

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΣΥΜΦΡΑΖΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ  
ΣΕ ΒΑΣΕΙΣ ΓΝΩΣΗΣ

Δρ. Δημήτριος Αργιαλάς, Γιώργος Χ. Μηλιαρέσης\*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αυτή η εργασία αρχικώς παρουσιάζει την ανάγκη για την χρήση της γνώσης που αφορά τις χωρικές σχέσεις των γεωμορφών, προκειμένου να επαυξηθούν οι δυνατότητες των σημερινών εμπείρων συστημάτων για την ερμηνεία γεωμορφών. Έχει προσδιορισθεί, ονομασθεί, περιγραφεί και οργανωθεί λεπτομερής βιβλιογραφική γνώση που αφορά τις χωρικές σχέσεις των γεωμορφών και έχει αναπτυχθεί ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο για την αναπαράσταση της περιγραφικής γνώσης το οποίο περιλαμβάνει τάξεις γεωμορφών και τοπογραφικών μορφών. Για την αναπαράσταση της διαδικαστικής γνώσης αναπτύχθηκε μία δομή με κανόνες παραγωγής που περιλαμβάνει τα παρακάτω τρία ξεχωριστά στάδια:

1. Τον προσδιορισμό της γεωμορφής με βάση τις χωρικές συνθήκες που διέπουν την τοποθέτηση στο χώρο, σε δεδομένο φυσιογραφικό και γεωμορφολογικό περιβάλλον.
2. Την επαλήθευση της ύπαρξης μίας γεωμορφής συναρτήσει των χωρικών συσχετίσεων της, με έλεγχο των σχέσεων γεινίασης μεταξύ των ήδη προσδιορισμένων γεωμορφών.
3. Την μορφοποίηση υποθέσεων για την ύπαρξη μίας γεωμορφής με βάση την χωρική συσχέτιση της.

Η αναπαράσταση της γνώσης επικεντρώνεται στις τυπικές γεωμορφές που αναπτύσσονται στους πρόποδες των βουνών και στις αλλουβιακές τεκτονικές λεκάνες της φυσιογραφικής περιφέρειας Basin and Range (Ν.Δ. ΗΠΑ).

**ABSTRACT**

This paper presents the need for using landform spatial knowledge to enhance present day landform interpretation expert systems. We have identified, named, described and organized detailed, "book-level" knowledge pertaining to landform spatial associations. We have developed an object-oriented model for the representation of the factual and structural domain knowledge, which included classes, and subclasses of landforms and topographic forms. We have also developed a rule-base structure for representing the strategic (inferential) knowledge needed for spatial reasoning that included three distinct aspects:

- 1 landform identification by spatial association,
- 2 landform verification by spatial association, and
- 3 landform hypotheses-formulation by spatial association.

The knowledge representation encompasses the typical landforms of the piedmont slope and basin floor of the Basin and Range province of Southwest USA.

\* Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχ., Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφος 15780

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

### 1 Ανάλυση Πεδίου και Ερμηνεία Γεωμορφών

Η ανάλυση πεδίου είναι η συστηματική μελέτη των φωτοερμηνευτικών προτύπων που συνδέονται με την προέλευση, την μορφολογία και την σύσταση των διακριτών μονάδων που ονομάζονται γεωμορφές, όπως επίσης και της σημασίας τους (από την πλευρά του μηχανικού) στο προσδιορισμό των εδαφών και των πετρωμάτων (Way 1978, Lillesand & Kiefer 1979, Mintzer 1983, Mintzer & Messmore 1984, Rinker & Corl 1984). Οι γεωμορφές είναι φυσικές ενότητες του πεδίου, συνήθως τρίτης τάξης ανάγλυφου οι οποίες όταν αναπτύσσονται κάτω από όμοιες συνθήκες κλίματος, αποσάθρωσης και διάβρωσης παρουσιάζουν διακριτές και προβλέψιμες οπτικές και φυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Δύο γεωμορφές οι οποίες έχουν προέλθει από το ίδιο έδαφος και πέτρωμα, και έχουν αποθεθεί διαμέσου της ίδιας φυσικής διεργασίας και κάτω από τις ίδιες κλιματολογικές συνθήκες, παρουσιάζουν όμοια φυσικά και οπτικά χαρακτηριστικά στις αεροφωτογραφίες τα οποία ονομάζονται φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι γεωμορφές προσδιορίζονται από την ερμηνεία και τον εντοπισμό των παρατηρούμενων φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών σε αεροφωτογραφίες της περιοχής και από την συσχέτιση αυτών των στοιχείων με αντίστοιχες νοητικές εικόνες και πρότυπα.

