

4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα, 12-14 Οκτωβρίου  
1995, Πανεπιστήμιο Αθηνών (6<sup>ο</sup> υψ. κω)

52

Εμπειρία Συστήματα: Εργασία για την Συμβολική Αναπαράσταση των Γεωμορφών

Dr. Δημήτρης Π. Αργιάδης  
Ερικούρος Καθηγητής  
Εργαστήριο Τηλεμακρότητας  
Τομέας Τοπογραφίας  
Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχ.  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου 15780  
Τηλ: +30-1-772-2595,  
Email: argjalas@netor.gr

Περίληψη

Η πρόοδος της επιστήμης της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Εμπειριών Συστημάτων προσθέτουν νέα εργαλεία στη δημιουργία μοντέλων και προγραμμάτων τα 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 επιδείξεις και πρακτικά όφελή αυτής της έρευνας. Κατόπιν αναπτύσσονται οι συνεχιζόμενες προσεγγίσεις μας στην ανάπτυξη τοπικών τεχνικών εμπειριών συστημάτων για την αναπαράσταση της σχετικής με τις γεωμορφές γνώσης. Τα δημιουργηθέντα εμπειρία 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 συμφοροζόμενα. Η δημιουργία 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 περιεκτικότερο 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. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

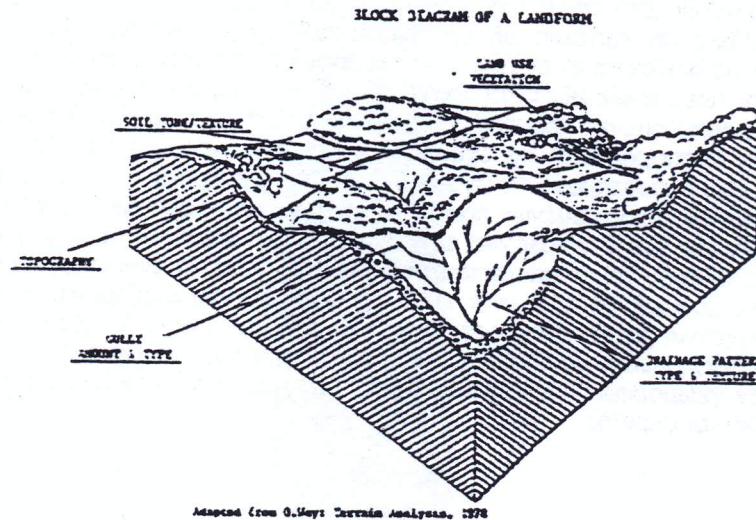
### 1.1 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΜΟΡΦΩΝ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΦΩΤΟΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

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 την 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 αποτελεσμα αυτής της απαίτησης και δημιουργήθηκε στην 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 την μεθοδολογία της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου. Η μεθοδολογία έχει πετυχαίνει στα συγγράμματα των Lillesand και Kiefer (1979), Way (1978), Mintzer (1983), Townshend (1981), Mitchell (1973), κ.α. 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 την 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 έργων (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* (Σχήμα 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.τ.λ.), 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).



Σχήμα 1. Ενδεικτικό διάγραμμα γεωμορφής με τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της (Way 1978).

Αυτός ο ορισμός των γεωμορφών βασίζεται στην υπόθεση ότι δυό οποιεσδήποτε γεωμορφές που έχουν προέλθει από το ίδιο μητρικό υλικό ή που έχουν αποτεθεί με την ίδια διεργασία και που και οι δυό 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, πεδιά πλημμυρών (υπερχυλίσσεως), αλλουβιακά ριπίδια, κουέστας, και φακοειδείς λιθωνολόφοι θα έχουν παρόμοια πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οπουδήποτε στο κόσμο και αν βρίσκονται κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες καθώς και προσδιορισμο εύρος τεχνικών χαρακτηριστικών.

Στα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται η τοπογραφική μορφή, η μορφή του υδρογραφικού δικτύου και η υφή του, ο τύπος και το πλήθος των διαβρωτικών χαραδρώσεων, ο φωτογραφικός τόνος και η υφή του εδάφους, η χρήση γης, και το είδος της βλάστησης (Σχήμα 1). Τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά στοιχεία έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να βοηθούν την περιγραφή, αναγνώριση, κατάταξη, και ερμηνεία των γεωμορφών από αεροφωτογραφίες και άλλες τηλεοπτικές 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 διάβρωσης 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 φυσιογραφίας της περιοχής μελέτης (απότομες βουνοκορφές, αποστρωγγυλοποιημένες βουνοκορφές, κ.τ.λ.). Η τοπογραφική μορφή, η διαπερατότητα, το πορώδες και ο τύπος διαβρωσης μιας γεωμορφής καθορίζουν την 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 κοινές είναι το δενδριτικό (με οξείες γωνίες συμβαλλόντων παραποτάμων), το παράλληλο (με πολλούς παράλληλους παραποταμούς), το ορθογώνιο (με σχεδόν ορθές γωνίες συμβαλλόντων παραποτάμων), το ακτινωτό, το δικτυωτό και άλλα (Argialas κ.α. 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 "┐" (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 επιρεάσει καθοριστικά αυτή την σχέση.

