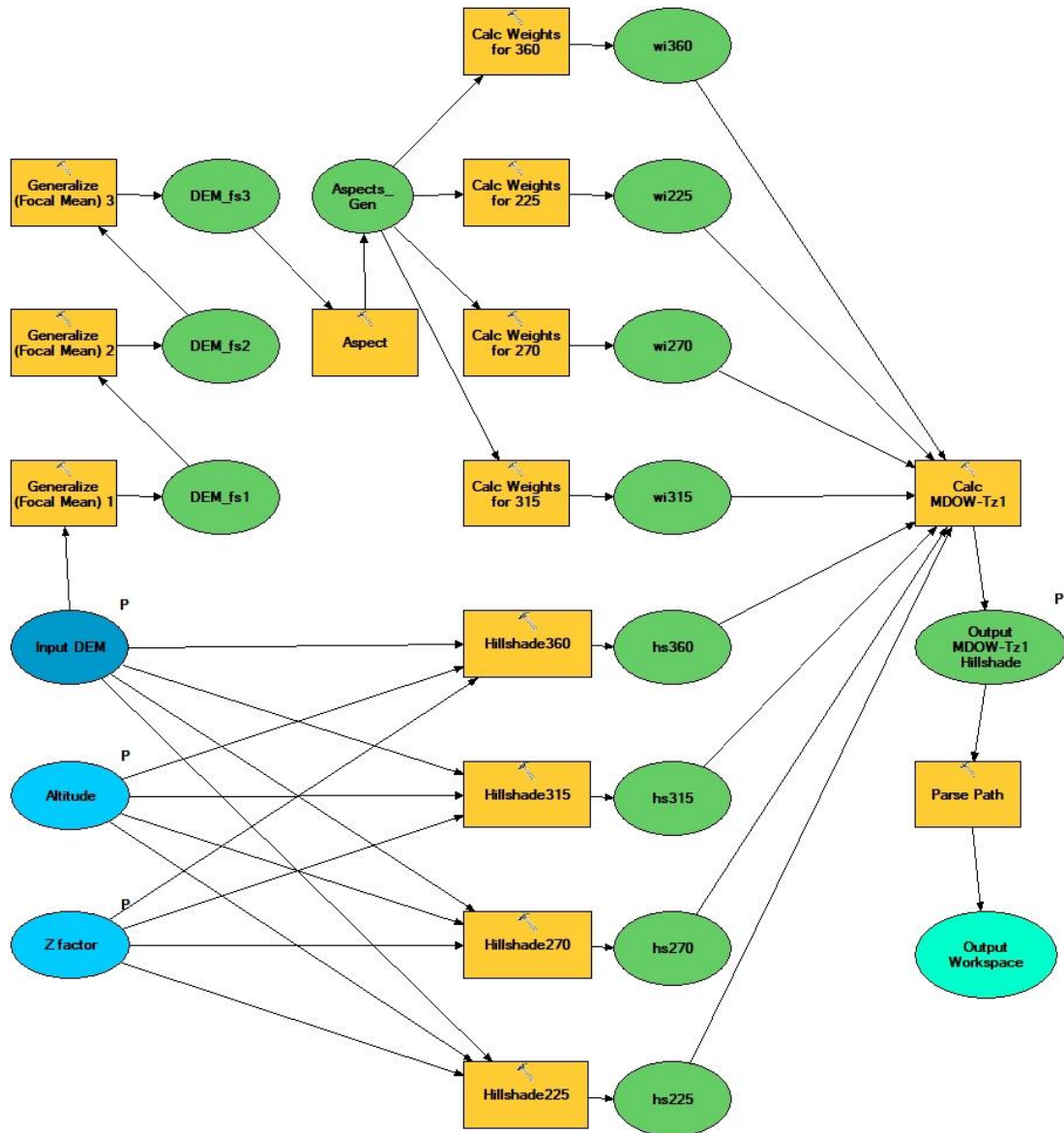
### B.3 MDGW+

ΦΠΚ καθολικής στάθμισης των Loissios et al. (2007), όπου έχει ενσωματωθεί η διαδικασία υπολογισμού των καθολικών βαρών στάθμισης και έχουν προστεθεί οι παράμετροι φωτοσκίασης της κλίσης φωτισμού και του συντελεστή υψομέτρων.



#### B.4 MDOW-Tz1

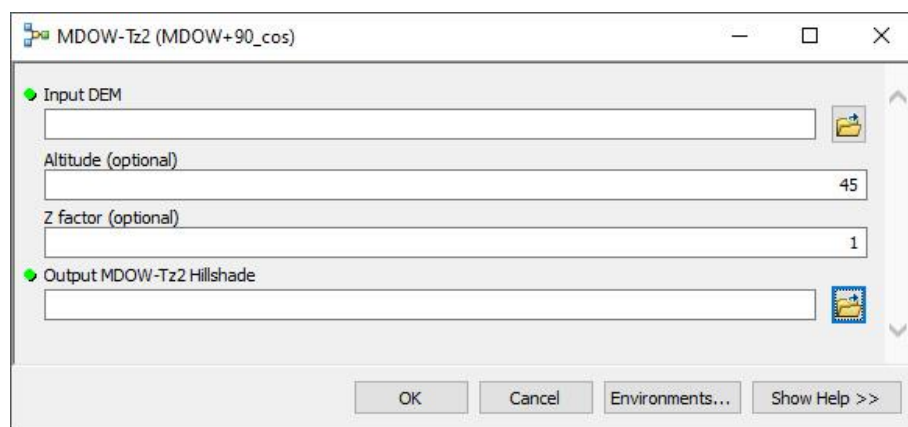
Νέα παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσαύξηση διαφοράς προσαύξηση της διαφοράς αζιμουθίων μεταξύ τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά  $\pi/4$ .





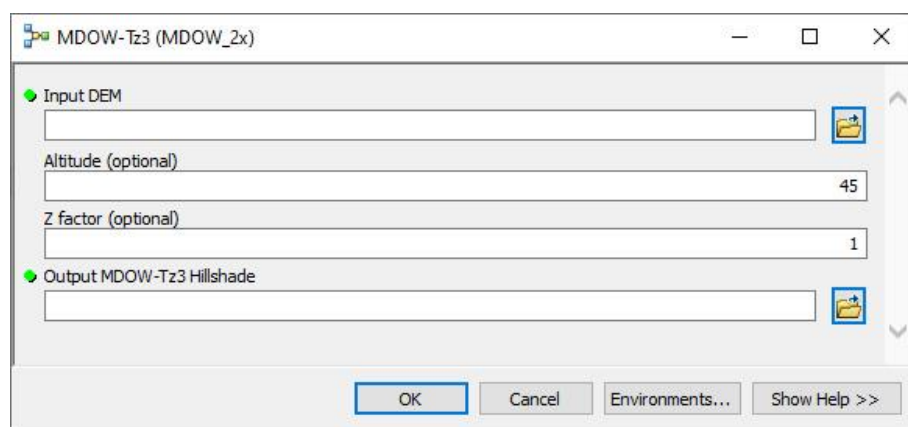
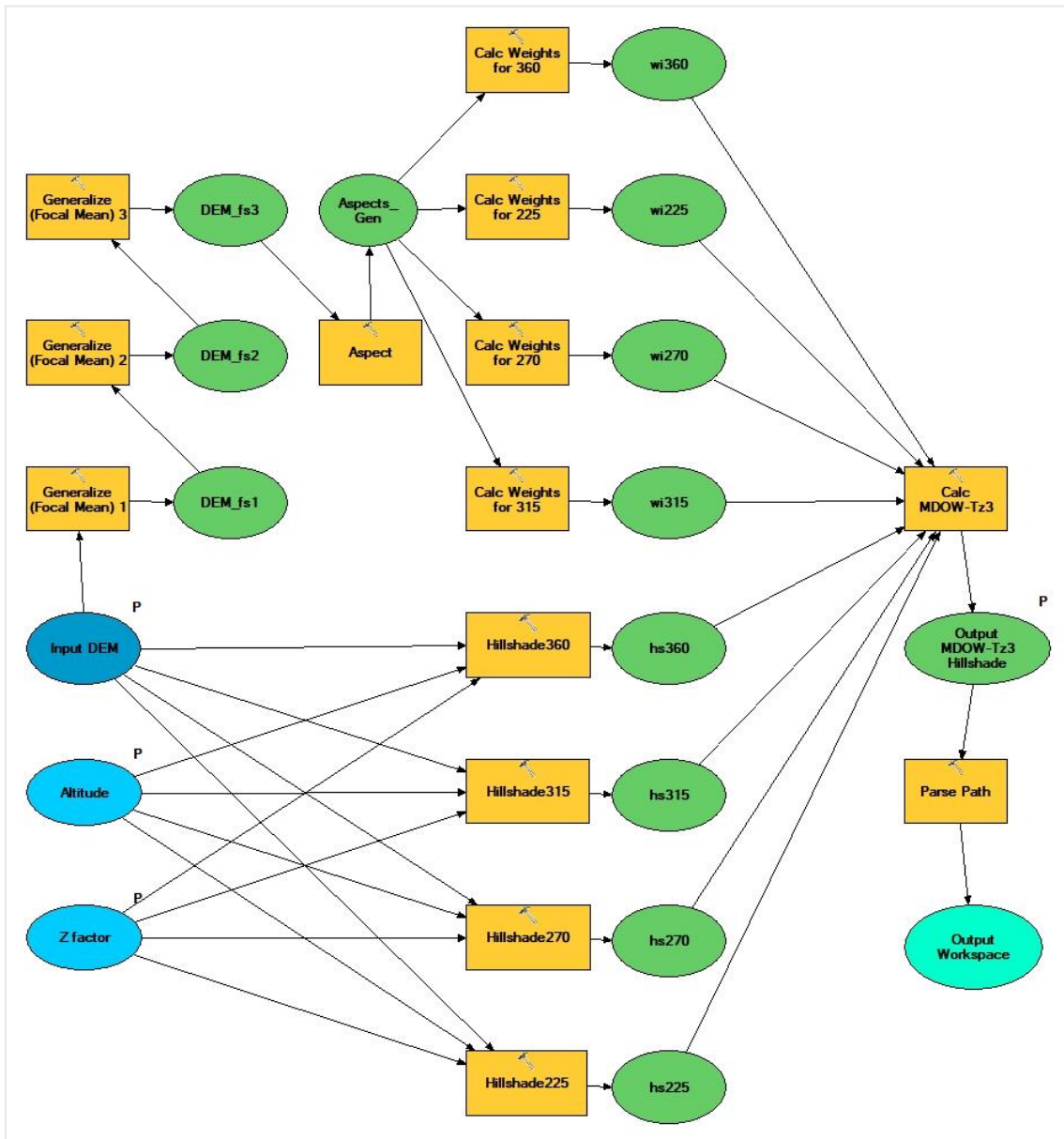
## B.5 MDOW-Tz2

