

# **ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ**



## **Έμπειρα συστήματα: Εργαλεία για τη συμβολική αναπαράσταση των γεωμορφών**

*Δ. Αργιαλάς*

*Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τομέος Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων, ΕΜΠ, 157 80 Αθήνα*

### **Περίληψη**

Η πρόοδος της επιστήμης της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Εμπειρών Συστημάτων προσθέτουν νέα εργαλεία στη δημιουργία μοντέλων και προγραμμάτων το οποία μπορούν να απεικονίζουν συμβολικά την εμπειρία των ειδικών σε πολλά γνωστικά πεδία και εφαρμογές. Σ' αυτό το άρθρο πρώτα ορίζονται οι ανάγκες για τυποποίηση της φωτογεωμορφολογικής γνώσης και οι θεωρητικές επιδιώξεις και πρακτικά ωφέλη αυτής της έρευνας. Κατόπιν αναπτύσσονται οι συνεχιζόμενες προσπάθειές μας στην ανάπτυξη ποικίλων τεχνικών εμπειρών συστημάτων για την αναπαράσταση της σχετικής με τις γεωμορφές γνώσης. Τα δημιουργηθέντα έμπειρα συστήματα συνάγουν το είδος της γεωμορφής μιας περιοχής βάσει των από τον χρήστη προσδιοριζόμενων προτύπων φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της. Δίνεται έμφαση στα νέα εννοιολογικά σχήματα τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στο να αυξηθεί το επίπεδο πλοκής της αναπαριστάμενης γνώσης. Αυτά τα εννοιολογικά σχήματα εκφράζονται ως γεωμορφολογικά, χωρικά και φυσιογραφικά συμφραζόμενα. Η δημοσίευση συμπεραίνει ότι η σχετική με τις γεωμορφές γνώση μπορεί να οργανωθεί μέσω αυτών των μεθόδων αναπαράστασης ώστε να βοηθήσει στην κατανόηση της διαδικασίας της φωτοερμηνείας των γεωμορφών και να συντελέσει έτσι ώστε αυτή η διαδικασία να γίνει περισσότερο σαφής και ακριβής.

### **Abstract**

The progress made in artificial intelligence and expert systems has added new methods and tools for the symbolic representation of expertise in many fields. In this article, at first are defined the needs for the formalization of terrain related knowledge and the theoretical goals and practical benefits of this research effort. Secondly, a number of prototype terrain expert systems are presented that explore a range of knowledge-based representation techniques. The presented prototype

expert systems infer the type of landform of a site based on the landform pattern elements. Emphasis is placed on new conceptual schemes which could help in increasing the complexity and granularity of terrain knowledge representation. These conceptual schemes are expressed as geomorphologic, physiographic and regional context. The paper concludes that terrain-related knowledge can be organized through the knowledge representation methods so that to help in understanding the photointerpretation process and to contribute in making this process more explicit and accurate.

## 1. Εισαγωγή

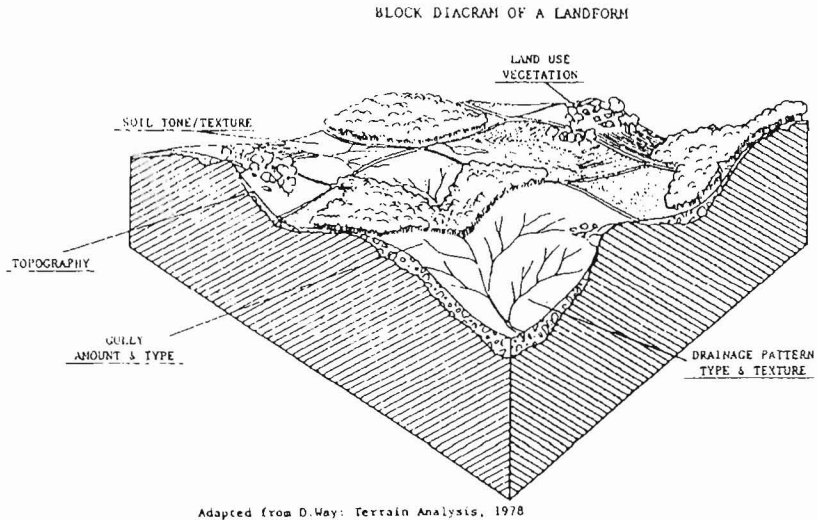
### 1.1. Αναγνώριση μορφών γης και τεχνική φωτογεωμορφολογία

Η γνώση του πεδίου και των γεωμορφών χρησιμοποιείται κατά τα στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής πολλών τεχνικών έργων, αλλά και κατά την εκτίμηση της καταλληλότητας γης για τη γεωργία, δασολογία και άλλες γεωεπιστήμες. Προβλέψεις που αφορούν το είδος του εδάφους, των πετρωμάτων, της μορφής και της υψής του υδρογραφικού δικτύου, της χρήσης γης και της βλάστησης μπορεί να είναι προσδιοριστικοί παράγοντες στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων. Η φωτοερμηνεία γεωμορφών και η ανάλυση πεδίου είναι το αποτέλεσμα αυτής της απαίτησης και δημιουργήθηκε στη δεκαετία το 1950 για να υποστηρίξει τις ανάγκες τόσο στρατιωτικών επιχειρήσεων όσο και τις ανάγκες των μηχανικών και γεωεπιστημόνων που ήθελαν να εκτιμήσουν την καταλληλότητα ενός συγκεκριμένου τοπίου για την υλοποίηση τεχνικών έργων (Way, 1978). Από τότε ερευνητές σε όλες τις ηπείρους αναπτύσσουν και επεκτείνουν τη μεθοδολογία της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου. Η μεθοδολογία έχει περιγραφεί στα συγγράμματα των Lillesand και Kiefer (1979), Way (1978), Mintzer (1983), Townshend (1981), Mitchell (1973), κ.ά. Η τεχνική φωτογεωμορφολογία έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαρτών γεωμορφών και οι παραγόμενοι χάρτες γεωμορφών έχουν χρησιμοποιηθεί για να εκπαιδεύσουν τεχνικούς στην παραγωγή γεωμορφολογικής πληροφορίας και στην εκτίμηση της καταλληλότητας ενός πεδίου για την υλοποίηση ενός τεχνικού έργου.

Η τεχνική φωτογεωμορφολογία (landform interpretation for engineering terrain analysis) περιλαμβάνει τη συστηματική διερεύνηση και τυποποίηση των φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τη γένεση, τη μορφολογική εξέλιξη και τη λιθολογική σύσταση των γεωμορφών (landform) και τη σημασία τους στις κατασκευές τεχνικών έρ-

γων (Mitchell 1973, Way 1978, Lillesand and Kiefer 1979, Townshend 1981, Mintzer 1983). Η τυποποίηση των προτύπων φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών των γεωμορφών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φωτογεωμορφολογικών κλειδιών.

Ως γεωμορφές (Σχ. 1) ορίζονται σ' αυτή την προσέγγιση οι μορφολογικές ενότητες του αναγλύφου, συνήθως της τρίτης τοπογραφικής τάξης, που έχουν προέλθει από γεωλογικές και γεωμορφολογικές φυσικές διεργασίες και οι οποίες, εφόσον διεμορφώθησαν κάτω από παρόμοιες συνθήκες (κλίματος, αποσάθρωσης, διάβρωσης, κ.λπ.), θα παρουσιάζουν προσδιορίσιμη λιθολογική σύσταση και τυπικά, ορατά και φυσικά χαρακτηριστικά που αποκαλούνται *πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά* (landform pattern elements) (Way 1978, Lillesand and Kiefer 1979, Mintzer 1983).



**Σχ. 1.** Ενδεικτικό διάγραμμα γεωμορφής με τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της (Way, 1978).

Αυτός ο ορισμός των γεωμορφών βασίζεται στην υπόθεση ότι δυο οποιεσδήποτε γεωμορφές που έχουν προέλθει από το ίδιο μητρικό υλικό ή που έχουν αποτεθεί με την ίδια διεργασία και που και οι δυο βρίσκονται στην ίδια σχετική θέση, και κάτω από παρόμοιες κλιματικές συνθήκες θα παρουσιάζουν παρόμοια πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, φυσικές ιδιότητες, λιθολογική σύσταση, και τεχνικά χαρακτηριστικά. Έτσι για παράδειγμα, πεδία πλημμυρών (υπερχειλίσεως), αλλουβιακά ριπίδια, κουέστας, και φακοειδείς λιθωνολόφοι θα έχουν πα-

ρόμια πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οπουδήποτε στον κόσμο και αν βρίσκονται κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες καθώς και προσδιορισμο εύρος τεχνικών χαρακτηριστικών.

Στα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται η ταπογραφική μορφή, η μορφή του υδρογραφικού δικτύου και η υφή του, ο τύπος και το πλήθος των διαβρωτικών χαραδρώσεων, ο φωτογραφικός τόνας και η υφή του εδάφους, η χρήση γης, και το είδος της βλάστησης (Σχ. 1). Τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά στοιχεία έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να βοηθούν την περιγραφή, αναγνώριση, κατάταξη, και ερμηνεία των γεωμορφών από αεροφωτογραφίες και άλλες τηλεπισκοπικές εικόνες.