Η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων στην φωτοερμηνεία είναι ακόμη τέχνη χωρίς επιστημονική και θεωρητική τεκμηρίωση (Argialas & Mintzer 1992). Το διαδικαστικό πλαίσιο για την επίλυση ενός προβλήματος με φωτοερμηνεία, ακόμη λείπει και τα βιβλία δεν αναπτύσσουν τις απαραίτητες θεωρίες και στρατηγικές που είναι απαραίτητες προκειμένου να καθοδηγηθούν οι αρχάριοι στην διαδικασία του προσδιορισμού των γεωμορφών με φωτοερμηνεία. Έτσι, η στρατηγική επίλυσης του προβλήματος της ερμηνείας γεωμορφών δεν είναι ξεκάθαρη, άμεση και μονοσήμαντη. Επιπλέον δεν μπορεί να διδαχθεί εύκολα, να επεκταθεί, να διατηρηθεί, να μεταδοθεί, να αναπαραχθεί και να γίνει αντικείμενο κριτικής, όπως θα ήταν δυνατόν εάν ήταν τυποποιημένη με την μορφή μίας βάσης γνώσης. Επιπροσθέτως, η ερμηνεία των γεωμορφών είναι χρονοβόρα διαδικασία, προϋποθέτει ένταση εργασίας και έχει υψηλό κόστος. Το αποτέλεσμα είναι η ικανότητα στην ανάλυση πεδίου να είναι συνάρτηση μίας μακράς και υψηλού κόστους εκπαίδευσης.

Δημιουργείται έτσι η ανάγκη να μελετηθεί συστηματικά η διαδικασία του προσδιορισμού συμπερασμάτων στην ανάλυση πεδίου, προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα και να τυποποιηθεί αυτή η διαδικασία, και να αναπτυχθεί ένα συστηματικό πλαίσιο για την αναγνώριση των γεωμορφών από αεροφωτογραφίες (Leighty 1973, 1979, Argialas & Narasimhan 1988a and 1988b). Τα έμπειρα συστήματα που αναπαριστούν την γνώση με συστήματα παραγωγής προσφέρουν μεθόδους και εργαλεία για την αναπαράσταση τόσο των γεγονότων (δεδομένα, υποθέσεις, αντικείμενα), όσο και της διαδικασίας επίλυσης του προβλήματος (κανόνες παραγωγής) διαμέσου κατάλληλα προσαρμοσμένων προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών και έτσι μπορούν να βοηθήσουν στην ανακάλυψη και τυποποίηση των δένδρων απόφασης για την φωτοερμηνεία γεωμορφών.

### 2 Ερμηνεία Γεωμορφών με Συστήματα Παραγωγής

Τα έμπειρα συστήματα με συστήματα παραγωγής είναι ένα πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης που αντιμετωπίζει σύνθετες και εξειδικευμένες ως προς το πεδίο εφαρμογής, διαδικασίες επίλυσης οι οποίες απαιτούν μοναδική εμπειρία (Hayes-Roth et al. 1983, Jackson 1986). Η αποτελεσματικότητα τους εξαρτάται κύρια από τα γεγονότα και τις υποθέσεις που χρησιμοποιεί ο έμπειρος. Η επιτυχία τους σε μεγάλο βαθμό καθορίζεται από την αποτελεσματική αναπαράσταση στον υπολογιστή της γνώσης στο συγκεκριμένο αντικείμενο. Η αναπαράσταση της γνώσης λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή γεγονότων, αντικειμένων, πλαισίων, κανόνων παραγωγής και μεθόδων αβέβαιης συλλογιστικής. Τα τελευταία 25 χρόνια, επιστήμονες που εργάζονται για την ανάπτυξη συστημάτων για την ερμηνεία γεωμορφών με κανόνες παραγωγής έχουν υλοποιήσει πειραματικά έμπειρα συστήματα για την ανάλυση πεδίου (Leighty 1973, Leighty 1979, Rinker & Corl 1984, Argialas & Narasimhan 1988a, 1988b, Mintzer 1988, Argialas 1989, Narasimhan & Argialas 1989).

Στην προσέγγιση του Αργιαλά και των συνεργατών του, γίνεται χρήση διαφορετικών μεθόδων αναπαράστασης της γνώσης όπως κανόνες, πλαίσια και διαδικασίες αβέβαιης συλλογιστικής που προσομοιάζουν το θεώρημα του Bayes και μέθοδοι ασαφούς λογικής προκειμένου να προσεγγισθεί η αναπαράσταση της γεωμορφολογικής γνώσης διαμέσου της προσέγγισης των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των γεωμορφών και να δημιουργηθεί ένα πειραματικό έμπειρο σύστημα για την αναζήτηση και τον προσδιορισμό της γεωμορφής διαμέσου παρατήρησης και διάγνωσης των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών από τον χρήστη. Τα συστήματα που αναπτύχθηκαν κάτω από αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο ονομάζονται Έμπειρος Αναλυτής Πεδίου 1, 2 και 3 (TAX-1, 2, 3).

Η φωτοερμηνεία γεωμορφών με συστήματα παραγωγής συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη των παρακάτω πέντε αλληλο-εξαρτώμενων και επικαλυπτόμενων τυπικών στόχων για την ανάπτυξη των συστημάτων Έμπειρος Αναλυτής Πεδίου: (1) Τοποθέτηση του προβλήματος, (2) Σύλληψη του προβλήματος και αναπαράσταση του στις αρμόζουσες δομές γνώσης (3) Φορμαλισμό ή Τυποποίηση του Προβλήματος, (4) Υλοποίηση (προγραμματισμός) σε κατάλληλο λογισμικό εργαλείο και (5) Έλεγχο και αξιολόγηση του συστήματος.

