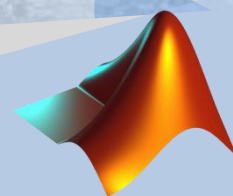




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
MATLAB ΜΕ GRAPHICAL USER INTERFACE ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ 3ου ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΟΥ CORINE LAND COVER
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ**

Μουχτούρης Ιωάννης
Διπλωματική εργασία



Αθήνα, Οκτώβριος 2009

Εξεταστική επιτροπή:
Καθ. Μ. Κάβουρας
Επικ. Καθ. Β. Καραθανάση

Επιβλέπων :
Καθηγητής Δημήτρης Π. Αργιαλάς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η δημιουργία ενός προγράμματος σε γραφικό περιβάλλον χρήστη, με την γλώσσα προγραμματισμού Matlab και χρήση ασαφούς λογικής, με σκοπό την φωτοερμηνεία του 3^{ου} επιπέδου των κατηγοριών χρήσης και κάλυψης γης, του Corine Land Cover.

Οφείλω να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Αργιαλά Δ. για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την άψογη συνεργασία και τη συνεχή καθοδήγηση, στοιχεία που συνέβαλλαν αποφασιστικά στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη και τους υποψήφιους διδάκτορες του «Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης» για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια της πραγματοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την γυναίκα μου, την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με την ηθική συμπαράσταση και την συνεχή ενθάρρυνση, με βοήθησαν στην επίτευξη που στόχου μου.

Περιεχόμενα

1. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	10
1.1. Ασαφή Συστήματα	10
1.1.1. Από τα Κλασσικά Σύνολα στα Ασαφή Σύνολα	10
1.1.2. Ασαφή σύνολα και Συναρτήσεις συμμετοχής	12
1.1.3. Προχωρημένες πράξεις ασαφών συνόλων	24
1.1.4. Ασαφείς σχέσεις	32
1.1.5. Ασαφής συλλογιστική.....	34
1.1.6. Συστήματα ασαφούς συλλογιστικής	36
1.2. Γλώσσα προγραμματισμού Matlab	46
1.2.1. Το περιβάλλον του Matlab.....	46
1.2.2. Προγραμματίζοντας στο Matlab (δομές και βρόγχοι)	48
1.2.3. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη του Matlab (GUI)	53
1.2.4. Ασαφείς κανόνες στο περιβάλλον του Matlab.	55
1.3. Το Corine Land Cover και οι κατηγορίες του	58
1.3.1. Φωτοερμηνευτικά κλειδιά.....	58
1.3.2. Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία	59
1.3.3. Οι κατηγορίες του Corine Land Cover.....	61
2. Μεθοδολογία	132
2.1. Τοποθέτηση του Προβλήματος.....	132
2.2. Ενοιολογική σύλληψη και αναπαράσταση της γνώσης.....	133
2.2.1. Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν	134
2.2.2. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για τα χρώματα	142
2.2.3. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για τον τόνο στο λόγο καναλιών	143
2.2.4. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για την υφή.....	144
2.2.5. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για το σχήμα	145
2.2.6. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για το μέγεθος	146
2.2.7. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για την έξοδο του κανόνα	147
2.3. Η μορφή των κανόνων	148
2.3.1. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός»	149
2.3.2. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «3.1.2. Δάσος κωνοφόρων»	151
2.3.3. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «2.1.2. Μόνιμα αρδευόμενη γη»	153
2.4. Η δομή του προγράμματος	155
2.4.1. Οδηγίες εγκατάστασης.....	155
2.4.2. Χρήσιμες οδηγίες πριν την έναρξη	155
2.4.3. Η εκτέλεση του προγράμματος.....	156
2.4.4. Παράδειγμα αναγνώρισης «Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες»	158
2.4.5. Παράδειγμα αναγνώρισης «Μόνιμα αρδευόμενης γης».....	168
2.4.6. Παράδειγμα αναγνώρισης «Δάσους κωνοφόρων»	171
3. Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	175
3.1. Δυνατότητες – πλεονεκτήματα των ασαφών συστημάτων	175
3.2. Περιορισμοί – μειονεκτήματα των ασαφών συστημάτων	176
3.3. Περιορισμοί – μειονεκτήματα της εφαρμογής στο Matlab.....	177
3.4. Προοπτικές.....	177
4. Βιβλιογραφία	179

Εικόνα 1: Το περιβάλλον του Matlab.....	46
Εικόνα 2: Η δημιουργία ενός αρχείου m-file	48
Εικόνα 3: Παράδειγμα χρήστης σχεσιακών τελεστών	50
Εικόνα 4: Πλήρες παράδειγμα χρήσης τελεστών	51
Εικόνα 5: Εκτέλεση βρόγχου <i>for</i>	51
Εικόνα 6: Εκτέλεση βρόγχου <i>while</i>	52
Εικόνα 7: Εκτέλεση δομής <i>if</i>	52
Εικόνα 8: Δημιουργία νέου GUI	53
Εικόνα 9: Η εργαλειοθήκη δημιουργίας ασαφών συστημάτων του Matlab.....	55
Εικόνα 10: Η πυραμίδα των φωτοαναγνωριστικών στοιχείων.....	59
Εικόνα 11: Παράδειγμα συνεχούς αστικού ιστού στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.	63
Εικόνα 12: Παράδειγμα ασυνεχούς αστικού ιστού στην περιοχή του Βόλου το έτος 1991.	65
Εικόνα 13: Παράδειγμα της κατηγορίας 1.2.1. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.	67
Εικόνα 14: France/Area Arcachon, SPOT 3.2.1, 1:100 000, March 1989	69
Εικόνα 15: Topographic map of Arcachon (scale 1:50 000).....	70
Εικόνα 16: Παράδειγμα ζώνης λιμένος στην περιοχή του Βόλου το έτος 1992.....	71
Εικόνα 17: Παγχρωματική αεροφωτογραφία λιμένος του Πόρτο, Ιούλιος 1987.....	72
Εικόνα 18: Παράδειγμα αεροδρομίου στην περιοχή των Χανίων το έτος 1987.	73
Εικόνα 19: Παράδειγμα χώρου εξόρυξης υλικών στην περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.....	75
Εικόνα 20: Luxembourg/Area Differdange, Interpretation Landsat TM 4.3.2., 1:100 000, August 1989	77
Εικόνα 21: Topographic map of Differdange (scale 1:20 000)	77
Εικόνα 22: Χώρος απόρριψης απορριμμάτων σε βιομηχανική περιοχή της Σλοβακίας	78
Εικόνα 23: Παράδειγμα χώρου οικοδόμησης στην περιοχή του Κορωπίου το έτος 1991.	79
Εικόνα 24: Παράδειγμα αστικού πρασίνου στην περιοχή της Αττικής το έτος 1991.....	80
Εικόνα 25: Παράδειγμα εγκαταστάσεων αθλητισμού στην περιοχή του Ελληνικού το έτος 1991.	81
Εικόνα 26: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εγκαταστάσεων αθλητισμού από περιοχή της Σλοβακίας.....	81
Εικόνα 27: Παγχρωματική αεροφωτογραφία γηπέδου γκολφ	82
Εικόνα 28: Παράδειγμα μη αρδευόμενης αρόσιμης γης στην περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.	83
Εικόνα 29: Παράδειγμα μόνιμα αρδευόμενης γης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.	85
Εικόνα 30: Portugal, Area Coimbra, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, August 1985	86
Εικόνα 31: Παράδειγμα αμπελώνων από την περιοχή του Κορωπίου το έτος 1991.....	87
Εικόνα 32: Combined blue layer/planimetric representation of the 1:50000 map reduced to 1:100 000	87
Εικόνα 33: France, Area Saint-Laurent-et-Benon, Interpretation SPOT 3.2.1., 1:100 000, May 1989	88
Εικόνα 34: Παράδειγμα οπωροφόρων καλλιεργειών από την περιοχή της Κορίνθου το έτος 1991.	89
Εικόνα 35: Οπωρώνες στα περίχωρα της Σλοβακίας	89
Εικόνα 36: Παράδειγμα ελαιώνα από την περιοχή των Χανίων το έτος 1987.....	91
Εικόνα 37: Portugal, Area: Beja, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, August 1985	91
Εικόνα 38: Ελαιώνας από περιοχή της Ελλάδος	92
Εικόνα 39: Παράδειγμα λιβαδιού από την περιοχή του Βόλου το έτος 1991.....	93
Εικόνα 40: Λιβάδια στη κεντρική Σλοβενία και την Εσθονία αντίστοιχα	93
Εικόνα 41: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.1. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.	95
Εικόνα 42: France, Area Digne, Interpretation Landsat MSS 7.5.4., September 1987	95

Εικόνα 43: Επίγεια φωτογραφία της κατηγορίας 2.4.1.	96
Εικόνα 44: Παράδειγμα σύνθετων καλλιεργειών στην περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.	97
Εικόνα 45: Σύνθετες καλλιέργειες στην περιοχή της κεντρικής Σλοβακίας	97
Εικόνα 46: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.3. από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.	99
Εικόνα 47: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.4. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.	100
Εικόνα 48: Παράδειγμα πλατύφυλλου δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.	101
Εικόνα 49: Παράδειγμα κωνοφόρου δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.	103
Εικόνα 50: Παράδειγμα μεικτού δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.	104
Εικόνα 51: Παράδειγμα φυσικού βοσκότοπου από την περιοχή του Παρνασσού το έτος 1992.	105
Εικόνα 52: Φυσικοί βοσκότοποι από τις περιοχές της Σλοβακίας και την Εσθονίας αντίστοιχα	106
Εικόνα 53: Παράδειγμα θάμνων και χερσότοπων από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.	107
Εικόνα 54: Παράδειγμα σκληρόφυλλης βλάστησης από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.	109
Εικόνα 55: Σκληρόφυλλη βλάστηση βουνοπλαγιές των Σκοπίων.	109
Εικόνα 56: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.2.4. από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.	111
Εικόνα 57: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μεταβατικής περιοχής από δασώδης σε θαμνώδης	112
Εικόνα 58: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.1. από την περιοχή της Καρδίτσας το έτος 1992.	113
Εικόνα 59: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.2. από την περιοχή της Αμφιλοχίας το έτος 1989.	114
Εικόνα 60: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.3. από την περιοχή των Ιωαννίνων το έτος 1988.	115
Εικόνα 61: Παράδειγμα αποτεφρωμένης έκτασης από την περιοχή του Παρνασσού το έτος 1992.	116
Εικόνα 62: France, Area Vanoise, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, June 1991	117
Εικόνα 63: Topographic map of Vanoise (scale 1:50 000) reduced to 1:70 000.	117
Εικόνα 64: Παγετώνας στην Σλοβενία	118
Εικόνα 65: Παράδειγμα βάλτου στην ενδοχώρα στην περιοχή του Αγρινίου το έτος 1992.	119
Εικόνα 66: Επίγειες φωτογραφίες βάλτων σε ενδοχώρα στην Μοράβα της Σλοβακίας	120
Εικόνα 67: Παράδειγμα τυρφώνα από την περιοχή των Ιωαννίνων το έτος 1988.	121
Εικόνα 68: Τυρφώνας υπό εκμετάλλευση στη Λιθουανία	122
Εικόνα 69: Παράδειγμα παραθαλάσσιου βάλτου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.	123
Εικόνα 70: France, Area Toulon, Interpretation SPOT 3.2.1. 1:100 000, March 1988.	124
Εικόνα 71: Παράδειγμα της κατηγορίας 4.2.3. από την περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.	125
Εικόνα 72: Παράδειγμα ποταμού από την περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.	126
Εικόνα 73: Παράδειγμα λίμνης από την περιοχή του Αγρινίου το έτος 1992.	127
Εικόνα 74: Παράδειγμα λιμνοθάλασσας από την περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.	128
Εικόνα 75: Portugal, Area Caminha, Interpretation Landsat TM 4.5.3. 1:100 000, July 1987.	129
Εικόνα 76: Παράδειγμα θάλασσας από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.	130
Εικόνα 77: Οι συναρτήσεις συμμετοχής των χρωμάτων	142
Εικόνα 78: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του τόνου στον λόγο band4/band3.	143
Εικόνα 79: Οι συναρτήσεις συμμετοχής της υψής	144
Εικόνα 80: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του σχήματος.	145
Εικόνα 81: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του μεγέθους.	146
Εικόνα 82: Οι συναρτήσεις συμμετοχής της εξόδου του συστήματος.	147
Εικόνα 83: Οι τελεστές του συστήματος.	148
Εικόνα 84: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 1.1.1.	149

Εικόνα 85: Η λειτουργία του ασαφούς συστήματος για την κατηγορία 1.1.1.....	150
Εικόνα 86: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 3.1.2.....	151
Εικόνα 87: Παράδειγμα αποσαφοποίησης της κατηγορίας 3.1.2.....	152
Εικόνα 88: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 2.1.2.....	153
Εικόνα 89: Παράδειγμα αποσαφοποίησης της κατηγορίας 2.1.2.....	154
Εικόνα 90: Η ίδια περιοχή κάλυψης σε έγχρωμα σύνθετα 3-2-1, 4-3-2, 4-5-3, 5-3-1, 7-3-1, κατά σειρά.....	155
Εικόνα 91: Οθόνη 1.....	156
Εικόνα 92: Βοηθητικά χαρακτηριστικά του προγράμματος.....	156
Εικόνα 93: Οθόνη παραδειγμάτων.....	157
Εικόνα 94: Οι οθόνες βοήθειας για την εισαγωγή των δεδομένων.....	157
Εικόνα 95: Παράδειγμα της κατηγορίας 1.2.1.....	158
Εικόνα 96: Είσοδος της ιδιότητας του χρώματος.....	158
Εικόνα 97: Είσοδος του τόνου στον λόγο καναλιών band4/band3.....	159
Εικόνα 98: Είσοδος της ιδιότητας της υψής.....	159
Εικόνα 99: Είσοδος της ιδιότητας του σχήματος.....	160
Εικόνα 100: Είσοδος της ιδιότητας του μεγέθους.....	160
Εικόνα 101: Η Οθόνη 1 μετά τους ασαφείς υπολογισμούς.....	161
Εικόνα 102: Η οθόνη 2A.....	162
Εικόνα 103: Είσοδος της ιδιότητας για την πυκνότητα της δόμησης.....	163
Εικόνα 104: Είσοδος της ιδιότητας που αφορά την χρήση των κτιρίων.....	163
Εικόνα 105: Οι επιλογές της δεύτερης ερώτησης όπως μεταβλήθηκαν για πυκνότητα κτιρίων 15%.....	164
Εικόνα 106: Η οθόνη 2A μετά τους υπολογισμούς των νέων δεδομένων.....	164
Εικόνα 107: Η δυναμική οθόνη 3.....	165
Εικόνα 108: Η οθόνη 3 μετά τον υπολογισμό των νέων δεδομένων.....	166
Εικόνα 109: Οθόνη 4, παρουσίαση της τελικής απόφασης.....	167
Εικόνα 110: Οθόνη παραδείγματος 2.1.2.....	168
Εικόνα 111: Η οθόνη 1 του 2 ^{ου} παραδείγματος.....	168
Εικόνα 112: Η οθόνη 2B.....	169
Εικόνα 113: Η οθόνη 2B μετά τον υπολογισμό των δεδομένων.....	170
Εικόνα 114: Η παρουσίαση την τελικής οθόνης του 2 ^{ου} παραδείγματος.....	170
Εικόνα 115: Οθόνη παραδείγματος 3.1.2.....	171
Εικόνα 116: Η οθόνη 1 του 3 ^{ου} παραδείγματος.....	171
Εικόνα 117: Οθόνη 2Γ.....	172
Εικόνα 118: Η οθόνη 2Γ μετά τον υπολογισμό των δεδομένων.....	173
Εικόνα 119: Η παρουσίαση την τελικής οθόνης του 3 ^{ου} παραδείγματος.....	173

Σχήμα 1: Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής.....	16
Σχήμα 2: Η τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής $tri_MF(x; 10,40,60)$	17
Σχήμα 3: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής.....	18
Σχήμα 4: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής $trap_MF(x;20,30,40,70)$	18
Σχήμα 5: Καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής	19
Σχήμα 6 : Καμπανοειδής συναρτήσεις συμμετοχής διαφόρων παραμέτρων.....	20
Σχήμα 7 : Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής.....	21
Σχήμα 8: Σιγμοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής	22
Σχήμα 9: Συνάρτηση συμμετοχής Z.....	23
Σχήμα 10: Συνάρτηση συμμετοχής S.....	23
Σχήμα 11: Συνάρτηση συμμετοχής π	23
Σχήμα 12: Το ασαφές συμπλήρωμα για διάφορες τιμές του λ	25
Σχήμα 13: Το ασαφές συμπλήρωμα για διάφορες τιμές του w	26
Σχήμα 14: Οι παραμετρικοί τελεστές τομής t-norms	28
Σχήμα 15: Οι επιφάνειες των παραμετρικών τελεστών τομής t-norms.....	28
Σχήμα 16: Οι παραμετρικοί τελεστές ένωσης s-norms.....	30
Σχήμα 17: Οι επιφάνειες των παραμετρικών τελεστών ένωσης s-norms	31
Σχήμα 18: Οι περιοχές που κινούνται οι διάφοροι τελεστές	31
Σχήμα 19: Γραφική απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζονται οι κανόνες “if-then”	38
Σχήμα 20: Η γενική αρχιτεκτονική (δομή) των ασαφών συστημάτων	39
Σχήμα 21: Βασική δομή του συστήματος Mamdani στην περίπτωση του φιλοδωρήματος.....	40
Σχήμα 22: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας της ασαφοποίησης της εισόδου «νοστιμιά φαγητού».....	41
Σχήμα 23: Γραφική απεικόνιση της εφαρμογής του τελεστή OR	42
Σχήμα 24: Γραφική απεικόνιση της εφαρμογής της συναρτήσεως συνεπαγωγής	43
Σχήμα 25: Γραφική απεικόνιση της σύνθεσης όλων των εξόδων των κανόνων	44
Σχήμα 26: Γραφική απεικόνιση της μεθόδου αποασαφοποίησης κέντρου βάρους.....	45
Σχήμα 27: Η κατηγορία / μονάδα υπό εξέταση.....	133
Σχήμα 28: Διάγραμμα ροής ενός ασαφούς συστήματος.....	133
Σχήμα 29: Διαχωρισμός κατηφοριών με βάση την δόμηση	139
Σχήμα 30: Διαχωρισμός κατηφοριών φυσικών περιοχών.....	140
Σχήμα 31: Διαχωρισμός κατηφοριών αγροτικής γης.....	141
Πίνακας 1: Λογικοί τελεστές	49
Πίνακας 2: Σχεσιακοί τελεστές.....	50
Πίνακας 3: Τα χαρακτηριστικά του Graphical User Interface.....	54
Πίνακας 4: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	134
Πίνακας 5: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	135
Πίνακας 6: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	136
Πίνακας 7: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	137
Πίνακας 8: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	138

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με το Corine Land Cover Project η επιφάνεια της γης καλύπτεται από έναν συγκεκριμένο αριθμό κατηγοριών ειδών εδαφοκάλυψης χρήσης γης. Οι κατηγορίες αυτές αποτελούνται από άλλες υποκατηγορίες, πιο «συγκεκριμένης» εδαφοκάλυψης και όλο το project είναι δομημένο τελικά ιεραρχικά από την πιο γενική στην πιο ειδική κατηγορία εδαφοκάλυψης.

Ο σκοπός αυτού του τόμου είναι η δημιουργία ενός προγράμματος σε γραφικό περιβάλλον χρήστη και με κανόνες ασαφούς λογικής, σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab, το οποίο με την βοήθεια ενός άπειρου φωτοερμηνευτή και με εκμετάλλευση των απλούστερων φωτοαναγνωριστικών στοιχείων μπορεί να διακρίνει και να φωτοερμηνεύσει την εκάστοτε κατηγορία εδαφοκάλυψης/χρήσης γης, αν και εφόσον αυτή ανήκει σε μια από τις προβλεπόμενες κατηγορίες του Corine.

Ο τόμος αυτός χωρίστηκε σε τρία μέρη. Συγκεκριμένα το πρώτο κεφάλαιο οριοθετεί το πεδίο της ασαφούς λογικής και των ασαφών συστημάτων παραθέτοντας τους προτεινόμενους μαθηματικούς ορισμούς και τρόπους επίλυσής τους. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ακόμη μια αναφορά στο περιβάλλον και τις μεθόδους προγραμματισμού στη γλώσσα Matlab και το Graphical User Interface της (γραφικό περιβάλλον χρήστη) πάνω στα οποία δημιουργήθηκε το παρόν πρόγραμμα καθώς και στον τρόπο δημιουργίας ασαφών συστημάτων σε αυτό. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζεται η προεργασία που έγινε πάνω το εγχειρίδιο του Corine Land Cover και τις κατηγορίες του η οποία περιελάμβανε την μετάφραση στα ελληνικά και την εύρεση πλήθους παραδειγμάτων για όλες τις κατηγορία από δορυφορικές εικόνες Landsat TM.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται διεξοδικά η μεθοδολογία που επιλέχθηκε ώστε να δημιουργηθεί ένα ασαφές σύστημα το οποίο φωτοερμηνεύει τις κατηγορίες 3^{ου} επιπέδου του Corine Land Cover. Παρατίθενται επίσης τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για την γραφική αναπαράσταση της γνώσης, σε ορισμένες από τις κατηγορίες, για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του ασαφούς συστήματος, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τρία παραδείγματα από το πρόγραμμα των 42.000 γραμμών κώδικα που δημιουργήθηκε.

Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται συμπεράσματά που αποκομίστηκαν και προοπτικές από το ασαφές σύστημα που αναπτύχθηκε αλλά και από την αποτελεσματικότητα εφαρμογής του στο Matlab .

SUMMARY

According to Corine Land Cover Project the surface of earth is covered by a particular number of categories kinds of landcover use of land. These categories are consisted of other sub-categories, of more particular landcover and the whole project is composed hierarchical from the general to the specific category of landcover.

The purpose of this tome is the construction of a program with graphical user interface and fuzzy rules at the programming language of Matlab, which with the help of an unskilled photo interpreter and the operation of the simplest photo identification elements can distinguish and photo interpret each category of landcover, when and if it belongs to one of the official categories of Corine.

This book is divided in three main chapters. Particularly at the first chapter sets the boundaries on the field of fuzzy logic and fuzzy systems presenting the mathematical definitions and solution patterns. There is also a dispatch at the interface and the methods of programming in Matlab and the tools for using the graphical user interface and fuzzy toolbox of it. The end of this chapter presents the groundwork that has be done, by translating the Corine manual in the Greek language and finding many examples for every category from Landsat TM satellite images.

At the second chapter there is developed extensively the methodology that was chosen so that would be created a fuzzy system that can photo-interpret the categories of the 3rd level of Corine Land Cover. There is also shown the diagrams that were created for the graphical representation of the knowledge, for the most of the categories, for the processing of the results of the fuzzy system and at the end of the chapter there are three examples of the program of 42.000 lines of code that was created.

Ending at the third chapter there is the analysis of the conclusions and the perspective of the fuzzy system that was created and its effectiveness of using it with Matlab.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

1.1. Ασαφή Συστήματα

1.1.1. Από τα Κλασσικά Σύνολα στα Ασαφή Σύνολα

Στο κεφάλαιο αυτό θα εισάγουμε την έννοια των ασαφών συνόλων και θα την αντιδιαστείλουμε με την έννοια των κλασσικών συνόλων.

Έστω \mathfrak{X} το πεδίο ορισμού (*Universe of Discourse*) και x τα στοιχειώδη αντικείμενα (*objects*) ή στοιχεία (*elements*) που απαρτίζουν το \mathfrak{X} . Ένα κλασσικό σύνολο ορίζεται συλλογή στοιχείων του \mathfrak{X} τα οποία χαρακτηρίζονται από κάποιες ιδιότητες. Το βασικό χαρακτηριστικό των κλασσικών συνόλων είναι ότι τα όρια τους (*boundaries*) είναι και συγκεκριμένα. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα το σύνολο A των πραγματικών αριθμών που είναι μεγαλύτεροι από 5. Το σύνολο A ορίζεται ως ακολούθως :

$$A = \{x \mid x > 5, \text{ όπου } x \in \mathfrak{X} = \mathbb{R}\}$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι πραγματικοί αριθμοί που είναι μεγαλύτεροι του 5, $x > 5$, ανήκουν στο σύνολο \mathfrak{X} , ενώ οι αριθμοί $x \leq 5$ δεν ανήκουν στο A . Με βάση την κλασσική λογική ένα στοιχείο είτε θα ανήκει είτε δεν θα ανήκει στο σύνολο A . Το A είναι δυνατόν να περιγραφεί με πιο συνεκτική μορφή χρησιμοποιώντας την συνάρτηση χ_A η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{iff } x \in A \\ 0 & \text{iff } x \notin A \end{cases}$$

όπου το *iff* δηλώνει το *if and only if* (αν και μόνο αν). Η χαρακτηριστική συνάρτηση, χ_A , περιγράφει την συμμετοχή κάθε στοιχείου x στο A . Αν $x \in A$, τότε $\chi_A(x) = 1$ και αν $x \notin A$ τότε $\chi_A(x) = 0$. Με άλλα λόγια, η $\chi_A(x)$ παίρνει δύο διακριτές τιμές 1 (το x "ανήκει" στο A) και 0 (το x "δεν ανήκει" στο A). Επομένως, η $\chi_A(x)$ κάνει μια απεικόνιση του πεδίου ορισμού \mathfrak{X} στο πεδίο τιμών $\{0,1\}$.

$$\chi_A(x): \mathfrak{X} \rightarrow \{0, 1\}$$

Ο ορισμός της $\chi_A(x)$ αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι το όριο των κλασσικών συνόλων είναι καθαρό και "απότομο" (*crisp*). Στην ουσία, το όριο αυτό επιβάλλει μια διχοτόμο στο πεδίο ορισμού \mathfrak{X} και διαμορφώνει δύο ομάδες (*classes*) στοιχείων, εκείνα που ανήκουν στο A και εκείνα που δεν ανήκουν στο A . Επίσης, υπάρχει μια απότομη μετάβαση από την ομάδα των στοιχείων που ανήκουν, στην ομάδα των στοιχείων που δεν ανήκουν στο A . Τα σύνολα της μορφής που περιγράψαμε προηγούμενα αναφέρονται στην βιβλιογραφία σαν κλασσικά σύνολα (*classical sets*), σαφή ή προσδιορισμένα σύνολα (*crisp sets*). Στην συνέχεια, όταν θα αναφερόμαστε σ' αυτά θα τα αναφέρουμε απλώς σαν σύνολα για να τα αντιδιαστείλουμε με τα ασαφή σύνολα τα οποία θα εισαγάγουμε ακολούθως.

Κατά την διάρκεια των περασμένων δεκαετιών, η κλασσική θεωρία συνόλων έχει αποδειχθεί ένα σημαντικό εργαλείο και έχει εφαρμοσθεί με μεγάλη επιτυχία σε πολλά γνωστικά πεδία όπως τα μαθηματικά και η επιστήμες των υπολογιστών. Είναι φανερό όμως ότι τα κλασσικά σύνολα δεν *μπορούν* να περιγράψουν επαρκώς έννοιες και καταστάσεις του πραγματικού κόσμου οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό ασάφειας (*fuzziness*) και απροσδιοριστίας (*vagueness*). Η ασάφεια προκύπτει είτε από την πολυπλοκότητα των πραγματικών συστημάτων που μελετάμε είτε από την άγνοια των συγκεκριμένων μηχανισμών που διέπουν την λειτουργία τους. Η μεγαλύτερη όμως πηγή ασάφειας προκύπτει από την φύση των ανθρώπινων ιδεών και σκέψεων. Είναι γνωστό ότι οι έννοιες που διαμορφώνει και χειρίζεται ο

άνθρωπος είναι σε μεγάλο βαθμό ασαφείς (*fuzzy*) και ανακριβείς (*imprecise*). Με άλλα λόγια ο ανθρώπινος εγκέφαλος σχηματίζει για τα πράγματα που μας περιβάλλουν μάλλον γενικές και αφηρημένες έννοιες παρά ακριβείς και συγκεκριμένες εικόνες γι' αυτά. Ο αφηρημένος αυτός τρόπος σκέψης και σύλληψης (*perception*) έχει όπως είναι φανερό άμεση επίδραση και στον τρόπο της ανθρώπινης έκφρασης (*linguistic expression*), δηλαδή την ανθρώπινη γλώσσα. Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα ασαφών δηλώσεων και εκφράσεων τα οποία συναντάμε συνεχώς στην καθημερινή μας ζωή. Για παράδειγμα, αναφέρουμε τις εκφράσεις: "το άτομο αυτό είναι νέο", "ο καιρός σήμερα είναι ζεστός", "αύριο πρόκειται μάλλον να βρέξει", "το νερό είναι μάλλον ζεστό", "το κτήριο αυτό είναι ψηλό", "η απόδοση του συστήματος είναι ικανοποιητική", κλπ. Από την καθημερινή μας εμπειρία μπορούμε λοιπόν να συνάγουμε αβίαστα ότι, το βασικό χαρακτηριστικό της ανθρώπινης γλώσσας είναι η ασάφεια, η απροσδιοριστία και η ανακρίβεια. Η ανακρίβεια δε αυτή έχει σχέση με τον τρόπο που ο άνθρωπος ορίζει και χειρίζεται τα σύμβολα και τις έννοιες.

Στην συνέχεια θεωρούμε το σύνολο των ατόμων τα οποία είναι "νέα", δηλαδή θεωρούμε το σύνολο $A = \text{"νέο άτομο"}$, όπου, x είναι το χαρακτηριστικό της ηλικίας του ανθρώπου και το πεδίο ορισμού X είναι το σύνολο των ηλικιών από 1 μέχρις 100 ετών. $X = \{1, 10, 20, 30, \dots, 100\}$. Διαμορφώνουμε ένα κλασικό σύνολο με σαφές και απότομο όριο στην ηλικία για παράδειγμα των 20 ετών, το οποίο περιγράφεται ως εξής:

$$A = \{(x, X_A(x)) \mid x \in X\}, \text{ όπου } X_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{iff } x \leq 25 \\ 0 & \text{iff } x > 25 \end{cases}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, ένα άτομο ηλικίας 24 ετών ανήκει στο σύνολο A και ταξινομείται σαν "νέο άτομο". Αντίθετα, ένα άτομο ηλικίας 26 ετών δεν ανήκει στο A και επομένως δεν χαρακτηρίζεται σαν "νέο άτομο". Το παράδοξο αυτό οφείλεται στο απότομο και συγκεκριμένο όριο που χαρακτηρίζει το A και στην ουσία διχοτομεί τον χώρο των ηλικιών. Η διάκριση αυτή του να ανήκει ή να μην ανήκει ένα άτομο στο A δεν είναι λογική και επομένως τα κλασικά σύνολα δεν μπορούν να περιγράψουν επαρκώς ασαφείς έννοιες του τύπου που θεωρήσαμε προηγουμένως.

Η βασική ιδέα των ασαφών συνόλων (*fuzzy sets*) είναι να δημιουργήσουμε μια ζώνη μετάβασης από την περιοχή τιμών όπου το x ανήκει στο A στην περιοχή των στοιχείων που δεν ανήκουν στο A . Σε αντίθεση, λοιπόν, με τα κλασικά σύνολα, τα ασαφή σύνολα είναι σύνολα χωρίς σαφή και απότομα όρια. Δηλαδή, η μετάβαση από το " x ανήκει στο A " στο " x δεν ανήκει στο A " είναι ομαλή και όχι απότομη (*crisp, sharp*). Αυτή η βαθμιαία μετάβαση δίνει στα ασαφή σύνολα μεγαλύτερη ευελιξία στην μοντελοποίηση και περιγραφή λεκτικών εκφράσεων και εννοιών που συναντάμε καθημερινά.

Η συμμετοχή ενός στοιχείου x στο ασαφές σύνολο A δίνεται από την χαρακτηριστική συνάρτηση, η οποία εδώ αναφέρεται σαν συνάρτηση συμμετοχής (*membership function*) και συμβολίζεται με $\mu_A(x)$. Το $\mu_A(x)$ αναφέρεται επίσης και σαν βαθμός συμμετοχής του x στο A και δίνει τον βαθμό με τον οποίο το στοιχείο x ανήκει στο A . Πρέπει να τονισθεί ότι η συνάρτηση συμμετοχής παίρνει τιμές από 0 μέχρις 1, δηλαδή, το πεδίο τιμών της $\mu_A(x)$ είναι το διάστημα $[0,1]$. Με βάση τα παραπάνω, η $\mu_A(x)$ πραγματοποιεί μια απεικόνιση από το πεδίο ορισμού K στο διάστημα $[0, 1]$:

$$\mu_A(x): N \rightarrow [0,1]$$

1.1.2. Ασαφή σύνολα και Συναρτήσεις συμμετοχής

Αν X είναι ο χώρος των στοιχείων x , τότε ένα ασαφές σύνολο A ορίζεται στον X σαν ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Το ζεύγος $(x, \mu_A(x))$ λέγεται *singleton*. Το αριστερό μέρος αντιστοιχεί στο στοιχείο του X ενώ το δεύτερο μέρος δηλώνει τον βαθμό συμμετοχής του x στο ασαφές σύνολο A .

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να κάνουμε τις παρακάτω παρατηρήσεις όσον αφορά τις διαφορές ανάμεσα στα κλασικά και τα ασαφή σύνολα:

Στα κλασικά σύνολα το πεδίο τιμών της συνάρτησης συμμετοχής $\chi_A(x)$ είναι το διακριτό σύνολο $\{0,1\}$. Δηλαδή, το $\chi_A(x)$ παίρνει τις τιμές 1 (ανήκει στο A) είτε 0 (δεν ανήκει στο A). Αντίθετα, το πεδίο τιμών της συνάρτησης συμμετοχής $\mu_A(x)$ στα ασαφή σύνολα παίρνει τιμές στο συνεχές διάστημα $[0,1]$. Με αυτή την έννοια κάθε στοιχείο x ανήκει στο A με ένα βαθμό, τον βαθμό συμμετοχής $\mu_A(x)$. Επομένως, προκύπτει άμεσα ότι τα ασαφή σύνολα μπορούν να θεωρηθούν σαν γενικευμένα σύνολα και η θεωρία των ασαφών συνόλων που τα πραγματεύεται σαν γενικευμένη θεωρία συνόλων. Αν η συνάρτηση συμμετοχής περιορισθεί στις τιμές 0 και 1 τότε το ασαφές σύνολο μεταπίπτει στο αντίστοιχο κλασικό σύνολο. Συνεπώς, τα κλασικά σύνολα μπορούν να θεωρηθούν σαν μερικές περιπτώσεις των ασαφών συνόλων.

Στα κλασικά σύνολα έχουμε απότομα όρια ενώ στα ασαφή σύνολα έχουμε όρια με βαθμιαία μετάβαση από την κατάσταση του "ανήκει" στην κατάσταση του "δεν ανήκει". Μπορούμε με τον τρόπο αυτό να περιγράψουμε πιο αποτελεσματικά ασαφείς και απροσδιόριστες έννοιες του πραγματικού κόσμου.

Επειδή η συνάρτηση συμμετοχής $\chi_A(x)$ μπορεί να πάρει μόνο τις τιμές $\{0,1\}$, τα κλασικά σύνολα οδηγούν στην κλασική δυαδική λογική (*two-valued logic*). Αντίθετα, η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_A(x)$ μπορεί να πάρει όλες τις τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Επομένως, τα ασαφή σύνολα οδηγούν στην ασαφή λογική (*fuzzy logic*), η οποία είναι λογική πολλαπλών τιμών (*multi-valued logic*). Με παρόμοιο συλλογισμό προκύπτει ότι η ασαφής λογική μπορεί να θεωρηθεί σαν γενίκευση της κλασικής λογικής.

Όσον αφορά το πεδίο ορισμού X , διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. α) Το X είναι διακριτό (*discrete universe of discourse*), να αποτελείται δηλαδή από διακριτά, διατεταγμένα ή μη διατεταγμένα στοιχεία (*ordered or non-ordered elements*). β) Το X είναι συνεχές (*continuous universe of discourse*), δηλαδή ο X να είναι ένας συνεχής χώρος του x .

Διακριτά ασαφή σύνολα.

Στην περίπτωση που το X είναι διακριτό τα ασαφή σύνολα περιγράφονται με ασυνεχείς συναρτήσεις συμμετοχής. Έστω ότι το πεδίο ορισμού X ορίζεται ως εξής: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Τότε ένα ασαφές σύνολο A μπορεί να περιγραφεί με βάση τα ζευγάρια singleton όπως φαίνεται παρακάτω:

$$A = \{(x_1, \mu_A(x_1)), (x_2, \mu_A(x_2)), \dots, (x_n, \mu_A(x_n))\}$$

Για οικονομία στον συμβολισμό, συνήθως στην βιβλιογραφία χρησιμοποιείται η παρακάτω μορφή περιγραφής των διακριτών ασαφών συνόλων

$$A = \mu_1/x_1 + \mu_2/x_2 + \dots + \mu_n/x_n$$

ή

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i/x_i$$

Το σύμβολο "+" δεν αντιπροσωπεύει το αλγεβρικό άθροισμα, αλλά την "ένωση" των στοιχείων του X . Επίσης, μ_i είναι ο βαθμός συμμετοχής του στοιχείου x , δηλαδή, $\mu_i = \mu_A(x_i)$. Τέλος, στους παραπάνω τύπους η ένωση εφαρμόζεται πάνω σε όλα τα στοιχεία του X για τα οποία έχουμε βαθμό συμμετοχής μεγαλύτερο του μηδενός, $\mu_i = \mu_A(x_i) > 0$.

Συνεχή ασαφή σύνολα.

Όταν η περιοχή τιμών είναι συνεχής τότε το X είναι ένα διάστημα του πραγματικού χώρου: $X = [x_{\min}, x_{\max}]$, όπου x_{\min} και x_{\max} είναι το κατώτερο και το ανώτερο όριο του διαστήματος που θεωρούμε, $x \in X$. Στην περίπτωση αυτή ένα ασαφές σύνολο A περιγράφεται με μια συνεχή συνάρτηση συμμετοχής, $\mu_A(x)$. Μια συνεκτική μορφή περιγραφής των συνεχών ασαφών συνόλων φαίνεται παρακάτω:

$$A = \int_X \mu_A(x)/x$$

το σύμβολο \int δεν έχει την έννοια του αλγεβρικού ολοκληρώματος αλλά την έννοια της "ένωσης" όλων των στοιχείων που ανήκουν στο X .

Βασικές πράξεις ασαφών συνόλων.

Όπως θα δούμε στην συνέχεια, πολλές πράξεις των ασαφών συνόλων ορίζονται με βάση τους τελεστές \min (\wedge) και \max (\vee). Γι' αυτό τον λόγο, είναι σκόπιμο να εξετάσουμε εξ' αρχής τους τελεστές αυτούς εν συντομία.

Ο τελεστής \min (\wedge) χρησιμοποιείται για να βρούμε το ελάχιστο (*minimum*) μεταξύ δύο στοιχείων μ_1 και μ_2 . Η ελάχιστη τιμή συμβολίζεται με $\min(\mu_1, \mu_2)$, $\wedge(\mu_1, \mu_2)$ ή $\mu_1 \wedge \mu_2$ και ορίζεται ως ακολούθως:

$$\mu_1 \wedge \mu_2 = \min(\mu_1, \mu_2) = \begin{cases} \mu_1 & \text{iff } \mu_1 < \mu_2 \\ \mu_2 & \text{iff } \mu_1 > \mu_2 \end{cases}$$

Για παράδειγμα, $\min(2, 5) = 2 \wedge 5 = 2$.

Ομοίως, ο τελεστής \max (\vee) χρησιμοποιείται για να βρούμε το μέγιστο (*maximum*) μεταξύ δύο στοιχείων μ_1 και μ_2 . Η μέγιστη τιμή συμβολίζεται με $\max(\mu_1, \mu_2)$, $\vee(\mu_1, \mu_2)$ ή $\mu_1 \vee \mu_2$ και ορίζεται ως ακολούθως:

$$\mu_1 \wedge \mu_2 = \max(\mu_1, \mu_2) = \begin{cases} \mu_1 & \text{iff } \mu_1 > \mu_2 \\ \mu_2 & \text{iff } \mu_1 < \mu_2 \end{cases}$$

Για παράδειγμα, $\max(3.5, 7.2) = 3.5 \wedge 7.2 = 7.2$. Οι τελεστές \min (\wedge) και \max (\vee) είναι ανάλογοι των αλγεβρικών τελεστών (\cdot) και ($+$), αντίστοιχα. Επί πλέον, οι τελεστές αυτοί έχουν τις ιδιότητες της προσεταιριστικότητας (*associativity*) και της επιμεριστικότητας (*distributivity*) και επομένως στις εξισώσεις που συναντώνται τα \min και \max μπορούμε να τα χειριζόμαστε με ανάλογο τρόπο, όπως τα (\cdot) και ($+$) στις κλασικές εξισώσεις. Ο τελεστής \min (\wedge) μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο πάνω σε δύο στοιχεία αλλά και σε ολόκληρα σύνολα για να επιλέξει το ελάχιστο στοιχείο του συνόλου, το οποίο ονομάζεται *infimum* (*inf*):

$$\mu = \wedge A = \inf A$$

Με τον ίδιο τρόπο ο τελεστής \max (\vee) μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο A για να επιλέξει το μέγιστο στοιχείο του, το οποίο ονομάζεται *supremum* (*sup*):

$$\mu = \vee A = \sup A$$

Για παράδειγμα, $\wedge(0.1, 0.4, 0.6, 0.9) = 0.1$.

Οι τελεστές \min (\wedge) και \max (\vee) μπορούν να εφαρμοστούν, επίσης, πάνω σε μια συλλογή από περισσότερα των δύο στοιχεία

$$\mu = \wedge(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) = \mu_1 \wedge \mu_2 \wedge \dots \wedge \mu_n$$

και $\mu = \vee(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) = \mu_1 \vee \mu_2 \vee \dots \vee \mu_n$

Τέλος, οι τελεστές \min (\wedge) και \max (\vee) μπορούν να εφαρμοστούν πάνω σε μια συλλογή από σύνολα:

$$A = \wedge(A_1, A_2, \dots, A_n) \text{ και } \vee(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

Οι βασικές πράξεις των κλασικών, δηλαδή των σαφών συνόλων (*crisp sets*) είναι το συμπλήρωμα, η ένωση και η τομή. Με αφετηρία τις πράξεις αυτές προκύπτουν μια σειρά από σημαντικές ταυτότητες. Σε πλήρη αντιστοιχία με τις πράξεις στα κλασικά σύνολα ορίζονται και αντίστοιχες πράξεις πάνω στα ασαφή σύνολα. Όπως είδαμε προηγουμένως, τα ασαφή σύνολα αποτελούν γενικεύσεις των κλασικών συνόλων. Με αυτή την έννοια και οι πράξεις πάνω στα ασαφή σύνολα μπορούν να θεωρηθούν σαν γενικεύσεις των κλασικών πράξεων της ένωσης, τομής κλπ.

Ένωση ασαφών συνόλων.

Η ένωση δύο ασαφών συνόλων A και B είναι ένα ασαφές σύνολο C το οποίο συμβολίζεται με $C = A \cup B$. Η συνάρτηση συμμετοχής του C προκύπτει από τις συναρτήσεις συμμετοχής των A και B όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\mu_C(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \quad \text{για κάθε } x \in X$$

Η ένωση δύο ασαφών συνόλων σχετίζεται στη ασαφή λογική με την λογική πράξη OR ("ή"), δηλαδή έχουμε $C = A \cup B = A OR B$. Η σχέση αυτή μπορεί πολύ εύκολα να γενικευθεί σε ένωση περισσότερων των δύο ασαφών συνόλων. Επίσης, σύμφωνα με τον ορισμό, το $C = A \cup B$ είναι το "μικρότερο" ασαφές σύνολο το οποίο περιέχει και το A και το B .

Τομή ασαφών συνόλων.

Η τομή δύο ασαφών συνόλων A και B είναι ένα ασαφές σύνολο C το οποίο συμβολίζεται με $A \cap B$. Η συνάρτηση συμμετοχής του C προκύπτει από τις συναρτήσεις συμμετοχής των A και B όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\mu_C(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \quad \text{για κάθε } x \in X$$

Η τομή δύο ασαφών συνόλων σχετίζεται στη ασαφή λογική με την λογική πράξη AND ("και"), δηλαδή, έχουμε $C = A \cap B = A AND B$. Η σχέση μπορεί, πάλι, να γενικευθεί σε τομή περισσότερων των δύο ασαφών συνόλων. Επίσης, σύμφωνα με τον ορισμό, το $C = A \cap B$ είναι το "μεγαλύτερο" ασαφές σύνολο το οποίο περιέχεται και στο A και στο B .

Συμπληρωματικό ενός ασαφούς συνόλου.

Το συμπληρωματικό ενός ασαφούς συνόλου A είναι ένα άλλο ασαφές σύνολο που συμβολίζεται με \bar{A} . Η συνάρτηση συμμετοχής του προκύπτει ως εξής:

$$\bar{\mu}(x) = 1 - \mu_A(x), \quad \text{για κάθε } x \in X$$

Το συμπληρωματικό ενός ασαφούς συνόλου σχετίζεται στην ασαφή λογική (*fuzzy logic*) με την έννοια της άρνησης, NOT ("όχι"), δηλαδή, $\bar{A} = NOT A$.

Περιγραφή συναρτήσεων συμμετοχής.

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, ένα ασαφές σύνολο περιγράφεται πλήρως από την συνάρτηση συμμετοχής του (*Membership Function, MF*). Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις η περιοχή ορισμού X είναι ο άξονας των πραγματικών αριθμών R δεν είναι πρακτικά δυνατόν να περιγράψουμε το MF με βάση τα ζεύγη $(x, \mu(x))$. Γι' αυτό λόγο, χρησιμοποιούμε συνεχείς συναρτήσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο παραμέτρων (*parameterized functions*). Ο τύπος της συνάρτησης περιγράφει την μορφή της MF . Επιπλέον, καθορίζοντας τις παραμέτρους της MF μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά της. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να περιγράψουμε με ακρίβεια οποιαδήποτε μορφή MF επιθυμούμε ανάλογα με την εφαρμογή που εξετάζουμε. Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί και αναπτυχθεί πάρα πολλές μορφές συναρτήσεων συμμετοχής. Εδώ θα περιγράψουμε τις βασικές ομάδες συναρτήσεων συμμετοχής, που είναι και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες στην πράξη.

α) Τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής

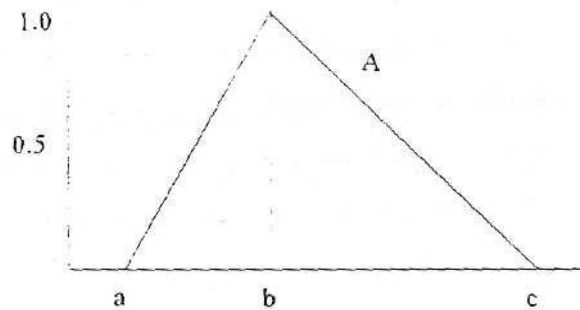
Μια τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής (*triangular MF*, *tri_MF*) περιγράφεται από τρεις παραμέτρους ως εξής:

$$tri_MF(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 1 & c \leq x \end{cases}$$

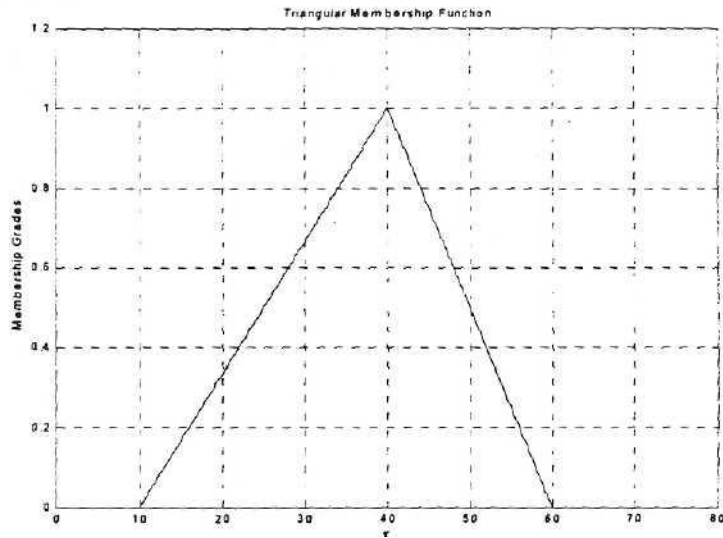
Η *tri_MF* και οι παράμετροι της φαίνονται στο Σχήμα 1. Οι παράμετροι {a, b, c} καθορίζουν τις τρεις κορυφές της συνάρτησης συμμετοχής. Χρησιμοποιώντας τους τελεστές *min* και *max* η σχέση περιγράφεται από την παρακάτω έκφραση;

$$tri_MF(x; a, b, c) = \max \left\{ \min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right\}$$

Στο Σχήμα 2 φαίνεται η συνάρτηση *tri_MF(x; 10,40,60)*.



Σχήμα 1: Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής



Σχήμα 2: Η τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής $tri_MF(x; 10,40,60)$

β) Τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Μια τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής (trapezoidal MF, $trap_MF$) περιγράφεται από τέσσερις παραμέτρους ως εξής:

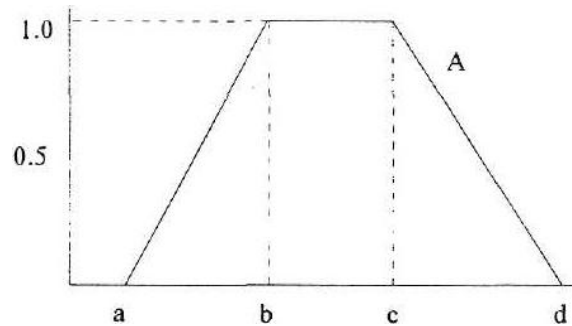
$$trap_MF(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & d \leq x \end{cases}$$

Η $trap_MF$ δίνεται στο Σχήμα 3. Οι παράμετροι $\{a, b, c, d\}$ καθορίζουν τις συντεταγμένες των τεσσάρων κορυφών του τραπεζίου. Χρησιμοποιώντας τους τελεστές \min και \max η σχέση αυτή περιγράφεται από την παρακάτω έκφραση:

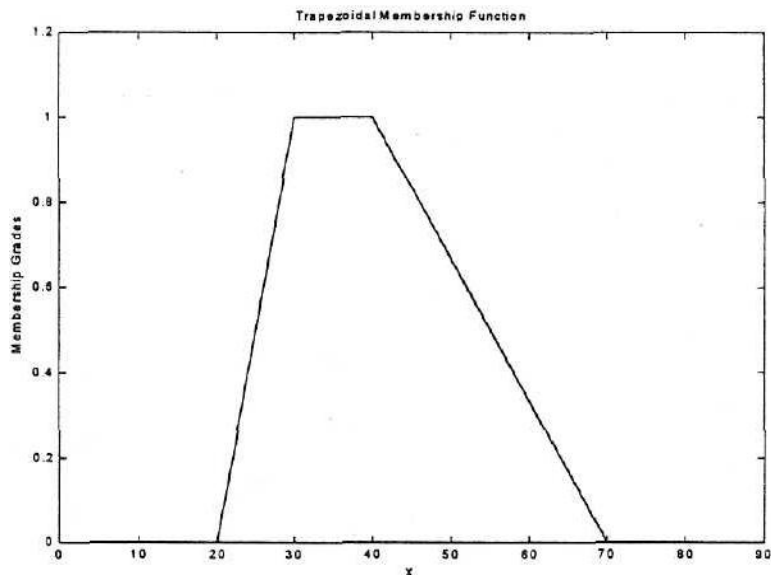
$$trap_MF(x; a, b, c, d) = \max \left\{ \min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right\}$$

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4 φαίνεται η συνάρτηση $trap_MF(x; 20, 30, 40, 70)$. Αξίζει να τονισθεί ότι $trap_MF$ είναι γενίκευση της μορφής tri_MF . Αν θεωρήσουμε $b = c$, τότε η $trap_MF$ μεταπίπτει στην μορφή tri_MF . Λόγω της απλότητας τους και της μικρής υπολογιστικής τους δυσκολίας, οι συναρτήσεις tri_MF και $trap_MF$ έχουν τύχει εκτεταμένης εφαρμογής, κυρίως σε ασαφή συστήματα πραγματικού χρόνου (*real-*

time applications). Από την άλλη μεριά όμως, επειδή οι παραπάνω συναρτήσεις αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα παρουσιάζουν ασυνέχειες στα σημεία καμπής. Γ' αυτό τον λόγο, στην συνέχεια θα εισαγάγουμε μερικές ομάδες συνεχών συναρτήσεων συμμετοχής.



Σχήμα 3: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής



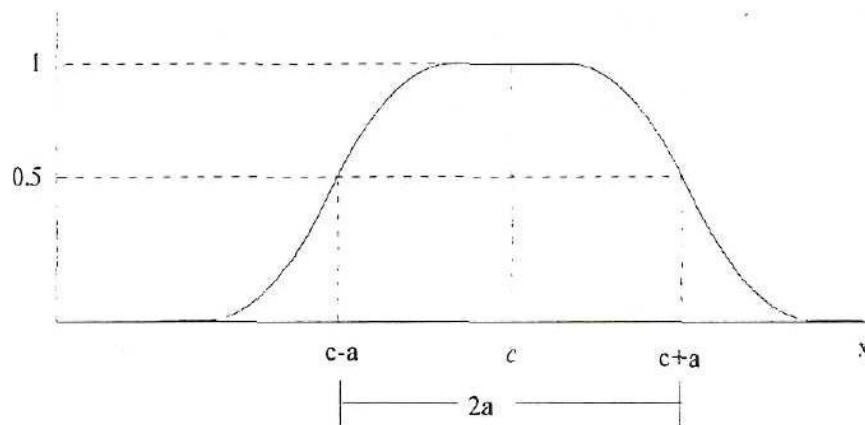
Σχήμα 4: Τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής $trap_MF(x;20,30,40,70)$

γ) Γενικευμένες καμπανοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Οι γενικευμένες καμπανοειδείς συνάρτηση συμμετοχής (*generalized bell_MF*, *bell_MF*) περιγράφεται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$ ως εξής:

$$bell_MF(x;a,b,c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

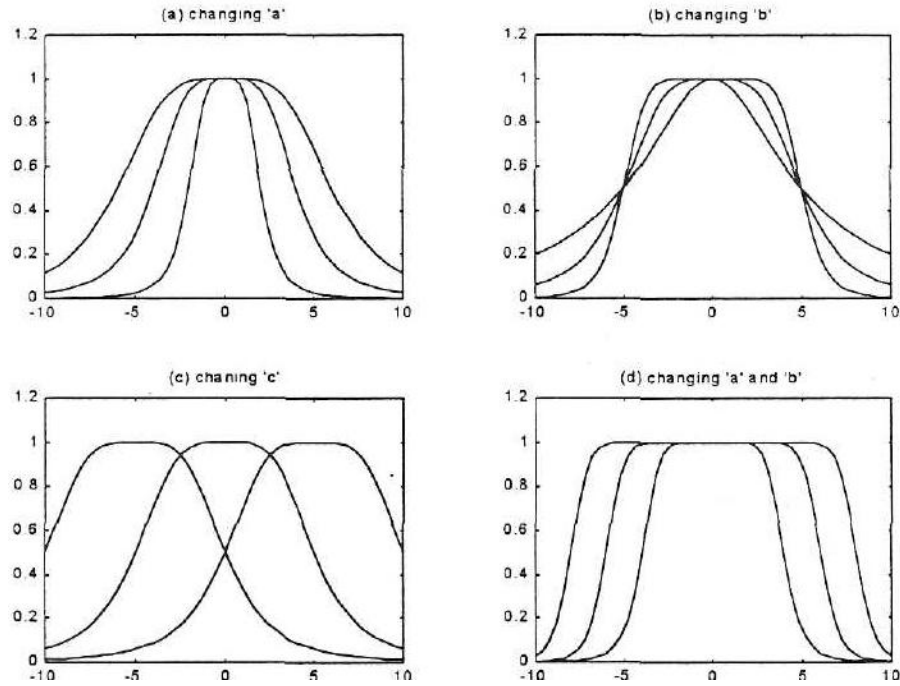
Η συνάρτηση $bell_MF(x; a,b,c)$ δίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής

Η παράμετρος c καθορίζει το κέντρο της MF , δηλαδή, το σημείο συμμετρίας. Η MF έχει δύο σημεία τομής (*crossover points*), τα οποία εστιάζονται στα σημεία $c \pm a$. Η παράμετρος b ελέγχει την κλίση της MF στα σημεία τομής. Η κλίση αυτή είναι $-b/2a$. Με βάση τα παραπάνω, το c ελέγχει το κέντρο της MF , το a ελέγχει το εύρος της MF και το b ελέγχει τον ρυθμό πτώσης της συνάρτησης από την μονάδα στο μηδέν. Για να διαπιστώσουμε με πιο τρόπο μεταβάλλεται η MF μεταβάλλοντας τις παραμέτρους, θεωρούμε τα Σχήμα 6 (α), (β), (γ), (δ). Στο Σχήμα 6 (α) δίνονται οι $bell_MF(x; \alpha, 2, 0)$ για διάφορες τιμές του α , $\alpha = 2, 4, 6$. Όσο το α αυξάνει, αυξάνει και το "εύρος" της συνάρτησης συμμετοχής. Στο Σχήμα 6 (β) δίνονται τα $bell_MF(x; 5, b, 0)$ για διάφορες τιμές του b , $b = 1, 2, 4$. Είναι φανερό ότι, όσο αυξάνει το b τόσο ο ρυθμός πτώσης αυξάνει και η μετάβαση από βαθμούς μέγιστης συμμετοχής στους χαμηλούς βαθμούς συμμετοχής γίνεται πιο απότομη. Για μεγάλες τιμές του b το ασαφές σύνολο παρουσιάζει μεγάλες τιμές συμμετοχής (κοντά στην μονάδα) για όλα τα στοιχεία του συνόλου υποστήριξης και το ασαφές σύνολο τείνει να γίνει σαφές (*crisp*). Με βάση τα παραπάνω ο παράγοντας b ελέγχει τον βαθμό "ασάφειας" του ασαφούς συνόλου και γι' αυτό θεωρείται και σαν "ασαφοποιητής" (*fuzzifier*). Μικρές τιμές του b δίνουν μεγάλη ασάφεια, ενώ μεγάλες τιμές του b δίνουν μικρή ασάφεια στο ασαφές σύνολο που θεωρούμε. Στο σχήμα 6 (γ) δίνονται τα $bell_MF(x; 5, 2, c)$ για διάφορες τιμές του c , $c = -5, 0, 5$. Καθώς το c μεταβάλλεται, η συνάρτηση συμμετοχής μετατοπίζεται ανάλογα δεξιά και αριστερά στον χώρο R .

Θα πρέπει τέλος να επισημάνουμε ότι η $bell_MF$ έχει γενικά κόρο (*core*) ο οποίος ελέγχεται από το α , με άλλα λόγια, υπάρχει τουλάχιστον μια τιμή του x για την οποία $\mu_A(x) = 1$. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η $bell_MF$ μπορεί να καθορισθεί πλήρως από τις παραμέτρους της. Λόγω της ευελιξίας της και του εύκολου τρόπου ελέγχου της η παραπάνω συνάρτηση συμμετοχής είναι από τις πλέον διαδεδομένες στα ασαφή συστήματα.



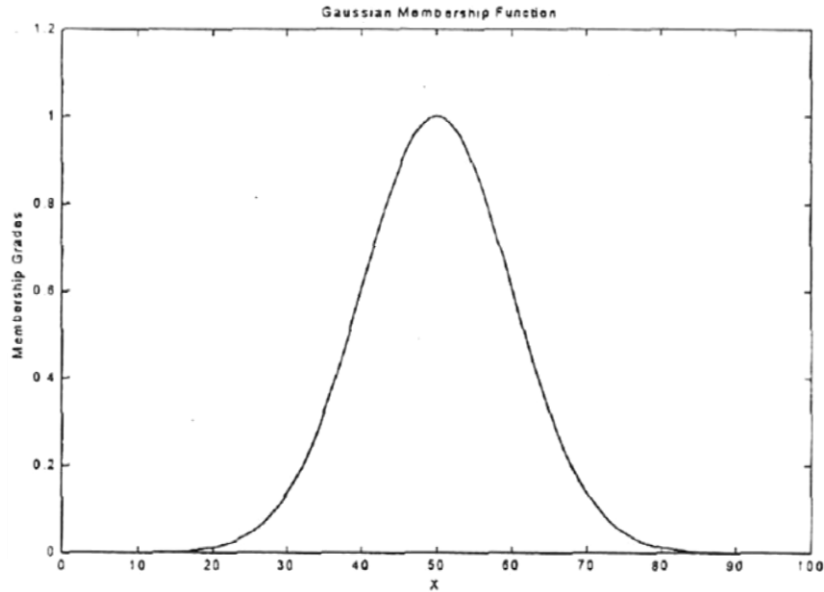
Σχήμα 6 : Καμπανοειδής συναρτήσεις συμμετοχής διαφόρων παραμέτρων

δ) Γκαουσιανές συναρτήσεις συμμετοχής

Μια γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής (Gaussian MF, *gauss_MF*) περιγράφεται από δύο παραμέτρους $\{c, \sigma\}$ και δίνεται ως εξής:

$$gauss_MF(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2}$$

Η παραπάνω συνάρτηση είναι παρόμοια με την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που χρησιμοποιείται στην θεωρία πιθανοτήτων για να προσδιορίσει τις Γκαουσιανές κατανομές (*Gaussian distributions*). Η συνάρτηση *gauss_MF* είναι συμμετρική και περιγράφεται πλήρως από τα c και σ . Το c καθορίζει το κέντρο (*center*) της Γκαουσιανής κατανομής, δηλαδή το σημείο στο οποίο εστιάζεται η συνάρτηση συμμετοχής. Επίσης, το σ είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής και ελέγχει την διασπορά, δηλαδή, το "εύρος" της συνάρτησης συμμετοχής. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε ότι τα σημεία $c \pm \sigma$ είναι περίπου τα σημεία τομής της *MF*, διότι $gauss_MF(c \pm \sigma; c, \sigma) = e^{-0.5} = 0.6$. Στο Σχήμα 7 δίνεται η *gauss_MF(x; 50, 10)*.



Σχήμα 7 : Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής

Οι tri_MF , $bell_MF(x; a, b, c)$ και $gauss_MF(x; c, \sigma)$ είναι συμμετρικές συναρτήσεις συμμετοχής. Οι συναρτήσεις αυτές είναι κατάλληλες για να περιγράψουν ασαφή σύνολα του τύπου "άτομο γύρω στα 50", "αριθμοί γύρω από το 10", "η θερμοκρασία είναι μέση" κλπ. Με άλλα λόγια οι παραπάνω συναρτήσεις είναι κλειστές συναρτήσεις. Οι συναρτήσεις αυτές δεν είναι όμως κατάλληλες για να περιγράψουν ασαφή σύνολα του τύπου "μικροί αριθμοί", "μεγάλοι αριθμοί", "νέο άτομο", "γέρος", "πολύ υψηλή θερμοκρασία", "πολύ μεγάλο", "πολύ μικρό" κλπ. Τέτοια ασαφή σύνολα περιγράφονται με συναρτήσεις συμμετοχής κλειστές από αριστερά ή από δεξιά. Μερικές τέτοιες ομάδες θα εξετάσουμε στην συνέχεια.

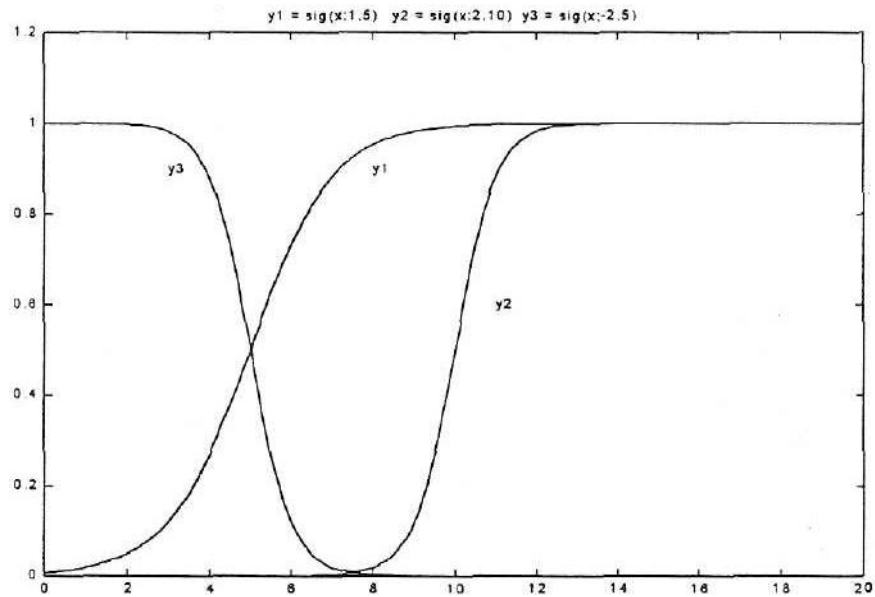
ε) Σιγμοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

Μια σιγμοειδής συνάρτηση συμμετοχής (*sigmoidal MF*, $sigm_MF$) περιγράφεται από δύο παραμέτρους $\{a, c\}$ και δίνεται ως εξής:

$$sigm_MF(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]}$$

Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται ευρέως και ως συνάρτηση διέγερσης (*activation function*) νευρωνικά δίκτυα. Για $x = c$ έχουμε το μοναδικό σημείο τομής της. Η παράμετρος a μπορεί να παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές. Για $a > 0$ η MF είναι ανοικτή από δεξιά, δηλαδή, $sigm_MF(x) \rightarrow 0$ όταν $x \rightarrow -\infty$ και $sigm_MF(x) \rightarrow 1$ όταν $x \rightarrow +\infty$. Οι συναρτήσεις αυτές είναι κατάλληλες για να περιγράψουν την έννοια "πολύ μεγάλο". Η τιμή της παραμέτρου a καθορίζει τον ρυθμό ανόδου από το μηδέν στην μονάδα. Με αυτήν την έννοια, το a παίζει τον ρόλο του ασαφοποιητή. Στο Σχήμα 8 φαίνεται η MF , $y_1 = sigm_MF(x, 1, 5)$ και $y_2 = sigm_MF(x, 2, 10)$. Συνεχίζοντας, για $a < 0$ η MF είναι ανοικτή από αριστερά, δηλαδή, $sigm_MF(x) \rightarrow 1$ όταν $x \rightarrow -\infty$ και $sigm_MF(x) \rightarrow 0$ όταν $x \rightarrow +\infty$. Οι συναρτήσεις αυτές είναι κατάλληλες τώρα για να

περιγράψουν την έννοια "πολύ μικρό", "πολύ νέος" κλπ. Στο Σχήμα 8 φαίνεται επίσης η MF , $y_3 = \text{sigm_MF}(x,-2,5)$.



Σχήμα 8: Σιγμοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής

στ) Συναρτήσεις S_MF, Z_MF και π_MF

Η συνάρτηση σίγμα, (*Sigma_MF* ή *S_MF*) χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους $[a, b]$ και περιγράφεται ως εξής:

$$S(x;a,b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$$

Είναι μια συνάρτηση συμμετοχής ανοικτή από δεξιά (*open right*) και είναι της μορφής S. Η $S(x; a, b)$ περιγράφεται στο Σχήμα 10 και το σημείο τομής της είναι:

$$x = \frac{(a+b)}{2}$$

Η συνάρτηση *Zero_MF* ή *Z_MF* χαρακτηρίζεται και πάλι από δύο παραμέτρους $[a, b]$ και περιγράφεται ως εξής:

$$Z(x; a, b) = 1 - S(x; a, b)$$

Η συνάρτηση συμμετοχής ανοικτή από αριστερά (*open left*) και είναι της μορφής Z. Η $Z(x; a, b)$ δίνεται στο Σχήμα 9 και το σημείο τομής της είναι πάλι:

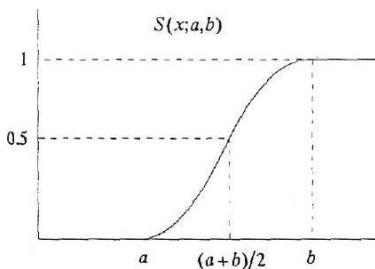
$$x = \frac{(a + b)}{2}.$$

Από την σύζευξη των $S(x; a, b)$ και $Z(x; a, b)$ προκύπτει η συνάρτηση $\pi(x; a, b)$:

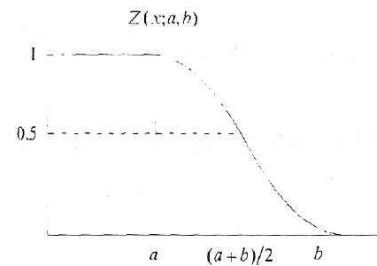
$$\pi(x; a, b) = \begin{cases} S(x; b - a, b) & x \leq b \\ Z(x; b, b + a) & x > b \end{cases}$$

Η $\pi(x; a, b)$ δίνεται στο Σχήμα 11 όπου επίσης φαίνονται και τα τμήματα από τα οποία αποτελείται. Η συνάρτηση $\pi(x; a, b)$ έχει δύο σημεία τομής, τα οποία συμβαίνουν στα σημεία $b - a/2$ και $b + a/2$. Έχει ένα όνο σημείο υποστήριξης για $x = b$, εκεί δηλαδή όπου ο βαθμός συμμετοχής είναι μονάδα. Είναι φανερό ότι η $\pi(x; a, b)$ είναι παρόμοιας μορφής με την $gauss_MF(x; c, a)$.