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

- βιβλιογραφικού υλικού που αναφέρεται στην 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 την 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 υπαθρού (Way 1978).

## 1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΩΦΕΛΗ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΙΩΞΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΜΕΣΩ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

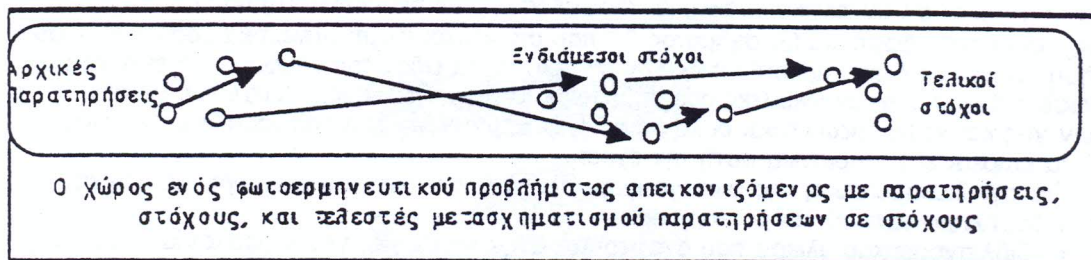
Η τεχνική φωτογεωμορφολογία είναι χρήσιμη για τους γεωεπιστήμονες και μηχανικούς που εργάζονται για την προστασία των φυσικών διαθεσίμων, τα περιβαλλοντικά προβλήματα, τις μελέτες τεχνικής γεωλογίας και τις μελέτες τεχνικών έργων. Οι ανάγκες αυτές υπάρχουν στο ΥΠΕΧΩΔΕ, τον Ο.Κ.Χ.Ε., το Ι.Γ.Μ.Ε., το ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε., 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 που απαιτεί πείρα που αποκτάται μόνο μετά από εκτεταμένες σπουδές και μακροχρόνια πρακτική εμπειρία. Μπορεί δε ακόμα να χαρακτηριστεί πότερο 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 ενδεικνύεται να ακολουθηθεί για να οδηγηθεί ένας άπειρος φωτοερμηνευτής στην αναγνώριση μιας γεωμορφής (Σχήμα 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 (Σχήμα 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.



Σχήμα 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 συνδιασμούς παρατηρήσεων ή υποθέσεων σε άλλες εύλογες υποθέσεις. Αυτός είναι ο ερευνητικός χώρος του προβλήματος που προσπαθούμε να ορίσουμε με αυτή την έρευνα για το αντικείμενο της φωτογεωμορφολογίας.

Έτσι είναι ευνόητο ότι για πρακτικούς αλλά και επιστημονικούς λόγους υπάρχει ανάγκη για τη 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 διάθεση τους.

Με την βοήθεια της διαλογικής επικοινωνίας του λογισμικού του εμπειρού συστήματος ο φωτοερμηνευτής θα βοηθηθεί στην καθημερινή πρακτική του μέσω της εφαρμογής μιας πιότερο 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 έμπειρου φωτοερμηνευτή. Ο αρχάριος φωτοερμηνευτής θα μπορεί μόνος του, αλλά καθοδηγούμενος από το εκπαιδευτικό λογισμικό που θα εμπεριέχει την "γνώση" των εμπειρών, να "εξερευνήσει" με την άνεση του κάθε εναλλακτική φωτογεωμορφολογική υπόθεση ή συνδιασμό 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