Σε αυτή την εργασία περιγράφονται τα βήματα (1) έως (3). Η τοποθέτηση του προβλήματος αφορά τα δεδομένα, τις υποθέσεις, τους στόχους και τις διαδικασίες επίλυσης του TAX. Τα στάδια της τοποθέτησης του προβλήματος του TAX 1,2 και 3 περιγράφηκαν νωρίτερα (Argialas & Narasimhan 1988a, 1988b, Argialas 1989). Η τοποθέτηση του προβλήματος του TAX-4 περιγράφηκε από τους Αργιαλά & Μηλιαρέση (1996) και επικεντρώνεται στην ονοματολογία, στην περιγραφή και στην οργάνωση, λεπτομερούς, βιβλιογραφικής γνώσης, που αφορά τις φυσιογραφικές περιοχές και τις υποδιαίρεσεις τους (provinces and sections), ειδικότερα της περιοχής Basin & Range Province (Great Basin, Sonoran Desert) των Νοτιοδυτικών Η.Π.Α. Παρακάτω αναπτύσσουμε τις λόγους που μας εξανάγκασαν στην ανάληψη της παρούσης ερευνητικής προσπάθειας και την νέα τοποθέτηση και σύλληψη του προβλήματος καθώς τα σχήματα αναπαράστασης της γνώσης του TAX-5.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 1 Τοποθέτηση του Προβλήματος

Σε όλες τις προηγούμενες προσπάθειες για την δημιουργία πειραματικών εμπειρών συστημάτων ανάλυσης πεδίου, η γεωμορφή του πεδίου προσδιορίζονταν με βάση τα φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μόνο, χωρίς να λαμβάνετε υπόψη η θέση της στο γεωμορφολογικό και φυσιογραφικό περιβάλλον. Επιπλέον η γνώση της ύπαρξης μίας γεωμορφής σε ένα συγκεκριμένο φυσιογραφικό πεδίο δεν χρησιμοποιείτο προκειμένου να υποβοηθηθεί η αναγνώριση των γειτονικών γεωμορφών.

Στην ίδια φυσιογραφική περιοχή, οι γειτονικές γεωμορφές συνδέονται ή συσχετίζονται με γεωμορφολογικά κριτήρια. Αυτό σημαίνει α) ότι πολλές φορές υπάρχουν υποθέσεις για τις γειτονικές γεωμορφές κάθε γεωμορφής και β) ότι σε μία δεδομένη φυσιογραφική περιοχή συγκεκριμένες γεωμορφές ή ομάδες γεωμορφών εμφανίζουν μία προβλέψιμη σχετική κατανομή στο τοπογραφικό και γεωμορφολογικό περιβάλλον. Παράδειγμα, στην φυσιογραφική περιφέρεια Basin & Range, οι πιθανές γειτονικές γεωμορφές ενός αλλουβιακού ριπιδίου είναι: είτε ένα άλλο αλλουβιακό ριπίδιο, είτε αλλουβιακές προσχώσεις (valley fill), είτε επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών (playa), κ.α..

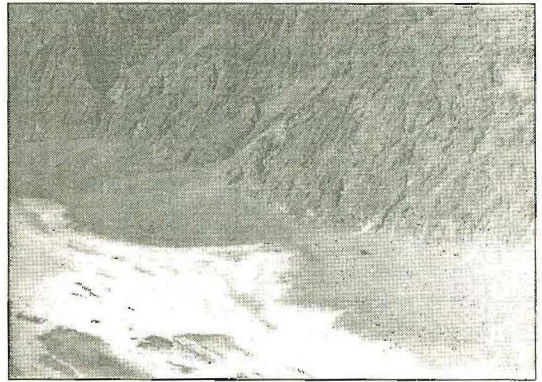
Η γνώση των χωρικών συσχετίσεων είναι πλούσια πηγή πληροφόρησης η οποία δεν έχει εξερευνηθεί στις προηγούμενες προσεγγίσεις αν και μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε ότι οι φωτοερμηνευτές έχουν αναπτύξει τέτοια εμπειρία. Σε αυτή την εργασία οι συγγραφείς θεωρούν την σημασία της χωρικής γνώσης και εξετάζουν τα πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης της στην διαδικασία φωτοερμηνείας γεωμορφών. Η ιδέα κάτω από την θεώρηση της χωρικής γνώσης των γεωμορφών που προτείνετε εδώ, είναι ότι οι γεωμορφολογικές διεργασίες που ελέγχουν την ανάπτυξη μίας συγκεκριμένης γεωμορφής επίσης προσδιορίζουν το είδος των γεωμορφών που αναπτύσσονται στην γειτονία της ή συσχετίζονται με τις γεωμορφολογικές διεργασίες που δημιουργούν τις γειτονικές γεωμορφές. Η προσδοκώμενη θέση μίας γεωμορφής σε ένα πεδίο και η συσχέτιση της με άλλες

γεωμορφές μπορεί να τυποποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί σε ένα συμβουλευτικό σύστημα παραγωγής που θα υποβοηθά τους χρήστες στον προσδιορισμό των γεωμορφών.