Η αναγνώριση των γεωμορφών με βάση τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους βασίζεται σε γνωστές συσχετίσεις μεταξύ των γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους. Η τοπογραφική μορφή είναι έκφραση του φυσικού αναγλύφου όπως αυτό διαμορφώθηκε μέσω διεργασιών διαβρώσεως ή αποθέσεως κάτω από δεδομένες κλιματικές και γεωλογικές συνθήκες. Η τοπογραφική μορφή περιγράφεται ως συνάρτηση των κλίσεων (ήπιες, μέτριες, μετρίως απότομες και απότομες), της μορφής του αναγλύφου (πεδινό, λοφώδες, ορεινό), και της περιοχής μελέτης (απότομες βουνοκορφές, αποστρωγγυλοποιημένες βουνοκορφές κ.λπ.). Η τοπογραφική μορφή, η διαπερατότητα, το πορώδες και ο τύπος διάβρωσης μιας γεωμορφής καθορίζουν τη μορφή και την υφή του υδρογραφικού δικτύου που κατά συνέπεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση της γεωμορφής. Υπάρχουν πολλές μορφές του υδρογραφικού δικτύου, οι πιο καινές είναι το δενδριτικό (με οξείες γωνίες συμβαλλόντων παραποτάμων), το παράλληλο (με πολλούς παράλληλους παραποτάμους), το αρθρώσιο (με σχεδόν ορθές γωνίες συμβαλλόντων παραποτάμων), το ακτινωτό, το δικτυωτό και άλλα (Argialas κ.ά. 1988). Ο τύπος της χαραδρωτικής διάβρωσης συχνά χρησιμοποιείται σαν ένδειξη του είδους του εδάφους και του μητρικού υλικού. Διακρίνονται δε συνήθως τρεις τύποι χαραδρωτικής διάβρωσης (1) σχήματος "U" που απαντάται σε συνεκτικά εδάφη, (2) σχήματος "Π" (αντίστροφου Π) που απαντάται σε μερικώς συνεκτικά εδάφη και (3) σχήματος "V" που απαντάται σε μη συνεκτικά εδάφη. Η φυσική βλάστηση μπορεί να δώσει αρκετές ενδείξεις σχετικά με το είδος του εδάφους για εκείνες τις περιπτώσεις που υπάρχουν γνωστές συσχετίσεις βλάστησης-εδάφους. Οι σχέσεις μεταξύ χρήσεων γης και γεωμορφών είναι οι λιγότερο σαφείς μια που και η επίδραση του ανθρώπου μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά αυτή τη σχέση.

Για τη διεκπεραίωση της φωτογεωμορφολογίας συνίσταται η συλλογή, μελέτη και ανάλυση συμπληρωματικού και βοηθητικού

- βιβλιογραφικού υλικού που αναφέρεται στη γεωλογία, γεωμορφολογία, βλάστηση και περιβάλλον της περιοχής μελέτης, και
- χαρτογραφικού υλικού (τοπογραφικών, γεωλογικών και εδαφολογικών χαρτών και χαρτών χρήσεων γης και βλάστησης).

Ο παραπάνω ορισμός των γεωμορφών δεν είναι απόλυτα συμβατός με εκείνους άλλων επιστημονικών κλάδων που ονομάζουν γεωμορφή είτε το σχήμα είτε την τοπογραφική μορφή του αναγλύφου (κοιλιάδες, βουνά, πεδιάδες), είτε τα τεκτονικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής (κανονικά ρήγματα). Τέτοιου τύπου ορισμοί γεωμορφών δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τους την ομοιογένεια της λιθολογικής σύστασης ή το υλικό της γεωμορφής που είναι χρήσιμο στοιχείο για τους μηχανικούς τεχνικών έργων που ενδιαφέρονται για τον προσδιορισμό των εδαφομηχανικών ιδιοτήτων και της τεχνικής συμπεριφοράς των γεωμορφών και εδαφών στις κατασκευές (Way, 1978). Η τεχνική φωτογεωμορφολογία, απ' την άλλη πλευρά, παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που αφορούν τη γεωλογική δομή των γεωμορφών, την λιθολογική τους σύσταση και την τεχνική τους συμπεριφορά και έτσι είναι πιο χρήσιμη για τους μηχανικούς τεχνικών έργων. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από μηχανικούς και γεωεπιστήμονες για να προσδιορίσουν περιοχές οι οποίες απαιτούν επιπρόσθετες εργασίες διερεύνησης, όπως γεωτεχνικές μελέτες, γεωτρήσεις και άλλου είδους εργασίες υπαίθρου (Way 1978).

## **1.2. Πρακτικά ωφέλη και θεωρητικές επιδιώξεις της συμβολικής αναπαράστασης της φωτογεωμορφολογικής γνώσης μέσω έμπειρων συστημάτων**

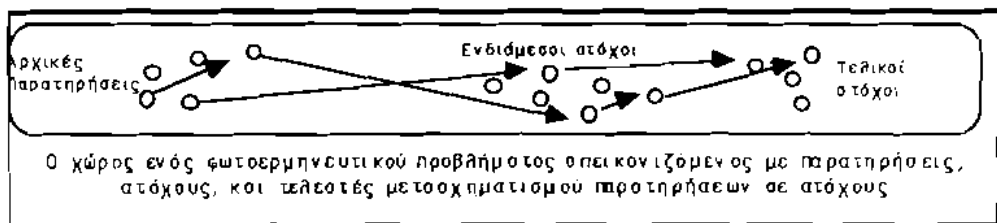
Η τεχνική φωτογεωμορφολογία είναι χρήσιμη για τους γεωεπιστήμονες και μηχανικούς που εργάζονται για την προστασία των φυσικών διαθεσίμων, τα περιβαλλοντικά προβλήματα, τις μελέτες τεχνικής γεωλογίας και τις μελέτες τεχνικών έργων. Οι ανάγκες αυτές υπάρχουν στο Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., τον Ο.Κ.Χ.Ε., το Ι.Γ.Μ.Ε., το ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε., τα Δασολογικά και Εδαφολογικά Ινστιτούτα -Ι.Χ.Τ.Ε., τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και τις Ένοπλες Δυνάμεις. Αναμφίβολα δε ο ιδιωτικός τομέας έχει παρόμοιες ανάγκες. Συνήθως όμως σε αυτούς τους φορείς υπάρχει έλλειψη ειδικών φωτοερμηνευτών και τα λίγα υπάρχοντα νέα τους στελέχη δεν έχουν την επαρκή εμπειρία για να εκτελέσουν αποτελεσματική και έγκαιρη φωτοερμηνεία όσον αφορά τα περιβαλλοντικά, και τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν.

Η διαδικασία της τεχνικής φωτογεωμορφολογίας είναι χρονοβόρα και κοστίζει μια φηφικη περιόδο στην εδαφολογία, τα τμήματα γεωλογίας, α.φ.ε. εκτεταμέ-

νες σπουδές και μακροχρόνια πρακτική εμπειρία. Μπορεί δε ακόμα να χαρακτηριστεί πώτερο σαν τέχνη παρά σαν επιστήμη μια που έχει έλλειψη μιας μεθοδικής θεωρίας. Η υπάρχουσα σε βιβλία και εγχειρίδια γνώση είναι περιγραφική και μάλλον ασαφής χωρίς συγκεκριμένη αναφορά στη στρατηγική διαδικασία (ή πορεία επίλυσης) που ενδείκνυται να ακολουθηθεί για να οδηγηθεί ένας άπειρος φωτοερμηνευτής στην αναγνώριση μιας γεωμορφής (Σχ. 2). Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν εκπαιδευμένοι και ειδικευμένοι έμπειροι φωτοερμηνευτές που με επιδεξιότητα επιτελούν καθημερινά τέτοιες διαδικασίες. Προφανώς η υπονοούμενη φωτογεωμορφολογική γνώση υποβοηθά κατά κάποιο τρόπο τους έμπειρους ερμηνευτές να αναγνωρίζουν άμεσα ή να ερμηνεύουν έμμεσα τις γεωμορφές. Συνεπώς είναι χρήσιμο να τυποποιηθεί η γνώση των εμπειρών κατά τρόπο που να επιτρέπει σε αρχάριους φωτοερμηνευτές να επωφεληθούν με χρήση αυτής της τυποποίησης.

Σε επιστημονικό επίπεδο, αυτή η τυποποίηση, μέσω μιας κατάλληλης συμβολικής αναπαράστασης σε περιβάλλον υπολογιστή είναι αναγκαία διότι (Σχ. 2):

1. υπάρχει η ανάγκη για βαθύτερη κατανόηση και αντικειμενικοποίηση της φωτογεωμορφολογικής γνώσης.
2. δεν είναι γνωστό το είδος, το επίπεδο και η ακρίβεια των δεδομένων που απαιτούνται από το φωτοερμηνευτή για να επιτευχθεί μια επαρκής φωτοερμηνεία.
3. υπάρχει έλλειψη της επεξήγησης της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας σε συγγράμματα και εγχειρίδια.
4. υπάρχει έλλειψη ενός συστηματικού πλαισίου φωτοερμηνείας, και
5. η έλλειψη τυποποίησης οδηγεί στη μη επαναληπτικότητα της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας καθώς επίσης και στη μη δυνατότητα να διδαχθεί και να μεταδοθεί με σαφήνεια.



**Σχ. 2.** Ο χώρος επίλυσης ενός φωτοερμηνευτικού προβλήματος αποτελείται από αρχικές παρατηρήσεις, ενδιάμεσες και τελικές υποθέσεις γεωμορφολογικών διεργασιών και σχηματισμών καθώς και από τελεστές που μετατρέπουν συνδυασμούς παρατηρήσεων ή υποθέσεων σε άλλες εύλογες υποθέσεις. Αυτός είναι ο ερευνητικός χώρος του προβλήματος που προσπαθούμε να ορίσουμε με αυτή την έννοια για το αντικείμενο της φωτογεωμορφολογίας.



Έτσι είναι ευνόητο ότι για πρακτικούς αλλά και επιστημονικούς λόγους υπάρχει ανάγκη για την τυποποίηση αφ' ενός και για την αυτοματοποίηση αφ' ετέρου της υπονοούμενης φωτογεωμορφολογικής στρατηγικής διαδικασίας. Η τυποποίηση και αυτοματοποίηση της φωτοερμηνευτικής γνώσης έχει επιχειρηθεί για ορισμένα φωτοερμηνευτικά προβλήματα με τη δημιουργία παραστατικών και διαδικαστικών φωτοερμηνευτικών κλειδιών. Στην φωτογεωμορφολογία έχουν αναπτυχθεί παραστατικά κλειδιά (Way 1978), υπάρχει όμως έλλειψη διαδικαστικών κλειδιών.