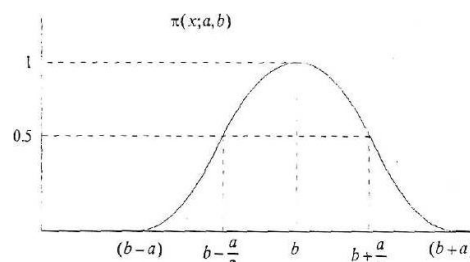
Οι συναρτήσεις $bell_MF$, $gauss_MF$ και $\pi(x; a, b)$ είναι συμμετρικές γύρω από μια κεντρική τιμή του $x = c$. Συνεπώς, το τμήμα της MF αριστερά και δεξιά της $x = c$ είναι ίδιας μορφής. Πολλές φορές όμως, είναι επιθυμητό η μορφή της MF αριστερά της κεντρικής τιμής να είναι διαφορετικό του τμήματος δεξιά της κεντρικής τιμής. Γι' αυτό τον σκοπό θεωρούμε τις δίπλευρες συναρτήσεις συμμετοχής (*two-sided membership functions*).



Σχήμα 11: Συνάρτηση συμμετοχής S



Σχήμα 10: Συνάρτηση συμμετοχής Z



Σχήμα 9: Συνάρτηση συμμετοχής π

1.1.3. Προχωρημένες πράξεις ασαφών συνόλων

Στο κεφάλαιο 1.1.2. είδαμε πως το συμπλήρωμα, η τομή και η ένωση δύο ασαφών συνόλων ορίστηκαν. Αν το εξετάσουμε από μία γενικότερη σκοπιά, οι παραπάνω πράξεις είναι συνδυαστικοί τελεστές (*aggregation operators*) οι οποίοι δρουν πάνω στα ασαφή σύνολα και παράγουν σαν αποτέλεσμα κάποια άλλα ασαφή σύνολα. Όμως, όπως θα προκύψει στην συνέχεια, οι παραπάνω σχέσεις δεν είναι οι μόνοι ορισμοί για τις πράξεις του συμπληρώματος, της τομής και της ένωσης. Για την ακρίβεια, για κάθε πράξη υπάρχει μια ολόκληρη ομάδα τελεστών που την υλοποιεί. Τα μέλη της κάθε ομάδας υπακούουν σε συγκεκριμένες ιδιότητες, ανάλογα με την περίπτωση. Οι συνδυαστικοί τελεστές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους μη παραμετρικούς και τους παραμετρικούς τελεστές. Για κάθε μια από τις παραπάνω πράξεις έχουν προταθεί κατά καιρούς στην βιβλιογραφία διάφοροι τελεστές, μερικούς από τους οποίους θα πραγματευθούμε στην συνέχεια.

Ασαφές συμπλήρωμα

Το συμπλήρωμα ενός ασαφούς συνόλου A συμβολίζεται με \bar{A} και καθορίζεται από μία συνάρτηση

$$c: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

τέτοια ώστε:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = c(\mu_A(x))$$

Για ευκολία στην παρουσίαση θεωρούμε $\alpha = \mu_A(x)$, όπου $\alpha \in [0, 1]$. Η συνάρτηση $c(\cdot)$ για να είναι αποδεκτή σαν τελεστής συμπληρώματος πρέπει να υπακούει τα παρακάτω αξιώματα:

C.1 $c(0) = 1$ και $c(1) = 0$ (boundary condition)

C.2 Για κάθε $a, b \in \mathbb{N}$, αν $a < b$ τότε $c(a) \geq c(b)$ (Monotonicity)

C.3 Η $c(\cdot)$ είναι μια συνεχής συνάρτηση (continuity)

C.4 Η $c(\cdot)$ υπακούει στην σχέση $c(c(a)) = a$ (involution)

Η C.1 δηλώνει ότι αν ένα στοιχείο ανήκει στο A με βαθμό 0 (1) τότε ανήκει στο συμπλήρωμα \bar{A} με βαθμό 1 (0). Η C.2 δηλώνει ότι μια αύξηση στον βαθμό συμμετοχής στο A συνεπάγεται μια μείωση στο βαθμό συμμετοχής στο \bar{A} . Η C.3 δηλώνει ότι η παραπάνω μείωση θα γίνεται με συνεχή τρόπο. Τέλος, η C.4 δείχνει ότι η άρνηση της άρνησης ενός ασαφούς συνόλου οδηγεί στο αρχικό ασαφές σύνολο.

Ορισμός A

Κάθε συνάρτηση που ικανοποιεί τα αξιώματα C.1 - C.4 ορίζει ένα ασαφές συμπλήρωμα. Με βάση τις συνθήκες αυτές, ορίζουμε τους παρακάτω μη παραμετρικούς και παραμετρικούς τελεστές συμπληρώματος.

Ορισμός B

Το συμπλήρωμα \bar{A} ενός ασαφούς συνόλου A περιγράφεται από την συνάρτηση

$$\mu_{\bar{A}}(x) = c(\mu_A(x)) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in \mathbb{N}$$

δηλαδή

$$c(a) = 1 - a$$

Η σχέση αυτή αντιστοιχεί στον κλασικό ορισμό του συμπληρώματος (*complement*) ή της άρνησης (*negation*), και υλοποιεί ένα μη παραμετρικό τελεστή συμπληρώματος. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι η σχέση αυτή πλήρη όλες τις συνθήκες **C. 1-C.4**.

Ορισμός Γ [Sugeno class (λ - complement)]

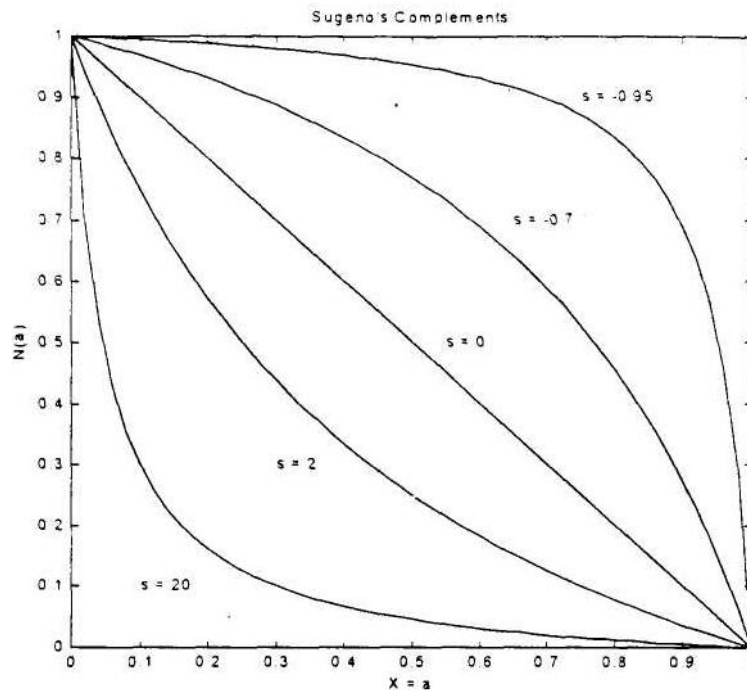
Τα ασαφή συμπληρώματα της ομάδας Sugeno ορίζονται από τις συναρτήσεις:

$$c_{\lambda}(a) = \frac{1 - a}{1 + \lambda a}$$

όπου $\lambda \in (-1, \infty)$. Το συμπλήρωμα συμβολίζεται με \bar{A}^{λ} και περιγράφεται ως εξής:

$$\mu_{\bar{A}^{\lambda}}(x) = c(\mu_A(x)) = \frac{1 - \mu_A(x)}{1 + \lambda \mu_A(x)} \quad -1 < \lambda < \infty$$

Είναι φανερό ότι η ομάδα Sugeno είναι μια παραμετρική ομάδα τελεστών συμπληρώματος. Για κάθε τιμή της παραμέτρου λ παίρνουμε ένα συγκεκριμένο συμπλήρωμα. Στο Σχήμα 12 φαίνονται τα συμπληρώματα της ομάδας αυτής για διάφορες τιμές του λ . Πρέπει να τονισθεί ότι για $\lambda = 0$ η σχέση καταλήγει στον κλασικό ορισμό του συμπληρώματος. Όταν $\lambda \rightarrow -1$ το συμπλήρωμα \bar{A}^{λ} τείνει προς ολόκληρο το \mathfrak{X} , ενώ όταν $\lambda \rightarrow \infty$ το \bar{A}^{λ} τείνει προς το κενό σύνολο.



Σχήμα 12: Το ασαφές συμπλήρωμα για διάφορες τιμές του λ

Ορισμός Δ [Yager class (w - complement)]

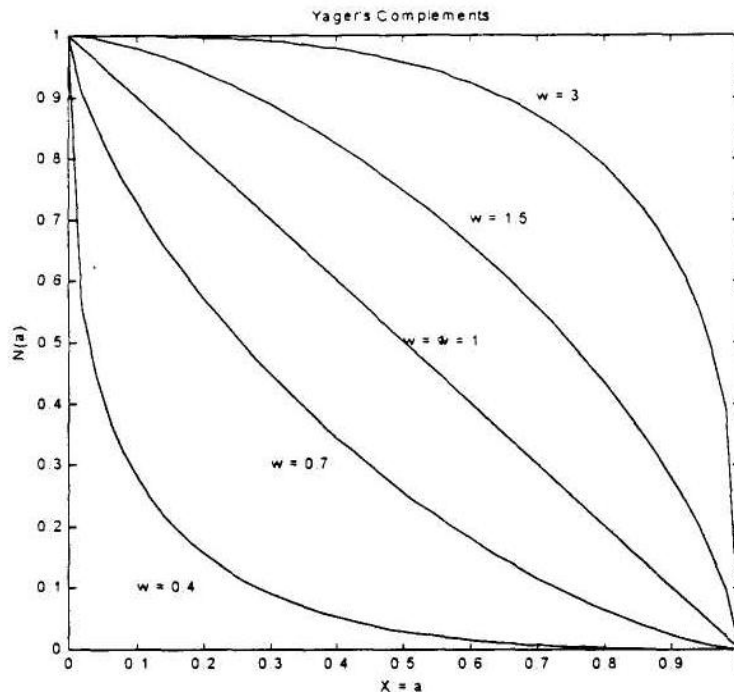
Τα ασαφή συμπληρώματα της παραμετρικής ομάδας Yager ορίζονται από τις συναρτήσεις:

$$c_w(a) = (1 - a^w)^{1/w}$$

όπου $w \in (0, \infty)$. Το συμπλήρωμα συμβολίζεται με \bar{A}^w και περιγράφεται ως εξής:

$$\mu_{\bar{A}^w}(x) = c(\mu_A(x)) = (1 - \mu_A(x)^w)^{1/w} \quad 0 < w < \infty$$

Για κάθε τιμή της παραμέτρου w παίρνουμε ένα συγκεκριμένο συμπλήρωμα. Στο Σχήμα 13 φαίνονται τα συμπληρώματα της ομάδας αυτής για διάφορες τιμές του w . Για $w = 1$ η σχέση καταλήγει και πάλι στον κλασικό ορισμό του συμπληρώματος. Επίσης, όπως φαίνεται από το Σχήμα 13, όταν $w \rightarrow \infty$ το συμπλήρωμα \bar{A}^w τείνει προς ολόκληρο το X , ενώ όταν $w \rightarrow 0$ το \bar{A}^w τείνει προς το κενό σύνολο.



Σχήμα 13: Το ασαφές συμπλήρωμα για διάφορες τιμές του w

Τομή ασαφών συνόλων

Η τομή δύο ασαφών συνόλων A και B , περιγράφεται γενικά από μια ομάδα τελεστών που αναφέρονται σαν τελεστές *triangular norms* ή *t-norm*. Οι τελεστές αυτοί είναι συναρτήσεις οι οποίες πραγματοποιούν την απεικόνιση:

$$I: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

και συμβολίζονται με:

$$\mu_{A \cap B}(x) = I[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Επομένως, ο τελεστής t συνδυάζει τα ασαφή σύνολα A και B και παράγει ένα νέο ασαφές σύνολο C , δηλαδή, μετασχηματίζει τις συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_A(x)$ και $\mu_B(x)$ στην συνάρτηση συμμετοχής $\mu_C(x)$. Μια συνάρτηση t για να χαρακτηριστεί σαν τελεστής τομής πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω αξιώματα:

$$T.1 \quad t(0,0) = 0 \quad \text{και} \quad t(a,1) = t(1,a) = a \quad (\text{boundary condition})$$

$$T.2 \quad \text{αν } a \leq c \text{ και } b \leq d \text{ τότε } t(a,b) \leq t(c,d) \quad (\text{monotonicity})$$

$$T.3 \quad t(a,b) = t(b,a) \quad (\text{commutativity})$$

$$T.4 \quad t(a,t(b,c)) = t(t(a,b),c) \quad (\text{assosiativity})$$

όπου $a, b, c \in [0,1]$.

Το αξίωμα **T.1** περιγράφει τις οριακές συνθήκες της πράξης και γενικεύει για τα σαφή σύνολα. Το αξίωμα **T.2** δηλώνει ότι μια αύξηση στους βαθμούς συμμετοχής συντελεί σε μια αύξηση του βαθμού συμμετοχής της τομής. Το αξίωμα **T.3** βεβαιώνει ότι η πράξη της τομής είναι άσχετη με την σειρά με την οποία εμφανίζονται τα ορίσματα. Τέλος, το αξίωμα **T.4** μας επιτρέπει να επεκτείνουμε την πράξη της τομής σε περισσότερα από δύο ασαφή σύνολα.

Ορισμός

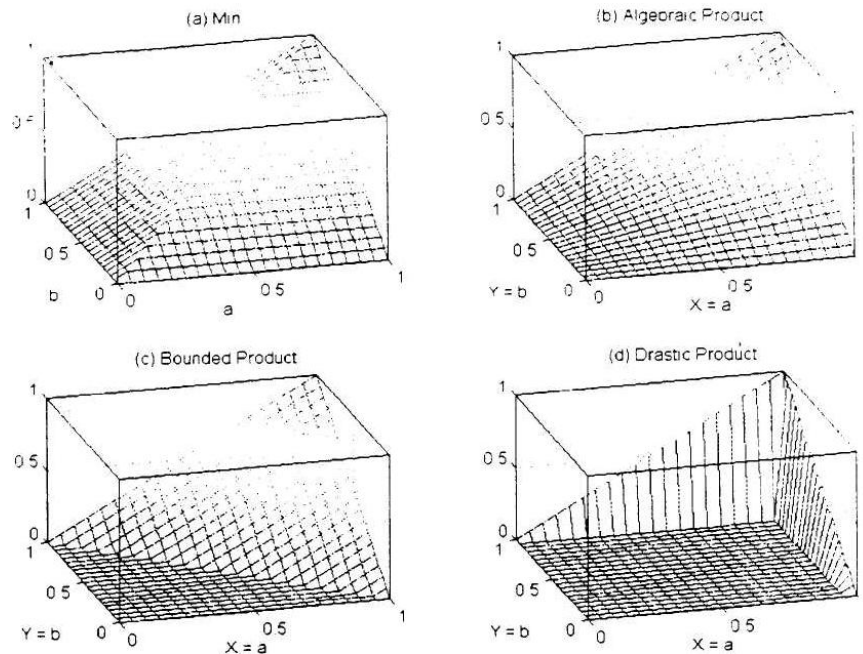
Κάθε συνάρτηση $t : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ που ικανοποιεί τα αξιώματα **T.1-T.4** ορίζει έναν τελεστή τομής, δηλαδή, έναν t -norm τελεστή. Ο τελεστής αυτός υλοποιεί την λογική πράξη **AND**. Οι τέσσερις βασικοί μη παραμετρικοί t -norm τελεστές είναι οι εξής:

1. $t_{\min}(a,b) = \min(a,b) = a \wedge b$ Minimum
2. $t_{ap}(a,b) = a \cdot b = ab$ Algebraic product
3. $t_{bp}(a,b) = \max(0, a + b - 1) = 0 \vee (a + b - 1)$ Bounded product
4. $t_{dp}(a,b) = \begin{cases} a & \text{if } b = 1 \\ b & \text{if } a = 1 \\ 0 & \text{if } a, b < 1 \end{cases}$ Drastic product

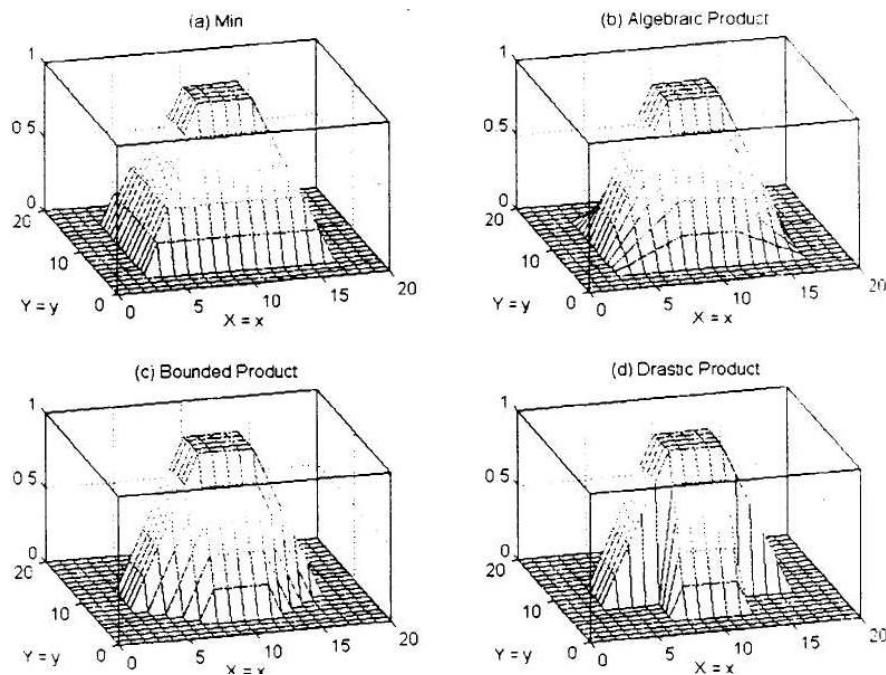
Παρατηρούμε ότι ο τελεστής t_{\min} αντιστοιχεί στον κλασικό ορισμό της τομής. Αν θεωρήσουμε ότι τα a και b κινούνται μεταξύ 0 και 1 τότε μπορούμε να σχεδιάσουμε τους τελεστές 1 - 4 συναρτήσεων των a και b . Τα τρισδιάστατα αυτά διαγράμματα δίνονται στα Σχήμα 14 (a)-(d) για, τους τελεστές t_{\min} , t_{ap} , t_{bp} και t_{dp} , αντίστοιχα. Επίσης, θεωρούμε δύο ασαφή σύνολα A και B όπου $a = \mu_A(x) = trap_MF(x; 3, 8, 12, 17)$ και $b = \mu_B(x) = trap_MF(x; 3, 8, 12, 17)$. Στο Σχήμα 15 φαίνονται οι αντίστοιχες επιφάνειες για τους παραπάνω τελεστές. Οι επιφάνειες αυτές ορίζουν δυσδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής, με βάση τέσσερις διαφορετικούς τελεστές. Ορίζουμε δυσδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής χρησιμοποιώντας τον τελεστή t_{ap} . Η διαδικασία αυτή μπορεί να γενικευθεί θεωρώντας έναν οποιονδήποτε τελεστή τομής. Εξετάζοντας τις μορφές των Σχήμα 14 (a)-(d) προκύπτει εύκολα ότι

$$t_{dp}(a,b) \leq t_{bp}(a,b) \leq t_{ap}(a,b) \leq t_{\min}(a,b)$$

Οι παραπάνω ανισότητες μπορούν, επίσης, να αποδειχθούν και αναλυτικά. Επομένως, ο τελεστής $t_{dp}(a,b)$ αποτελεί το κατώτερο όριο, ενώ ο τελεστής $t_{min}(a,b)$ αποτελεί το ανώτερο όριο των τελεστών τομής.



Σχήμα 14: Οι παραμετρικοί τελεστές τομής t-norms



Σχήμα 15: Οι επιφάνειες των παραμετρικών τελεστών τομής t-norms

Ένωση ασαφών συνόλων [Fuzzy union]

Η ένωση δύο ασαφών συνόλων A και B περιγράφεται γενικά από μια ομάδα τελεστών ένωσης που αναφέρονται στην βιβλιογραφία σαν τελεστές s -norms ή t -conorms. Οι τελεστές αυτοί είναι συναρτήσεις οι οποίες πραγματοποιούν την απεικόνιση:

$$s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

και συμβολίζονται με

$$\mu_{A \cup B}(x) = s[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Οι συναρτήσεις s πρέπει να ικανοποιούν τα παρακάτω αξιώματα:

$$S.1 \quad s(1,1) = 1 \quad \text{και} \quad s(0,a) = s(a,0) = a \quad (\text{boundary condition})$$

$$S.2 \quad \text{αν } a \leq c \text{ και } b \leq d \text{ τότε } s(a,b) \leq s(c,d) \quad (\text{monotonicity})$$

$$S.3 \quad s(a,b) = s(b,a) \quad (\text{commutativity})$$

$$S.4 \quad s(a, t(b,c)) = s(t(a,b), c) \quad (\text{assosiativity})$$

όπου $a, b, c \in [0,1]$.

Ο σχολιασμός των αξιωμάτων **S.1 - S.4** ακολουθεί παρόμοιο σκεπτικό με αυτό που ακολουθήσαμε για τα αξιώματα **T.1 - T.4**.

Ορισμός A

Κάθε συνάρτηση $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ που ικανοποιεί τα αξιώματα **S.1-S.4** ορίζει έναν τελεστή ένωσης, δηλαδή, έναν s -norm ή t -conorm τελεστή. Ο τελεστής αυτός υλοποιεί την λογική πράξη **OR**. Σε αντιστοιχία με τους τελεστές t -norms ορίζουμε τώρα τους τέσσερις βασικούς μη παραμετρικούς τελεστές s -norm, όπως φαίνεται παρακάτω:

1'. $s_{\max}(a,b) = \max(a,b) = a \vee b$	Maximum
2'. $s_{as}(a,b) = a + b - ab$	Algebraic sum
3'. $s_{bs}(a,b) = \min(1, a + b) = 1 \wedge (a + b)$	Bounded sum
4'. $s_{ds}(a,b) = \begin{cases} a & \text{if } b = 0 \\ b & \text{if } a = 0 \\ 1 & \text{if } a, b < 1 \end{cases}$	Drastic sum

Είναι φανερό ότι ο τελεστής s_{\max} αντιστοιχεί στον κλασικό ορισμό της ένωσης. Όπως και στην περίπτωση των t -norm τελεστών, στο Σχήμα 16 (a)-(d) δίνονται τα δυσδιάστατα διαγράμματα των s_{\max} , s_{as} , s_{bs} και s_{ds} συναρτήσεων των a και b . Επίσης, για $a = \mu_A(x) = \text{trap_MF}(x; 5, 10, 15, 20)$ και $b = \mu_B(x) = \text{trap_MF}(x; 5, 10, 15, 20)$, στο Σχήμα 17 φαίνονται οι αντίστοιχες επιφάνειες για τους παραπάνω τελεστές. Οι επιφάνειες αυτές ορίζουν δυσδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής, με βάση το λογικό "OR" και τους τέσσερις τελεστές ένωσης. Από το Σχήμα 16 (a)-(d) διαπιστώνουμε ότι:

$$s_{\max}(a,b) \leq s_{as}(a,b) \leq s_{bs}(a,b) \leq s_{ds}(a,b)$$

Οι παραπάνω ανισότητες μπορούν, επίσης, να αποδειχθούν και αναλυτικά. Επομένως, ο τελεστής $s_{\max}(a,b)$ αποτελεί το κατώτερο όριο, ενώ ο τελεστής $s_{ds}(a,b)$ αποτελεί το ανώτερο όριο των τελεστών ένωσης.

Αποδεικνύεται ότι οι τελεστές ένωσης και τομής συνδέονται μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, τα t -norms και s -norms είναι δυαδικές συναρτήσεις και υπακούουν στους γενικευμένους κανόνες DeMorgan (DeMorgan Laws):

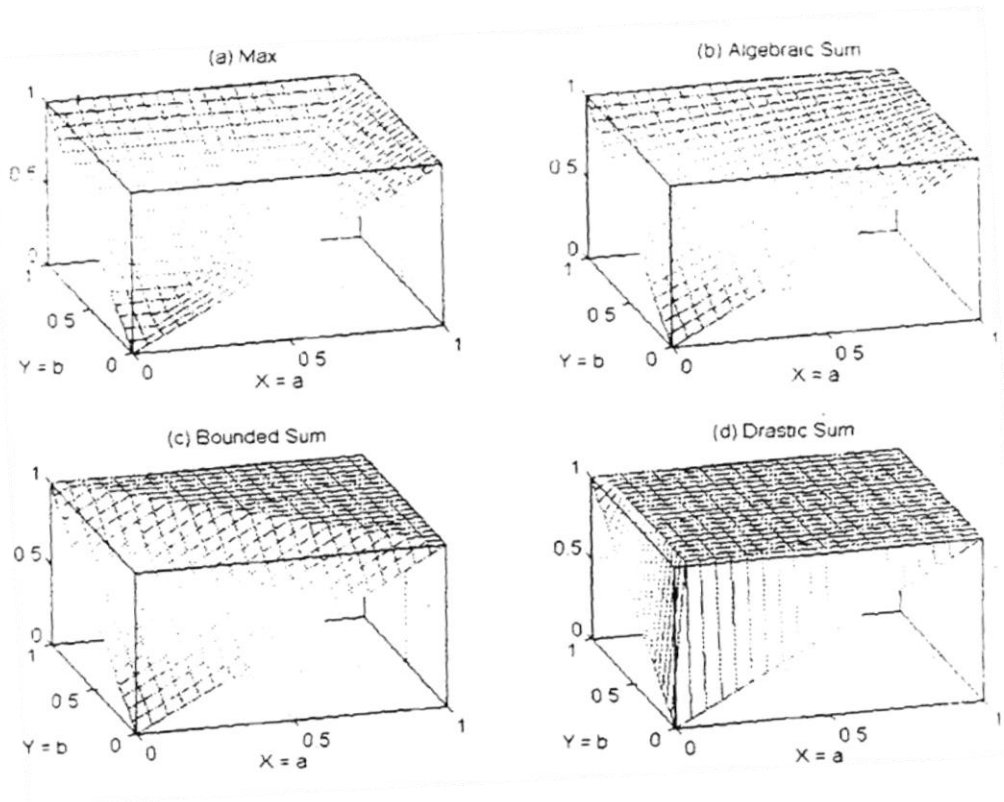
$$c[s(a,b)] = t[c(a),c(b)]$$

και

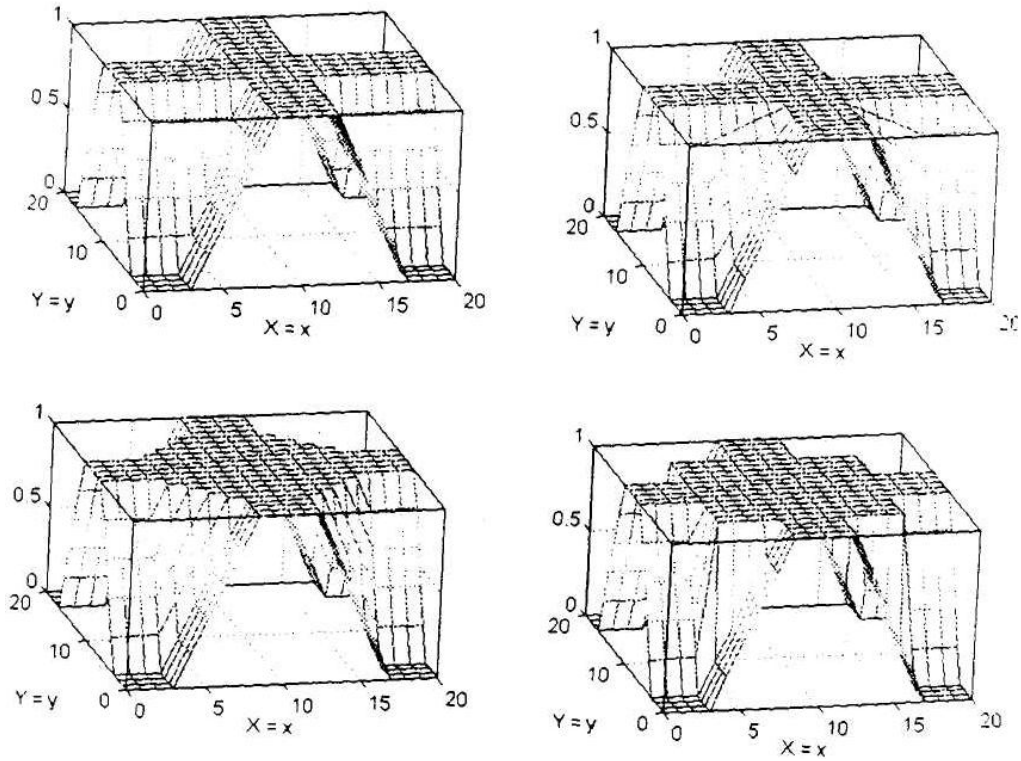
$$c[t(a,b)] = s[c(a),c(b)]$$

όπου $c(\cdot)$ είναι ένας τελεστής συμπληρώματος.

Με βάση τις σχέσεις αυτές προκύπτει ότι για έναν δεδομένο τελεστή τομής $t(a,b)$ αντιστοιχεί ένας τελεστής ένωσης $s(a,b)$ ο οποίος προκύπτει από τους γενικευμένους κανόνες DeMorgan και με βάση κάποιον τελεστή συμπληρώματος $c(\cdot)$. Στην πραγματικότητα, οι μη παραμετρικοί τελεστές τομής είναι δυαδικοί με τους αντίστοιχους τελεστές, με την λογική ότι πληρούν τους κανόνες DeMorgan χρησιμοποιώντας τον τελεστή συμπληρώματος $c(a) = 1 - a$.



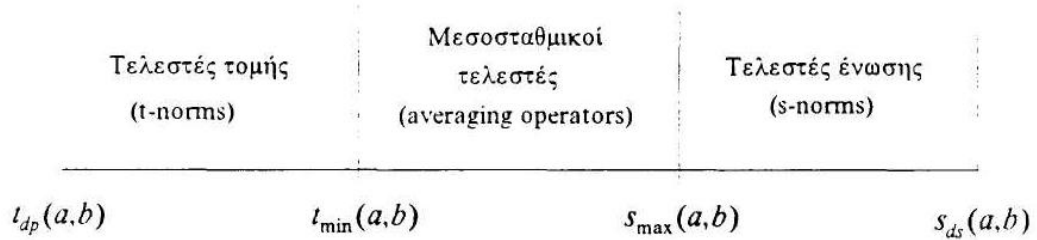
Σχήμα 16: Οι παραμετρικοί τελεστές ένωσης s -norms



Σχήμα 17: Οι επιφάνειες των παραμετρικών τελεστών ένωσης s-norms

Παραμετρικοί τελεστές τομής και ένωσης

Οι παραμετρικοί τελεστές τομής και ένωσης δεν θα εξεταστούν διεξοδικά εδώ. Στο Σχήμα 18 φαίνονται οι περιοχές στις οποίες κινούνται οι τελεστές τομής, οι μεσοσταθμικοί τελεστές, καθώς και οι τελεστές ένωσης δύο ασαφών συνόλων. Ανάλογα με την περίπτωση, επιλέγουμε έναν από όλους τους τελεστές για να συνδυάσουμε το "νόημα" των ασαφών συνόλων που θεωρούμε.



Σχήμα 18: Οι περιοχές που κινούνται οι διάφοροι τελεστές

1.1.4. Ασαφείς σχέσεις

Οι ασαφείς σχέσεις (fuzzy relations) είναι ασαφή σύνολα ορισμένα σε πεδία αναφοράς ανώτερης διάστασης (π.χ. $X \times X, X \times Y \times Z$ κλπ). Ποιοτικά, μια ασαφής σχέση R θα μπορούσε να είναι μια έκφραση της μορφής «είναι βαρύτερο από» και η οποία θα συνδέει τα στοιχεία δύο άλλων συνόλων:

$$R = \text{«}x \text{ είναι βαρύτερο από } y\text{» } x \in X, y \in Y \text{ και } R \in X \times Y$$

Οι ασαφείς σχέσεις μπορεί να εκφραστούν με αναφορά όλων των ζευγών (τιμή, βαθμός συμμετοχής), δηλαδή ζευγών της μορφής $((x,y), \mu_R(x,y))$. Ένας άλλος τρόπος αναπαράστασης, ιδιαίτερα χρήσιμος σε υπολογισμούς είναι σε μορφή πίνακα:

$$R = \begin{bmatrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \cdots & \mu_R(x_1, y_n) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \cdots & \mu_R(x_2, y_n) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mu_R(x_m, y_1) & \mu_R(x_m, y_2) & \cdots & \mu_R(x_m, y_n) \end{bmatrix}$$

Οι ασαφείς σχέσεις μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους μέσω της διαδικασίας της σύνθεσης (composition). Αν για παράδειγμα συνδυαστεί η ασαφής σχέση $R_1(x,y)$ ορισμένη στο $X \times Y$ με την ασαφή σχέση $R_2(y,z)$ ορισμένη στο $Y \times Z$ τότε θα προκύψει μία ασαφής σχέση $R(x,z)$ η οποία θα ορίζεται στο σύνολο $X \times Z$ και θα συσχετίζει άμεσα στοιχεία των συνόλων X και Z . Βέβαια είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί επακριβώς η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_R(x,z)$ της R με χρήση των συναρτήσεων συμμετοχής των R_1 και R_2 .

Οι βασικές πράξεις που ορίζονται μεταξύ των ασαφών σχέσεων είναι η αντιστροφή και η σύνθεση.

• Αντιστροφή

Αντίστροφη σχέση της $R(X,Y)$ είναι η ασαφής σχέση $R^{-1}(Y,X)$ με τύπο:

$$R^{-1}(y,x) = R(x,y)$$

για κάθε x που ανήκει στον X και κάθε y που ανήκει στον Y . Ο πίνακας συμμετοχής που παριστάνει την R^{-1} είναι ο ανάστροφος του R .

• Σύνθεση

Η σύνθεση είναι πολύ σημαντική διαδικασία καθώς όπως θα δούμε παρακάτω οι κανόνες της μορφής (if-then) αντιστοιχούν σε ασαφείς σχέσεις και το πρόβλημα της ασαφούς συλλογιστικής είναι μαθηματικά ισοδύναμο με τη σύνθεση.

Αν $R_1(x,y)$ και $R_2(y,z)$ είναι δύο ασαφείς σχέσεις ορισμένες στα σύνολα $X \times Y$ και $Y \times Z$ αντίστοιχα, τότε η σύνθεση τους δίνει μια νέα σχέση $R_1 \circ R_2$

Η sup-t σύνθεση $R: X \times Y \rightarrow [0,1]$ δύο ασαφών σχέσεων $R_1: X \times Y \rightarrow [0,1]$ και $R_2: X \times Y \rightarrow [0,1]$ ορίζεται από την εξίσωση:

$$R(x, y) = [R_1 \circ^t R_2](x, y) = \sup_{y \in Y} t [R_1(x, y), R_2(y, z)]$$

Οι περισσότεροι γνωστές μέθοδοι σύνθεσης ασαφών συνόλων είναι η σύνθεση max-min και η σύνθεση max-product.

Η συνάρτηση συμμετοχής για την περίπτωση της max-min σύνθεση δίνεται από τη σχέση:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)]$$

Στην περίπτωση της σύνθεσης max-product έχουμε την παρακάτω σχέση:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y) \bullet \mu_{R_2}(y, z)]$$

Οι υπολογισμοί στο δεξιό μέρος των παραπάνω σχέσεων είναι παρόμοιοι με του πολλαπλασιασμού των πινάκων.

Γλωσσική Μεταβλητή

Γλωσσική μεταβλητή είναι μια μεταβλητή της οποίας οι τιμές δεν είναι αριθμοί αλλά λέξεις ή φράσεις σε μια φυσική ή τεχνητή γλώσσα. Οι τιμές αυτές παριστάνονται με ασαφή σύνολα και γι' αυτό οι γλωσσικές μεταβλητές ονομάζονται επίσης «ασαφείς μεταβλητές» ή «ασαφή κατηγορήματα» και συνήθως δηλώνονται ως:

‘X είναι A’

Μαθηματικά, η Γλωσσική μεταβλητή ορίζεται ως η πεντάδα $\langle x, T(X), U, G, M \rangle$ όπου:

x : το όνομα της γλωσσικής μεταβλητής

$T(X)$: το ασαφές σύνολο των τιμών της

U : το υπερσύνολο αναφοράς πάνω στο οποίο δομείται το σύνολο τιμών $T(X)$

G : ένας συντακτικός κανόνας που παράγει τα ονόματα των τιμών της x δηλαδή τα ονόματα των ασαφών συνόλων

M : ένας σημασιολογικός κανόνας που αποδίδει νόημα στα ονόματα

Μια γλωσσική μεταβλητή καλείται δομημένη όταν το σύνολο των τιμών της $T(X)$ και το σύνολο των εννοιών $M(x)$ που αποδίδονται σε αυτές μπορούν να καθοριστούν αλγοριθμικά.

Συνάρτηση ασαφούς συνεπαγωγής

Μια συνάρτηση ασαφούς συνεπαγωγής I ορίζεται η απεικόνιση:

$I: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ που έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

1. $I(0,x) = 1 \quad \forall x \in [0,1]$
2. $I(x,1) = 1 \quad \forall x \in [0,1]$
3. $I(1,0) = 0$
4. αν $x \leq z$ τότε $I(x, y) \leq I(z, y) \quad \forall y \in [0,1]$
5. αν $y \leq t$ τότε $I(x, y) \geq I(x, t) \quad \forall x \in [0,1]$

1.1.5. Ασαφής συλλογιστική

Η βάση στην οποία στηρίζεται η λήψη αποφάσεων είναι η παραγωγή συλλογιστικής. Η ασαφής λογική ασχολείται με την παραγωγή συλλογιστικής σε περιβάλλον αβεβαιότητας. Για το σκοπό αυτό, θεμελιώνεται η δομή και η μαθηματική αναπαράσταση ενός ασαφούς γεγονότος με τον ορισμό των ασαφών συνόλων και καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζουμε τα γεγονότα για να παράγουμε λογικές προτάσεις ή σχέσεις και συνεπώς συμπεράσματα.

Οι συλλογιστικοί τρόποι που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι τρεις:

- Ο modus ponens (MP)
- Ο modus tolens (MT)
- Ο υποθετικός συλλογισμός (HS)

Ο “modus ponens” παράγει συμπεράσματα από ένα σύνολο υποθέσεων σύμφωνα με το σχήμα:

$$(A \Rightarrow B) \wedge A \Rightarrow B$$

όπου A και B συγκεκριμένα γεγονότα.

Ο παραπάνω κανόνας ερμηνεύεται ως εξής: Αν το γεγονός A συνεπάγεται το γεγονός B και επιπλέον έχουμε ως υπόθεση ότι ισχύει το A, τότε το συμπέρασμα που συνεπάγεται είναι ότι ισχύει και το B. Όμως σε περιβάλλον ασάφειας τα γεγονότα ισχύουν σε κάποιο βαθμό. Έτσι ο παραπάνω κανόνας πρέπει να τροποποιηθεί για να συμπεριλάβει και την ασάφεια. Έτσι μ' αυτό τον τρόπο ισχύει ο κανόνας modus ponens (generalized modus ponens) ο οποίος έχει την παρακάτω μορφή:

$$(A \Rightarrow B) \wedge A' \Rightarrow B'$$

Αντίστοιχα ο γενικευμένος κανόνας modus tolens (generalized modus tolens) διατυπώνεται ως εξής:

$$(A \Rightarrow B) \wedge B' \Rightarrow A'$$

Ας εξεταστεί τώρα η ερμηνεία των παραπάνω κανόνων. Για παράδειγμα ο γενικευμένος κανόνας *modus ponens* ερμηνεύεται ως εξής: Αν το γεγονός A συνεπάγεται το γεγονός B και έχουμε ως υπόθεση ότι ισχύει το A σε κάποιο βαθμό, τότε θα ισχύει και το B σε κάποιο βαθμό.

Πρέπει, λοιπόν να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο πληρείται το γεγονός B. Αυτός εξαρτάται από το βαθμό στον οποίο πληρείται το γεγονός A και από το είδος της συνεπαγωγής που εφαρμόζεται. Η πράξη της ασαφούς συνεπαγωγής υλοποιεί τη μαθηματική σχέση $A \Rightarrow B$, όταν τα A και B είναι ασαφή γεγονότα.

Το σχήμα που προτείνεται από τη θεωρία των ασαφών συνόλων για την εξαγωγή του γεγονότος B' από τα γεγονότα A, A', B περιγράφεται από την παρακάτω σχέση που αποτελεί το συνθετικό κανόνα του Zadeh:

$$B'(y) = \sup_{x \in X} T[A'(x), I(A(x), B(y))]$$

όπου I είναι μια συνάρτηση που υλοποιεί την πράξη της ασαφούς συνεπαγωγής.

Επομένως η επιλογή της συνάρτησης που υλοποιεί την ασαφή συνεπαγωγή έχει ουσιαστικό ρόλο για την ασαφή συλλογιστική που παράγεται με βάση τον τύπο αυτό. Ένα από τα κριτήρια που χρησιμοποιείται γι' αυτή την επιλογή είναι το κριτήριο της ανάκλησης (*recall*), το οποίο διατυπώνεται ως εξής:

$$B(y) = \sup_{x \in X} T[A(x), I(A(x), B(y))]$$

Το κριτήριο αυτό έχει την εξής ερμηνεία: η ασαφής συνεπαγωγή πρέπει να είναι τέτοια ώστε όταν η υπόθεση πληρείται ακριβώς, τότε να λαμβάνουμε το συμπέρασμα του κανόνα $A \Rightarrow B$, δηλαδή το γεγονός B. Η απαίτηση αυτή είναι εύλογη αφού όταν δεν υπάρχει αβεβαιότητα η ασαφής συλλογιστική οφείλει να ταυτίζεται με την κλασσική συλλογιστική.

1.1.6. Συστήματα ασαφούς συλλογιστικής

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήθηκαν τα ασαφή σύνολα και τις πράξεις που γίνονται πάνω σ' αυτά. Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται ο τρόπος που μπορούν να εφαρμοσθούν τα παραπάνω σε ένα σύστημα λήψης αποφάσεων.

Θα εξεταστεί ένα απλό παράδειγμα λήψης αποφάσεων (πριν την ανάλυση του πιο πολύπλοκου που αφορά την μοντελοποίηση του προβλήματος της επιπροσθετικότητας με το οποίο και ασχολήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία) και θα φανεί πως μπορεί να λυθεί με τη βοήθεια της ασαφούς λογικής. Εξετάζεται το πρόβλημα του φιλοδώρηματος, πόσο δηλαδή είναι το φιλοδώρημα που πρέπει να δώσει ένας πελάτης σε ένα εστιατόριο. Οι παράμετροι του προβλήματος είναι η ποιότητα του φαγητού και η εξυπηρέτηση.

Είναι προφανές, για παράδειγμα, ότι αν το φαγητό είναι άριστης ποιότητας και η εξυπηρέτηση καλή τότε το φιλοδώρημα θα είναι υψηλό. Αντίστοιχα αν η ποιότητα της εξυπηρέτησης είναι χαμηλή και το φαγητό κακό τότε το φιλοδώρημα θα είναι χαμηλό. Τι γίνεται όμως αν έχουμε μια ενδιάμεση κατάσταση, π.χ. μέτριο φαγητό και καλή εξυπηρέτηση; Επιπλέον παραπάνω έχουν αναφερθεί προσδιορισμοί όπως καλό, κακό, μέτριο που εμπεριέχουν κάποια ασάφεια.

Θα γίνει προσπάθεια να λυθεί το πρόβλημα γραμμικά θα πρέπει να δοθούν καθορισμένοι κανόνες για κάθε μια περίπτωση. Μέσω όμως της ασαφούς λογικής το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί ευκολότερα. Πριν τη λύση του προβλήματος θα παρουσιαστεί πως γίνεται να υλοποιηθούν οι κανόνες αυτές (if-then rules) που προαναφέρθηκαν (αν το φαγητό είναι κακό κτλ.).

Κανόνες αν-τότε (if-then rules)

Τα ασαφή σύνολα και οι ασαφείς τελεστές είναι τα υποκείμενα και τα ρήματα του ασαφούς λογισμού. Οι προτάσεις if-then χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν τις συνθήκες εκείνες που συνιστούν την ασαφή λογική. Ένας απλός κανόνας if-then έχει τη μορφή:

If x is A then y is B

Όπου A και B είναι οι γλωσσικές μεταβλητές που προσδιορίζονται από ασαφή σύνολα με χώρο αναφοράς X και Y αντίστοιχα. Το πρώτο κομμάτι του κανόνα 'if x is A' ονομάζεται υπόθεση (*antecedent* ή *premise*) ενώ το δεύτερο κομμάτι 'then y is B' ονομάζεται συνέπεια ή συμπέρασμα (*consequent* ή *conclusion*). Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου κανόνα μπορεί να είναι το εξής;

If service is good then tip is average

Η λέξη **good** αντιπροσωπεύεται από ένα ασαφές σύνολο. Από την άλλη μεριά η λέξη **average** αποτελεί ένα ασαφές σύνολο και έτσι η συνέπεια του κανόνα είναι μια συσχέτιση της εξόδου γ στο ασαφές σύνολο B.

Στους κανόνες if-then η λέξη 'is' έχει διαφορετική έννοια ανάλογα με το αν εμφανίζεται στο πρώτο ή στο δεύτερο μέρος του κανόνα. Έτσι όταν εμφανίζεται στο πρώτο μέρος του κανόνα έχει την έννοια του

ελέγχου ισότητας (δηλαδή την ίδια έννοια που δίνουμε στο σύμβολο $=$). Αντίθετα όταν εμφανίζεται στο δεύτερο μέρος του κανόνα έχει την έννοια της καταχώρησης (δηλαδή την έννοια που δίνουμε στο σύμβολο $=$). Ο παραπάνω κανόνας λοιπόν θα μπορούσε να γραφεί συμβολικά και ως εξής:

If service == good then tip = average

Γενικά, η είσοδος σε έναν κανόνα if-then ως επί το πλείστον είναι η τιμή της μεταβλητής εισόδου ενώ η έξοδος του κανόνα είναι ολόκληρο το ασαφές σύνολο. Είναι όμως δυνατόν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις η είσοδος σε ένα κανόνα if-then να είναι και ένα ασαφές σύνολο. Από αυτό όμως το ασαφές σύνολο θα πρέπει να κρατηθεί μια τιμή έτσι ώστε να γίνεται να παραχθούν κάποια συμπεράσματα. Γι' αυτό πρέπει να γίνει μια διαδικασία που ονομάζεται αποασαφοποίηση (defuzzification). Η αποασαφοποίηση αναφέρεται εκτενέστερα παρακάτω. Για να διερμηνευθεί ένας κανόνας if-then πρέπει να ακολουθηθούν κάποια στάδια:

1. Πρώτα πρέπει να υπολογιστεί η είσοδος. Για να γίνει αυτό όμως πρέπει να γίνει ασαφοποίηση της εισόδου και να εφαρμοσθούν οι κατάλληλοι ασαφείς τελεστές.
2. Να εφαρμοστεί το παραπάνω αποτέλεσμα στο δεύτερο μέρος του κανόνα.

Αν ισχύει η απλή περίπτωση των δυαδικών τιμών οι κανόνες if-then είναι αρκετά εύκολο να εφαρμοσθούν. Αν η υπόθεση είναι αληθής τότε και η συνέπεια θα είναι αληθής. Πώς όμως επεκτείνεται η παραπάνω συλλογιστική για να συμπεριλάβει και ασαφείς τιμές; Όταν η υπόθεση είναι αληθής σε κάποιο βαθμό τότε και η συνέπεια είναι αληθής στον ίδιο βαθμό. Με άλλα λόγια:

Στη δυαδική λογική: $p \rightarrow q$ (Τα p και q είναι και τα δύο είτε πλήρως αληθή ή πλήρως ψευδή).

Στην ασαφή λογική: $0.5 p \rightarrow 0.5 q$ (Τα p και q είναι μερικώς αληθή και μερικώς ψευδή).

Η υπόθεση ενός κανόνα μπορεί να αποτελείται από περισσότερα του ενός μέρη. Όπως για παράδειγμα ο παρακάτω κανόνας:

If sky is gray and wind is strong and barometer is falling, then ...

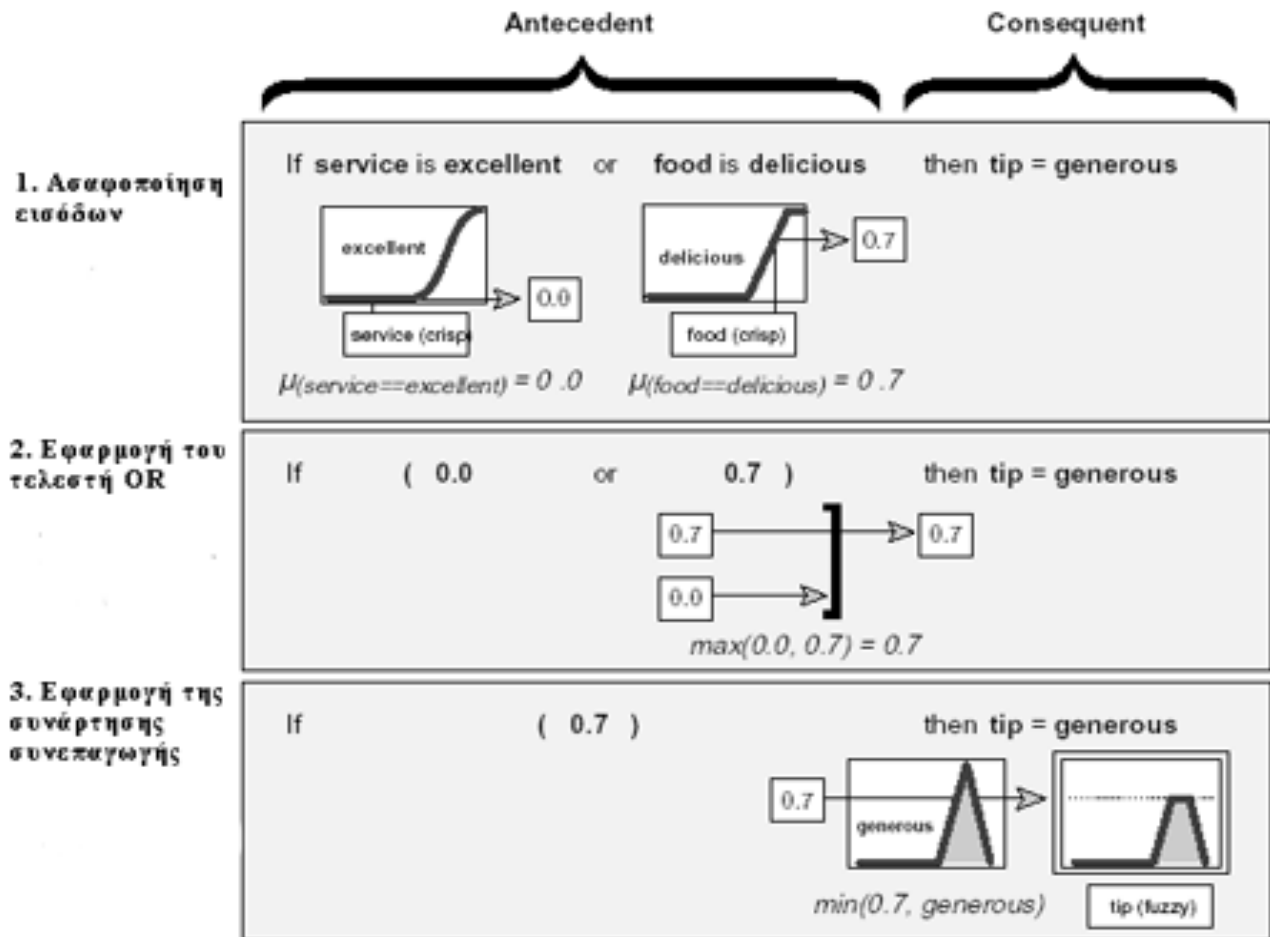
Σ' αυτή την περίπτωση όλα τα μέρη της υπόθεσης υπολογίζονται ταυτόχρονα και καταλήγουμε σε ένα μοναδικό νόημα ανάλογα με τους λογικούς τελεστές που χρησιμοποιούμε.

Αλλά και η συνέπεια ενός κανόνα μπορεί να αποτελείται από περισσότερα του ενός μέρη. Για παράδειγμα ο παρακάτω κανόνας:

If temperature is cold then hot water valve is open and cold water valve is shut

Όλα τα μέρη της συνέπειας του κανόνα επηρεάζονται το ίδιο από το αποτέλεσμα της υπόθεσης. Η συνέπεια του κανόνα προσδιορίζει ένα ασαφές σύνολο το οποίο συσχετίζεται με την έξοδο. Η συνάρτηση συνεπαγωγής (implication function) στη συνέχεια τροποποιεί το ασαφές σύνολο στο βαθμό που προσδιορίζεται από την υπόθεση του κανόνα.

Μια πολύ συνηθισμένη συνάρτηση για να γίνει αυτό είναι η αποκοπή με τη χρήση του τελεστή min. Στο σχήμα 19 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται οι κανόνες if-then.



Σχήμα 19: Γραφική απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζονται οι κανόνες "if-then"

Συστήματα ασαφούς συλλογιστικής (fuzzy inference systems)

Γενικά ένας κανόνας από μόνος του δεν επαρκεί για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα. Αυτό που χρειάζεται είναι περισσότεροι του ενός κανόνες οι οποίοι να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η έξοδος κάθε κανόνα θα είναι ένα ασαφές σύνολο. Τα ασαφή σύνολα που προκύπτουν σαν συνέπεια των κανόνων συνθέτονται για να σχηματίσουν ένα ασαφές σύνολο εξόδου από το οποίο μέσω της διαδικασίας της αποασαφοποίησης θα παραχθεί μια μοναδική αριθμητική τιμή.

Αναλυτικότερα τα ασαφή συστήματα περιλαμβάνουν κάθε σύστημα απόφασης και ελέγχου που λειτουργεί σε αβέβαιο περιβάλλον και μοντελοποιείται με ασαφείς μεταβλητές. Τα ασαφή συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των ευφυών συστημάτων.

Η γενική αρχιτεκτονική (δομή) των ασαφών συστημάτων παρουσιάζεται στο σχήμα 20 και περιλαμβάνει τέσσερις μονάδες:

- Μία βάση ασαφών κανόνων της μορφής EAN-TOTE (Ασαφής βάση Γνώσης).
- Μία ασαφή συλλογιστική μηχανή (μηχανισμό εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων).
- Μία μονάδα ασαφοποίησης (ασαφοποιητική μονάδα διεπαφής) η οποία μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ασαφή σύνολα.
- Μία μονάδα απο-ασαφοποίησης (από-ασαφοποιητική μονάδα διεπαφής) η οποία μετατρέπει τα ασαφή συμπεράσματα / αποφάσεις σε σαφώς καθορισμένη μορφή.

Η ασαφής βάση γνώσης περιέχει συνήθως εκτός από τους ασαφείς (γλωσσικούς) κανόνες (κανόνες IF-THEN) και ένα τμήμα βάσης αριθμητικών δεδομένων τα οποία απαιτούνται για τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων. Οι κανόνες της βάσης γνώσης λαμβάνονται συνήθως από εμπειρογνώμονες και από διαδικασίες προσομοίωσης.

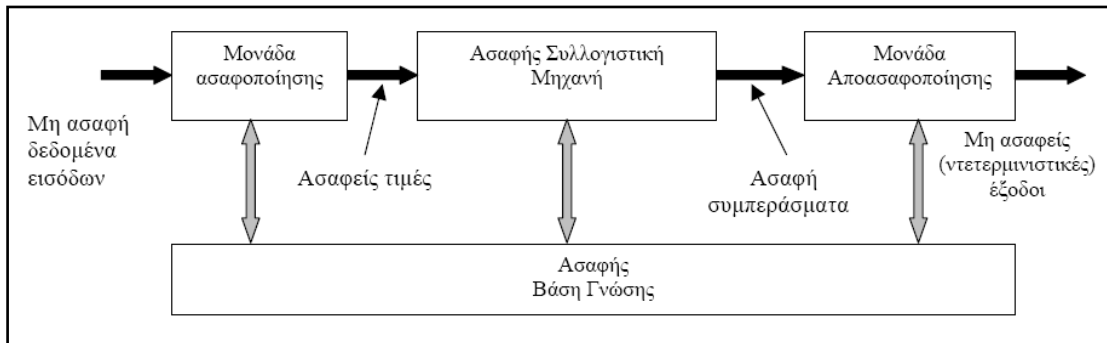
Η ασαφής συλλογιστική μηχανή αποτελεί τον πυρήνα του ασαφούς συστήματος και περιέχει τη λογική λήψης αποφάσεων (δηλαδή τις συναρτήσεις ασαφούς συνεπαγωγής, τις συναρτήσεις συνθέσεως των αποτελεσμάτων κάθε ασαφούς κανόνα).

Η μονάδα ασαφοποίησης (ασαφοποιητής) εκτελεί τις παρακάτω εργασίες:

- Μετράει (παραλαμβάνει) τις (μη ασαφείς) τιμές των εισόδων του συστήματος.
- Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των τιμών εισόδου σε κατάλληλα σύνολα αναφοράς.
- Ασαφοποιεί τις εισερχόμενες τιμές των εισόδων, δηλαδή τις μετατρέπει σε ασαφή γλωσσική μορφή.

Η μονάδα απο-ασαφοποίησης (από-ασαφοποιητής) εκτελεί τις εξής δύο εργασίες:

- Απεικονίζει τις περιοχές μεταβολής των μεταβλητών εξόδου σε αντίστοιχα σύνολα αναφοράς.
- Απο-ασαφοποιεί τα αποτελέσματα που δίνει η ασαφής συλλογιστική μηχανή, δηλαδή τα μετατρέπει σε «ντετερμινιστική» (μη-ασαφής) μορφή για περαιτέρω χρήση από επόμενα συστήματα ή διεργασίες απόφασης.



Σχήμα 20: Η γενική αρχιτεκτονική (δομή) των ασαφών συστημάτων

Παρακάτω αναπτύσσεται ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσεται η παραπάνω διαδικασία μέσα από ένα σύστημα ασαφούς συλλογιστικής (fuzzy inference system ,FIS) που ονομάζεται Mamdani.

Συστήματα Mamdani

Η ασαφής συλλογιστική είναι η διαδικασία κατά την οποία σχηματίζεται η απεικόνιση από μια δεδομένη είσοδο σε μια έξοδο , χρησιμοποιώντας τις αρχές της ασαφούς λογικής. Η απεικόνιση αυτή θέτει τις βάσεις με τις οποίες μπορεί να ληφθεί μια απόφαση ή να διακριθούν πρότυπα (patterns). Η διαδικασία αυτή της ασαφούς συλλογιστικής περιλαμβάνει όλα εκείνα τα κομμάτια στα οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως. Δηλαδή τις συναρτήσεις συμμετοχής, τους ασαφείς λογικούς τελεστές και τους κανόνες if-then. Υπάρχουν δύο είδη ασαφών συστημάτων, τα τύπου-Mamdani και τα τύπου Sugeno. Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο αυτά συστήματα έγκεινται κυρίως στον τρόπο με τον οποίο σχηματίζεται η έξοδος του συστήματος. Τα συστήματα Mamdani είναι αυτά που συναντώνται συχνότερα. Η μεθοδολογία των συστημάτων Mamdani εισήχθηκε το 1975 από τον Ebrahim Mamdani.

Θα εξετάσουμε τώρα πως λειτουργεί ένα FIS τύπου Mamdani μέσα από το πρόβλημα του φιλοδωρήματος που αναφέραμε παραπάνω. Το σύστημα έχει δύο εισόδους και τρεις κανόνες. Οι εισοδοί του συστήματος είναι η ποιότητα του φαγητού και η εξυπηρέτηση. Θεωρούμε ότι ο πελάτης βαθμολογεί την ποιότητα του φαγητού και την εξυπηρέτηση με μια κλίμακα από το 0 έως το 10. Η έξοδος του συστήματος είναι το φιλοδώρημα που θα δώσει ο πελάτης και το οποίο κυμαίνεται από 5% έως 25% της τιμής του λογαριασμού. Η βασική του δομή του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 21: Βασική δομή του συστήματος Mamdani στην περίπτωση του προβλήματος του φιλοδωρήματος

Η πληροφορία οδεύει από τα αριστερά προς τα δεξιά και καταλήγει σε μία μοναδική έξοδο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων ασαφούς λογικής είναι η παράλληλη εφαρμογή των κανόνων. Τα κλασικά συστήματα δυαδικής λογικής έχουνε χρήση διακοπών που ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με τις τιμές των εισόδων.

Στα ασαφή συστήματα μεταβαίνετε ομαλά από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τις συνέπειες των κανόνων. Η διαδικασία της απεικόνισης των εισόδων στις εξόδους μέσα από ένα σύστημα ασαφούς λογικής ακολουθεί πέντε βήματα:

1. Ασαφοποίηση των εισόδων.
2. Εφαρμογή των ασαφών λογικών τελεστών στις υποθέσεις των κανόνων.
3. Εφαρμογή των συνεπαγωγών.
4. Σύνθεση όλων των εξόδων όλων των κανόνων.
5. Αποασαφοποίηση.

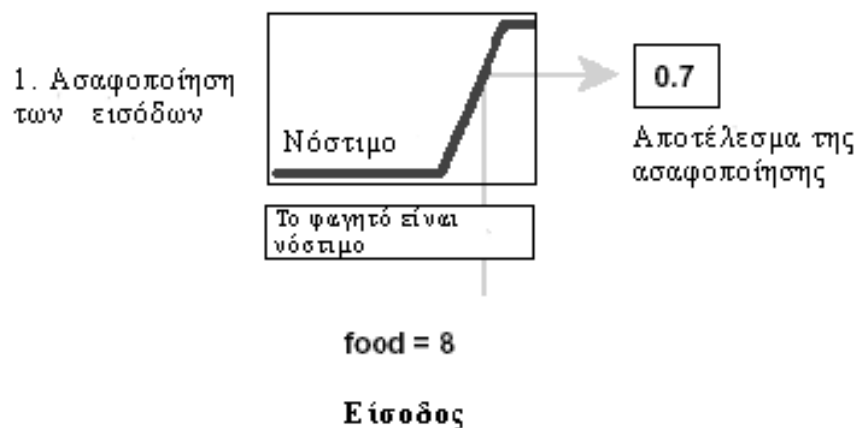
Στη συνέχεια θα εξετάσουμε κάθε βήμα από τα παραπάνω ξεχωριστά.

ΒΗΜΑ 1^ο Ασαφοποίηση των εισόδων (fuzzification).

Το πρώτο βήμα έχει να κάνει με την ασαφοποίηση των εισόδων δηλαδή αυτό που γίνεται είναι να παρθούν οι εισοδοί και να καθοριστεί σε ποιο βαθμό κάθε είσοδος ανήκει σε ένα ασαφές σύνολο μέσα από τις συναρτήσεις συμμετοχής. Οι εισοδοί μπορεί να είναι είτε ασαφή σύνολα, είτε αριθμητικές τιμές μέσα στα όρια του χώρου αναφοράς (στην περίπτωση του προβλήματος που εξετάζεται οι εισοδοί είναι αριθμητικές τιμές από 0 μέχρι 10) και οι έξοδοι είναι βαθμοί συμμετοχής στο προσδιορισμένο ασαφές σύνολο.

Η ασαφοποίηση των εισόδων μπορεί να γίνει είτε με χρήση πίνακα τιμών είτε μέσα από μια συνάρτηση. Το παράδειγμα αυτό είναι δομημένο σε τρεις κανόνες κάθε ένας από τους οποίους προϋποθέτει την κατάταξη των εισόδων σε διαφορετικές λεκτικές μεταβλητές (service is poor, service is good, food is rancid, food is delicious).

Πριν να εφαρμοσθούν οι κανόνες θα πρέπει να ασαφοποιηθούν οι εισοδοί σύμφωνα με τις λεκτικές μεταβλητές. Για παράδειγμα σε ποιο βαθμό το φαγητό είναι νόστιμο. Αν υποθεθεί ότι το φαγητό έχει αξιολογηθεί με μια συγκεκριμένη βαθμολογία από το 0 έως το 10 (π.χ. 8) τότε πως μπορεί να συμπεράνει κανείς σε ποιο βαθμό είναι νόστιμο; Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί μια γραφική απεικόνιση που ουσιαστικά αποτελεί τη συνάρτηση συμμετοχής του ασαφούς συνόλου «νόστιμο». Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ασαφοποίηση της εισόδου «νοστιμιά φαγητού» = 8.

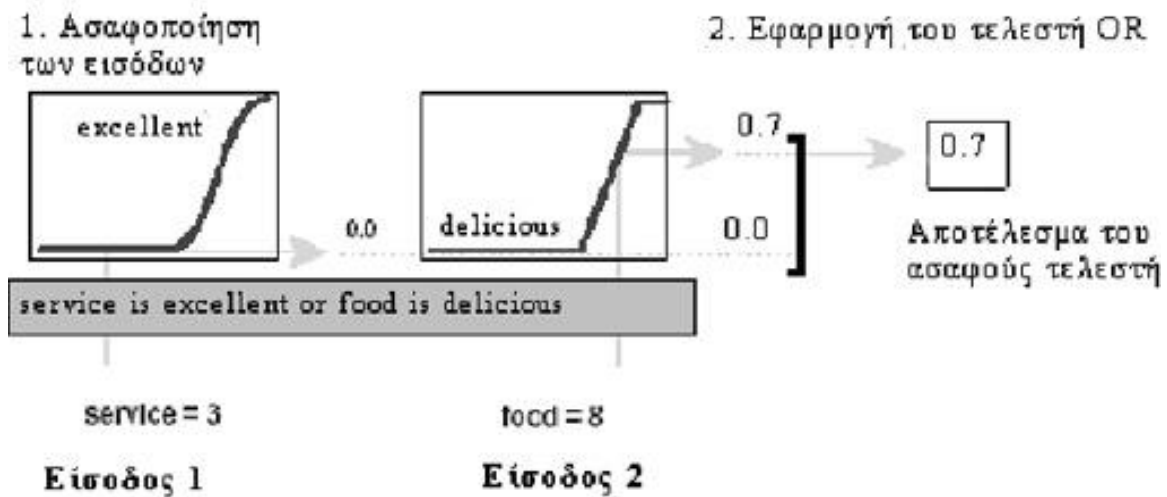


Σχήμα 22: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας της ασαφοποίησης της εισόδου «νοστιμιά φαγητού»

ΒΗΜΑ 2° Εφαρμογή των ασαφών τελεστών.

Αφού έχουν ασαφοποιηθεί οι είσοδοι γίνεται γνωστό σε ποιο βαθμό ικανοποιείται κάθε μέρος των υποθέσεων των if-then κανόνων. Αν ένας κανόνας if-then έχει στο σκέλος if περισσότερα του ενός μέρη τότε πρέπει να εφαρμοσθούν οι ασαφείς τελεστές ώστε να καθορισθεί ένα νούμερο που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της προϋπόθεσης του κανόνα. Το νούμερο αυτό θα εφαρμοσθεί έπειτα στη συνάρτηση εξόδου. Οι είσοδοι ενός λογικού τελεστή είναι δύο ή περισσότεροι βαθμοί συμμετοχής που έχουν προκύψει από τις ασαφοποιημένες μεταβλητές εισόδου. Η έξοδος του τελεστή είναι απλά ένας βαθμός αλήθειας.

Όπως φαίνεται κατά την αναφορά στους ασαφείς τελεστές υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός συναρτήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουν τους τελεστές AND και OR. Συνήθως χρησιμοποιούνται ο τελεστής max για το OR και min για το AND. Στο παρακάτω διάγραμμα σχήμα 23 φαίνεται πως εφαρμόζονται οι τελεστές.



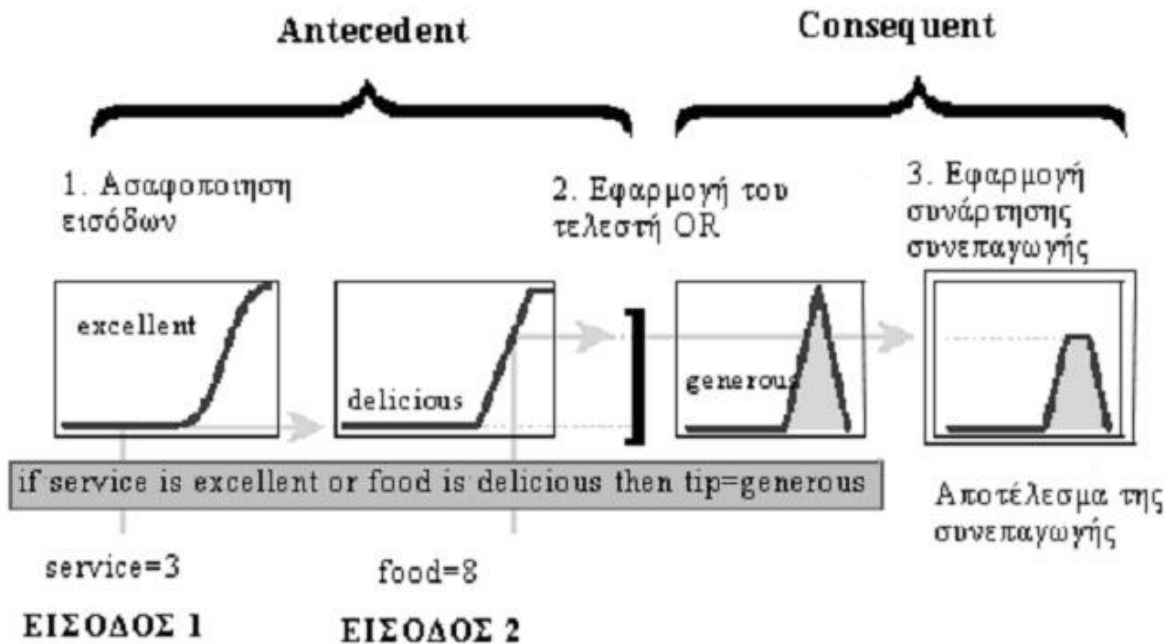
Σχήμα 23: Γραφική απεικόνιση της εφαρμογής του τελεστή OR

ΒΗΜΑ 3° Εφαρμογή των συνεπαγωγών (implication).