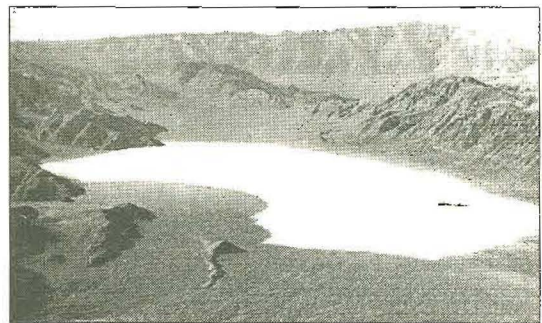
Προκειμένου να παρουσιαστεί πρακτικά το νοητικό σχήμα που αναπτύχθηκε θα δώσουμε παραδείγματα που αντανακλούν τις γεωμορφές της φυσιογραφικής περιφέρειας Basin & Range και πιο συγκεκριμένα αυτών που ευρίσκονται στους πρόποδες των οροσειρών (piedmont plain: alluvial fans, pediments, bahadas) και στις λεκάνες απόθεσης (basin floor: playas, valley fills). Οι πρόποδες των οροσειρών είναι μία τοπογραφική ενότητα (Σχ. 1) που συμπεριλαμβάνει την υπό κλίση περιοχή από το μέτωπο της οροσειράς (mountain front) έως την σχεδόν επίπεδη επιφάνεια της αλλουβιακής λεκάνης. Η κλίση είναι από 8 έως 15% κοντά στο μέτωπο του βουνού και 1% εκεί που συναντά την αλλουβιακή λεκάνη. Οι γεωμορφές που παρατηρούνται είναι αλλουβιακά ριπίδια. Η αλλουβιακή λεκάνη απόθεσης (Σχ. 1) είναι κλειστή και καλύπτεται από αλλουβιακές προσχώσεις (valley fill) και επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών (playas).

Η γνώση για τις χωρικές σχέσεις των γεωμορφών αποκτήθηκε και συνετέθη από μια διαδικασία πειραματισμών και αναζητήσεων σε παραδείγματα και αναφορές που βρέθηκαν σε γεωμορφολογικά και φυσιογραφικά βιβλία και τεχνικές εκθέσεις. Οι κύριες πηγές ήταν Fenneman (1931), Lueder (1959), Peterson (1981), McGearly and Plummer (1994) και Ritter et al. (1995). Αυτή η γνώση δεν είναι καταγεγραμμένη σε συγκεκριμένη πηγή με άμεσο τρόπο. Οι χωρικές σχέσεις είναι έμμεσα ενσωματωμένες σε περιγραφές που αφορούν τις γεωμορφολογικές διεργασίες και η βήμα προς βήμα διαδικασία επίλυσης που απαιτείται για να προσδιορισθεί και να χρησιμοποιηθεί σωστά η χωρική γνώση των γεωμορφών λείπει από την βιβλιογραφία.

Στο Σχήμα 2 οι επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών (playas) είναι στο κεντρικό τμήμα μιας κλειστής λεκάνης απόθεσης και περιβάλλονται από αλλουβιακές προσχώσεις (valley fill). Δηλαδή και *οι δύο γεωμορφές είναι τμήμα της ίδιας τοπογραφικής μορφής (λεκάνη απόθεσης)*. Στο Σχήμα 1 οι δύο γεωμορφές που είναι δίπλα-δίπλα ανήκουν σε διαφορετικές τοπογραφικές μορφές (το αλλουβιακό ριπίδιο ανήκει στους πρόποδες του βουνού και οι αποθέσεις εβαποριτών στην λεκάνη απόθεσης).



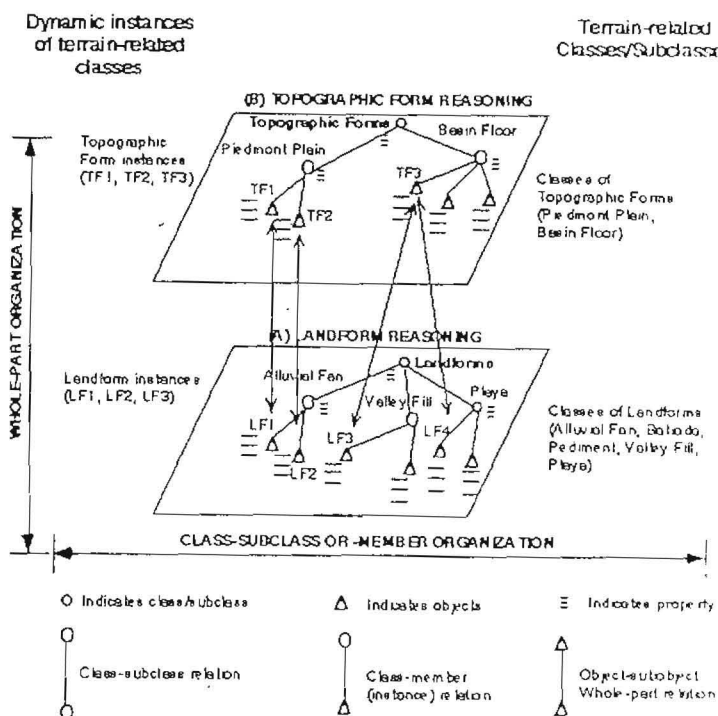
**Σχήμα 1.** Επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών (playas) δίπλα σε αλλουβιακό ριπίδιο (McGeary et al., 1994).