Νέα παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με προσαύξηση της διαφοράς αζιμουθίων μεταξύ τοπικού προσανατολισμού εδάφους και φωτισμού κατά  $\pi/2$ .



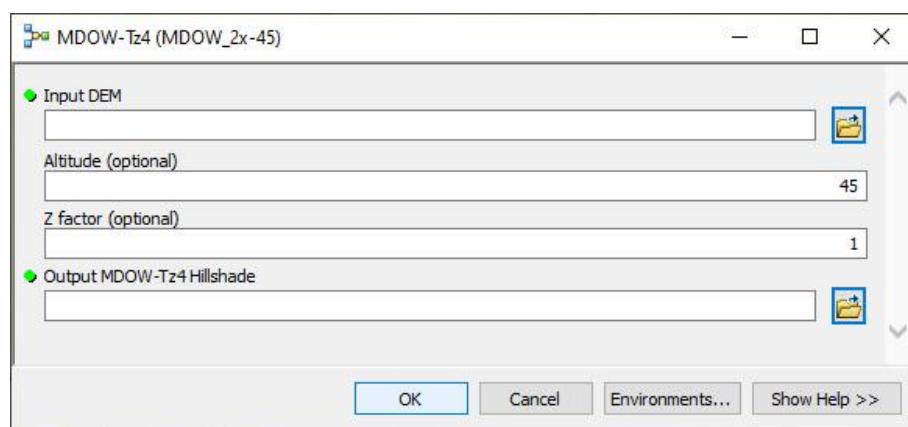
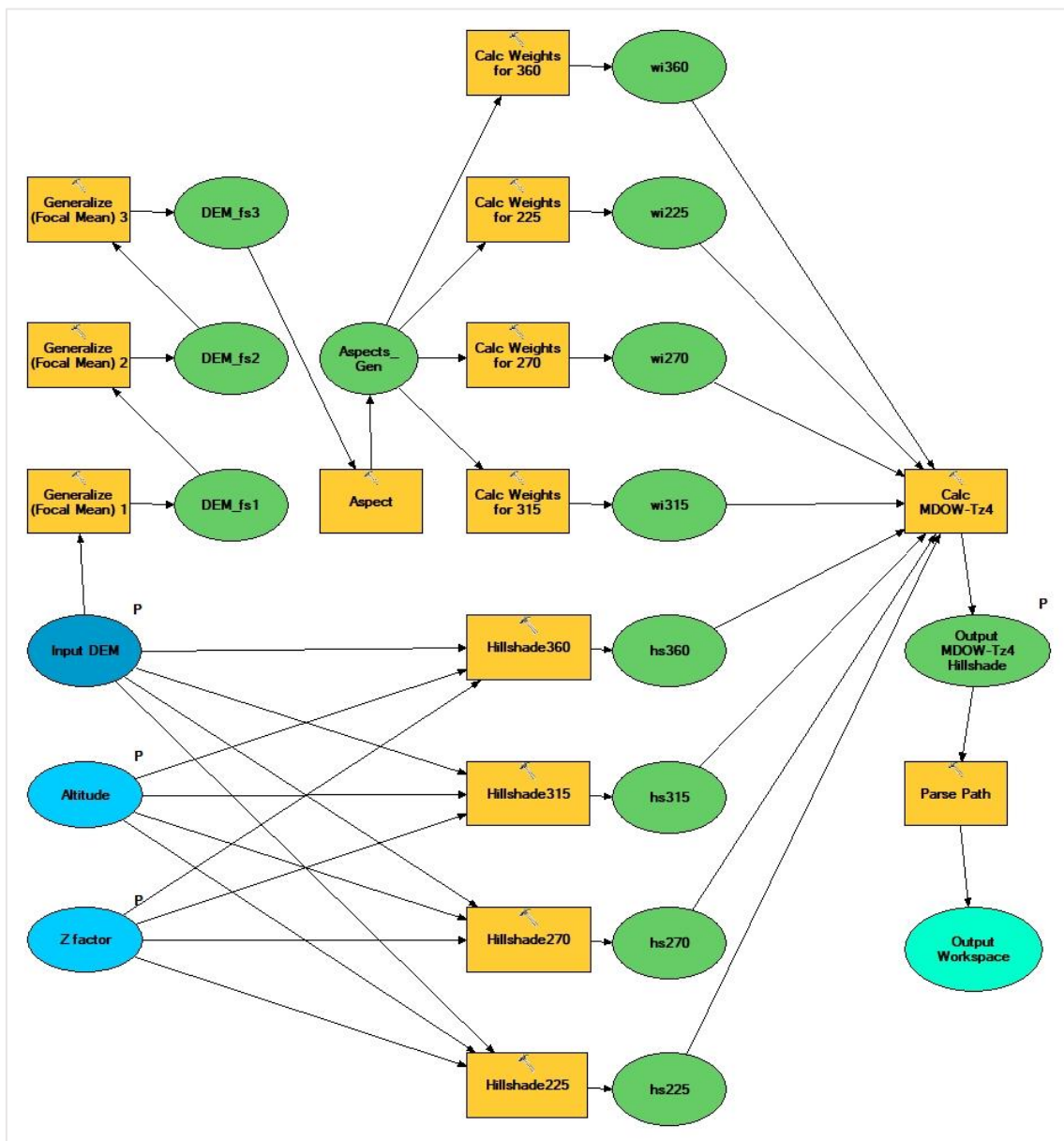
## B.6 MDOW-Tz3

Νέα παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού εδάφους.



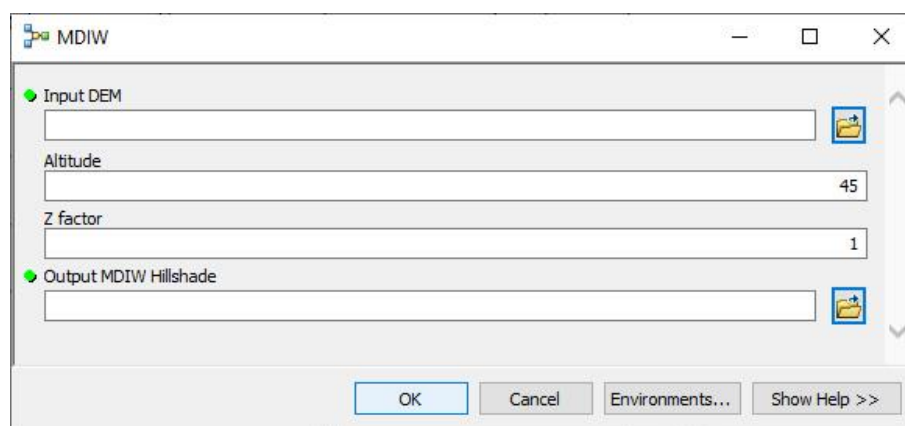
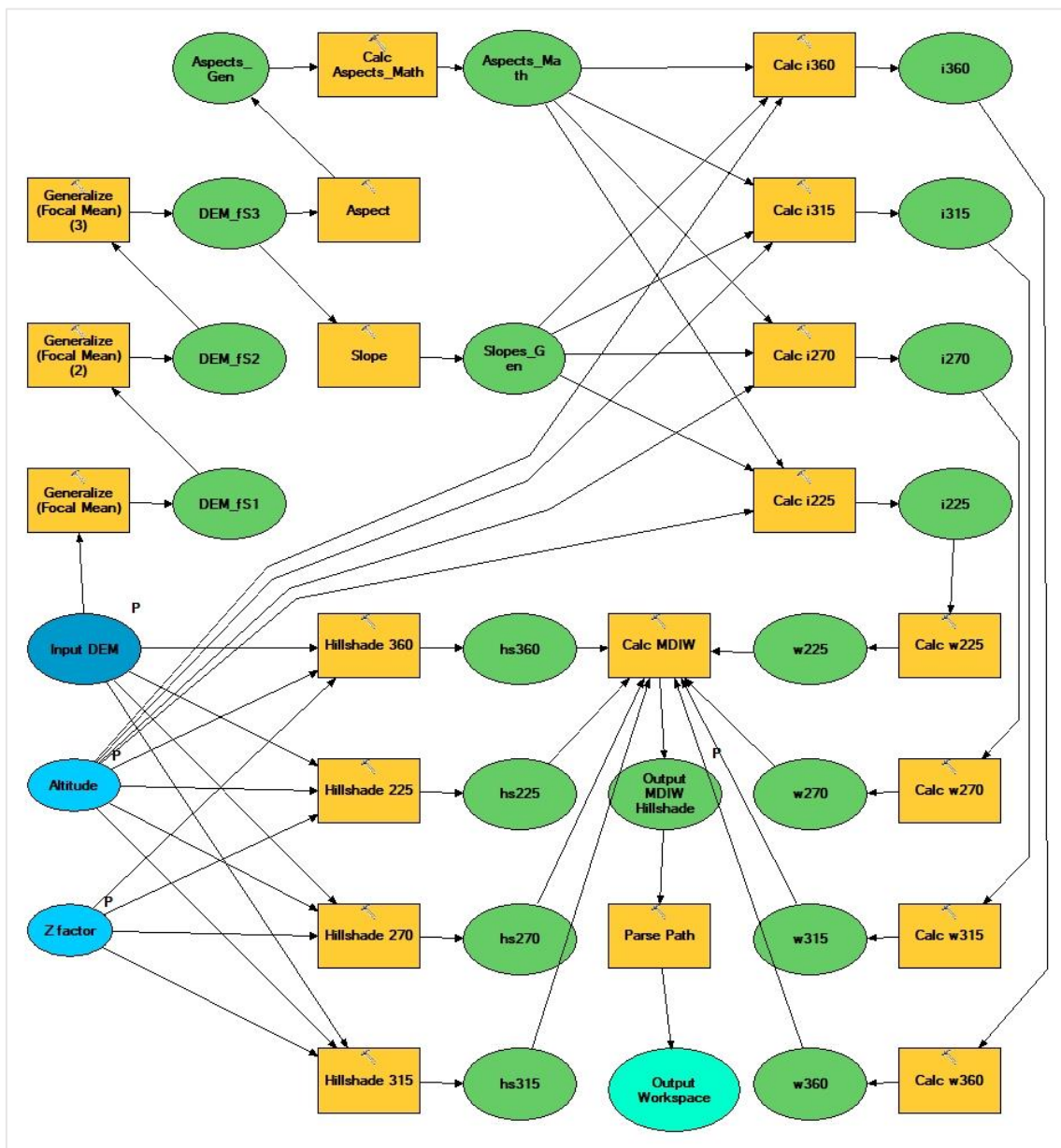
## B.7 MDOW-Tz4