Για να εφαρμοστεί η συνάρτηση συνεπαγωγής πρέπει να είναι γνωστό το βάρος του κάθε κανόνα. Οι κανόνες if-then έχουν βάρη τα οποία εφαρμόζονται στο νούμερο που δίνει το κομμάτι της υπόθεσης και που μπορούν να κυμαίνονται από 0 έως 1. Συνήθως τα βάρη αυτά είναι ίσα με 1, ωστόσο γίνεται να δοθεί σ' αυτά μια οποιαδήποτε τιμή από 0 έως 1. Για παράδειγμα αν κάποιος θέλει να δώσει μικρότερη έμφαση σε έναν κανόνα σε σχέση με κάποιον άλλο, αυτό μπορεί να το κάνει μέσω των τιμών των βαρών τους.

Αφού έχει αναθέσει στους κανόνες τα βάρη μπορεί να εφαρμόσει την συνάρτηση συνεπαγωγής. Το αποτέλεσμα ενός κανόνα if-then είναι ένα ασαφές σύνολο που αντιπροσωπεύεται από μια συνάρτηση συμμετοχής που συνθέτει κατάλληλα την είσοδο του κανόνα, τα ασαφή σύνολα της υπόθεσης και τα ασαφή σύνολα του συμπεράσματος. Το αποτέλεσμα αυτό διαμορφώνεται με τη χρήση μιας συνάρτησης που συνδέει την υπόθεση με το συμπέρασμα. Αυτή η συνάρτηση είναι η συνάρτηση συνεπαγωγής. Η είσοδος για τη διαδικασία συνεπαγωγής είναι το αποτέλεσμα του ασαφούς τελεστή που δίδεται από την

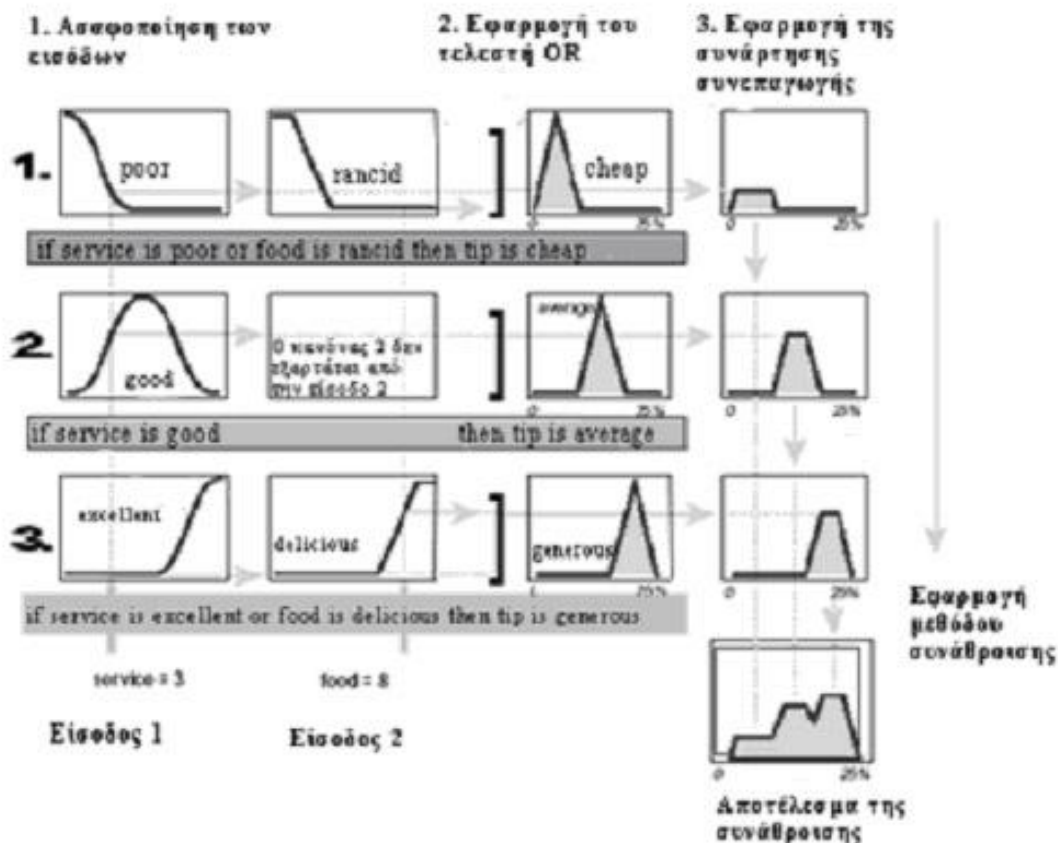
υπόθεση και η έξοδος είναι ένα ασαφές σύνολο. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται για κάθε κανόνα. Στο σχήμα 24 απεικονίζεται η δράση της συναρτήσεως συνεπαγωγής, συνδέοντας το αποτέλεσμα της εφαρμογής του τελεστή OR ή του τελεστή AND με το συμπέρασμα του κανόνα. Στο σχήμα η συνάρτηση συνεπαγωγής είναι η “min” και για το λόγο αυτό παρατηρείται το «κόψιμο» του ασαφούς συνόλου του συμπεράσματος.



Σχήμα 24: Γραφική απεικόνιση της εφαρμογής της συναρτήσεως συνεπαγωγής

ΒΗΜΑ 4° Σύνθεση όλων των εξόδων των κανόνων (aggregation).

Σε ένα FIS οι αποφάσεις βασίζονται στον έλεγχο όλων των κανόνων. Επομένως όλοι οι κανόνες πρέπει να συνδυαστούν προκειμένου να καταλήξουμε σε μια απόφαση. Η σύνθεση των κανόνων είναι μια διαδικασία κατά την οποία όλα τα ασαφή σύνολα που προκύπτουν ως έξοδοι των κανόνων συνδυάζονται ώστε να σχηματίσουν ένα μοναδικό ασαφές σύνολο. Η σύνθεση είναι η διαδικασία που προηγείται της αποασαφοποίησης και δέχεται ως είσοδο τις συναρτήσεις εξόδου του προηγούμενου βήματος. Η διαδικασία της σύνθεσης των εξόδων είναι αντιμεταθετική και έτσι η σειρά με την οποία εκτελούνται οι κανόνες δεν έχει σημασία στην έκβαση του αποτελέσματος. Στο σχήμα 25 παρουσιάζονται οι τρεις κανόνες του προβλήματος και ο τρόπος που συνδυάζονται τα αποτελέσματά τους σε ένα ασαφές σύνολο. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση όλων των εξόδων των κανόνων στο σχήμα είναι η “max”.



Σχήμα 25: Γραφική απεικόνιση της σύνθεσης όλων των εξόδων των κανόνων

ΒΗΜΑ 5° Αποασαφοποίηση (defuzzification).

Η είσοδος για τη διαδικασία της αποασαφοποίησης είναι το ασαφές σύνολο που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα. Η έξοδος της αποασαφοποίησης είναι ένας αριθμός. Η αποασαφοποίηση είναι αναγκαία γιατί είναι επιθυμητό να υπάρχει ως αποτέλεσμα ένας αριθμός που θα επιτρέψει να παρθούν συγκεκριμένες αποφάσεις. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να γίνει η αποασαφοποίηση. Ένας ιδιαίτερα δημοφιλής είναι ο υπολογισμός του κέντρου βάρους της περιοχής που περικλείεται από την καμπύλη της συνάρτησης συμμετοχής του ασαφούς συνόλου. Άλλες επίσης δημοφιλείς μέθοδοι είναι η μέση τιμή, η μέγιστη θέση του μεγίστου και η ελάχιστη θέση του μεγίστου.

Μέθοδος αποασαφοποίησης MAXIMUM

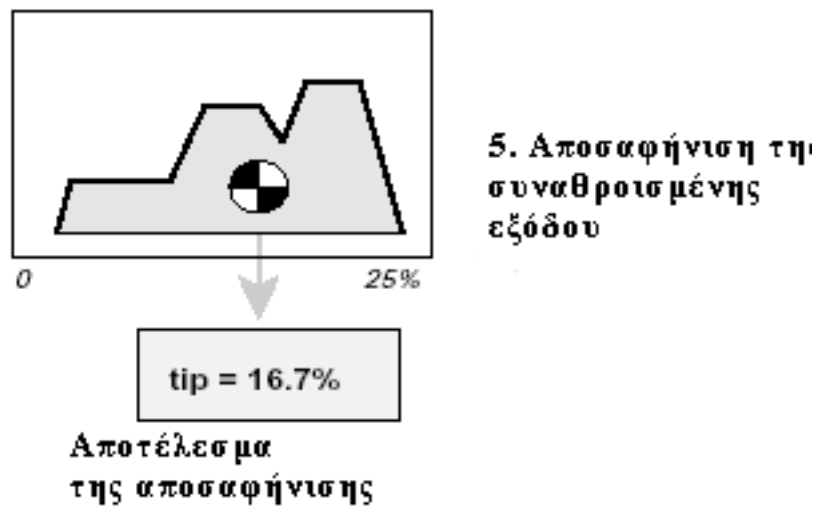
Σύμφωνα με τη μέθοδο αποασαφοποίησης "maximum", η διακριτή τιμή είναι αυτή που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή συνάρτησης συμμετοχής του τελικού αποτελέσματος. Αν υπάρχουν περισσότερες από μία τέτοιες τιμές, τότε λαμβάνεται ανάλογα με την περίπτωση είτε ο μέσος όρος τους (average-of-maximum) ή η μέγιστη τιμή τους (maximum-of-maximum) ή η ελάχιστη τιμή τους (minimum-of-maximum).

Μέθοδος Κέντρου Βάρους (Cendroid)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αποασαφοποίησης “cendroid”, η διακριτή τιμή είναι αυτή που προκύπτει από το κέντρο βάρους της τελικής συνάρτησης συμμετοχής για την ασαφή παράμετρο εξόδου. Το κέντρο βάρους μιας επιφάνειας που ορίζεται από μια συνάρτηση $f(t)$ και τους καρτεσιανούς άξονες, βρίσκεται στη θέση t που ορίζεται από τη σχέση:

$$t_{\kappa\beta} = \frac{\int t \cdot f(t) dt}{\int f(t) dt}$$

Στο σχήμα 26 φαίνεται πως εφαρμόζεται η μέθοδος της αποασαφοποίησης για το παράδειγμα.



Σχήμα 26: Γραφική απεικόνιση της μεθόδου αποασαφοποίησης κέντρου βάρους που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμα

Στην περίπτωση διακριτού συνόλου αναφοράς, τα ολοκληρώματα στην παραπάνω σχέση αντικαθίστανται με διακριτό άθροισμα και γίνεται δειγματοληψία N σημείων στο σύνολο αναφοράς.

Ένα χαρακτηριστικό της μεθόδου αποασαφοποίησης κέντρου βάρους είναι ότι στην περίπτωση που έχει γίνει σύνθεση αποτελεσμάτων από επιμέρους κανόνες και υπάρχουν τυχόν αλληλεπικαλυπτόμενες περιοχές, αυτές λαμβάνονται υπόψη μία μόνο φορά. Επίσης στην περίπτωση που η συνάρτηση συμμετοχής είναι παντού 0, το αποτέλεσμα της αποσαφήνισης ορίζεται κατά σύμβαση.

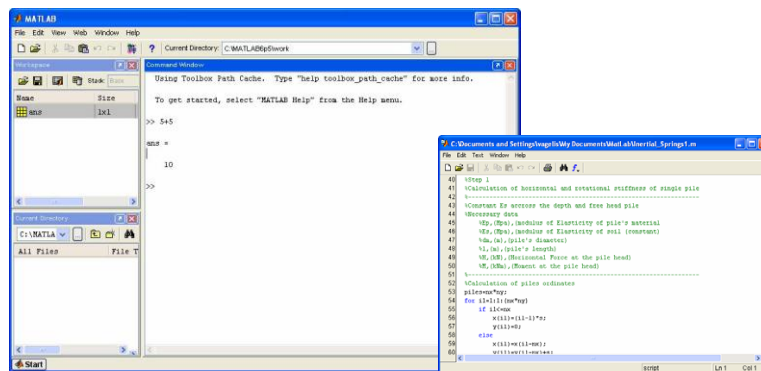
1.2. Γλώσσα προγραμματισμού Matlab

Το MATLAB είναι ένα λογισμικό πακέτο για υψηλής απόδοσης αριθμητικούς υπολογισμούς (numerical computations). Παρέχει στο χρήστη ένα διαδραστικό περιβάλλον με χιλιάδες ενσωματωμένες συναρτήσεις, κατάλληλες για την υλοποίηση απαιτητικών υπολογιστικών αναλύσεων, γραφημάτων καθώς επίσης και για την παραγωγή διαφόρων animations. Επιπλέον, το MATLAB προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης σε ποικίλα πεδία εφαρμογών με τη αξιοποίηση την υψηλού επιπέδου γλώσσας προγραμματισμού, την οποία διαθέτει σε όλες τις εκδόσεις του. Για λόγους πληρότητας, να αναφερθεί ότι το όνομα MATLAB προέρχεται από τις λέξεις MATrix και LABoratory. Το MATLAB αποτελεί ένα εξελιγμένο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της επιστήμης αλλά βέβαια και της πράξης, όπως για παράδειγμα τη μηχανική, την ιατρική, τις θετικές επιστήμες (Μαθηματικά – Φυσική), την οικονομία καθώς και γενικά τη βιομηχανική παραγωγή. Μάλιστα, το φάσμα των εφαρμογών του συγκεκριμένου πακέτου λογισμικού διευρύνεται συνεχώς και περισσότερο, αναδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο τις πολλαπλές δυνατότητες του, όπως:

- Υψηλή απόδοση και ταχύτητα υπολογιστικών αναλύσεων.
- Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών συστημάτων.
- Δυνατότητα υλοποίησης αλγορίθμων.
- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με πληθώρα άλλων προγραμμάτων και εφαρμογών.
- Υψηλής ποιότητας γραφικές απεικονίσεις και animations.
- Δυνατότητα σύνδεσης με διάφορες συσκευές καταγραφής.
- Φιλικότητα προς το χρήστη και διαδραστικός χαρακτήρας.

1.2.1. Το περιβάλλον του Matlab

Το MATLAB υποστηρίζει σχεδόν όλα τα διατιθέμενα λειτουργικά συστήματα. Εκτός από την πλατφόρμα των Windows, μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων, όπως το UNIX, Sun Solaris, Linux και MAC OS 10.3. Σε όλα λοιπόν τα παραπάνω συστήματα, το MATLAB λειτουργεί μέσω τριών βασικών παραθύρων, τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 1 και αναλύονται ευθύς αμέσως.



Εικόνα 1: Το περιβάλλον του Matlab

Η επιφάνεια εργασίας του MATLAB είναι το παράθυρο, το οποίο συναντά ο χρήστης με την εκκίνηση του προγράμματος. Η επιφάνεια εργασίας του MATLAB, εξ' ορισμού, αποτελείται από τα εξής επιμέρους υπό-παράθυρα.

Παράθυρο εντολών (Command Window): Αυτό είναι το βασικό παράθυρο. Χαρακτηρίζεται από το σύμβολο προτροπής (>>, MATLAB command prompt). Το σύνολο των εντολών, συμπεριλαμβανομένων και των εντολών, που αναπτύσσει ο ίδιος ο χρήστης, πληκτρολογούνται στο Παράθυρο εντολών, πάντα με τη χρήση του συμβόλου της προτροπής (μπροστά από την κάθε εντολή). Επίσης, στο τμήμα αυτό της επιφάνειας εργασίας του MATLAB, πραγματοποιείται η εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων για μια εφαρμογή, καθώς χρησιμεύει και για την εξαγωγή των επιζητούμενων αποτελεσμάτων.

Παράθυρο τρέχοντος καταλόγου (Current directory): Είναι το σημείο του της επιφάνειας εργασίας του MATLAB, όπου αναγράφονται το σύνολο των αρχείων, τα οποία είναι αποθηκευμένα στο τρέχον κατάλογο (directory) του συστήματος. Παρέχεται η δυνατότητα πλοήγησης μέσα σε αυτό, όπως επίσης με τη χρήση του ποντικιού (κάνοντας δεξί κλικ με το ποντίκι πάνω στο επιλεγμένο αρχείο), είναι δυνατή η εκτέλεση διάφορων επιλογών, οι οποίες σχετίζονται με το αρχείο (μετονομασία αρχείου, διαγραφή αρχείου, εκτέλεση M- File).

Παράθυρο χώρου εργασίας (Workspace): Στο παράθυρο αυτό, απεικονίζονται όλες οι μεταβλητές, οι οποίες εισάγονται και χρησιμοποιούνται στο Παράθυρο εντολών. Στο παρών παράθυρο παρέχονται πληροφορίες για τον τύπο και το μέγεθος κάθε μεταβλητής. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ανακαλέσει ανά πάσα στιγμή τη μεταβλητή αυτή στο Παράθυρο εντολών, πληκτρολογώντας απλώς το όνομα της. Στις τελευταίες εκδόσεις του MATLAB προσφέρεται η δυνατότητα για κάθε μεταβλητή, η οποία καταγράφεται στο Παράθυρο του χώρου εργασίας, να αναπαρίσταται και μέσω γραφήματος.

Παράθυρο ιστορικού εντολών (Command History): Το σύνολο των εντολών, οι οποίες πληκτρολογούνται στο Παράθυρο εντολών, μετά από κάθε ένα σύμβολο προτροπής, καταγράφονται στο παρών Παράθυρο ιστορικού εντολών. Στο παράθυρο αυτό υπάρχουν καταχωρημένες εντολές, οι οποίες έχουν εκτελεστεί στο πλαίσιο πολυσύνθετων τμημάτων, ακόμα και μέρες πριν από την τελευταία εισαγωγή στο σύστημα. Παρέχεται η δυνατότητα να επιλεγεί από αυτό το παράθυρο μια επιθυμητή εντολή και εν συνεχεία να εκτελεστεί στο παράθυρο εντολών, κάνοντας διπλό κλικ με το ποντίκι πάνω στην εντολή αυτή.

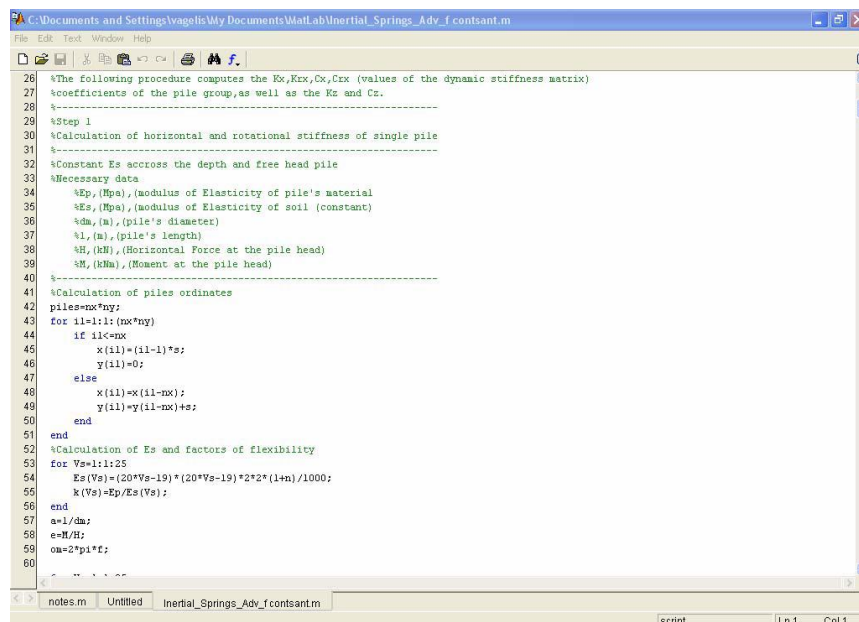
Είναι το παράθυρο, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει, να επεξεργαστεί, να αποθηκεύσει τα δικά του αρχεία εντολών, τα οποία κυρίως απαρτίζονται από τα M-Files. Αν και είναι δυνατό τα αρχεία αυτά να συνταχθούν μέσω των κλασικών προγραμμάτων σύνταξης (text editors), το MATLAB προσφέρει το αντίστοιχο πρόγραμμα, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο πακέτο λογισμικού.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή, πρέπει να γίνει αναφορά στο πλήκτρο της Έναρξης (Start), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επίδειξη συγκεκριμένων εργαλειαθικών του MATLAB, καθώς και για επεξήγηση του τρόπου εφαρμογής αυτών.

1.2.2. Προγραμματίζοντας στο Matlab (δομές και βρόγχοι)

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του MATLAB είναι η δυνατότητα της απλής προέκτασης του σε ποικίλες εφαρμογές, μέσω της σύνταξης από το χρήστη αυτόνομων κωδίκων και προγραμμάτων. Το λογισμικό προσφέρει στο χρήστη τη χρήση μιας ενσωματωμένης γλώσσας προγραμματισμού, η οποία διαθέτει κοινά χαρακτηριστικά με τη γλώσσα προγραμματισμού C. Μάλιστα, δεν είναι υπερβολικό να θεωρηθεί ότι η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού του MATLAB ίσως είναι καταλληλότερη και υψηλότερου επιπέδου για εφαρμογές Μηχανικού, οι οποίες απαιτούν ισχυρά υπολογιστικά εργαλεία, κάτι το οποίο είναι δύσκολο να επιτευχθεί από τις κλασικές γλώσσες προγραμματισμού. Στο MATLAB ο χρήστης μπορεί να αναπτύξει κώδικα στα M-Files. Τα M-Files είναι τυπικά ASCII αρχεία κειμένου (text files), συνοδευόμενα από την προέκταση .m στο όνομα του αρχείου και στα οποία ο χρήστης κάνει χρήση της γλώσσας προγραμματισμού του λογισμικού. Τα περισσότερα M-Files είναι δυνατό να ενεργοποιηθούν μέσω οποιοδήποτε προγράμματος επεξεργασίας κειμένου (editor or word processing application) ένα τέτοιο πρόγραμμα διαθέτει το παρόν λογισμικό (M-file Editor). Υπάρχουν δύο είδη M-file. Τα αρχεία κειμένου ή script files και τα αρχεία συναρτήσεων ή function files.

Τα αρχεία κειμένου ή script files αποτελούν ένα σύνολο από εντολές του MATLAB. Τα αρχεία αυτά εκτελούνται μέσα από το παράθυρο εντολών (Command window), πληκτρολογώντας το όνομα του αρχείου, χωρίς την προέκταση .m, αριστερά από το σύμβολο της προτροπής (prompt). Όλα αυτή η διαδικασία είναι ισοδύναμη με την πληκτρολόγηση μιας προς μιας του συνόλου των εντολών, οι οποίες περιέχονται μέσα στο εν λόγω αρχείο κειμένου, στο παράθυρο των εντολών. Οι μεταβλητές, οι οποίες χρησιμοποιούνται μέσα στους κώδικες των script files έχουν καθολικό χαρακτήρα (global variables), με αποτέλεσμα να καταγράφονται στο πλαίσιο του παραθύρου του χώρου εργασίας (workspace), τόσο οι μεταβλητές, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως δεδομένα του προβλήματος όσο και αυτές, οι οποίες φέρουν τα αποτελέσματα.



```
26 %The following procedure computes the Kx,KKx,Cx,Crx (values of the dynamic stiffness matrix)
27 %coefficients of the pile group,as well as the Kz and Cz.
28 %-----
29 %Step 1
30 %Calculation of horizontal and rotational stiffness of single pile
31 %-----
32 %constant Es across the depth and free head pile
33 %Necessary data
34 %Ep,(Mpa),(modulus of Elasticity of pile's material
35 %Es,(Mpa),(modulus of Elasticity of soil (constant)
36 %dm,(m),(pile's diameter)
37 %l,(m),(pile's length)
38 %H,(kN),(Horizontal Force at the pile head)
39 %M,(kNm),(Moment at the pile head)
40 %-----
41 %Calculation of piles ordinates
42 piles=mx*ny;
43 for i1=1:1:(nx*ny)
44     if i1<=mx
45         x(i1)=(i1-1)*s;
46         y(i1)=0;
47     else
48         x(i1)=x(i1-mx);
49         y(i1)=y(i1-mx)+s;
50     end
51 end
52 %Calculation of Es and factors of flexibility
53 for Vs=1:1:25
54     Es(Vs)=(20*Vs-19)*(20*Vs-19)^2*2*(1+n)/1000;
55     k(Vs)=Ep/Es(Vs);
56 end
57 a=L/dm;
58 e=M/H;
59 om=2*pi*f;
60
```

Εικόνα 2: Η δημιουργία ενός αρχείου m-file

Τα αρχεία κειμένου είναι δυνατό να περιέχουν αριθμούς, μεταβλητές, εντολές και συναρτήσεις είτε του ίδιου του MATLAB (ενσωματωμένες στο λογισμικό) είτε αναπτυγμένες από το χρήστη. Από τα προηγούμενα προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα *script files* είναι χρήσιμα στις περιπτώσεις, όπου ο χρήστης πρέπει να επαναλάβει μια συγκεκριμένη ροή εντολών και πράξεων αρκετές φορές και με διαφορετικές κάθε φορά τιμές για τα δεδομένα.

Ένα αρχείο συνάρτησης (*function file*) είναι επίσης ένα M-file, όπως άλλωστε και τα προαναφερθέντα αρχεία κειμένου (*script file*), με μόνη διαφορά το γεγονός ότι οι μεταβλητές στο αρχείο συνάρτησης είναι τοπικά ορισμένες (*local*) και όχι όπως στα αρχεία κειμένου, όπου οι μεταβλητές είναι καθολικής εμβέλειας. Τα αρχεία συνάρτησης είναι ουσιαστικά σαν τα προγράμματα ή καλύτερα τις υπορουτίνες, οι οποίες δημιουργούνται στο πλαίσιο των γνωστών γλωσσών προγραμματισμού όπως η Fortran και η Visual Basic η C κ.α. Αναμφισβήτητα τα αρχεία συναρτήσεων είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα κομμάτια του MATLAB.

Ένα αρχείο συνάρτησης πρέπει οπωσδήποτε να ξεκινά με τη γραμμή, όπου ορίζεται η συνάρτηση και συγκεκριμένα καταγράφονται αναλυτικά τόσο οι μεταβλητές εισαγωγής όσο και αυτές της εξαγωγής των αποτελεσμάτων. Χωρίς αυτή την εισαγωγική γραμμή, της οποίας η σύνταξη έχει την ακόλουθη μορφή, το αρχείο συνάρτησης μετατρέπεται σε αρχείο κειμένου (*script file*).

function [output variables] = function _name (input variables);

Να σημειωθεί ότι το όνομα της συνάρτησης (*function _name*) πρέπει να ταυτίζεται με το όνομα του αρχείου M-file, χωρίς βέβαια την κατάληξη .m, το οποίο περιέχει την εν λόγω συνάρτηση. Για παράδειγμα, αν το όνομα της συνάρτησης είναι *spectra*, τότε και το όνομα του αρχείου συνάρτησης, το οποίο περιέχει τη συνάρτηση αυτή, πρέπει να είναι *spectra.m*. Ο ακριβής τρόπος σύνταξης της εισαγωγικής γραμμής εξαρτάται από αν υπάρχει εξαγόμενο αποτέλεσμα, δηλαδή αν συντρέχει λόγος για ορισμό της μεταβλητής των αποτελεσμάτων και αν πράγματι συντρέχει ο παραπάνω λόγος, από το πλήθος των απαραίτητων μεταβλητών αποτελέσματος.

Λογικοί τελεστές και σχεσιακοί τελεστές

Το MATLAB διαθέτει τρεις λογικούς τελεστές, όπως αυτοί παρουσιάζονται στον πίνακα 2, συνοδευόμενες από σύντομες ερμηνείες. Βέβαια στη μαθηματική λογική υπάρχει και τέταρτος λογικός τελεστής, το αποκλειστικό ή. Στο συγκεκριμένο λογισμικό ο τελευταίος αυτός λογικός τελεστής είναι η συνάρτηση *xor*.

Σύμβολο	Ερμηνεία
&	Λογικό ναι
	Λογικό ή
~	Λογικό όχι
xor	Αποκλειστικό ή

Πίνακας 1: Λογικοί τελεστές

Εκτός από τους λογικούς τελεστές υπάρχουν και οι σχεσιακοί τελεστές, οι οποίες υλοποιούν τις διάφορες συγκρίσεις με αριθμούς, σε αντίθεση με τους προαναφερθέντες λογικούς τελεστές, οι οποίοι διακρίνουν μόνο δύο καταστάσεις (1- αληθής και 2-ψευδής). Να σημειωθεί ότι εκτός από τους σχεσιακούς τελεστές οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια, το Matlab διαθέτει αρκετές συναρτήσεις οι οποίες πραγματοποιούν διαφόρους ελέγχους.

Σύμβολο	Ερμηνεία
<	Μικρότερο
<=	Μικρότερο ή ίσο
>	Μεγαλύτερο
>=	Μεγαλύτερο ή ίσο
==	Ίσο
~=	Όχι ίσο

Πίνακας 2: Σχεσιακοί τελεστές

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα χρήσης των σχεσιακών τελεστών:

>> clear all ↵	
>> x=20; ↵	ορισμός μεταβλητής x
>> y=30; ↵	ορισμός μεταβλητής y
>> z=x>y ↵	έλεγχος αν η τιμή της x είναι μεγαλύτερη της τιμής της y
z =	
0	απόρριψη ορθότητας ελέγχου
>> z=x<=y ↵	έλεγχος αν η τιμή της x είναι μικρότερη ή ίση με την τιμή της y
z =	
1	επιβεβαίωση ορθότητας ελέγχου
>> z=x==y ↵	έλεγχος αν η τιμή της x είναι ίση με την τιμή της y
z =	
0	απόρριψη ορθότητας ελέγχου
>> t=x~=y ↵	έλεγχος αν η τιμή της x είναι διάφορη της τιμής y
t =	
1	επιβεβαίωση ορθότητας ελέγχου

Εικόνα 3: Παράδειγμα χρήσης σχεσιακών τελεστών

Τέλος, για την καλύτερη κατανόηση συνολικά της χρήσης των τελεστών του Matlab, υλοποιείται ένα πλήρες παράδειγμα, σύμφωνα με το οποίο από ένα δεδομένο μητρώο, θα ελεγχθούν ποια από τα στοιχεία του είναι μεγαλύτερα ή ίσα του 21 και μικρότερα του 39.

<pre>>> clear all ← >> A=[10,15,20;25,30,35;40,45,50]; ← >> C=A>=21 & A<39 ← C = 0 0 0 1 1 1 0 0 0</pre>	<p>ορισμός 3x3 μητρώου A</p> <p>έλεγχος αν στοιχεία του μητρώου A είναι μεγαλύτερα ή ίσα του 21 και μικρότερα του 39</p> <p>αποτέλεσμα του ελέγχου → μόνο τα στοιχεία a_{21}, a_{22} και a_{23} ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη</p>
---	---

Εικόνα 4: Πλήρες παράδειγμα χρήσης τελεστών

Δομές ελέγχου ροής προγράμματος

Οι δομές ελέγχου ροής του προγράμματος είναι σύνολα εντολών, τα οποία απαιτούν ειδικό τρόπο σύνταξης. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν εν συντομία οι πιο συχνά εφαρμοζόμενες δομές ελέγχου στο Matlab.

Δομή for loops: Ο βρόγχος *for* υλοποιεί την κατ' επανάληψη εκτέλεση μια ή και περισσότερων εντολών για ένα προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων. Για την ορθή σύνταξη του μετρητή απαιτείται η δήλωση της αρχικής και της τελευταίας τιμής καθώς και του βήματος μεταβολής. Σε περίπτωση κατά την οποία δε δηλωθεί το βήμα της μεταβολής, τότε το Matlab λαμβάνει για αυτό την εξ' ορισμού τιμή ίση με την μονάδα.

<pre>>> clear all ← >> for i=1:1:10 ← length=1+i*10; ← end ←</pre>	<p>ορισμός μετρητή επαναληπτικής διαδικασίας</p> <p>εκτέλεση εντολής, η οποία επαναλαμβάνεται τέλος βρόγχου</p>
<pre>>> for m=1:10:100 ← load=2*m/5; ← end ←</pre>	<p>ορισμός μετρητή επαναληπτικής διαδικασίας</p> <p>εκτέλεση εντολής, η οποία επαναλαμβάνεται τέλος βρόγχου</p>

Εικόνα 5: Εκτέλεση βρόγχου for

Δομή while: Η δομή *while* περιέχει μέσα στο σώμα της εντολές, οι οποίες εκτελούνται όσο η συνθήκη, την οποία ελέγχει, είναι αληθής. Η δομή αυτή συνήθως χρησιμοποιείται στην περίπτωση κατά την οποία δεν είναι προκαθορισμένος εκ των προτέρων ο αριθμός των επαναλήψεων, οι οποίες απαιτούνται για την ικανοποίηση της συνθήκης. Συγκεκριμένα, η λειτουργία της καταρχήν έγκειται στον έλεγχο για το αν η συνθήκη είναι αληθής και αν ικανοποιείται ο έλεγχος αυτός τότε εκτελούνται όλες οι εντολές, οι οποίες βρίσκονται εντός της δομής. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται εκ νέου έλεγχος αληθείας της συνθήκης και στην περίπτωση κατά την οποία εξακολουθεί να ικανοποιείται, εξακολουθεί και

αντίστοιχα η εκτέλεση των εντολών. Στην αντίθετη περίπτωση (η συνθήκη είναι πλέον ψευδής) η εκτέλεση των εντολών διακόπτεται.

>> num = 0; ↵	αρχικοποίηση της μεταβλητής num
>> eps = 1; ↵	αρχικοποίηση της μεταβλητής eps
>> while (1+eps)>1 ↵	ορισμός συνθήκης της δομής while
eps=eps*0.5 ↵	εκτέλεση εντολών
num=num+1 ↵	
end ↵	τέλος δομής
num = 53	εμφάνιση τελικής τιμής μεταβλητής num
>> eps=2*eps ↵	εμφάνιση του επιζητούμενου αποτελέσματος
eps = 2.2204e-016	

Εικόνα 6: Εκτέλεση βρόγχου *while*

Δομή *if*: Με τη δομή *if* είναι δυνατό να εκτελεστούν επί μέρους εντολές, ανάλογα με τις συνθήκες, οι οποίες ικανοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Το σύνολο των εντολών $i = 1, 2, n$ εκτελείται μόνο αν ικανοποιούνται οι αντίστοιχες συνθήκες, αν δηλαδή είναι αληθείς οι συνθήκες $i = 1, 2, \dots, n$. Αντίθετα το σύνολο των εντολών για $n + 1$ εκτελούνται μόνο στην περίπτωση κατά την οποία, καμία από τις συνθήκες $i = 1, 2, \dots, n$ δεν προκύπτουν αληθείς. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση δομής, έτσι και σε αυτή είναι δυνατό εντός του συνόλου των εντολών να εμπεριέχονται ακόμα διαφορετικές δομές τύπου *if*, όπως βέβαια και οι υπόλοιπες δομές.

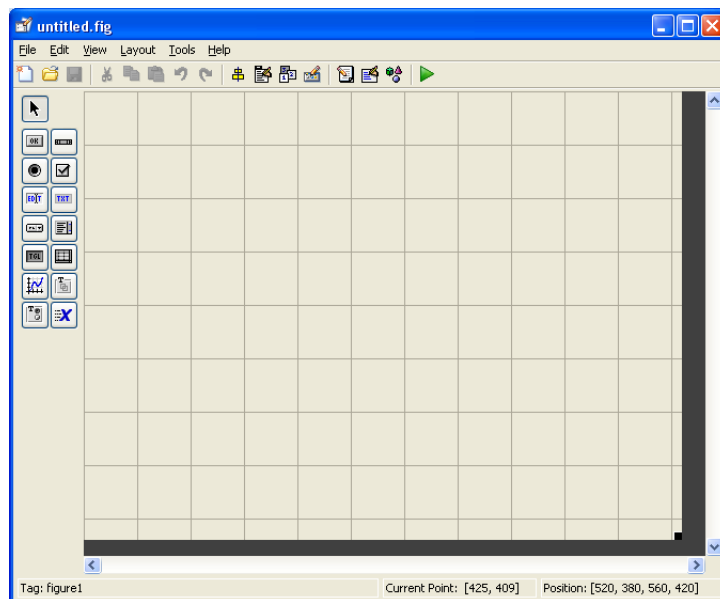
>> seismiczone=3; %επιλογή ζωνη σεισμ.επικ. III ↵	αρχικοποίηση της μεταβλητής seismiczone
>> if seismiczone==1 ↵	πρώτη συνθήκη
a=0.12; ↵	εντολή 1 ^{ης} συνθήκης
elseif seismiczone==2 ↵	δεύτερη συνθήκη
a=0.24; ↵	εντολή 2 ^{ης} συνθήκης
elseif seismiczone==3 ↵	τρίτη συνθήκη
a=0.36; ↵	εντολής 3 ^{ης} συνθήκης
end ↵	τέλος δομής
>> a ↵	εμφάνιση του επιζητούμενου
a =	αποτελέσματος
0.3600	

Εικόνα 7: Εκτέλεση δομής *if*

1.2.3. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη του Matlab (GUI)

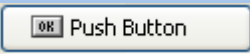
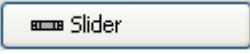
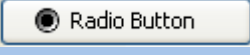
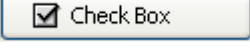
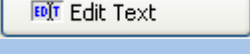
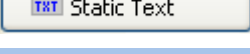
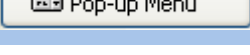
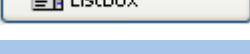
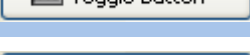
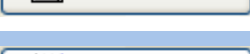
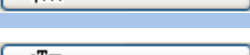
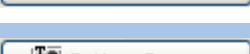
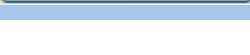
Το ακρωνύμιο *GUI* προέρχεται από τις λέξεις *Graphical User Interface* και αποδίδεται ελεύθερα στα ελληνικά ως "Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη". Αν εργάζεστε στο λειτουργικό σύστημα των Windows και συγκεκριμένα ασχολείστε με την εφαρμογή του προγράμματος Word, κάνετε χρήση ενός γραφικού περιβάλλοντος που περιλαμβάνει ζώνη τίτλων (*title bar*), ζώνη μενού (*menu bar*), εργαλειοθήκες (*toolbars*), κυλιόμενες ζώνες (*scroll bars*) και ζώνες κατάστασης (*status bars*). Αν εργάζεσθε με κάποιο σχεδιαστικό (CAD) πρόγραμμα, το γραφικό περιβάλλον που έχετε στην διάθεση σας, σας επιτρέπει να επιλέξετε ανάμεσα σε διάφορες σχεδιαστικές οντότητες όπως για παράδειγμα, γραμμές, κύκλους ή γραμμές τύπου 'spline', επίσης να μεγεθύνετε ή να σμικρύνετε την εικόνα του σχεδίου, να αλλάξετε τα είδη των γραμμών, τα πάχη και τα χρώματα, καθώς επίσης να κάνετε εφαρμογή και άλλων χρήσιμων ιδιοτήτων. Το σύνολο όλων αυτών των εργαλείων αποτελούν στην ουσία γραφικά περιβάλλοντα εργασίας, ή GUI's όπως λέγονται και τα χειριζόμαστε κυρίως κάνοντας χρήση του ποντικιού με απλό ή και διπλό κλικ πάνω σε εικονίδια, κουμπιά, μενού, ή και μετακινώντας κυλιόμενες ζώνες παραθύρων. Τα παράθυρα που υποστηρίζει το MATLAB παρέχουν και αυτά τέτοια γραφικά περιβάλλοντα, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της μελέτης του παρόντος βιβλίου. Εκτός από τα γραφικά περιβάλλοντα χρήσης που περιλαμβάνει το MATLAB, έχουμε επιπλέον και την δυνατότητα να δημιουργήσουμε τα δικά μας γραφικά περιβάλλοντα για κάποιους συγκεκριμένους σκοπούς.

Στα γραφικά περιβάλλοντα γίνεται εκτενής χρήση των διαχειριστών γραφικών (*handle graphics*). Μια λεπτομερής και αναλυτική αναφορά στους διαχειριστές γραφικών καθώς και στα διάφορα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα γραφικά περιβάλλοντα, θα απαιτούσε ένα ολόκληρο βιβλίο. Όπως και να έχει, τα αντικείμενα αυτά εμπλουτίζουν την εργασία στο γενικότερο περιβάλλον. Στην εικόνα 3 φαίνεται το περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το δικό του *GUI*.



Εικόνα 8: Δημιουργία νέου GUI

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται εν συντομία τα χαρακτηριστικά με τα οποία μπορεί να εμπλουτίσει κανείς το γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) που θέλει να δημιουργήσει.

	Το Push Button δημιουργεί μια ενέργεια όταν πατηθεί (π.χ. ένα κουμπί OK που κλείνει το παράθυρο διαλόγου όταν εισαχθούν τα δεδομένα).
	Το Slider είναι ένας τρόπος να εισάγει ο χρήστης αριθμητικά δεδομένα με συγκεκριμένο πεδίο ορισμού, χρησιμοποιώντας μια κυλιόμενη μπάρα.
	Τα Radio Button συνεργάζονται μεταξύ τους σε ομάδες με σκοπό ένα από αυτά να παίρνει την τιμή 1 ενώ τα υπόλοιπα της ίδιας ομάδας την τιμή 0.
	Τα Check Box μοιάζουν με τα Radio Button είναι όμως ανεξάρτητα μεταξύ τους και παίρνουν είτε την αληθή τιμή 1 είναι την τιμή 0.
	Το Edit Box είναι ένα πεδίο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να μορφοποιήσει αλφαριθμητικά δεδομένα.
	Το Static Text προβάλει στην οθόνη μια γραμμή κειμένου. Χρησιμοποιείται τυπικά ως ετικέτα παρέχοντας οδηγίες στον χρήστη.
	Το Pop-up Menu παρέχει στον χρήστη μια λίστα επιλογών που ανοίγει όταν πατηθεί με το ποντίκι από τον χρήστη.
	Το Listbox μοιάζει με το Pop-up Menu και παρέχει στο χρήστη μια λίστα επιλογών ενός ή περισσότερων αντικειμένων που παραμένει ανοιχτή.
	Το Toggle Box δημιουργεί μια ενέργεια που εκδηλώνεται από μια δυαδική κατάσταση (ενεργό ή όχι).
	Το Table έχει την ίδια χρήση με το Pop-up Menu και το Listbox, παρέχει όμως στο χρήστη τις επιλογές σε μορφή πίνακα.
	Το Axes ενεργοποιούν το γραφικό περιβάλλον χρήστη ώστε να παρουσιάσει γραφικά (διαγράμματα ή εικόνες).
	Το Panel δημιουργεί ένα πλαίσιο με το οποίο είναι δυνατή η ομαδοποίηση κάποιων από το παραπάνω χαρακτηριστικών.
	Το Button Group είναι στα το Panel, επιδρά όμως αυτόματα στην ομαδοποίηση των Radio button.

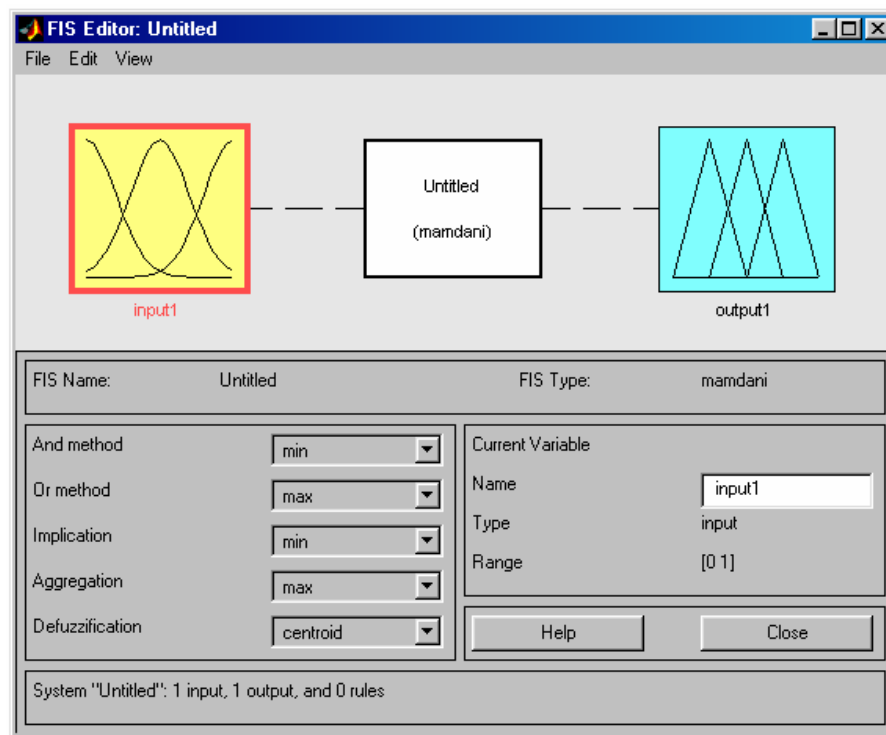
Πίνακας 3: Τα χαρακτηριστικά του Graphical User Interface

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, λειτουργούν το καθένα ως ξεχωριστό *Function* και είναι απαραίτητος ο προγραμματισμός τους για να επικοινωνήσουν με τα υπόλοιπα στοιχεία του προγράμματος. Εντολές, ρουτίνες, βρόγχοι και δομές που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι της ίδιας μορφής με αυτές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1.2.2. ενώ ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει και επιπλέον εντολές που έχουν σχέση με την μορφή, την θέση και τις τιμές των χαρακτηριστικών που επιθυμεί να προσθέσει στο *Γραφικό του περιβάλλον (GUI)*.

1.2.4. Ασαφείς κανόνες στο περιβάλλον του Matlab.

Εκτός από τη μεγάλη ευκολία που μας παρέχει σχετικά με επεξεργασία και απεικόνιση δεδομένων το *MATLAB* είναι εφοδιασμένο και με ένα σύνολο από εργαλειοθήκες (toolboxes) που είναι ολοκληρωμένα περιβάλλοντα και βιβλιοθήκες που μας δίνουν τεράστια ευκολία σχεδιασμού και ανάλυσης σε εξειδικευμένα πεδία της επιστήμης. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την εργαλειοθήκη ασαφούς λογικής (*fuzzy toolbox*) που μας δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού ασαφών συστημάτων.

Το *MATLAB* ανταποκρίνεται ενεργοποιώντας τον συντάκτη συστημάτων ασαφούς συμπερασμού (*FIS Fuzzy Inference System Editor*) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 9, ο οποίος μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε πλήρως ένα ασαφές σύστημα. Ο προκαθορισμένος τύπος ασαφούς συστήματος είναι ο τύπος *mamdani*. Μπορούμε όμως να καθορίσουμε και ασαφές σύστημα τύπου *TSK*, από το *menu\file\new fis*.



Εικόνα 9: Η εργαλειοθήκη δημιουργίας ασαφών συστημάτων του Matlab

Καθορίζοντας ένα νέο ασαφές σύστημα μπορούμε να καθορίσουμε τον αριθμό και το εύρος των μεταβλητών εισόδου το διαμερισμό τους, τον τύπο του ασαφούς συμπερασμού τους ασαφείς κανόνες και γενικά όλα τα βήματα σχεδιασμού

Το διάγραμμα (Εικόνα 9) δείχνει τις εισόδους, εξόδους και ένα κεντρικό επεξεργαστή ασαφών κανόνων. Εάν επιλέξουμε με το ποντίκι ένα από τα κουτιά μεταβλητές, τότε αυτό θα γίνει η τρέχουσα μεταβλητή. Το κουτί θα πρέπει να τονιστεί με κόκκινο χρώμα. Διπλή επιλογή με το ποντίκι (double-click) σε κάποια από τις μεταβλητές θα πρέπει να εμφανίσει το παράθυρο του συντάκτη συναρτήσεων συμμετοχής (*Membership Function Editor*). Διπλή επιλογή με το ποντίκι (double-click) στον επεξεργαστή ασαφών

κανόνων θα εμφανίσει τον συντάκτη κανόνων (*Rule Editor*). Εάν μία μεταβλητή υπάρχει αλλά δεν αναφέρεται στη βάση κανόνων, τότε συνδέεται με τον επεξεργαστή κανόνων με διακεκομμένη γραμμή.

Οι επιλογές της μπάρας εργαλείων του συντάκτη συστημάτων ασαφούς συμπερασμού (*FIS Editor*) επιτρέπουν να ανοιχτούν τα σχετικά GUI εργαλεία, να ανοίξουν και να αποθηκευτούν συστήματα κλπ.

- Κάτω από το **File** επιλέξτε

New Mamdani FIS... για να ανοίξει ένα νέο σύστημα Mamdani-style χωρίς μεταβλητές και χωρίς κανόνες, το οποίο ονομάζεται Untitled.

New Sugeno FIS... για να ανοίξει ένα νέο σύστημα Sugeno-style χωρίς μεταβλητές και χωρίς κανόνες, το οποίο ονομάζεται Untitled.

Open from disk... για να ανοίξει ένα σύστημα από ένα συγκεκριμένο .fis αρχείο του δίσκου.

Save to disk για να το τρέχον σύστημα σε ένα .fis αρχείο στο δίσκο.

Save to disk as... για να αποθηκευτεί το τρέχον σύστημα στο δίσκο με την δυνατότητα να μετονομαστεί ή να του αλλάξει θέση.

Open from workspace... για να ανοίξει ένα σύστημα από μία συγκεκριμένη μεταβλητή (FIS δομή) του χώρου εργασίας (workspace).

Save to workspace... για να αποθηκευτεί το σύστημα στην τρέχουσα μεταβλητή (FIS δομή) του χώρου εργασίας (workspace).

Save to workspace as... για να αποθηκευτεί το σύστημα σε μία συγκεκριμένη μεταβλητή (FIS δομή) του χώρου εργασίας (workspace).

Close window για να κλείσει το παράθυρο.

- Κάτω από το **Edit** επιλέξτε

Add input για να προστεθεί μία ακόμη είσοδο στο σύστημα.

Add output για να προστεθεί μία ακόμη έξοδο στο σύστημα.

Remove variable για να διαγραφτεί μία συγκεκριμένη μεταβλητή.

Undo για να ματαιωθεί την πιο πρόσφατη μεταβολή.

- Κάτω από το **View** επιλέξτε

Edit MFs... για να ανοίξει ο συντάκτης συναρτήσεων συμμετοχής (*Membership Function Editor*).

Edit rules... για να ανοίξει ο συντάκτης κανόνων (*Rule Editor*).

Edit anfis... για να ανοίξει ο συντάκτης ANFIS (*ANFIS Editor*) για συστήματα Sugeno με μία μόνο έξοδο.

View rules... για να ανοίξει η επισκόπηση των κανόνων (*Rule Viewer*).

View surface... για να ανοίξει η επισκόπηση επιφανειών (*Surface Viewer*).

Το MATLAB παρέχει πέντε pop-up menus για μεταβληθεί η λειτουργία των πέντε βασικών βημάτων στην διαδικασία ασαφούς συνεπαγωγής (*fuzzy implication process*)

- **And method:** Επιλέγεται min, prod, ή Custom για μία μέθοδο σύμφωνα με τις οδηγίες.
- **Or method:** Επιλέγεται max, probor (probabilistic or), or Custom για μία μέθοδο σύμφωνα με τις οδηγίες.
- **Implication method:** Επιλέγεται min, prod, or Custom για μία μέθοδο σύμφωνα με τις οδηγίες. Αυτή η επιλογή δεν είναι διαθέσιμη για ασαφή συνεπαγωγή τύπου Sugeno.
- **Aggregation method:** Επιλέγεται max, sum, probor, or Custom για μία μέθοδο σύμφωνα με τις οδηγίες. Αυτή η επιλογή δεν είναι διαθέσιμη για ασαφή συνεπαγωγή τύπου Sugeno.
- **Defuzzification method:** Για συνεπαγωγή τύπου Mamdani, επιλέγεται centroid, bisector, mom (middle of maximum), som (smallest of maximum), lom (largest of maximum), or Custom για μία μέθοδο σύμφωνα με τις οδηγίες. Για συνεπαγωγή τύπου Sugeno, επιλέγεται μεταξύ wtaver (weighted average) ή wtsum (weighted sum).

1.3. To Corine Land Cover και οι κατηγορίες του

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα βασικότερα στοιχεία της θεωρίας των φωτοερμηνευτικών κλειδιών καθώς και τα κλειδιά που βρίσκονται στο εγχειρίδιο του Corine.

1.3.1. Φωτοερμηνευτικά κλειδιά

Πολλές φορές στη Φωτοερμηνεία και την τηλεπισκόπηση χρειάζεται να εργαστεί κανείς, παραβάλλοντας δειγματοληπτικά, χαρακτηριστικά τμήματα απεικονίσεων διαφόρων τηλεπισκοπικών δεκτών, φωτογραφικών και μη, με στοιχεία, γεγονότα και φαινόμενα της αντίστοιχης φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας, όπως αυτά έχουν απομνημονευθεί εμπειρικά, ή καταχωρήθηκαν σε κατάλληλες μορφές, σε εικόνες, πίνακες, εκθέσεις κ.λπ.

Στη θέση αυτή θα εξεταστεί, με ποια λογική και τεχνική μπορούν να εισαχθούν συγκεκριμένα στοιχεία μιας αεροφωτογραφίας με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του πεδίου και πως τελικά είναι δυνατό ν' αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα αυτής της δουλειάς, ως οδηγός παράταξη, έτσι ώστε κάθε φορά που φαίνεται μια συγκεκριμένη μορφή, μ αυτά τα εξωτερικά και εσωτερικά χαρακτηριστικά σε μια εικόνα, να γίνεται με σημαντικό βαθμό αξιοπιστίας να βεβαιωθεί η ταυτότητα ενός, ή μιας σειράς από εναλλακτικές πιθανές κατηγορίες, αντικειμένων ή προτύπων.

Έτσι δημιουργούνται τα πολύ χρήσιμα εργαλεία, στη φωτοερμηνευτική διαδικασία, τα «φωτοερμηνευτικά κλειδιά». Οριακή περίπτωση φωτοερμηνευτικού κλειδιού θα μπορούσε να θεωρηθεί, η εικονιστική, ή και περιγραφική έκφραση ενός επίγειου ελέγχου.

Με τον όρο λοιπόν φωτοερμηνευτικά κλειδιά, εννοούνται, εικονιστικά, αριθμητικά(ψηφιακά) ή και περιγραφικά στοιχεία τεκμηρίωσης κι αναφοράς της συγκεκριμένης πραγματικότητας, τα οποία ανάγονται σε θεμελιώδεις γνώσεις κάποιου επιστημονοτεχνικού πεδίου, απ' τη σκοπιά του οποίου γίνεται ερμηνεία κάποιων απεικονίσεων. Ιδανικά ένα κλειδί αποτελείται από δύο τμήματα:

α) Μία συλλογή στερεό-ζευγών με σχόλια ή υποτίτλους που αποτελούν επεξήγηση των προς αναγνώριση αντικειμένων ή των συνθηκών τους.

β) Μία γραφική ή λεκτική περιγραφή, η οποία διατυπώνει κατά ένα συστηματικό τρόπο τα χαρακτηριστικά αναγνώρισης αυτών των αντικειμένων ή των συνθηκών.

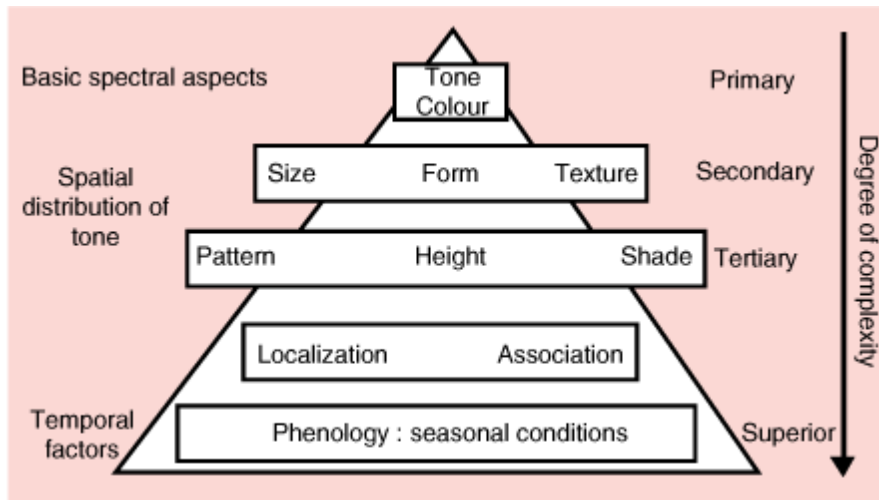
Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι φωτοερμηνευτικών κλειδιών οι οποίοι διακρίνονται από τη μέθοδο παρουσίασης των διαγνωστικών χαρακτηριστικών. Τα κλειδιά επιλογής τα οποία περιέχουν πολυάριθμα φωτογραφικά παραδείγματα με κατάλληλο επεξηγηματικά κείμενο και τα κλειδιά αποκλεισμού τα οποία χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η φωτοερμηνεία να διεξαχθεί βήμα προς βήμα, από το γενικό προς το ειδικό, και να οδηγήσει στον αποκλεισμό όλων των αντικειμένων, εκτός από το ζητούμενο,

Τα φωτοερμηνευτικά κλειδιά μπορεί να είναι χρήσιμα, επειδή εξασφαλίζουν ταχύτητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου αεροφωτογραφιών/απεικονίσεων. Επειδή μπορούν να βοηθήσουν στη συλλογή ταυτόχρονα πολλών τύπων πληροφοριών μια που είναι εύκολη η εκπαίδευση σε σύντομο χρόνο, μεγάλου αριθμού προσωπικού στη χρήση ειδικών φωτοερμηνευτικών κλειδιών, έτσι ώστε να μπορεί να

γίνεται, «εν σειρά» και με ειδικό καταμερισμό η φωτοερμηνευτική αναγνώριση. Όταν δεν υπάρχει δυνατότητα καμιάς άλλης πληροφοριακής υποδομής και προσπέλασης σε μια μεγάλη περιοχή, στην οποία διατίθενται κάποιες σειρές παλιών αεροφωτογραφιών και για την οποία πρέπει πολύ σύντομα να διατυπωθεί κάποιου τύπου εκτίμηση και συμπεράσματα.

1.3.2. Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία

Στο παράρτημα παρατίθεται λίστα με όλα τα φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που δύνανται να χρησιμοποιηθούν. Ενδεικτικά τα σημαντικότερα φωτοαναγνωριστικά στοιχεία, όπως φαίνονται και στην εικόνα 10 κατά σειρά απλοϊκότητας είναι:



Εικόνα 10: Η πυραμίδα των φωτοαναγνωριστικών στοιχείων

Απόχρωση

Η απόχρωση αναφέρεται στο χρώμα των αντικειμένων στη φωτογραφία. Συνδυάζεται με τον τόνο και εξαρτάται από το είδος της φωτογραφίας. Ίδια αντικείμενα έχουν διαφορετικές αποχρώσεις στις υπέρυθρες και παγχρωματικές απεικονίσεις αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο η αποχρώσεις και τόνοι συγκεκριμένων αντικειμένων να αναφέρονται μαζί με το είδος των απεικονίσεων στις οποίες αντιστοιχούν.

Μέγεθος

Το μέγεθος των αντικειμένων στις αεροφωτογραφίες πρέπει να ληφθεί υπ' όψη σε σχέση με τη κλίμακα της φωτογραφίας. Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπ' όψη τα σχετικά μεγέθη μεταξύ των αντικειμένων στις φωτογραφίες ίδιας κλίμακας.

Σχήμα

Το σχήμα αναφέρεται στη γενική μορφή, διάταξη ή περίγραμμα των μεμονωμένων αντικειμένων. Στην περίπτωση των στερεοσκοπικών φωτογραφιών, το ύψος του αντικειμένου επίσης ορίζει το σχήμα του. Το σχήμα μερικών αντικειμένων είναι τόσο ευδιάκριτο ώστε οι απεικονίσεις τους να μπορούν να αναγνωριστούν αποκλειστικά μ' αυτό το κριτήριο.

Υφή

Η υφή είναι η συχνότητα των αλλαγών των τόνων του γκρι σε μια φωτογραφία. Η υφή δημιουργείται από τη συνάθροιση μοναδιαίων στοιχείων (αντικειμένων), τα οποία μπορεί να είναι πολύ μικρά για να διακριθούν μεμονωμένα σε μια αεροφωτογραφία, όπως τα φύλλα των δένδρων και οι σκιές του φυλλώματος. Είναι μια έκφραση των μεμονωμένων σχημάτων, μεγεθών, προτύπων, σκιών και τόνων των μικρών μοναδιαίων αυτών στοιχείων. Η υφή καθορίζει την «ομαλότητα» ή την «τραχύτητα» των αντικειμένων της εικόνας. Καθώς η κλίμακα μιας φωτογραφίας μειώνεται, η υφή ενός συγκεκριμένου αντικειμένου ή μιας περιοχής σταδιακά γίνεται ομαλότερη και τελικά εξαφανίζεται. Ο φωτοερμηνευτής συχνά μπορεί να διακρίνει χαρακτηριστικά εικόνων με παρόμοιες ανακλαστικότητες, στηριζόμενος σε διαφορές στην υφή. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να αποτελέσει και η ομαλή υφή του πράσινου γρασιδιού, καθώς αυτή αντιπαράτίθεται στη τραχεία υφή που παρουσιάζουν οι πράσινες κόμες των δέντρων σε αεροφωτογραφίες μεσαίας κλίμακας.

Πρότυπο

Το πρότυπο σχετίζεται με τη χωρική διάταξη των αντικειμένων. Η επανάληψη προκαθορισμένων γενικών μορφών ή σχέσεων, είναι χαρακτηριστική για πολλά αντικείμενα, φυσικά και ανθρωπογενή, και δίνει στα αντικείμενα ένα πρότυπο το οποίο υποβοηθά τον φωτοερμηνευτή να τα αναγνωρίσει.

Σκιές

Οι σκιές είναι σημαντικές για τους φωτοερμηνευτές για δύο αντιφατικούς λόγους: (1) η σκιά ή το περίγραμμα μιας σκιάς προσδίδει την εντύπωση του προφίλ των αντικειμένων (γεγονός που υποβοηθά την Φωτοερμηνεία), και (2) τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε σκιές ανακλούν λίγο φώς και είναι δύσκολο να διακριθούν στις αεροφωτογραφίες (γεγονός που εμποδίζει την Φωτοερμηνεία). Για παράδειγμα, οι σκιές που δημιουργούνται από διάφορα είδη δέντρων ή ανθρωπογενή χαρακτηριστικά (γέφυρες, αποθήκες, πύργους κτλ) μπορούν σίγουρα να συντείνουν στη αναγνώριση τους στις αεροφωτογραφίες. Επίσης οι σκιές που έχουν προέλθει από μικρές διαφορές στο υψόμετρο του ανάγλυφου, ειδικά στην περίπτωση φωτογραφιών που ελήφθησαν με χαμηλή γωνία ύψους του ήλιου, μπορούν να βοηθήσουν στην αποτίμηση των φυσικών τοπογραφικών αποκλίσεων, οι οποίες με τη σειρά τους μπορεί να είναι ενδεικτικές διαφόρων ειδών γεωμορφών.

Θέση στο χώρο

Η θέση ενός αντικειμένου στο χώρο αναφέρεται στην τοπογραφική ή τη γεωγραφική θέση και αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό βοήθημα για την αναγνώριση των ειδών βλάστησης και γεωμορφών. Για παράδειγμα, συγκεκριμένα είδη δένδρων θα αναμενόταν να εμφανίζονται σε επαρκώς αποστραγγιζόμενες ορεινές τοποθεσίες, ενώ άλλα είδη δένδρων θα αναμενόταν να εμφανίζονται σε ανεπαρκώς αποστραγγιζόμενες πεδινές τοποθεσίες.

Χωρική διάταξη

Η χωρική διάταξη (συσχέτιση) αναφέρεται στην εμφάνιση συγκεκριμένων αντικειμένων σε σχέση με κάποια άλλα. Για παράδειγμα, ένας τροχός σ' ένα λούνα παρκ μπορεί να είναι δύσκολο να αναγνωριστεί εάν είναι σταθμευμένος σ' ένα χώρο κοντά σε μια σιταποθήκη, αλλά θα ήταν εύκολο να αναγνωριστεί, εάν βρισκόταν σε μία περιοχή, η οποία έχει αναγνωριστεί ως ένα πάρκο ψυχαγωγίας.

1.3.3. Οι κατηγορίες του Corine Land Cover

Το CLC Project είναι μέρος του προγράμματος Corine και επιδιώκει την ακριβή παροχή τοπικής γεωγραφικής πληροφορίας όσον αφορά την εδαφοκάλυψη των 12 κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το σχέδιο είναι απαραίτητο για τους ακόλουθους λόγους:

α) Προκαταρκτική εργασία στο σύστημα πληροφορίας του CORINE έδειξε ότι δεδομένα σχετικά με την εδαφοκάλυψη σε συνδυασμό με δίκτυα απορροής, κλίσεις του εδάφους κτλ. ήταν ουσιώδη για τη διαχείριση περιβαλλοντικών και φυσικών πάρων. Γι αυτό και η βάση δεδομένων του CORINE αποτελεί ένα σύστημα αναφοράς για πολλές περιβαλλοντικές εργασίες.

β) Σε όλες τις χώρες της κοινότητας, οι πληροφορίες για την εδαφοκάλυψη σε κρατικό επίπεδο είναι ετερογενής και δύσκολο να αποκτηθούν.

γ) Σε κοινοτικό επίπεδο, στο σύστημα του CORINE, οι πληροφορίες για την εδαφοκάλυψη και τις μεταβολές της μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία και είναι άμεσα χρήσιμες για την λήψη αποφάσεων και διευθέτηση περιβαλλοντικής πολιτικής που στόχο έχει να εξάγει συμπεράσματα από πολύπλοκες υποθέσεις όπως για παράδειγμα χαρτογράφηση διάβρωσης και των ανάλογων κινδύνων που εμπεριέχει.

Για τη χρήση ενός μόνο κοινού σχεδίου σε κοινοτικά, κρατικό αλλά και τοπικό επίπεδο είναι απαραίτητη η μεταβολή της γενικής ορολογίας που περιγράφει την εδαφοκάλυψη, Έτσι χρειάζεται κοινή αποδοχή της χρησιμοποιούμενης κλίμακας, της μικρότερης χαρτογραφήσιμης επιφάνειας και της ονοματολογίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κατηγορίες του Corine 3^{ου} επιπέδου όπως βρίσκονται στο βασικό εγχειρίδιο του Corine μαζί με παραδείγματα από δορυφορικές εικόνες Landsat TM από Ελληνικές περιοχές σε διάφορα έγχρωμα σύνθετα αλλά και όπως φαίνονται με το λόγο των καναλιών band3/band4 (δείκτης βλάστησης).