**Σχήμα 2.** Επιφανειακές αποθέσεις εβαποριτών στο κατώτερο τμήμα μιας αλλουβιακής λεκάνης (Strahler et al., 1992)

## 2 Σύλληψη του Προβλήματος και Αναπαράσταση της Γνώσης

Η σύλληψη του προβλήματος και η αναπαράσταση της γνώσης στοχεύουν α) στην αποκάλυψη των κύριων εννοιών της σχετικής γνώσης, β) των σχέσεων μεταξύ των εννοιών και γ) στη τυποποίηση της περιγραφής της γνώσης βάσει των κύριων όρων και των νοητικών σχέσεων που ορίστηκαν στα δύο πρώτα στάδια. Με βάση την γνώση που προσδιορίστηκε σχετικά με τις χωρικές σχέσεις των γεωμορφών προηγουμένως, παρουσιάζεται ένα νοητικό πλαίσιο για την αναπαράσταση των γεγονότων, της δομικής αλλά και της διαδικαστικής γνώσης (Σχήμα 3). Πιο συγκεκριμένα, για τα γεγονότα και τις δομές της χωρικής γνώσης των γεωμορφών, αναπτύσσουμε μια αναπαράσταση που χρησιμοποιεί τάξεις και υποτάξεις (subclass), αντικείμενα και υπο-αντικείμενα (sub-objects) και πεδία (slots) σαν ιδιότητες (Σχήμα 3). Η σειρά των ενεργειών είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 3. Μια αντικειμενοστραφής γραφική αναπαράσταση της χωρικής γνώσης των γεωμορφών που χρησιμοποιείται στο TAX-5.

1. Ονομάζουμε τις τάξεις (πχ. τοπογραφικές μορφές, γεωμορφές, κ.α.).
2. Οργανώνουμε τις τάξεις σε ιεραρχίες έτσι ώστε τα επιπλέον επίπεδα λεπτομέρειας να περιγράφονται μόνο στις κατώτερες τάξεις (subclass). Ως παράδειγμα, ορίζουμε για την τάξη των τοπογραφικών μορφών, τις υποτάξεις (sub-class): α) πρόποδες οροσειράς (piedmont slope) και β) λεκάνη απόθεσης (basin floor), ενώ για την τάξη των γεωμορφών τις υπο-τάξεις: α) του αλλουβιακού ριπιδίου (alluvial fan) και β) των επιφανειακών αποθέσεων εβαποριτών (playas). κ.α. Οι τάξεις δεικνύονται σαν μικροί κύκλοι στα διάφορα επίπεδα (Σχήμα 3).
3. Ορίζουμε μια ιεραρχία αντικειμένων και υπο-αντικειμένων (Σχήμα 3) ή μέρους-όλου (whole-part hierarchy). Για παράδειγμα, κάθε τοπογραφική μορφή αποτελείται από ένα σύνολο από γεωμορφές και αντίστροφα κάθε γεωμορφή είναι τμήμα μιας τοπογραφικής μορφής. Έτσι, το αντικείμενο LF1 που ανήκει στη τάξη του αλλουβιακού ριπιδίου είναι τμήμα (part of) του αντικειμένου TF1 ανήκει στην τάξη πρόποδες οροσειράς (piedmont plain).
4. Ορίζουμε αντικείμενα (instances) σαν μέλη των τάξεων (classes). Οι τάξεις είναι χρήσιμες στην αναπαράσταση των εννοιών ενώ τα αντικείμενα (στατικά ή δυναμικά) αντιστοιχούν στις γεωμορφές της εικόνας που ερμηνεύουμε.
5. Ορίζεται ένα σύνολο ιδιοτήτων οι οποίες περιγράφουν κάθε τάξη. Αυτές οι ιδιότητες υποδεικνύονται με το σύμβολο  $\equiv$  στο Σχήμα 3. Τα αντικείμενα και οι τάξεις κληρονομούν τις ιδιότητες τους δυναμικά από τις μητρικές τους τάξεις (inheritance). Έτσι, διαμέσου των ιεραρχιών οι ιδιότητες κληρονομούνται από το ανώτερο επίπεδο στο κατώτερο και τελικά στα αντικείμενα. Οι περισσότερες από τις ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για την τυποποίηση της χωρικής γνώσης των γεωμορφών εκφράζουν χωρικές συσχετίσεις όπως α) γύρω από δεδομένη γεωμορφή, β) δίπλα από δεδομένη γεωμορφή, δίπλα σε δεδομένη γεωμορφή σε διεύθυνση κάθετη ως προς το διάνυσμα της κλίσης, κ.α.