Νέα παραλλαγή πλαγιο-σταθμισμένης ΦΠΚ με διπλασιασμό του αζιμουθίου του τοπικού προσανατολισμού εδάφους και μείωση κατά  $\pi/4$ .



## B.8 MDIW

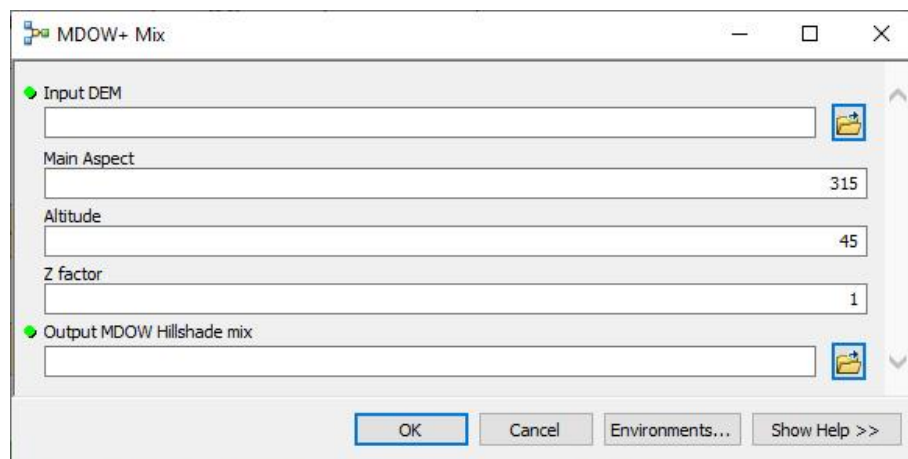
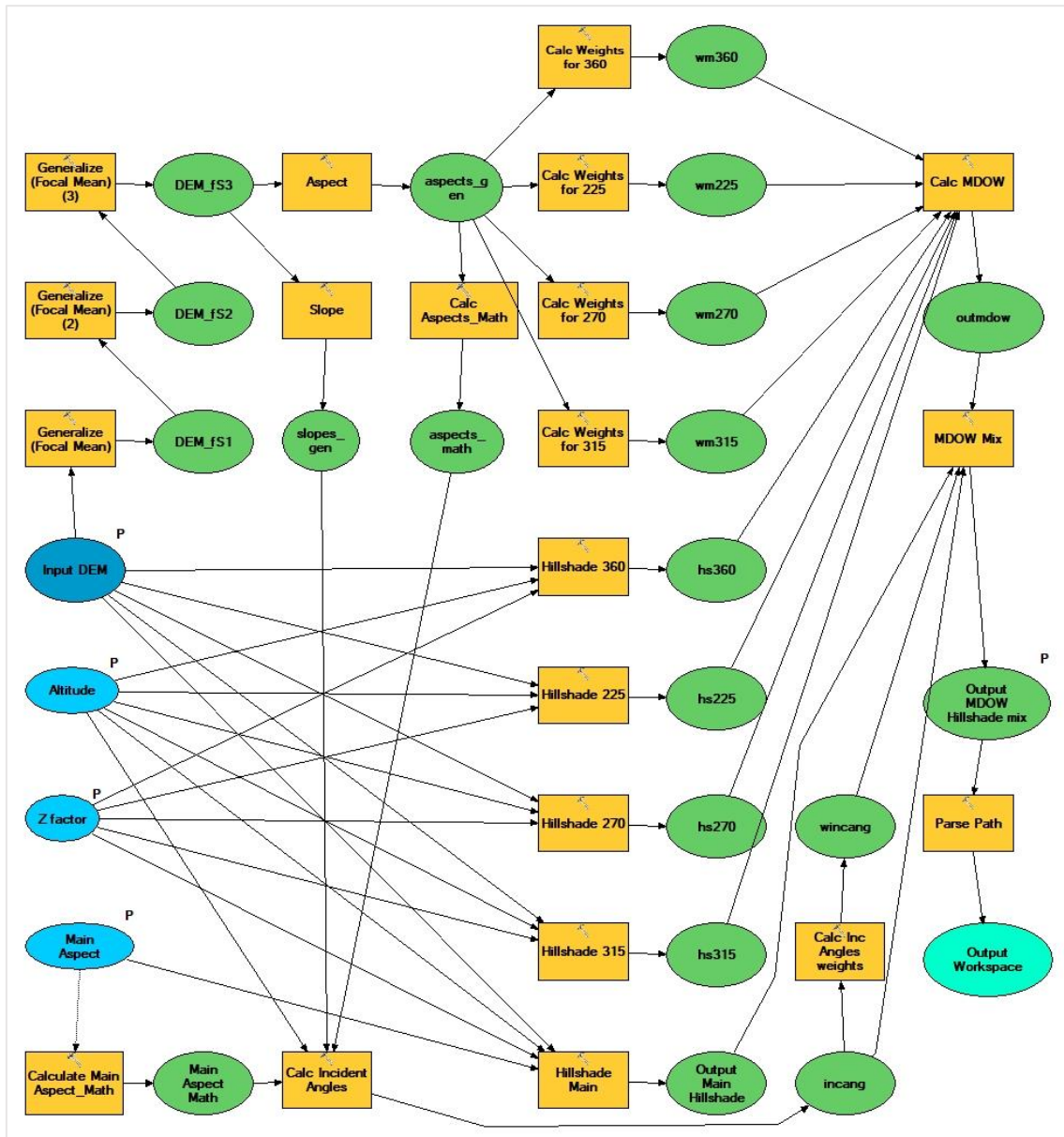
Νέα παραλλαγή ΦΠΚ με στάθμιση βάσει της γωνίας πρόσπτωσης του φωτός στο έδαφος.