1 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

1.1 Αστικός ιστός

1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός

1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός

1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών

1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες

1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα

1.2.3 Ζώνες λιμένων

1.2.4 Αεροδρόμια

1.3 Ορυχεία, χώροι απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης

1.3.1 Χώροι εξορύξεως υλικών

1.3.2 Χώροι απόρριψης απορριμμάτων

1.3.3 Χώροι οικοδόμησης

1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου

1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου

1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού-αναψυχής

2 ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

2.1 Αρόσιμη γη

- 2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
- 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
- 2.1.3 Ορυζώνες

2.2 Μόνιμες καλλιέργειες

- 2.2.1 Αμπελώνες
- 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
- 2.2.3 Ελαιώνες

2.3 Λιβάδια

- 2.3.1 Λιβάδια

2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές

- 2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
- 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες
- 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- 2.4.4 Γεωργό-δασικές περιοχές

3 ΔΑΣΗ και ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

3.1 Δάση

- 3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων
- 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων
- 3.1.3 Μεικτό δάσος

3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης

- 3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι
- 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
- 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση
- 3.2.4 Μεταβατικές θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις

3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση

- 3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
- 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι
- 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
- 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις
- 3.3.5 Παγετός και ανέασο χιόνι

4 ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ

4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας

- 4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
- 4.1.2 Τυρφώνες

4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι

- 4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι
- 4.2.2 Αλυκές
- 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα

5 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

5.1 Χερσαία ύδατα

- 5.1.1 Υδατορρεύματα
- 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος

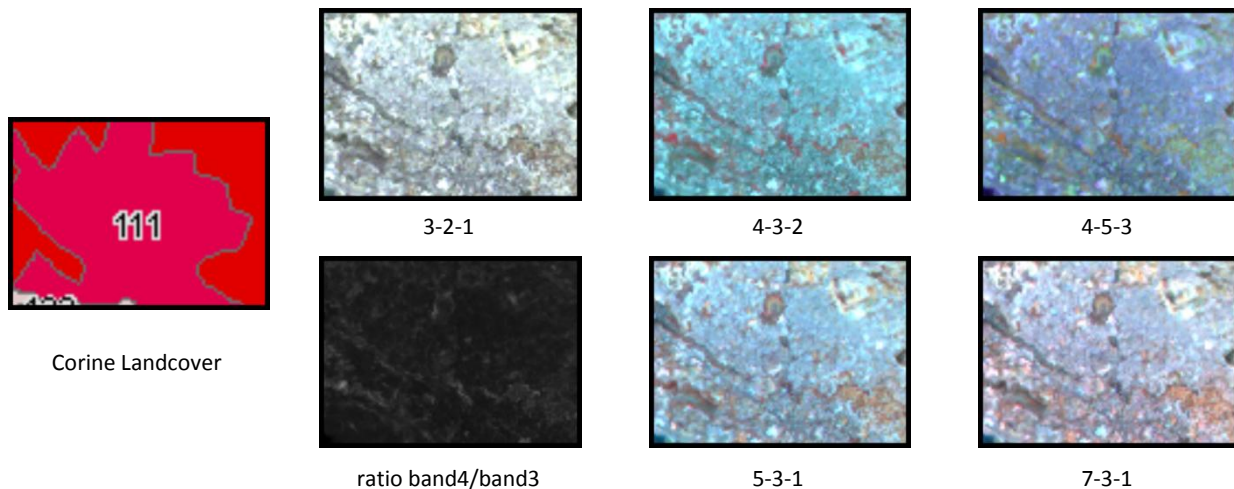
5.2 Θαλάσσια ύδατα

- 5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες
- 5.2.2 Εκβολές ποταμών
- 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός.

Περιγραφή

Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας καλύπτεται από κατασκευές και το μεταφορικό δίκτυο. Κτίρια, δρόμοι και περιοχές τεχνητών επιφανειών καλύπτουν περισσότερο από το 80% της συνολικής επιφάνειας. Μη γραμμικές περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους αποτελούν εξαιρέσεις.



Εικόνα 11: Παράδειγμα συνεχούς αστικού ιστού στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.

Η συνεχής αστική δόμηση εμφανίζεται με μπλε ή σκούρο μπλε-γκρι χρώμα στις δορυφορικές εικόνες. Τα κέντρα των αστικών τμημάτων μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν στις δορυφορικές εικόνες με μια αναφορά σε τοπογραφικούς χάρτες.

Σε μερικές περιπτώσεις η διάκριση ανάμεσα στη συνεχή και την ασυνεχή αστική δόμηση μπορεί να είναι δύσκολη. Το όριο, ανάμεσά τους, μπορεί να οριστεί κυρίως με τον καθορισμό της παρουσίας και της ποσότητας της βλάστησης.

Αν ένα αστικό τμήμα, διασχίζεται από έναν ποταμό ή δρόμο, πλάτους μικρότερου των 100μ, τότε αυτός αγνοείται. Η περιοχή ταξινομείται σαν ένα ενιαίο τμήμα.

Ακόμη και σε περιπτώσεις γραμμικής αστικής ανάπτυξης, ακόμη και αν τα κτίρια βρίσκονται εκατέρωθεν ενός δρόμου και ο δρόμος αυτός έχει μόλις 75μ πλάτος, και εφόσον η συνολική επιφάνεια υπερβαίνει τα 25 εκτάρια, η περιοχή είναι σαν συνεχή αστική δόμηση (ή σαν ασυνεχής αστική δόμηση, αν οι περιοχές δεν είναι συνεχόμενες).

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι το 80% κάλυψης τεχνητών επιφανειών, αναφέρεται σε πραγματική κάλυψη εδάφους. Επομένως ο εντοπισμός αυτού του λεπτού σημείου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθεί η σύγχυση της φαινομενικής βλάστησης (π.χ. ορατών δεντροκορυφών) και διαπερατών επιφανειών κάτω από τα δέντρα. Για παράδειγμα, στα πεζοδρόμια που υπάρχουν δέντρα, η πραγματική επιφάνεια του εδάφους κάτω από αυτά καλύπτεται κυρίως από ασφαλτο και τσιμέντο. Έτσι, το ποσοστό της βλάστησης πρέπει να εκτιμάται λαμβάνοντας υπ' όψιν το σχήμα της δόμησης και το περιβάλλον που είναι ορατά στις δορυφορικές εικόνες. Συγκεκριμένα, η επιρροή της βλάστησης πρέπει να υποτιμάται σε περιπτώσεις που έχει γραμμική δομή.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Είδη αστικών κέντρων και πυκνών αρχαίων περιχώρων, που τα κτίρια σχηματίζουν μια συνεχή και ομοιογενή δομή.
- Δημόσιες υπηρεσίες και τοπικές κρατικές ή εμπορικές/βιομηχανικές δραστηριότητες με τις εγκαταστάσεις τους, εντός συνεχής αστικής δόμησης, όταν η επιφάνειά τους είναι μικρότερη των 25 εκταρίων.
- Διάκενα ορυκτών τμημάτων.
- Χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, επιφάνειες από σκυρόδεμα ή άσφαλτο.
- Συγκοινωνιακό δίκτυο.
- Μικρές πλατείες, πεζόδρομοι, αυλές.
- Αστικό πράσινο (πάρκα και περιοχές με γρασίδι) που ανέρχονται στο 20% της συνολικής έκτασης της περιοχής.
- Νεκροταφεία με βλάστηση ή χωρίς, και συνολική έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων που βρίσκονται μέσα στη συνεχή αστική δόμηση.

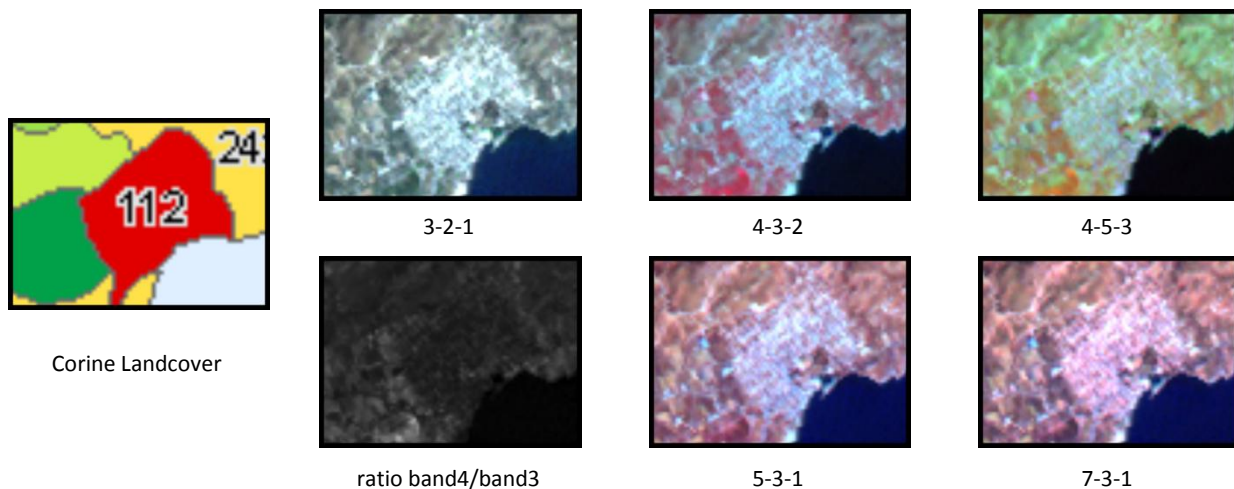
Ιδιότητες

- i.* Οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% της συνολικής επιφάνειας.
- ii.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του μπλε και/ή γκρι.
- iii.* Η υφή, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, είναι λεπτόκοκκη, τραχεία.
- iv.* Το γυμνό έδαφος και η βλάστηση δεν καταλαμβάνουν περισσότερο από το 20% της συνολικής επιφάνειας του εδάφους ενώ έχουν κυρίως γραμμικό σχήμα.
- v.* Μπορεί να συγχέεται με την 1.1.2. κατηγορία της ασυνεχής αστικής δόμησης καθώς συνήθως περικλείεται από αυτήν.

1.1.2. Ασυνεχής αστικός ιστός.

Περιγραφή

Το μεγαλύτερο μέρος της γης καλύπτεται από κατασκευές. Κτίρια, δρόμοι και περιοχές τεχνητών επιφανειών συνδυάζονται με περιοχές βλάστησης και γυμνού εδάφους τα οποία καταλαμβάνουν ασυνεχείς αλλά σημαντικές εκτάσεις.



Εικόνα 12: Παράδειγμα ασυνεχούς αστικού ιστού στην περιοχή του Βόλου το έτος 1991.

Η ασυνεχής αστική δόμηση περιλαμβάνει κατοικίες που περικλείουν τα μεγάλα αστικά κέντρα και αστικά τμήματα σε αγροτικές περιοχές.

Αυτά τα συγκροτήματα αποτελούνται από οικοδομικά τετράγωνα με διαμερίσματα πολυκατοικιών, μονοκατοικιών, δρόμους και πάρκα, ενώ κανένα από αυτά τα στοιχεία δεν έχει επιφάνεια μεγαλύτερη των 25 εκταρίων.

Αυτό το είδος κάλυψης γης, ξεχωρίζει από την συνεχή αστική δόμηση, από την παρουσία διαπερατών επιφανειών: κήποι, πάρκα και περιοχές αστικού πρασίνου.

Κτίρια, δρόμοι και περιοχές τεχνητών επιφανειών καλύπτουν το 30% με 80% της συνολικής επιφάνειας της περιοχής.

Το αντικείμενο αυτής της κατηγορίας δεν συμπεριλαμβάνει σκόρπιες γεωργικές κατοικίες (αποτελούμενες από γεωργικά κτίρια ή καλύμματα), ή σκόρπιες κύριες και δευτερεύουσες κατοικίες σε φυσικές ή γεωργικές περιοχές.

Η διάκριση ανάμεσα στην συνεχή και ασυνεχή αστική δόμηση καθορίζεται από την παρουσία βλάστησης που είναι ορατή από τις δορυφορικές εικόνες και αντικατοπτρίζει είτε μονοκατοικίες με κήπους είτε διάσπορα οικοδομικά τετράγωνα με περιοχές πρασίνου ανάμεσά τους. Η πυκνότητα των κατοικιών είναι το κύριο κριτήριο για να αποδοθεί η κατηγορία κάλυψης της γης σε οικοδομημένες ή γεωργικές περιοχές (2.4.2.). Στις περιπτώσεις εναλλαγής τεμαχίων μικρών καλλιεργειών και σκόρπιων κατοικιών, το κατώτατο όριο για την ασυνεχής αστική δόμηση είναι το 30% τουλάχιστον αστικής δομής μέσα σε αυτή την μωσαϊκής μορφής περιοχή.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Ατομικές ιδιοκτησίες, ξέχωρες προαστιακές κατοικίες με ιδιωτικούς κήπους και/ή μικρές πλατείες.
- Διάσκορπα οικοδομικά τετράγωνα διαμερισμάτων, κωμοπόλεις, μικρά χωριά, όπου πολυάριθμοι κενοί χώροι (κήποι, γρασίδια, όχι βράχοι) μπορούν ξεχωρίζουν.
- Μεγάλα οικοδομικά τετράγωνα διαμερισμάτων, όπου πράσινοι χώροι, περιοχές στάθμευσης και παιδικές χαρές καλύπτουν σημαντικές εκτάσεις.
- Συγκοινωνιακό δίκτυο.
- Περιοχές αθλητικών δραστηριοτήτων, με έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων, που περικλείονται από αυτή την κατηγορία.
- Κτίρια εκπαιδευτικά, φροντίδας υγείας, παραγωγικών λειτουργιών και αγορές που περιβάλλονται απ' αυτή την κατηγορία και έχουν έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων.
- Νεκροταφεία με βλάστηση ή χωρίς, και συνολική έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων που περιβάλλονται απ' αυτή την κατηγορία.
- Εταιρίες κοινής ωφέλειας με έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων.
- Εξοχικά, όταν οι υποδομές, σπίτια, δρόμοι είναι ορατές από τις δορυφορικές εικόνες και συνδέονται με οικισμούς.
- Τρωγλοδυτικά χωριά κατά μήκος οδών και υπόγειες κατοικίες, ορατές από τις δορυφορικές εικόνες.

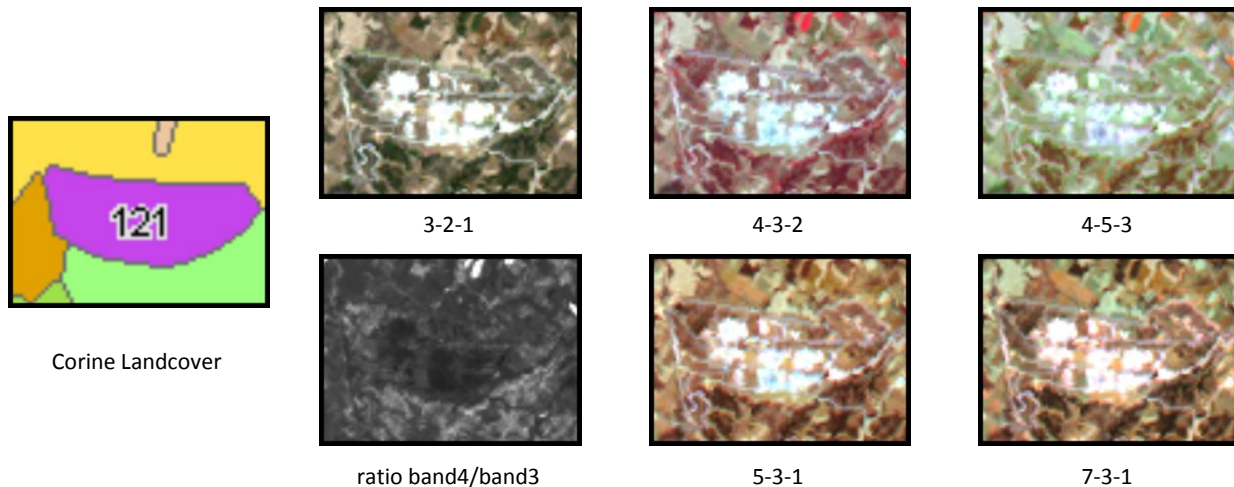
Ιδιότητες

- i.* Οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν ποσοστό ανάμεσα στο 30% και 80% της συνολικής επιφάνειας.
- ii.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του μπλε και/ή γκρι, αλλά σε πιο ανοιχτούς τόνους σε σχέση με την 1.1.1. κατηγορία.
- iii.* Το ποσοστό βλάστησης και γυμνού εδάφους καταλαμβάνει σημαντικές εκτάσεις, μεγαλύτερες του 20% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Η υφή, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, είναι λεπτόκοκκη, τραχεία.
- v.* Μπορεί να συγχέεται με την κατηγορία της συνεχής αστικής δόμησης 1.1.1. καθώς την περικλείει στις μεγάλες πόλεις.

1.2.1. Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες.

Περιγραφή

Περιοχές τεχνητής επιφάνειας (τσιμέντου, ασφάλτου, ασφαλτικού σκυροδέματος ή σταθεροποιημένης γης), χωρίς παρουσία βλάστησης στο μεγαλύτερο τμήμα, που περιλαμβάνει επίσης κτίρια και/ή βλάστηση.



Εικόνα 13: Παράδειγμα της κατηγορίας 1.2.1. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.

Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης αναγνωρίζεται κυρίως με την βοήθεια τοπογραφικών χαρτών ή αεροφωτογραφιών. Είναι επίσης δυνατόν να εντοπιστούν και να απεικονιστούν νέες βιομηχανικές τοποθεσίες, που δεν περιλαμβάνονται σε τοπογραφικούς χάρτες, συγκρίνοντας την υφή και την δομή τους, με περιοχές του ίδιου τύπου που εμφανίζονται στους χάρτες. Τυπικά η υφή θα είναι ετερογενής (μείγμα μεγάλων κτιρίων, χώρων στάθμευσης, αποθηκών, κλπ). Περιοχές υπό αυτή τη κατηγορία, ολόκληρα βιομηχανικά ή εμπορικά συγκροτήματα κτιρίων, συμπεριλαμβανομένου των δρόμων πρόσβασης, της τοπογραφίας της περιοχής, των χώρων στάθμευσης, κλπ. Πολύ μεγάλοι χώροι ταφής απορριμμάτων (> 25 εκταρίων) δεν περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία.

Οι βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες που εντοπίζονται μέσα σε στη συνεχή ή ασυνεχή αστική δόμηση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν μόνο όταν είναι ξεχωρίζουν από τις κατοικήσιμες περιοχές (βιομηχανικά συγκροτήματα με επιφάνεια μεγαλύτερη των 25 εκταρίων μαζί με τους παρακείμενους χώρους: χώροι στάθμευσης, αποθήκες, κλπ).

Σανατόρια, κτίρια υπηρεσιών σπα, νοσοκομεία, γηροκομεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, εκπαιδευτικά ιδρύματα, πανεπιστήμια, εμπορικά κέντρα που γειτνιάζουν με ή είναι εκτός αστικών τμημάτων σχετίζονται με αυτή την κατηγορία, όπως και οι παρακείμενοι χώροι, παρκινγκ, αθλητικές εγκαταστάσεις, έρημη γη, κλπ που υπερβαίνουν τα 25 εκτάρια. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει επίσης μεγάλες βιομηχανικές φάρμες, εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων, τεχνητές λίμνες ιχθυοκαλλιέργειας. Τα μεγάλα θερμοκήπια δεν περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία.

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

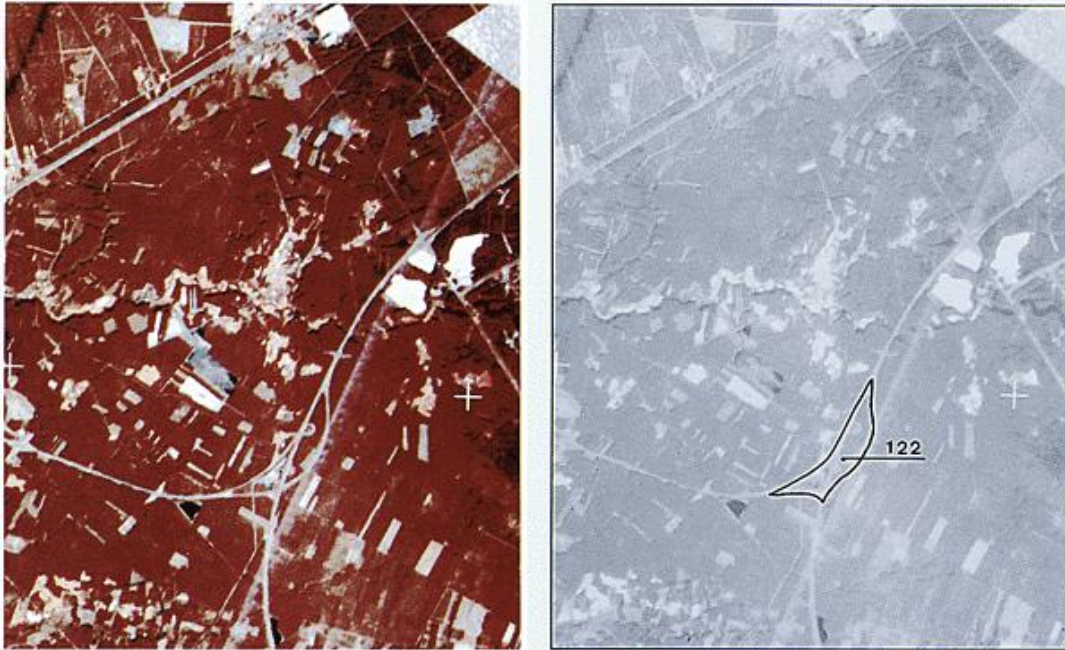
- Αναπτυξιακά και ερευνητικά ιδρύματα.
- Υπηρεσίες ασφάλειας, νόμου και τάξης (πυροσβεστική σταθμοί, σωφρονιστικά ιδρύματα.
- Κοινοφελή ιδιωτικά ιδρύματα (οίκοι ευγηρίας, κλινικές, ορφανοτροφεία, κ.λπ.)
- Ιπποτροφεία, γεωργικές εγκαταστάσεις (εταιρίες, κρατικά αγροτικά επίκεντρα, φάρμες ζώων, ενεργά και υπό βιομηχανική εκμετάλλευση κτίρια).
- Εκτεθειμένες, αίθριες τοποθεσίες.
- Εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, στρατώνες, βιολογικές εγκαταστάσεις κατεργασίας λυμάτων, μετασχηματιστές.
- Μεγάλα εμπορικά και εκθεσιακά κέντρα.
- Νοσοκομεία, εγκαταστάσεις ιαματικών λουτρών (σπα).
- Σχολεία, πανεπιστήμια.
- Χώροι στάθμευσης.
- Εγκαταλελειμμένες βιομηχανικές ζώνες, παραπροϊόντα βιομηχανικών δράσεων, όπου τα κτίρια είναι ακόμη παρόντα.
- Φράγματα ανάσχεσης νερού και υδροηλεκτρικά φράγματα μεγαλύτερα των 25 εκταρίων.
- Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα (σταθμοί αναμετάδοσης για την τηλεόραση, τηλεσκοπία, σταθμοί ραντάρ).

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του μπλε και/ή γκρι.
- ii.* Η υφή, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, είναι ετερογενής, περισσότερο απαλή και χονδρόκοκκη από τις παραπάνω κατηγορίες λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των κτιρίων σε συνδυασμό με μικρότερα, χώρων στάθμευσης, κ.λπ.
- iii.* Οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν ποσοστό μεγαλύτερο του 30% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Εμφανής απουσία βλάστησης εντός την περιοχής.

1.2.2. Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα.

Περιγραφή

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει αυτοκινητόδρομους και σιδηρόδρομους, μαζί με την παρακείμενη γη και τις εγκαταστάσεις (σταθμοί, πλατφόρμες, αναχώματα). Ελάχιστο πλάτος για να συμπεριληφθεί : 100μ.



Εικόνα 14: France/Area Arcachon, SPOT 3.2.1, 1:100 000, March 1989

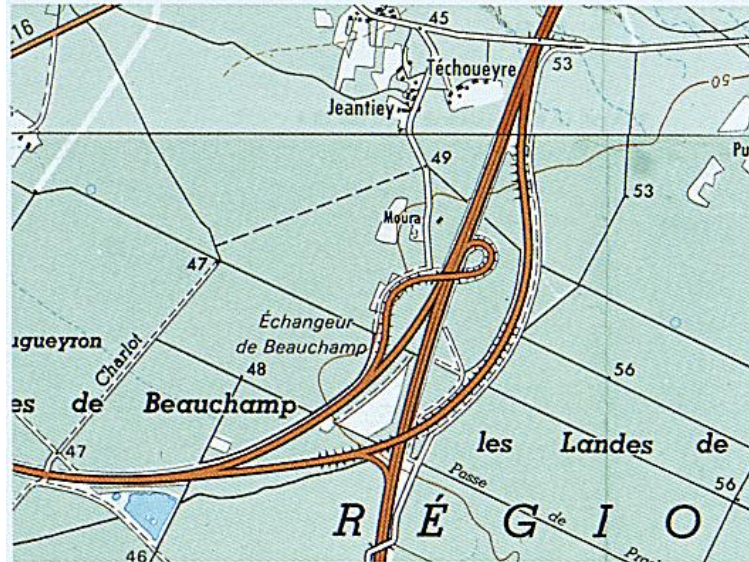
Η χαρτογραφημένη αυτή επιφάνεια, πρέπει να μετρά τουλάχιστον 25 εκτάρια εμβαδό και να έχει ελάχιστο πλάτος 100μ. Οι περισσότερες συγκοινωνιακές υποδομές στη Ευρώπη, έχουν λιγότερο από 100μ πλάτος.

Η κατηγορία 1.1.2. συγκροτείται κυρίως από διασταυρώσεις δρόμων με τις παρακείμενες υποδομές και τις φυτεμένες περιοχές και μεγάλα, βελτιωμένα τεχνητά, τμήματα εδάφους.

Αεροφωτογραφίες της περιοχής παρέχουν ιδιαίτερα σημαντικά δεδομένα. Δίκτυα με πλάτος μικρότερο των 100μ, σε βιομηχανικά συγκροτήματα και αστικές περιοχές θα πρέπει να ταξινομούνται σαν «βιομηχανική μονάδα» ή «αστική δόμηση» αντίστοιχα.

Ο στόχος θα πρέπει πάντα να επικεντρώνεται στο εντοπισμό της συνεχούς γραμμής αγνοώντας τα κενά που προκαλεί η ανάπτυξη της βλάστησης. Υπ' όψιν πρέπει να λαμβάνονται και οι ζώνες πυρασφάλειας, κατά μήκος των σιδηροτροχιών.

Ηλεκτρικές γραμμές πολύ υψηλής τάσης πάνω από χαμηλή βλάστηση, δεν πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν.



Εικόνα 15: Topographic map of Arcachon (scale 1:50 000)

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Το συγκοινωνιακό δίκτυο – δρόμοι, σιδηρόδρομοι, τηλεφερίκ, με ελάχιστο πλάτος 100μ.
- Περιοχές στάσης σε αυτοκινητόδρομους, βενζινάδικα, περιοχές στάθμευσης με αποθήκες μεταφοράς εμπορευμάτων που συνδέονται με το συγκοινωνιακό δίκτυο, δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών και συντήρησης των αυτοκινητοδρόμων, σταθμοί διοδίων.
- Ο τροποποιημένος περιβάλλον χώρος στο συγκοινωνιακών δικτύων, ο χώρος περιμετρικά των σταθμών, δραστηριότητες που αφορούν την εξυπηρέτηση και την συντήρηση των σιδηροδρομικών συγκοινωνιών
- Συνδέσεις μεγάλων διασταυρώσεων με εμβαδό μεγαλύτερο των 25 εκταρίων.
- Δίκτυο τραμ και τρόλεϊ.

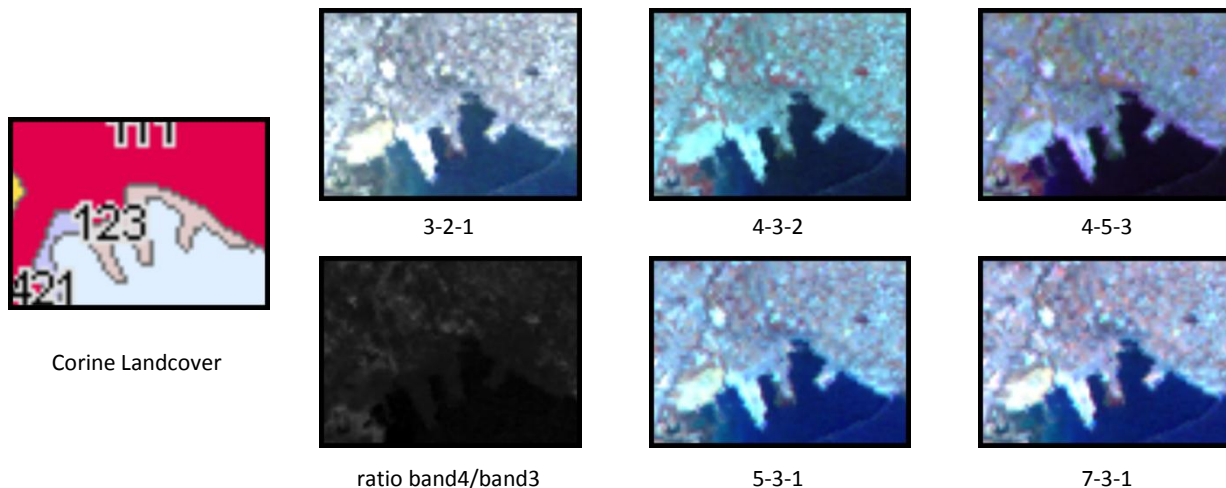
Ιδιότητες

- i.* Εντοπίζεται κυρίως σε διασταυρώσεις του μεταφορικού δικτύου και μεγάλους σταθμούς.
- ii.* Έχει γραμμικό σχήμα και είναι ευδιάκριτη.
- iii.* Ελάχιστες διαστάσεις για να αποτελέσει ξεχωριστή κατηγορία είναι τα 100μ πλάτος και 25 εκτάρια εμβαδόν.

1.2.3. Ζώνες λιμένων.

Περιγραφή

Οι υποδομές των ζωνών λιμένων συμπεριλαμβάνουν προκυμαίες, ναυπηγεία και μαρίνες.

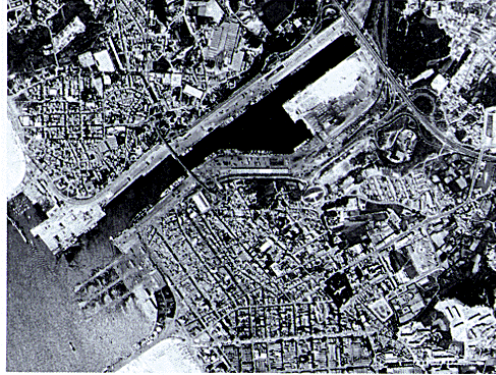


Εικόνα 16: Παράδειγμα ζώνης λιμένος στην περιοχή του Βόλου το έτος 1992.

Στην απεικόνιση στην κατηγορία 1.2.3. υπ' όψιν πρέπει να λαμβάνεται η γεωγραφική θέση (εγγύτητα στη θάλασσα ή άλλες υδάτινες ροές). Η χρήση τοπογραφικών χαρτών ή αεροφωτογραφιών είναι απολύτως απαραίτητη. Η ζώνη λιμένος, συμπεριλαμβάνει τις υποδομές των λιμανιών με την αυστηρή τους έννοια (προκυμαίες, υπόστεγα, αποθήκες). Βιομηχανικές και εμπορικές μονάδες που εντοπίζονται σε άμεση εγγύτητα με αυτή την κατηγορία, πρέπει να ανεξαρτητοποιούνται μόνο όταν καλύπτουν περισσότερα από 25 εκτάρια και είναι ξεκάθαρα αναγνωρίσιμα στα δεδομένα που είναι διαθέσιμα (δορυφορικές εικόνες, τοπογραφικοί χάρτες αεροφωτογραφίες).

Αναχώματα, παραχώματα και η παρακείμενη γη, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν μόνο όταν έχουν μήκος, μεγαλύτερο των 100μ. Το εσωτερικό και οι θαλάσσιες λεκάνες, κανονικά δε συμπεριλαμβάνονται στην επιφάνεια των κατασκευασμένων ζωνών λιμένων, αν και όταν τα προχώματα και κατασκευασμένες υποδομές των λιμανιών (παραθαλάσσια άκρα, αποθηκευτικές αποβάθρες) έχουν πλάτος μικρότερο των 100μ και/ή καταλαμβάνουν λιγότερα από 25 εκτάρια, οι επιφάνειες των λεκανών (γλυκού ή θαλασσινού νερού) που οριοθετούνται από τα παραχώματα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό των 25 εκταρίων.

Οι μαρίνες (λιμάνια για γιοτ, βάρκες και σκάφη αναψυχής) δεν πρέπει να ταξινομούνται υπό την 1.4.2. κατηγορία.



Εικόνα 17: Παγχρωματική αεροφωτογραφία λιμένος του Πόρτο, Ιούλιος 1987

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Εμπορικά και στρατιωτικά λιμάνια.
- Λιμάνια σε θάλασσα, ποταμούς ή λίμνες.
- Λιμάνια για γιοστ, που εξυπηρετούν αθλητικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς.
- Οι γειτονικές περιοχές νερού που, αγκαλιάζονται από τις προκυμαίες, όταν οι υποδομές του λιμανιού (το στερεο μέρος γης) είναι μικρότερες από 25 εκτάρια.
- Ναυτιλιακές εγκαταστάσεις και υποδομές των λιμανιών.
- Λιμενικοί σταθμοί, λιμενικές αποθήκες.
- Πετρέλαιο-σταθμοί.
- Ναυπηγεία.
- Αλιευτικά λιμάνια.
- Δρόμοι, σιδηρόδρομοι, χώροι στάθμευσης μέσα στη ζώνη λιμένος.

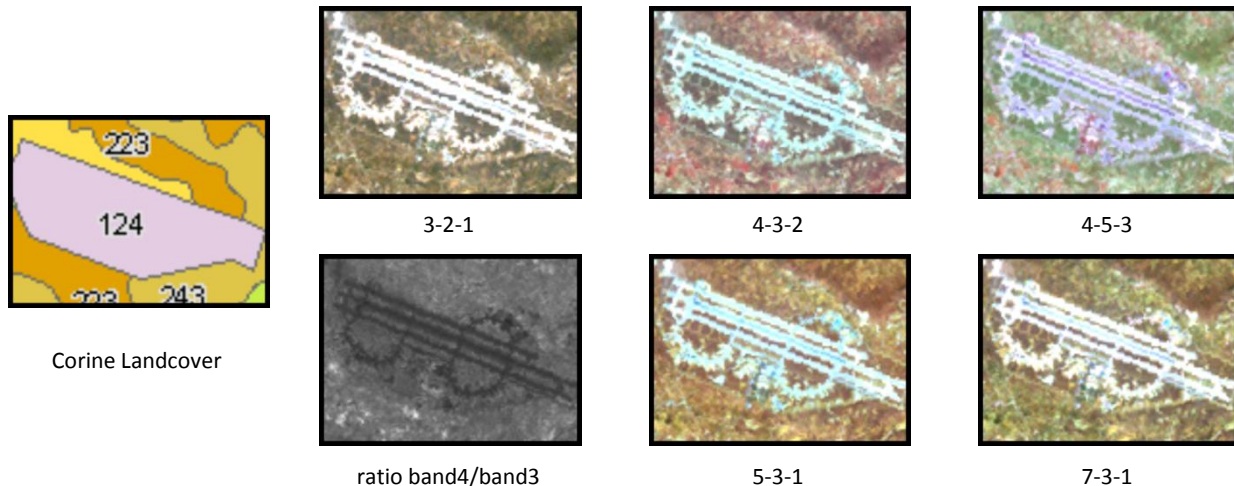
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του μπλε και/ή γκρι.
- ii.* Η υφή, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, είναι ετερογενής, περισσότερο συνήθως απαλή και χονδρόκοκκη από τις κατηγορίες αστικής δόμησης, αλλά πιο τραχεία από τις βιομηχανικές ζώνες.
- iii.* Οι τεχνητές επιφάνειες καλύπτουν ποσοστό μεγαλύτερο του 30% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Η κατηγορία αυτή εντοπίζεται πάντα δίπλα σε υδάτινες επιφάνειες και σχεδόν πάντα γειτνιάζει σε κάποια από τις 1.1.1., 1.1.2. και 1.2.1. κατηγορίες

1.2.4. Αεροδρόμιο.

Περιγραφή

Εγκαταστάσεις αεροδρομίου: διάδρομοι αεροσκαφών, κτίρια και παρακείμενη γη.



Εικόνα 18: Παράδειγμα αεροδρομίου στην περιοχή των Χανίων το έτος 1987.

Οι τεχνητοί διάδρομοι αεροσκαφών περιβάλλονται από περιοχές με γρασίδι και είναι ευδιάκριτοι από τις δορυφορικές εικόνες.

Τα κτίρια (γραφεία, τερματικοί σταθμοί, υπόστεγα αεροσκαφών, συνεργεία, αποθήκες, δεξαμενές αποθήκευσης, χώροι στάθμευση αυτοκινήτων), οι περιοχές με γρασίδι και η παρακείμενη γη, συμπεριλαμβάνονται στην επιφάνεια του αεροδρομίου. Τα ελικοδρόμια επίσης συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία, αρκεί να καλύπτουν τουλάχιστον μια έκταση των 25 εκταρίων.

Γεωργικές περιοχές ή περιοχές βλάστησης κοντά στις υποδομές του αεροδρομίου και με επιφάνεια μεγαλύτερη των 25 εκταρίων, πρέπει να ταυτοποιούνται, εκτός από μία λωρίδα πλάτους 100μ, γύρω από τις ορατές υποδομές.

Σε πάρα πολλές περιπτώσεις, η περιοχή του αεροδρομίου οριοθετείτε στο έδαφος, από ένα φράχτη ή δρόμο, ο οποίος εμφανίζεται σε μεγάλης κλίμακας τοπογραφικούς χάρτες (1:25000 και 1:50000).

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Αεροδιάδρομοι προσγείωσης και απογείωσης (από σκυρόδεμα, γρασίδι) πολιτικών, στρατιωτικών και μικρών αεροδρομίων, χωρίς σκυρόδεμα ή άσφαλτο αεροδιάδρομοι με εγκαταστάσεις.
- Τερματικοί σταθμοί, υπόστεγα αεροσκαφών, κτίρια εναποθήκευσης και παροχής υπηρεσιών και τους εσωτερικούς χώρους.
- Σχολές ιπτάμενων για προγράμματα εκπαίδευσης πιλότων πολιτικής αεροπορίας.
- Χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων.
- Γειτονικές περιοχές γρασιδιού, ή διάσπαρτων δέντρων και θάμνων μέσα στην ουδέτερη ζώνη του αεροδρομίου.
- Μικρά αεροδρόμια, με αεροδιαδρόμους χωρίς σκυρόδεμα ή άσφαλτο που χρησιμοποιούνται για γεωργικούς ή δασολογικούς σκοπούς (π.χ. για τον ψεκασμό λιπασμάτων και άλλων χημικών ουσιών).

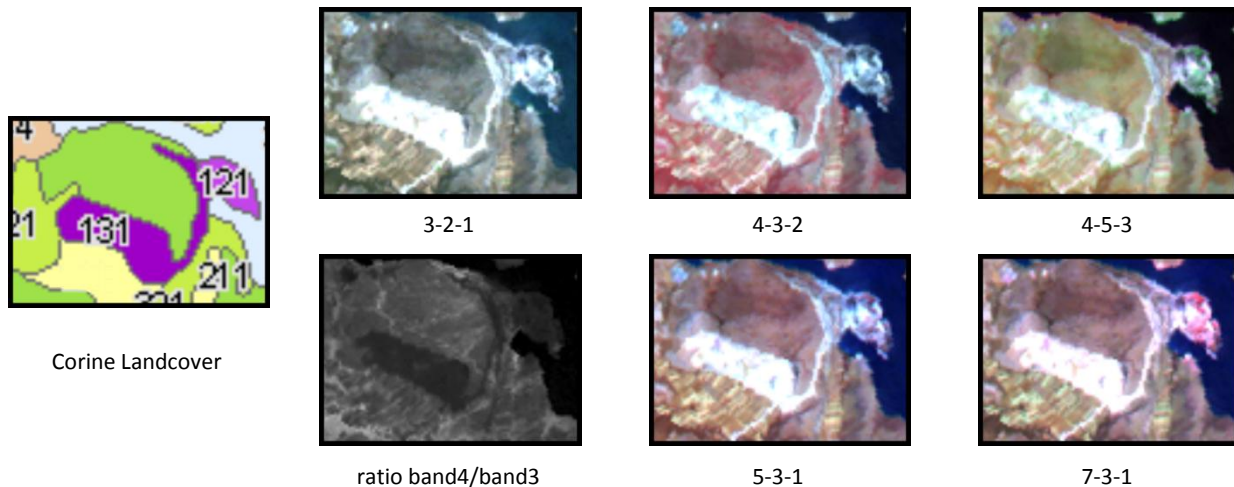
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του μπλε, του γκρι και/ή άσπρα.
- ii.* Υπάρχουν αεροδιάδρομοι οι οποίοι είναι ορατοί από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM και πολλές φορές χωρίζουν την επιφάνεια σε τεμάχια.
- iii.* Συνήθως έχει μακρόστενο σχήμα και είναι ξεχωρίζει εύκολα από το περιβάλλοντα χώρο, καθώς συχνά είναι περιφραγμένο.
- iv.* Στα μεγάλα αεροδρόμια διακρίνονται κτίρια μεγάλου μεγέθους με απαλή υφή, όπως υπόστεγα αεροσκαφών, πύργος ελέγχου, κ.λπ.

1.3.1. Χώροι εξόρυξης υλικών.

Περιγραφή

Περιοχές επιφανειακών λατομείων εξόρυξης κατασκευαστικών υλικών (σκαμμάτων, νταμαριών) ή άλλων μεταλλευμάτων (ορυχείων επιφανειακής εξόρυξης). Συμπεριλαμβάνονται, πλημμυρισμένοι λάκκοι αμμοχάλικων, εξαιρούνται εξορύξεις σε κοίτες ποταμών.



Εικόνα 19: Παράδειγμα χώρου εξόρυξης υλικών στην περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.

Τα λατομεία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στις δορυφορικές εικόνες (σα λευκά μπαλώματα) εξαιτίας της αντίθεσής τους με τον περιβάλλοντα χώρο. Το ίδιο ισχύει και για εν λειτουργία ορυχεία αμμοχάλικων. Για τα ορυχεία επιφανειακής εξόρυξης, η διαφορά με την κατηγορία 1.3.2. (χώροι ταφής απορριμμάτων) δεν είναι πάντα προφανής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, συμπληρωματικά δεδομένα είναι απαραίτητα, για να αφαιρεθεί κάθε αμφιβολία.

Τα εν αχρηστία ορυχεία επιφανειακής εξόρυξης, λατομία αμμοχάλικου και πλάκας (που δεν είναι πλημμυρισμένα) συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Παρόλα αυτά τα ερείπια δεν υπάγονται εδώ.

Τοποθεσίες υπό εκμετάλλευση ή μόλις πρόσφατα εγκαταλελειμμένες, χωρίς ίχνος βλάστησης, δεν εμπίπτουν σ' αυτή την κατηγορία. Όπου η παρουσία φυτών είναι ορατή, η τοποθεσία ταξινομείται στην αντίστοιχη κατηγορία με το είδος βλάστησης.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει κτίρια και τις παρακείμενες βιομηχανικές υποδομές (π.χ. εργοστάσια) και μικρές υδάτινες επιφάνειες, μικρότερες των 25 εκταρίων, που δημιουργήθηκαν λόγω της εξόρυξης.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Τα λατομεία επιφανειακής εξόρυξης, συνοδευόμενα από σωρούς εξορυγμένων κατασκευαστικών υλικών (χαλίκι, άμμο, πέτρα ή πυλό) και ορυκτά ή μη μεταλλευτικά υλικά (σίδηρο, μαγγάνιο, μαγνησίτη, λιγνίτη, καολινήτη).
- Υποδομές κτιρίων και εγκαταστάσεων που υλοποιούν την εξόρυξη, ή την πρωτογενή επεξεργασία υλικών και μεταλλευμάτων.
- Το συγκοινωνιακό δίκτυο, που συνδέει τα ορυχεία.
- Τεχνητά διαπλατυσμένες περιοχές.
- Υδάτινες επιφάνειες (μικρότερες των 25 εκταρίων) συχνά συνδεδεμένες με περιοχές επιφανειακής εξόρυξης άμμου και χαλικιών.
- Εξορύξεις ορυκτού άλατος.
- Εξαγωγές άμμου από παραλιακούς αμμόλοφους.
- Εσωτερικά αλατωρυχεία
- Πετρελαιοφόρες περιοχές με πηγάδια ή χώροι εξαγωγής πετρελαίου και άλλων υγρών ή αερίων καυσίμων.

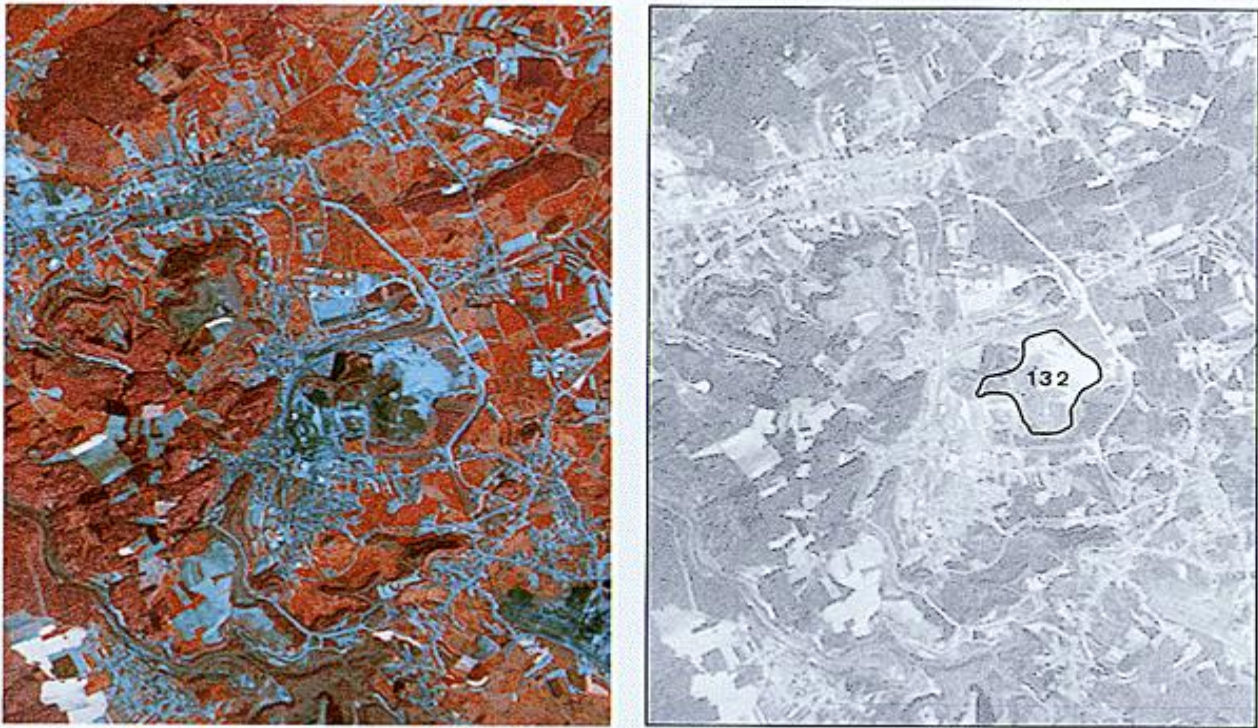
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με άσπρο ή πολύ ανοιχτό μπλε.
- ii.* Η υφή στις δορυφορικές εικόνες Landsat TM είναι απαλή.
- iii.* Είναι πολύ ευδιάκριτη κατηγορία καθώς έχει μεγάλη αντίθεση με τον περιβάλλοντα χώρο.
- iv.* Παντελής απουσία βλάστησης.
- v.* Συχνά γειτνιάζει με την 1.2.1 κατηγορία.

1.3.2. Χώροι απόρριψης απορριμμάτων.

Περιγραφή

Χώροι απόθεσης απορριμμάτων, δημόσιοι, βιομηχανικοί ή ορυχείων.



Εικόνα 20: Luxembourg/Area Differdange, Interpretation Landsat TM 4.3.2., 1:100 000, August 1989

Οι χώροι απόθεσης απορριμμάτων είναι πολύ δύσκολό να αναγνωριστούν στις δορυφορικές εικόνες, καθώς η φασματική τους υπογραφή ποικίλει. Μόνο από την δομή και το τυπικό κυκλικό σχήμα μπορεί ο φωτοερμηνευτής να εντοπίζει χώρους απόθεσης, κοντά σε μεγάλες πόλεις και σημαντικές βιομηχανικές περιοχές. Η αποίκησή τους από διαφορετικά είδη βλάστησης καθιστούν την φωτοερμηνεία ακόμη πιο πολύπλοκη. Διερεύνηση αεροφωτογραφιών και/ή επιτόπια έρευνα είναι συχνά επιβεβλημένη.

Χώροι απόθεσης απορριμμάτων που έχουν έκταση μικρότερη των 25 εκταρίων και εντοπίζονται κοντά σε μεταποιητικές βιομηχανίες (π.χ. πριονόμυλοι) θα πρέπει να ταξινομούνται υπό την 1.2.1. (Βιομηχανικές, εμπορικές και κοινωνικοπολιτιστικές μονάδες).

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και χώροι απόθεσης πρώτων υλών και υγροποιημένων αποβλήτων.



Εικόνα 21: Topographic map of Differdange (scale 1:20 000)

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Χώροι απόθεσης δημοσίων, κοινόχρηστων αποβλήτων (υγειονομική ταφή σκουπιδιών).
- Χώροι απόθεσης βιομηχανικών αποβλήτων – ορυκτών απορριμμάτων μετά από επεξεργασία ποικίλων πρώτων υλών.
- Χώροι απόθεσης αποβλήτων από σταθμούς καθαρισμού κοινόχρηστων υπονόμων.
- Λίμνες βοθρολυμάτων / ρευστοποιημένων αποβλήτων, προϊόντα ποικίλων χημικών επεξεργασιών.
- Προστατευτικοί τάφροι.
- Γραμμικές ζώνες βλάστησης, μέρος της ουδέτερης / προστατευτικής ζώνης περιμετρικά των χώρων απόθεσης απορριμμάτων.
- Κτίρια, συγκοινωνιακό δίκτυο, χώροι στάθμευσης που συσχετίζονται με τους χώρους απόθεσης απορριμμάτων.
- Καμένοι σωροί, χωρίς βλάστηση.



Εικόνα 22: Χώρος απόρριψης απορριμμάτων σε βιομηχανική περιοχή της Σλοβακίας

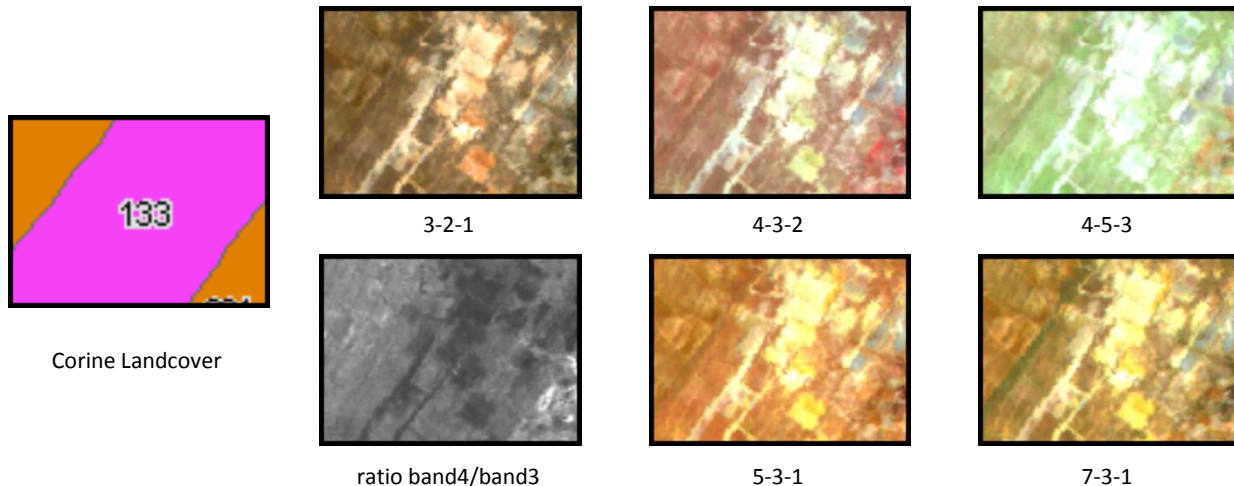
Ιδιότητες

- i.* Εντοπίζονται κοντά σε πόλεις, βιομηχανικές περιοχές και χώρους εξόρυξης υλικών.
- ii.* Το σχήμα τους τείνει να είναι κυκλικό.
- iii.* Είναι πολύ δύσκολο να αναγνωριστούν από δορυφορικές εικόνες καθώς η φασματική τους αντανάκλαση ποικίλει από περιοχή σε περιοχή.

1.3.3. Χώροι οικοδόμησης.

Περιγραφή

Χώροι οικοδόμησης σε εξέλιξη, εδαφικές ή θεμελιακές εκσκαφές και χωματουργικά.



Εικόνα 23: Παράδειγμα χώρου οικοδόμησης στην περιοχή του Κορωπίου το έτος 1991.

Στα παραπάνω παραδείγματα φαίνεται ότι οι χώροι υπό κατασκευή, με έκταση μεγαλύτερη των 25 εκταρίων, είναι εύκολα αναγνωρίσιμοι στις δορυφορικές εικόνες. Παρόλα αυτά είναι πιθανή η σύγχυσή τους με χώρους λατομείων και ορυχείων και γι' αυτό η χρήση αεροφωτογραφιών είναι απαραίτητη για να απομακρυνθεί κάθε αμφιβολία.

Χώροι οικοδόμησης, μέσα και γύρω από αστικά τμήματα πρέπει να απομονώνονται από την συνεχή ή ασυνεχή αστική δόμηση. Φράγματα και αυτοκινητόδρομοι υπό κατασκευή συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Ωστόσο εργασίες στη γεωργική γη (εδαφικές βελτιώσεις, αποστραγγιστικό δίκτυο, ανακατανομή της γης) δεν θεωρούνται ότι είναι χώροι υπό κατασκευή.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Δημόσια και βιομηχανικά κατασκευαστικά έργα.
- Οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, φράγματα / δεξαμενές, κ.λπ. υπό κατασκευή.

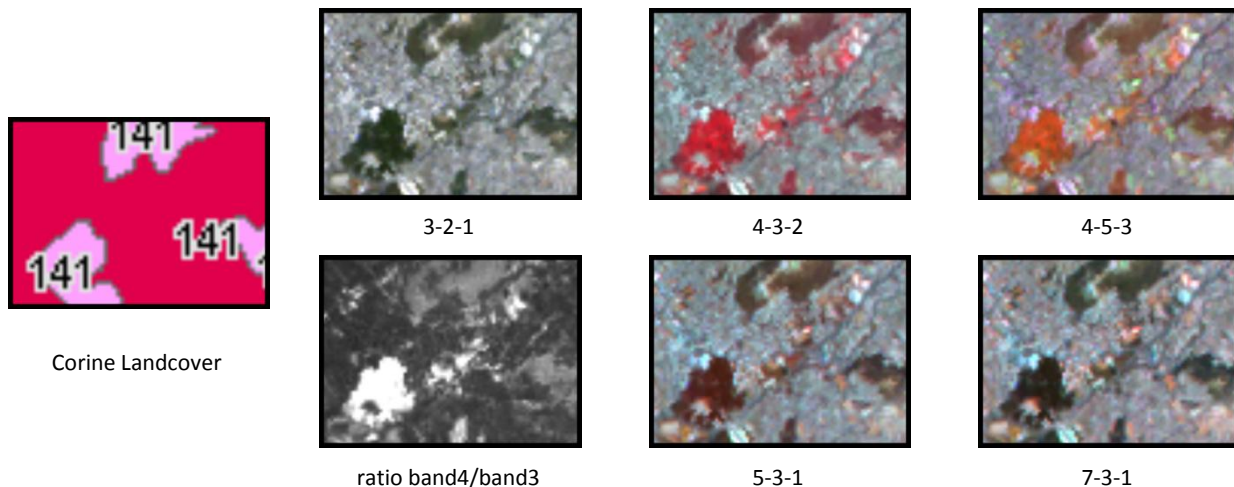
Ιδιότητες

- Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με άσπρο ή πολύ ανοιχτό μπλε.
- Η υφή στις δορυφορικές εικόνες Landsat TM είναι απαλή, συνήθως όμως λιγότερο απαλή από την 1.3.1. κατηγορία με την οποία και μπορεί να συγχυστεί.
- Είναι πολύ ευδιάκριτη κατηγορία καθώς έχει μεγάλη αντίθεση με τον περιβάλλοντα χώρο.
- Συνήθως εντοπίζεται κοντά σε λοιπές τεχνητές επιφάνειες.
- Παντελής απουσία βλάστησης.
- Είναι μια ευδιάκριτη κατηγορία λόγω του σχήματός της που παραπέμπει σε κάτι το τεχνητό.

1.4.1. Περιοχές αστικού πρασίνου.

Περιγραφή

Περιοχές βλάστησης εντός αστικής δόμησης, συμπεριλαμβανομένου πάρκων, κοιμητηρίων με βλάστηση, αρχοντικών με το έδαφός τους.



Εικόνα 24: Παράδειγμα αστικού πρασίνου στην περιοχή της Αττικής το έτος 1991.

Αυτή η κατηγορία, καλύπτει μια ευρεία ποικιλία επιφανειών: δημόσια πάρκα, ιδιωτικές πράσινες περιοχές, νεκροταφεία με βλάστηση, τα οποία καλύπτουν μια περιοχή μεγαλύτερη των 25 εκταρίων. Τοπογραφικοί χάρτες και αεροφωτογραφίες, μπορούν να λαμβάνονται υπ' όψιν, ώστε να εντοπίζονται και με περιγράφονται λεπτομερώς τέτοιες επιφάνειες.

Νεκροταφεία με λίγη ή καθόλου βλάστηση δε θα πρέπει να διακρίνονται από τις κατηγορίες 1.1.1. και 1.1.2.. Περιοχές αστικού πρασίνου, θεωρούνται όλες οι περιοχές βλάστησης, μεγαλύτερες των 25 εκταρίων, οι οποίες είτε είναι εγκατεστημένες εντός αστικής δόμησης, είτε είναι σε επαφή με αυτές. Λωρίδες δρόμων και μονοπατιών μπορεί να εντοπιστούν, μέσα σ' αυτές τις περιοχές, δημιουργηθεί για ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Πάρκα, λεκανοπέδια πάρκων, περιοχές γκαζόν, πρασιές σε οικισμούς, κοσμητικοί κήποι.
- Βοτανολογικοί και ζωολογικοί κήποι εγκατεστημένοι σε οικισμούς (αστικής δόμησης – 1.1.2.) ή σε επαφή με την περιμετρική ζώνη των οικισμών.
- Πλατείες πόλεων, κενοί χώροι ανάμεσα σε οικοδομικά τετράγωνα.
- Κοιμητήρια με βλάστηση σε οικισμούς.
- Περιοχές βλάστησης που χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγικούς σκοπούς, ακόμα κι αν δεν είναι αυτή η κύρια λειτουργία τους, όπως δασύλλια σε αστική δόμηση.

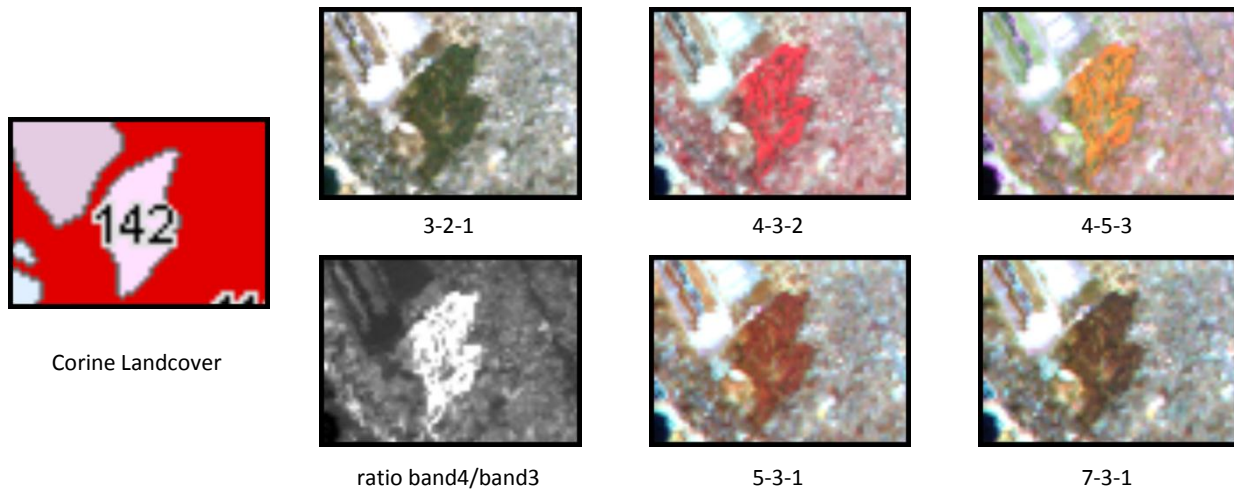
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή έχει φασματική απόκριση ίδια με αυτή της βλάστησης.
- ii. Περιβάλλεται ή βρίσκεται σε άμεση επαφή (γεινίαση) με αστικές περιοχές.
- iii. Ελάχιστο εμβαδόν για να αποτελέσει ανεξάρτητη κατηγορία είναι τα 25 εκτάρια.

1.4.2. Εγκαταστάσεις αθλητισμού-αναψυχής.

Περιγραφή

Χώροι κάμπινγκ, αθλητικοί χώροι, πάρκα αναψυχής, ιπποδρόμια, κ.λπ. Συμπεριλαμβάνονται συμβατικά πάρκα που δεν περιβάλλονται από αστική περιοχή.



Εικόνα 25: Παράδειγμα εγκαταστάσεων αθλητισμού στην περιοχή του Ελληνικού το έτος 1991.

Τα γήπεδα γκολφ, όπως φαίνεται και στο παραπάνω παράδειγμα, έχουν μια τυπική σπαγέτο μορφή (σαν περιτυλιγμένο σύρμα). Ολόκληρη η επιφάνεια, μαζί με τα κτίρια και τις παρακείμενες υποδομές, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται σαν αντικείμενο αυτής της ονοματολογίας.

Άλλα χαρακτηριστικά, όπως εγκαταστάσεις αθλητικές ή αναψυχής, είναι καλύτερα να αναγνωρίζονται από αεροφωτογραφίες ή με επιτόπια έρευνα. Ο διαχωρισμός ανάμεσα σ' αυτή την κατηγορία και την κατηγορία του αστικού πρασίνου δεν είναι πάντα προφανής, γι' αυτό συμπληρωματικά δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιούνται.

Παραθεριστικά χωριά και κτίρια σε χιονοδρομικά θέρετρα, πρέπει να ταξινομούνται σαν αστικές επιφάνειες, αν και οι υποδομές των χώρων κατασκήνωσης ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία. Παραλίες, πίστες σκι, σχολικές και στρατιωτικές αθλητικές εγκαταστάσεις, περιοχές νοσοκομείων (ψυχιατρικών και άλλων) και κτίρια υπηρεσιών σπα, δεν ταξινομούνται σε αυτή την κατηγορία. Από την άλλη μεριά αθλητικά κέντρα, πίστες καρτ και μοτοκρός, κέντρα ιππασίας και συνηθισμένα πάρκα (κήποι αρχοντικών), που δεν περιβάλλονται από αστική δόμηση, ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία.



Εικόνα 26: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εγκαταστάσεων αθλητισμού από περιοχή της Σλοβακίας



Εικόνα 27: Παγχρωματική αεροφωτογραφία γηπέδου γκολφ

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Μεγάλες αθλητικές εγκαταστάσεις (στάδια ποδοσφαίρου με τις αντίστοιχες υποδομές, στάδια χόκεϊ, κολυμβητήρια και γήπεδα τένις, αθλητικές αίθουσες και στάδια, κ.λπ.) μέσα σε οικισμούς ή έξω από αυτούς.
- Αθλητικά σκοπευτήρια.
- Περιοχές κάμπινγκ.
- Εξοχικές (τουριστικές) κοινότητες που χρησιμοποιούνται για διακοπές και ψυχαγωγία, εκτός οικισμών που αποτελούν μόνο προσωρινές κατοικίες.
- Γήπεδα γκολφ και ιπποδρόμια.
- Κοιμητήρια με βλάστηση, εγκατεστημένα εκτός οικισμών.
- Βοτανολογικοί και ζωολογικοί κήποι εκτός οικισμών.
- Σύνθετοι αποκαλυμμένοι / ανοιχτεί αρχαιολογικοί χώροι.
- Χιονοδρομικά θέρετρα (εκτός από τις πίστες)
- Αγωνιστικές πίστες οχημάτων.
- Δασώδη πάρκα, στην περιφέρεια οικισμών.
- Μικρά αεροδρόμια με αεροδιαδρόμους χωρίς άσφαλτο ή σκυρόδεμα.

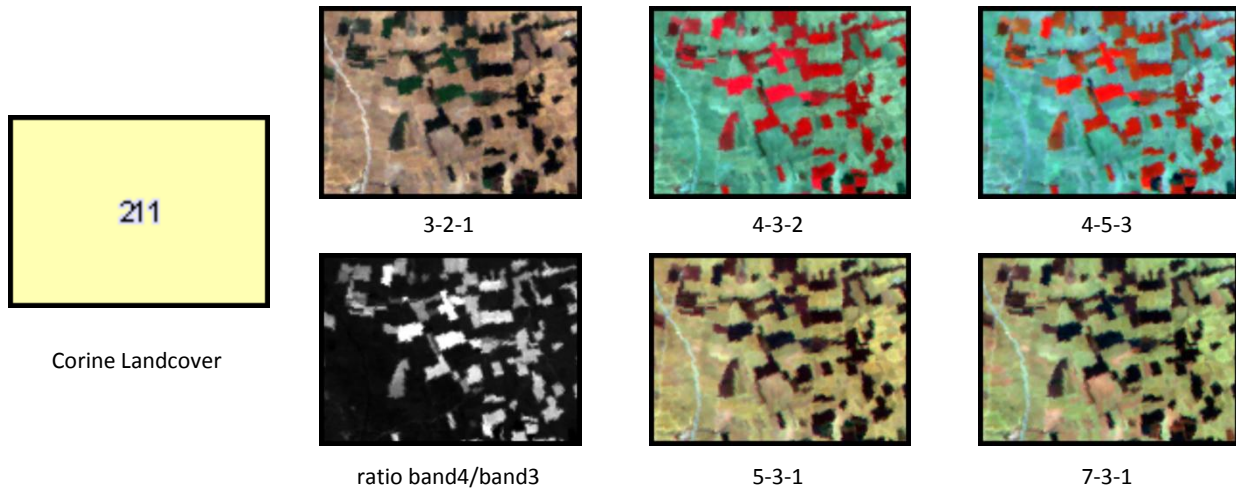
Ιδιότητες

- i.* Φασματική απόκριση αυτής της κατηγορίας είναι ίδια με αυτή της φυσικής ή τεχνητής βλάστησης.
- ii.* Βρίσκεται κοντά σε αστικές περιοχές αλλά όταν δεν πρόκειται για αθλητικές εγκαταστάσεις δεν περικλείεται ούτε γειτνιάζει με αυτές.

2.1.1. Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη.

Περιγραφή

Δημητριακά, όσπρια, καλλιέργειες ζωοτροφών, ριζών, αλλά και έδαφος σε αγρανάπαυση. Συμπεριλαμβάνονται άνθη και δέντρα (καλλιέργειες φυτωρίων και λαχανικών, είτε σε ακάλυπτο αγρό είτε σε θερμοκήπιο, πλαστικό ή γυάλινο (συμπεριλαμβανομένης της καλλιέργειας λαχανικών σε περιβόλι). Περιλαμβάνονται αρωματικά, θεραπευτικά και μαγειρικά φυτά. Δεν περιλαμβάνονται μόνιμοι βοσκότοποι, λιβάδια.



Εικόνα 28: Παράδειγμα μη αρδευόμενης αρόσιμης γης στην περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.

Η αρόσιμη γη συνήθως αποτελείτε από μεγάλο αριθμό τεμαχίων όπου τα πρόσφατα οργωμένα εμφανίζονται με τόνους του μπλε στις δορυφορικές εικόνες.

Η οργωμένη γη, χωρίς παραγωγή λαχανικών την ημέρα απόκτησης των δεδομένων, ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Μέτρα προστασίας πρέπει να παρθούν ώστε να μην γίνει σύγχυση της 2.1.1. με άλλη γεωργική κάλυψη (2.1.2., 2.3.1., 2.4.1. και 2.4.4.). Για να απομακρυνθεί κάθε αμφιβολία, απαραίτητη είναι η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων (αεροφωτογραφίες, γεωργικά ημερολόγια και στατιστικές, δεδομένα σε διαφορετικούς χρόνους).

Προσωρινά και τεχνητά λιβάδια (για βοσκή) κάτω από εναλλαγή, συμπεριλαμβάνονται στην 2.1.1. κατηγορία. Πάνω από το 75% την περιοχής πρέπει να υπόκειται σε εναλλαγή (ετήσιες καλλιέργειες). Τμήμα αυτής της κατηγορίας αποτελείται από αγροτεμάχια αρόσιμης γης που καταλαμβάνουν μια περιοχή πολλών (εκατοντάδων) εκταρίων.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Πολύχρονα φυτά, όπως σπαράγγια, ραδίκια.
- Πλημμυρισμένες καλλιέργειες καθώς απορροφούν το νερό.
- Ημιμόνιμες καλλιέργειες, όπως φράουλες.
- Γη σε αγρανάπαυση (έως τρία χρόνια).
- Στραγγισμένη (στεγνή) αρόσιμη γη πρέπει να τοποθετείται στην 2.1.1. και όχι στην 2.1.2.
- Πολυτεμαχισμένη γεωργική γη, ως αποτέλεσμα διαφορετικών ετήσιων καλλιεργειών, τοποθετημένων πλάι-πλάι.
- Καλλιέργειες βοτάνων, ριζών, καπνού, καρυκευμάτων, ζαχαροκάλαμων.
- Μη μόνιμες βιομηχανικές καλλιέργεια με ελαιώδη φυτά και φυτά για υφαντουργία.
- Άνθη κάτω από σύστημα εναλλαγής.
- Βιομηχανικές ανθοκαλλιέργειες αρωματικών φυτών.
- Φυτώρια δενδρυλλίων (οπωροφόρων και θάμνων).
- Σκόρπιες, κυρίως γραμμές βλάστησης.
- Εγκαταλελειμμένη αρδεύσιμη αρόσιμη γη ακόμη κι αν το δίκτυο των αρδευτικών καναλιών είναι ορατό από δορυφορικές εικόνες.