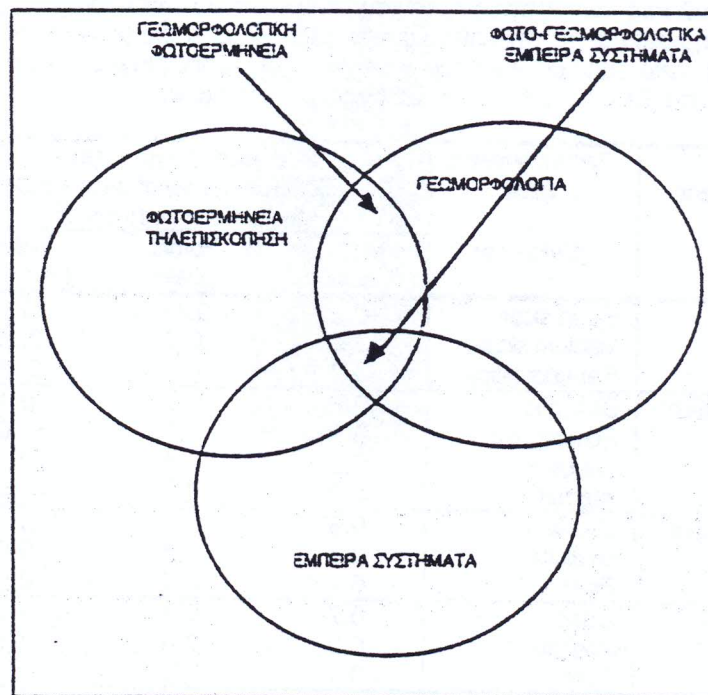
κρητικής.

## 2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Για την τυποποίηση της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας ο Αργιαλάς και οι συνεργάτες του έχουν αναπτύξει ποικίλες τεχνικές εμπειρών συστημάτων και έχουν κάνει βήματα στην αναπαράσταση της διαδικασίας της φωτοερμηνείας γεωμορφών και ανάλυσης πεδίου σε ένα στηριζόμενο σε γνώση έμπειρο 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 Σχήμα 3 παρουσιάζει τον χώρο της παρούσας έρευνας.

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

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 την συμβολική αναπαράσταση, συμβολική λογική, ασαφή αναπαράσταση και ευρετική αναζήτηση που βέβαια οδηγούν στη μεθοδολογία των εμπειρών συστημάτων.



Σχήμα 3. Γραφική σκιαγράφιση που δείχνει την ερευνητική περιοχή αυτής της εργασίας.

Εκτενής περιγραφή των αρχών, μεθόδων, εργαλείων αλλά και εφαρμογών των εμπειρών συστημάτων στη 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 όπως 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 απόφασης, 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 Παστρας 1979, Hayes-Roth et al., 1983).

Στη συνέχεια περιγράφονται συγκεκριμένες εφαρμογές έμπειρων 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 επικαλυπτόμενα εν μέρη στάδια: (1) τοποθέτηση του προβλήματος, (2) σύλληψη του προβλήματος, (3) τυποποίηση ή φορμαλισμό της γνώσης σε κατάλληλες δομές αναπαράστασης, (4) υλοποίηση και προγραμματισμός του εμπειρού 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 στη περιοχή της τεχνικής φωτογεωμορφολογίας που εστιάζει στην αναγνώριση γεωμορφών, όπως ασβεστόλιθων, 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 (Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Υπό συνθήκες πιθανότητας εμφάνισης του κάθε φωτογεωμορφολογικού χαρακτηριστικού για την κάθε μια από τρεις γεωμορφές (υποθέσεις) όπως δόθηκαν από έμπειρο φωτοερμηνευτή και χρησιμοποιήθηκαν στα έμπειρα συστήματα TAX-1,2,3 (Argialas και Narasimhan, 1988a).

Pattern element	Pattern element value (Evidence)	P (Evidence/Hypothesis) 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	0.5
Gully amount	None	0.3	0.0	0.8
	Few	0.7	0.2	0.2
	Many	0.0	0.8	0.0

Η στρατηγική της φωτοερμηνευτικής λογικής εκφράσθηκε με την μορφή κανόνων

παραγωγής. Οι κανόνες παραγωγής είχαν την 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 γεωμορφολογικό 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 την βάση γνώσης η οποία δομήθηκε στην συμβολική γλώσσα προγραμματισμού OPS5, που παρέχει μια μηχανή αποφάσεων της οποίας η συλλογιστική πορεύεται από τα δεδομένα προς τις υποθέσεις. Πάνω σε αυτή την μηχανή οικοδομήθηκαν επιπρόσθετοι μηχανισμοί αποφάσεων: (1) ένας μηχανισμός ανάστροφης συλλογιστικής πορείας για να εκμαιεύει από τον 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 άλλο αφορούσε την διαδικαστική γνώση, δηλαδή την μέθοδο εξαγωγής συμπερασμάτων, η οποία έλαβε την μορφή κανόνων παραγωγής που επιτελούσαν την αβέβαιη συλλογιστική διαδικασία (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 Ένας κανόνας παραγωγής γραμμένος στην συμβολική γλώσσα OPS5 που χρησιμοποιήθηκε στο έμπειρο σύστημα TAX-1 ο οποίος ενεργοποιεί την αναπαρασταση μιας γεωμορφής στηριζόμενος σε φυσιογραφική πληροφορία. (Argialias και Narasimhan, 1988b).