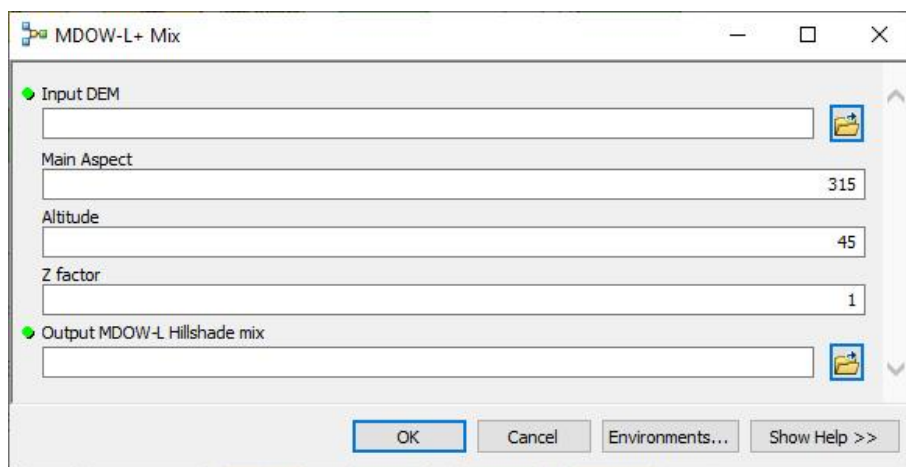
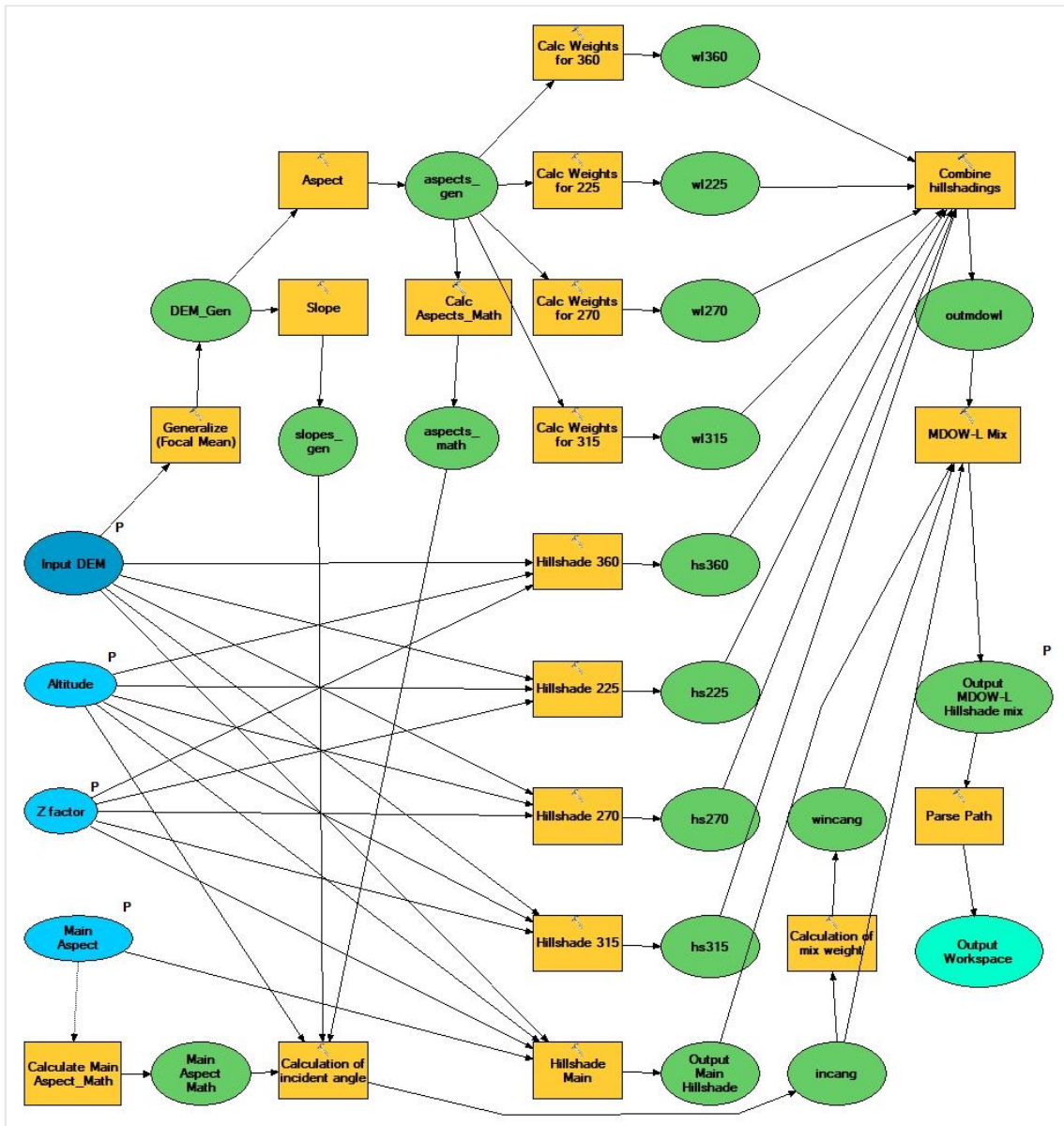
## B.9 MDOW+ Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW+.



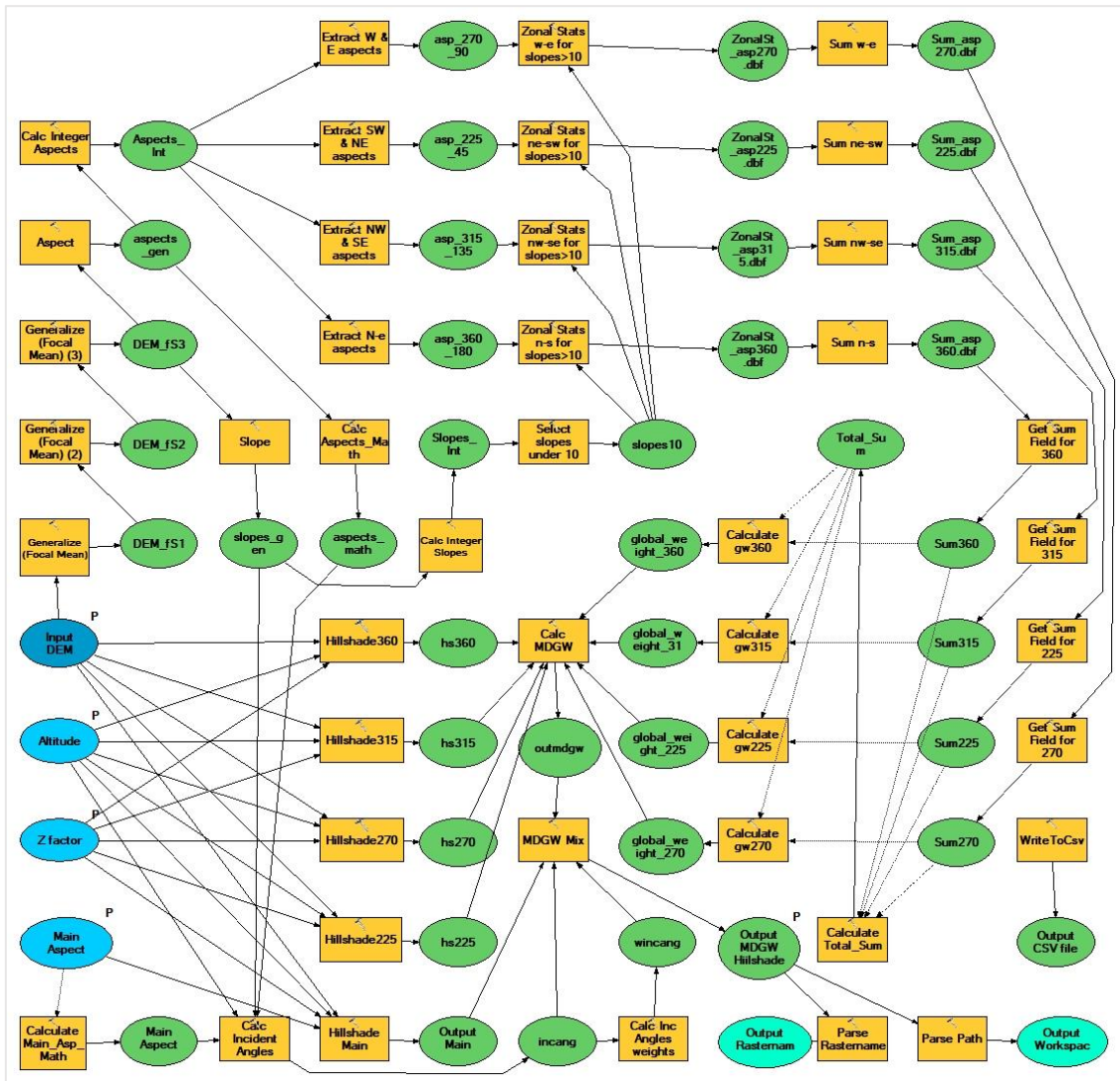
## B.10 MDOW-L+ Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW-L+.