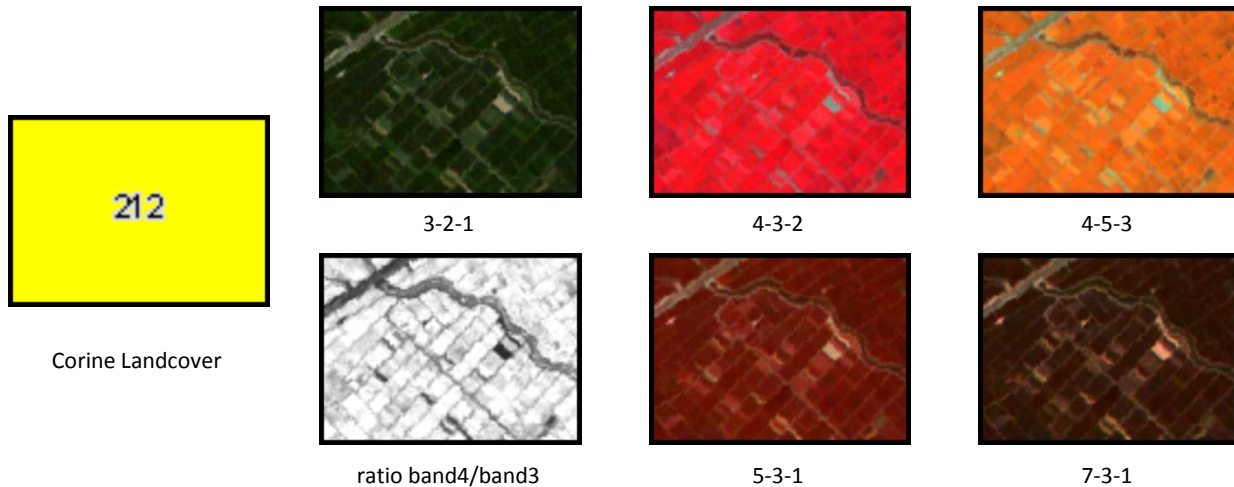
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους κόκκινου, ροζ, γκρι ή κυανού χρώματος.
- ii.* Οι εναλλασσόμενες καλλιέργειες αποτελούν τουλάχιστον το 75% της συνολικής επιφάνειας.
- iii.* Η γη είναι χωρισμένη σε τεμάχια και συνήθως άνυδρη.

2.1.2. Μόνιμα αρδευόμενη γη.

Περιγραφή

Καλλιέργειες μόνιμα ή περιοδικά αρδευόμενες όπου χρησιμοποιούνται όμως μόνιμες υποδομές (αρδευτικά κανάλια, αποστραγγιστικό δίκτυο). Οι περισσότερες από αυτές τις καλλιέργειες δε θα μπορούσαν να επιβιώσουν χωρίς μια τεχνητή παροχή νερού. Δεν συμπεριλαμβάνεται η σποραδικά αρδευόμενη γη.



Εικόνα 29: Παράδειγμα μόνιμα αρδευόμενης γης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.

Η ημέρα κατά την οποία τα δορυφορικά δεδομένα λαμβάνονται, πρέπει να είναι πρέπει να είναι προσεκτικά επιλεγμένη ώστε να διευκολυνθεί η αναγνώριση της μόνιμα αρδευόμενης αρόσιμης γης. Οι καλοκαιρινές εικόνες θα είναι πιο εύκολο να ερμηνευτούν από αυτές της άνοιξης.

Οι ορυζώνες δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Η ορεογραφία και υδρογραφία της περιοχής θα υποδείξει ποιες περιοχές είναι να ταξινομηθούν ως 2.1.2. Οπωροφόρα δέντρα που εντοπίζονται σε μόνιμα αρδευόμενη γη πρέπει να ταξινομούνται στην 2.1.2. κατηγορία και όχι την 2.2.2.

Η άρδευση με συσκευές ψεκασμού δεν θεωρούνται ότι ανήκουν εδώ. Μόνο κατακλυσμικές και πλημμυρούσες μέθοδοι άρδευσης πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Πρόσφατα εγκαταλελειμμένα αρδευτικά συστήματα, αποφάσεις πρέπει να παρθούν βασιζόμενες στην φασματική ανάκλαση των δορυφορικών εικόνων που εμφανίζουν τις υποδομές και το αν τα εδάφη είναι ακόμη βρεγμένα.
- Οι σπαρμένοι λιβαδότοποι (σαν μέρος εναλλασσόμενων καλλιεργειών), όταν μόνιμες αρδευτικές υποδομές είναι παρούσες

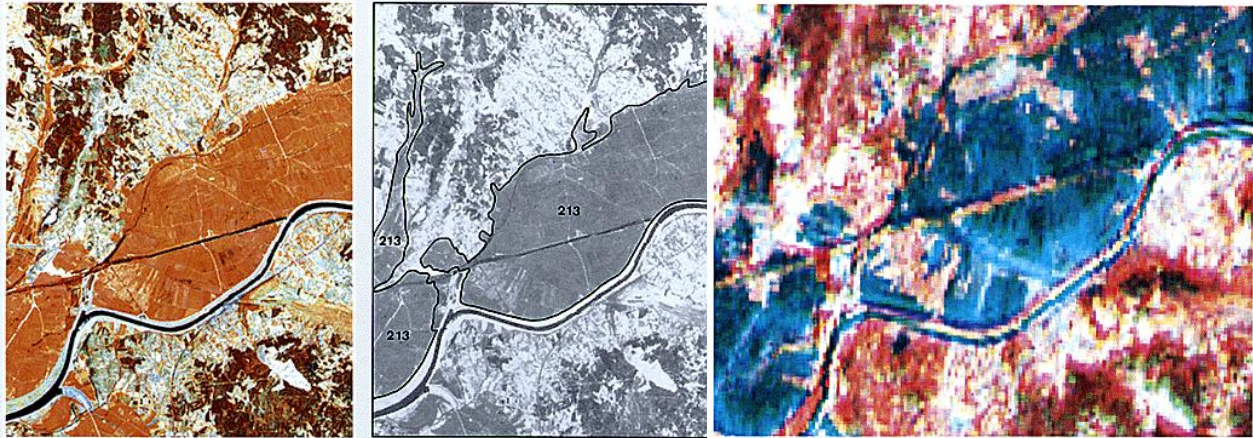
Ιδιότητες

- Στο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους του κόκκινου, ροζ, γκρι ή κυανού αλλά και μπλε χρώματος.
- Ακόμα και από τις δορυφορικές εικόνες είναι ορατή η ύπαρξη αρδευτικών καναλιών.
- Η γη είναι χωρισμένη σε τεμάχια και συχνά είναι πλημμυρισμένη ακόμα και καλοκαιρινούς μήνες.
- Οι μόνιμα αρδευόμενες καλλιέργειες αποτελούν τουλάχιστον το 75% της συνολικής επιφάνειας.

2.1.3. Ορυζώνες.

Περιγραφή

Γη προετοιμασμένη για καλλιέργεια ρυζιού. Οι επιφάνειες είναι επίπεδες, με αρδευτικά κανάλια. Περιοδικά είναι πλημμυρισμένες.



Εικόνα 30: Portugal, Area Coimbra, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, August 1985

Η κατηγορία αυτή εύκολα αναγνωρίζεται με την χρησιμοποίηση εικόνων διαφορετικών εποχών, για παράδειγμα ανοιξιάτικες εικόνες, στις οποίες οι ορυζώνες είναι μόνιμα πλημμυρισμένοι, και καλοκαιρινές εικόνες, στις οποίες τα νεαρά φυτά εντοπίζονται από τον υψηλό βαθμό ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Οι εγκαταλελειμμένοι ορυζώνες δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία. Ένα ή δύο χρόνια εναλλαγή εφαρμόζεται στους ορυζώνες, γι' αυτό το λόγο χαρτογραφείται σύμφωνα με την παρούσα κατάσταση της στιγμής που λαμβάνονται τα δεδομένα.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Ορυζώνες.
- Αρδευτικά κανάλια.

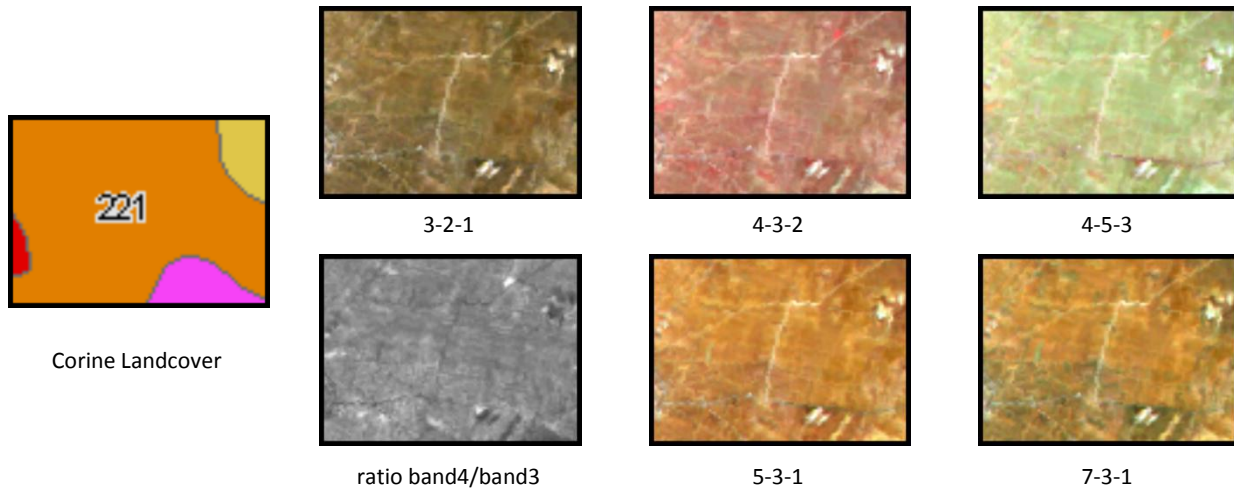
Ιδιότητες

- Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους με του κόκκινου χρώματος το καλοκαίρι και του μπλε την άνοιξη.
- Η γη είναι χωρισμένη σε τεμάχια και είναι μόνιμα πλημμυρισμένοι την άνοιξη.
- Η υφή, από τις δορυφορικές εικόνες Landsat TM, είναι απαλή και το έδαφος φαίνεται επίπεδο.
- Οι ορυζώνες αποτελούν τουλάχιστον το 50% της συνολικής επιφάνειας.

2.2.1. Αμπελώνες.

Περιγραφή

Περιοχές φυτεμένες με αμπέλια.



Εικόνα 31: Παράδειγμα αμπελώνων από την περιοχή του Κορωπίου το έτος 1991.

Δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο φωτοερμηνευτικό κλειδί που να ταξινομεί τους αμπελώνες με ακρίβεια. Το ανάγλυφο και ο προσανατολισμός των κλίσεων είναι πάντα μια καλή ένδειξη για την ύπαρξη τους.

Εδαφολογικοί χάρτες και γεωργικές στατιστικές πρέπει να μελετώνται όταν είναι διαθέσιμες.

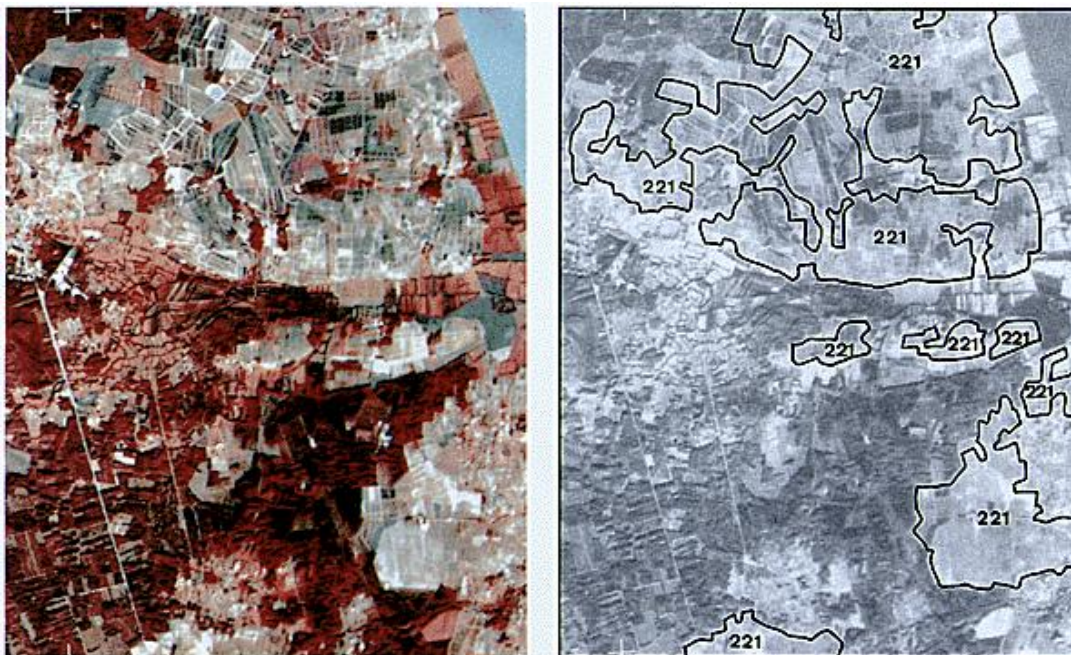
Στους τοπογραφικούς χάρτες πολύ συχνά φαίνεται η διαφορά ανάμεσα σ' αυτή την κατηγορία 2.2.1. και άλλες κατηγορίες αρόσιμης γης, αν και μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφίες βοηθούν καλύτερα.

Ελλοχεύει βέβαια πάντα ο κίνδυνος σύγχυσης ψηλών αμπελιών με χαμηλά σπυροφόρα δέντρα που μεγαλώνουν σε μέρη με την ίδια δομή.

Εγκαταλελειμμένοι αμπελώνες, που όμως παρουσιάζουν την ίδια χαρακτηριστική παράταξη ταξινομούνται σε αυτή την κατηγορία.



Εικόνα 32: Combined blue layer/planimetric representation of the 1:50000 map reduced to 1:100 000



Εικόνα 33: France, Area Saint-Laurent-et-Benon, Interpretation SPOT 3.2.1., 1:100 000, May 1989

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Αναρριχητικά φυτώρια που μεγαλώνουν μέσα σε περιοχές αμπελώνων.
- Αμπελώνες που προορίζονται για παραγωγή σταφυλιών και σταφίδων.
- Αμπελώνες για παραγωγή οίνου.
- Σύνθετες γεωργικές καλλιέργειες, όπου οι αμπελώνες καλύπτουν τουλάχιστον το 50% της περιοχής.

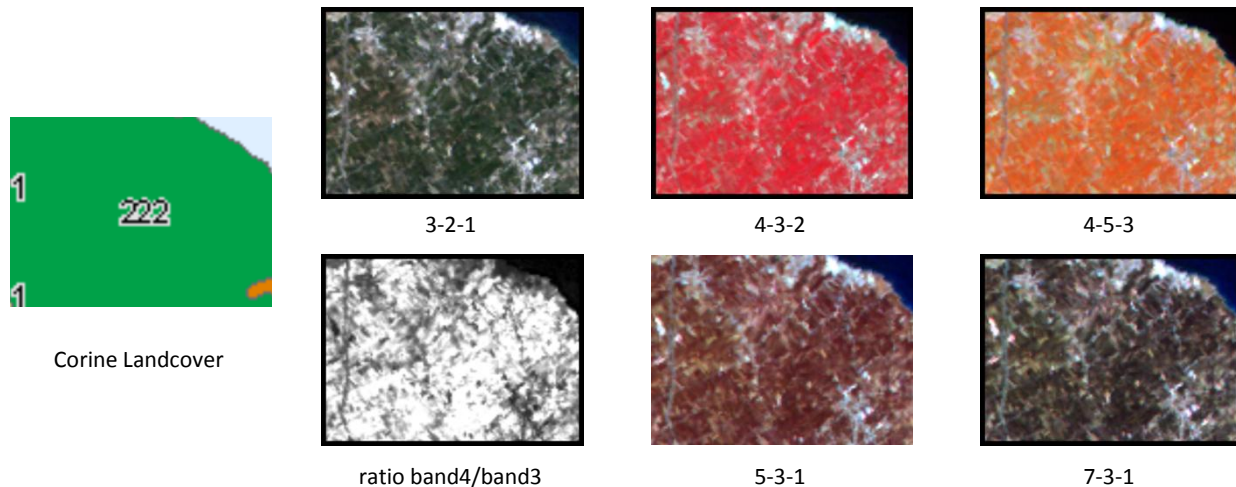
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους με του κόκκινου και ροζ χρώματος.
- ii.* Εντοπίζονται σε ανισόπεδο ανάγλυφο με επικλινή και καλλιεργούνται σε χαρακτηριστική διάταξη.
- iii.* Οι αμπελώνες πρέπει να καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% συνολικής επιφάνειας.

2.2.2. Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς.

Περιγραφή

Τεμάχια φυτεμένα με οπωροφόρα δέντρα ή θαμνοειδή: με ενιαία ή ανάμεικτα είδη καρπών, αναμειγμένα με επιφάνειες μόνιμα καλυμμένες με χόρτο. Συμπεριλαμβάνονται φυτείες καστανιών και καρυδιών.



Εικόνα 34: Παράδειγμα οπωροφόρων καλλιεργειών από την περιοχή της Κορίνθου το έτος 1991.

Οι δορυφορικές εικόνες είναι πολύ φτωχό εργαλείο για να αναγνωριστούν τα οπωροφόρα δέντρα και θαμνοειδείς φυτείες. Η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων (αεροφωτογραφίες, τοπογραφικοί χάρτες και ποικίλοι θεματικοί χάρτες) είναι απαραίτητη.

Δεντροφυτείες για την παραγωγή καρυδιών, κάστανων και τρούφας συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία.

Οπωρώνες με εμβαδό λιγότερο από 25 εκτάρια, που περιβάλλονται από γεωργική γη (βοσκότοπους ή αρόσιμη γη) αλλά παρ' όλα αυτά είναι ορατοί, ταξινομούνται υπό την κατηγορία 2.4.2. (σύνθετες καλλιέργειες). Οπωρώνες στους οποίους καλλιεργούνται διάφορα είδη οπωροφόρων, συμπεριλαμβάνονται υπό την 2.2.2. κατηγορία.

Φυτώρια και βοσκότοποι δενδρόφυτα δεν περιλαμβάνονται εδώ.



Εικόνα 35: Οπωρώνας στα περίχωρα της Σλοβακίας

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

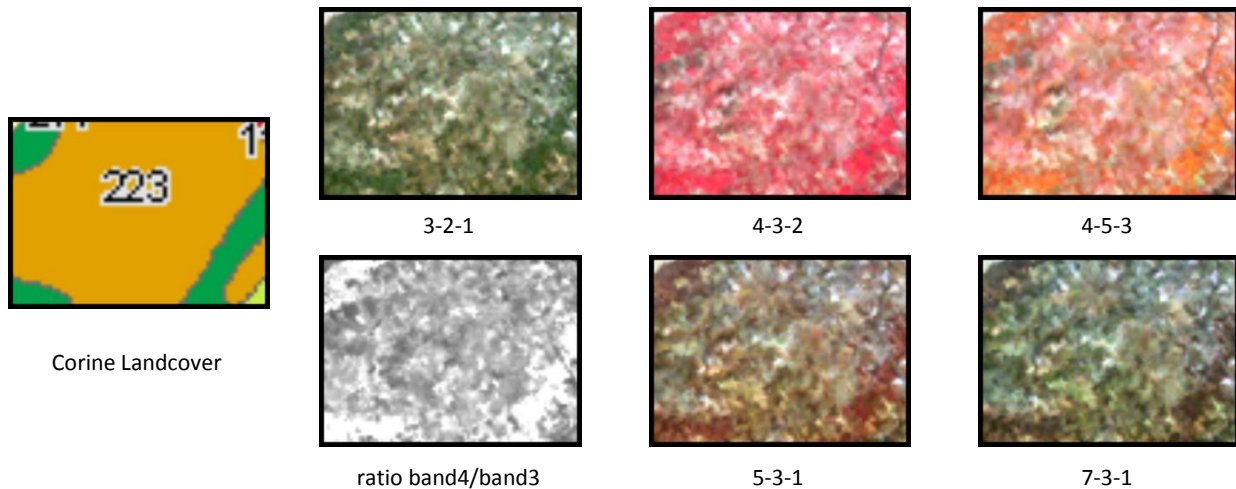
- Φυτείες μουροειδών θάμνων, μαύρης ή κόκκινης σταφίδας, βατόμουρων, φραγκοστάφυλων.
- Οπωροφόρα σε θερμοκήπιο.
- Εγκαταλελειμμένοι οπωρώνες που ακόμη διατηρούν χαρακτηριστική διάταξη.
- Φρούτα, οπωρώνες μήλων, αχλαδιών, βερίκοκων, ροδάκινων, κερασιών, σύκων, κυδωνιών και άλλων καρπών.
- «Ξύλινες» φυτείες: καρύδια, κάστανα, αμύγδαλα, φουντούκια, φιστίκια κ.λπ.
- Μόνιμα ανθοκομικές φυτείες ρόδων.
- Φυτείες αμπελώνων σε συνδυασμό με οπωροφόρα στο ίδιο τεμάχιο, όπου οι αμπελώνες καταλαμβάνουν λιγότερο από το 40% της επιφάνειας.
- Φυτείες λυκίσκων.
- Φυτείες ιτιάς για παραγωγή.
- Τροπικά οπωροφόρα: Αβοκάντο, μπανάνες, μάγκο, ανανάς, καρύδες, παπάγιας κ.λπ.
- Εσπεριδοειδή: λεμόνια, πορτοκάλια κ.λπ.
- Θερμοκήπια οπωροφόρων δέντρων μέσα σε φυτείες οπωρώνων.
- Μόνιμες βιομηχανικές φυτείες: κακάου, καφέ, τσαγιού κ.λπ.
- Πρόσφατα εγκαταλελειμμένοι οπωρώνες που τα χαρακτηριστικά της δομής της δενδροφυτείας τους (αναρριχητικά) είναι ακόμη ορατά.
- Διάσκορπα θερμοκήπια.

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους με του κόκκινου και ροζ χρώματος.
- ii.* Η γη είναι συνήθως χωρισμένη σε τεμάχια.
- iii.* Οι οπωρώνες πρέπει να καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% συνολικής επιφάνειας.

2.2.3. Ελαιώνες.

Περιγραφή

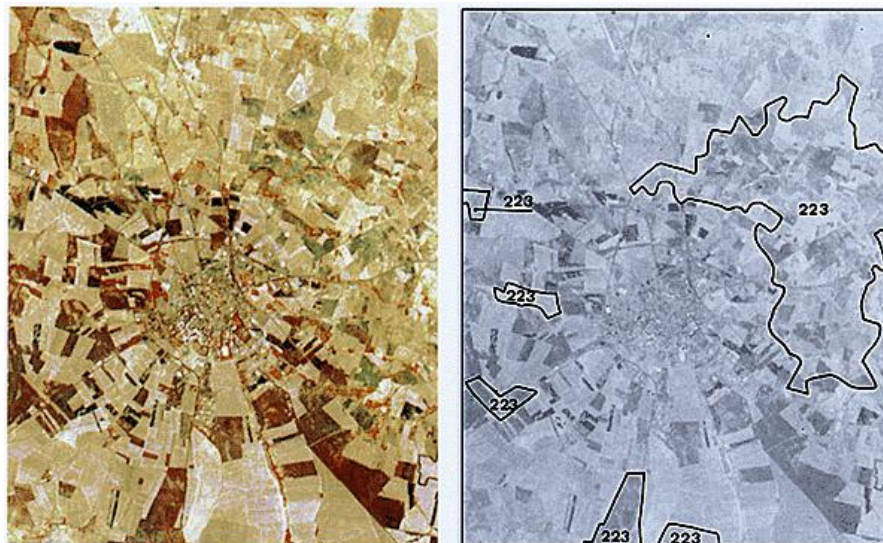
Περιοχές με δέντρα ελιάς, συμπεριλαμβανομένου και ανάμιξης των ελαιόδεντρων με αμπέλια στο ίδιο αγροτεμάχιο.



Εικόνα 36: Παράδειγμα ελαιώνα από την περιοχή των Χανίων το έτος 1987.

Αεροφωτογραφίες, γεωργικές στατιστικές και οι σχετικοί θεματικοί χάρτες είναι τα απαραίτητα εργαλεία για διασαφήνιση αυτής της κατηγορίας. Είναι ιδιαίτερα δύσκολο να διακρίνει κανείς και να ξεχωρίσει αυτή την κατηγορία με τις γεωργικό-δασικές περιοχές (2.4.4.). Επιτόπια επίσκεψη είναι συχνά απαραίτητη.

Τα δέντρα ελιάς ως μέρος αειθαλούς δάσους, ταξινομούνται στην 3.1.1. ενώ οι άγριες ελιές ως μέρος την σκληρόφυλλης βλάστησης της περιοχής στην 3.2.3. κατηγορία.



Εικόνα 37: Portugal, Area: Beja, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, August 1985



Εικόνα 38: Ελαιώνας από περιοχή της Ελλάδος

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Ελαιώνες που υποσκιάζουν το «βοτανώδες» επίπεδο.
- Εγκαταλελειμμένοι ελαιώνες ταξινομούνται στην 3.2.3. κατηγορία.

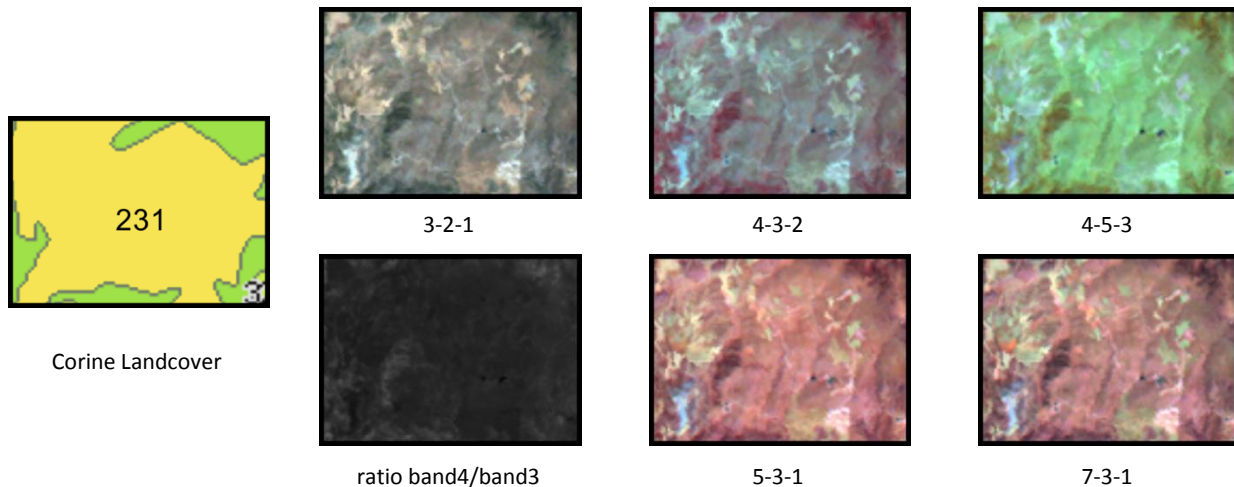
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται σε τόνους με του κόκκινου και ροζ χρώματος.
- ii.* Η γη είναι συνήθως χωρισμένη σε τεμάχια.
- iii.* Οι οπωρώνες πρέπει να καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 50% συνολικής επιφάνειας.

2.3.1. Λιβάδια.

Περιγραφή

Πυκνή κάλυψη από χόρτα, ανάμεικτα είδη ανθών και πρασινάδα κυριαρχούν σ' αυτή την κατηγορία που δεν υπόκειται σε εποχιακές εναλλαγές. Χρησιμοποιείται κυρίως για βοσκή αλλά μπορεί και να εισοδιάζετε μηχανικά. Περιλαμβάνονται και περιφραγμένες περιοχές.



Εικόνα 39: Παράδειγμα λιβαδιού από την περιοχή του Βόλου το έτος 1991.

Η φασματική υπογραφή των βοσκότοπων εξαρτάται απ' τα χαρακτηριστικά του εδάφους, συμπεριλαμβανομένου και της υγρασίας.

Τα υγρά λιβάδια τα οποία μπορεί να είναι πλημμυρισμένα συγκεκριμένες περιόδους του έτους (τον χειμώνα πλημμυρισμένα μεταξύ 10εκ, και 30 εκ. βάθους), και χρησιμοποιούνται για βοσκή, ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και δε θα πρέπει να ταξινομούνται ως υγρές ζώνες. Οι βοσκότοποι εντοπίζονται πάντα κοντά σε κατοικημένες ή γεωργικές περιοχές πράγμα που σημαίνει ότι λιβάδια σε μεγάλα υψόμετρα, απομακρυσμένα από κατοικίες ή καλλιέργειες πρέπει να ταξινομούνται στην κατηγορία των φυσικών λιβαδιών (3.2.1) και όχι στην 2.3.1.

Οι βοσκότοποι μπορούν να περιγραφούν ως λιβάδια χρησιμοποιούμενα σε μεγάλο βαθμό, με παρουσία αγροτικών κατασκευών όπως: φράχτες, σκέπαστρα, μαντριά, γούρνες, αυλάκια ή κανονικά γεωργικά έργα για: θερισμό, αποστράγγιση, παρασκευή σανού, γεωργικές πρακτικές και λίπανση.



Εικόνα 40: Λιβάδια στη κεντρική Σλοβενία και την Εσθονία αντίστοιχα

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Προσωρινά και τεχνητά βοσκοτόπια, που δεν υπόκεινται σε σύστημα εναλλαγής που γίνεται μόνιμος λιβαδότοπος πέντε χρόνια μετά το όργωμα. Σημαντικός αριθμός ειδών φυσικής βλάστησης είναι παρόν (όπως *Taraxacum officinale*, *Ranunculus* spp., *Chrysanthemum leucantemum*, *Knautia arvensis*, *Achillea millefolium*, *Salvia* spp κλπ).
- Εγκαταλελειμμένη αρόσιμη γη, που δεν υπόκειται σε σύστημα εναλλαγής και χρησιμοποιείται ως βοσκότοπος (μετά τα 3 χρόνια).
- Λιβάδια που μπορεί να περιβάλλουν τεμάχια αρόσιμης γης, τα οποία δεν καλύπτουν περισσότερο από το 25% της συνολικής επιφάνειας.
- Πολύ υγρά λιβάδια με κυριαρχούσα κάλυψη γρασιδιού. Σπάρτα, βούρλα, γαϊδουράγκαθα, τσουκνίδες καλύπτουν λιγότερο από το 25% της επιφάνειας του τεμαχίου.
- Διασκορπισμένα δέντρα και θάμνοι (10% - 20% της συνολικής επιφάνειας).

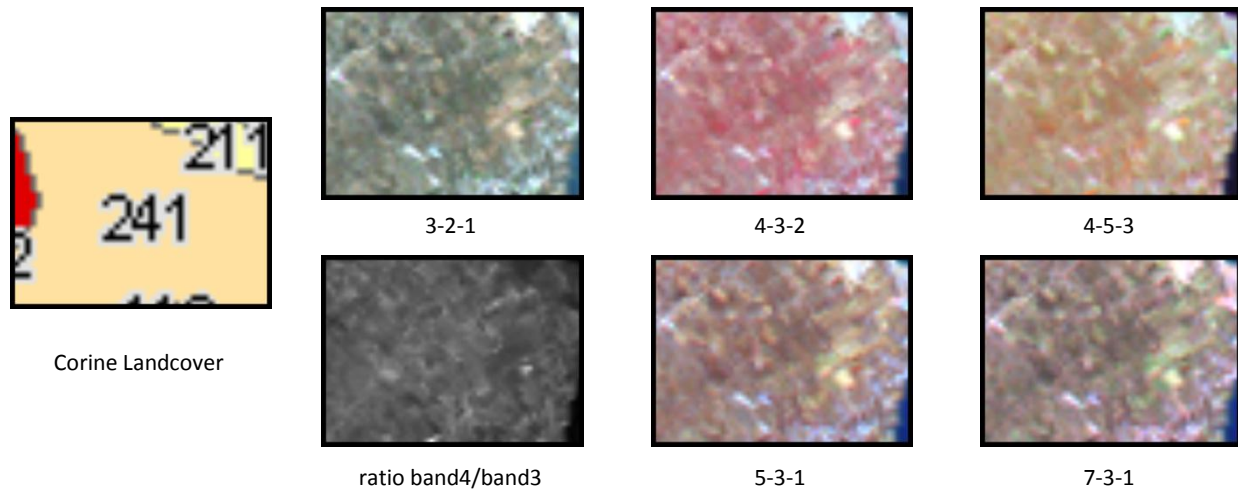
Ιδιότητες

- i.* Στα υπέρυθρα ψευδέγχρωμα σύνθετα, όπως το 4-3-2, εμφανίζεται με κίτρινο-γκρι, γκρι-ροζ, ή ανοιχτό καφέ χρώμα.
- ii.* Τυχόν διάσπαρτα δέντρα ή θάμνοι καταλαμβάνουν το πολύ το 50% της συνολικής επιφάνειας.
- iii.* Εντοπίζονται κοντά σε κατοικημένες ή/και γεωργικές περιοχές.
- iv.* Μπορεί να είναι περιφραγμένα και γενικά είναι αισθητή η παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα στην επιφάνεια αυτή.

2.4.1. Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες.

Περιγραφή

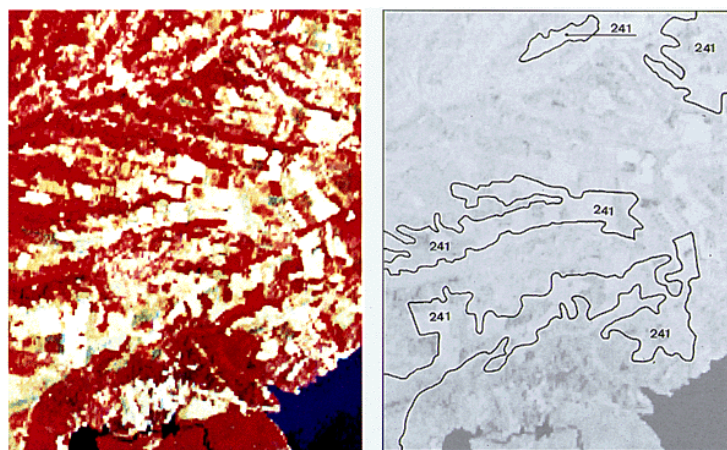
Ετήσιες καλλιέργειες (αρόσιμη γη, βοσκότοποι) σε συνδυασμό με μόνιμες καλλιέργειες στο ίδιο αγροτεμάχιο.



Εικόνα 41: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.1. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.

Αυτή η κατηγορία καλύπτει τον συνδυασμό στο ίδιο, ενιαίο, τεμάχιο που αναγνωρίζεται από συγκεκριμένη φασματική απόκριση και όχι πολλές καλλιέργειες σε διαφορετικά τεμάχια, που είναι είτε μόνιμες, είτε ετήσιες. Όταν τα τμήματα γης έχουν την μορφή μωσαϊκού με μικρά αγροτεμάχια από ετήσιες, μόνιμες καλλιέργειες και βοσκοτόπια θα πρέπει να ταξινομείται στην κατηγορία 2.4.2 (σύνθετες καλλιέργειες).

Μικρά τεμάχια που αποτελούνται από οπωροφόρα και εναλλάσσονται με τεμάχια ετήσιων καλλιεργειών (βρίσκονται δηλαδή σε διαφορετικά τεμάχια) δεν πρέπει να ξεπερνούν το 25% της συνολικής επιφάνειας. Το ποσοστό των ετήσιων καλλιεργειών σε αυτή την κατηγορία πρέπει να υπερβαίνει το 50% του συνόλου.



Εικόνα 42: France, Area Digne, Interpretation Landsat MSS 7.5.4., September 1987



Εικόνα 43: Επίγεια φωτογραφία της κατηγορίας 2.4.1.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Μη μόνιμες καλλιέργειες οι οποίες βρίσκονται υπό την σκιά σπυροφόρων, ελαιώνων ή αμπελώνων.
- Μη μόνιμες καλλιέργειες οι οποίες οριοθετούνται από μια δικτυωτή δομή σπυροφόρων, αμπελώνων.
- Μερικά τεμάχια, από μόνιμες καλλιέργειες λίγο ή πολύ σε ακανόνιστη διάταξη με ετήσιες καλλιέργειες / βοσκότοπους μικρότερα από 25 εκτάρια, τοποθετημένα μέσα σε μια κυριαρχούσα μη μόνιμη καλλιέργεια όπου κανένα από αυτά τα είδη δεν υπερβαίνει το 75% του συνόλου.

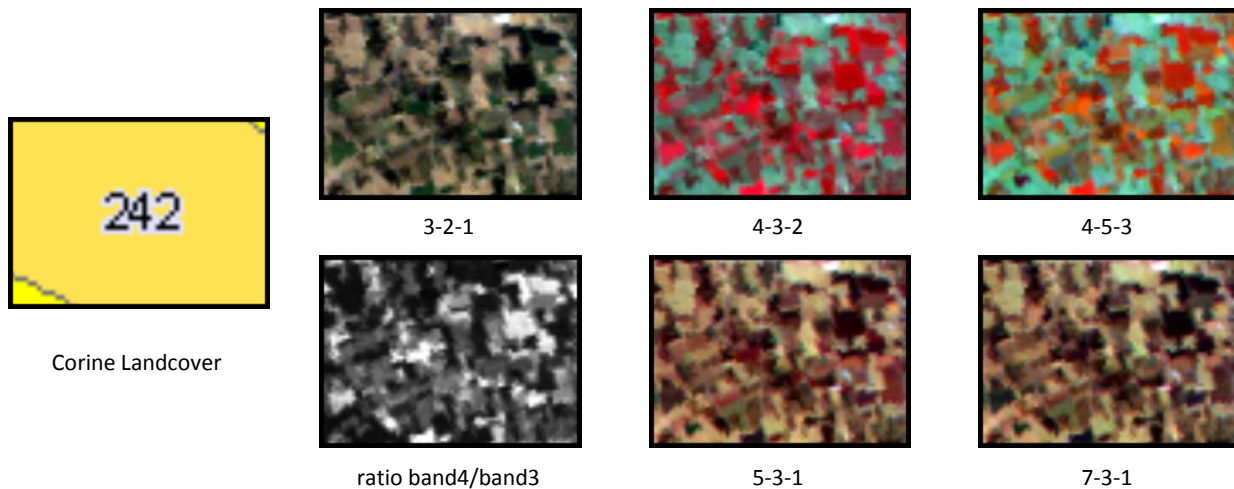
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή δεν έχει συγκεκριμένη φασματική υπογραφή.
- ii.* Στην κατηγορία αυτή δε διακρίνονται τεμάχια, δηλαδή δεν έχουμε την μορφή μωσαϊκού, κι αν αυτά υπάρχουν δεν καλύπτουν περισσότερο από το 25% της συνολικής επιφάνειας.
- iii.* Το ποσοστό το ετησίων καλλιεργειών πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 50%.
- iv.* Καμία από τις κατηγορίες καλλιεργειών, μόνιμων ή ετήσιων, δεν επικρατεί, δηλαδή δεν καταλαμβάνει ποσοστό μεγαλύτερο του 75%.

2.4.2. Σύνθετες καλλιέργειες.

Περιγραφή

Μικρά τεμάχια γης, τοποθετημένα πλάι-πλάι, που απαρτίζονται από διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, βοσκότοπους και/ή μόνιμες καλλιέργειες.



Εικόνα 44: Παράδειγμα σύνθετων καλλιεργειών στην περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.

Οι παραπάνω δορυφορικές εικόνες είναι καλά παραδείγματα αγροτεμαχίων που θα πρέπει να ταξινομηθούν υπό την 2.4.2. κατηγορία (Σύνθετες καλλιέργειες). Στις δορυφορικές εικόνες αυτή η κατηγορία έχει πάντα μια αρκετά λεπτόκοκκη υφή και είναι ένα εύκολα αναγνωρίσιμο γεωργικό μοτίβο. Οι τοπογραφικοί χάρτες χρησιμοποιούν καμιά φορά σύμβολα για να υποδείξουν το βιοφυσικό περιεχόμενο αυτής της κατηγορίας.

Η κατηγορία αυτή, καλύπτει τμήματα γης, που είναι αναγνωρίσιμα από τα χαρακτηριστικά της φασματικής τους απόκρισης και συγκροτούνται από μικρά τεμάχια από διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, βοσκότοπους και/ή μόνιμες καλλιέργειες, εφόσον καμιά από αυτές τις τρεις κατηγορίες δεν συγκροτεί μια αναγνωρίσιμη επιφανειακή μονάδα, εμβαδού μεγαλύτερου των 25 εκταρίων. Αρόσιμη γη, βοσκότοποι και οπωρώνες καθένα από τα οποία καταλαμβάνει λιγότερο από το 75% της συνολικής επιφάνειας. Αστικοί κήποι (άλση) συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία.



Εικόνα 45: Σύνθετες καλλιέργειες στην περιοχή της κεντρικής Σλοβακίας

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Μεικτά τεμάχια από μόνιμες καλλιέργειες (οπωροφόρα δέντρα, φυτείες ειδών μούρων, αμπελώνες και ελαιώνες).
- Διάκενα μη πετρωδών ελεύθερων χώρων σε ασυνεχή αστική δόμηση μικρότερη των 25 εκταρίων.
- Θερικοί οικισμοί, εάν οι υποδομές / οδικό δίκτυο δεν είναι ορατά.
- Σύνθετες καλλιέργειες με διασκορπισμένα σπίτια, τοποθετημένα με μια δομή σαν «μπαλώματα» όταν τα χτισμένα τεμάχια καλύπτουν λιγότερο από 30% της συνολικής επιφάνειας.
- Πάρκα ενασχόλησης / αστικοί κήποι.
- Τεμάχια λιβαδότοπων.

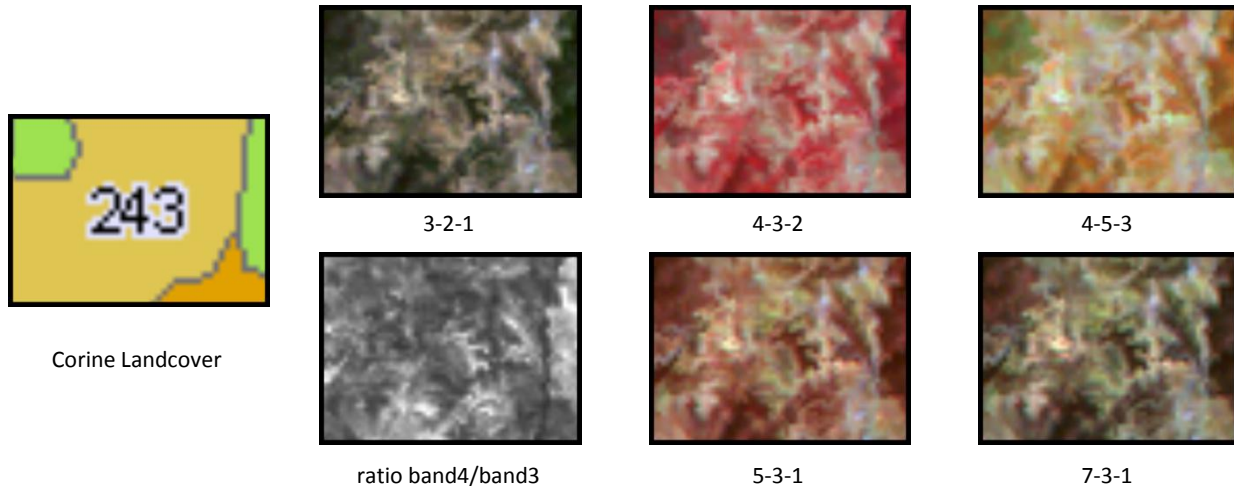
Ιδιότητες

- i.* Η γη σ' αυτή την κατηγορία είναι χωρισμένη σε μικρά τεμάχια.
- ii.* Για το λόγω αυτό παρουσιάζει μια σχετικά λεπτόκοκκη υφή (τραχεία).
- iii.* Κανένα είδος καλλιέργειας (αμπελώνες, ελαιώνες, αρόσιμη γη) δεν επικρατεί, δηλαδή δεν καταλαμβάνει ποσοστό μεγαλύτερο του 75%.
- iv.* Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τεχνητές επιφάνεια, κυρίως κατοικίες, αλλά δεν ξεπερνούν το 30% της συνολικής επιφάνειας.

2.4.3. Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης.

Περιγραφή

Περιοχές που κυρίως καταλαμβάνονται από καλλιέργειες, με διάσπαρτες σημαντικές έκτασης φυσικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 46: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.3. από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.

Το αντικείμενο αυτής της ονοματολογίας, καλύπτει μονάδες γης, που είναι αναγνωρίσιμες από τα χαρακτηριστικά της φασματικής τους υπογραφής και ξεχωρίζουν απ' το περιβάλλον τους. Σε ορεινές περιοχές θα ήταν λάθος να χρησιμοποιούμε την κατηγορία 2.4.3. για συστηματική ταξινόμηση περιοχών γύρω από χωριά, όπου αποτελούνται κυρίως από φυσική λιβάδια. Σ' αυτές τις περιοχές, κανένα ομοιογενές υποσύνολο, έκτασης 25 εκταρίων ή περισσότερο, δεν πρέπει να απομονωθεί σαν γεωργική ή φυσική περιοχή (φυσική βλάστηση, δάση, βάλτοι, λιβάδια, υδάτινες επιφάνειες ή γυμνοί βράχοι). Η γεωργική γη καταλαμβάνει μεταξύ του 25% και 75% της συνολικής επιφάνειας. Οι περιφραγμένες εκτάσεις εξαιρούνται από αυτή την κατηγορία (βλέπε 2.3.1.).

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Τεμάχια αρόσιμης γης (μικρότερα των 25 εκταρίων).
- Τεμάχια σπυροφόρων, αμπελώνων και φυτειών μούρων (μικρότερα των 25 εκταρίων).
- Τεμάχια στα όρια φυσικών δασών, ομάδες δέντρων και θάμνων (μικρότερα των 25 εκταρίων).
- Μικρές περιοχές υδάτινων επιφανειών.
- Σποραδικά υπάρχοντα σπίτια αγροτικών οικισμών, ή γεωργικών κτιρίων.
- Δέντρα οργανωμένα σε γραμμική δομή για παραγωγή τρούφας.
- Φυτοκομία (φυτικές καλλιέργειες και αγωγοί). Γεωργία και σκόρπιοι σωροί από πέτρες.

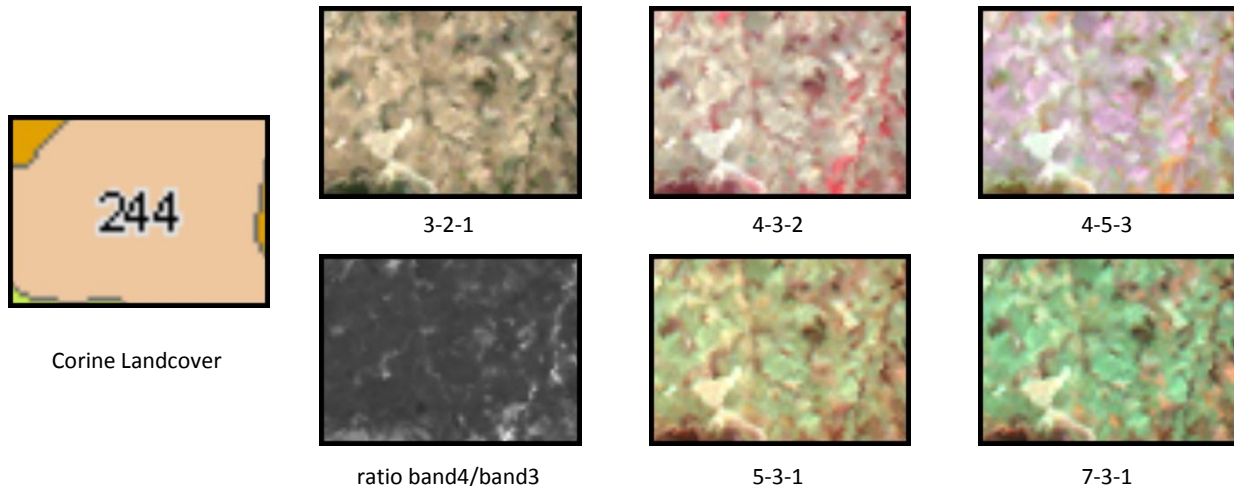
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή παρουσιάζει αντίθεση με τον περιβάλλοντα χώρο και γ' αυτό είναι ευδιάκριτη.
- ii. Το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες, κυμαίνεται μεταξύ του 25% και 75% της συνολικής επιφάνειας.
- iii. Το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι φυσικές εκτάσεις, κυμαίνεται μεταξύ του 25% και 75% της συνολικής επιφάνειας.

2.4.4. Γεωργό-δασικές περιοχές.

Περιγραφή

Ετήσιες καλλιέργειες ή έδαφος για βοσκή υπό την ξύλινη κάλυψη δασικών ειδών.



Εικόνα 47: Παράδειγμα της κατηγορίας 2.4.4. από την περιοχή της Χαλκίδας το έτος 1991.

Αυτή η κατηγορία εμφανίζεται πολύ συχνά στην νοτιότερη Ευρώπη. Συχνά συνδέεται με πολύ εκτεταμένες περιοχές με μεγάλη ποικιλία φασματικών υπογραφών (λόγω των διαφορετικών ειδών βλάστησης, πυκνότητας των δέντρων και των τύπων του εδάφους). Η απεικόνιση δεν είναι πάντα εύκολη, καθώς υπάρχει συχνά μια μεταβατική ζώνη ανάμεσα στην φυσική βλάστηση και την οργωμένη γη. Η καλή γνώση της περιοχής και χρήση αεροφωτογραφιών συνίσταται.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει ετήσιες καλλιέργειες, ή βοσκότοπους και γη σε αγρανάπαυση που καλύπτουν λιγότερο από το 50% της συνολικής επιφάνειας.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Περιοχές δασικών δέντρων επικαλυπτόμενες με οπωροφόρα δέντρα / ελιές όπου κανένα από τα δύο είδη δέντρων δεν κυριαρχεί.
- Ξυλοκερατιές που σκιαγραφούν γεωργική γη.
- Γεωργική γη που καλύπτεται από φοινικόδεντρα, σε μεσογειακό περιβάλλον.

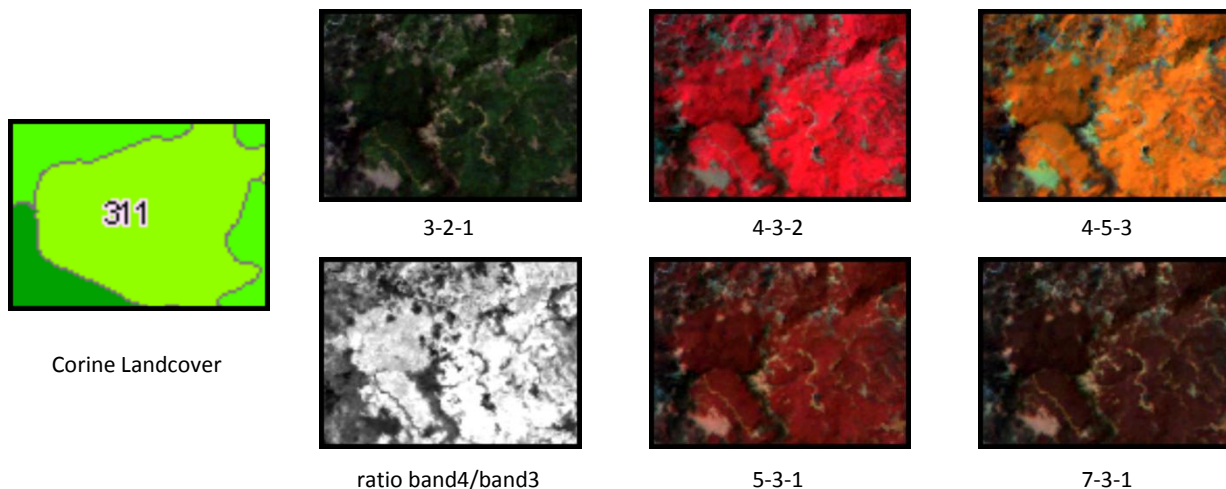
Ιδιότητες

- i. Η φασματική υπογραφή της κατηγορίας αυτής ποικίλει.
- ii. Το ποσοστό των γεωργικών καλλιεργειών και των βοσκότοπων δεν ξεπερνά το 50% της συνολικής επιφάνειας.
- iii. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται μεμονωμένα και/ή συστάδες δέντρων αλλά δεν ξεπερνούν το 30% της συνολικής επιφάνειας.

3.1.1. Δάσος πλατύφυλλων.

Περιγραφή

Σχηματισμοί βλάστησης, που αποτελείται κυρίως από δέντρα, συμπεριλαμβανομένου θάμνων και φυτών χαμηλής βλάστησης, όπου τα πλατύφυλλα είδη κυριαρχούν.



Εικόνα 48: Παράδειγμα πλατύφυλλου δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.

Η μόνη δυσκολία στην αναγνώριση των πλατύφυλλων δασών οφείλεται στις επιδράσεις που έχει η σκιά στις δασώδεις κοιλάδες. Η σύγχυση με δάσος κωνοφόρων της κατηγορίας 3.1.2. είναι τότε δυνατή.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωριστούν όλες οι περιοχές που πρέπει να ταξινομηθούν υπό την 3.1.1. Παρόμοια κύρια εργαλεία ανάλυσης μπορούν να εφαρμοστούν για την μείωση των επιδράσεως του φαινομένου της σκιάς.

Συστάδες λεύκων, μπορούν να αναγνωριστούν από το κανονικό τους γεωμετρικό σχήμα, κοντά σε ροές υδάτων ή υγρές ζώνες και από το επίπεδο του δείκτη βλάστησης, και θα πρέπει να ταξινομηθούν σ' αυτή την κατηγορία.

Τα πλατύφυλλα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από τα τρία τέταρτα της επιφάνειας αυτής της κατηγορίας, διαφορετικά η κατηγορία θα είναι αυτή του μεικτού δάσους. Νεαροί θάμνοι και δεντροφυτείες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η πυκνότητα της δομής των δεντροφυτειών πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30% από την οποία το 75% τουλάχιστον πρέπει να είναι πλατύφυλλες δέντρο-κορυφές.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Δεντροφυτείες ευκαλύπτων.
- Νεαρές αποικίες φυλλοβόλων δέντρων.
- Καρυδιές και καστανιές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ξυλείας και συμπεριλαμβάνονται σε δασική περιοχή.
- Αραιά πλατύφυλλα δάση με 30% - 60% κάλυψη δέντρο-κορυφών.
- Αειθαλείς πλατύφυλλοι δασότοποι που συγκροτούνται από σκληρόφυλλα δέντρα (κυρίως *Quercus Ilex*, *Quercus Suber*, *Quercus Rotundifolia*).
- Δενδροειδή οικοσυστήματα με σκληρόφυλλα είδη.
- Δάση άγριας ελιάς, όπου κυριαρχούν κυρίως οι *Olea europaea* sp. *sylvestris*, *Ceratonia siliqua*.
- Φοινικόδασος (μία μόνο τέτοια περίπτωση εντοπίζεται στην Ελλάδα).
- Δάσος πουρναριών κυρίως αποτελούμενο από *Ilex aquifolium*.
- Πλατύφυλλα δασοσκέπαστοι αμμόλοφοι.
- Μεταβατικά δασώδεις περιοχές όταν τα δέντρα καλύπτουν τουλάχιστον το 50% και οι κορμοί τους έχουν μέση διάμετρο 10εκ.
- Γυμνές περιοχές, ξέφωτα και λιβάδια.

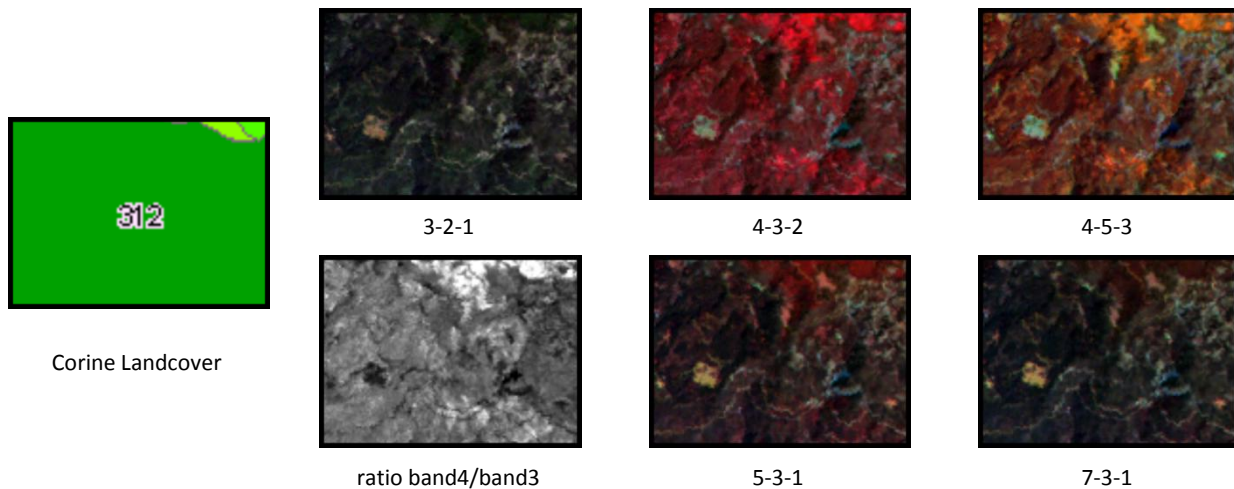
Ιδιότητες

- i.* Στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, εμφανίζεται με φωτεινό κόκκινο χρώμα.
- ii.* Οι δένδρο-κορυφές καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 30% την συνολικής επιφάνειας της κατηγορίας.
- iii.* Τα πλατύφυλλα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 75% αυτού του φυτικού μοτίβου.

3.1.2. Δάσος κωνοφόρων.

Περιγραφή

Σχηματισμοί βλάστησης, που αποτελούνται κυρίως από δέντρα, συμπεριλαμβανομένων θάμνων και φυτών χαμηλής βλάστησης, όπου τα κωνοφόρα είδη κυριαρχούν.



Εικόνα 49: Παράδειγμα κωνοφόρου δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.

Τα δάση κωνοφόρων αναγνωρίζονται εύκολα σε ψευδέγχρωμα σύνθετα, από το σκούρο χρώμα τους που τα ξεχωρίζει από τα πιο φωτεινά πλατύφυλλα δάση. Μόνο τα νεαροί σχηματισμοί κωνοφόρων δέντρων μπορούν να μπερδευτούν με την 3.1.1. κατηγορία. Η επιφάνεια που είναι φυτεμένη με κωνοφόρα πρέπει να αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 75% της συνολικής επιφάνειας του δασικού σχηματισμού, διαφορετικά χαρακτηρίζεται ως μεικτό δάσος. Σε περιπτώσεις φυτωρίων και νέων δενδρυλλίων η αναλογία των κωνοφόρων φυτών πρέπει να είναι κυμαίνεται τουλάχιστον στο 75% του συνόλου των φυτών και η υφή να είναι παρόμοια με την υφή του περιβάλλοντος κωνοφόρου δάσους.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Μη αιθαλή κωνοφόρα δάση που αποτελούνται από πεύκα γένους *larix*.
- Νεαρές δενδροφυτείες κωνοφόρων δέντρων.
- Κωνοφόροι δασώδεις αμμόλοφοι.
- Γυμνά σημεία, ξέφωτα και λιβαδότοποι.
- Δενδροειδή οικοσυστήματα που κυριαρχούνται από *Juniperus oxycedrus* / *phoenica*.
- Κωνοφόρο δασώδες έδαφος.
- Δενδροφυτείες χριστουγεννιάτικων δέντρων.

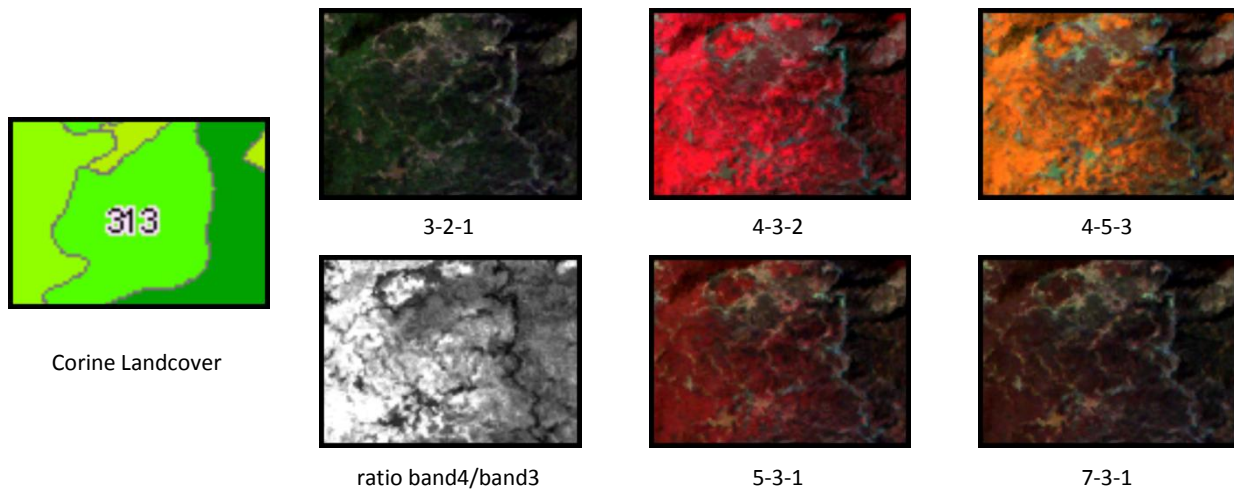
Ιδιότητες

- Στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα.
- Τα δένδρα καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 30% την συνολικής επιφάνειας της κατηγορίας.
- Τα κωνοφόρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το 75% του φυτικού μοτίβου.

3.1.3. Μεικτό δάσος.

Περιγραφή

Σχηματισμοί βλάστησης, που αποτελούνται κυρίως από δέντρα, συμπεριλαμβανομένου θάμνων και φυτών χαμηλής βλάστησης, όπου κανένα από τα κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη δεν κυριαρχεί.



Εικόνα 50: Παράδειγμα μεικτού δάσους από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.

Η κατηγορία αυτή δεν περιλαμβάνει το μεικτό δάσος με την αυστηρή δασολογική του έννοια μόνο (διασκορπισμένων δέντρων ή σε συμπαγείς συνδυασμούς), αλλά και σύνθετα δασικά τεμάχια, δημιουργώντας ένα περίπλοκο μωσαϊκό πλατύφυλλων και δέντρων με μαλακό ξύλο όπου καμία ομοιογενής περιοχή μεγαλύτερη των 25 εκταρίων δεν μπορεί να διακριθεί. Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τυπικά παραδείγματα μεικτού δάσους στην Ελλάδα.

Στη κατηγορία του μεικτού δάσους οι δέντρο-κορυφές πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον το 30% της συνολικής επιφάνειας της περιοχής ή να έχουν μια πυκνότητα της τάξης των 500 αντικειμένων ανά εκτάριο.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Δασώδεις αμμόλοφοι μεικτού δάσους.
- Σποραδικά ευρισκόμενοι θαμνώδεις σχηματισμοί.
- Γυμνά τμήματα και λιβαδότοποι.
- Ξέφωτα.

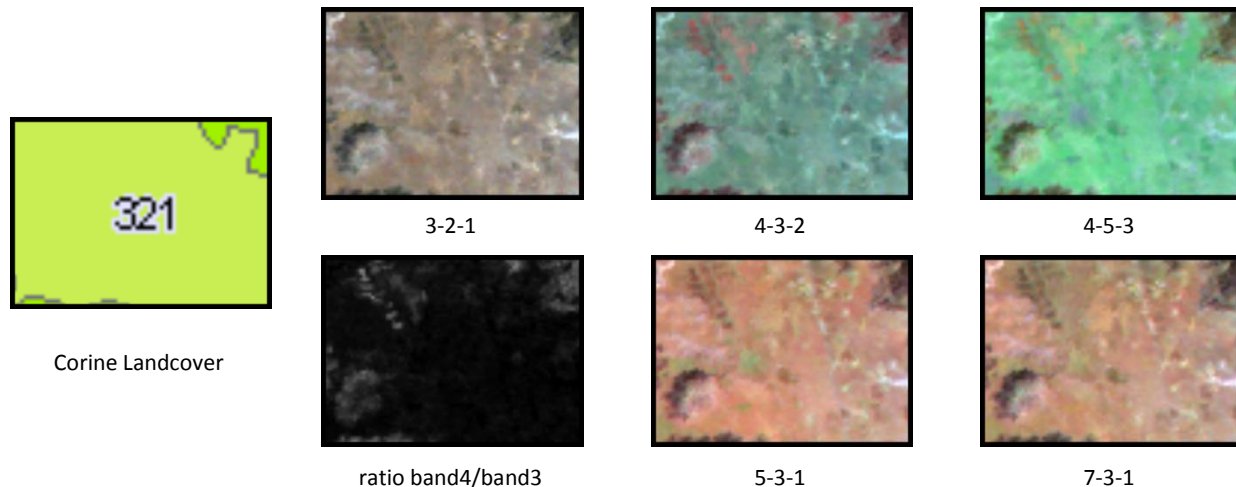
Ιδιότητες

- Στο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, εμφανίζεται με διάφορους τόνους του κόκκινου χρώματος.
- Τα δένδρα καταλαμβάνουν τουλάχιστον το 30% την συνολικής επιφάνειας της κατηγορίας.
- Τα πλατύφυλλα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν μεταξύ του 25% και 75% αυτού του φυτικού μοτίβου.
- Τα κωνοφόρα δέντρα πρέπει να αντιπροσωπεύουν μεταξύ του 25% και 75% αυτού του φυτικού μοτίβου.

3.2.1. Φυσικοί βοσκότοποι.

Περιγραφή

Χαμηλής παραγωγικότητας λιβάδια. Συχνά ευρισκόμενα σε σκληρά, ανώμαλα εδάφη. Συνήθως ακόμη περιλαμβάνουν βραχώδης περιοχές, βάτους και θαμνότοπους.



Εικόνα 51: Παράδειγμα φυσικού βοσκότοπου από την περιοχή του Παρναςσού το έτος 1992.

Αυτή η κατηγορία κάλυψης γης, εντοπίζεται συχνότατα σε περιοχές όπου υπάρχει εκτεταμένη αγροτική δραστηριότητα. Αεροφωτογραφίες ή πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες Landsat TM, πρέπει να αναλύονται για το διαχωρισμό αυτής της κατηγορίας από τις κατηγορίες 3.3.2. (βραχώδης περιοχές) και 3.2.2. (ρεικότοποι). Θα υπάρχει φυσιολογικά ένα εύρος αποχρώσεων που απεικονίζουν τον αυξανόμενο πλούτο της «ξύλινης» βλάστησης.

Οι περιοχές φυσικών λιβαδιών κανονικά δεν παρουσιάζουν οριοθετημένα τεμάχια (περίφραξη, μαντρότοιχους, μαντριά).

Εκτάσεις που βρίσκονται υπό βοσκή ή υπερβολική βοσκή, όταν καταγράφεται η εικόνα, ιδικά κοντά σε βουστάσια ή ορεινά μαντριά, πρέπει να ταξινομούνται στην 3.2.1. και όχι στην 3.2.2. (ρεικότοποι) ή την 3.3.3. (περιοχές με αραιή βλάστηση).

Τα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν είναι η απόσταση από μόνιμες κατοικίες και το μήκος του χρόνου κατά το οποίο τα ζώα μπορούν να βοσκούν (λιγότερο από 120 μέρες: από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο).

Τα φυσικά λιβάδια είναι περιοχές χορτώδους βλάστησης (μέγιστου ύψους 150εκ όπου τα φυτικά είδη επικρατούν) που καλύπτουν τουλάχιστον το 75% της επιφάνειας που καλύπτεται από βλάστηση και έχει αναπτυχθεί με την ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση.



Εικόνα 52: Φυσικοί βοσκότοποι από τις περιοχές της Σλοβακίας και την Εσθονίας αντίστοιχα

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Αλατούχοι λιβαδότοποι που μεγαλώνουν σε προσωρινά υγρές περιοχές μεταλλικού εδάφους.
- Λιβαδότοποι μεγάλης υγρασίας όπου σπάρτα αγκάθια, τσουκνίδες, καλύπτουν πάνω από το 25% του τεμαχίου.
- Φυσικά λιβάδια όπου δέντρα και θάμνοι δεν καλύπτουν πάνω από το 25% της επιφάνειας.
- Υψηλής παραγωγικότητας αλπικά λιβάδια μακριά από κατοικίες και καλλιέργειες.
- Χορτώδης περιοχές στρατιωτικής εκπαίδευσης (πεδία βολής).
- Λιβάδια υπό βοσκή, που ποτέ όμως δεν σπέρνονται ή χρησιμοποιούνται λιπάσματα, φυτοφάρμακα κ.λπ. παρά μόνο με καύση.
- Λιβάδια με ετήσια παραγωγή μικρότερη από 1500 μονάδες ζωοτροφής ανά εκτάριο.
- Χορτώδης κάλυψη από άνοστα φυτικά είδη όπως *Molinia* spp. και *Brachyrodium* spp.
- Εγκαταλελειμμένα φυσικά λιβάδια όπου η κάλυψη «ξύλινης» βλάστησης είναι <75%.
- Λιβάδια με διάσπαρτες βραχώδεις περιοχές που αντιπροσωπεύουν <25% της επιφάνειας.