Κανόνας παραγωγής γραμμένος στη γλώσσα OPS5	(p hypothesize_a_landform_type_based_on_physiography (section_landform_pair ^section_name <section_value> ^landform_type <landform_value> ^section_landform_prob <probability_value> -> (make_landform_of_the_site ^landform_type <landform_value> ^probability <probability_value>))
Επεξήγηση των συμβόλων της γλώσσας OPS5	p Σημειώνει κανόνας παραγωγής ^ Σημειώνει ότι χαρακτηριστικό <> Εμπεριέχει την τιμή ενός χαρακτηριστικού -> Σημειώνει "τότε"
Ερμηνεία του κανόνα	Αν ο χρήστης έχει δηλώσει την φυσιογραφική ενότητα της περιοχής μελέτης και υπάρχει στη βάση γνώσης ένα αντικείμενο που εμπεριέχει την a ρησιό πιθανότητα εμφάνισης μιας οποιασδήποτε γεωμορφής στη δηλωθείσα φυσιογραφική περιοχή, Τότε αρχικοποιήσει την πιθανότητα εμφάνισης της "γεωμορφής της περιοχής μελέτης" με την τιμή της a ρησιό πιθανότητας εμφάνισης της ίδιας γεωμορφής στη συγκεκριμένη φυσιογραφική περιοχή που βρέθηκε στη βάση γνώσης.

Μέσω της σχεδιασθείσας ανάστροφης συλλογιστικής διαδικασίας, ο TAX-1 πρώτα εκμαιεύει από τον χρήστη δεδομένα που αφορούν την φυσιογραφική ζώνη που ανήκει η υπό μελέτη περιοχή, βάση των οποίων παράγει εύλογες υποθέσεις για την ύπαρξη συγκεκριμένων γεωμορφών. Κατόπιν συνεχίζει να εκμαιεύει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των γεωμορφών ώστε να εγκαθιδρύσει ή απορρίψει, με κάποιο βαθμό βεβαιότητας, μια ή όλες τις εύλογες υποθέσεις γεωμορφών.

Όλα τα χαρακτηριστικά στοιχεία των γεωμορφών που παρείχε ο χρήστης στο TAX-1

είχαν προσαρτημένο ένα βαθμό βεβαιότητας, οι πμές του οποίου κειμενόταν μεταξύ -3 και +3 και εξέφραζε την 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 τον χρήστη από την συμβουλευτική διαδικασία του TAX-1.

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

---

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"

---

## 2.2 Το Έμπειρο Σύστημα TAX-2

Μια νέα σύλληψη της δομής του TAX έγινε με την εισαγωγή πλαισίων (Argialas, 1989). Πλαίσια σχεδιάστηκαν για την αναπαράσταση των σχετικών τάξεων και αντικειμένων όπως π.χ. των φυσιογραφικών ζωνών, των γεωμορφών και των χαρακτηριστικών τους. Ιδιότητες των αντικειμένων εκφράστηκαν διαμέσου των υποδοχών των πλαισίων. Το Σχήμα 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 Σχήμα 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 αναγκαίου συμπερασματικού δικτύου. Στο Σχήμα 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 την 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 την χρήση πλαισίων (*IntelligenceWare*). Όμως ο *Intelligence Compiler* στερούταν μεθόδου αβέβαιης συλλογιστικής και έτσι αυτός ο μηχανισμός προγραμματίστηκε πέρα και πάνω από την μηχανή αποφάσεως του.

## 2.3 Το Έμπειρο Σύστημα TAX-3

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



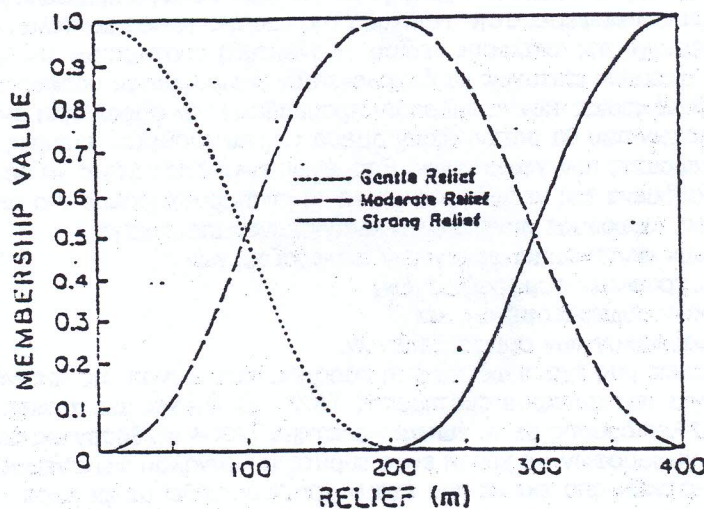
είναι σαφείς και ακριβείς. Η θεωρία των ασαφών συνόλων προσφέρει μια μεθοδολογία για την έκφραση τέτοιων γλωσσολογικών περιγραφών. Η θεωρία των ασαφών συνόλων εφασμοσέθηκε για την μοντελοποίηση των ασαφών γλωσσολογικών όρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην γεωμορφολογική φωτοερμηνεία (Narasimhan και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