Τα φωτοερμηνευτικά διαδικαστικά κλειδιά εμπεριέχουν μια σειρά από πληροφορίες που πρέπει να «ρωτήσει» ο φωτοερμηνευτής την αεροφωτογραφία, παρατηρώντας την στερεοσκοπικά, για να φθάσει στην αναγνώριση των εμφανιζομένων σ' αυτή αντικειμένων. Σήμερα τα διαδικαστικά φωτοερμηνευτικά κλειδιά μπορούν να κατασκευαστούν με χρήση σύγχρονων τεχνικών και λογισμικού έτσι ώστε να επιτρέπουν διαλογική επικοινωνία με τον υπολογιστή και κατά τρόπον που θα υποβοηθούν άπειρους ή αρχάριους φωτοερμηνευτές στην ανάλυση και ερμηνεία γεωμορφών μέσω στερεοσκοπικής παρατήρησης αεροφωτογραφιών και άλλων τηλεπισκοπικών εικόνων. Οι τεχνολογίες υπολογιστών που δίνουν αυτή τη δυνατότητα είναι εκείνες των εμπειρών συστημάτων, οι οποίες προσφέρουν την αναπαράσταση της γνώσης και εμπειρίας των ειδικευμένων επιστημόνων και επαγγελματιών μέσα σε προγράμματα υπολογιστού, που καλούνται έμπειρα συστήματα (Argialas και Harlow 1990). Αυτά τα προγράμματα μπορούν, αφού πρώτα αποταμιεύσουν τη γνώση των εμπειρών, να χρησιμοποιηθούν από αρχάριους προς αναζήτηση πληροφοριών, παραδειγμάτων, και προσεγγίσεων που έως τώρα μόνο οι έμπειροι μπορούσαν να έχουν στη διάθεσή τους.

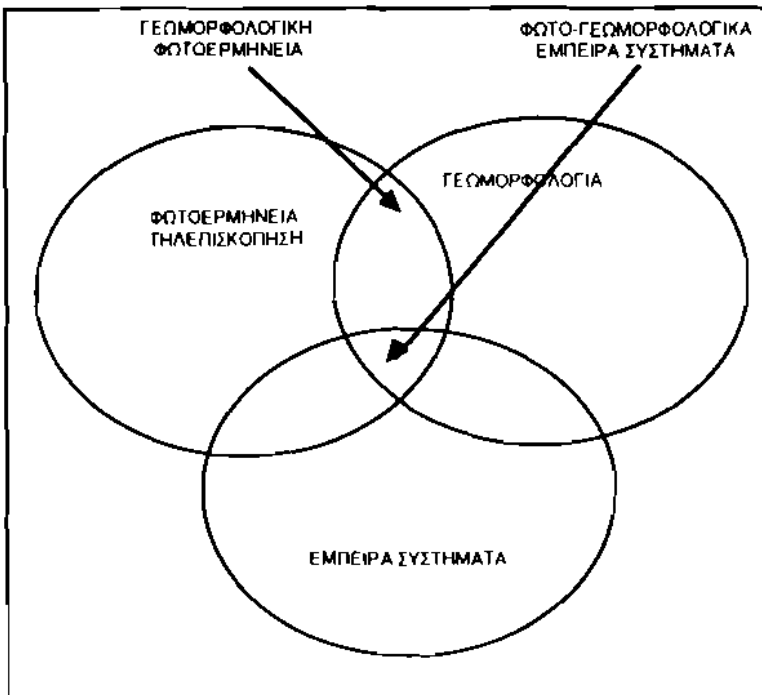
Με τη βοήθεια της διαλογικής επικοινωνίας του λογισμικού του εμπειρού συστήματος ο φωτοερμηνευτής θα βοηθηθεί στην καθημερινή πρακτική του μέσω της εφαρμογής μιας πότερο τυποποιημένης διαδικασίας. Αυτή η τυποποίηση της διαδικασίας αναμφίβολα θα οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας και της αξιοπιστίας της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας μια που τώρα πια θα μπορεί να γίνεται κατά τρόπο παρόμοιο με εκείνον του εμπειρού φωτοερμηνευτή. Ο αρχάριος φωτοερμηνευτής θα μπορεί μόνος του, αλλά καθοδηγούμενος από το εκπαιδευτικό λογισμικό που θα εμπεριέχει τη «γνώση» των εμπειρών, να «εξερευνήσει» με την άνεσή του κάθε εναλλακτική φωτογεωμορφολογική υπόθεση ή συνδυασμό φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών που πιθανολογικά αντιστοιχούν στην περιοχή μελέτης του.

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η συμβολικά τυποποιημένη φωτοερμηνευτική γνώση (σε περιβάλλον υπολογιστή) θα μπορεί καλύτερα να διατηρηθεί, να ανακτηθεί, να διδαχθεί, να επεκταθεί, να τροποποιηθεί και να γίνει θέμα αντικειμενικότερης κριτικής.

## 2. Εφαρμογές εμπειρων συστημάτων στη φωτοερμηνεία γεωμορφολογικών σχηματισμών

Για την τυποποίηση της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας ο Αργιαλάς και οι συνεργάτες του έχουν αναπτύξει ποικίλες τεχνικές εμπειρων συστημάτων και έχουν κάνει βήματα στην αναπαράσταση της διαδικασίας της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου σε ένα στηριζόμενο σε γνώση εμπειρα σύστημα (Argialas 1996, Αργιαλάς 1995, Αργιαλάς 1994a, Αργιαλάς 1994b, Argialas 1990, Argialas 1989a, Argialas 1989b, Argialas 1988, Argialas και Mintzer 1992, Argialas και Harlow 1990, Argialas και Narasimhan 1989a, Argialas και Narasimhan 1989b, Narasimhan και Argialas 1989, Narasimhan και Argialas 1988a, Narasimhan και Argialas 1988b). Το Σχ. 3 παρουσιάζει το χώρο της παρούσας έρευνας.

Οι λόγοι της επιλογής των εμπειρων συστημάτων ως εργαλείου τυποποίησης της φωτοερμηνευτικής γνώσης είναι οι εξής:



Σχ. 3. Γραφική ακιαγράφηση που δείχνει την ερευνητική περιοχή αυτής της εργασίας.  
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

1. η μεθοδολογία της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου απαιτεί γνώση που είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρική και ευρετική,
2. η με υπολογιστή αναπαράσταση αυτής της γνώσης δεν μπορεί εύκολα να αποδοθεί με τις άκαμπτες και ακριβείς περιγραφές που είναι διαθέσιμες στις διαδικαστικές γλώσσες,
3. ενώ αντίθετα σε μεγάλο βαθμό καταδυναστεύεται από τη συμβολική αναπαράσταση, συμβολική λογική, ασαφή αναπαράσταση και ευρετική αναζήτηση που βέβαια οδηγούν στη μεθοδολογία των εμπειρών συστημάτων.

Εκτενής περιγραφή των αρχών, μεθόδων, εργαλείων αλλά και εφαρμογών των εμπειρών συστημάτων στην τηλεπισκόπηση παρουσιάστηκαν από τους Αργιαλά και Harlow (1990). Επίσης οι ίδιοι επιμελήθηκαν ενός τόμου που περιείχε μια σειρά από έμπειρα συστήματα για τηλεπισκόπηση (Argialas και Harlow, 1990a). Εδώ δεν μας επιτρέπει ο χώρος μια λεπτομερή ανάλυση. Ακολουθεί μια πολύ περιληπτική θεώρηση των εμπειρών συστημάτων. Τα έμπειρα συστήματα περιλαμβάνουν μεθόδους αναπαράστασης της γνώσης και επίλυσης προβλημάτων άπως μεθόδους συμπερασματικής λογικής και στρατηγικών ελέγχου της πορείας επίλυσης (Hayes-Roth et al. 1983, Harmon and King 1985, Jackson 1986). Οι πιο γνωστές τεχνικές αναπαράστασης της γνώσης περιλαμβάνουν τα σημασιολογικά δίκτυα, τους κανόνες παραγωγής και τα πλαίσια. Στις τεχνικές συμπερασματικής λογικής περιλαμβάνονται ο τρόπος του θέτειν, η αρχή της απάφασης, οι μέθοδοι χειρισμού αβεβαιότητας και ασάφειας και άλλες (Harmon and King, 1986, Τζαφέστας 1988). Οι στρατηγικές ελέγχου της συμπερασματικής λογικής επιτελούνται κατά την ορθή, την αναστροφή ή την αμφίδρομη συλλογιστική διαδικασία. Επιπροσθέτως η έρευνα του χώρου υποθέσεων και συμπερασμάτων μπορεί να γίνει είτε κατά βάθος είτε κατά πλάτος (Κρικέτος και Πάστρας 1979, Hayes-Roth et al., 1983).

Στη συνέχεια περιγράφονται συγκεκριμένες εφαρμογές εμπειρών συστημάτων του συγγραφέα και των συνεργατών του στη φωτοερμηνεία γεωμορφολογικών σχηματισμών. Η μεθοδολογία ανάπτυξης των εμπειρών συστημάτων για ερμηνεία γεωμορφών (TAX-1, 2, 3, 4) συμπεριλαμβάνει πέντε ανεξάρτητα αλλά επικολυπτόμενα εν μέρει στάδια: (1) τοποθέτηση του προβλήματος, (2) σύλληψη του προβλήματος, (3) τυποποίηση ή φορμαλισμό της γνώσης σε κατάλληλες δομές αναπαράστασης, (4) υλοποίηση και προγραμματισμός του εμπειρου συστήματος σε ένα κατάλληλο εργαλείο, και (5) έλεγχο και αξιολόγηση του συστήματος. Στην ανάπτυξη των εμπειρών συστημάτων που ακολουθούν παρουσιάζονται αυτά τα στάδια σε μικρή όμως έκταση το καθένα.

## 2.1. Το Έμπειρο Σύστημα TAX-1

Ο TAX-1 (Terrain Analysis expert) είναι ένα έμπειρο σύστημα στην περιοχή της τεχνικής φωτογεωμορφολογίας που εστιάζει στην αναγνώριση γεωμορφών, όπως ασβεστολίθων, αργιλικών σχιστόλιθων, ψαμμιτών, και άλλων (Argialas and Narasimhan, 1988a, 1988b). Η βάση γνώσης του TAX-1 περιλαμβάνει περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών καθώς και μια στρατηγική φωτοερμηνευτικής λογικής που επενεργεί επί των περιγραφικών δεδομένων για να βγάλει συμπεράσματα. Τα περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών εκφράζουν συσχετίσεις μεταξύ φυσιογραφικών περιοχών και αναμενόμενων σε αυτές γεωμορφών, καθώς και συσχετίσεις μεταξύ γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους. Τα περιγραφικά δεδομένα γεωμορφών αντιπροσωπεύτηκαν με την τριπλέτα αντικείμενο-ιδιότητα-τιμή, οι δε συσχετίσεις μεταξύ τους εκφράστηκαν με κατάλληλα επιλεγμένες δεσμευμένες πιθανότητες (Πίν. 1).