## B.11 MDGW+ Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDGW+.



**MDGW+ Mix**

**Input DEM**

**Main Aspect**

**Altitude (optional)**

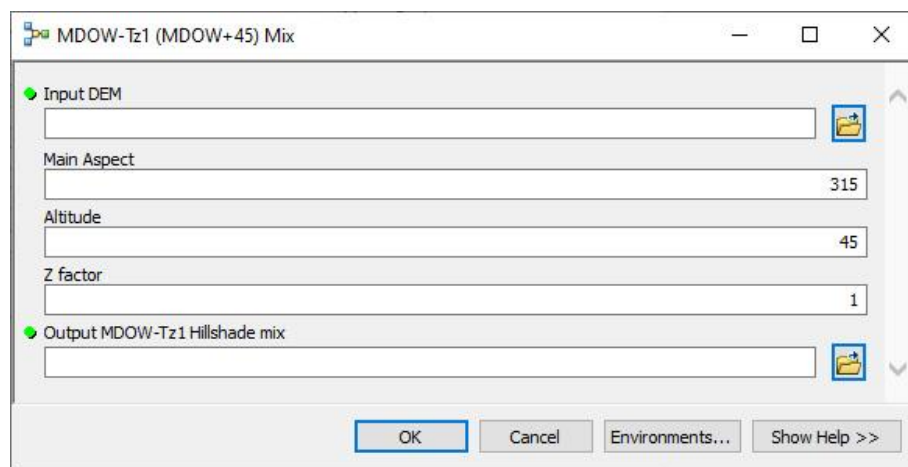
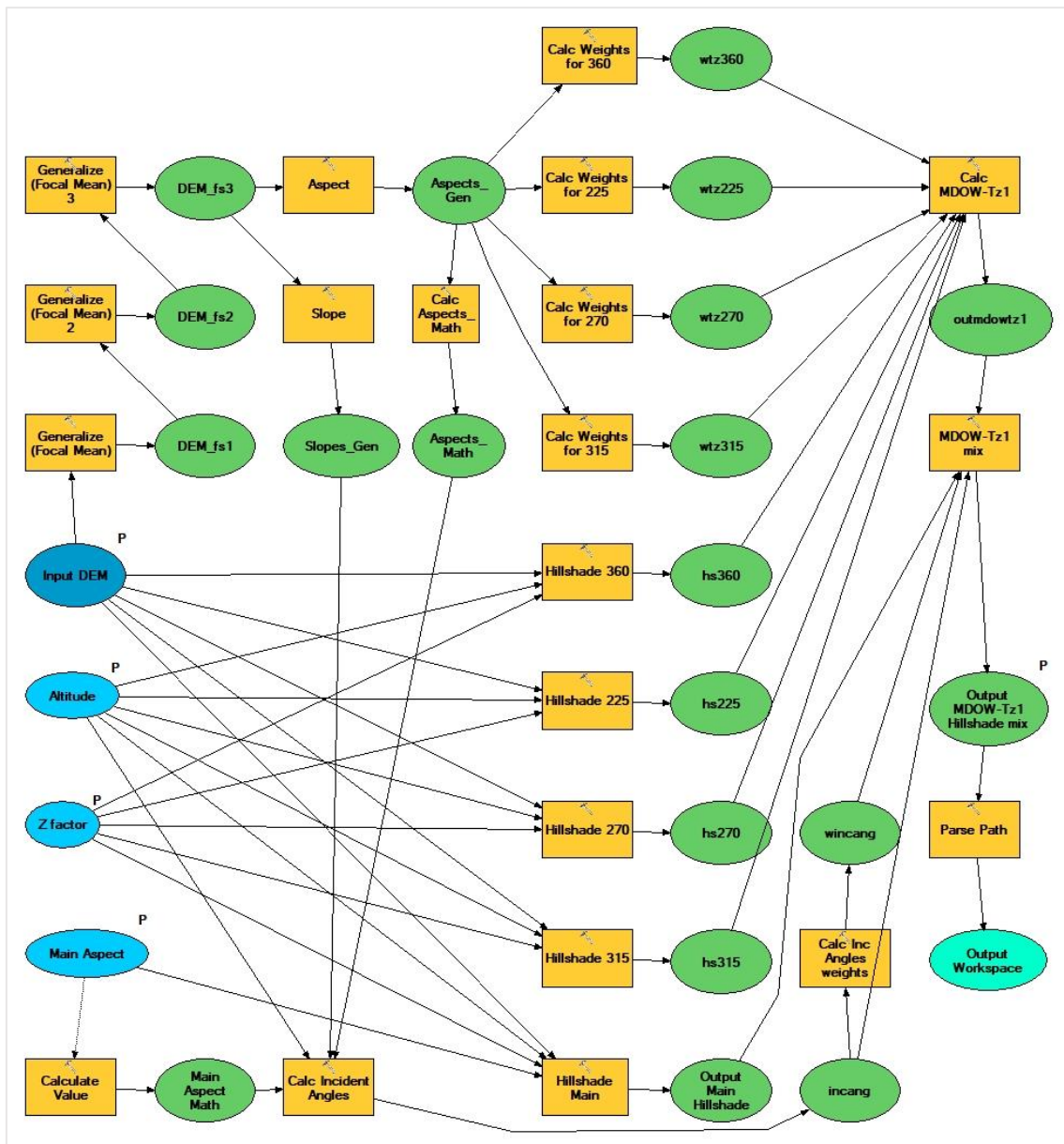
**Z factor**

**Output MDGW Hillshade mix**



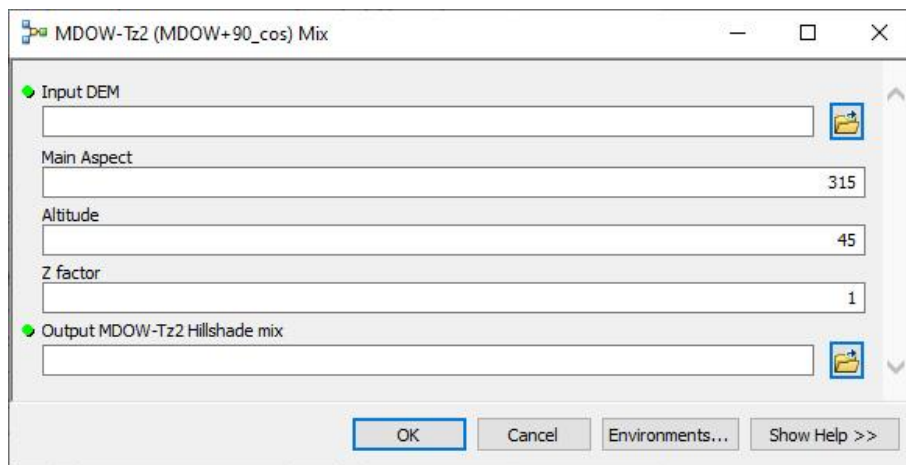
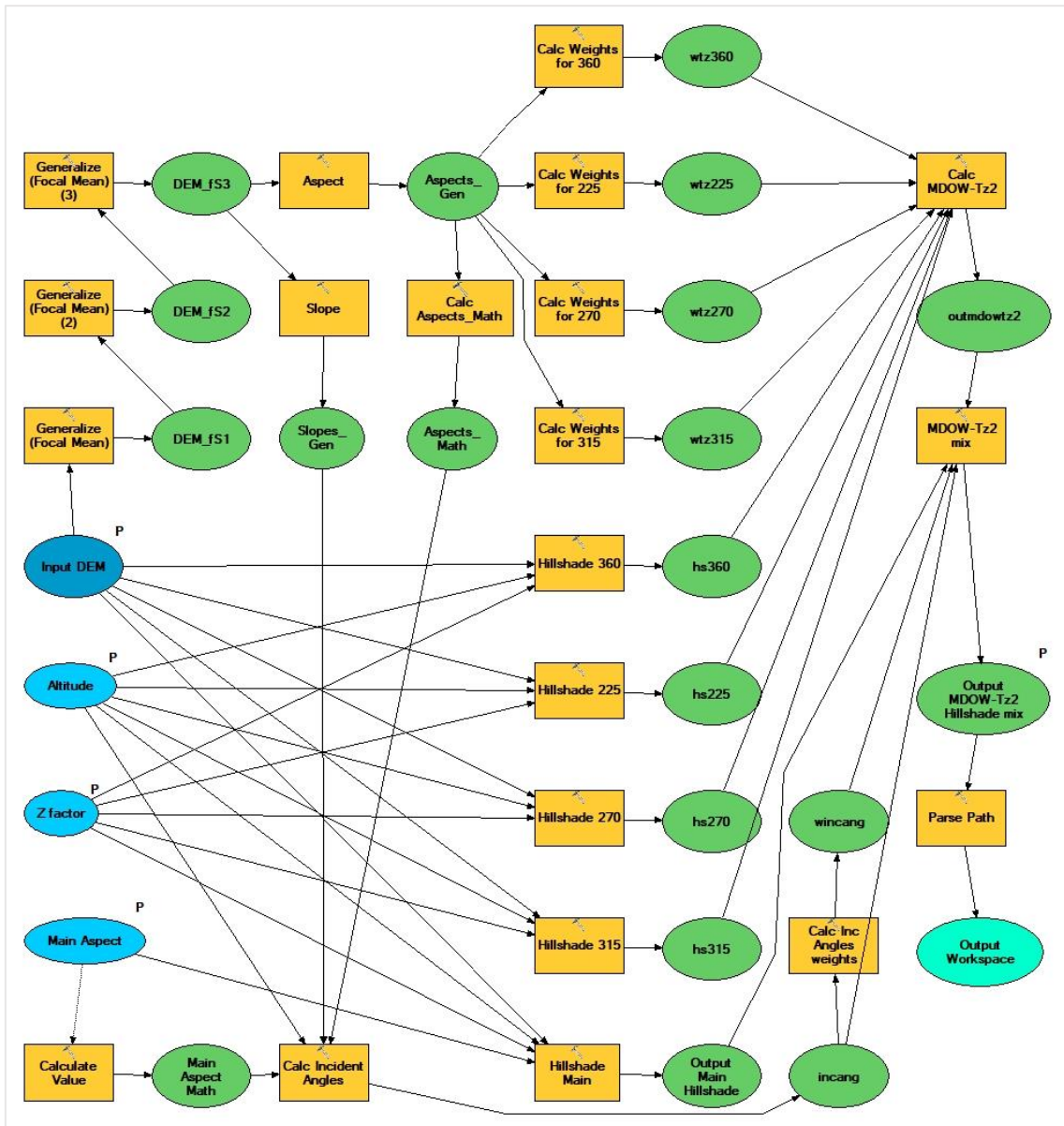
## B.12 MDOW-Tz1 Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW-Tz1+.