Frame	Topography	
Parent	Pattern element generic	
Best		get-inferred
Name	Topography	
Steep_slopes	SS	
Medium_slopes	MS	ask_value
Flat_undulating	FU	ask_value
Sandstone	Sandstone-topography-eh	
Shale	Shale-topography-eh	
Limestone	Limestone-topography-eh	

Σχήμα 4 Αναπαράσταση της τοπογραφικής μορφής σε πλαίσιο στο έμπειρο 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 (0-100μ), Μέτριο (100-300μ) και Έντονο (μεγαλύτερο των 300μ).

Η πλήρως ορισμένη και αριθμητική μεταβλητή "Ανάγλυφο σε μέτρα" μπορεί να λάβει την 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 στην συγκεκριμένη περίπτωση η συνάρτηση συμμετοχής, που γενικώς μπορεί να κειμένεται μεταξύ 0-1, έχει την τιμή 1 (Σχήμα 5). Μια επιφάνεια με ανάγλυφο 100μ 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 Σχήμα 5, ότι η τιμή της συνάρτησης συμμετοχής, η οποία εκφράζει το κατά ποσό το ανάγλυφο μιας επιφάνειας είναι μέλος της τάξης του Ήπιου Ανάγλυφου, ελαττώνεται από το 1 προς το 0 όσο το Ανάγλυφο αυξάνεται, γίνεται δε 0 όταν το Ανάγλυφο φτάσει τα 200μ. Ο τρόπος μεταβολής των υπολοίπων τάξεων του ανάγλυφου φαίνεται στο Σχήμα 5. Ο πλήρης ορισμός των τάξεων του ανάγλυφου σε σχέση με τις παραμέτρους της συνάρτησης συμμετοχής παρέχεται στην εργασία των Narasimhan και Argialas (1989).



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

## 2.4 Η τοποθέτηση και σύλληψη του εμπειρικού συστήματος TAX-4

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

Οι στόχοι μιά τυπικής συμβουλευτικής αλληλεπίδρασης με τα εμπειρικά 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 ακολουθήθηκε 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 πρόσληψης των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών είναι μια πρώτη προσέγγιση στο δύσκολο αυτό πρόβλημα. Υπάρχει ανάγκη να ανακαλύψουμε την γνώση που κρύβεται πίσω από τις πιθανότητες και τις βεβαιότητες και να εκφράσουμε αυτή την 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 λαβεί μιά απόφαση. Ο έμπειρος αναλυτής, προκειμένου να ερμηνεύσει το είδος μιας γεωμορφής, είναι σε θέση αποτελεσματικότερα να θεωρήσει τα φυσιογραφικά δεδομένα, την σχετική γεωμορφολογική θέση της γεωμορφής, τις γεωμορφολογικές διεργασίες και συνθήκες καθώς και άλλα επιπρόσθετα δεδομένα (Αστεριάδης 1990, Αυγουστιδής 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' ότι αν στηρίζονταν μόνο στα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Προφανώς, η χρήση των τυπικών φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών ως μέσο για τον προσδιορισμό της γεωμορφής είναι μιά "πρώτου βαθμού προσέγγιση" του τρόπου με τον οποίο ο έμπειρος εργάζεται κατά την διάρκεια του προσδιορισμού των γεωμορφών και για αυτό τον λόγο οι δυνατότητες της είναι περιορισμένες. Η χρήση των τυπικών φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών έχει συνεισφέρει 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 προυποθέτει την παράλληλη ανάπτυξη νέων εννοιολογικών σχημάτων που θα απεικονίζουν άμεσα τις επιπρόσθετες πλευρές της μεθοδολογίας αναγνώρισης των γεωμορφών. Επομένως είναι απαραίτητο να μελετήσουμε επιπρόσθετα συμφοραζόμενα της γεωμορφής και να τα αναπαραστήσουμε στα πλαίσια ενός εμπειρικού συστήματος. Θεωρούμε συνεπώς την ανάγκη αναπαράστασης:

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

Αυτές οι σκέψεις μας έχουν ωθήσει στη παρούσα κατεύθυνση της έρευνας, η οποία οδηγεί στη δημιουργία του εμπειρικού συστήματος TAX-4. Οι στόχοι μιά 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 συμφοραζομένων, δηλαδή πληροφοριών που αφορούν την σχετική θέση των γεωμορφών στο χώρο,

3. ερμηνεία γεωμορφών με την χρήση επιπροσθέτων γεωμορφολογικών ενδείξεων σε συνδυασμο με τα πρότυπα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (γεωμορφολογικά συμφραζόμενα),
4. ερμηνεία της φυσιογραφικής ενότητας ενός τοπίου με την χρήση φυσιογραφικών ενδείξεων,
5. ερμηνεία περισσότερων της μίας γεωμορφής κατά την διάρκεια της συμβουλευτικής διαδικασίας του εμπείρου συστήματος,
6. αναζήτηση φωτοερμηνευτικών λύσεων κατά ορθή, ανάστροφη, ή αμοιόδρομη συλλογιστική διαδικασία.
7. οι γεωμορφές που θεωρούμαι για την παραδειγματική αναπαράσταση της γνώσης είναι αυτές που εμφανίζονται στην φυσιογραφική περιοχή Basin & Range (πεδιά παρυφών, αλλουβιακά ριπίδια, ξηρές πετρώδεις πεδιάδες, εκτεταμένες επικλινείς αλλουβιακές επιφάνειες, ομαλές πεδιάδες, αποθέσεις πλήρωσης λεκανών, συλλεκτήριες λεκάνες, αλμυρα έλη).

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

**Κανόνες που μεθοδεύουν την ερμηνεία γεωμορφών από ένα νέο επηυξημένο 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 μίας γεωμορφής, είτε κατά την ορθή συλλογιστική διαδικασία αναζήτησης όταν ο χρήστης δεν έχει γνώση για την ύπαρξη μίας 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 Σχήμα 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, μιά 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"
    And drainage_pattern is "dichotomic"
    And drainage_texture is "coarse"
    And soil_tone is "light"
    And land_cover is "barren", "shrubs"
    And vegetation is "shrubs", "barren"
    And shape_in_plan_view is "fan shaped"
    And shape_in_space is "semiconical"
    And special_feature is "fan shaped"
    And location_of_apex_of_fan is "on constricted valley_of highland mountains"
    And topographic_areal_extent is "from less than 1 sq mi to more than 40 sq mi"
    And topographic_thickness is "up to hundreds of feet"
    And dissected_by is "onfan_drainage_ways"
Then H_alluvial_fan_favorable_surface_morphology is true

```

Σχήμα 6. Τα στοιχεία ενός κανόνα, με πώτερα 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 μιά πιθανή υπόθεση παρουσίας μίας γεωμορφής για διερεύνηση, είτε σε ορθή μορφή αναζήτησης όταν ο χρήστης δεν έχει καμμία ιδέα για την ύπαρξη μίας συγκεκριμένης υπόθεσης γεωμορφής και επιθυμεί να προτείνει τις γεωμορφολογικές ενδείξεις της υπο μελέτη περιοχής προκειμένου να καθοδηγηθεί σε μιά υπόθεση γεωμορφής (Σχήμα 7).