Η στρατηγική της φωτοερμηνευτικής λογικής εκφράσθηκε με τη μορφή κανόνων παραγωγής. Οι κανόνες παραγωγής είχαν τη μορφή

Hypothesis (H) IF evidence (E) with LS, LN

Αν υπάρχει η μαρτυρία (E) με LS, LN, τότε είναι αληθής η Υπόθεση (H)

Δηλαδή κάθε γεωμορφολογικά χαρακτηριστικό θεωρήθηκε σαν μια μαρτυρία (E) που συνέβαλε στην ενίσχυση ή εξασθένηση μιας υπόθεσης (H) για μια συγκεκριμένη γεωμορφή με βάση δύο μέτρα LS και LN. Το LS εξέφραζε το μέτρο επάρκειας μιας παρατήρησης στην εγκαθίδρυση της δεδομένης γεωμορφής και το LN εξέφραζε το μέτρο αναγκαιότητας της ύπαρξης του εκάστοτε χαρακτηριστικού στοιχείου χωρίς την παρουσία του οποίου η συγκεκριμένη υπόθεση έπρεπε να απορριφθεί.

Τα περιγραφικά δεδομένα και οι κανόνες παραγωγής απετέλεσαν τη βάση γνώσης η οποία δομήθηκε στη συμβολική γλώσσα προγραμματισμού OPS5, που παρέχει μια μηχανή αποφάσεων της οποίας η συλλογιστική πορεύεται από το δεδομένα προς τις υποθέσεις. Πάνω σε αυτή τη μηχανή οικοδομήθηκαν επιπρόσθετοι μηχανισμοί αποφάσεων: (1) ένας μηχανισμός ανάστροφης συλλογιστικής πορείας για να εκμαιεύει από το χρήστη τα χαρακτηριστικά στοιχεία της υπό μελέτη περιοχής και (2) ένας μηχανισμός αβέβαιης συλλογιστικής με βάση πιθανότητες δεδομένων και υποθέσεων.

Η σχεδιασθείσα βάση γνώσης περιείχε δυο ξέχωρα τμήματα. Το ένα αφορούσε συγκεκριμένη δηλωτική γνώση περί φυσιογραφικών περιοχών, γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους στοιχείων, η οποία αποθηκεύτηκε υπό μορφήν γεγονότων (αντικείμενο - χαρακτηριστικό - τιμή). Το

| Pattern element   | Pattern element value<br><br>(Evidence) | P (Evidence/Hypothesis)<br>Conditional probability of each evidence given the hypothesis of |             |                 |
|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
|                   |                                         | Humid Sandstone                                                                             | Humid Shale | Humid Limestone |
| Topography        | Steep slopes                            | 0.6                                                                                         | 0.15        | 0.5             |
|                   | Medium slopes                           | 0.2                                                                                         | 0.7         | 0.25            |
|                   | Flat - undulating                       | 0.2                                                                                         | 0.15        | 0.25            |
| Drainage pattern  | Dendritic                               | 0.6                                                                                         | 0.8         | 0.1             |
|                   | Rectangular                             | 0.2                                                                                         | 0.1         | 0.0             |
|                   | Angular                                 | 0.2                                                                                         | 0.1         | 0.1             |
|                   | Internal                                | 0.0                                                                                         | 0.0         | 0.8             |
| Drainage texture  | Coarse                                  | 0.6                                                                                         | 0.1         | 0.1             |
|                   | Medium                                  | 0.3                                                                                         | 0.3         | 0.0             |
|                   | Fine                                    | 0.1                                                                                         | 0.6         | 0.0             |
| Soil tone         | Light                                   | 0.7                                                                                         | 0.2         | 0.3             |
|                   | Medium                                  | 0.2                                                                                         | 0.6         | 0.5             |
|                   | Dark                                    | 0.1                                                                                         | 0.2         | 0.2             |
| Landuse - valleys | Cultivated                              | 0.3                                                                                         | 0.7         | 0.8             |
|                   | Forested                                | 0.5                                                                                         | 0.1         | 0.1             |
|                   | Urban                                   | 0.2                                                                                         | 0.2         | 0.1             |
| Landuse - slopes  | Cultivated                              | 0.1                                                                                         | 0.1         | 0.7             |
|                   | Forested                                | 0.9                                                                                         | 0.8         | 0.2             |
|                   | Urban                                   | 0.0                                                                                         | 0.1         | 0.1             |
| Gully type        | V-shaped                                | 0.8                                                                                         | 0.1         | 0.5             |
|                   | Sag and swale                           | 0.1                                                                                         | 0.8         | 0.0             |
|                   | U-shaped                                | 0.1                                                                                         | 0.1         | 0.5             |
| Gully amount      | Non                                     | 0.3                                                                                         | 0.0         | 0.8             |
|                   | Few                                     | 0.7                                                                                         | 0.2         | 0.2             |
|                   | May                                     | 0.0                                                                                         | 0.8         | 0.0             |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Υπό συνθήκες πιθανότητες εμφάνισης του κάθε φωτογεωμορφολογικού χαρακτηριστικού για την κάθε μια από τρεις γεωμορφές (υποθέσεις όπως δόθηκαν από έμπειρο φωτοερμηνευτή και χρησιμοποιήθηκαν στα έμπειρα συστήματα Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστος - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. ΤΑΧ - 1, 2, 3 (Argialas και Narasimhan, 1988a).

άλλο αφορούσε τη διαδικαστική γνώση, δηλαδή τη μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων, η οποία έλαβε τη μορφή κανόνων παραγωγής που επιτελούσαν την αβέβαιη συλλογιστική διαδικασία (Πλν. 2).

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Κανόνας παραγωγής γραμμένος στη γλώσσα OPS5</p> | <pre>(ρ hypothesize_a_landform_type_based_on_physiography   (section_landform_pair     ^section_name          &lt;section_value&gt;     ^landform_type         &lt;landform_value&gt;     ^section_landform_prob &lt;probability_value&gt;  -&gt;    (make_landform_of_the_site     ^landform_type         &lt;landform_value&gt;     &lt;probability           &lt;probability_value&gt;</pre>                                                                           |
| <p>Επεξήγηση των συμβόλων της γλώσσας OPS5</p>     | <p>ρ        Σημαίνει κανόνας παραγωγής<br/>     ^        Σημαίνει ότι χαρακτηριστικό<br/>     &lt;&gt;      Εμπεριέχει την τιμή ενός χαρακτηριστικού<br/>     -&gt;      Σημαίνει «τότε»</p>                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>Ερμηνεία του κανόνα</p>                         | <p>Αν ο χρήστης έχει δηλώσει τη φυσιογραφική ενότητα της περιοχής μελέτης και υπάρχει στη βάση γνώσης ένα αντικείμενο που εμπεριέχει την a priori πιθανότητα εμφάνισης μιας οποιασδήποτε γεωμορφής στη δηλωθείσα φυσιογραφική περιοχή,<br/>     Τότε ορχειοποίησε την πιθανότητα εμφάνισης της «γεωμορφής της περιοχής μελέτης» με την τιμή της a priori πιθανότητας εμφάνισης της ίδιας γεωμορφής στη συγκεκριμένη φυσιογραφική περιοχή που βρέθηκε στη βάση γνώσης.</p> |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.** Ένας κανόνας παραγωγής γραμμένος στη συμβολική γλώσσα OPS5 που χρησιμοποιήθηκε στο έμπειρο σύστημα TAX-1 ο οποίος ενεργοποιεί την αναπαράσταση μιας γεωμορφής στηριζόμενος σε φυσιογραφική πληροφορία. (Argialas και Narasimhan, 1988b).

Μέσω της σχεδιασθείσας ανάστροφης συλλογιστικής διαδικασίας, ο TAX-1 πρώτα εκμαιεύει από το χρήστη δεδομένα που αφορούν τη φυσιογραφική ζώνη που ανήκει η υπό μελέτη περιοχή, βάση των οποίων παράγει εύλογες προθέσεις για την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφών.

Κατόπιν συνεχίζει να εκμαιεύει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των γεωμορφών ώστε να εγκαθιδρύσει ή απαρρίψει, με κάποιο βαθμό βεβαιότητας, μια ή όλες τις εύλογες υποθέσεις γεωμορφών.

Όλα τα χαρακτηριστικά στοιχεία των γεωμορφών που παρέιχε ο χρήστης στο TAX-1 είχαν προσαρτημένο ένα βαθμό βεβαιότητας, οι τιμές του οποίου κυμαινόνταν μεταξύ  $-3$  και  $+3$  και εξέφραζε τη σιγουριά του χρήστη για την παρουσία αυτού του χαρακτηριστικού όπως εκείνος το ερμήνευε από την αεροφωτογραφία. Ο πίνακας 3 περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα επικοινωνίας με το χρήστη από τη συμβουλευτική διαδικασία του TAX-1.

---

Please provide the following information about the site.

To which Physiographic-section does the site belong?

**Cumberland-plateau** (απάντηση του χρήστη)

Is the "gully-amount" of the site "none"? -3

Is the "gully-amount" of the site "few"? 1

Is the "gully-type" of the site "v-shaped"? 3

Is the "landuse-valleys" of the site "cultivated"? -1

Is the "landuse-valleys" of the site "forested"? 3

Is the "landuse-slopes" of the site "cultivated"? -3

Is the "landuse-slopes" of the site "forested"? 3

Is the "soil-tone" of the site "medium"? 1

Is the "soil-tone" of the site "light"? 0

Is the "soil-tone" of the site "dark"? 0

Is the "drainage-texture" of the site "coarse"? 3

Is the "drainage-type" of the site "internal"? -2

Is the "drainage-type" of the site "angular"? 2

Is the "topography" of the site "steep-slopes"? 3

Is the "gully-amount" of the site "many"? -2

The site appears to be "sandstone-humid"

The certainty associated with this result is "0.99"

---

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.** Τυπικός διάλογος κατά τη συμβουλευτική διαδικασία του εμπειρου συστήματος TAX-1. Οι έντονοι και υπογραμμισμένοι αριθμοί παριστάνουν τη βεβαιότητα του χρήστη, μεταξύ  $-3$  και  $3$ , για την εμφάνιση της συγκεκριμένης τιμής ενός φωτογεωμορφολογικού χαρακτηριστικού (Argialas και Narasimhan, 1988b).