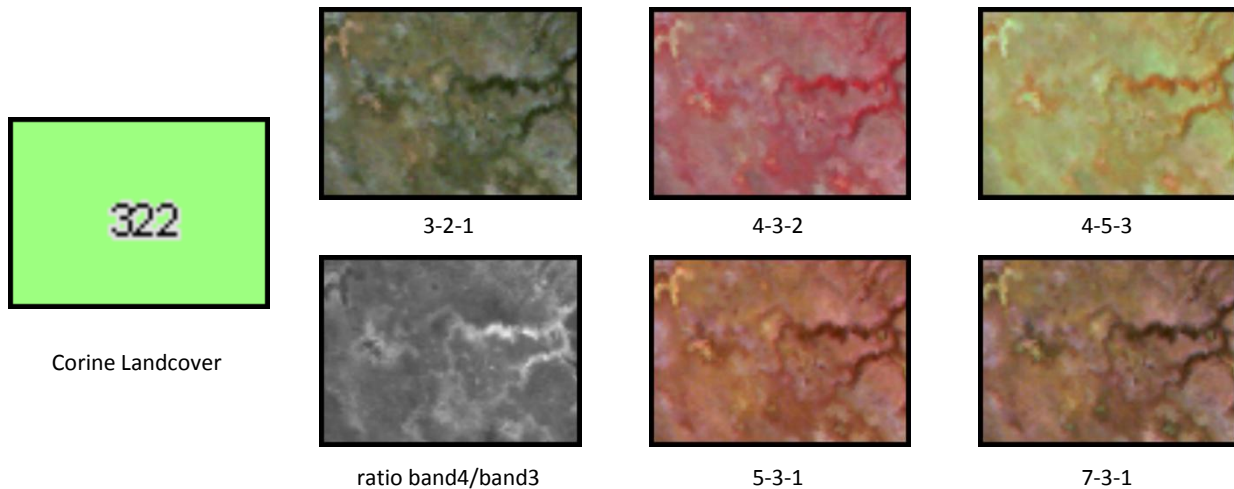
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με μπλε (κυανό) χρώμα και δόσεις κόκκινου ανάλογα με τη εποχή.
- ii.* Η βλάστηση είναι χαμηλή (χορτώδης) και καταλαμβάνει τουλάχιστον το 50% της συνολικής επιφάνειας της κατηγορίας
- iii.* Το ακάλυπτο έδαφος καταλαμβάνουν λιγότερο από το 50% της επιφάνειας ενώ τα βραχώδη εδάφη λιγότερο από το 25%.
- iv.* Συναντάται κυρίως σε ορεινό έδαφος με έντονο ανάγλυφο, και διαμορφώνεται με ελάχιστη ανθρώπινη επέμβαση, μακριά από κατοικήσιμες περιοχές και καλλιέργειες.

3.2.2. Θάμνοι και χερσότοποι.

Περιγραφή

Βλάστηση με χαμηλή και πυκνή κάλυψη όπου κυριαρχείται από θάμνους, βάτους και χορτώδη φυτά (ρείκια, βάτοι, θάμνοι, κ.λπ.).



Εικόνα 53: Παράδειγμα θάμνων και χερσότοπων από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.

Είναι δυνατόν να διακριθούν:

Ατλαντικοί ρεικότοποι, δευτερεύοντος σχηματισμού, ως αποτέλεσμα δασικής υποβάθμισης, που εμφανίζεται σε δύο μορφές:

1. Ρεικότοποι που συντίθενται από Ευρωπαϊκά φυτά, φτέρες, κ.λπ. (ψηλής ανάπτυξης).
2. Ρεικότοποι που συντίθενται κυρίως από ρείκια (χαμηλής ανάπτυξης).

υποαλπικοί ρεικότοποι, που σχηματίζονται κυρίως με ροδόδεντρα και άλλα φυτά αυτού του είδους, και γενικά διαδέχονται ένα υποαλπικό δάσος και έδαφος για βοσκή.

Ανάλυση βιογεωγραφικού περιεχομένου και γνώση του ανάγλυφου βοηθούν στο να γίνει μια καλή αναγνώριση των ρεικότοπων από δορυφορικές εικόνες. Ωστόσο προτείνεται να η ερμηνεία να γίνεται με σύγκριση αεροφωτογραφιών. Υπάρχει βέβαια ένα ρίσκο σύγχυσης με κωνοφόρα δάση (3.1.2.) και τυρφώδη έλη (4.1.2.).

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται θαμνώδης περιοχές εύκρατου κλίματος και δάση νάνοι με 3μ μέγιστο ύψος βλάστησης.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Πεύκα *pinus mugo* που καλύπτουν το ανώτερο όριο δέντρων σε αλπική ζώνη ή στη βάση μεγάλων κοιλοτήτων με αναστροφή θερμοκρασίας.
- Χαμόκλαδα και θαμνότοποι σε Ατλαντικές, υπό-Ατλαντικές και υπό-ηπειρωτικές.
- Χερσότοποι σε υπέρ-Μεσογειακές με πυξάρια και αγκαθωτούς θαμνότοπους.
- Υπό-Ατλαντικά ψηλά χόρτα με κυρίαρχες θαμνώδεις εκφράσεις.
- Αρκτικοί χερσότοποι με βρύα, λειχήνα, φυτική κάλυψη και μικρούς κοντούς ή πρηνείς θαμνώδεις σχηματισμούς.
- Παραλιακοί αμμόλοφοι καλυμμένοι με θάμνους.
- Υγροί θαμνότοποι κατανεμημένοι σε πολύ υγρά, ημί-τυρφώδη εδάφη.
- Θάμνοι και χαμόκλαδα σε εύκρατο κλίμα.
- Χαμόκλαδα και θαμνώδη δάση σε Αλπικές περιοχές με χαμηλά όρη και πεύκα νάνους.
- Θαμνώδη δάση σε αρκτικές περιοχές.
- Εγκαταλελειμμένες καλλιέργειες όπου τα θαμνώδη είδη ξεπερνούν το 25%.
- Παραθαλάσσια, πρηνή, με κλίση προς την φορά του ανέμου, θαμνότοποι με παραθαλάσσιους οικοτύπους.
- Χορτώδης κάλυψη σχηματισμών που αποτελούνται κυρίως από άνοστα φυτικά είδη.

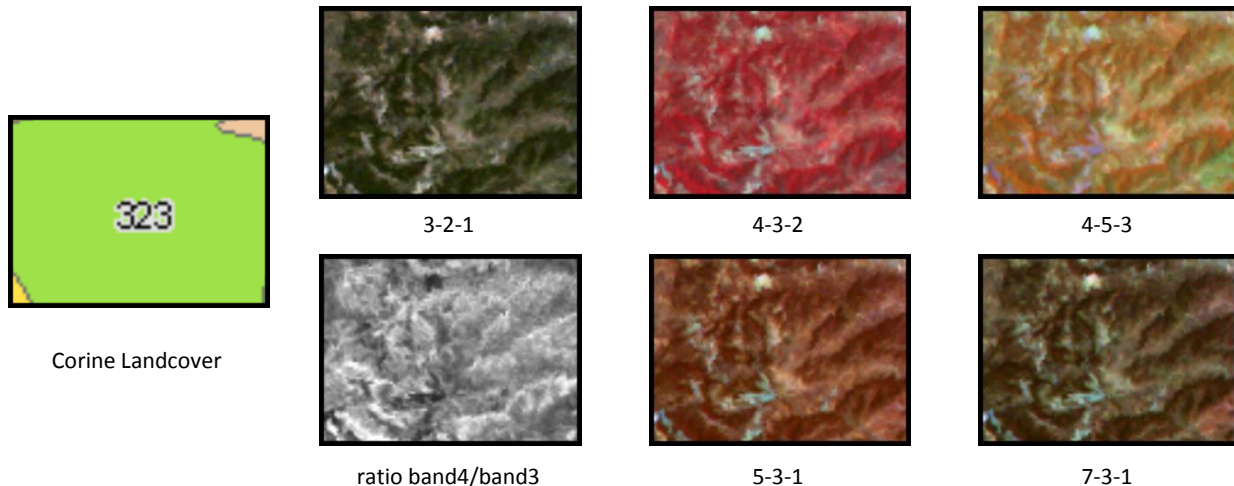
Ιδιότητες

- i.* Στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2, η κατηγορία αυτή εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα και μπορεί να συγχυστεί δάσος κωνοφόρων.
- ii.* Εντοπίζεται σε σχετικά μεγάλα υψόμετρα με έντονο ανάγλυφο και γειτνιάζει συνήθως με δάση και/ή φυσικά λιβάδια.
- iii.* Είναι περιοχή χαμηλής βλάστησης με θάμνους και δενδρύλλια που δεν ξεπερνούν τα 3μ.

3.2.3. Σκληρόφυλλη βλάστηση.

Περιγραφή

Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση, συμπεριλαμβανομένου «maquis» και «garrigue».



Εικόνα 54: Παράδειγμα σκληρόφυλλης βλάστησης από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.

«Maquis» είναι πυκνοί συνδυασμοί βλάστησης που συντίθενται από πολυάριθμους θάμνους καλύπτοντας οξύ πυριτικά εδάφη σε Μεσογειακές περιοχές. Αυτοί οι σχηματισμοί γενικά αποτελούνται από μικρές βελανιδιές, κουμαριές, βάτα κ.λπ. και γενικά φυτά χαμηλής βλάστησης.

«Garrigue» είναι ασυνεχείς θαμνώδεις συνεταιρισμοί Μεσογειακών ασβεστολιθικών υψιπέδων. Συχνά αποτελούνται από θαμνώδεις βελανιδιές, λεβάντες και θυμάρια. Μπορεί να υπάρχουν κάποια απομονωμένα δέντρα.

Η σκληρόφυλλη βλάστηση είναι ένας υπό-δασικός σχηματισμός που συχνά δύσκολα ξεχωρίζει από ένα Μεσογειακό δάσος. Η χρήση συμπληρωματικών δεδομένων (αεροφωτογραφίες, χάρτες απογραφής δασών, δείκτες βλάστησης) κρίνεται απαραίτητη. Συμπεριλαμβάνονται δάση νάνοι μέγιστου ύψους τριών μέτρων.



Εικόνα 55: Σκληρόφυλλη βλάστηση βουνοπλαγιές των Σκοπίων.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Οικοσυστήματα άνυδρης ζώνης με χαμόκλαδα σε προ-έρημο περιβάλλον και ψηλά zizirhus lotus.
- Δαφνώνες οικοσύστημα με laurus nobilis.
- Οικοσύστημα με κυπαρίσσια αυτόχθονα ή φυτεμένα.
- Πυκνοί σχηματισμοί του δενδροειδούς φυτού γένους euphorbia σε θερμό-Μεσογειακές περιοχές.
- Σχηματισμοί ριπιδοειδών φοινίκων όπου επικρατούν οι chamaerops humilis.
- Θαμνώδη φυτά σε προ-ερημικό περιβάλλον που τρέφονται νιτρικά άλατα και γύψο: χαμόκλαδα τζιτζιφιάς (Zizirhus lotus) και βάτοι Αφρικανικού είδους (αγκαθωτοί σχηματισμοί ακακίας).
- Εγκαταλελειμμένοι ελαιώνες.

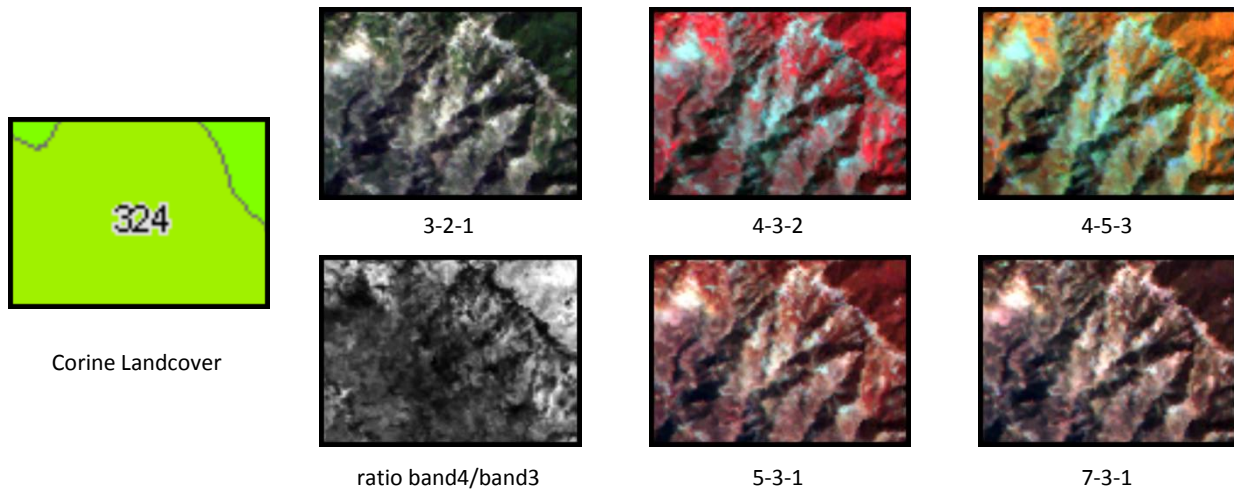
Ιδιότητες

- i.* Στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα.
- ii.* Το ποσοστό της θαμνώδους βλάστησης σε αυτή την κατηγορία ξεπερνά το 50% της συνολικής επιφάνειας.
- iii.* Τα μεγάλα (ψηλά δέντρα) δεν ξεπερνούν το 30% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Το ύψος της βλάστησης σε συντριπτικό ποσοστό δεν ξεπερνά τα 3μ. και είναι αειθαλής.

3.2.4. Μεταβατικές θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις.

Περιγραφή

Θαμνώδης ή χορτώδης βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα. Μπορεί να αντιπροσωπεύει είτε δασώδη περιοχή σε αποσάθρωση είτε σε αναγέννηση / εποικισμό.



Εικόνα 56: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.2.4. από την περιοχή του Μετσόβου το έτος 1988.

Για την ερμηνεία αυτή την κατηγορίας, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπ' όψιν γεωλογικοί χάρτες, οι οποίοι δείχνουν τα ασβεστολιθικά τμήματα που η κατηγορία 3.2.4. παρουσιάζει αντίθεση καθαρά με την σκληρόφυλλη βλάστηση. Για να αφαιρεθούν οι αξιοσημείωτες διαφορές στην αντανάκλαση ανάμεσα στις νοτιοανατολικές και βορειοδυτικές πλαγιές, προτείνεται τα δεδομένα να επεξεργάζονται σε κάποιο λογισμικό (κανονικοποίηση του ορατού κόκκινου/εγγύς υπέρυθρου καναλιών).

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει περιοχές που υφίστανται διάβρωση ή όπου η υγεία της βλάστησης προκαλεί ανησυχία και περιοχές που αναδασώνονται, οι οποίες, αν η αναδάσωση είναι φυσική, συνήθως σημαίνει ότι οι μονάδες γης που ταξινομούνται υπό την 3.2.2. ή 3.2.3. θα παρουσιάζουν γειτνίαση με δάσος και ταξινομούνται υπό την 3.1. Η κατηγορία 3.2.4. περικλείει δύο ξεχωριστά είδη εξέλιξης. Οι μονάδες αυτής της κατηγορίας είναι συχνά δύσκολο να αναγνωρισθούν και να απεικονισθούν στις δορυφορικές εικόνες, οι οποίες μόνο υποδεικνύουν την παρουσία τους.

Το περιβάλλον (περιοχές διάβρωσης, απότομες πλαγιές, περιοχές απόθεσης) πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν, αλλά οι πληροφορίες που παρέχονται από τις δορυφορικές εικόνες ή αποκτώνται μέσω επεξεργασίας τους πρέπει να ελέγχονται σε αεροφωτογραφίες.

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Δενδροειδή οικοσυστήματα που είναι προ- ή μετά- σχηματισμοί πλατύφυλλων αειθαλών δασών μαζί με, συνήθως, ένα πυκνό στρώμα θάμνων συγκροτημένο από αειθαλείς βελανιδιές, ελιές, κερατέες ή πευκόδεντρα, η πυκνότητα κάλυψης των οποίων δεν ξεπερνά το 30% της συνολικής επιφάνειας.
- Γεωργικές περιοχές (κατηγορίας 2.Χ.Χ.) που βρίσκονται υπό διαδικασία επαναποικισμού από δέντρα δασών που καλύπτουν περισσότερο από το 30% της επιφάνειας (διάσπαρτα δέντρα ή μικρές επιφάνειες δασών).
- Εγκαταλελειμμένοι οπωρώνες.
- Περιοχές φυσικών λιβαδιών αναμειγμένες με διάσπαρτα δέντρα που καλύπτουν λιγότερο από το 30% της επιφάνειας.
- Ανοιχτά ξέφωτα ή περιοχές σε ανάπτυξη όπου το μεταβατικό στάδιο της ανάπτυξης διαρκεί το πολύ 5 με 8 χρόνια.
- Περιοχές καμένης δασική έκτασης που δεν φαίνονται πια μαύρες στις δορυφορικές εικόνες, αλλά είναι ακόμη ορατές.
- Δάση που έχουν υποστεί ζημιές όχι από φωτιά, όπου πάνω του 50% των δέντρων είναι νεκρά.



Εικόνα 57: Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μεταβατικής περιοχής από δασώδης σε θαμνώδης

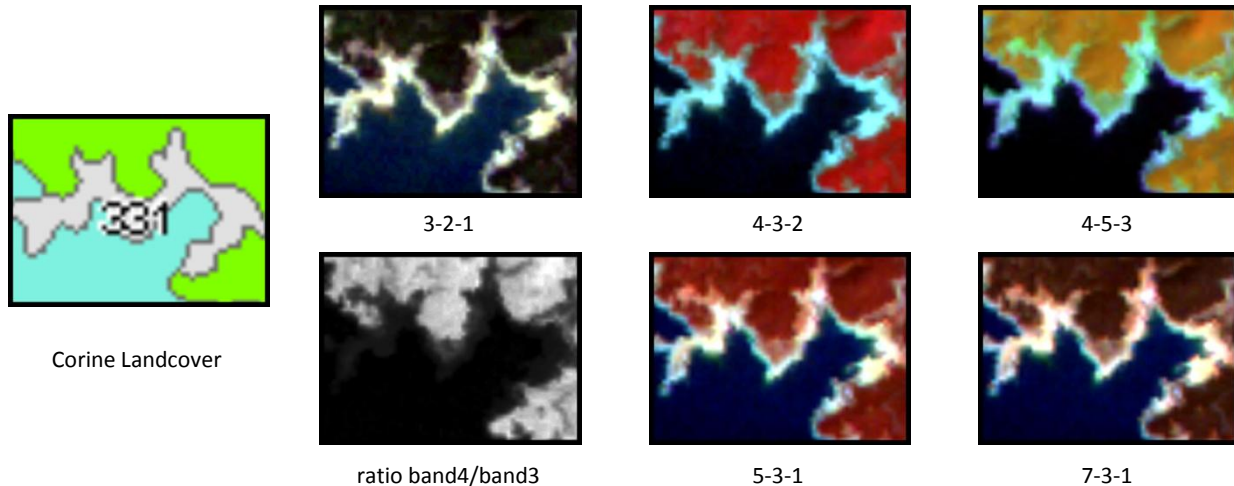
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα και δώσεις κυανού.
- ii.* Το ποσοστό της δασικής βλάστησης δεν ξεπερνά το 30% της συνολικής επιφάνειας.
- iii.* Το ποσοστό της θαμνώδους βλάστησης είναι μεγαλύτερο του 25% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Στην κατηγορία αυτή μπορεί υπάρχουν δέντρα που έχουν υποστεί ζημιές, όχι όμως εξαιτίας πυρκαγιών, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% της συνολικής βλάστησης.

3.3.1. Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές.

Περιγραφή

Αιγιαλοί, αμμόλοφοι και εκτάσεις άμμου και βότσαλων σε παραλιακές ή ηπειρωτικές τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένου επίπεδων τμημάτων ποταμών με χειμαρρώδες σύστημα.



Εικόνα 58: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.1. από την περιοχή της Καρδίτσας το έτος 1992.

Οι παραλίες πρέπει να είναι τουλάχιστον 100μ πλάτους για να συμπεριληφθούν. Οι αιγιαλοί μπροστά από αστικές παραλιακές περιοχές θα πρέπει να διακρίνονται από τις τεχνητές επιφάνειες. Αμώδες ακτές ποταμών μπορούν να συμπεριληφθούν μόνο όταν καταλαμβάνουν 25 εκτάρια ή περισσότερα. Επειδή το επίπεδο της παλίρροιας θα ποικίλει από την μία δορυφορική εικόνα στην άλλη, η ακτογραμμή θα πρέπει να καθοριστεί από πληροφορίες που παρέχονται από τον πιο πρόσφατο 1:100.000 χάρτη, αν και αλλαγές που προκαλούνται από την διάβρωση, την ιζηματογένεση ή την κατασκευή περιοχών λιμένος ή κυματοθραυστών θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν. «Γκρι» αμμόλοφοι στερεωμένοι από συγκεκριμένη βλάστηση (αρμυρήθρα, βούρλα, φυτό γένους *agropyron terpens*, βρύα και λειχήνα, κ.λπ.) ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Δενδρόφυτοι «μαύροι» αμμόλοφοι πρέπει να ταξινομούνται υπό την 3.1.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Εσωτερικοί και ηπειρωτικοί αμμόλοφοι.
- Γκρι αμμόλοφοι ατενείς, σταθεροποιημένοι ή αποικισμένοι από λίγο ή πολύ αυτόνομα αιωνόβια χορτωειδή.
- Σχηματισμοί *machaïr* (φυσικές παραλιακές άμμο-πεδιάδες με περισσότερη ή λιγότερη επιφάνεια και βλάστηση τύπου λιβαδιού.
- Ποταμίσιοι σχηματισμοί αμμόλοφων σε άμεση γειτνίαση με μεγάλους ποταμούς.
- Έργια (ηπειρωτικές περιοχές αμμόλοφων, εγκατεστημένοι σε ερήμους).
- Συγκεντρώσεις χαλικιών σε κατά μήκος χαμηλότερων τομέων αλπικών ποταμών.

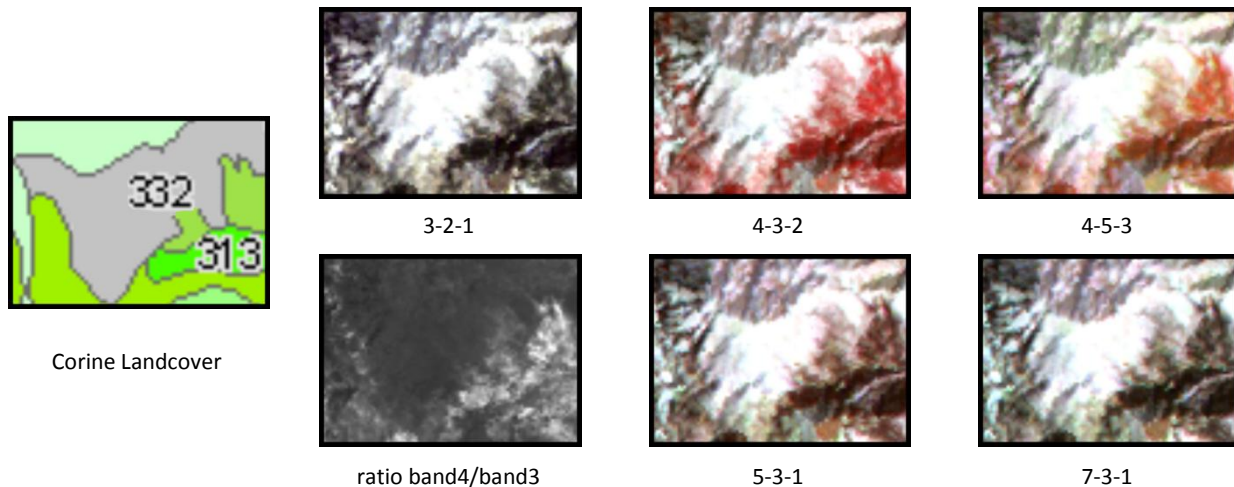
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με άσπρο ή κυανό χρώμα.
- ii. Συνήθως εντοπίζεται διπλά σε υδάτινες επιφάνειες (θάλασσα, λίμνες, ποταμοί) και έχει γραμμικό σχήμα.
- iii. Ελάχιστο πλάτος για να αποτελέσει αυτόνομη κατηγορία είναι τα 100μ.

3.3.2. Απογυμνωμένοι βράχοι.

Περιγραφή

Βράχοι σε βάσεις λόφων, απόκρημνοι βράχοι, βραχώδεις προεξοχές, συμπεριλαμβανομένου και της ενεργής διάβρωση, επίπεδα βράχων και υφάλων τοποθετημένα πάνω από τα σημάδια της μέγιστης παλίρροιας.



Εικόνα 59: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.2. από την περιοχή της Αμφιλοχίας το έτος 1989.

Στη διερμηνεία αυτού του αντικειμένου είναι χρήσιμη η μελέτη τοπογραφικών χαρτών, όπου οι περιοχές γυμνών βράχων και πετρωμάτων φαίνονται με μαύρο ή σκούρο καφέ χρώμα. Μια άλλη λειτουργία των τοπογραφικών χαρτών είναι η βοήθεια που παρέχουν στην σχεδίαση του διαγράμματος βραχωδών περιοχών κρυμμένες από τις επιδράσεις της σκιάς σε βαθιές, στενές κοιλάδες. Επεξεργασία σε κάποιο λογισμικό (δείκτες πετρωμάτων, ανάλυση κυρίως συνιστωσών) μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Τοπογραφικοί χάρτες με ισοϋψείς γραμμές πρέπει να μελετώνται έτσι ώστε να γίνεται μια ακριβής εκτίμηση του σχήματος των σκιών σε τραχείς, ανώμαλες κοιλάδες. Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η παρουσία των κατηγοριών 3.3.2. και 3.2.2. σε αυτές τις στενές κοιλάδες.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Χωρίς βλάστηση εγκαταλελειμμένοι χώροι εξόρυξης υλικών.
- Περιοχές αραιής βλάστησης όπου το 75% της επιφάνεια καλύπτεται από βράχους.
- Σταθεροί βράχοι με ασβεστολιθικά πετρώματα σε περιορισμένα στρώματα ή βουνοκορυφές.
- Τοποθεσίες κατεστραμμένες από λάβα χωρίς βλάστηση.
- Τοποθεσίες και προϊόντα ηφαιστειακής δραστηριότητας, ηφαιστειακής στάχτης και έρημες περιοχές λάβας.
- Υπέρ-παραθαλάσσιες βραχώδεις ζώνες χωρίς βλάστηση.

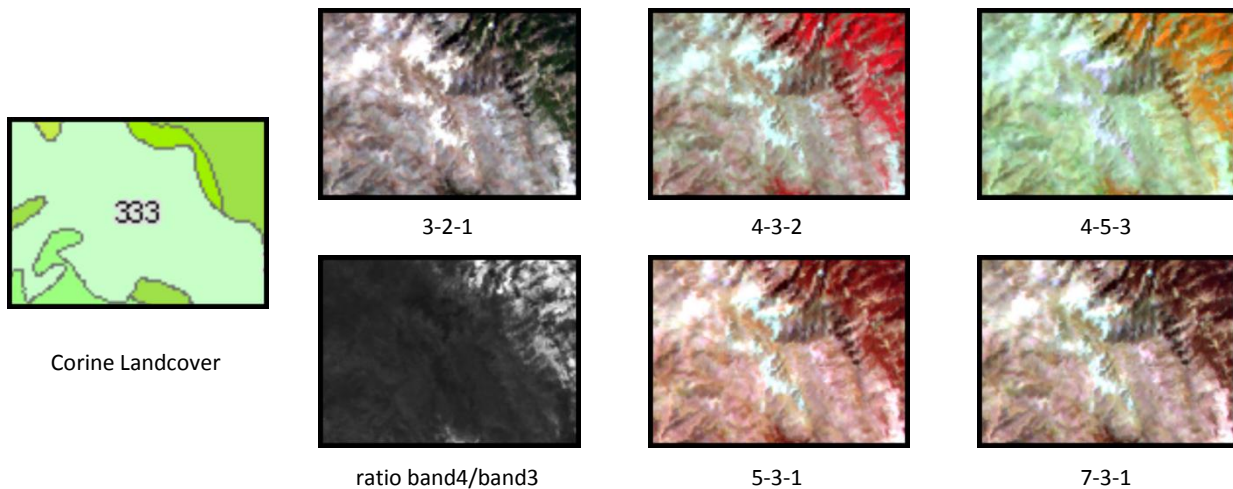
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με άσπρο χρώμα.
- ii. Βράχια και γυμνό έδαφος καταλαμβάνουν περισσότερο του 90% της συνολικής επιφάνειας
- iii. Αντίστοιχα η βλάστηση δεν καταλαμβάνει περισσότερο από το 10% της έκτασης της επιφάνειας.

3.3.3. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση.

Περιγραφή

Συμπεριλαμβάνονται περιοχές στέπας, τούνδρας και έρημης γης. Εγκατεσπαρμένη βλάστηση σε μεγάλα υψόμετρα.



Εικόνα 60: Παράδειγμα της κατηγορίας 3.3.3. από την περιοχή των Ιωαννίνων το έτος 1988.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει περιοχές σε μεγάλο υψόμετρο με αραιή βλάστηση λόγω της διάβρωσης ή του χιονιού το οποίο λιώνει αργά ή της κάλυψης από πάγο (ορεινές στέπες).

Συμπληρωματικά δεδομένα (αεροφωτογραφίες, γεωλογικοί ή εδαφολογικοί χάρτες) είναι συχνά απαραίτητα για την ερμηνεία αυτών των αντικειμένων σωστά.

Η διάσπαρτη βλάστηση συγκροτείται κυρίως από φυτική και/ή ξύλινα και ημί-ξύλινα είδη για τον καθορισμό του ποσοστού της εδαφικής κάλυψης, εξαιρώντας τα κρυπτογραφήματα.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Περιοχές αραιής βλάστηση με ασταθείς βράχους, ογκόλιθους ή θρυμματισμένα χαλίκια σε απόκρημνες πλαγιές, όπου το επίπεδο της βλάστησης καλύπτει ανάμεσα στο 15% και 50% της επιφάνειας.
- Υπό-ερημικές στέπες και φυτικά είδη (*Artemisia spp.*) αναμειγμένα με είδη τριφυλλιού (*Stipa spp.*) όταν καλύπτου ανάμεσα στο 15% και 50% της επιφάνειας.
- Βλάστηση σε περιοχές λάβας ή ασβεστολιθικών στρωμάτων.
- Γυμνό έδαφος σε περιοχές στρατιωτικής εκπαίδευσης.
- Καρστικές περιοχές φυτικής και/ή ξύλινης και ημί-ξύλινης βλάστησης.

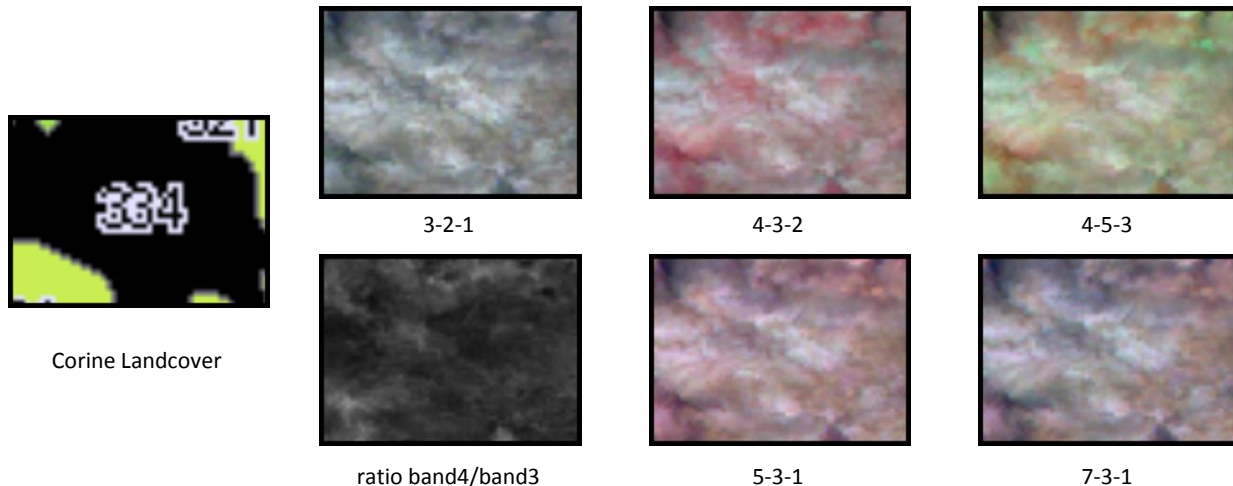
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με ανοιχτούς τόνους του μπλε χρώματος (από άσπρο ως κυανό) και δώσεις κόκκινου.
- ii. Βράχια και γυμνό έδαφος καταλαμβάνουν το 50% και 90% της συνολικής επιφάνειας .
- iii. Αντίστοιχα η βλάστηση καταλαμβάνει το 10% και 50% της συνολικής επιφάνειας.
- iv. Η κατηγορία αυτή εντοπίζεται κυρίως σε ορεινές περιοχές, ακόμη και βουνοκορυφές.

3.3.4. Αποτεφρωμένες εκτάσεις.

Περιγραφή

Περιοχές επηρεασμένες από πρόσφατες πυρκαγιές, που ακόμη φαίνονται κυρίως μαύρες.



Εικόνα 61: Παράδειγμα αποτεφρωμένης έκτασης από την περιοχή του Παρνασσού το έτος 1992.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει σε δασικές και ημί-φυσικές περιοχές (της κύριας κατηγορίας 3.X.X.).

Η αναγνώριση αυτής της κατηγορίας γίνεται ευκολότερη με την σύγκριση εικόνων διαφορετικών χρονικών περιόδων σε κάποιο λογισμικό.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει καμένες δασικές περιοχές, ρεικότοπους, μεταβατικούς σχηματισμούς από δασώδης σε θαμνώδης, περιοχές με αραιή βλάστηση.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Περιοχές που έχουν καεί πρόσφατα, έως τρία χρόνια, και είναι ακόμα ορατές από δορυφορικές εικόνες.
- Όλες οι φυσικές και ημί-φυσικές περιοχές βλάστησης, που έχουν υποστεί καταστροφή από πυρκαγιά.

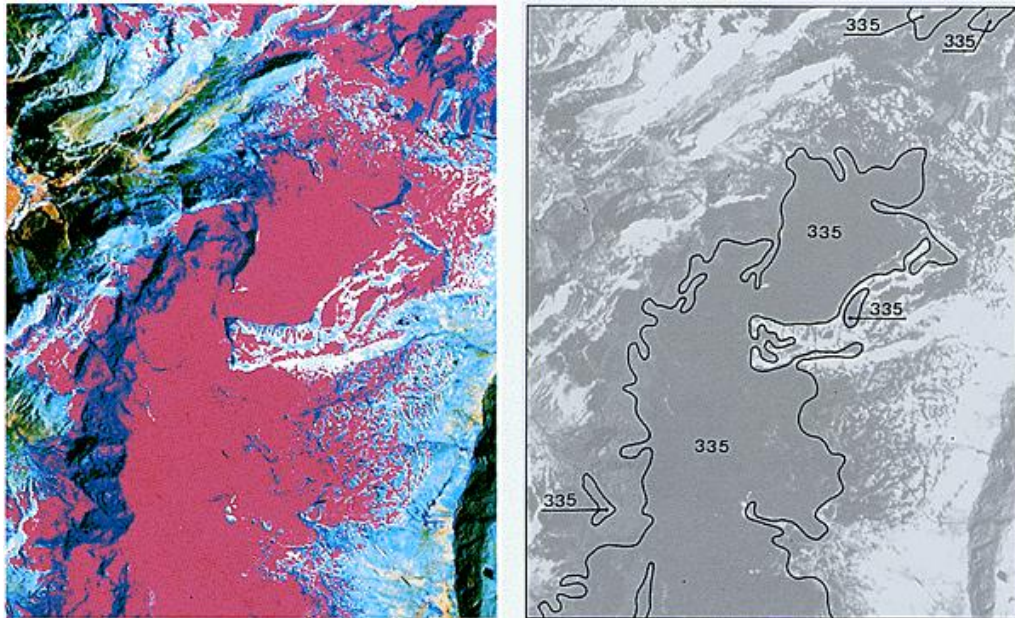
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 μπορεί να εμφανίζεται με μαύρο, γκρι ή μπλε (κυανό) χρώμα.
- ii. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι περιοχές που έχουν καεί έως και 3 χρόνια πριν.

3.3.5. Παγετώνες και αέναο χιόνι.

Περιγραφή

Περιοχές καλυμμένες από παγετώνες και μόνιμο χιόνι.



Εικόνα 62: France, Area Vanoise, Interpretation Landsat TM 4.5.3., 1:100 000, June 1991

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει περιοχές από συμπαγές πάγο ή πάγο που λιώνει και χιόνι. Επιφάνειες που εντοπίζονται σε βαθύσκιες πλαγιές πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπ' όψιν.

Συμπληρωματικά δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιούνται, όπως τοπογραφικοί χάρτες, όπου τέτοιες περιοχές υποδεικνύονται με μπλε ισοϋψής γραμμές, και δορυφορικά δεδομένα από τις 15 Ιουλίου έως 15 Σεπτεμβρίου, όταν υπάρχει το λιγότερο χιόνι.



Εικόνα 63: Topographic map of Vanoise (scale 1:50 000) reduced to 1:70 000

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Παγετώνες και μόνιμο χιόνι.
- Γυμνοί βράχοι.



Εικόνα 64: Παγετώνας στην Σλοβενία

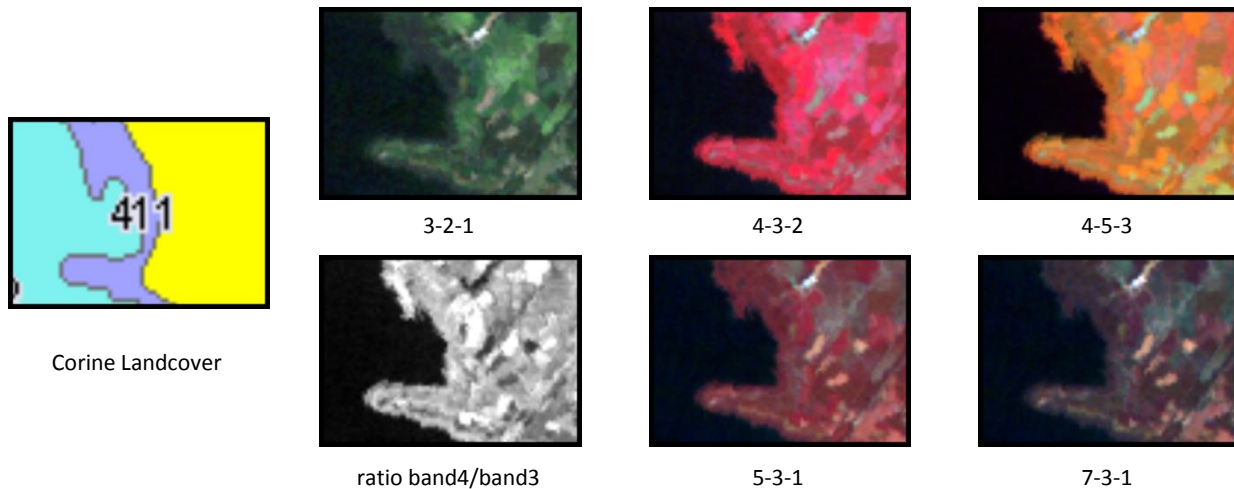
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με άσπρο ή ανοιχτό μπλε χρώμα.
- ii.* Σε τοπογραφικούς χάρτες η περιοχή αυτή εμφανίζεται με μπλε ισοΰψείς γραμμές .
- iii.* Το ποσοστό του χιονιού ή πάγου πρέπει να καταλαμβάνει τουλάχιστον το 50% της συνολικής επιφάνειας.
- iv.* Η υπόλοιπη επιφάνεια καταλαμβάνεται μόνο από βράχους.
- v.* Η κατηγορία αυτή εντοπίζεται μόνο σε μεγάλα υψόμετρα και βουνοκορυφές κυρίως βορείων χώρων.

4.1.1. Βάλτοι στην ενδοχώρα.

Περιγραφή

Έδαφος χαμηλού υψομέτρου, συνήθως πλημμυρισμένο τον χειμώνα και λίγο ή πολύ κορεσμένο από νερό, σε όλη την διάρκεια του χρόνου.



Εικόνα 65: Παράδειγμα βάλτου στην ενδοχώρα στην περιοχή του Αγρινίου το έτος 1992.

Τα έλη μπορούν να σχηματίζονται σε κοιλάτητες σε από απότομες αλλαγές της πορείας των ποταμών, σχήματος «υ», όταν το επίπεδο της στάθμης της ροής φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, μόνιμα ή εποχιακά ή σε λεκάνες απορροής ή συσσωρευμένα νερά αποστράγγισης.

Έλη παρακείμενα σε λίμνες, ή κοντά σε ροές ποταμών εντός λιμνών πρέπει να ταξινομούνται υπό την 4.1.1. κατηγορία.

Το πιο αξιόπιστο κριτήριο για τον προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας είναι το επίπεδο της στάθμης της ροής του νερού τον χειμώνα. Το σύμφωνο όριο πλημμυρισμένου νερού τον χειμώνα είναι ανάμεσα σε 0εκ και 10εκ βάθους.

Το πλημμυρισμένο νερό ανάμεσα σε 10εκ και 30εκ που χαρακτηρίζει τα υγρά λιβάδια και ταξινομείται υπό την 2.3.1. κατηγορία.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει μη δασώδεις πεδινές περιοχές, πλημμυρισμένες ή υποκείμενες σε πλημμύρα από γλυκό, στάσιμο ή κυκλοφορόν νερό. Καλύπτεται από συγκεκριμένα είδη χαμηλής ξυλώδους, ημί-ξυλώδου ή χορτώδους βλάστησης.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Έλη και μεταβατικοί βάλτοι, χωρίς απόθεση τύρφης ή σε τυρφώδες έδαφος (όπου ή στρώση της τύρφης είναι μικρότερη των 30εκ πάχους) με συγκεκριμένη σύνθεση βλάστησης από καλαμιές, βούρλα, σπάρτα, ιτιές, ψηλά βοτανώδη είδη, λοφίσκους σφάλγνου και άλλα υδρόφιλα φυτά.
- Βαλτώδης βλάστηση που εντοπίζεται σε οριοθετημένες ζώνες φουσκωμένων ελών.
- Βλάστηση σε υδάτινα όρια από στρώματα καλαμιών, κοινωνίες βούρλων και άλλων σπάρτων στρωμάτων, βαλτώδη ψηλά σπάρτα, και παρόχθιοι σχηματισμού ζαχαροκάλαμων.
- Ψηλή πλημμυρισμένη βλάστηση.
- Αλμυρά (αλκαλικά) έλη τοποθετημένα προς το εσωτερικό, μακριά από θάλασσα (συχνά αρχαϊκά).



Εικόνα 66: Επίγειες φωτογραφίες βάλτων σε ενδοχώρα στην Μοράβα της Σλοβακίας

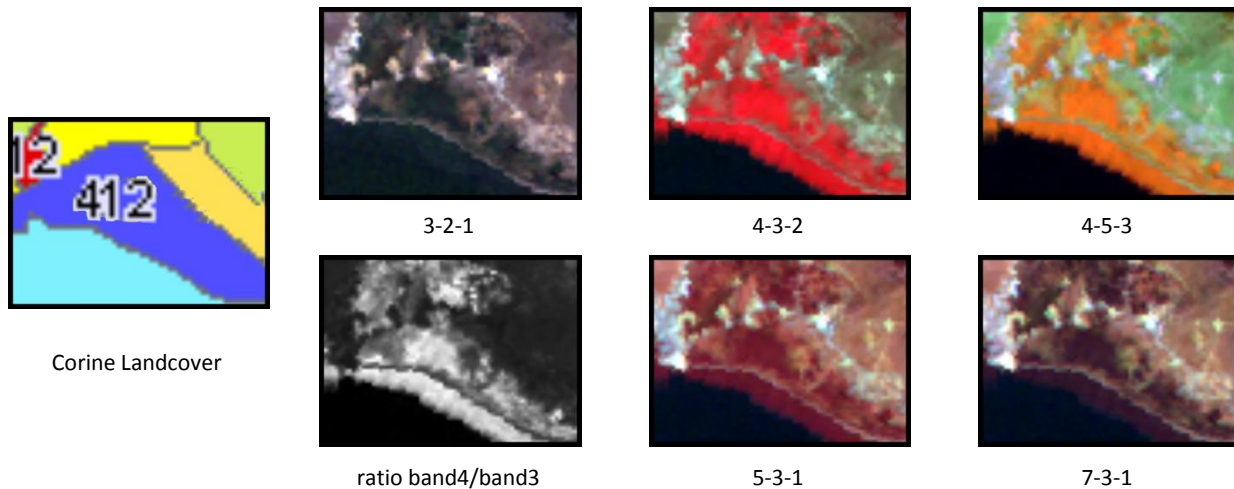
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα.
- ii.* Εντοπίζεται δίπλα σε λίμνες, ποτάμια ή άλλες επιφάνειες συσσώρευσης γλυκού νερού.
- iii.* Τον χειμώνα η κατηγορία αυτή μπορεί να είναι πλημμυρισμένη με νερό έως και 10εκ. βάθους.
- iv.* Το πάχος της τύρφης δεν υπερβαίνει τα 30εκ.

4.1.2. Τυρφώνες.

Περιγραφή

Το τυρφώδες έδαφος αποτελείται κυρίως από αποσυντεθημένη βρύα και φυτική ύλη. Μπορεί ή όχι, να βρίσκεται υπό εκμετάλλευση.



Εικόνα 67: Παράδειγμα τυρφώνα από την περιοχή των Ιωαννίνων το έτος 1988.

Τα τυρφώδη έλη είναι τυρφώδη οικοσυστήματα, πλούσια σε υδρόφιλα φυτά, και αναπτύσσονται είτε σε πλημμυρισμένες κοιλάτητες πεδιάδων (πεδινά έλη, φουσκωμένα ή επίπεδα), είτε σε υψόμετρο σε πολύ βροχερές χώρες (οριζόντια ή επικλινή ορεινά έλη). Υπό την επίδραση βιοχημικών και μηχανικών παραγόντων, η συσσωρευμένη φυτική μάζα μετασχηματίζεται σε συμπαγής, καύσιμη ύλη, και πάνω από 50% περιεκτικότητα σε άνθρακα: τύρφη.

Για να χαρακτηρισθούν ως τυρφώδη έλη, τα συσσωρευμένα ιζήματα πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 30% οργανική ύλη αν είναι αργιλικά και 20% σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, και πρέπει να είναι περισσότερο των 40εκ πάχους. Τα τυρφώδη έλη θα παραμείνουν ενεργά (παραγωγή τύρφης) όσο τα αποθέματα νερού παραμένουν επαρκή. Οποιαδήποτε έλλειψη νερού θα τα καταστρέψει. Και οι δύο κατηγορίες – ενεργά έλη, κατεστραμμένα έλη – μπορεί να είναι υπό εκμετάλλευση.

Τα πεδινά έλη που είναι υπό επεξεργασία, εμφανίζονται πράσινα στο ψευδέγχρωμο σύνθετο (4-5-3) των δορυφορικών εικόνων Landsat TM. Τα σημάδια εκμετάλλευσης μπορούν να είναι ευδιάκριτα.

Από την άλλη μεριά, τα ανισόπεδα έλη είναι δύσκολο να ξεχωρίσουν από τυχόν γειτονικούς ρεικότοπους. Σε τέτοιες περιοχές, η χρήση συμπληρωματικών αποδείξεων ή επιτόπια επίσκεψη είναι απαραίτητη.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Τυρφώδη έλη ανόργανων υλών τροφοδοτούμενα από υπόγεια νερά ή ρεύματα από βρύα (*Drepanocladus* spp.) και *Carex* spp. ή αλκαλικά έλη με ύπαρξη *Calix* spp., *Betula* spp. και *Alnus* spp.
- Ομβροτροφικά τυρφώδη τροφοδοτούμενα απευθείας από ιζήματα με είδη σφαγνίας, τα οποία είναι άφθονα και κυρίαρχα με άλλα είδη οξύφυλλης βλάστησης όπως *Eriophorum vaginatum*, *Scirpus* spp., *Carex* spp., *Vaccinium oxycoccos*, *Andromeda* spp., *Drosera* spp, και λειχήνας.
- Έλη που καλύπτουν μεγάλη περιοχή με είδη σφάγνου και *Narthecium* spp., *Molinia* spp., *Scirpus* spp., *Shoenus* spp., *Eriophorum* spp.
- Βόρεια τυρφώδη έλη με δικτυωτή δομή και *Sphagnum* spp., *Empetrum* spp., *Vaccinium* spp., *Betula nana*, *Salix nana*, *Carex* spp., *Eriophorum* spp., *Utriculara* spp., *Drosera* spp.
- Περιοχές εξαγωγής τύρφης.
- Απολιθωμένα αρκτικά τυρφώδη έλη με *Vaccinium* spp., *Betula nana*, *Salix lapponum* και *Salix glauca*, λειχήνα και *Carex* spp.



Εικόνα 68: Τυρφώνας υπό εκμετάλλευση στη Λιθουανία

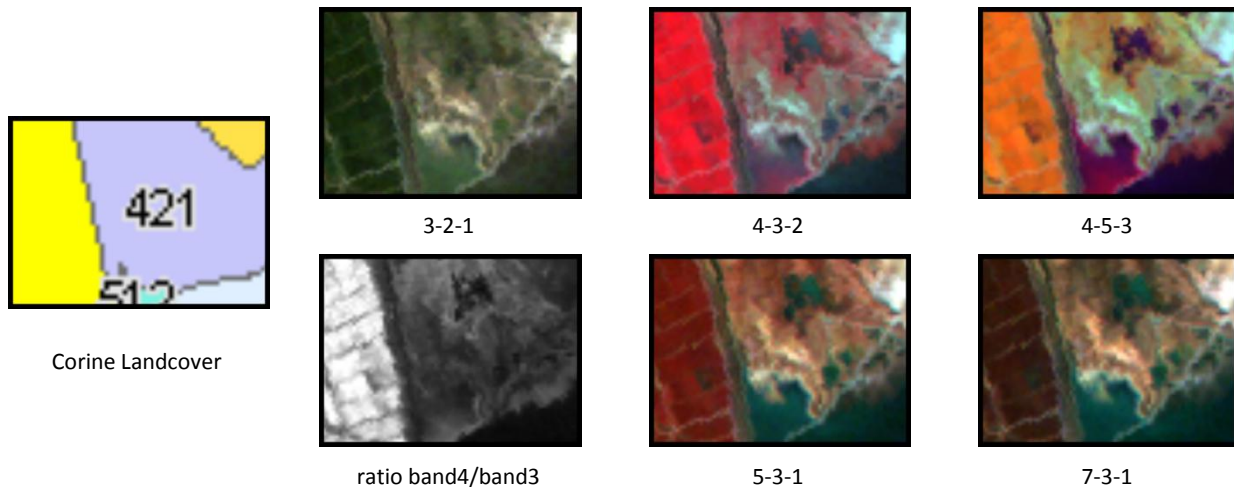
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-5-3 εμφανίζεται με πράσινο χρώμα.
- ii. Περιέχουν τουλάχιστον 20% οργανική ύλη.
- iii. Σημάδια ανθρώπινης εκμετάλλευσης της περιοχής αυτής μπορεί να είναι ευδιάκριτα.
- iv. Τύρφη πάχους τουλάχιστον 40εκ.

4.2.1. Παραθαλάσσιοι βάλτοι.

Περιγραφή

Χαμηλού ύψους περιοχές με βλάστηση, πάνω από το υψηλότερο σημείο της παλίρροιας, ευεπηρεάστες σε πλημμύρα από θαλασσινό νερό. Συχνά κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού, σταδιακά αποικούνται από φυτά φιλικά σε αλμυρό νερό.



Εικόνα 69: Παράδειγμα παραθαλάσσιου βάλτου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει έλη σε εκβολές ποταμών που είναι αποδέκτες γλυκού ή ελαφρά αλατισμένου νερού. Υπ' όψιν πρέπει να λαμβάνονται τα υψηλότερα και χαμηλότερα σημάδια νερού που φαίνονται σε τοπογραφικούς χάρτες έτσι ώστε να αποφευχθεί κάθε κίνδυνος σύγχυσης ανάμεσα σε παραθαλάσσια έλη και παραλιακές ζώνες φυκιών που μεγάλη αντανάκλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Αμμουδιές πάνω από το σημείο παλίρροιας, φυσικό περιβάλλον από ιλύς ή λάσπη αποικημένο από αλοφυτικά χόρτα όπως: *Puccinellia* spp., *Spartina* spp., σπάρτα όπως *Juncus* spp. και *Blisumus rufus* και βότανα όπως *Limonium* spp., *Aster tripolium*, *Slicornia* spp. Συμπεριλαμβάνονται κοινωνίες ανθοφόρων φυτών τα οποία αναπτύσσονται κάτω από το νερό της μέγιστης παλίρροιας έως κάποιο στάδιο του ετήσιου κύκλου τους.
- Περιοχές αλμυρών λιβαδιών.

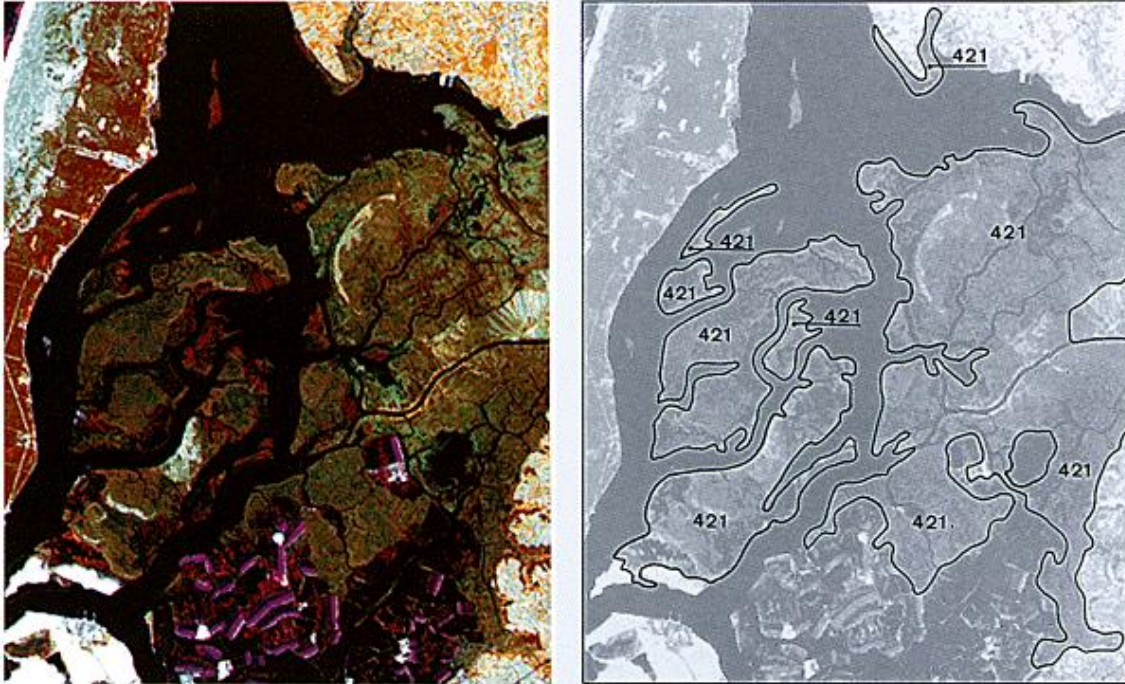
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα.
- ii. Εντοπίζεται δίπλα σε θαλάσσιες επιφάνειες.
- iii. Καταλαμβάνεται από βλάστηση χαμηλού ύψους.

4.2.2. Αλυκές.

Περιγραφή

Αλυκές, ενεργές ή σε διαδικασία εγκατάλειψης. Τομείς αλμυρού έλους υπό εκμετάλλευση για την παραγωγή άλατος με εξάτμιση. Είναι ξεκάθαρα ευδιάκριτα από τα υπόλοιπα έλη λόγω του ότι είναι χωρισμένα σε τεμάχια με ένα σύστημα από αναχώματα.



Εικόνα 70: France, Area Toulon, Interpretation SPOT 3.2.1. 1:100 000, March 1988

Πάρα πολλές αλυκές χρησιμοποιούνται πλέον ως καλλιέργειες στρειδιών ή ψαριών (λιμνούλες) ή έχουν εγκαταλειφθεί. Οι μακρά εγκαταλελειμμένοι αυτοί βάλτοι που έχουν δεχτεί εισβολή βλάστησης πρέπει να ταξινομούνται ως υγρές ζώνες.

Οι εν λειτουργία αλυκές δεν μπορούν να εντοπιστούν σε αεροφωτογραφίες ή στο έδαφος εκτός των περιόδων εκμετάλλευσής τους. Σύμφωνα με τις γωνίες, οι υπό λειτουργία και οι μετατρεπόμενες αλυκές πρέπει να αντιμετωπίζονται παρόμοια.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Αλμυρά έλη, οργανωμένα για αναπαραγωγή οστρακοειδών και ψαριών.
- Αλυκές.
- Θαλασσινό νερό.

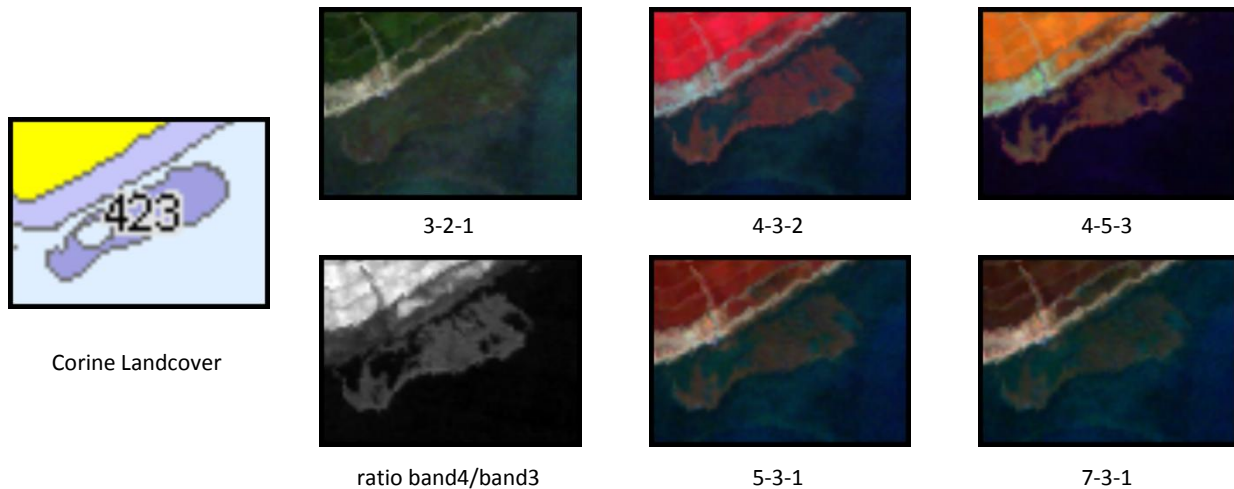
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή παρουσιάζει αντίθεση με το περιβάλλοντα χώρο.
- ii. Η γη στην κατηγορία αυτή είναι χωρισμένη σε τεμάχια.
- iii. Υπάρχουν σημάδια ανθρώπινης εκμετάλλευσης.

4.2.3. Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα.

Περιγραφή

Συνήθως χωρίς βλάστηση εκτάσεις λάσπης, άμμου ή βράχων ευρισκόμενα ανάμεσα στα υψηλότερα και χαμηλότερα σημάδια της παλίρροιας. Μηδενικό υψόμετρο στους χάρτες.



Εικόνα 71: Παράδειγμα της κατηγορίας 4.2.3. από την περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.

Καθώς οι δορυφορικές εικόνες καταγράφουν ποικιλία επιπέδων παλίρροιας, η ακτογραμμή θα πρέπει να καθοριστεί με παραπομπή του πιο πρόσφατους χάρτες κλίμακας 1:100.000, αν και αλλαγές που προκαλούνται από την διάβρωση,, την αποσάθρωση ή την κατασκευή ζωνών λιμένος ή κυματοθραυστών πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν. Ομ και σε θαλάσσιες ισοϋψείς βάθους.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Πάνω από το επίπεδο της παλίρροιας ογκόλιθοι καλυμμένοι με φύκια, όχθες χωρίς βλάστηση, καλυμμένες από κομματιασμένους βράχους ή ογκόλιθους, απόκρημνα βράχια και βραχώδεις προεξοχές.

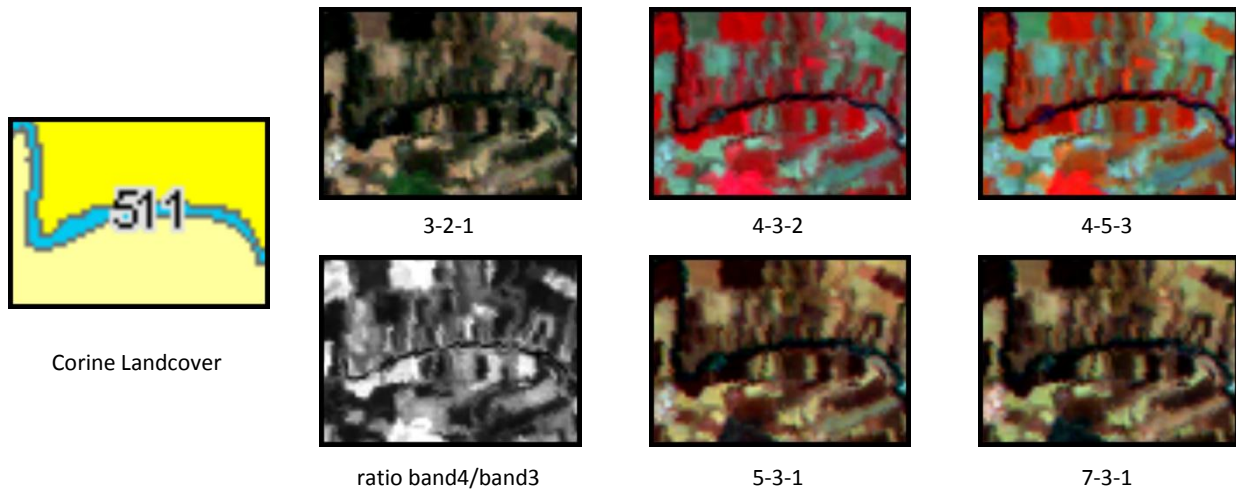
Ιδιότητες

- i. Μηδενικό υψόμετρο σε τοπογραφικούς χάρτες.
- ii. Εντοπίζεται δίπλα σε θαλάσσιες επιφάνειες.
- iii. Ανάλογα με την χρονική περίοδο μπορεί να βρίσκεται κάτω από το νερό.

5.1.1. Υδατορρεύματα.

Περιγραφή

Φυσικές ή τεχνητές ροές υδάτων που εξυπηρετούν ως υδάτινοι ανοιχτοί αγωγοί αποστράγγισης. Συμπεριλαμβανομένου καναλιών. Ελάχιστο πλάτος για να συμπεριληφθούν: 100μ.



Εικόνα 72: Παράδειγμα ποταμού από την περιοχή της Λάρισας το έτος 1987.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ελάχιστο πλάτος ώστε να μην δημιουργούνται πολλές ασυνέχειες (διακοπές) στη χαρακτηριστική γραμμική τοπογραφία αυτής της κατηγορίας.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Συσσωρεύσεις άμμου ή χαλικιών κατά μήκος των ρών μικρότερες του εμβαδού 25 εκταρίων.
- Ποταμοί που έχουνε σκαφτεί.

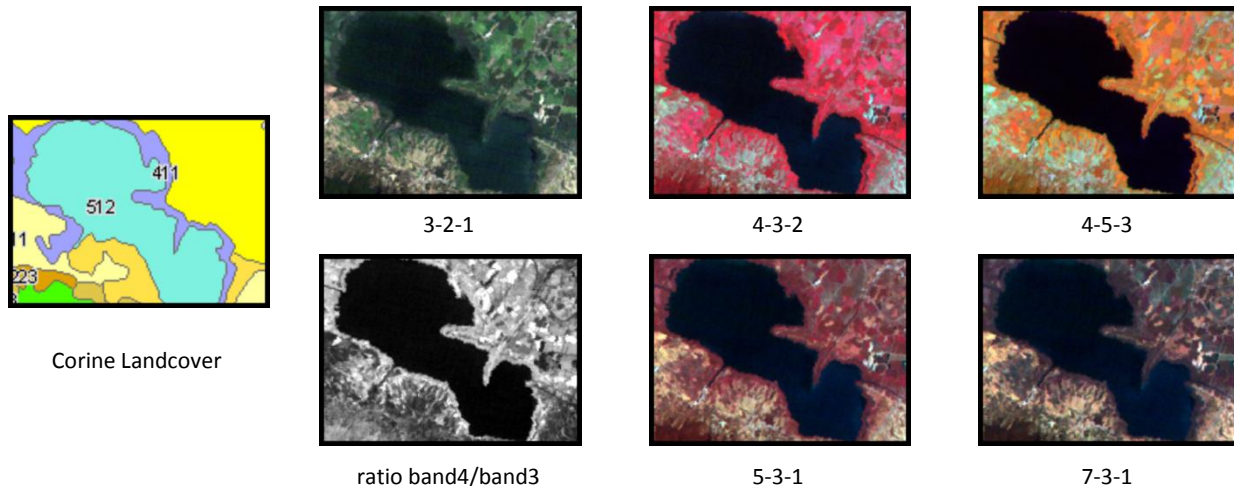
Ιδιότητες

- Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με μαύρο ή σκούρο μπλε χρώμα.
- Έχει γραμμικό σχήμα με 100μ. ελάχιστο πλάτος.

5.1.2. Επιφάνειες στάσιμου ύδατος.

Περιγραφή

Φυσικές ή τεχνητές εκτάσεις νερού.



Εικόνα 73: Παράδειγμα λίμνης από την περιοχή του Αγρινίου το έτος 1992.

Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει υδάτινες επιφάνειες φραγμάτων τα οποία είναι άδεια στις προς ανάλυση εικόνες (έκτακτες καταστάσεις). Νησιά σε υδάτινα σώματα και υδάτινες ροές θα πρέπει να ανεξαρτητοποιούνται μόνο όταν καλύπτουν έκταση μεγαλύτερη των 25 εκταρίων. Ο κανόνας αυτός εφαρμόζεται και σε θαλάσσια περιβάλλοντα.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Χαμηλή επιπλέουσα υδρόβια βλάστηση με είδη όπως *Nuphar spp.*, *Nymphaea spp.*, *Potamogeton spp.* και *Lemna spp.*
- Αρχιπελάγη λιμνών εντός περιοχών στεριάς.
- Υδάτινες επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για ανατροφή ψαριών γλυκού νερού.

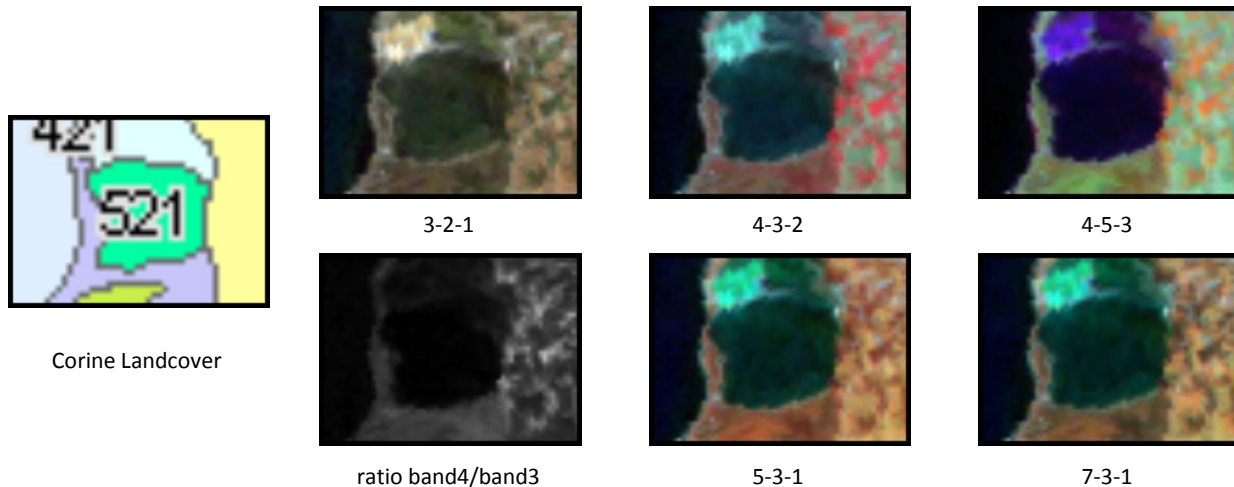
Ιδιότητες

- i.* Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με μαύρο ή σκούρο μπλε χρώμα.
- ii.* Έχει σχήμα που τείνει να είναι κυκλικό ή ελλειψοειδές.
- iii.* Έχει απαλή υφή.

5.2.1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες.

Περιγραφή

Εκτάσεις αλμυρού ή υφάλμυρου νερού σε παραλιακές περιοχές οι οποίες διαχωρίζονται από την θάλασσα από μία μακρόστενη λωρίδα στεριάς ή άλλης παρόμοιας τοπογραφίας. Οι υδάτινες αυτές επιφάνειες μπορεί να συνδέονται με την θάλασσα σε περιορισμένα σημεία, είτε μόνιμα είτε σε μέρη του έτους μόνο.