```

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

```

Σχήμα 7. Παράδειγμα ενός απλού κανόνα που συνάγει την γεωμορφή από γεωμορφολογικές ενδείξεις.

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

Στη πρώτη προσέγγιση, όταν αναγνωρισθούν δύο οποιοσδήποτε γεωμορφές, το σύστημα ελέγχει την 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, κτ.λ. 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 την συσχέτιση της χωρικής θέσης των γεωμορφών εντοπίσουν τις δύο υπό εξέταση γεωμορφές να είναι ή 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 (Σχήμα 8α) δείχνει ένα 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 ριπίδιου και της συλλεκτήριας λεκάνης είναι μεγαλύτερος του ενός. Αυτός ο κανόνας εξετάζει αν το αντικείμενο που ανήκει στην κατηγορία του αλλουβιακού ριπίδιου είναι δίπλα σε μια συλλεκτήρια λεκάνη. Η υπόθεση "adjacency of alluvial fan to playa" προτείνεται από τον χρήστη για ανάστροφη εκτίμηση. Κατόπιν, το σύστημα θέτει τις κατάλληλες ερωτήσεις στο χρήστη που αφορούν την θέση της κάθε γεωμορφής σε σχέση με κάθε μια απ' τις υπόλοιπες.

Μια δεύτερη προσέγγιση των χωρικών συμφραζομένων έγκειται στο προσδιορισμό της θέσης μιας γεωμορφής σε σχέση με τοπογραφικούς σχηματισμούς δεύτερης τάξης όπως φαίνεται στο Σχήμα 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)

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

Κανόνες που αποσκοπούν στην ερμηνεία των φυσιογραφικών ενοτήτων (provinces, sections) από φυσιογραφικές ενδείξεις (φυσιογραφικά συμφραζόμενα). Η έκφραση των φυσιογραφικών συμφραζομένων έχει διαφορές μφές. 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 μίας φυσιογραφική περιοχή και σε αυτή την περίπτωση το σύστημα θα ζητήσει από τον χρήστη να παράσχει τις τιμές των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών έτσι ώστε να αποδείξει ή να απορρίψει την προταθείσα υπόθεση.

Εαν ο χρήστης δεν έχει την γνώση έτσι ώστε να προτείνει την εξέταση μιας συγκεκριμένης υπόθεσης για την 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 φυσιογραφικές περιοχές. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια *ιεραρχία φυσιογραφικής κατάταξης* προκειμένου να επιτύχει την αναπαράσταση (Σχήμα 9). Το Σχήμα 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.

```

OBJECT: Basin_and_Range_Province
SUPERCLASSES :
    Province
SUBOBJECTS :
    Great_Basin
    Sonoran_Desert
    Salton_Trough
    Mexican_Highland
    Sacramento_Section
  
```

Σχήμα 9. Αναπαράσταση φυσιογραφικών περιοχών και υπο-περιοχών σε μορφή αντικειμένων.

```

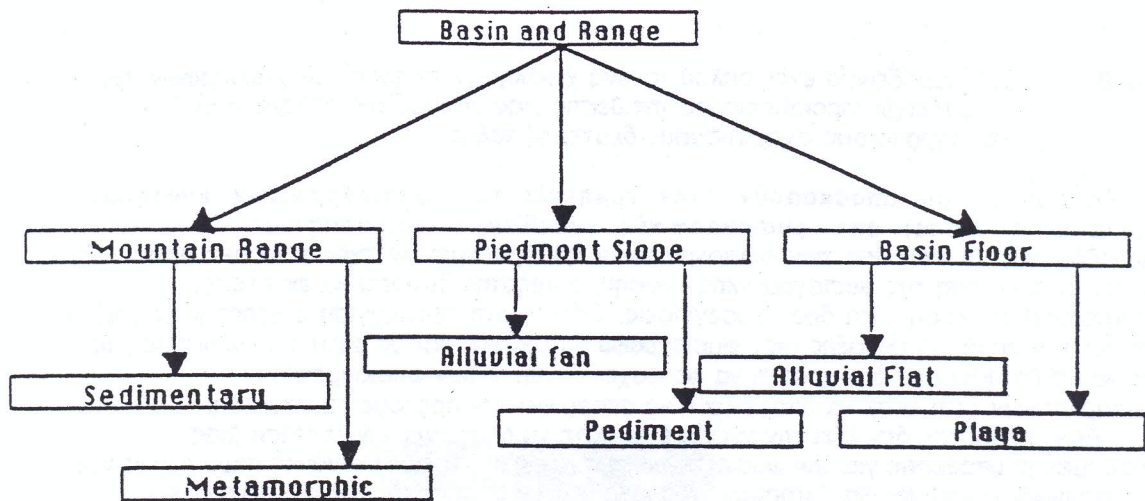
RULE: Basin_and_range
If
    current_task is physiographic_context
    And many_mountain_ranges is true
    And more_or_less_parallel_mountain_ranges is true
    And Range.straightness is present
    And Range.length is 50-70 miles
    And Range.height is uniform
    And Angle-between-valley-floor-and-mountain-side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

Σχήμα 10. Παράδειγμα ενός απλού κανόνα αναγνώρισης μιας φυσιογραφικής περιοχής.