## 2.2. Το Έμπειρο Σύστημα TAX-2

Μια νέα σύλληψη της δομής του TAX έγινε με την εισαγωγή πλαισίων (Argialas, 1989). Πλαίσια σχεδιάσθηκαν για την αναπαράσταση των σχετικών τάξεων και αντικειμένων όπως π.χ. των φυσιογραφικών ζωνών, των γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους. Ιδιότητες των αντικειμένων εκφράσθηκαν διαμέσου των υποδοχών των πλαισίων. Το Σχ. 4 δίνει ένα παράδειγμα του πλαισίου που περιγράφει την τοπογραφική μορφή μιας γεωμορφής. Με σχεδιασμό κατάλληλων κληρονομικών ιεραρχιών, επιτεύχθηκε η μεταβίβαση ιδιοτήτων αλλά και διαδικασιών από γενικευμένες παραστάσεις αντικειμένων στις ειδικευμένες τους. Στο Σχ. 4 δίνεται ένα παράδειγμα κληρονομικότητας τέτοιων ιδιοτήτων από το πλαίσιο *pattern element generic* στο πλαίσιο *topography*, δηλαδή, όλες οι εμφανιζόμενες υποδοχές στο *topography* έχουν κληρονομηθεί από το *pattern element generic*. Διαδικαστική γνώση που αφορούσε το κάθε αντικείμενο αποθηκεύτηκε υπό μορφήν προσαρτημένων κανόνων στις υποδοχές του πλαισίου, οι οποίοι μέσω κατάλληλης ορθής ή αναστροφής συλλογιστικής, έφεραν στο προσκήνιο άλλους κανόνες προς ολοκλήρωση του όνομακίου συμπερασματικού δικτύου. Στο Σχ. 4 οι θυρίδες *BEST* και *STEEP SLOPES* περιέχουν τις διαδικαστικές προσαρτήσεις *ASK VALUE* και *GET INFERRED* αντιστοίχως που θα ενεργοποιήσουν κατάλληλους κανόνες σε μια ανάστροφη συλλογιστική διαδικασία για να επιφέρουν τη ζητούμενη ενέργεια. Αυτό το έμπειρο σύστημα, Terrain Analysis Expert-2 (TAX-2), δομήθηκε στο περιβάλλον ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων *Intelligence Compiler* που είναι ένα εργαλείο του οποίου η μηχανή αποφάσεων επιτρέπει ορθή και ανάστροφη συλλογιστική ακόμη δε και τη χρήση πλαισίων (*Intelligence Ware*). Όμως ο *Intelligence Compiler* στερούνταν μεθόδου αβέβαιης συλλογιστικής και έτσι αυτός ο μηχανισμός προγραμματίσθηκε πέρα και πάνω από τη μηχανή απόφασής τους.

## 2.3. Το Έμπειρο Σύστημα TAX-3

Μια πιο πρόσφατη σύλληψη της δομής του TAX έγινε με βάση τη Θεωρία των Ασαφών Συνόλων και τη θεωρία της Μαρτυρίας των Dempster-Shafer (Narasimhan και Argialas 1988b, Narasimhan και Αργιαλάς 1989). Πολλοί τοπογραφικοί και γεωμορφολογικοί όροι περιγράφονται με ποιοτικές εκφράσεις και ειδικότερα με γλωσσολογικούς όρους, όπως «ήπιο ή ομαλό ανάγλυφο», και «μερικώς τετραγωνικό, μερικώς δενδριτικά υδρογραφικό πρότυπο» οι οποίοι δεν είναι σαφείς και



ακριβείς. Η θεωρία των ασαφών συνόλων προσφέρει μια μεθοδολογία για την έκφραση τέτοιων γλωσσολογικών περιγραφών. Η θεωρία των ασαφών συνόλων εφαρμόστηκε για τη μοντελοποίηση των ασαφών γλωσσολογικών όρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην γεωμορφολογική φωτοερμηνεία (Narasimhan και Argialas 1988b, Narasimhan και Argialas 1989).

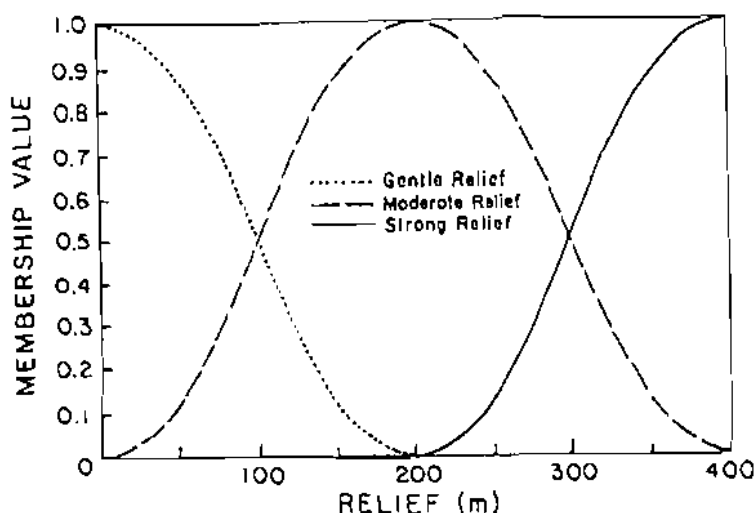
| Frame          | Topography               |               |
|----------------|--------------------------|---------------|
| Parent         | Pattern element generic  |               |
| Best           |                          | get -inferred |
| Name           | Topography               |               |
| Steep_slopes   | SS                       | ask_value     |
| Medium_slopes  | MS                       | ask_value     |
| Flat_undulatin | FU                       | ask_value     |
| Sandstone      | Sandstone_topography -eh |               |
| Shale          | Shale_topography -eh     |               |
| Limestone      | Limestone_topography -eh |               |

**Σχ. 4.** Αναπαράσταση της τοπογραφικής μορφής σε πλαίσιο στο έμπειρα σύστημα TAX-2 (Argialas, 1989).

Μια εφαρμογή της μεθοδολογίας της ασαφούς λογικής καθώς και του τρόπου υπολογισμού της συνάρτησης συμμετοχής ακολουθεί στο παράδειγμα του γεωμορφολογικού όρου «ανάγλυφο». Το «ανάγλυφο» μπορεί να οριστεί ως η διαφορά μεταξύ του μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου μιας περιοχής. Μια συνήθης ταξινόμηση του ανάγλυφου το διαχωρίζει σε Ήπιο (0-100 m), Μέτριο (100-300 m) και Έντονο (μεγαλύτερο των 300 m).

Η πλήρως ορισμένη και αριθμητική μεταβλητή «Ανάγλυφο σε μέτρα» μπορεί αν λάβει τη θέση της θεμελιώδους μεταβλητής στον ορισμό των ασαφών όρων Ήπιο, Μέτριο και Έντονο Ανάγλυφο. Από τους πιο πάνω ορισμούς, είναι δυνατόν να συμπεράνουμε ότι μια επίπεδη επιφάνεια (με μηδενικό ανάγλυφο) μπορεί να θεωρηθεί μέλος μόνο του συνόλου Ήπιο Ανάγλυφο. Αυτό σημαίνει ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η συνάρτηση συμμετοχής, που γενικώς μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0-1, έχει την τιμή 1 (Σχ. 5). Μια επιφάνεια με ανάγλυφο 100 m μπορεί να εκφραστεί σαν Ήπιο ή Μέτριο Ανάγλυφο και έτσι η συνάρτηση συμμετοχής μπορεί να έχει την τιμή 0.5 για το Ήπιο και 0.5 για το Μέτριο Ανάγλυφο. Παρατηρούμε στο Σχ. 5, ότι η τιμή της συνάρτησης συμμετοχής, η

οποία εκφράζει το κατά πόσο το ανάγλυφο μιας επιφάνειας είναι μέλος της τάξης του Ήπιου Ανάγλυφου, ελοππώνεται από το 1 προς το 0 όσο το ανάγλυφο αυξάνεται, γίνεται δε 0 όταν το ανάγλυφο φτάσει τα 200 m. Ο τρόπος μεταβολής των υπολοίπων τάξεων του αναγλύφου φαίνεται στο Σχ. 5. Ο πλήρης ορισμός των τάξεων του ανάγλυφου σε σχέση με τις παράμετρους της συνάρτησης συμμετοχής παρέχεται στην εργασία των Narasimhan και Argialas (1989).



Σχ. 5. Συνάρτησεις συμμετοχής για το τοπογραφικό ανάγλυφο στο έμπειρο σύστημα TAX-3 (Narasimhan και Argialas 1989).

#### 2.4. Η τοποθέτηση και σύλληψη του εμπειρού συστήματος TAX-4

Στα ακόλουθα παρουσιάζεται μια κριτική θεώρηση των εμπειρών συστημάτων TAX-1, 2, 3 και εισάγεται η ανάγκη, τοποθέτηση και σύλληψη της νέας ερευνητικής προσπάθειας που μας οδηγεί στην υλοποίηση του συστήματος TAX-4.

Οι στόχοι μιας τυπικής συμβουλευτικής αλληλεπίδρασης με τα έμπειρα συστήματα TAX-1, 2, 3, ήταν οι ακόλουθοι:

1. ο προσδιορισμός του είδους της γεωμορφής, κάτω από την υπόθεση ότι ένα είδος γεωμορφής εξετάζεται κατά τον κάθε κύκλο της συμβουλευτικής διαδικασίας,
2. η προσέγγιση που ακολούθησε για την αναγνώριση των γεωμορφών ήταν η προσέγγιση των φωτογεωμορφολογικών κλειδιών που περιγράφηκε προηγουμένως,

3. η συσχέτιση μεταξύ φυσιογραφικών ενοτήτων και των αναμενόμενων γεωμορφών περιγράφηκε με την χρήση πιθανοτήτων που εξέφραζαν την πιθανότητα εμφάνισης των γεωμορφών στις διάφορες φυσιογραφικές ενότητες,
4. επιλέχθηκαν έξι είδη γεωμορφών (ψαμμίτης, σχίστης, ασβεστόλιθος σε υγρό και ξηρό κλίμα αντίστοιχα) προκειμένου να επικεντρωθεί σε αυτές η διαδικασία της αναπαράστασης της γνώσης,
5. η στατική και δυναμική γνώση αποτελείτο από γεγονότα και κανόνες που συγκεντρώθηκαν από 1) εκπαιδευτικά εγχειρίδια (Way 1978, Lillesand and Kiefer 1979), 2) τεχνικές εκθέσεις, 3) την εμπειρία των συγγραφέων και 4) από συνέντευξη με έναν έμπειρο αναλυτή πεδίου.