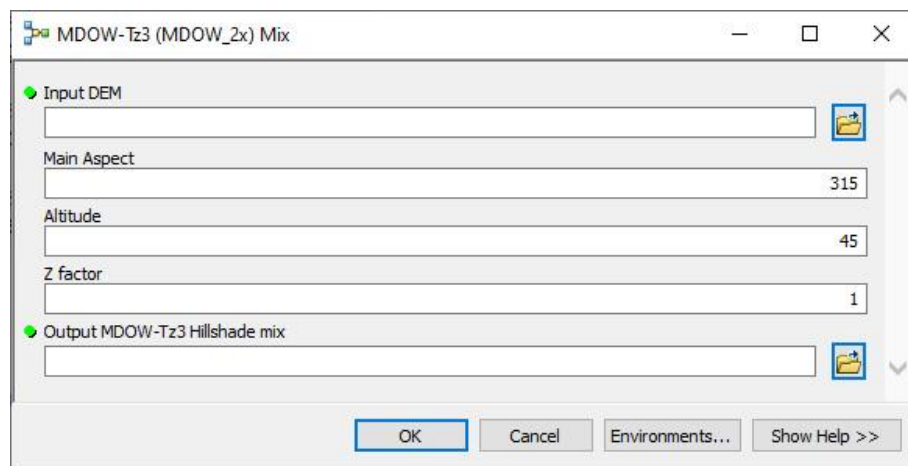
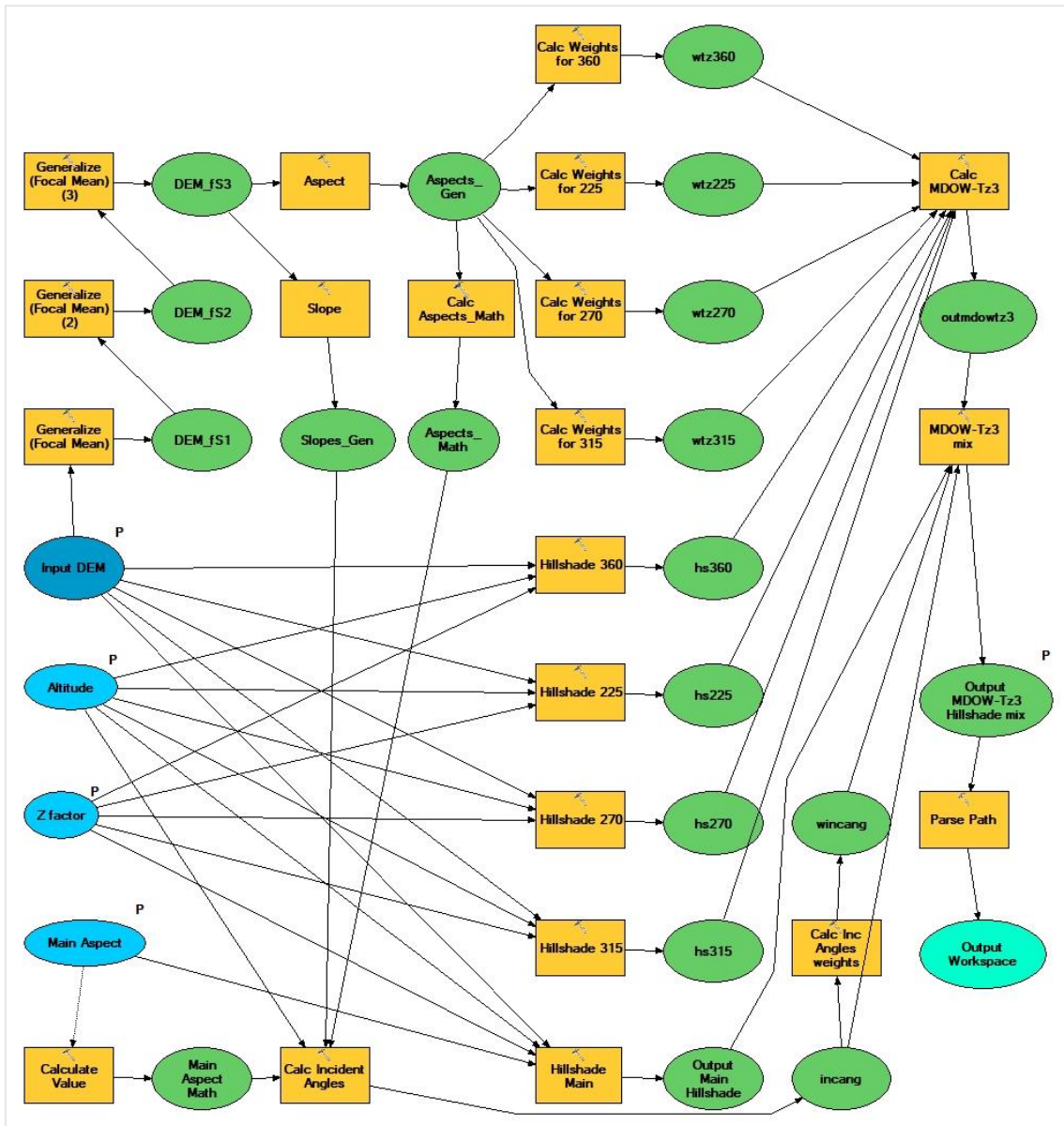
### B.13 MDOW-Tz2 Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW-Tz2+.



## B.14 MDOW-Tz3 Mix

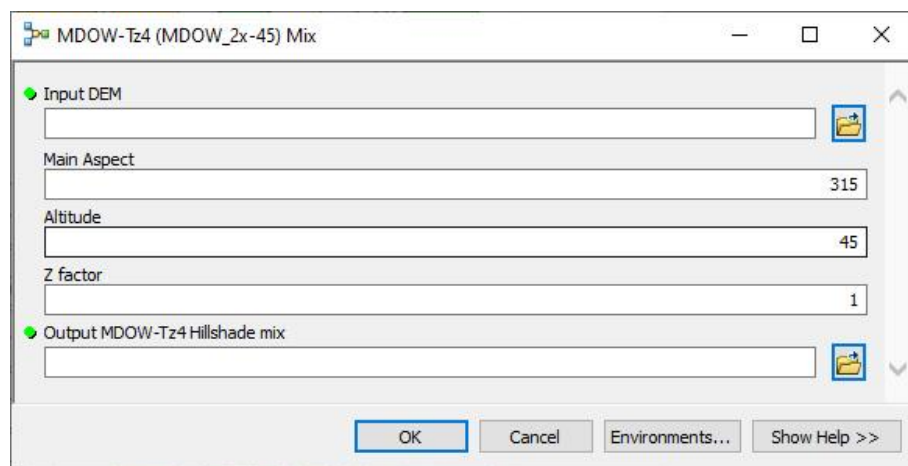
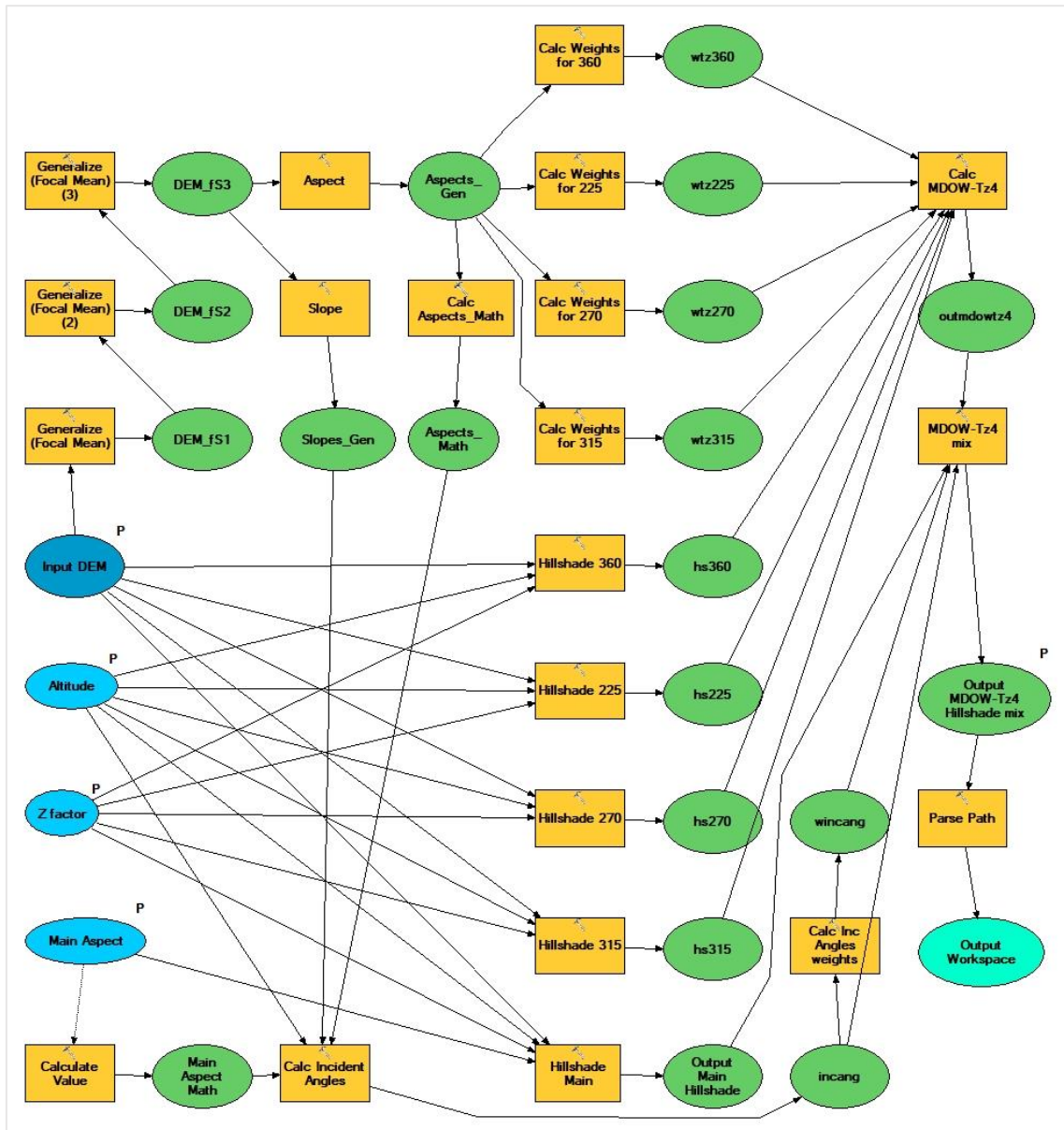
Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW-Tz3+.