## 2.2 Διαδικαστική Γνώση

Για την αναπαράσταση της στρατηγικής επίλυσης αναπτύσσουμε μία τυποποίηση διαμέσου κανόνων παραγωγής. Η στρατηγική γνώση των χωρικών σχέσεων των γεωμορφών εννοιολογικά αποτελείται από τρεις διαφορετικές συνιστώσες: α) προσδιορισμός γεωμορφής από χωρικές σχέσεις, β) επαλήθευση ύπαρξης μίας γεωμορφής με χωρικές συσχετίσεις και γ) μορφοποίηση υποθέσεων ύπαρξης γεωμορφών με βάση χωρικές συνθήκες. Αυτές οι τρεις συνιστώσες χρησιμοποιούνται προκειμένου να επαυξηθούν οι δυνατότητες των πειραματικών εμπειρών συστημάτων που αναπτύχθηκαν με α) την παροχή των μέσων για τον προσδιορισμό της γεωμορφής με βάση την θέση της στο χώρο και τις χωρικές σχέσεις με αντικείμενα του χώρου, β) την επαλήθευση της γειννίαςσης δύο γεωμορφών με βάση τις χωρικές σχέσεις και γ) την παροχή πιθανών/δυνητικών υποθέσεων που αφορούν την ύπαρξη κάποιας γεωμορφής με βάση την γειννίαςσης με προηγούμενα προσδιορισμένη γεωμορφή. Ο προσδιορισμός μίας γεωμορφής με βάση τις χωρικές σχέσεις αναπτύχθηκε προκειμένου να προσδιορίσει μία γεωμορφή με την χρήση των αντίστοιχων χωρικών ενδείξεων. Οι χωρικές ενδείξεις ταξινομήθηκαν σε τέσσερις ομάδες, κάθε μία από αυτές περιγράφει ένα συγκεκριμένο είδος χωρικών συσχετίσεων:

- Υψομετρικές συσχετίσεις. Οι υψομετρικές σχέσεις ορίζονται είτε άμεσα όπως για παράδειγμα η σχέση "υψηλότερα από" είτε έμμεσα όπως "στην διεύθυνση κατάντη της κλίσης ως προς ένα αλλουβιακό ριπίδιο",
- Οριζοντιογραφικές συσχετίσεις. Αυτές εκφράζουν τις σχέσεις γειννίαςσης γεωμορφών που έχουν κοινά όρια, κ.α.
- Σχέσεις Έγκλησης (enclosure). Εκφράζουν σχέσεις όπως α) περικλείεται από όλες τις πλευρές ή β) εμφανίζεται γύρω (σε όλες τις πλευρές) ή γ) ευρίσκεται εντός (είναι εσωτερικό), κ.α.
- Συνοριακού τύπου σχέσεις. Προσδιορίζουν τον τύπο του ορίου (σαφέστατα διακριτό, ασαφές, κατά περίπτωση ασαφές, κατά περίπτωση διακριτό) και το είδος του (μια ζώνη βλάστησης σε μορφή δακτυλιδιού, ένα εξωτερικό περίγραμμα που περιβάλλει την γεωμορφή στην κατάντη διεύθυνση της κλίσης, κ.α.). Για παράδειγμα ο κανόνας για τον προσδιορισμό ενός αλλουβιακού ριπιδίου με χωρικές σχέσεις χρησιμοποιεί τους ακόλουθους χωρικούς περιορισμούς:  
*If-site-occurs-at = a piedmont plain,*  
*If-site-occurs-higher-than = a broad basin floor,*  
*If-site-occurs-lower-than = an upland valley,*  
*If-site-occurs-downslope-of = a valley mouth,*  
*If-site-occurs-adjacent-to = playa,*  
*If-site-occurs-upslope of = a playa.*

**Πίνακας 1.** Οι πιθανές αποδεκτές σχέσεις γειννίαςσης που είναι δυνατές μεταξύ ενός αλλουβιακού ριπιδίου και των γεωμορφών που εμφανίζονται στις τεκτονικές αλλουβιακές λεκάνες απόθεσης.

Adjacent Landform	Alluvial Fan
1. Alluvial Fan	Adjacent in a direction transverse to slope vector
2. Bahada	In a direction transverse to slope vector
3. Pediment	Pediment downslope of alluvial fan. A pediment upslope of alluvial fan. Adjacent in a direction transverse to slope vector
4. Playa	Playa downslope of alluvial fan
5. Valley Fill	Valley fill downslope of alluvial fan

Η επαλήθευση της ύπαρξης της γεωμορφής με χωρική συσχέτιση αναπτύχθηκε για να ελέγξει εάν δύο ή περισσότερες γεωμορφές που προσδιορίστηκαν διαμέσου των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, ικανοποιούν τις απαιτούμενες χωρικούς συνθήκες. Οι συνθήκες προσδιορίστηκαν σε σχέση με τον τύπο της γειτνίασης και την χωρική διεύθυνση (Πιν. 1).