Η σχεδίαση του TAX βασίστηκε σε ένα Bayesian δίκτυο λήψης αποφάσεων (συλλογιστική με πιθανότητες) που δημιουργήθηκε διαμέσου μιας ορθής συλλογιστικής διαδικασίας αναζήτησης λύσεων. Θα ήταν άδικο να υποθέσουμε ότι οι άνθρωποι σκέπτονται κατά κύριο λόγο με όρους πιθανοτήτων, βεβαιοτήτων ή συναρτήσεων συμμετοχής. Η αριθμητική αναπαράσταση της σχετικότητας της πράσληψης των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών είναι μια πρώτη προσέγγιση στο δύσκολο αυτό πρόβλημα. Υπάρχει ανάγκη να ανακαλύψουμε τη γνώση που κρύβεται πίσω από τις πιθανότητες και τις βεβαιότητες και να εκφράσουμε αυτή τη γνώση άμεσα με κανόνες παραγωγής. Είναι συνεπώς προφανές ότι προκειμένου να δημιουργηθούν εξυπνότερες εφαρμογές είναι απαραίτητο να αυξηθεί το επίπεδο πλοκής της αναπαριστάμενης γνώσης.

Η παραδοσιακή μέθοδος των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών προσεγγίζει ένα μικρό τμήμα των δεδομένων που προσλαμβάνει ο έμπειρος προτού λάβει μια απόφαση. Ο έμπειρος αναλυτής, προκειμένου να ερμηνεύσει το είδος μιας γεωμορφής, είναι σε θέση αποτελεσματικότερα να θεωρήσει τα φυσιογραφικά δεδομένα, τη σχετική γεωμορφολογική θέση της γεωμορφής, τις γεωμορφολογικές διεργασίες και συνθήκες καθώς και άλλα επιπρόσθετα δεδομένα (Αστεριάδης 1990, Αυγουστίδης 1969, Γκουρνέλλος 1986, Παπαπέτρου-Ζαμάνη 1993). Ένα έμπειρο σύστημα που θα λάμβανε υπ' όψη τέτοιου είδους βαθύτερη γνώση, θα ήταν σε θέση να επιφέρει μια αποτελεσματικότερη ερμηνεία γεωμορφών απ' ό τι αν στηρίζανταν μόνο στα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Πραφανώς, η χρήση των τυπικών φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών ως μέσο για τον προσδιορισμό της γεωμορφής είναι μια «πρώτου βαθμού προσέγγιση» του τρόπου με τον οποίο ο έμπειρος εργάζεται κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού των γεωμορφών και γι' αυτό τα λόγο οι δυνατότητές της είναι περιορισμένες. Η χρήση των τυπικών φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών έχει

συνειοφέρει στην ανάπτυξη της πρώτης γενιάς μοντέλων εμπειρών συστημάτων στην περιοχή της ανάλυσης πεδίου. Η ανάπτυξη συστημάτων της επόμενης γενιάς, τα οποία θα μπορούν επιτυχώς να διαχειριστούν επιπρόσθετες μορφές της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας των γεωμορφών προϋποθέτει την παράλληλη ανάπτυξη νέων εννοιολογικών σχημάτων που θα απεικονίζουν άμεσα τις επιπρόσθετες πλευρές της μεθοδολογίας αναγνώρισης των γεωμορφών. Επομένως είναι απαραίτητο να μελετήσουμε επιπρόσθετα συμφραζόμενα της γεωμορφής και να τα αναπαραστήσουμε στα πλαίσια ενός εμπειρού συστήματος. Θεωρούμε συνεπώς την ανάγκη ανοπαράστασης:

- των τυπικών φωτογεωμορφολογικών συμφραζομένων
- των φυσιογραφικών συμφραζομένων,
- των χωρικών συμφραζομένων, και
- των γεωμορφολογικών συμφραζομένων.

Αυτές οι σκέψεις μας έχουν ωθήσει στην παρούσα κατεύθυνση της έρευνας, η οποία οδηγεί στη δημιουργία του εμπειρού συστήματος TAX-4. Οι στόχοι μιας τυπικής συμβουλευτικής αλληλεπίδρασης με το έμπειρο σύστημα TAX-4 ετέθησαν ως ακολούθως:

1. ερμηνεία γεωμορφών με χρήση ενός ευρύτερου συνόλου φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών από εκείνα που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα,
2. ερμηνεία γεωμορφών με χρήση χωρικών συμφραζομένων, δηλαδή πληροφοριών που αφορούν τη σχετική θέση των γεωμορφών στο χώρο,
3. ερμηνεία γεωμορφών με τη χρήση επιπροσθέτων γεωμορφολογικών ενδείξεων σε συνδυασμό με τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (γεωμορφολογικά συμφραζόμενα),
4. ερμηνεία της φυσιογραφικής ενότητας ενός ταπίου με τη χρήση φυσιογραφικών ενδείξεων,
5. ερμηνεία περισσοτέρων της μιας γεωμορφής κατά τη διάρκεια της συμβουλευτικής διαδικασίας του εμπειρού συστήματος,
6. αναζήτηση φωτοερμηνευτικών λύσεων κατά ορθή, ανάστροφη, ή αμφίδρομη συλλογιστική διαδικασία,
7. οι γεωμορφές που θεωρούνται για την παραδειγματική αναπαράσταση της γνώσης είναι αυτές που εμφανίζονται στη φυσιογραφική περιοχή Basin & Range (Η.Π.Α.), (πεδία παρυφών, αλλουβιακά ριπίδια, ξηρές πετρώδεις πεδιάδες, εκτεταμένες επικλινείς αλλουβιακές επιφάνειες, ομαλές πεδιάδες, αποθέσεις πλήρωσης λεκανών, συλλεκτήριες λεκάνες, αλμυρά έλη).

Στην παρούσα προσπάθεια σύλληψης και τυποποίησης της γνώσης για μια κατάλληλη αναπαράσταση της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας γεωμορφών, είναι απαραίτητη η χρήση των παρακάτω κατηγοριών κανόνων.

**Κανόνες που μεθοδεύουν την ερμηνεία γεωμορφών υπό ένα νέο επισημμένο σύνολο φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών.** Αυτοί οι κανόνες μπορούν να ενεργοποιηθούν για διερεύνηση της βάσης γνώσης είτε κατά ανάστροφη συλλογιστική διαδικασία αναζήτησης όταν ο χρήστης επιθυμεί να προτείνει προς διερεύνηση μια πιθανή υπόθεση παρουσίας μιας γεωμορφής, είτε κατά την ορθή συλλογιστική διαδικασία αναζήτησης όταν ο χρήστης δεν έχει γνώση για την ύπαρξη μιας συγκεκριμένης υπόθεσης γεωμορφής και επιθυμεί να οδηγηθεί από το σύστημα δίνοντας τιμές στα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της υπό εξέταση περιοχής προκειμένου να αποδείξει την υπόθεση μιας γεωμορφής. Για παράδειγμα στο Σχ. 6 η υπόθεση "H\_alluvial fan surface morphology" μπορεί να προταθεί για εκτίμηση ή ο χρήστης μπορεί να προτείνει την τιμή οποιουδήποτε από τα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στην αριστερή πλευρά του κανόνα παραγωγής, μια πράξη που θα πυροδοτήσει την ερώτηση των υπόλοιπων φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών προκειμένου να ολοκληρωθεί η εκτίμηση κατά την ορθή συλλογιστική διαδικασία.

| RULE: alluvial_fan_favorable_surface_morphology |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| If                                              | topographic_form is "plain"<br>And drainage_pattern is "dishotomic"<br>And drainage_texture is coarse"<br>And soil_tone is "light"<br>And land_cover is "barren", "shrubs"<br>And vegetation is "shrubs", "barren"<br>And shape_in_plan_view is "fan shaped"<br>And shape_in_space is "semiconical"<br>And spacial_feature is "fan shaped"<br>And location_of_apex_of_fan in "on constricted valley_of highland mountains"<br>And topographic_areal_extent is "from less than 1 sq mi to more than 40 sq mi"<br>And topographic_thickness in "up to hundreds of feet"<br>And dissected_by is "onfan_drainage_ways" |
| Then                                            | H_alluvial_fan_favorable_surface_morphology is true                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

**Σχ. 6.** Τα στοιχεία ενός κανόνα, με πλίτερα των επτά φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, για την υπόθεση H\_alluvial\_favorable\_surface\_morphology. Ο κανόνας μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε κατά την ορθή είτε κατά την ανάστροφη συλλογιστική διαδικασία.

**Κανόνες που καθοδηγούν την ερμηνεία των γεωμορφών από γεωμορφολογικές ενδείξεις.** Αυτοί οι κανόνες μπορούν να ενεργοποιηθούν κατά ανάστροφη φορά όταν ο χρήστης επιθυμεί να προτείνει μια πιθανή υπόθεση παρουσίας μιας γεωμορφής για διερεύνηση, είτε σε ορθή μορφή αναζήτησης όταν ο χρήστης δεν έχει καμιά ιδέα για την ύπαρξη μιας συγκεκριμένης υπόθεσης γεωμορφής και επιθυμεί να προτείνει τις γεω-

μορφολογικές ενδείξεις της υπό μελέτη περιοχής προκειμένου να καθοδηγηθεί σε μία υπόθεση γεωμορφής (Σχ. 7).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RULE: alluvial_fan_favorable_geomorphic_process is true<br>If<br>there is evidence of constructional_landform<br>And geomorphic_process_of_landform is "deposition"<br>And landform-is-composed_of is "variously sorted and stratified alluvium with or without debris flow deposits"<br>Then H_alluvial_fan_favorable_process is true |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Σχ. 7.** Παράδειγμα ενός απλού κανόνα που συνάγει τη γεωμορφή από γεωμορφολογικές ενδείξεις.