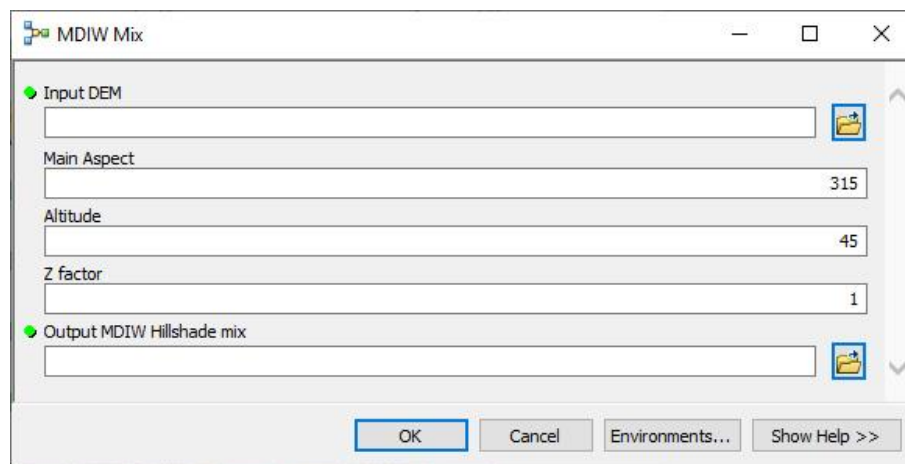
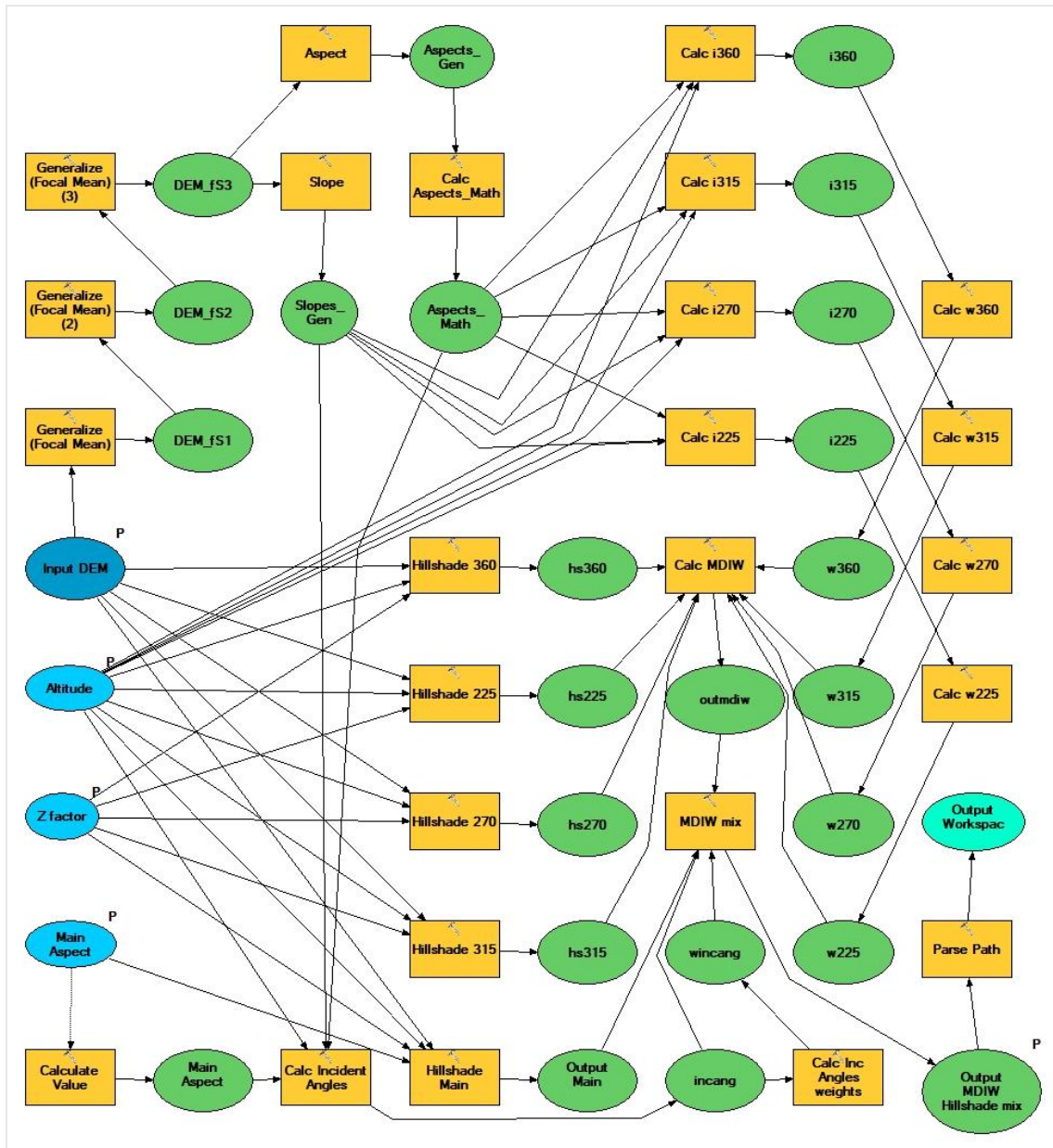
## B.15 MDOW-Tz4 Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDOW-Tz4+.



## B.15 MDIW Mix

Συνδυασμός βέλτιστης φωτοσκίασης μίας πηγής με το μοντέλο MDIW.



## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

### Στοιχεία ταυτότητας

Όνομα, Επώνυμο:	Νικόλαος Τζελέπης
Ημερομηνία γέννησης:	17 Αυγούστου 1969
Οικογενειακή κατάσταση:	Έγγαμος με 2 παιδιά
Διεύθυνση κατοικίας:	Κρυστάλλη 22, Άνω Πατήσια (Αθήνα), ΤΚ 111 41
Τηλέφωνο:	210 2021550, 6944 651870
Email:	<a href="mailto:niktzel@survey.ntua.gr">niktzel@survey.ntua.gr</a>
Προσωπική ιστοσελίδα:	<a href="http://users.ntua.gr/niktzel">http://users.ntua.gr/niktzel</a>

### Σπουδές

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ (1994). Διπλωματική εργασία: *Διερεύνηση μεθοδολογιών αναπαράστασης της σκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου με ψηφιακές τεχνικές* (Βραβείο καλύτερης διπλωματικής εργασίας στη Χαρτογραφία από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Βραβείο καλύτερης διπλωματικής εργασίας από τη Χαρτογραφική Επιστημονική Εταιρεία Ελλάδος).

### Ερευνητικά προγράμματα

- 1992-94 ΕΜΠ, ΟΚΧΕ, ΓΥΣ & Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας: Παραγωγή ανάγλυφου χάρτη της Ελλάδας
- 1996 ΕΜΠ & Ελληνικά Ναυπηγεία ΑΕ: Δοκιμές θαλάσσης φρεγάτας ΣΠΕΤΣΑΙ
- 1996-97 Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας: Επεξεργασία και μελέτη σχολικών χαρτών πολλαπλών επιπέδων
- 1996-97 ΕΜΠ & ΥΠΕΧΩΔΕ: Ψηφιακή καταγραφή τμημάτων Εθνικού Οδικού Δικτύου
- 1998 ΕΜΠ & Ελληνικά Ναυπηγεία ΑΕ: Δοκιμές θαλάσσης φρεγάτας ΨΑΡΑ
- 1998-99 ΕΜΠ & EUROSTAT: Αξιολόγηση χαρτών και ΒΔ της GISCO
- 1999 ΕΜΠ & ΟΚΧΕ: Σύνταξη και παραγωγή βασικής σειράς τοπογραφικών χαρτών 1:25000