Εικόνα 74: Παράδειγμα λιμνοθάλασσας από την περιοχή της Θεσσαλονίκης το έτος 1987.

Οι λιμνοθάλασσες πρέπει να ταξινομούνται ως τμήματα στεριάς. Όσον αφορά την τυποποίηση και για να διασφαλιστεί ότι θα υπάρχει πάντα μια ακτογραμμή που θα διαχωρίζει την περιοχή της στεριάς από την θαλάσσια περιοχή, κατά την φωτοερμηνεία πρέπει πάντα να φαίνεται μια ακτογραμμή που να χωρίζει την λιμνοθάλασσα από την θάλασσα.

Εκβαλλόμενες λιμνοθάλασσες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Μόνο οι υδάτινες επιφάνειες, η βλάστηση περιμετρικά πρέπει να διαχωρίζεται.
- Λιμνοθάλασσες οργανωμένες για αναπαραγωγή οστρακοειδών.
- Υδάτινες επιφάνειες που παραμένουν (εγκλωβίζονται) με την αποχώρηση της παλίρροιας.
- Εκβαλλόμενες λιμνοθάλασσες.

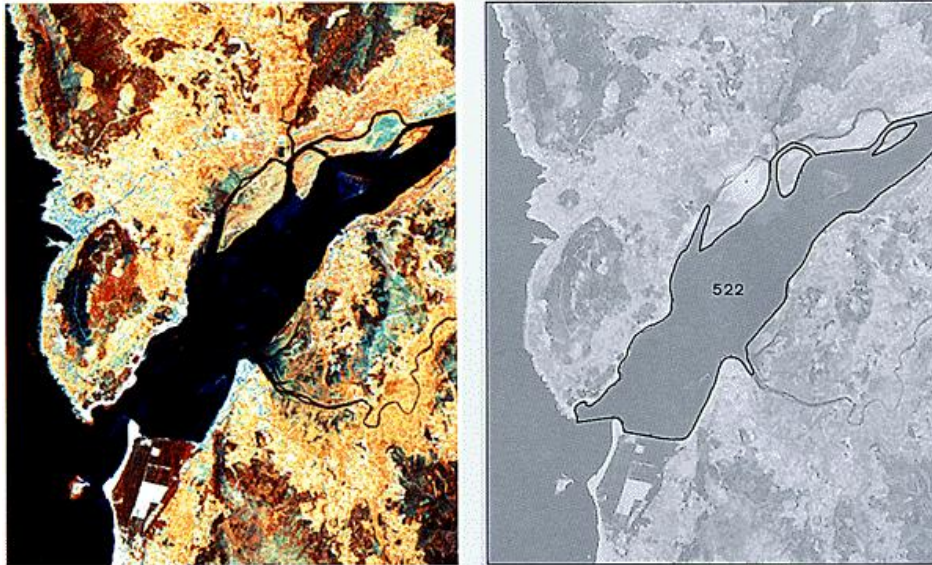
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με μαύρο ή σκούρο μπλε χρώμα.
- ii. Εντοπίζεται δίπλα σε θαλάσσιες επιφάνειες.
- iii. Διαχωρίζεται από τη θάλασσα με μια λωρίδα στεριάς.

5.2.2. Εκβολές.

Περιγραφή

Το στόμα του ποταμού, εντός του οποίου η παλίρροια υποχωρεί και ανέρχεται (άμπωτις, πλημμυρίδα).



Εικόνα 75: Portugal, Area Caminha, Interpretation Landsat TM 4.5.3. 1:100 000, July 1987

Ο καθορισμός της κατηγορίας 5.2.2. δεν θα πρέπει να εξετάζεται ως άσκηση στο διαχωρισμό του γλυκού νερού από το αλμυρό κατά το χαμηλότερο σημείο της παλίρροιας, καθώς αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί ερμηνεύοντας μια μόνο εικόνα, καταγράφοντας ένα επίπεδο της παλίρροιας (αν και για να αποδειχτεί ένα τέτοιο όριο είναι συνυφασμένο και συμπληρωματικό με τον καθορισμό του μέγιστου επιπέδου της παλίρροιας). Οι εκβολές συνήθως συνδέονται με περιοχές στεριάς. Το όριο του νερού από το εσωτερικό και του νερού στις εκβολές (απώτατο σημείο προσέγγισης θαλασσινού νερού) πρέπει να καθορίζεται κατά περίπτωση, βάση του κάθε ποταμού, με παραπομπή σε υπάρχοντες χάρτες.

Το όριο ανάμεσα στο νερό των εκβολών και του θαλάσσιου νερού είναι δυσκολότερο να καθοριστεί. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να χρησιμοποιούνται πληροφορίες που αποκτώνται από την ερμηνεία εικόνων και ενδείξεις από υπάρχοντες χάρτες (θαλάσσιους χάρτες) ή ακολουθείται ένας απλός κανόνας: ένωση των δύο άκρων των όχθων του ποταμού ή επιλογή των υδάτων στην κατεύθυνση του ρεύματος της πρώτης γεφύρωσης.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Το νερό και τα στρώματα των καναλιών με την περιθωριακή ζώνη βλάστησης με εμβαδό μικρότερο των 25 εκταρίων.

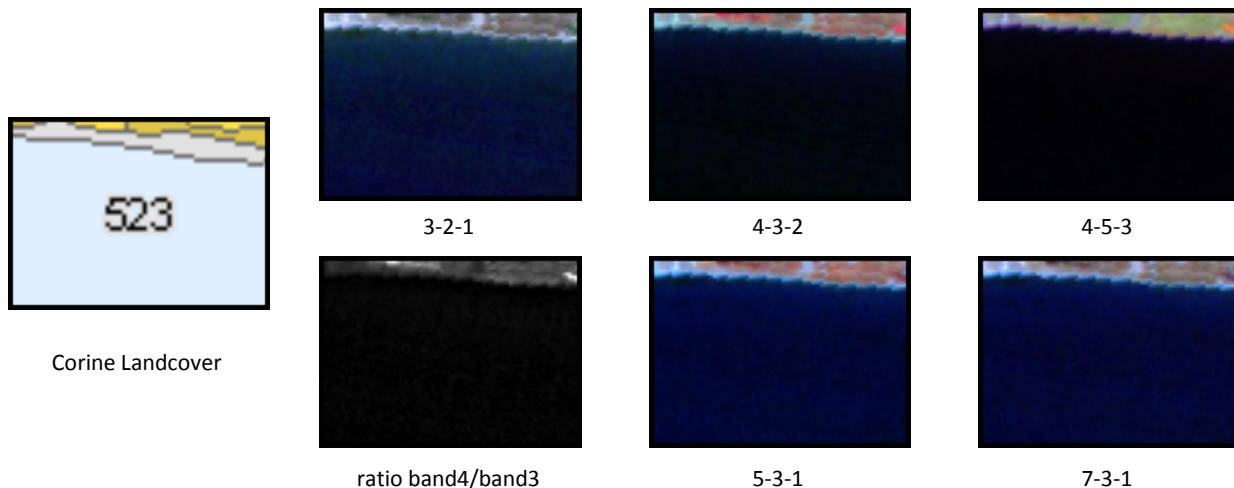
Ιδιότητες

- i. Η κατηγορία αυτή εντοπίζεται δίπλα σε υδάτινες επιφάνειες.
- ii. Δημιουργείται σε περιοχές τομής μεταξύ θάλασσας και ποταμού.
- iii. Συνήθως έχει τριγωνικό σχήμα (δέλτα).

5.2.3. Θάλασσες και ωκεανοί.

Περιγραφή

Ζώνες με διεύθυνση προς την θάλασσα από το χαμηλότερο όριο της παλίρροιας.



Εικόνα 76: Παράδειγμα θάλασσας από την περιοχή του Γυθείου το έτος 1991.

Όσον αφορά την απεικόνιση της ακτογραμμής και την ύπαρξη ποικίλων επιπέδων παλίρροιας, είναι για τον καθορισμό αυτής της κατηγορίας η βάση των πληροφοριών (μηδενικό υψόμετρο) που εμφανίζεται σε τοπογραφικούς χάρτες.

Ανάλυση

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται:

- Το θαλασσινό νερό.

Ιδιότητες

- Η κατηγορία αυτή στο υπέρυθρο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 εμφανίζεται με μαύρο ή σκούρο μπλε χρώμα.
- Έχει απαλή υφή.
- Έχει πολύ μεγάλο μέγεθος.
- Το προς της στεριά όριο της είναι το κατώτατο όριο της παλίρροιας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2. Μεθοδολογία

Στην συνέχεια αναπτύσσεται διεξοδικά η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε ώστε το ασαφές σύστημα να φωτοερμηνεύει επιτυχώς τις κατηγορίες του 3^{ου} επιπέδου του Corine Land Cover.

2.1. Τοποθέτηση του Προβλήματος

Είναι σαφές ότι η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων στην φωτοερμηνεία είναι ακόμη, πέρα από επιστήμη και τέχνη. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη να μελετηθεί συστηματικά η διαδικασία του προσδιορισμού συμπερασμάτων, προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα και να τυποποιηθεί η κάθε διαδικασία, και να αναπτυχθεί ένα συστηματικό πλαίσιο για την αναγνώριση των διαφόρων θεματικών ενοτήτων - αντικειμένων από αεροφωτογραφίες /δορυφορικές εικόνες.

Ένα εργαλείο για την ικανοποιητική αναπαράσταση των διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων που έχουν να κάνουν με την γνώση και εμπειρία είναι τα ασαφή συστήματα. Τα ασαφή συστήματα αναπαριστούν την γνώση με συστήματα παραγωγής και προσφέρουν μεθόδους και εργαλεία για την αναπαράσταση τόσο των γεγονότων, όσο και της διαδικασίας επίλυσης προβλημάτων (κανόνες παραγωγής). Έτσι μπορούν να βοηθήσουν στην ανακάλυψη και τυποποίηση των μεθόδων απόφασης για την φωτοερμηνεία που δεν περιγράφεται απόλυτα στην βιβλιογραφία, με αποτέλεσμα η ανθρώπινη εμπειρία να μην απαιτείται για τον προσδιορισμό της.

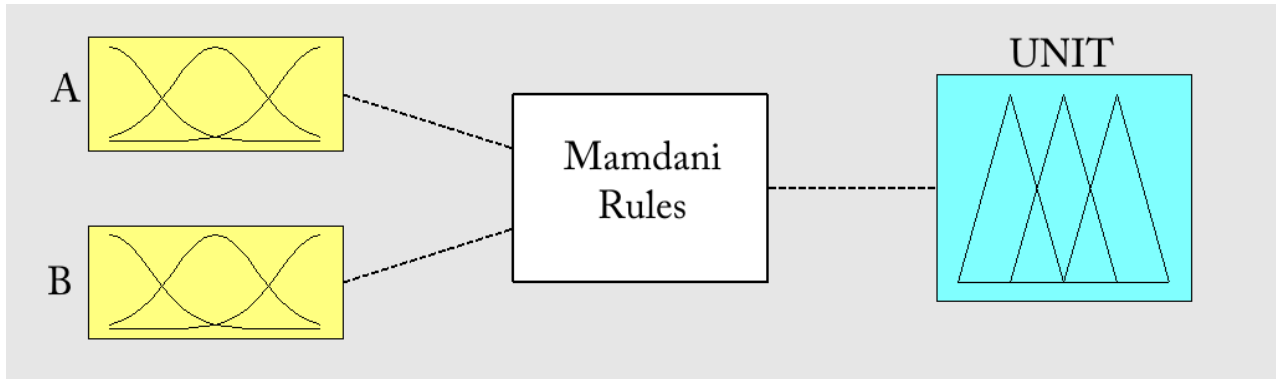
Σύμφωνα με το Corine Land Cover Project η επιφάνεια της γης καλύπτεται από έναν συγκεκριμένο αριθμό «θεματικών ενοτήτων». Οι κατηγορίες αυτές αποτελούνται από άλλες υποκατηγορίες πιο «συγκεκριμένης» εδαφοκάλυψης/χρήσης γης και το όλο project είναι δομημένο τελικά ιεραρχικά από την πιο γενική στην πιο ειδική κατηγορία.

Κάθε κατηγορία/χρήση γης επιπέδου 3 ονομάζεται «μονάδα» (unit) και όπως περιγράφηκε προηγουμένως απαρτίζεται από αντικείμενα τα οποία της προσδίδουν μια σειρά από ιδιότητες όπως το χρώμα, το σχήμα, την υφή το πρότυπο, τη θέση και άλλα.

Το ζητούμενο είναι το ασαφές σύστημα έχοντας ως δεδομένα τις ιδιότητες της κατηγορίας που του παρέχει ο χρήστης, μέσω συγκεκριμένων ερωταπαντήσεων, να αναγνωρίσει κατά πόσο μια κατηγορία αντιπροσωπεύεται από τα δεδομένα αυτά ή όχι. Οι απαντήσεις στις ερωτήσεις του συστήματος θα πρέπει να δύνανται να απαντηθούν μόνο από τα δεδομένα που θα μπορούσε να έχει ο χρήστης δηλαδή κυρίως δορυφορικές εικόνες και χάρτες.

2.2. Εννοιολογική σύλληψη και αναπαράσταση της γνώσης

Για την καλύτερη κατανόηση των φωτοαναγνωριστικών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια, των εννοιών του Corine αλλά και των ερωτήσεων του προγράμματος και των μεταξύ τους συσχετισμό, παρατίθεται το σχήμα 27.

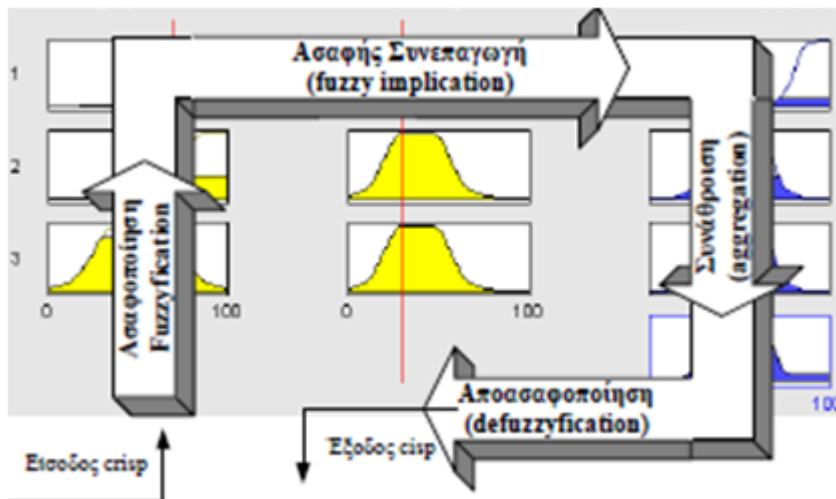


Σχήμα 27: Η κατηγορία / μονάδα υπό εξέταση

Στο σχήμα φαίνεται η υπό εξέταση κατηγορία ή αλλιώς μονάδα, κατά το εγχειρίδιο του Corine «Unit».

Τα δεδομένα A και B είναι ασαφή σύνολα των οποίων οι λεκτικές μεταβλητές υλοποιούνται με διάφορες συναρτήσεις συμμετοχής. Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τύπου Mamdani, δηλαδή η έξοδος (η μονάδα) τους είναι κι αυτό ένα ασαφές σύνολο.






Η όλη διαδικασία ακολουθεί το διάγραμμα ροής του σχήματος 28.








Σχήμα 28: Διάγραμμα ροής ενός ασαφούς συστήματος

2.2.1. Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν


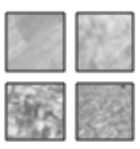

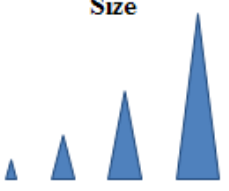
Τα φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο ασαφές σύστημα, για να εξεταστεί κατά πόσο μια κατηγορία υλοποιείται με από τα δεδομένα του χρήστη φαίνονται στους πίνακες 4-8.

Properties	Values	Source			Categories that are affected
		M A N U A L	E X P E R T	O T H E R	
White 	High	x			1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 1.3.2., 1.3.3., 1.4.2., 3.3.1., 3.3.2., 1.1.2., 1.2.3., 2.4.2.,
	Medium or more		x		1.2.1., 1.2.4., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 2.4.4., 3.3.4., 3.3.5., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3., 2.4.3., 3.2.4.,
	Medium or less		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.3.2., 3.3.5.,
	Low	x			1.2.1., 1.2.4., 2.1.1., 2.1.2., 3.2.1.,
Grey 	High	x			1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 1.3.2., 1.3.3., 1.4.2., 3.3.1., 3.3.2., 1.1.2., 1.2.3., 2.4.2.,
	Medium or more		x		1.2.1., 1.2.4., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 2.4.4., 3.3.4., 3.3.5., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3., 2.4.3., 3.2.4., 3.3.2.
	Medium or less		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.3.5.,
	Low	x			1.2.1., 1.2.4., 2.1.1., 2.1.2., 3.2.1.,
Cyan 	High	x			1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 1.3.2., 1.3.3., 1.4.2., 3.3.1., 1.1.2., 1.2.3., 2.4.2.,
	Medium or more		x		1.2.1., 1.2.4., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 2.4.4., 3.3.4., 3.3.5., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3., 2.4.3., 3.2.4.,
	Medium or less		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.3., 1.3.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.3.2., 3.3.5.,
	Low	x			1.2.1., 1.2.4., 2.1.1., 2.1.2., 3.2.1.,
Yellow 	High		x		1.2.1., 1.3.2., 1.4.2., 2.4.4., 3.2.1.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 2.4.2., 4.1.2., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3.,
	Medium or less		x		2.3.1., 2.4.2., 4.1.2., 4.2.2.,
	Low		x		1.2.2., 1.3.1., 2.1.1., 2.1.2., 3.3.2.
Green 	High		x		1.2.1., 1.3.2., 1.4.2., 2.4.4., 3.2.1.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.2., 4.1.2., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3.,
	Medium or less		x		2.4.2., 3.2.4., 4.1.2., 4.2.2.,
	Low		x		1.2.2., 1.3.1., 2.1.1., 2.1.2., 3.3.2.

Πίνακας 4: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Properties	Values	Source			Categories that are affected
		M A N U A L	E X P E R T	O T H E R	
Brown 	High		x		1.2.1., 1.3.2., 1.4.2., 2.4.4., 3.2.1.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 2.4.2., 4.1.2., 4.2.2.,
	Medium		x		2.1.3.,
	Medium or less		x		2.3.1., 2.4.2., 3.2.4., 4.1.2., 4.2.2.,
	Low		x		1.2.2., 1.3.1., 2.1.1., 2.1.2., 3.3.2.
Pink 	High	x			1.3.2., 1.4.1., 1.4.2., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.4., 3.2.1., 4.1.1., 4.2.1.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 2.1.2., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 3.2.2., 3.2.3., 3.3.3., 3.3.4., 4.1.2., 4.2.2.,
	Medium		x		3.2.4.,
	Medium or less		x		2.2.1., 2.2.2., 2.3.1., 3.2.3., 3.2.4., 3.3.4., 4.1.1.,
	Low	x			1.2.1., 1.2.2., 1.2.4., 1.3.1., 1.3.3., 2.1.1., 2.4.2., 2.4.3., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.5.,
Red 	High	x			1.3.2., 1.4.1., 1.4.2., 2.2.1., 2.2.2., 2.4.4., 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.2.1., 4.1.1., 4.2.1.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.2., 1.2.3., 1.2.4., 2.1.2., 2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 2.4.1., 3.2.2., 3.2.3., 3.3.3., 3.3.4., 4.1.2., 4.2.2.,
	Medium		x		3.2.4.,
	Medium or less		x		2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.3.1., 3.2.3., 3.3.4., 4.1.1.,
	Low	x			1.2.1., 1.2.2., 1.2.4., 1.3.1., 1.3.3., 2.1.1., 2.4.2., 2.4.3., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.5.,
Blue 	High	x	x		1.3.2., 1.4.2., 5.1.2., 5.2.3.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.3., 1.2.4., 1.3.3., 2.1.3., 3.2.1., 4.2.3., 5.1.1., 5.2.1., 5.2.2.,
	Medium		x		1.1.1., 1.1.2.,
	Medium or less	x	x		3.2.4., 4.2.3., 5.1.1., 5.1.2., 5.2.1., 5.2.3.,
	Low	x			1.3.1., 2.1.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.5., 5.2.2.,
Black 	High	x	x		1.3.2., 1.4.2., 5.1.2., 5.2.3.,
	Medium or more		x		1.1.1., 1.1.2., 1.2.1., 1.2.3., 1.2.4., 1.3.3., 2.1.3., 3.2.1., 3.3.4., 4.2.3., 5.1.1., 5.2.1., 5.2.2.,
	Medium		x		1.1.1., 1.1.2.,
	Medium or less	x	x		3.2.4., 4.2.3., 5.1.1., 5.1.2., 5.2.1., 5.2.3.,
	Low	x			1.3.1., 2.1.1., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.5., 5.2.2.,

Πίνακας 5: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Properties	Values	Source			Categories that are affected
		M A N U A L	E X P E R T	O T H E R	
Tone band4/band3 	Dark		x		1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.3.1, 2.2.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.3.3,
	Medium to Dark		x		1.2.4, 2.1.1, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 3.1.1, 3.2.1, 3.2.3, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.4, 4.1.1, 4.2.2, 4.2.3,
	Medium		x		2.1.1, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.4.1, 2.4.3, 3.2.2,
	Bright to Medium		x		1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.4.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.3, 3.3.1, 3.3.3, 3.3.4, 4.1.1,
	Bright		x	x	1.3.2, 1.3.3, 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.3.1, 2.4.4, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.1, 3.2.4, 3.3.2, 4.2.2, 4.2.3,
Texture 	Rough	x			1.1.1, 1.1.2, 3.2.1,
	Medium	x	x		1.2.1, 1.2.3, 2.2.1, 2.3.1, 2.4.1, 3.2.3, 4.1.2, 4.2.3,
	Medium or Rough		x		1.2.2, 1.3.1, 1.4.1, 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.2.2, 2.2.3, 3.2.1, 3.3.5, 4.2.2, 5.1.2, 5.2.1,
	Medium or Fine		x		1.1.1, 1.1.2, 1.2.2, 2.1.1, 2.1.2, 2.2.2, 2.2.3, 3.3.5, 4.2.2, 5.1.2,
	Fine		x	x	1.4.1, 1.4.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3,
	Smooth	x			1.2.1, 1.2.3, 1.3.1, 1.3.3, 2.1.1, 2.1.3, 2.2.1, 2.4.2, 2.4.4, 3.2.3, 3.2.4, 3.3.1, 5.2.1, 5.2.3,
Shape 	Irregular		x		1.3.2, 2.1.1, 5.1.2,
	Circular	x	x		1.3.2, 5.1.2,
	Rectangular		x		1.2.4, 1.3.2, 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.4.2, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 4.1.1, 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 5.1.2, 5.2.1,
	Linear	x			1.2.2, 1.2.4, 1.3.2, 2.1.1, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 5.1.1, 5.1.2, 5.2.1,
	Huge		x		3.3.2, 4.2.2, 5.2.2,
Size 	Large-Huge		x	x	1.2.3, 1.2.4, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4.1, 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1,
	Large		x		4.2.2,
	Medium		x		-
	Small-Medium		x		1.2.3, 1.2.4, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4.1, 1.4.2, 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1,
	Small		x	x	1.4.1, 1.4.2,

Πίνακας 6: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Οι τιμές (values) των ιδιοτήτων (properties) αντιπροσωπεύονται από συναρτήσεις συμμετοχής οι οποίες θα εξεταστούν στη συνέχεια. Οι τιμές αυτές επηρεάζουν τις κατηγορίες που βρίσκονται στα δεξιά τους είτε θετικά, είτε αρνητικά, οι ίδιες ή τα ασαφή συμπληρώματά τους.

A/A	Properties	Values	Source			Categories that are affected
			M A N U A L	E X P E R T	O T H E R	
1	Location	by water bodies, by/within artificial surfaces, by agricultural areas	x			1.2.3., 1.4.1., 1.4.2., 2.3.1., 3.3.1., 4.1.1., 4.2.1., 4.2.2., 4.2.3., 5.2.1., 5.2.2.,
2	Constrast with surrounding	yes	x		x	1.3.1., 1.3.3., 1.4.1., 2.4.3., 4.2.2.,
3	Pattern	spaggetti, regular, irregular, mosaic	x		x	1.4.2., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.2., 4.2.2.,
4	Existance of	Drainage network ,fences,	x	x		2.1.2. 2.1.3., 2.3.1.,
5	Agricultural land (6+9)	25%-75%	x			2.4.3.,
6	<i>Annual crop percentage (land under rotation)</i>	>=75%, 50%-75%, <75%, 25%-75%,	x			2.1.1., 2.1.2., 2.1.3., 2.4.1., 2.4.3., 2.4.4., 2.4.2.,
7	Rise field percentage	>50%,	x			2.1.3.,
8	(1) Existance of	Drainage network, fences,				2.1.2. 2.1.3., 2.3.1.,
9	<i>Permanent crop percentage (10+11+12)</i>	<75%, >=75%, 25%-75%	x			2.1.3., 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.4.1., 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4.,
10	Olive tree density	> 50%, <75%	x			2.2.3., 2.4.1., 2.4.2.
11	Fruit tree density	>50%, <75%	x			2.2.2. 2.4.1., 2.4.2.,
12	Vineyarde density	>=50%, <75%	x			2.2.1. 2.4.1., 2.4.2.,
13	Natural land (14+16+20+21)	25%-75%	x			2.4.3.,
14	<i>Ligneus flora (15+17)</i>	< 50%	x	x		2.3.1.,
15	Bush and shrub density	<50%, >=50%, >=25%	x			3.2.2., 3.2.3., 3.2.4.,
16	Low vegetation density	>50%	x			3.2.1.,
17	<i>Forest tree density (18 + 19)</i>	<30%, >=30%	x	x		2.4.4., 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.2.3., 3.2.4.,
18	Broad-leaved tree percentage	>75%, 25%-75%	x			3.1.1., 3.1.3.,
19	Broad-leaved tree percentage	>75%, 25%-75%	x			3.1.2., 3.1.3.,

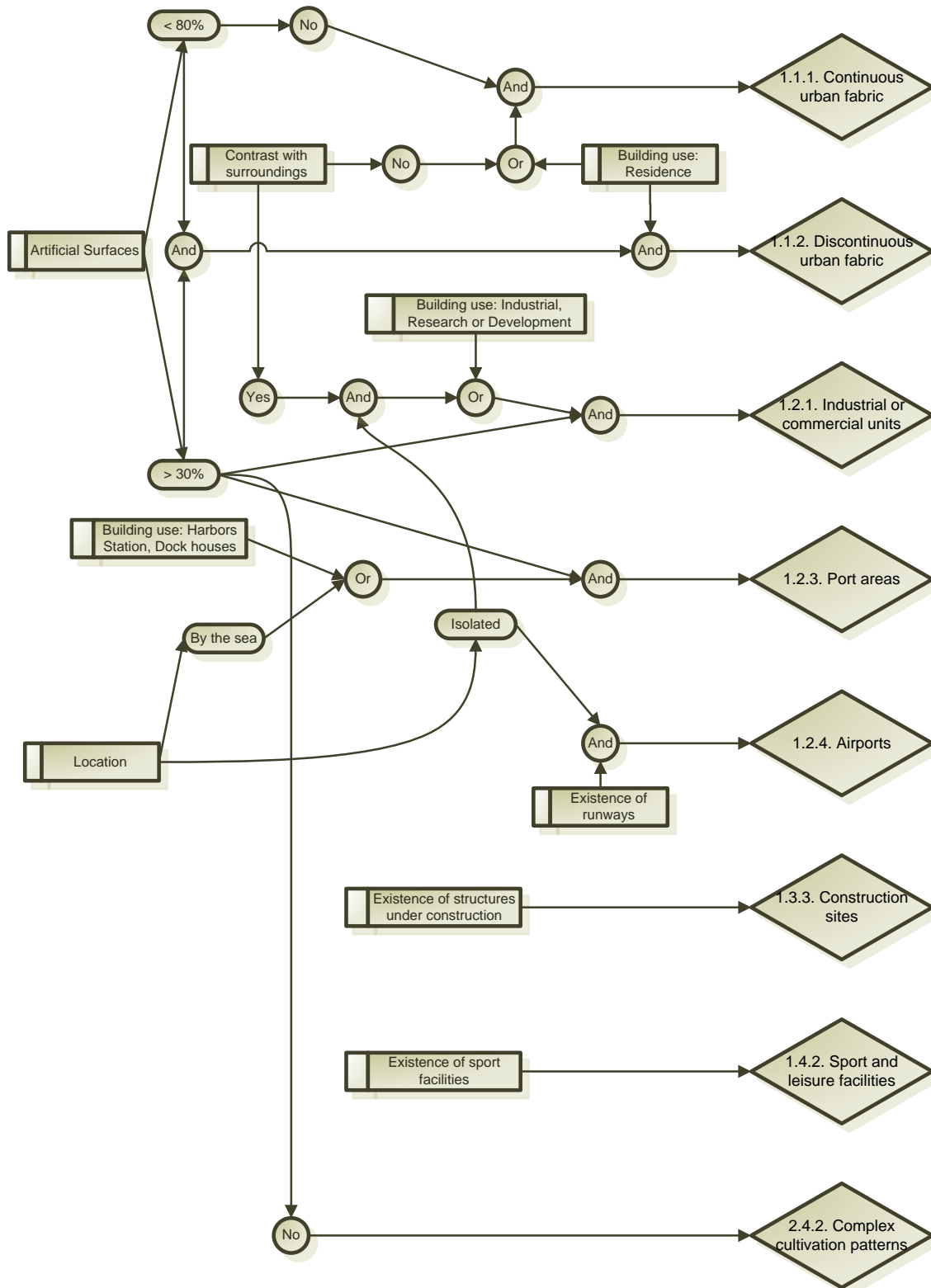
Πίνακας 7: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

A/A	Properties	Values	Source			Categories that are affected
			M A N U A L	E X P E R T	O T H E R	
20	<i>Unvegetated natural areas (21+22)</i>	>90%, 50%-90%	x			3.3.2., 3.3.3.,
21	Rock area percentage	<25%, <50%	x			3.2.1., 3.3.5.,
22	Naked ground	<50%	x			3.2.1.,
23	Damaged trees	>50%	x			3.2.4.,
24	Relief	plain, hilly, mountain	x	x		2.1.1., 2.1.2., 2.1.3, 2.4.3., 3.2.1., 3.2.2., 3.3.3.,
25	Flora elevation	low, medium, high	x			2.3.1., 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.2.1., 3.2.2., 3.2.3., 4.2.1.
26	Burned area	yes	x			3.3.4.,
27	Permanent snow and	>50%	x			3.3.5.,
28	Waterlogging depth	<10cm, 10cm-30cm,	x			4.1.1., 3.2.1.,
29	Peat layer thickness	<30cm, >40cm	x			4.1.1., 4.1.2.
30	Organic matter	>20%	x			4.1.2.,
31	Exploitation	yes	x			4.1.2., 4.2.2.,

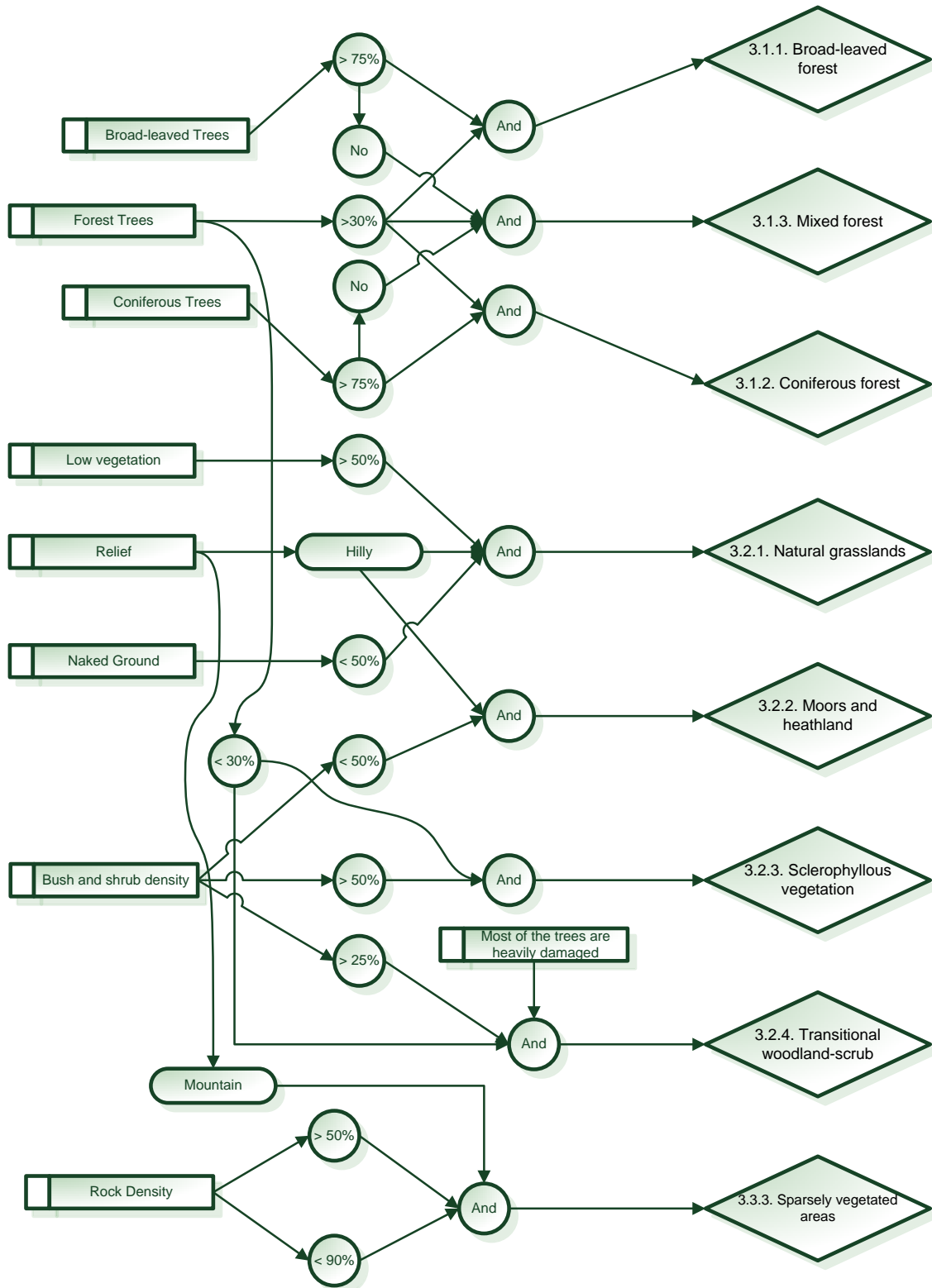
Πίνακας 8: Φωτοαναγνωριστικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Οι ιδιότητες στους πίνακες 7 και 8 δε συμμετέχουν στο ασαφές σύστημα, αλλά στην συνέχεια του προγράμματος ως σαφείς μεταβλητές για την εξαγωγή του τελικού συμπεράσματος. Αυτό συνέβη για δύο κύριους λόγους. Πρώτον γιατί οι περισσότερες εξ αυτών έχουν δύο τιμές (ναι ή όχι, μεγαλύτερο του 50 ή μικρότερο του 50) και δεύτερον γιατί η προσθήκη νέων μεταβλητών σε ένα ασαφές σύστημα ήταν αδύνατη στο περιβάλλον του Matlab, κάτι όμως που θα αναλυθεί πιο διεξοδικά στο 3^ο κεφάλαιο.

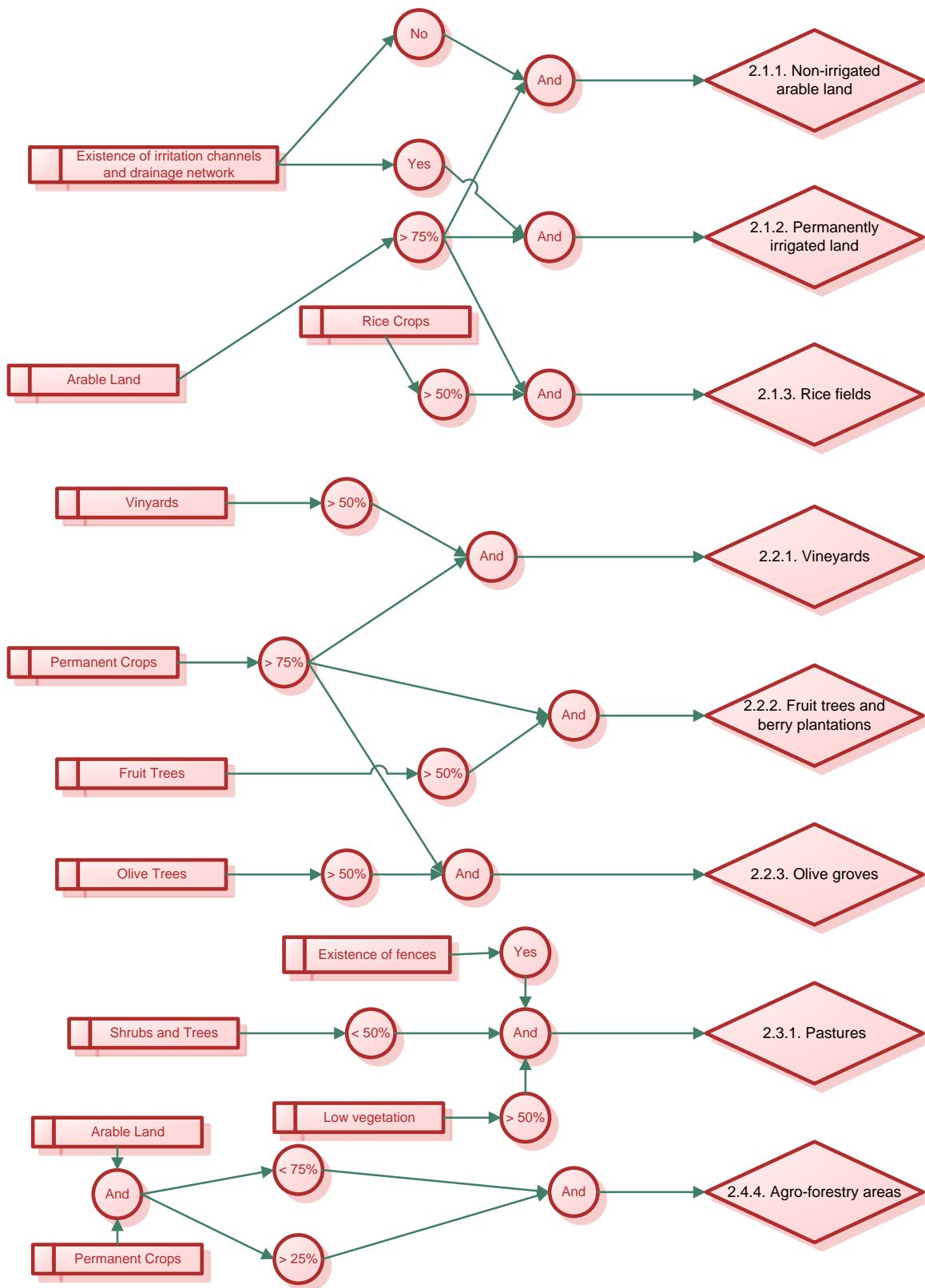
Στα σχήματα 29 με 31 ακολουθούν μερικά παραδείγματα για το τρόπο με το οποίο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων μετά το ασαφές σύστημα. Τα παραδείγματα αυτά αφορούν διαχωρισμό κατηγοριών με κυρίαρχα στοιχεία, την δόμηση, τις καλλιέργειες και τις φυσικές περιοχές.



Σχήμα 29: Διαχωρισμός κατηφοριών με βάση την δόμηση



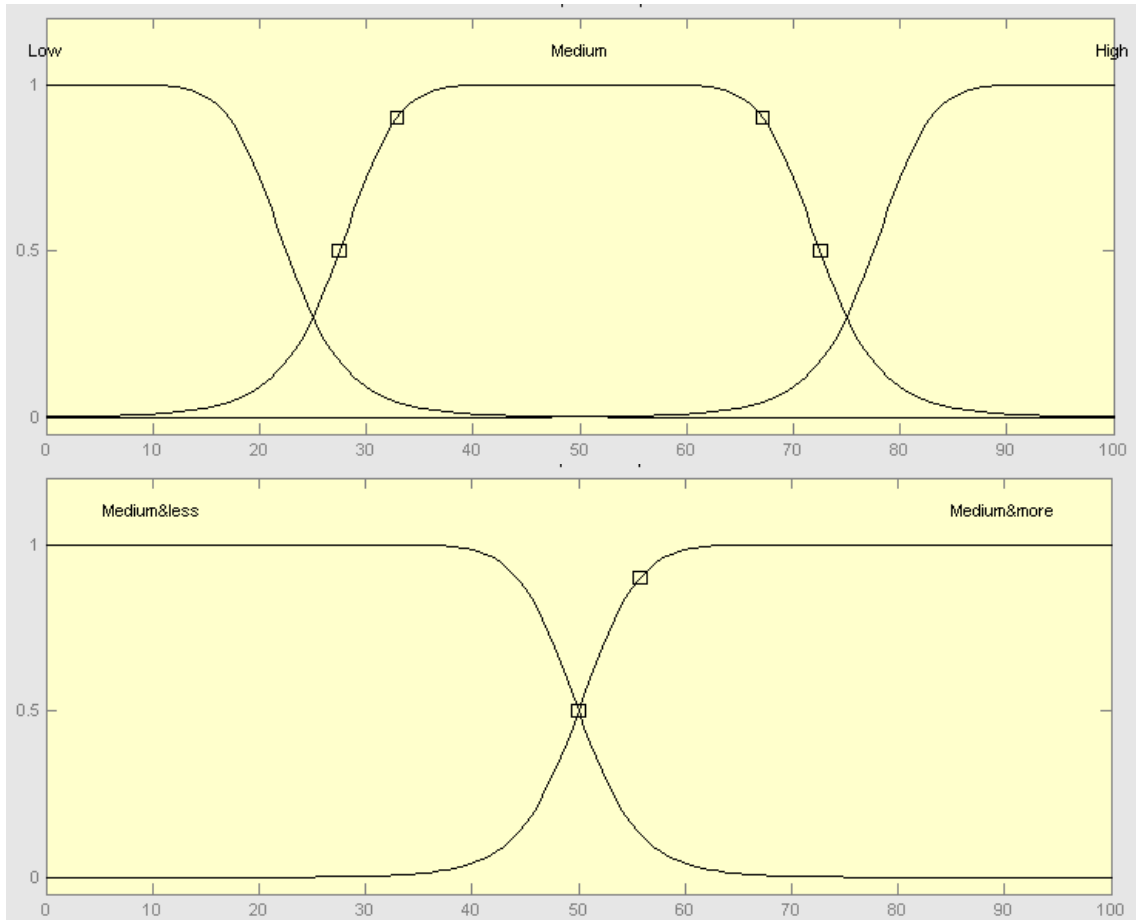
Σχήμα 30: Διαχωρισμός κατηφοριών φυσικών περιοχών



Σχήμα 31: Διαχωρισμός κατηφοριών αγροτικής γης

2.2.2. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για τα χρώματα

Αν και καθένα από τα δέκα χρώματα που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα, αποτελεί ένα ξεχωριστό ασαφές σύνολο, έχουν τις ίδιες λεκτικές μεταβλητές με τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται όλα μαζί σε μία ενότητα. Εξάλλου στα ασαφή συστήματα των κατηγοριών σπάνια χρησιμοποιείται κάποιο χρώμα μεμονωμένα, αλλά λειτουργούν τις περισσότερες φορές αθροιστικά.



Εικόνα 77: Οι συναρτήσεις συμμετοχής των χρωμάτων

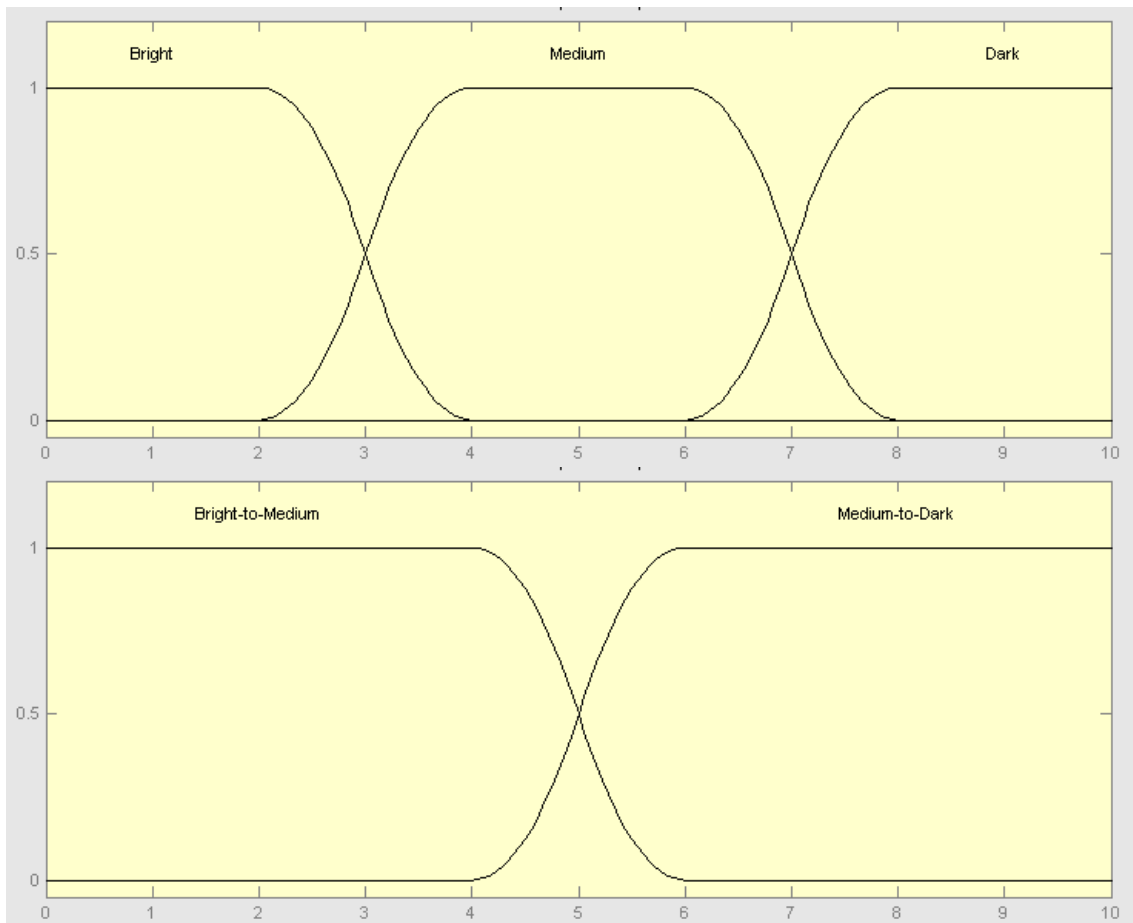
Το πεδίο ορισμού των συναρτήσεων αυτών κινείται στο διάστημα $[0, 100]$. Ακολουθούν οι τα είδη και οι παράμετροι της καθεμίας από τις συναρτήσεις συμμετοχής:

- High: gbellMF [22.5, 4, 100]
- Medium: gbellMF [22.5, 4, 50]
- Low: gbellMF [22.5, 4, 0]
- Medium and More: gbellMF [40, 7.03, 90]
- Medium and Less: gbellMF [40, 7.03, 10]

Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίστηκαν από την βιβλιογραφία αλλά κυρίως από ποικίλους πειραματισμούς με τα αποτελέσματα του ασαφούς συστήματος.

2.2.3. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για τον τόνο στο λόγο καναλιών

Σε αυτό το ασαφές σύνολο, όπως και στα υπόλοιπα που ακολουθούν, αν και οι συναρτήσεις συμμετοχής δημιουργούν ένα συνεχές σύνολο, στην πράξη χρησιμοποιούνται μόνο διακριτές τιμές. Όπως θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2.3 ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα επιλέγοντάς τα από ένα σύνολο διακριτών επιλογών «bullets». Το πεδίο ορισμού του συνόλου αποτελείται από τις τιμές [1, 3, 5, 7, 9].



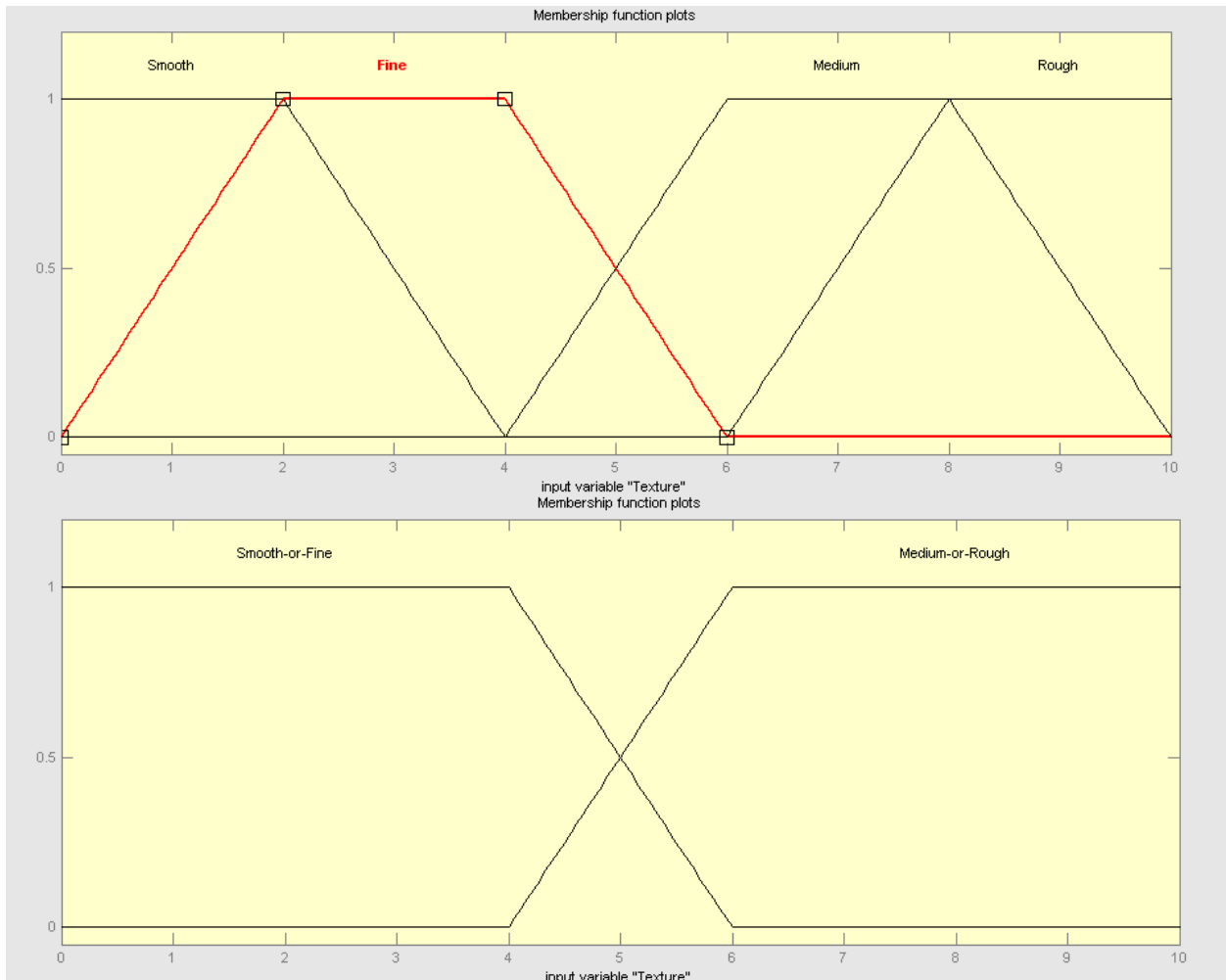
Εικόνα 78: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του τόνου στον λόγο band4/band3

Τα είδη και οι παράμετροι της καθεμίας από τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι τα εξής:

- Dark: sMF [6, 9]
- Medium and Brighter: zMF [4, 6]
- Medium: piMF [2, 4, 6, 8]
- Medium and Darker: sMF [4, 6]
- Bright: zMF [2, 4]

2.2.4. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για την υφή

Αυτό το ασαφές σύνολο χρησιμοποιεί επίσης διακριτές τιμές. Τα πεδίο ορισμού είναι το [1, 3, 7, 9]. Στην πράξη η συνάρτηση συμμετοχής της τιμής «fine» δεν εμπλέκεται με την αντίστοιχη του «medium» αφού στο πεδίο ορισμού δεν υπάρχει το πέντε. Η συναρτήσεις συμμετοχής των «smooth or medium» και «medium or rough» χρησιμοποιούνται καταχρηστικά εξαιτίας του ότι στο Matlab δεν μας επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουμε παραπάνω από έναν ασαφή τελεστή σε κάθε κανόνα.



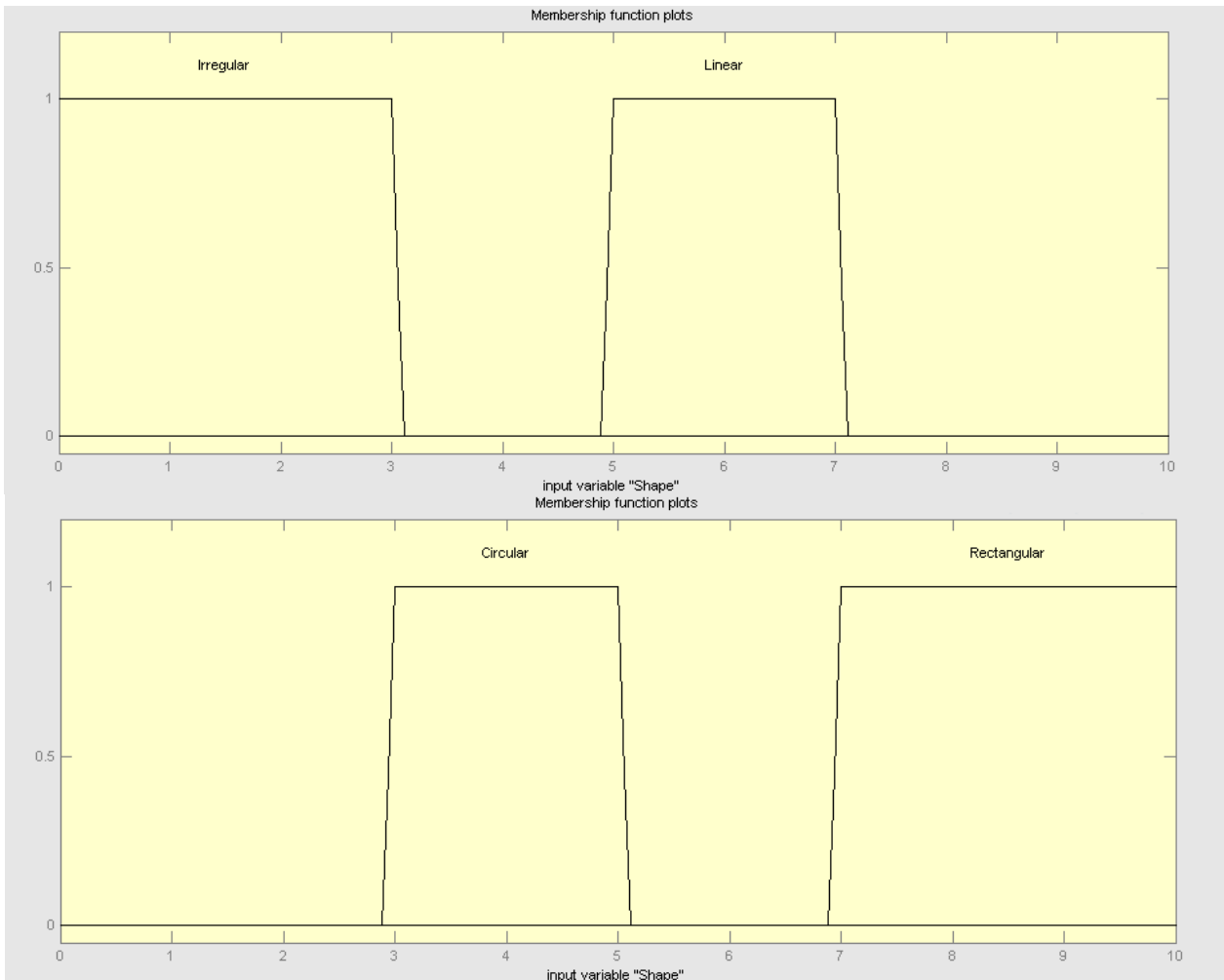
Εικόνα 79: Οι συναρτήσεις συμμετοχής της υφής

Τα είδη και οι παράμετροι της καθεμίας από τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι τα εξής:

- Rough: trapMF [6, 8, 10, 12]
- Medium: trapMF [4, 6, 8, 10]
- Fine: trapMF [0, 2, 4, 6]
- Smooth: trapMF [-2, 0, 2, 4]
- Smooth or Fine: trapMF [-2, 0, 4, 6]
- Medium or Rough: trapMF [4, 6, 10, 12]

2.2.5. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για το σχήμα

Το πεδίο ορισμού του ασαφούς συνόλου «σχήμα» είναι το $[2, 4, 6, 8]$ και έχει διακριτές τιμές. Στην ουσία δεν πρόκειται για ασαφές αλλά για σαφές σύνολο. Κάθε συνάρτηση συμμετοχής παίρνει εξάγει δύο διακριτές τιμές, το 0 και 1, ανάλογα με το αν ισχύει ή όχι. Φυσικά στο πρόγραμμα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές τα συμπληρώματά τους όπως η «not linear» και «not rectangular».



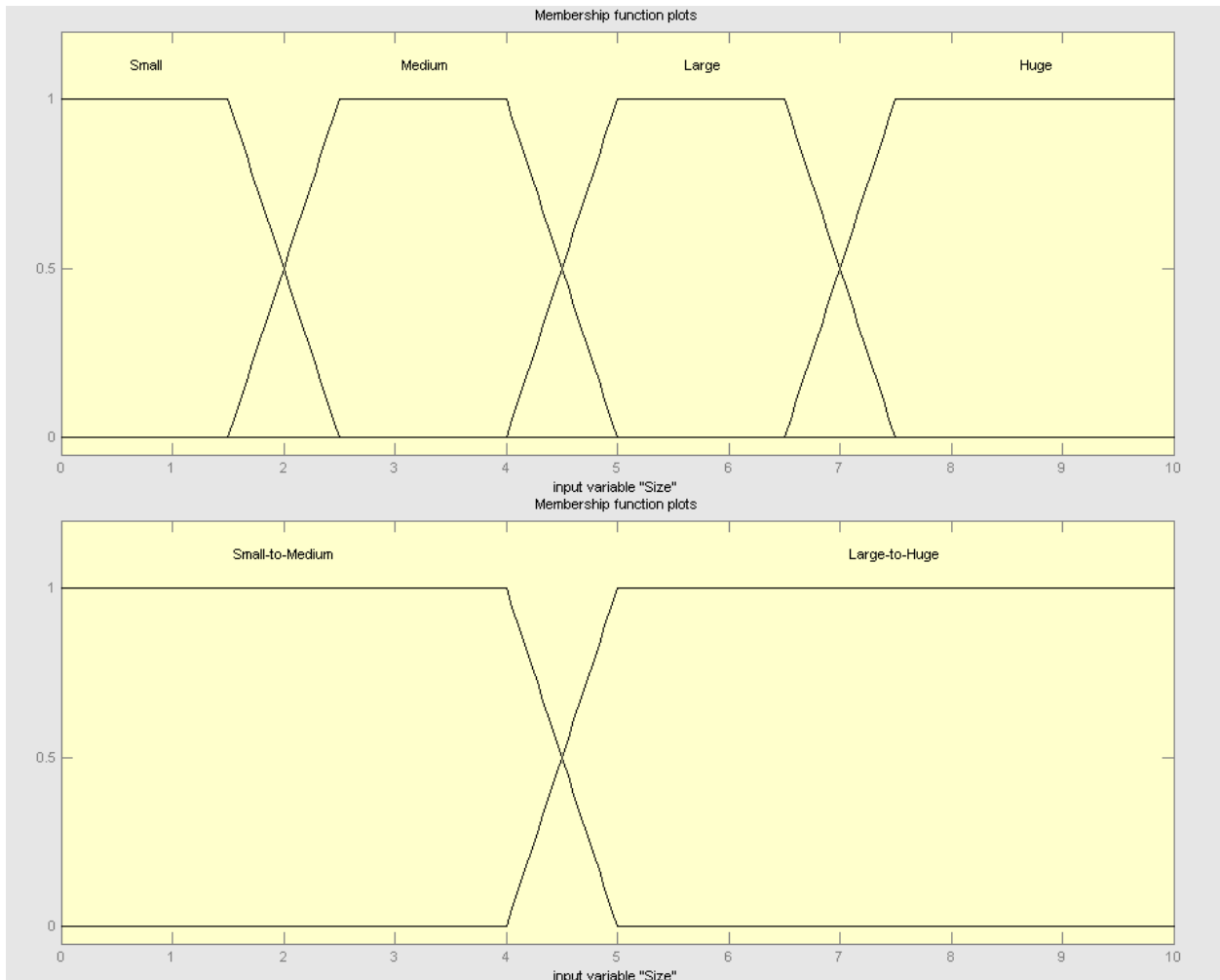
Εικόνα 80: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του σχήματος

Τα είδη και οι παράμετροι της καθέμιας από τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι τα εξής:

- Irregular: trapMF [0, 0, 3, 3]
- Circular: trapMF [3, 3, 5, 5]
- Linear: trapMF [5, 5, 7, 7]
- Rectangular: trapMF [7, 7, 10, 10]

2.2.6. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για το μέγεθος

Το μέγεθος είναι η πέμπτη και τελευταία ιδιότητα που χρησιμοποιείται από το ασαφές σύστημα. Το πεδίο ορισμού του είναι το [1, 2, 3, 4.5, 6, 7, 8]. Είναι και αυτό διακριτό και αν και αποτελείται από τέσσερις κύριες συναρτήσεις συμμετοχής (οι δύο επιπλέον δημιουργήθηκαν για να ξεπεραστούν κάποιοι περιορισμοί που έχει το fuzzy Matlab) ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής επτά διαφορετικών τιμών αφού πρόκειται για μια παράμετρο με μεγάλη ποικιλία σε τιμές στην πραγματικότητα.



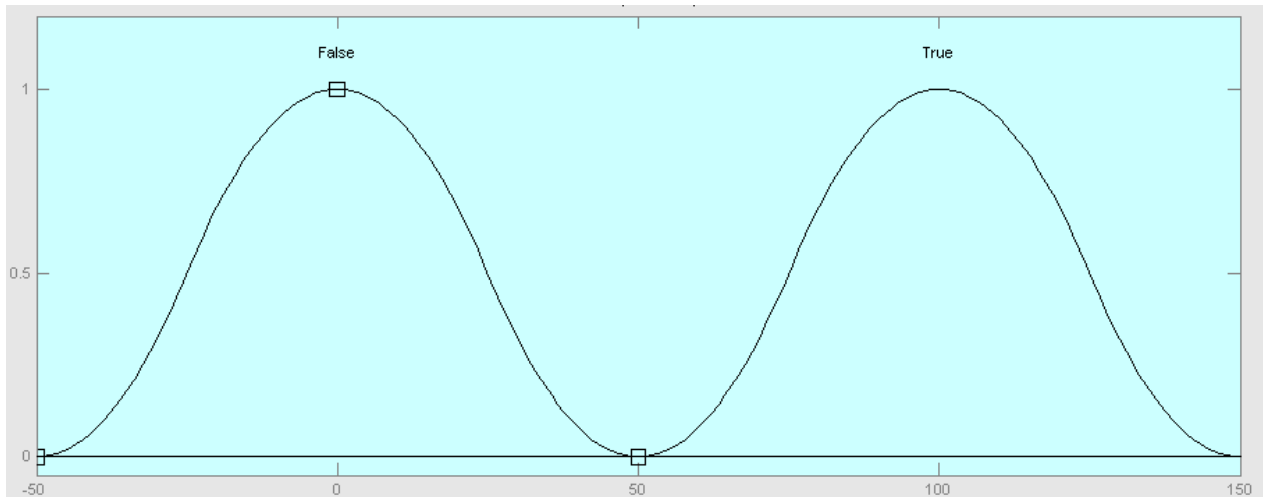
Εικόνα 81: Οι συναρτήσεις συμμετοχής του μεγέθους

Τα είδη και οι παράμετροι της καθεμιάς από τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι τα εξής:

- Small: trapMF [-2.5, -1.5, 1.5, 2.5]
- Medium: trapMF [1.5, 2.5, 4, 5,]
- Small to Medium: trapMF [-9, 0, 4, 5]
- Large: trapMF [4, 5, 6.5, 7.5]
- Huge: trapMF [6.5, 7.5, 10, 12.5]
- Large to Huge: trapMF [4, 5, 10, 11]

2.2.7. Δημιουργία του ασαφούς συνόλου για την έξοδο του κανόνα

Η έξοδος του κάθε κανόνα, όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου είναι επίσης ένα ασαφές σύνολο. Το σύνολο αυτό είναι συνεχές, με πεδίο ορισμού $[-50, 150]$. Αποτελείται από δύο συναρτήσεις συμμετοχής με λεκτικές μεταβλητές «true» και «false». Αυτές έχουν δημιουργηθεί έτσι ώστε το κέντρο βάρους του να είναι στις τιμές 100 και 0 αντίστοιχα ενώ δεν έχουν κανένα κοινό σύνορο (η μία σταματά στην τιμή 50 και η άλλη αρχίζει από εκεί) όπως φαίνεται στην εικόνα 82. Η διάταξή τους είναι όπως προτείνεται από τις βιβλιογραφίες, ενώ το σχήμα τους εκλέχθηκε μετά από πειραματισμούς λόγω της ποικιλίας των τιμών εξόδων που προσφέρουν.



Εικόνα 82: Οι συναρτήσεις συμμετοχής της εξόδου του συστήματος

Τα είδη και οι παράμετροι της καθεμίας από τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι τα εξής:

- False: $\mu_{\text{False}}[-50, 0, 0, 50]$
- True: $\mu_{\text{True}}[50, 100, 100, 150]$

Αν και το πεδίο ορισμού τους είναι $[-50, 150]$ στην πράξη η έξοδος δίνει τιμές στο πεδίο $[0, 100]$ και αυτό γιατί ως μέθοδος ασαφοποίησης έχει εκλεγεί η ο τελεστής centroid ο οποίος «ζυγίζει» το κατά πόσο μια κατηγορία είναι ψευδής ή αληθής και δίνει το αποτέλεσμα ανάλογα με το κέντρο βάρους του σχήματος που έχει δημιουργηθεί. Στο κεφάλαιο 2.3 ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του ασαφούς συστήματος και του τρόπου που λειτουργεί.

2.3. Η μορφή των κανόνων

Όλες οι κατηγορίες , «μονάδες», του προγράμματος συμμετέχουν στο ίδιο ασαφές σύστημα. Για να είναι όμως δυνατή η παρουσίασή τους αλλά και λόγους καλύτερης οργάνωσης, αντί να δημιουργηθεί ένα ασαφές σύστημα με σαράντα τέσσερις διαφορετικές εξόδους, δημιουργήθηκαν σαράντα τέσσερα συστήματα, ένα για κάθε κατηγορία, με τις ίδιες όμως παραμέτρους, σύνολα και τελεστές. Εννοείται ότι τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που θα λαμβάναμε και από το ένα σύστημα.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής που είναι κοινές για όλες τις ιδιότητες παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2.2. Στην εφαρμογή των ασαφών τελεστών χρησιμοποιήθηκαν ο τελεστής max για την τομή (And method) και το τελεστής min για την ένωση (Or method) που είναι και οι πιο συνήθεις στις περισσότερες των εφαρμογών. Για την εφαρμογή των συνεπαγωγών (Implication) χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση prob. Με αυτή την συνάρτηση η ασαφής έξοδος έχει μεγαλύτερο βάρος ανάλογα με το βαθμό που ικανοποιείται, έτσι τα αποτελέσματα είχαν μεγαλύτερη ποικιλομορφία και ήταν περισσότερο ικανοποιητικά από αυτά που εμφανίζονταν με την συνάρτηση min. Η σύνθεση όλων των εξόδων των κανόνων (Aggregation) έγινε με την συνάρτηση probor, και αυτό επειδή έτσι όταν δύο κανόνες ικανοποιούν το ίδιο τμήμα εξόδου, σε οποιοδήποτε βαθμό, αυτό λαμβάνεται υπ' όψιν δίνοντας μεγαλύτερο βάρος στο ασαφές σύνολο την εξόδου αυτής.