**Κανόνες οι οποίοι καθοδηγούν την ερμηνεία των γεωμορφών από χωρικά συμφοραζόμενα δηλαδή τη σχετική τους χωρική θέση.** Η έννοια των χωρικών συμφοραζόμενων έχει πολλαπλές εκφράσεις. Αναπτύσσουμε εδώ δύο προσεγγίσεις.

Στην πρώτη προσέγγιση, όταν αναγνωρισθούν δύο οποιεσδήποτε γεωμορφές, το σύστημα ελέγχει τη χωρική τους γειτνίαση και όταν βρεθούν γειτνιάζουσες επαληθεύεται η συγκεκριμένη υπόθεση γειτνίασης. Ο λόγος που διεξάγεται αυτός ο έλεγχος είναι διότι υπάρχουν γνωστές σχέσεις γειτνίασης γεωμορφών π.χ. πλημμυρικά πεδία δίπλα σε αναβαθμίδες, συλλεκτήριες λεκάνες εντός αποθέσεων πλήρωσης λεκανών, αποθέσεις πλήρωσης λεκανών δίπλα σε αλλουβιακά ριπίδια, αλλουβιακά ριπίδια δίπλα σε αλλουβιακά ριπίδια (μπαχάντας), αλλουβιακά ριπίδια δίπλα σε ξηρές πετρώδεις πεδιάδες, κ.λπ. Συνεπώς η επαλήθευση της γειτνίασης δύο γεωμορφών ενισχύει την ορθότητα της αναγνώρισής τους. Η υπόθεση της γειτνίασης δύο γεωμορφών αποδεικνύεται μόνον όταν οι κανόνες παραγωγής που εκφράζουν τη συσχέτιση της χωρικής θέσης των γεωμορφών εντοπίσουν τις δύο υπό εξέταση γεωμορφές να είναι η μία δίπλα στην άλλη. Γειτνιάσεις που είναι άγνωστες στο σύστημα δεν επιτρέπονται, υπονοώντας ότι το σύστημα πρέπει να υποδείξει στον χρήστη αυτή την χωρική ασυνέπεια έτσι ώστε να επανεξετάσει την κατάσταση και ίσως να επενεργοποιήσει το σύστημα.

Το επόμενο παράδειγμα (Σχ. 8α) δείχνει έναν κανόνα με την υπόθεση "adjacency of alluvial fan to playa", ο οποίος ενεργοποιείται όταν ο αριθμός των γεωμορφών που έχουν αναγνωρισθεί για τις κατηγορίες του αλλουβιακού ριπιδίου και της συλλεκτήριας λεκάνης είναι μεγαλύτερος του ενός. Αυτός ο κανόνας εξετάζει αν το αντικείμενο που ανήκει στην κατηγορία του αλλουβιακού ριπιδίου είναι δίπλα σε μια συλλεκτήριο λεκάνη. Η υπόθεση "adjacency of alluvial fan to playa" προτείνεται από το χρήστη για ανάστροφη εκτίμηση. Κατόπιν, το σύστημα θέτει τις κα-

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

τάλληλες ερωτήσεις στο χρήστη που αφορούν τη θέση της κάθε γεωμορφής σε σχέση με κάθε μια απ' τις υπόλοιπες.

Μια δεύτερη προσέγγιση των χωρικών συμφραζομένων έγκειται στον προσδιορισμό της θέσης μιας γεωμορφής σε σχέση με τοπογραφικούς σχηματισμούς δεύτερης τάξης όπως φαίνεται στο Σχ. 8β.

```

                RULE: adjacency_of_alluvial_fan_to_playa
If
    current_task is regional_context
    And alluvial_fan. num_of_items is greater than 1
    And alluvial_fan. adjacent_to is playa
    And playa. num_of_items is greater than 1
    And playa. adjacent_to is alluvial_fan
Then H_adjacency_of_alluvial_fan_to_playa is true
                (α)
  
```

```

                RULE: alluvial_fan_favorable_regional_environment
If
    landform_site is "between_mountain_range_highland_and_broad_lowland_basin"
    And landform_is_bordering_on_its_higher_side_to is "highland mountain ranges"
    And landform_is_bordering_on_its_lower_side_to is "broad_lowland basin"
    And landform_site is "uppermost_piedmont_slope_of_mountain_front"
Then H_alluvial_fan_favorable_regional_environment is true
                (β)
  
```

**Σχ. 8.** (α) Παράδειγμα ενός απλού κανόνα χωρικής γειτνίασης δύο γεωμορφών, (β) Παράδειγμα προσδιορισμού της θέσης μιας γεωμορφής σε σχέση με τοπογραφικούς σχηματισμούς δεύτερης τάξης.

**Κανόνες που αποσκοπούν στην ερμηνεία των φυσιογραφικών ενότητων (regions, sections) από φυσιογραφικές ενδείξεις (φυσιογραφικά συμφροζόμενα).** Η έκφραση των φυσιογραφικών συμφραζομένων έχει διάφορες μορφές. Σε αυτή την τυποποίηση της φυσιογραφικής γνώσης, ο χρήστης δύναται να εκτελέσει φυσιογραφική ανάλυση κατά δύο προσεγγίσεις. Στην πρώτη προσέγγιση ο χρήστης μπορεί να προτείνει την υπόθεση ύπαρξης μιας φυσιογραφική περιοχής και σε αυτή την περίπτωση το σύστημα θα ζητήσει από το χρήστη να παράσχει τις τιμές των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών έτσι ώστε να αποδείξει ή να απορρίψει την προταθείσα υπόθεση.

Εάν ο χρήστης δεν έχει τη γνώση έτσι ώστε να προτείνει την εξέταση μιας συγκεκριμένης υπόθεσης για τη φυσιογραφία της περιοχής τότε οι κανόνες παραγωγής της φυσιογραφικής ανάλυσης θα ζητήσουν να παρασχεθούν οι απαραίτητες φυσιογραφικές ενδείξεις έτσι ώστε να διερευνηθεί η βάση της γνώσης προκειμένου να ταυτοποιηθεί κάποια από τις διαθέσιμες

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

φυσιογραφικές περιαιχές. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια *ιεραρχία φυσιογραφικής κατάτμησης* προκειμένου να επιτύχει την αναπαράσταση (Σχ. 9). Το Σχ. 10 δείχνει έναν απλό κανόνα με δύο προτάσεις που οδηγεί στην υπόθεση της φυσιογραφικής περιοχής του Basin and Range. Ο κανόνας αυτός μπορεί να λειτουργήσει κατά ορθή και ανάστροφη συλλογιστική διαδικασία.

|                                |
|--------------------------------|
| RULE: Basin_and_Range_Province |
| SUPERCLASSES:                  |
| Province                       |
| SUBOBJECTS:                    |
| Graat_Basin                    |
| Sonoran_Desert                 |
| Sallton_Trough                 |
| Mexican_Highland               |
| Sacramento_Section             |

**Σχ. 9.** Αναπαράσταση φυσιογραφικών περιοχών και υπο-περιοχών σε μορφή αντικειμένων.

|                                                            |
|------------------------------------------------------------|
| RULE: Basin_and_range                                      |
| If                                                         |
| current_task is physiographic_context                      |
| And many_mountain_ranges is true                           |
| And more_or_less_parallel_mountain_ranges is true          |
| And Range. straightness is present                         |
| And Range. length is 50-70 miles                           |
| And Range. height is uniform                               |
| And Angle-between-valley-floor-and-mountain-side is abrupt |
| Then H_basin_and_range is true                             |

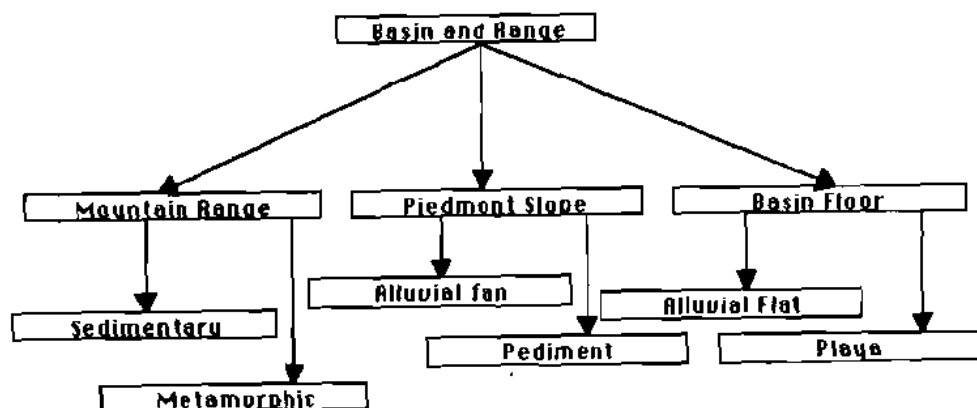
**Σχ. 10.** Παράδειγμα ενός απλού κανόνα αναγνώρισης μιας φυσιογραφικής περιοχής.

Στη δεύτερη προσέγγιση, μετά τη φυσιογραφική ανάλυση που επεξηγήθηκε παραπάνω το σύστημα καθοδηγεί το χρήστη να ερμηνεύσει τα μερικά τμήματα της φυσιογραφικής περιοχής και στη συνέχεια τις γεωμορφές που βρίσκονται εκεί. Για παράδειγμα στην περίπτωση της φυσιογραφικής περιοχής Basin & Range ο χρήστης καθοδηγείται να αποφασίσει μεταξύ (Σχ. 11)

1. των γεωμορφών που ευρίσκονται στις αροσειρές,
2. των γεωμορφών που ευρίσκονται στα πεδία παρυφών, και
3. των γεωμορφών που ευρίσκονται στα πεδία των λεκανών.

Με την επιλογή μιας γεωμορφής που ανήκει σε πεδίο παρυφών από το χρήστη, ο χρήστης καθοδηγείται από το έμπειρο σύστημα για να αναγνωρίσει τις γεωμορφές του πεδίου παρυφών π.χ. αλλουβιακό ριπίδιο, ξηρές πετρώδεις πεδιάδες κ.λ.π.