- 2001-02 ΥΠΑ: Σύνθεση και παραγωγή αεροναυτικών χαρτών
- 2001-02 ΕΜΠ & ΥΠΕΧΩΔΕ: Ένταξη δεδομένων ψηφιακής καταγραφής Εθνικού Οδικού Δικτύου στο περιβάλλον του λογισμικού ArcView
- 2003-04 ΕΜΠ & ΟΚΧΕ: Χαρακτηρισμός Δήμων και Κοινοτήτων Καποδίστρια σε Ορεινούς-Ημιορεινούς-Πεδινούς για την ΕΣΥΕ
- 2005 ΕΜΠ & Intership Maritime Inc: Δοκιμές θαλάσσης φορητού CARAVOS
- 2007-09 ΕΜΠ, ΥΠΕΣ, ΚΕΔΚΕ & ΤΕΕ: Ανάπτυξη ΣΓΠ για την αναπαράσταση του δομικού πλούτου των ΟΤΑ της χώρας και της σεισμικής του τρωτότητας σε επίπεδο ΟΤ
- 2008 ΕΚ Αθηνά: Ανάπτυξη χωρικής βάσης ΟΤΑ και οικισμών της χώρας σε ψηφιακό υπόβαθρο κλίμακας 1:50000 για την ΕΣΥΕ2008 ΕΚ Αθηνά/ ΙΠΣΥ: Ανάπτυξη χωρικής βάσης ΟΤΑ και οικισμών της χώρας σε ψηφιακό υπόβαθρο κλίμακας 1:50000 για την ΕΣΥΕ
- 2009 ΕΚ Αθηνά: Χαρακτηρισμός ορεινότητας των Καποδιστριακών δήμων και κοινοτήτων και ΤΔ της χώρας για την ΕΣΥΕ2009 ΕΚ Αθηνά/ ΙΠΣΥ: Χαρακτηρισμός ορεινότητας των Καποδιστριακών δήμων και κοινοτήτων και ΤΔ της χώρας για την ΕΣΥΕ

### **Εκπαιδευτική δραστηριότητα**

- Διαλέξεις και πρακτική εξάσκηση σε σεμινάρια ΣΓΠ της Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Δήμος Ηγουμενίτσας - Οκτ. 1994, Δήμος Κυκλάδων - Ιουλ. 1997).
- Επίβλεψη εργαστηριακών ασκήσεων σε προπτυχιακά μαθήματα της ΣΑΤΜ-ΕΜΠ στη γνωστική περιοχή της Χαρτογραφίας: *Γενική Χαρτογραφία* (2007-σήμερα), *Θεματική Χαρτογραφία* (2005-σήμερα), *Αναλυτική Χαρτογραφία* (2003-2004, 2007-2008), *Ψηφιακή Χαρτογραφία* (1997-1999, 2006-2008, 2016-σήμερα).
- Επίβλεψη εργασιών στο μεταπτυχιακό μάθημα του ΠΜΣ «Γεωπληροφορική»: *Χρήση Συστημάτων Πληροφορικής στην Οδική Υποδομή* (2016, 2019, 2021).



## **Επαγγελματική εμπειρία**

- 1994-96: Συνεργάτης της TERRA ΕΠΕ σε μελέτες ψηφιακών χαρτών, στην οργάνωση χαρτογραφικών βάσεων δεδομένων και στην επεξεργασία και απόδοση ψηφιακών μοντέλων εδάφους.
- 1996-Σήμερα: Ερευνητής σε προγράμματα της ΣΑΤΜ ΕΜΠ.  
Χαρτογραφικές εργασίες ως ελεύθερος επαγγελματίας.
- 1998-00: ΕΜΠ: Ανάπτυξη ιστοσελίδων διαδικτυακού τόπου του ΤΑΤΜ ΕΜΠ.
- 2000-07: Διαχειριστής του Κέντρου Γεωπληροφορικής της ΣΑΤΜ ΕΜΠ.
- 2007-14: Υποστηρικτικό προσωπικό ΙΔΑΧ του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜ ΕΜΠ.
- 2014-Σήμερα: Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας της ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

## **Δημοσιεύσεις**

Τζελέπης Ν., Νάκος Β., 1994. «Η σκιά του αναγλύφου στους χάρτες». Πυρφόρος, 16: 44-48.

Τζελέπης Ν., Νάκος Β., 1995. «Διερεύνηση μεθόδων αναπαράστασης της σκιάς του αναγλύφου στους χάρτες». Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 275-283.

Νάκος Β., Τζελέπης Ν., Σκοπελίτη Α., 1966. «Αξιοποίηση δυνατοτήτων αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού σε δυναμικές θεματικές απεικονίσεις μεγάλης κλίμακας». Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 161-170.

Βέης Γ., Πηγάκη Μ., Τζελέπης Ν., 1997. «Ανάγλυφος Δορυφορικός Χάρτης διδακτικού περιεχομένου». Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 147-157.

Τζελέπης Ν., Νάκος Β., 1998. «Τρισδιάστατη αναπαράσταση του αστικού χώρου με στοιχεία ρεαλισμού». Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 273-281.

Τζελέπης Ν., 2000. «Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας για τη Συνδυασμένη Απόδοση της Σκιάς του Ανάγλυφου στους Χάρτες». Πρακτικά 6ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 255-265.

Tzelepis N., Nakos B., 20021. "Methods and techniques for the correction of natural hill-shading in airphoto and satellite maps". Proceedings of 20th International Cartographic Conference, Beijing, (China): International Cartographic Association, 672-680.

Tzelepis N., Nakos B., 2003. "A study on the lightning factors affecting relief presentation". Proceedings of 21th International Cartographic Conference, Durban (South Africa): International Cartographic Association.

Darra A., Kavouras M., Tzelepis N., 2003. "A Rational Characterization and Visualization of Topographic Relief into Mountainous, Semi-Mountainous and Plane Terrain", Proceedings of 21th International Cartographic Conference, Durban (South Africa): International Cartographic Association.

Loissios, D., Tzelepis, N., Nakos B., 2007. "A Methodology for creating Analytical Hill-shading by Combining different Lighting Directions". Proceedings of 23rd International Cartographic Conference, Moscow: International Cartographic Association.

Τζελέπης, Ν., Λοΐσιος, Δ., Νάκος Β., 2008, «Μια μεθοδολογία για η δημιουργία αναλυτικής σκίασης του ανάγλυφου με συνδυασμό διαφορετικών διευθύνσεων φωτισμού». Πρακτικά 10ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 539-549.

Darra A., Kavouras M., Tzelepis N., 2010. "Topographic relief characterization of Greek municipalities and sub-municipalities into mountainous, semi-mountainous and plane terrain". Geographia Technica, Special Issue, Proceedings of 7th ICA Mountain Cartography Workshop, Borsa, (Rumania): Cluj University Press.

Νάκος Β., Τζελέπης Ν., Ζαχαρής Β., 2010. «Απεικόνιση του δομικού πλούτου και της σεισμικής διακινδύνευσης σε περιβάλλον τεχνολογίας συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών». Στο Το Μήλον της Γνώσεως, Τιμητικός Τόμος στον Ομότιμο Καθηγητή Δημήτριο Ν. Αραμπέλο. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 351-366.

Κρασανάκης Β., Τζελέπης Ν., 2012. «Χρήση πακέτων λογισμικού ανοικτού κώδικα για διαχείριση και οπτικοποίηση θεματικών δεδομένων». Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Αθήνα.

Νάκος Β., Τζελέπης Ν., Ζαχαρής Ε., 2012, «Ένα σύστημα διαχείρισης του δομικού πλούτου και της σεισμικής διακινδύνευσης κτιρίων. Εφαρμογή στην πόλη της Κοζάνης». Πρακτικά 12ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 113-127.

Τζελέπης Ν., Κρασανάκης Β., Νάκος Β., 2016, «Αξιοποίηση Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ) για τη Δημιουργία Διαδικτυακών Χαρτών στην Εκπαίδευση». Πρακτικά 13ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 297-311.

Λέλλη Α., Τζελέπης Ν., Νάκος Β., 2016. «Ανασκόπηση Σύγχρονων Αναλυτικών Τεχνικών βελτιστοποίησης της Σκίασης του Αναγλύφου». Στο Τιμητικός Τόμος για τον Ομότιμο Καθηγητή Χρηστογεώργη Καλτσίκη. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Ζήτη, 211-224.

Krassanakis V., Tzelepis N., Nakos B., 2017. «Σχεδιασμός Εφαρμογής Καθοδηγούμενης Δημιουργίας Αποτελεσματικών Χαρτών στο Διαδίκτυο». Στο Ζώντας με τα GIS, Τιμητικός Τόμος στη Μνήμη του Καθηγητή Ιωάννη Παρασχάκη. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη, 291-299.

Tzelepis N., Kaliakouda A., Krassanakis V., Místhos L.-M., Nakos B., 2020. "Evaluating the perceived visual complexity of multidirectional hill-shading", *Geodesy and Cartography*, 69(2): 161-172.

### **Ξένες γλώσσες**

- Αγγλικά (Cambridge First Certificate)
- Γαλλικά (γνώσεις Μέσης Εκπαίδευσης)

### **Μέλος επιστημονικών οργανισμών**

- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ)
- Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών (ΠΣΔΑΤΜ)
- Χαρτογραφική Επιστημονική Εταιρεία Ελλάδος (ΧΕΕΕ)

- Ένωση Μηχανικών Δημοσίων Υπαλλήλων Διπλωματούχων Ανωτάτων Σχολών (ΕΜΔΥΔΑΣ)
- Commission on Mountain Cartography / International Cartographic Association (CMC/ICA)

### Γνώσεις Η/Υ

- Άριστη γνώση λογισμικών πακέτων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, και Ψηφιακής Χαρτογραφίας, Τηλεπισκόπησης (*ArcGIS, AutoCAD Map/Land/Civil 3D, Idrisi, Surfer, Quantum GIS, OpenJUMP*) και λογισμικών πακέτων σχεδίασης γραφικών, τρισδιάστατων προσομοιώσεων και κινούμενης εικόνας (*Adobe Photoshop, Corel Graphics, 3D Studio, InkScape*)
- Υψηλό επίπεδο εξοικείωσης με διάφορα με λειτουργικά συστήματα και περιβάλλοντα δικτύου (*DOS, Windows, UNIX, Linux*)
- Γνώσεις βασικού προγραμματισμού εφαρμογών και ιστοσελίδων (*Basic, Fortran, C, Python, HTML*)