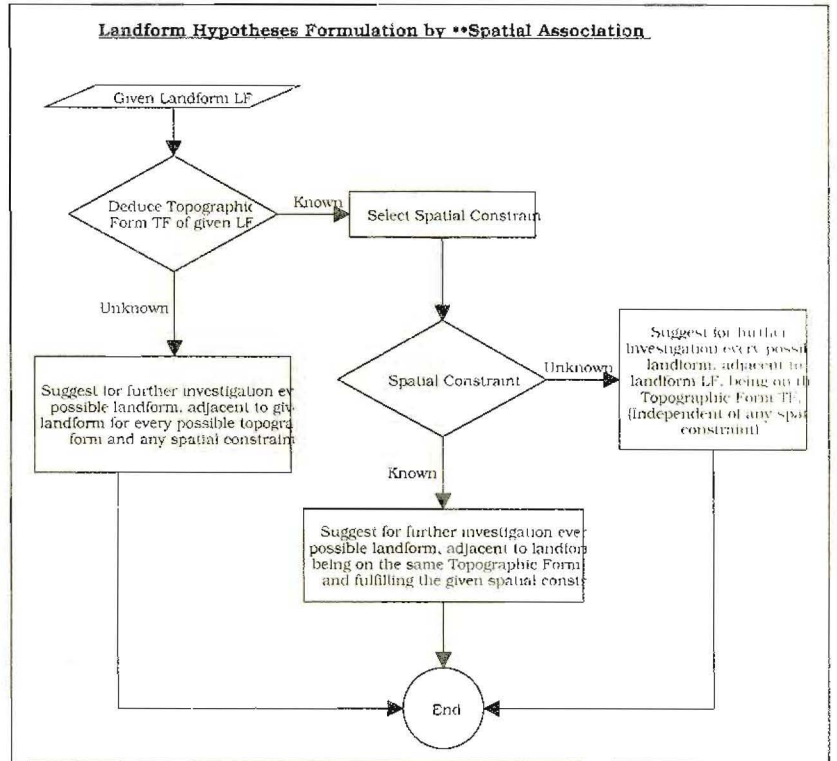
Η μορφοποίηση υποθέσεων με βάση την χωρική συσχέτιση αναπτύχθηκε έτσι ώστε εάν μία γεωμορφή προσδιορίστηκε από φωτογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, η χωρική γνώση που αφορά την συγκεκριμένη γεωμορφή να προτείνει ένα σύνολο από υποψήφιες υποθέσεις γειτονικών γεωμορφών για

έρευνα από τον χρήστη. Το σύνολο των προτεινόμενων γεωμορφών μπορεί να είναι θεωρητικά δίπλα στις ήδη προσδιορισθείσες γεωμορφές με βάση τις γεωμορφολογικές αρχές και η ύπαρξη τους πρέπει να επαληθευτεί με ανάστροφη συλλογιστική αλυσίδα χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Όταν η διαδικασία της φωτοερμηνείας ολοκληρωθεί, σε κάθε προσδιορισμένη γεωμορφή του πεδίου ανατίθεται μια σειρά από ιδιότητες-τιμές που αναφέρονται στις χωρικές σχέσεις.

Η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας δίνεται στο Σχήμα 4. Εφόσον, μια γεωμορφή έχει προσδιορισθεί, το σύστημα προσπαθεί να εντοπίσει την τοπογραφική μορφή στην οποία ανήκει η γεωμορφή. Εάν η τοπογραφική μορφή προσδιορισθεί τότε ο χρήστης θα καθοδηγηθεί κατάλληλα προκειμένου να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός επιπρόσθετων γεωμορφών στην συγκεκριμένη τοπογραφική μορφή με βάση χωρικές συνθήκες που προσδιορίζονται από τον χρήστη (διεύθυνση, συσχέτιση, συνθήκη) και οι οποίες συσχετίζουν τις προσδιορισμένες με τις άγνωστες γεωμορφές. Εάν μια τέτοια συνθήκη δεν μπορεί να προσδιορισθεί από τον χρήστη τότε το σύστημα προτείνει για περαιτέρω διερεύνηση όλες τις πιθανά γειτονικές γεωμορφές ανεξάρτητα από χωρική διεύθυνση.

Παράδειγμα ως υποθέσουμε ότι ο χρήστης επιθυμεί να ξεκινήσει την διαδικασία μορφοποίησης υποθέσεων για πιθανές γεωμορφές με βάση τον ήδη υπάρχοντα προσδιορισμό ενός αλλουβιακού ριπιδίου. Τα αλλουβιακά ριπιδία μπορεί να αναπτυχθούν στους πρόποδες των οροσειρών, στο σημείο συνάντησης μίας απότομης κοιλάδας με μία σχετικά επίπεδη επιφάνεια. Σχετικά με το αλλουβιακό ριπίδιο οι παρακάτω χωρικές συνθήκες μπορεί να θεωρηθούν προκειμένου να περιγραφεί η γειτνίαση με άλλη γεωμορφή:

1. in a direction upslope to the alluvial fan
2. in a direction downslope to the alluvial fan
3. adjacent to the alluvial fan in a direction transverse to the slope vector.



Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής των υποθέσεων που προοδεύει η ύπαρξη μίας γεωμορφής με βάση τις χωρικές σχέσεις.