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

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

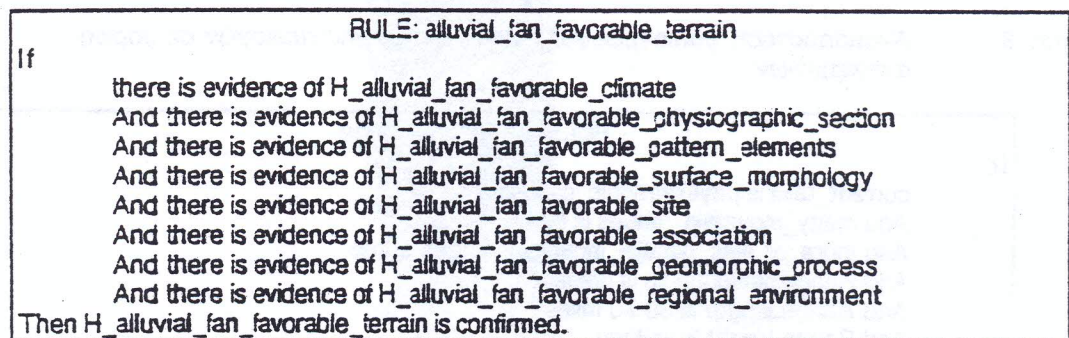
Με την επιλογή μίας γεωμορφής που ανήκει σε πεδίο παρυφών από τον χρήστη, ο χρήστης καθοδηγείται από το έμπειρο σύστημα για να αναγνωρίσει τις γεωμορφές του πεδίου παρυφών π.χ. αλλουβιακό ριπίδιο, ξηρές πετρώδεις πεδιάδες κ.λ.π.



Σχήμα 11. Μια μερική συλλογιστική αλυσίδα που συνδέει την υπόθεση της φυσιογραφικής περιοχής Basin and Range με την 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 στην συνέχεια στην υπόθεση της φυσιογραφικής περιοχής του Basin & Range.

Κανόνες παραγωγής που αποσκοπούν στην ερμηνεία γεωμορφών από συνδυασμό των φωτογεωμορφολογικών, γεωμορφολογικών, χωρικών, και φυσιογραφικών συμφοραζόμενων. Για παράδειγμα, η υπόθεση μίας γεωμορφής (π.χ. αλλουβιακό ριπιδίο) μπορεί να είναι αληθής λόγω των φωτογεωμορφολογικών συμφοραζόμενων αλλά όχι από τα υπόλοιπα. Ο ακόλουθος τύπος κανόνα παραγωγής (Σχήμα 12) αποσκοπεί στην ενσωμάτωση όλων των μερικών ενδείξεων για μία γεωμορφή σε μια περισσότερη ολοκληρωμένη αποδείξη.



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

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ

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 βασίστηκε στα 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 εξάγουν συμπεράσματα δηλαδή αυτές των συγκλινουσών ενδείξεων και της παραγωγικής, επαγωγικής και απαγωγικής λογικής.

Εμπειρα σύστημα που προσωμοιώνουν διεργασίες φωτοερμηνείας γεωμορφών και

ανάλυσης πεδίου και έτσι τυποποιούν την διαδικασία της φωτοερμηνευτικής λογικής είναι σημαντικά εργαλεία για την εκμάθηση 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 την δυνατότητα να φέρουν σε επαφή νέους ερμηνευτές και επαγγελματίες με την 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. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Argialas, D., 1996. Towards Structured Knowledge Models. *Zeitschrift für Geomorphologie* (accepted, in print).
- Αργιαλάς, Δ., 1994α. Εμπειρα Συστήματα και Τηλεπισκόπηση. Διήμερο Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτογραμμετρία, Τηλεπισκόπηση, Τεχνολογίες Αιχμής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 10-11 Φεβρουαρίου 1994
- Αργιαλάς, Δ., 1994β. Πως η Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση προσεγγίζει τη Νοημοσύνη του Φωτοερμηνευτή". ΕΜΠ: Πυρφόρος, Μάρτιος-Απρίλιος 1994, σ. 32-50.
- 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, Vol4, 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*, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 54, No. 4, April, pp. 505-509.
- Αστυριάδης Γ., 1990. Στοιχεία Φυσικής Γεωγραφίας. Α.Π.Θ.
- Αιγυουσιτίδης 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.
- IntelligenceWare 1986. Intelligence/Compiler User's Manual. - Los Angeles.
- Jackson, P. 1986. Introduction to expert systems. - Addison-Wesley, Reading, MA.

- Κρικέτος Β. και Πάστρας Κ. 1979. Εγχειρίδιο Εισαγωγής στα Εμπειρα Συστήματα.
- Lillelsand, T., & R. Kiefer 1979. Remote sensing and image processing. - John Wiley and Sons, New York.
- Mintzer, O. 1983. Engineering applications. - 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-Ζαμάνη Α. 1993. Γεωμορφολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Townshend, J. (ed) 1981: Terrain analysis and remote sensing. - London, Allen and Unwin, 272pp.
- Τζαφέστας Σπ. 1988. Εισαγωγή στη Τεχνητή Νοημοσύνη και τα Εμπειρα Συστήματα, τόμος Α.
- Way, D. 1978. Terrain analysis. - McGraw-Hill. New York.