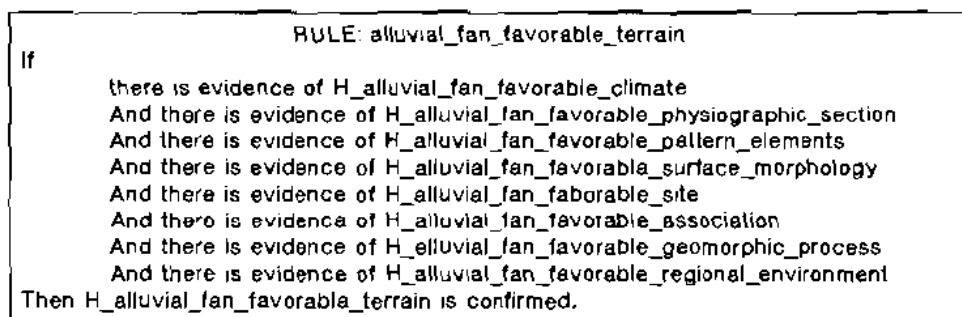




Σχ. 11. Μια μερική συλλογιστική ολυσίδα που συνδέει την υπόθεση της φυσιογραφικής περιοχής Basin and Range με τη γεωμορφή του αλλουβιακού ριπιδίου και άλλων γεωμορφών.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί επίσης να λειτουργήσει και κατά την ορθή συλλογιστική διαδικασία αναζήτησης. Έτσι μετά την αναγνώριση μιας γεωμορφής αλλουβιακού ριπιδίου, ο χρήστης καθοδηγείται στην υπόθεση ενός πεδίου παρυφής και στη συνέχεια στην υπόθεση της φυσιογραφικής περιοχής του Basin & Range.

**Κανόνες παραγωγής που αποσκοπούν στην ερμηνεία γεωμορφών από συνδυασμό των φωτογεωμορφολογικών, γεωμορφολογικών, χωρικών, και φυσιογραφικών συμφραζομένων.** Για παράδειγμα, η υπόθεση μιας γεωμορφής (π.χ. αλλουβιακό ριπίδιο) μπορεί να είναι αληθής λόγω των φωτογεωμορφολογικών συμφραζομένων αλλά όχι από τα υπόλοιπα. Ο ακόλουθος τύπος κανόνα παραγωγής (Σχ. 12) αποσκοπεί στην ενσωμάτωση όλων των μερικών ενδείξεων για μια γεωμορφή σε μια περισσότερο ολοκληρωμένη απόδειξη.



Σχ. 12. Ένα παράδειγμα κανόνα για εκτίμηση της υπόθεσης "alluvial fan favorable terrain" από πολλαπλά συμφραζόμενα.

### 3. Συμπεράσματα και Μέλλον

Αυτή η εργασία παρουσίασε τους επιστημονικούς στόχους και τα αποτελέσματα μιας συνεχιζόμενης ερευνητικής προσπάθειας ανάπτυξης μίας μεθοδολογικής προσέγγισης εμπειρών συστημάτων στη φωτοερμηνεία γεωμορφών και στην ανάλυση πεδίου που βασίσθηκε στο χαρακτηριστικά και στη λογική που χρησιμοποιούνται από τους ειδικούς στο συγκεκριμένο πεδίο καθώς και στο συγκερασμό των αρχών και των τεχνικών που είναι διαθέσιμες στα πεδία των Εμπειρών Συστημάτων και της Φωτοερμηνείας Γεωμορφών και Ανάλυσης Πεδίου.

Οι τεχνικές των εμπειρών συστημάτων προσφέρουν υποσχέσεις και δυνατότητες για συμβολική αναπαράσταση και υλοποίηση μέσα σε υπολογιστικό περιβάλλον των μεθόδων που χρησιμοποιούν οι έμπειροι ερμηνευτές όταν αναγνωρίζουν αντικείμενα και εξαγουν συμπεράσματα δηλαδή αυτές των συγκλινουσών ενδείξεων και της παραγωγικής, επαγωγικής και απαγωγικής λογικής.

Έμπειρα συστήματα που προσομοιώνουν διεργασίες φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου και έτσι τυποποιούν τη διαδικασία της φωτοερμηνευτικής λογικής είναι σημαντικά εργαλεία για την εκμύηση αυτής της διαδικασίας. Επίσης μπορεί να οδηγήσουν σε ένα αυτοματοποιημένο ή με υπολογιστή υποβοηθούμενο αμφίδρομο εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου. Προσφέρουν δε τη δυνατότητα να φέρουν σε επαφή νέους ερμηνευτές και επαγγελματίες με τη διαδικασία απόφασης που κάνουν οι ειδικοί φωτογεωμορφολόγοι, παρέχοντας έτσι εκπαιδευτικές και πρακτικές δυνατότητες πέραν των επιστημονικών στόχων της τυποποίησης της γνώσης.

Βρισκόμαστε όμως ακόμα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης τεχνικών βασισμένων στη γνώση για αυτόματη φωτοερμηνεία και λόγω της δυσκολίας του προβλήματος, η πρόοδος θα επέλθει σε μικρά βήματα. Πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι τα έμπειρα συστήματα φωτοερμηνείας στερούνται κοινής λογικής και δημιουργικότητας και έτσι ποτέ δεν θα αντικαταστήσουν τον ειδικό εμπειρογνώμονα. Σίγουρα όμως θα παραμείνουν αξιόλογα εργαλεία για αρχάριους ή μη εξειδικευμένους φωτοερμηνευτές.

### 4. Βιβλιογραφία

- Argialas, D. (1966). Towards Structured Knowledge Models. Zeitschrift für Geomorphologie (accepted, in print).
- Αργιάλας, Δ. (1994α). Έμπειρα Συστήματα και Τηλεπισκόπηση. Διήμερο Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτοερμηνεία, 10-11 Φεβρουαρίου 1994. Πηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστους - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

- Αργιαλάς, Δ. (1994b). «Πως η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση προσεγγίζει τη Νοσημοσύνη του Φωτοερμηνευτή» ΕΜΠ: Πυρφόρος, Μάρτιος-Απρίλιος 1994, σ. 52-60.
- Αργιαλάς, Δ. (1995). Εφαρμογές Συντακτικής Ανάλυσης Προτύπων και Εμπειρών Συστημάτων στην Τηλεπισκόπηση. Τεχνικά Χρονικά (δεκτή, υπό έκδοση).
- Argialas, D. (1990). Knowledge -Based Image Interpretation: Techniques and Applications. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Denver, Colorado, Vol. 4, pp. 33-42.
- Argialas, D. (1989a). A Frame-based Approach to Modeling Terrain Analysis Knowledge. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3 pp. 311-319, April 2-7, 1989, Baltimore, Maryland.
- Argialas, D. (1989b). Teaching Expert Systems Techniques at Louisiana State University. Chapter 3 in "American Society of Civil Engineers Monograph: Expert Systems for Civil Engineers-Education". Drs. M. Maher and S. Mohan editors, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Argialas, D. (1988). Methodologies of Expert Systems for Terrain Analysis Problem Solving. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3, pp. 76-85, St. Louis, Missouri, March 13-19, 1988.
- Argialas, D., and O. Mintzer (1992). The potential of hypermedia to photointerpretation education and training, In "International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing", Vol. XXIX, part B, Commission VI, pp. 375-381, L. Fritz and J. Lucas Editors, XVII ISPRS Congress, Washington D.C. August 2-14, 1992.
- Argialas, D., and C. Harlow (1990). Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No 6, June, pp. 871-886.
- Argialas, D., and C. Harlow (1990) (editors). Special Issue: Knowledge-Based Expert Systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No 6, June, σελ. 861-862.
- Argialas, D. and Narasimhan, R. (1988a). TAX: A Prototype Expert System for Terrain Analysis. Journal of Aerospace Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 1, No. 3, July, pp. 151-170.
- Argialas, D. and Narasimhan, R. (1988b). A Production System Model for Terrain Analysis Knowledge Representation. Microcomputers in Civil Engineering, Elsevier Science Pub. Co., Vol. 3, No. 1, June, pp. 55-73.
- Argialas, D., Lyon, J. and Mintzer, O. (1988). Quantitative Description and Classification of Eight Drainage Pattern Types. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 6, June, pp. 711-720.

- Engineering and Remote Sensing, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, No. 4, April, pp. 505-509.
- Αστεριάδης, Γ. (1990). Στοιχεία Φυσικής Γεωγραφίας. Α.Π.Θ.
- Αυγουστιδής Σ. (1969). Εγχειρίδιο Γενικής Γεωλογίας, μέρος Ι: Γεωμορφολογία.
- Γκουρνέλλος, Θ. (1986). Σημειώσεις Κεφαλαίων Φυσικής Γεωγραφίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Harmon, P. & King, D. (1985). Expert systems: artificial intelligence in business. -Wiley & Sons, New York.
- Hayes-Roth, F., Waterman, D. & Lenat, D. (1983). Building expert systems. -Addison-Wesley, Reading, MA.
- Intelligence Ware (1986). Intelligence/Compiler User's Manual. -Los Angeles.
- Jackson, P. (1986). Introduction to expert systems. -Addison-Wesley, Reading, MA.
- Κρικότος Β. και Πάοτρας Κ. (1979). Εγχειρίδιο Εισαγωγής στα Έμπειρα Συστήματα.
- Lillesland, T., & H. Kiefer (1979). Remote sensing and image processing. -John Willey and Sons, New York.
- Mintzer, O. (1983). Engineering application. -In: Colwell R. (ed.): Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. -Falls Church, Virginia.
- Mitchell, C. (1973). Terrain evaluation. -Longman, London, 221 pp.
- Narasimhan, R. and Argialas, D. (1989). Computational Approaches for Handling Uncertainties in Terrain Analysis. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3, pp. 302-310, April 2-7, 1989, Baltimore, Maryland.
- Narasimhan, R. and Argialas, D. (1988b). Representation of Terrain Units in Frames. Technical Paper, Fall Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Virginia Beach, VA, September 12-16, 1988.
- Narasimhan, R. and Argialas, D. (1988a). A Production System Approach for Terrain Analysis. Technical Paper, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 3, pp. 66-75, St. Louis, Missouri, March 13-19, 1988.
- Παπαπέτρου-Ζαράνη, Α. (1993). Γεωμορφολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Townshend, J. (ed), (1981): Terrain analysis and remote sensing. -London, Allen and Unwin, 272 pp.
- Τζαφέστας, Σπ. (1988). Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη και τα Έμπειρα Συστήματα, τεύχος Α.
- Way, D. (1978). Terrain analysis. -Mc Graw-Hill. New York.