Οι παραπάνω χωρικές σχέσεις εκφράστηκαν με τους ακόλουθους κανόνες:

*RULE 1. IF the given landform is an ALLUVIAL FAN, and the given landform belongs to a topographic form of PIEDMONT SLOPE, and the unknown landform is adjacent to the ALLUVIAL FAN in the DOWNSLOPE DIRECTION, then the unknown landform could be that of a PLAYA, a VALLEY FILL or a PEDIMENT.*

*RULE 2. IF the given landform is an ALLUVIAL FAN, and the given landform belongs to a topographic form of PIEDMONT SLOPE, and the unknown landform is adjacent to given landform in a DIRECTION TRANSVERSE TO THE SLOPE VECTOR then the unknown landform could be that of another ALLUVIAL FAN, a BAHADA or a PEDIMENT.*

*RULE 3. IF the given landform is an ALLUVIAL FAN, and the given landform belongs to a topographic form of PIEDMONT SLOPE, and the unknown landform is adjacent to given landform in an UPSLOPE DIRECTION then the unknown landform could be that of a PEDIMENT (It is currently assumed that only landforms of the piedmont plain are examined).*

*RULE 4. IF the given landform is an alluvial fan, and the given landform belongs to a topographic form of piedmont slope, and no spatial direction of adjacency can be defined by the user, then the unknown landform could be that of another ALLUVIAL FAN, a PEDIMENT, a BAHADA, a PLAYA, or a VALLEY FILL.*

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Έχει αναπτυχθεί η τοποθέτηση και σύλληψη του προβλήματος για τις χωρικές συσχετίσεις των γεωμορφών καθώς και η τυποποίηση του στις αρμόζουσες δομές γνώσης. Το πρώτο βήμα στην διαδικασία πρόσληψης της γνώσης βασίστηκε σε βιβλιογραφική γνώση και αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια προσέγγισης της χωρικής γνώσης των γεωμορφών. Η συμμετοχή της χωρικής γνώσης ήταν σημαντική όχι μόνο επειδή συνεισέφερε στην έρευνα των χωρικών σχέσεων των γεωμορφών αλλά επειδή επιπροσθέτως προσφέρει την βοήθεια στον χρήστη να υλοποιήσει πιθανές υποθέσεις για γεωμορφές που είναι στην γειτονιά μιας ήδη προσδιορισθείσας γεωμορφής. Η μοντελοποίηση της γνώσης για τις χωρικές σχέσεις των γεωμορφών δημιουργεί ερμηνείες σε συμφωνία και με την προσέγγιση των φωτογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών αλλά και με την χωρική συσχέτιση των γεωμορφών. Επιπροσθέτως βοηθά τον χρήστη να μορφοποιεί υποθέσεις για γεωμορφές που είναι στην γειτονιά μιας ήδη προσδιορισμένης γεωμορφής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Argialas D., and G. Miliareisis, 1996. Physiographic Knowledge Acquisition. Technical Paper. Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, (in print), Baltimore. Maryland.
- Argialas, D. 1989. 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., & O. Mintzer 1992. The potential of hypermedia to photointerpretation education and training. - In: L. Fritz and J. Lucas (eds.): International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XVII ISPRS Congress, Washington DC. August 2-14, 1992, Commission VI, XXIX, part B: 375-381
- 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.
- Fenneman, N. 1931. Physiography of the Western United States, McGraw-Hill Book Co., New York, NY.
- Hayes-Roth, F., Waterman, D. & Lenat, D. 1983. Building expert systems. - Addison-Wesley, Reading, MA.
- Jackson, P. 1986. Introduction to expert systems. - Addison-Wesley, Reading, MA.
- Leighty, R. 1979. "Research for information extraction from aerial imagery." in: Remote Sensing Symposium, U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Topographic Laboratory, Reston, VA.
- Leighty, R., 1973. A Logical Approach Toward Terrain Pattern Recognition for Engineering Purposes, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 231 pp.
- Lillelsand, T., & R. Kiefer 1979. Remote sensing and image processing. - John Wiley and Sons, New York.
- Lueder, D., 1959. Aerial Photographic Interpretation: Principles and Applications, McGraw-Hill, New York.
- McGeary D., C. Plummer, 1994. Physical Geology Earth Revealed, Wm. C. Brown Publishers
- Mintzer, O. & J. Messmore 1984. Terrain analysis procedural guide for surface configuration. - Technical Report ETL-0352, U.S. Army Corps of Engineer, Engineer Topographic Laboratory, Fort Belvoir, Virginia.
- Mintzer, O. 1983. Engineering applications. - In: Colwell R. (ed.): Manual of Remote Sensing American Society of Photogrammetry. - Falls Church, Virginia.
- Mintzer, O. W., 1988. Research in Terrain Knowledge Representation for Image Interpretation and Terrain Analysis, U.S. Army Symposium on Artificial Intelligence Research for Exploitation of Battlefield Environment, Nov 1-16, 1988 El Paso, Texas, pp. 277-293
- 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.
- Pandey S.N., 1987. Principles & Applications of Photogeology, John Wiley & Sons.
- Peterson F., 1981. Landforms of the Basin & Range Province defined for soil survey, Technical Bulletin 28, Nevada Agricultural Experiment Station.
- Rinker, J. and P. Corl, 1984. Air Photo Analysis, Photo Interpretation Logic, and Feature Extraction. Engineer Topographic Laboratories, U.S. Army Corps of Engineers, June, Report ETL-0329. Fort Belvoir, Virginia.
- Ritter D., R. Kochel, J. Miller, 1995. Process Geomorphology, Wm. C. Brown Publishers.
- Short, N. and R. Blair, eds., 1986. Geomorphology from Space: A Global Overview of Regional Landforms, NASA SP-486, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Strahler A.H., A.N. Strahler, 1992. Modern Physical Geography, John Wiley & Sons Inc, 638 p.
- Way, D. 1978. Terrain Analysis. - McGraw-Hill. New York.