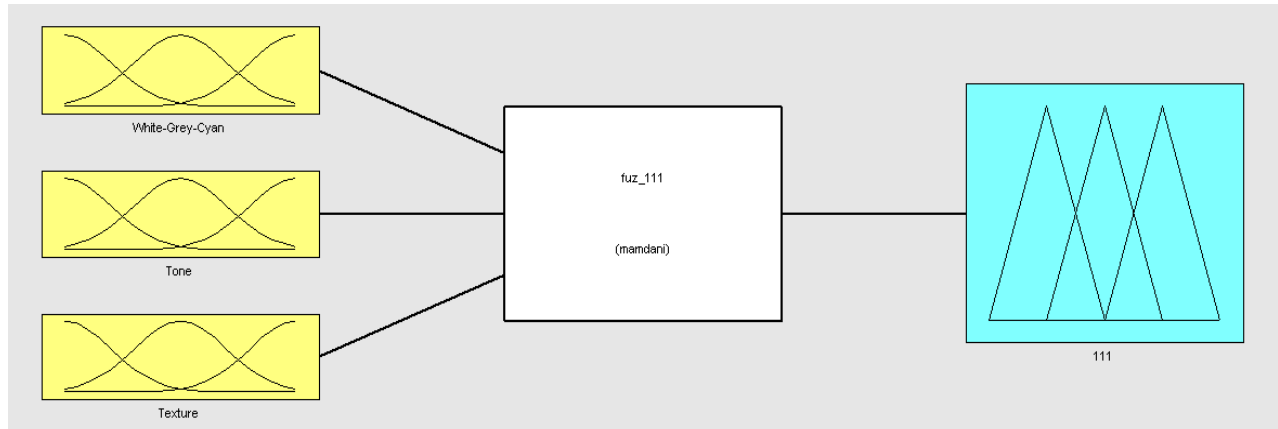
Τέλος για την αποσαφοποίηση (Defuzzification) επιλέχθηκε η μέθοδος του κέντρου βάρους (centroid). Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος ήταν επειδή εκτός του ότι ήταν πιο οικείος ο τρόπος λειτουργίας της, είχε και τα σωστότερα αποτελέσματα (μετά από πολλούς πειραματισμούς) σε συνδυασμό βέβαια με όλους του παραπάνω τελεστές.

And method	<input type="text" value="min"/>
Or method	<input type="text" value="max"/>
Implication	<input type="text" value="prod"/>
Aggregation	<input type="text" value="probor"/>
Defuzzification	<input type="text" value="centroid"/>

Εικόνα 83: Οι τελεστές του συστήματος

2.3.1. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός»

Την μονάδα του συνεχούς αστικού ιστού την επηρεάζουν τα ασαφή σύνολα «White – Gray – Cyan» «Tone» και «Texture» όπως φαίνεται και στην εικόνα 84.



Εικόνα 84: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 1.1.1.

Οι κανόνες που υλοποιούν το σύστημα αυτό είναι οι εξής :

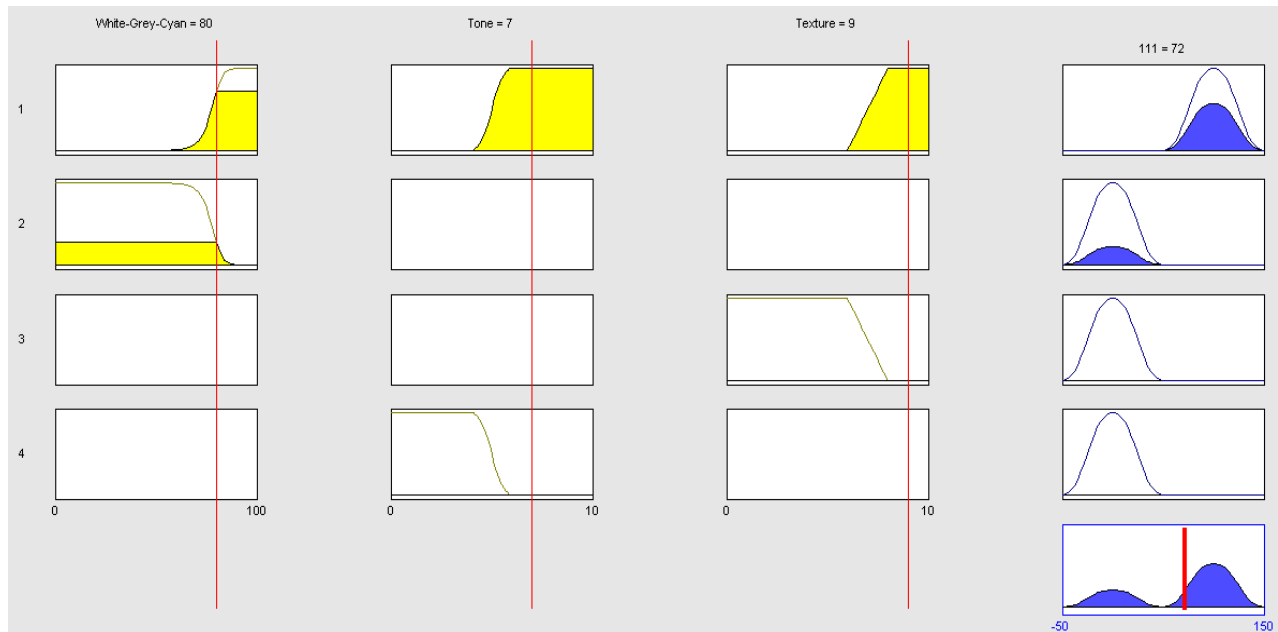
1. **If** (White – Cyan – Gray **is** High) **and** (Tone **is** Medium and Darker) **and** (Texture **is** Rough) **then** (1.1.1 **is** True) (0.8)
2. **If** (White – Cyan – Gray **is not** High) **then** (1.1.1. **is** False) (0.8)
3. **If** (Texture **is not** Rough) **then** (1.1.1. **is** False) (0.8)
4. **If** (Tone **is** Medium and Brighter) **then** (1.1.1. **is** False) (1)

Οι αριθμοί στις παρενθέσεις, στο τέλος του κάθε κανόνα είναι το βάρος. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν βάρη σε αυτό το σύστημα είναι επειδή όταν ο τόνος πάρει την τιμή Medium θέλουμε το σύστημα να συγκλίνει προς στην απόφαση ότι πιθανός αυτή η κατηγορία δεν ισχύει. Βέβαια δεν μπορούμε να αποκλείσουμε εντελώς την πιθανότητα να μην ισχύει καθώς όπως έχει παρατηρηθεί σε δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί την άνοιξη έχουν όντως τόνο κοντά στην τιμή Medium.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί πως λειτουργεί κάθε κανόνας χωριστά με γραφικό τρόπο και πως όλοι οι κανόνες μαζί συνθέτουν το αποτέλεσμα.

Ας υποθέσουμε ότι το άσπρο το γκρι και το κυανό χρώμα αποτελούν το 80% της περιοχής υπό εξέταση. Ο τόνος για τον λόγο των καναλιών band4/band3 ότι βρίσκεται ανάμεσα στο medium και το dark, παίρνει δηλαδή την τιμή 7, όπως το έχει οριστεί εξ αρχής και ότι η υφή είναι τραχεία (rough), παίρνει δηλαδή την τιμή 9.

Στην εικόνα 85 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εισέρχονται τα δεδομένα από τον χρήστη στο σύστημα και γίνεται η ασαφοποίησή τους και πώς στην συνέχεια σύμφωνα πάντα με τους τελεστές που έχουμε επιλέξει γίνεται η σύνθεση των κανόνων και τέλος η αποσαφοποίηση τους.

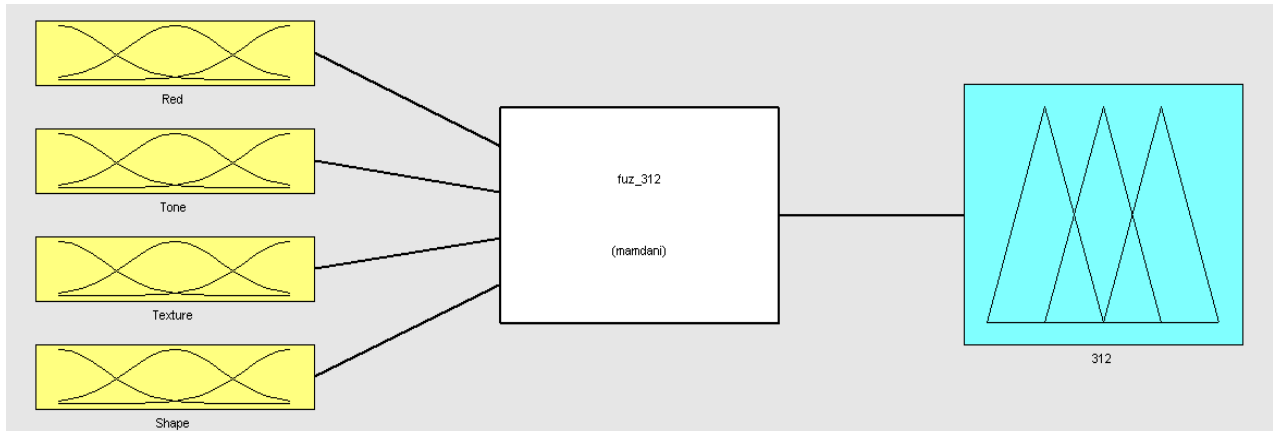


Εικόνα 85: Η λειτουργία του ασαφούς συστήματος για την κατηγορία 1.1.1.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 85 ο πρώτος κανόνας (πρώτη οριζόντια στήλη) ενεργοποιείται και από τα τρία ασαφή σύνολα που συμμετέχουν σ' αυτόν. Οι τιμές του κατακόρυφου άξονα της κάθε συνάρτησης συμμετοχής (όπως έχει ήδη αναφερθεί) κυμαίνεται μεταξύ $[0, 1]$. Επειδή ο κανόνας υλοποιείται με την τομή το σύστημα κρατάει την χαμηλότερη των τριών τιμών που είναι αυτή της συνάρτησης συμμετοχής για το χρώμα. Η τιμή αυτή (που είναι περίπου το 0.75) πολλαπλασιάζεται με το 0.8 που έχουμε ορίσει ως βάρος του κανόνα. Έτσι λοιπόν το ασαφές σύνολο της εξόδου (αυτό με το μπλε χρώμα δεξιά) ενεργοποιείται και συγκεκριμένα η συνάρτηση συμμετοχής true για την τιμή 0.8×0.75 που είναι και το ύψος της κορυφής του.

Με παρόμοιο τρόπο ο δεύτερος κανόνας ενεργοποιεί την το ασαφές σύνολο εξόδου για την τιμή false, ενώ οι δύο τελευταίοι κανόνες δεν ενεργοποιούνται καθόλου. Το σύστημα στην συνέχεια ενώνει τα δύο εμβαδά σε ένα σχήμα (σύμφωνα πάντα με το τρόπο που του έχουμε ορίσει να γίνει η σύνθεση των κανόνων) και βρίσκει το κέντρο βάρους του πολύπλοκου αυτού σχήματος. Εφόσον βέβαια έχει εκλεχθεί η centroid ως μέθοδος αποσαφοποίησης. Έτσι στο σύστημα εξάγει τον σαφή αριθμό 72, που σημαίνει ότι σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα η κατηγορία αυτή ισχύει με σιγουριά κατά 72%.

2.3.2. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «3.1.2. Δάσος κωνοφόρων»



Εικόνα 86: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 3.1.2.

Για την φωτοερμηνεία την κατηγορίας των κωνοφόρων δασών δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κανόνες:

1. **If (Red is High) and (Tone is Medium to Bright) and (Texture is Fine) and (Shape is not Rectangular)**

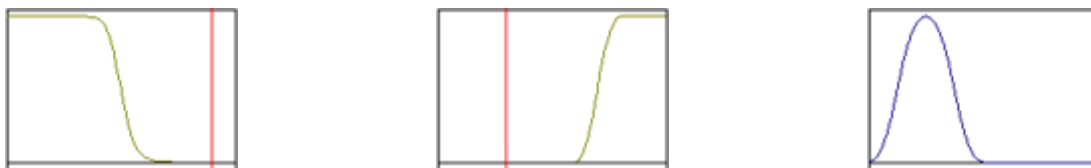


then (3.1.2. is True)



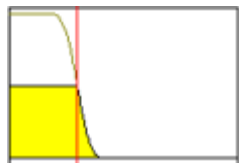
Στα σχήματα των συναρτήσεων συμμετοχής φαίνεται η λειτουργία για τιμές (Red = 90), (Tone = 3), (Texture = 3) και (Shape = 5). Όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο 2.2.5. η τιμή 3 για τον τόνο αντιστοιχεί στο Medium to Bright, η τιμή 3 για το Texture στο Fine και η τιμή 5 για το σχήμα στο circular. Ακολουθούν και οι υπόλοιποι κανόνες του συστήματος με τις ίδιες πάντα τιμές.

2. **If (Red is Medium and less) or (Tone is Dark) then (3.1.2. is False)**



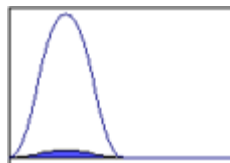
3. If

(Tone is Bright)

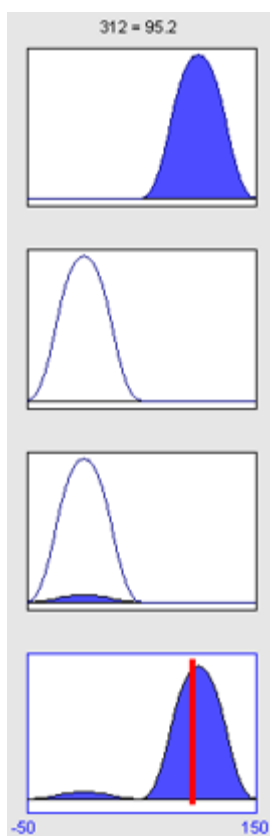


then

(3.1.2. is False) (0.2)



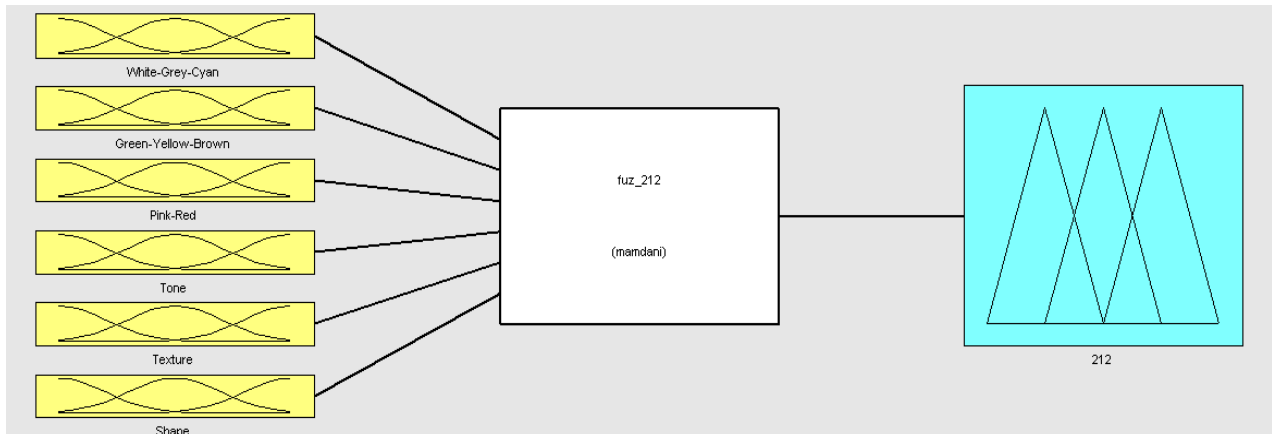
Ο τρίτος αυτός κανόνας έχει βάρος (0.2) ενώ οι υπόλοιποι (1) και δεν αναγράφεται αφού εννοείται. Ο λόγος ύπαρξης του τρίτου αυτού κανόνα είναι γιατί το δάσος κωνοφόρων φαίνεται γενικά πιο σκούρο από το δάσος πλατύφυλλων. Έτσι με τη είσοδο του τόνου στο bright θα μειωθεί βεβαιότητα για αυτή την κατηγορία.



Στην εικόνα 87 φαίνεται ο τρόπος που γίνεται η αποσαφoποίηση του κανόνα με την συνάρτηση centroid. Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης το αποτέλεσμα που εξάγει ο κανόνας είναι το 95.2%. Αυτό σημαίνει ότι η κατηγορία 3.1.2., σύμφωνα με τα δεδομένα ισχύει με βεβαιότητα 95.2%.

Εικόνα 87: Παράδειγμα αποσαφoποίησης της κατηγορίας 3.1.2.

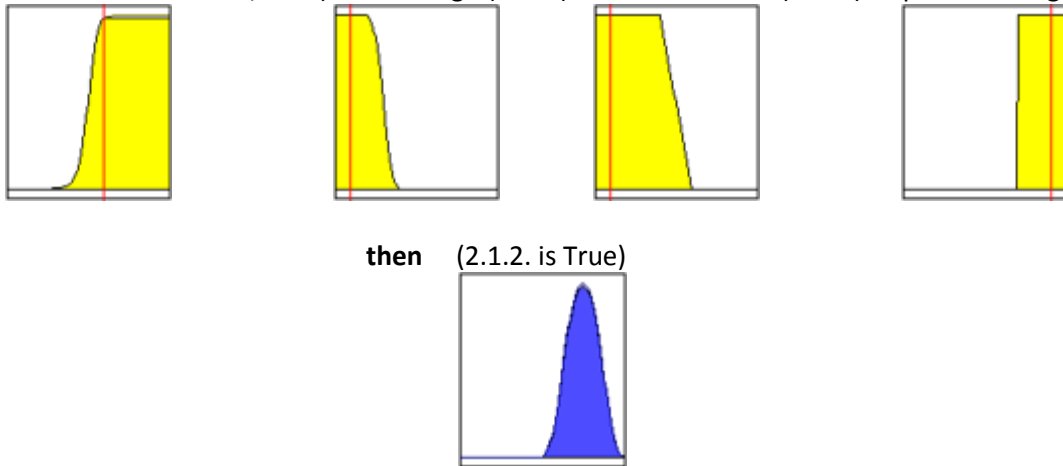
2.3.3. Παράδειγμα των κανόνων για την κατηγορία «2.1.2. Μόνιμα αρδευόμενη γη»



Εικόνα 88: Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία 2.1.2.

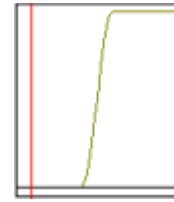
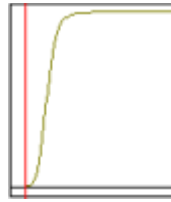
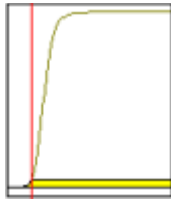
Το ασαφές σύστημα για την κατηγορία της μόνιμα αρδευόμενης γης χρησιμοποιεί έξι ασαφή σύνολα για την επίλυσή του. Για την φωτοερμηνεία την κατηγορίας αυτής δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κανόνες:

1. **If (Red-Pink is more than Medium) and (Tone is Bright) and (Texture is Smooth) and (Shape is Rectangular)**



Στα σχήματα των συναρτήσεων συμμετοχής φαίνεται η λειτουργία για τιμές (Red and Pink = 60), (White, Cyan and Gray = 15), (Yellow, Green and Brown = 15), (Tone = 1), (Texture = 1) και (Shape = 9). Όπως φάνηκε και στο κεφάλαιο 2.2.5. η τιμή 1 για τον τόνο αντιστοιχεί στο Bright, η τιμή 1 για το Texture στο Smooth και η τιμή 9 για το σχήμα στο rectangular. Ακολουθούν και οι υπόλοιποι κανόνες του συστήματος με τις ίδιες πάντα τιμές.

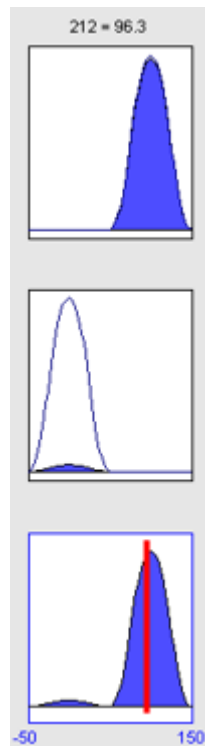
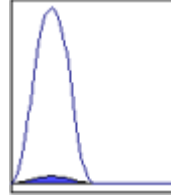
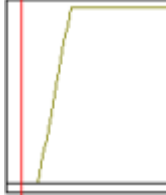
2.If (White-Gray-Cyan is not Low) **and** (Green-Yellow-Brown is not Low) **and** (Tone is Medium to Dark)



and (Texture is not Smooth)

then

(2.1.2. is False)



Στην εικόνα 89 φαίνεται ο τρόπος που γίνεται η αποσαφοποίηση του κανόνα με την συνάρτηση centroid. Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης το αποτέλεσμα που εξάγει ο κανόνας είναι το 96.3%. Αυτό σημαίνει ότι η κατηγορία 2.1.2., σύμφωνα με τα δεδομένα ισχύει με βεβαιότητα 96.3%.

Εικόνα 89: Παράδειγμα αποσαφοποίησης της κατηγορίας 2.1.2.

Με παρόμοιο τρόποι δημιουργήθηκαν σαράντα τέσσερα ασαφή συστήματα που φυσικά είναι αδύνατον να παρουσιαστούν στο παρόν βιβλίο. Στο κεφάλαιο 2.4 που ακολουθεί θα φανεί πως τα ασαφή αυτά συστήματα λειτουργούν σαν ένα πίσω από το γραφικό περιβάλλον χρήστη και το πόσο εντυπωσιακά είναι τα αποτελέσματα που δίνουν.

2.4. Η δομή του προγράμματος

2.4.1. Οδηγίες εγκατάστασης

Για να καταφέρει ο χρήστης να εκτελέσει σωστά την παρούσα εφαρμογή, θα πρέπει να αντιγράψει τον φάκελο «Landcover Guide» στο σκληρό δίσκο έτσι ώστε να έχει το path C:\Landcover Guide\. Στην συνέχεια θα πρέπει να αντιγράψει στο φάκελο «Matlab» σε κάποιο ενεργό φάκελο του Matlab, κατά προτίμηση στο «My Documents» της επιφάνειας εργασίας. Η έκδοση του Matlab για να τρέχει σωστά η εφαρμογή θα πρέπει να είναι η 7.8.0 (R2009a) ή πιο καινούρια.

2.4.2. Χρήσιμες οδηγίες πριν την έναρξη

Πριν την εκτέλεση του προγράμματος ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει κάποια πράγματα όσον αφορά την είσοδο των δεδομένων. Η ιδιότητες του τόνου για τον λόγο καναλιών band4/band3 όπως και αυτή των χρωμάτων στο 4-3-2 έγχρωμο σύνθετο θα πρέπει να εξετάζονται με γραμμική ενίσχυση του ιστογράμματος.

Εργαλεία απαραίτητα για να ολοκληρωθεί η φωτοερμηνεία της εξεταζόμενης περιοχής είναι η χρήση του λογισμικού ER Mapper καθώς και τοπογραφικοί χάρτες και αεροφωτογραφίες. Για αυτούς του λόγους ο χρήστης προτείνεται να μην είναι εντελώς άσχετος με το αντικείμενο της φωτοερμηνείας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι στο παρόν πρόγραμμα δημιουργήθηκε με την σκέψη χρήστες στο πρόγραμμα θα είναι φοιτητές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Για την ορθότερη επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, προτείνεται η χρήση των παρακάτω έγχρωμων σύνθετων (εκτός του 4-3-2):

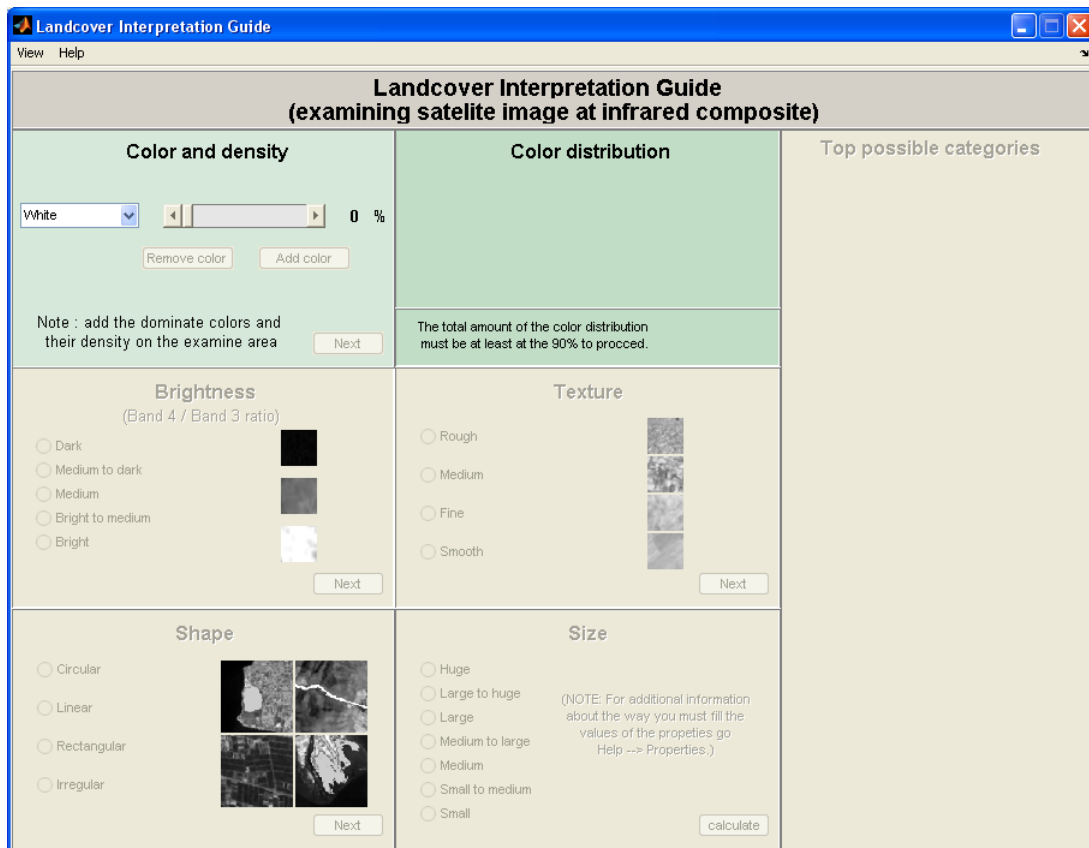
- Έγχρωμο σύνθετο 4-5-3 : όπου, όπως και το 4-3-2 βοηθάει καλύτερο στο διαχωρισμό των περιοχών με βλάστηση, ενώ εμφανίζονται με μαύρο χρώμα οι υδάτινες επιφάνειες.
- Έγχρωμα σύνθετα 7-3-1 και 5-3-1 : που είναι δύο πολύ χρήσιμα σύνθετα για τον προσδιορισμό του ανάγλυφου και τον επικλήσεων της περιοχής μελέτης.
- Έγχρωμο σύνθετο 3-2-1 : που έχει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί μια πιστή απεικόνιση της πραγματικότητας κι έτσι ο παρατηρητής μπορεί να διακρίνει πιο εύκολα αυτό που βλέπει.



Εικόνα 90: Η ίδια περιοχή κάλυψης σε έγχρωμα σύνθετα 3-2-1, 4-3-2, 4-5-3, 5-3-1, 7-3-1, κατά σειρά

2.4.3. Η εκτέλεση του προγράμματος

Όπως αναφέρθηκε το πρόγραμμα του ηλεκτρονικού υπολογιστή «Landcover Interpretation Guide» αναπτύχθηκε να λειτουργεί σε περιβάλλον Matlab (R2009a). Μετά την εκτέλεση του προγράμματος, ή οποία πραγματοποιείται με την εκτέλεση της εντολής *LandcoverGUI* στο παράθυρο εντολών του Matlab εμφανίζεται η πρώτη οθόνη (Οθόνη 1) που φαίνεται στη εικόνα 91 και στην οποία υπάρχουν πέντε βασικές ερωτήσεις, στις οποίες πρέπει να απαντήσει ο χρήστης.



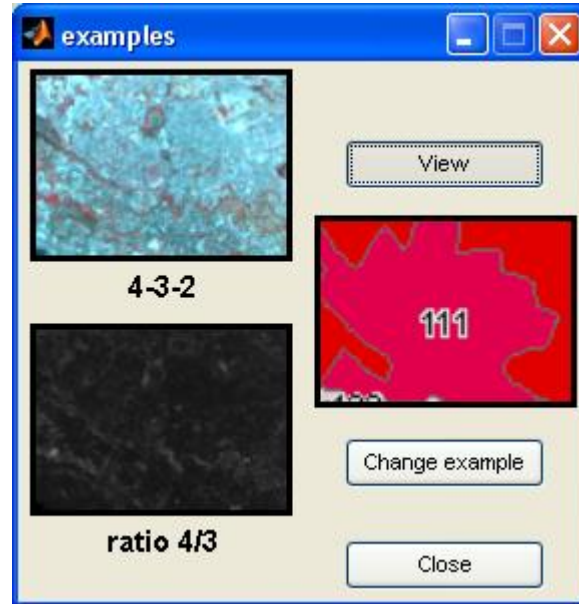
Εικόνα 91: Οθόνη 1

Επάνω αριστερά ο χρήστης έχει δύο επιλογές που μπορούν να τον βοηθήσουν πριν να ξεκινήσει να εισάγει τα δεδομένα.



Εικόνα 92: Βοηθητικά χαρακτηριστικά του προγράμματος

Με την εντολή View → Examples ανοίγει το παράθυρο της εικόνας 93 όπου χρήστης μπορεί να δει διάφορα παραδείγματα κατηγοριών κάλυψης γης όπως φαίνονται στο έγχρωμο σύνθετο 4-3-2 και με το λόγο των καναλιών band4/band3. Εάν επιθυμεί, μπορεί επίσης να δει με την εντολή view, για ποια κατηγορία πρόκειται και το εμβαδόν – σχήμα που έχει.



Εικόνα 93: Οθόνη παραδειγμάτων

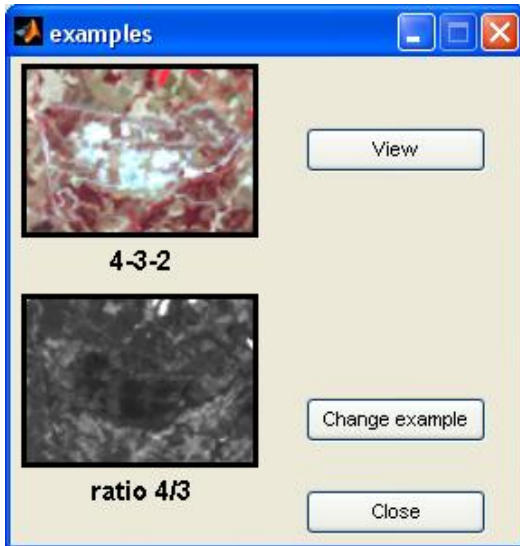
Με την εντολή Help → Properties ο χρήστης έχει να δυνατότητα να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο καλείται να εισάγει τα δεδομένα στην πρώτη οθόνη. Στις οθόνες αυτές αναλύονται οι τιμές που μπορεί να δεχτεί η κάθε ιδιότητα καθώς επίσης του δίνονται και φωτογραφικές πληροφορίες ώστε να καταφέρει να προσδιορίσει ποιοτικά τις τιμές που αντιστοιχούν στην περιοχή που εξετάζει.



Εικόνα 94: Οι οθόνες βοήθειας για την εισαγωγή των δεδομένων

2.4.4. Παράδειγμα αναγνώρισης «Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες»

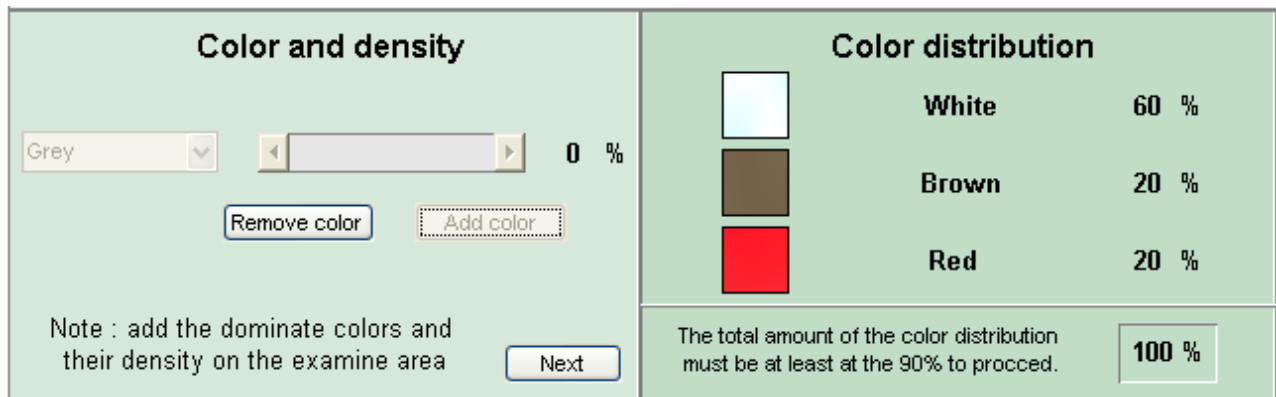
Στη συνέχεια με την χρήση του προγράμματος θα γίνει προσπάθεια να φωτοερμηνευθούν συγκεκριμένες εδαφοκαλύψεις που εμφανίζονται σε δορυφορικές εικόνες Landsat TM ώστε να συγκριθούν με αυτά που αντιστοιχούν στους ήδη υπάρχοντες χάρτες εδαφοκάλυψης του Corine.






Εικόνα 95: Παράδειγμα της κατηγορίας 1.2.1.

Έστω λοιπόν ότι η περιοχή μελέτης είναι αυτή που εμφανίζεται στην εικόνα 95. Η πρώτη ερώτηση που γίνεται από πρόγραμμα αφορά τα χρώματα και το ποσοστό που καταλαμβάνουν στην περιοχή μελέτης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ορισμό της περιοχής μελέτης διότι στο συγκεκριμένο παράδειγμα αυτή η περιοχή δεν είναι ολόκληρη η εικόνα, αλλά το ακανόνιστο σχήμα, το οποίο σχηματίζεται πιθανόν από δρόμους στο κέντρο αυτής. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι για την εισαγωγή των δεδομένων δεν είναι απαραίτητο ο χρήστης να είναι ακριβής. Πρέπει να τονιστεί ότι τα δεδομένα αυτά προσδιορίζονται ποιοτικά, ή όπως πιο κατανοητά θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε, με το «μάτι».

Σύμφωνα λοιπόν με αυτό που φαίνεται εισάγεται στο σύστημα ότι η περιοχή αποτελείται από 60% άσπρο, 20% καφέ, και 20% κόκκινο χρώμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 96 και συνεχείται πιέζεται το πλήκτρο *next* με το ποντίκι του υπολογιστή.



Color and density	
Grey	0 %
<input type="button" value="Remove color"/>	<input type="button" value="Add color"/>
Note : add the dominate colors and their density on the examine area	
<input type="button" value="Next"/>	

Color distribution		
	White	60 %
	Brown	20 %
	Red	20 %
The total amount of the color distribution must be at least at the 90% to proceed.		<input type="text" value="100 %"/>

Εικόνα 96: Είσοδος της ιδιότητας του χρώματος

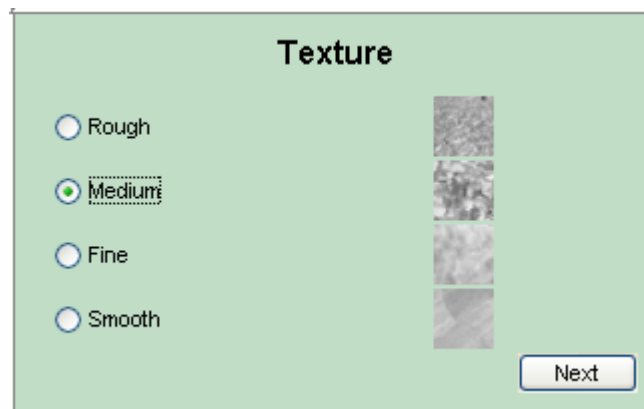
Η επόμενη ερώτηση αφορά την φωτεινότητα, ή τον τόνο, που παρουσιάζει η περιοχή στο λόγο καναλιών band4/band3 με ενισχυμένο ιστόγραμμα. Επειδή σχεδόν πάντα η φωτεινότητα δεν είναι ομοιογενής αλλά παρουσιάζει αυξομειώσεις ο χρήστης καλείται να εισάγει την τιμή που υπάρχει στο μεγαλύτερο μέρος της εικόνας ή περίπου τον μέσο όρο που αυτή παρουσιάζει. Εξάλλου οι πέντε επιλογές τιμών (από Bright έως Dark) που διατίθενται από το πρόγραμμα έχουν μεγάλες αποκλίσεις αναμεταξύ

τους. Εισάγεται λοιπόν στο σύστημα την τιμή *Medium to Dark* αφού αυτό που φαίνεται είναι πιο σκούρο από το *medium* και πιο φωτεινό από το *dark* και πιέζουμε το πλήκτρο *next*.



Εικόνα 97: Είσοδος του τόνου στον λόγο καναλιών band4/band3

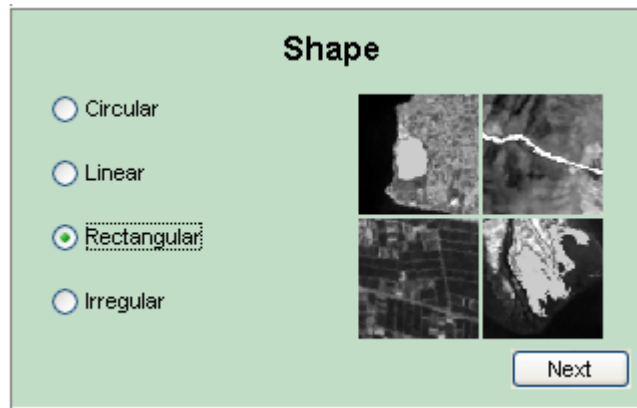
Η τρίτη ερώτηση αφορά την υφή. Στην υφή ο χρήσης έχει την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε τέσσερις διαφορετικές τιμές *Smooth*, *Fine*, *Medium* και *Rough*. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η υφή είναι *Medium*. Επιλέγεται λοιπόν το πεδίο *Medium* και πιέζεται το πλήκτρο *next* (εικόνα 98).



Εικόνα 98: Είσοδος της ιδιότητας της υφής

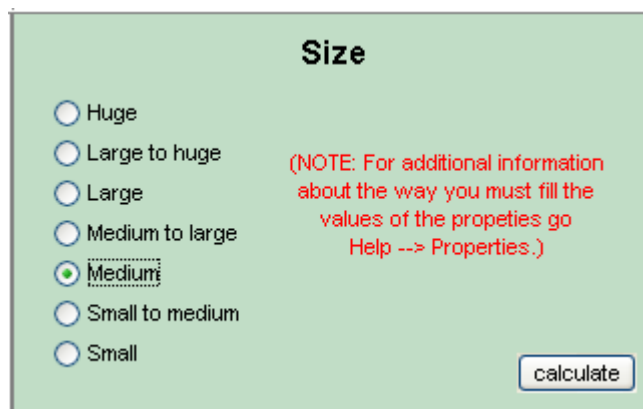
Στο επόμενο πεδίο ο χρήσης καλείται να απαντήσει για το σχήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Όπως αναγράφεται και στην βοήθεια του προγράμματος (εικόνα 99) η τιμή *irregular* (ακανόνιστο σχήμα) λειτουργεί και ως επιλογή σε περίπτωση που ο χρήσης δε μπορεί να κατανοήσει το σχήμα της περιοχής που εξετάζει.

Επίσης η επιλογή *rectangular* (ορθογωνικό σχήμα) δεν αναφέρεται στο περίγραμμα της περιοχής αλλά στο αν αυτή φαίνεται να είναι χωρισμένη σε τεμάχια. Επιλέγουμε έτσι την τιμή *irregular* και πιέζουμε το πλήκτρο *next* (εικόνα 99).



Εικόνα 99: Είσοδος της ιδιότητας του σχήματος

Η πέμπτη και τελευταία ερώτηση έχει να κάνει με το μέγεθος της υπό εξέτασης περιοχής. Με την ιδιότητα *size* (μέγεθος) ο χρήστης καλείται να απαντήσει συγκρίνοντας το μέγεθος της ενδιαφερόμενης περιοχής με ολόκληρη την δορυφορική εικόνα που έχει στην διάθεσή του. Επιλέγεται το *Medium* και πιέζεται το πλήκτρο *calculate* (υπολογισμός), εικόνα 100.

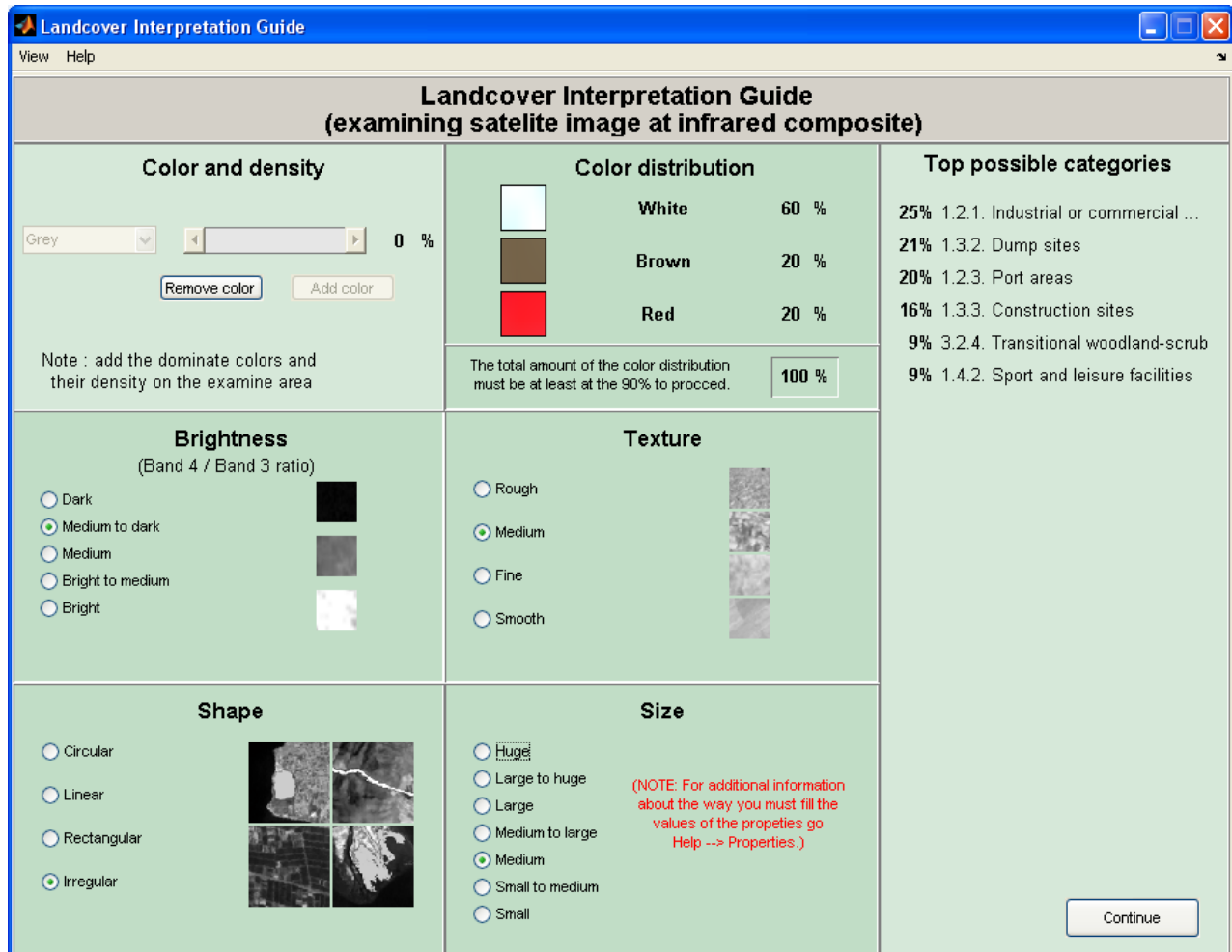


Εικόνα 100: Είσοδος της ιδιότητας του μεγέθους

Σε αυτό το σημείο όλα τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί εισάγονται στο ασαφές σύστημα και όλες οι κατηγορίες αξιολογούνται σύμφωνα με αυτό. Έτσι κάθε κατηγορία παίρνει μια τιμή από το μηδέν (0) ως το εκατό (100) που εκφράζει την βεβαιότητα, σύμφωνα πάντα με τα συγκεκριμένα δεδομένα που έχουν εισαχθεί, να ισχύει. Το όλο σύστημα έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να απορρίπτει αμέσως όλες όσες κατηγορίες έχουν ποσοστό κάτω του 30%. Στη συνέχεια τα ποσοστά των υπόλοιπων κατηγοριών προστίθενται και διαιρούνται με τον συνολικό τους αριθμό έτσι ώστε και το άθροισμά τους να είναι 100% αλλά και για να εισαχθεί στο σύστημα και το αριθμό των κατηγοριών που έχουν πιθανότητα να ισχύουν, ως βαθμό ασάφειας. Τέλος το σύστημα ταξινομεί και παρουσιάζει τις κατηγορίες με τα μεγαλύτερα ποσοστά σε ένα

πίνακα δεξιά της οθόνης, από την πιο πιθανή ως και την τελευταία πιθανή κατηγορία που μπορεί να εξετάζει ο χρήστης. Τα αποτελέσματα για τα παρόντα δεδομένα φαίνονται στην εικόνα 101.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 101 το σύστημα από τις σαράντα τέσσερις κατηγορίες έχει απορρίψει τις περισσότερες και έχει κρατήσει μόνο τις έξι, με πιο πιθανή την κατηγορία 1.2.1. Στο σημείο αυτό ο χρήστης μπορεί να πατήσει το κομβίον *Continue* έτσι ώστε το πρόγραμμα να περάσει στην δεύτερη οθόνη και να υποβάλει τον χρήστη σε ερωτήσεις που αφορούν τις συγκεκριμένες έξι κατηγορίες που έχουν απομείνει έτσι ώστε στο τέλος να καταλήξει σε μία.



Εικόνα 101: Η Οθόνη 1 μετά τους ασαφείς υπολογισμούς

Υπάρχει βέβαια, σε οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας, η δυνατότητα ο χρήστης να μεταβάλλει οτιδήποτε από τα δεδομένα. Αν συμβεί κάτι τέτοιο το κομβίον *Continue* θα δώσει την θέση του σε ένα κομβίον με το όνομα *Recalculate* έτσι ώστε να γίνει νέος υπολογισμός.

Όταν ο χρήστης πιάσει το κομβίον *Continue* το πρόγραμμα θα ελέγξει την κατηγορία που βρίσκεται στην πρώτη θέση του πίνακα (δεξιό πλαίσιο στην εικόνα 101). Στην σπάνια περίπτωση που αυτή προηγείται με ποσοστό μεγαλύτερο του 60% τότε θα γίνει η υπόθεση ότι αυτή είναι η κατηγορία που εξετάζει ο χρήστης και η διαδικασία θα τερματιστεί εδώ.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση βέβαια, όπως και στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων, στο σύστημα θα περάσει στην επόμενη οθόνη όπου θα υποβάλει στο χρήστη γενικές ερωτήσεις που αφορούν κυρίως την κατηγορία που προηγείται στον πίνακα.

Landcover Interpretation Guide
View

**Landcover Interpretation Guide
(using ancillary data)**

What is the building density ?

Insert the density of the buildings in your examining area

Be advised by the illustration shown to the right for more accuracy

Use of topographic maps and aerial photographs is highly recommended

This property is building surface compared to the whole are, NOT the building number

0 %

Illustration of buildings density 0%

Next

Top possible categories

25% 1.2.1. Industrial or commercial ...

21% 1.3.2. Dump sites

20% 1.2.3. Port areas

16% 1.3.3. Construction sites

9% 3.2.4. Transitional woodland-scrub

9% 1.4.2. Sport and leisure facilities

How is the majority of the buildings used for ?

Residences, merchant departments belonging to private or public services.

Industrial buildings, plants, water retention dam and hydroelectric dam.

Harbour stations, dock houses, commercial and military ports, shipyards, oil terminals, shipping and infrastructure port facilities.

Stadiums with the corresponding infrastructure, zoological and botanical gardens out of settlements, cottage (tourist) communities used for recreation and leisure activities outside the settlements only for temporary residence.

Research and development establishments, security and law and order services, company benefit schemes, large shopping and exposition centres, hospitals, spas, universities, schools, military barracks.

Other

Unknown

calculate

Εικόνα 102: Η οθόνη 2Α

Η πρώτη ερώτηση στην οποία πρέπει να απαντήσει ο χρήστης αφορά την πυκνότητα των κτιρίων που βρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι για να απαντηθούν ερωτήσεις που γίνονται από το σύστημα από αυτό το σημείο κι έπειτα, χρειάζονται συμπληρωματικά δεδομένα, όπως τοπογραφικοί και θεματικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες κ.α.

Ο πίνακας δεξιά μεταφέρεται στην δεύτερη οθόνη ακριβώς όπως είχε διαμορφωθεί από τον υπολογισμό του ασαφούς συστήματος. Για λόγους που έχουν αναφερθεί στο εδάφιο 2.2.1. και που θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 3, τα δεδομένα που ακολουθούν δεν συμμετέχουν σε κάποιο ασαφές σύστημα αλλά λειτουργούν με σαφείς δομές *if... then... else...* για να απορρίψουν ή όχι τις εναπομείναντες κατηγορίες.

Στα δεξιά της ερώτησης (εικόνα 103) υπάρχει ένα δυναμικό φωτογραφικό παράδειγμα που παρουσιάζει τα ποσοστά της πυκνότητας των κτιρίων, όπως φαίνονται από ένα τοπογραφικό χάρτη, σε

διακριτές (κρίσιμες) τιμές. Ανάλογα με το ποσοστό που εισάγει ο χρήστης με την βοήθεια της κυλιόμενης μπάρας, το παράδειγμα αλλάζει, την ίδια χρονική στιγμή, και παρουσιάζει την εικόνα με την πυκνότητα κτιρίων που είναι πιο κοντά στην εισαγόμενη τιμή.

What is the building density ?

Insert the density of the buildings in your examining area

Be advised by the illustration shown to the right for more accuracy

Use of topographic maps and arial photographs is highly recommended

This property is is building surface compaired to the whole are, NOT the building number

60 %

Illustration of builings density 50%

Next

Εικόνα 103: Είσοδος της ιδιότητας για την πυκνότητα της δόμησης

Εισάγεται λοιπόν την τιμή 60% που είναι και η πυκνότητα του λευκού χρώματος που είχε τοποθετηθεί στην οθόνη 1, υποθέτοντας ότι αντιπροσωπεύει πυκνότητα κτιρίων. Πιέζεται το κομβίον *next* για συνέχεια.

Η δεύτερη ερώτηση αφορά την χρήση του μεγαλύτερου ποσοστού των κτιρίων που υπάρχουν στην περιοχή (εικόνα 104).

How is the majority of the buildings used for ?

Residences, merchant departments belonging to private or public services.

Industrial buildings, plants, water retention dam and hydroelectric dam.

Harbour stations, dock houses, commercial and military ports, shipyards, oil terminals, shipping and infrastructure port facilities.

Stadiums with the corresponding infrastructure, zoological and botanical gardens out of settlements, cottage (tourist) communities used for recreation and leisure activities outside the settlements only for temporary residence.

Research and development establishments, security and law and order services, company benefit schemes, large shopping and exposition centres, hospitals, spas, universities, schools, military barracks.

Other

Unknown

calculate

Εικόνα 104: Είσοδος της ιδιότητας που αφορά την χρήση των κτιρίων

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι όλο το περιβάλλον του συστήματος είναι δυναμικό. Ανάλογα λοιπόν με το ποιες κατηγορίες έχουν απομείνει στον πίνακα ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται οι διάφορες επιλογές που είναι διαθέσιμες. Ακόμα και στην παρούσα στιγμή αν ο χρήστης μεταβάλει την πυκνότητα των κτιρίων σε 15% ή 0% κάποιες από τις επιλογές της δεύτερης οθόνης θα μεταβληθούν (εικόνα 105).

How is the majority of the buildings used for ?

Residences, merchant departments belonging to private or public services.

Harbour stations, dock houses, commercial and military ports, shipyards, oil terminals, shipping and infrastructure port facilities.

Research and development establishments, security and law and order services, company benefit schemes, large shopping and exposition centres, hospitals, spas, universities, schools, military barracks.

Industrial buildings, plants, water retention dam and hydroelectric dam.

Stadiums with the corresponding infrastructure, zoological and botanical gardens out of settlements, cottage (tourist) communities used for recreation and leisure activities outside the settlements only for temporary residence.

Other

Unknown

Εικόνα 105: Οι επιλογές της δεύτερης ερώτησης όπως μεταβλήθηκαν για πυκνότητα κτιρίων 15%

Η παρούσα ερώτηση είναι πολύ συγκεκριμένη και οι επιλογές της παρουσιάζονται όπως αναγράφονται στο εγχειρίδιο του Corine Land Cover. Αν ο χρήστης κάνει μία επιλογή εκτός του *Unknown* (άγνωστο) το πιθανότερο είναι το σύστημα να καταλήξει σε μία μοναδική απόφαση. Γίνεται η υπόθεση λοιπόν ότι ο χρήστης δεν γνωρίζει για την χρήση των κτιρίων. Επιλέγεται η τιμή *Unknown* και πιέζεται το κομβίον *Calculate*.

Landcover Interpretation Guide (using ancillary data)

What is the building density ?

Insert the density of the buildings in your examining area

Be advised by the illustration shown to the right for more accuracy

Use of topographic maps and arial photographs is highly recommended

This property is is building surface compaired to the whole are, NOT the building number




Illustration of buillings density 50%

Top possible categories

36% 1.2.1. Industrial or commercial ...

28% 1.2.3. Port areas

23% 1.3.3. Construction sites

13% 1.4.2. Sport and leisure facilities

How is the majority of the buildings used for ?

Residences, merchant departments belonging to private or public services.

Harbour stations, dock houses, commercial and military ports, shipyards, oil terminals, shipping and infrastructure port facilities.

Research and development establishments, security and law and order services, company benefit schemes, large shopping and exposition centres, hospitals, spas, universities, schools, military barracks.

Industrial buildings, plants, water retention dam and hydroelectric dam.

Stadiums with the corresponding infrastructure, zoological and botanical gardens out of settlements, cottage (tourist) communities used for recreation and leisure activities outside the settlements only for temporary residence.

Other

Unknown

Εικόνα 106: Η οθόνη 2A μετά τους υπολογισμούς των νέων δεδομένων

Το σύστημα έχει απορρίψει δύο ακόμα κατηγορίες και απομένουν πλέον μόλις τέσσερις. Και σ' αυτό το σημείο υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής των δεδομένων και επαναυπολογισμού των αποτελεσμάτων. Πιέζεται το κομβίον Continue για συνέχεια και ανοίγει η τρίτη οθόνη του συστήματος (εικόνα 107).

Landcover Interpretation Guide
(using ancillary data)

Answer the remainings enabled questions

What is the location of the examining area ?
 By/Next to Within Isolated

Water Surfaces Urban Fabric

Are there any buildings under construction ?
 Yes No

Has the area contrast with its surroundings ?
 Yes No

Is the area consist of sport facilities ?
 Yes No

Calculate

Top possible categories

36% 1.2.1. Industrial or commercial ...
28% 1.2.3. Port areas
23% 1.3.3. Construction sites
13% 1.4.2. Sport and leisure facilities

Εικόνα 107: Η δυναμική οθόνη 3

Πρόκειται για μία εντελώς δυναμική οθόνη στην οποία παρουσιάζονται ερωτήσεις που αφορούν αποκλειστικά τις κατηγορίες που απομένουν στον πίνακα δεξιά. Υπάρχει πάντα η δυνατότητα να μην απαντηθούν όλες οι ερωτήσεις αλλά σε αυτή την περίπτωση είναι πιθανό το σύστημα να μην καταλήξει σε μία μοναδική κατηγορία.

Τοποθετούνται οι επιλογές, σύμφωνα με τα δεδομένα που διατίθενται στο χρήστη, όπως φαίνονται στην εικόνα 107.

Πιέζοντας το κομβίον *Calculate* το σύστημα θα παρουσιάσει το παρακάτω αποτέλεσμα (εικόνα 108).

Landcover Interpretation Guide
View

**Landcover Interpretation Guide
(using ancillary data)**

Answer the remainings enabled questions

What is the location of the examining area ? By/Next to Within Isolated

Water Surfaces Urban Fabric

Are there any buildings under construction ? Yes No

Has the area contrast with its surroundings ? Yes No

Is the area consist of sport facilities ? Yes No

Top possible categories

100% 1.2.1. Industrial or commercial ...

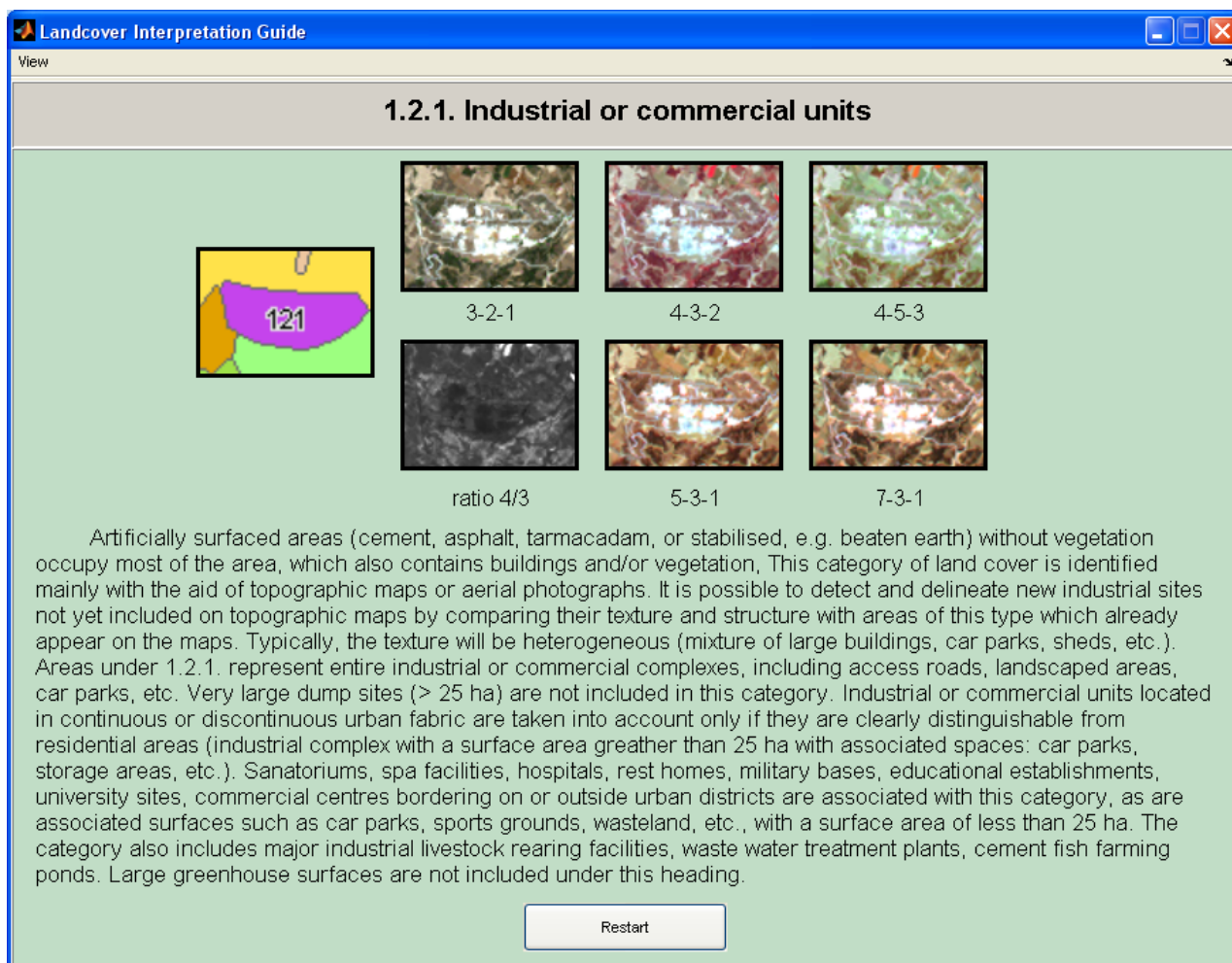
End

Εικόνα 108: Η οθόνη 3 μετά τον υπολογισμό των νέων δεδομένων

Στο σημείο αυτό το σύστημα έχει ολοκληρώσει την φωτοερμηνεία και έχει καταλήξει σε ένα και μοναδικό αποτέλεσμα.

Το μόνο που απομένει είναι η επιλογή *End* με την οποία το πρόγραμμα θα ανοίξει μια τέταρτη οθόνη (εικόνα 109). Η οθόνη αυτή προβάλλει πληροφορίες που αφορούν την «νικήτρια» κατηγορία όπως αυτές αναγράφονται στο εγχειρίδιο του Corine Land Cover.

Στο επάνω μέρος της οθόνης προβάλλονται επτά φωτογραφίες της ίδιας ακριβώς περιοχής κάλυψης, όπως έχουν φωτοερμηνευθεί από το Corine Land Cover και επεξεργασμένες σε διάφορα έγχρωμα σύνθετα με την βοήθεια του ER Mapper.

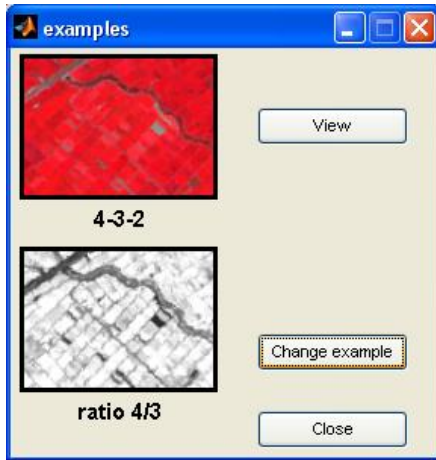


Εικόνα 109: Οθόνη 4, παρουσίαση της τελικής απόφασης

Έτσι ο χρήστης μπορεί από μόνος του να καταλήξει στην απόφαση για το αν συμφωνεί με τα αποτελέσματα του προγράμματος. Με το κομβίον στο κάτω μέρος της οθόνης 4 (εικόνα 109) *Restart* έχει την δυνατότητα να επανεκκινήσει το πρόγραμμα για να ξεκινήσει την φωτοερμηνεία μιας καινούριας περιοχής ή να αλλάξει τα δεδομένα για την ίδια περιοχή κάλυψης εάν πιστεύει ότι έχει οδηγηθεί σε λανθασμένα αποτελέσματα.

Στο επόμενο και τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν, συνοπτικά, δύο ακόμη παραδείγματα, έτσι ώστε να δοθεί μια πληρέστερη εικόνα για τις ποικιλομορφία των οθονών αλλά και των ερωτήσεων που διατίθενται στο παρόν πρόγραμμα.

2.4.5. Παράδειγμα αναγνώρισης «Μόνιμα αρδευόμενης γης»



Εικόνα 110: Οθόνη παραδείγματος 2.1.2.

Έστω ότι επιχειρείται να φωτοερμηνευθεί το παράδειγμα της εικόνας 110. Στην πρώτη οθόνη του προγράμματος εισάγονται τα δεδομένα, όπως φαίνονται στην εικόνα 111. Η περιοχή που εξετάζεται αποτελείται από 95% κόκκινο και κοντά στο 5% γκρι χρώμα. Στο λόγο το καναλιών band4/band3 έχει φωτεινό τόνο (μεγάλη φωτεινότητα). Η υφή φαίνεται να είναι λεία η όλη περιοχή είναι χωρισμένη σε τεμάχια. Επομένως επιλέγεται ως σχήμα το ορθογωνικό. Τέλος το μέγεθος την περιοχής, έχοντας γνώση τη σχέση της με ολόκληρη δορυφορική εικόνα, χαρακτηρίζεται ως μεγάλο. Πιέζοντας το κομβίον *Calculate* τα δεδομένα εισάγονται στο ασαφές σύστημα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα δεξιά της εικόνας 111. Πιέζοντας το πλήκτρο *Continue* η διαδικασία συνεχίζεται στην επόμενη οθόνη ερωτήσεων.

Εικόνα 111: Η οθόνη 1 του 2^{ου} παραδείγματος

Επειδή όλες οι κατηγορίες που έχουν απομείνει στο σύστημα (εικόνα 112 δεξιά) αποτελούν εξολοκλήρου αγροτικές περιοχές, η πρώτη ερώτηση δε επιτρέπει την δυνατότητα της πρώτης επιλογής.

Εικόνα 112: Η οθόνη 2B

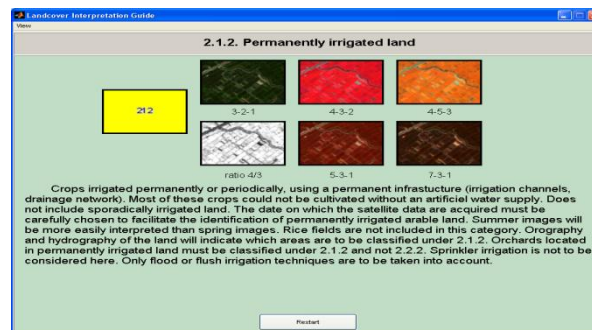
Είναι προφανές ότι για να συνεχιστεί η διαδικασία της φωτοερμηνείας, με βάση τις δυνατότητες του προγράμματος, χρειάζονται επιπλέον πληροφορίες από αυτές που μπορεί να προσφέρει μια δορυφορική εικόνα. Τέτοιες πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν από θεματικούς και τοπογραφικούς χάρτες, από αεροφωτογραφίες, αλλά και από γεωργικά ημερολόγια και στατιστικές στη περιοχή μελέτης.

Θεωρώντας ότι όλη η περιοχή αποτελείται από καλλιέργειες και πως το 90% αυτών είναι καλλιέργειες ετήσιας συγκομιδής, εισάγονται τα δεδομένα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 113 στην τρίτη ερώτηση πολλές από τις επιλογές είναι απενεργοποιημένες. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό των δεδομένων που έχουν εισαχθεί στις προηγούμενες ερωτήσεις. Υπενθυμίζεται σε αυτό το σημείο ότι η οθόνη είναι δυναμική και αλληλεπιδρά ανάλογα με τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης οποιαδήποτε χρονική στιγμή κι γίνει κάτι τέτοιο. Στην τρίτη δηλώνεται απλά ότι είναι ορατή η ύπαρξη αρδευτικών καναλιών.

Πιέζοντας το κομβίον *Calculate* το πρόγραμμα προχωρά στους υπολογισμούς των δεδομένων.

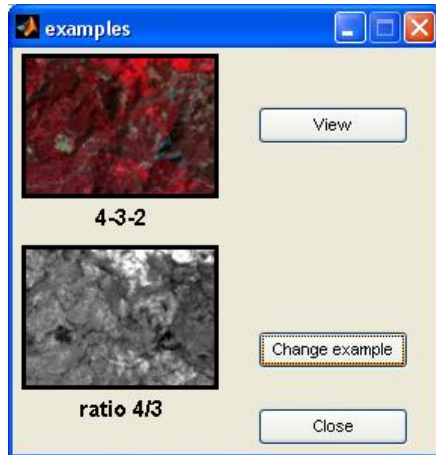
Εικόνα 113: Η οθόνη 2B μετά τον υπολογισμό των δεδομένων

Όπως ήταν αναμενόμενο το πρόγραμμα έχει ήδη καταλήξει σε μία και μοναδική επιλογή. Αυτό συνέβη επειδή οι ερωτήσεις που έχουν απαντηθεί είναι αρκετά σαφείς και δεν χωρούν περιθώρια αμφιβολιών. Πιέζοντας το κομβίον *Continue* προβάλλονται στο χρήστη πληροφορίες και εικόνες που αφορούν την κατηγορία που το σύστημα θεωρεί ότι είναι η επικρατούσα (εικόνα 114).



Εικόνα 114: Η παρουσίαση την τελικής οθόνης του 2^{ου} παραδείγματος

2.4.6. Παράδειγμα αναγνώρισης «Δάσους κωνοφόρων»



Εικόνα 115: Οθόνη παραδείγματος 3.1.2.

Τέλος παρατίθεται ένα παράδειγμα που αφορά την φωτοερμηνεία δασικών και ημί-φυσικών περιοχών και συγκεκριμένα δάσους κωνοφόρων. Στην πρώτη οθόνη του προγράμματος εισάγονται τα δεδομένα, όπως φαίνονται στην εικόνα 116. Η περιοχή που εξετάζεται αποτελείται από 95% κόκκινο και κοντά στο 5% πράσινο χρώμα. Στο λόγο το καναλιών band4/band3 έχει μέσο τόνο. Η υφή φαίνεται να είναι λεπτόκοκκη (*fine*) και το σχήμα είναι ακανόνιστο. Τέλος το μέγεθος την περιοχής, έχοντας γνώση τη σχέση της με ολόκληρη δορυφορική εικόνα, χαρακτηρίζεται ως μεγάλο. Πιέζοντας το κομβίον *Calculate* τα δεδομένα εισάγονται στο ασαφές σύστημα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα δεξιά της εικόνας 116. Πιέζοντας το πλήκτρο *Continue* η διαδικασία συνεχίζεται στην επόμενη οθόνη ερωτήσεων.

Εικόνα 116: Η οθόνη 1 του 3^{ου} παραδείγματος

Η δεύτερη οθόνη του προγράμματος, οθόνη 2Γ (εικόνα 117) αποτελείται κι αυτή από τρεις κύριες ερωτήσεις.

Εικόνα 117: Οθόνη 2Γ

Η πρώτη αφορά το ποσοστό την φυσικής γης που περιλαμβάνεται στην περιοχή κάλυψης. Η δεύτερη το ποσοστό των δέντρων, θάμνων και βράχων από τα οποία αποτελείται η φυσική γη, και η τρίτη από το είδων των δέντρων (πλατύφυλλα ή κωνοφόρα).

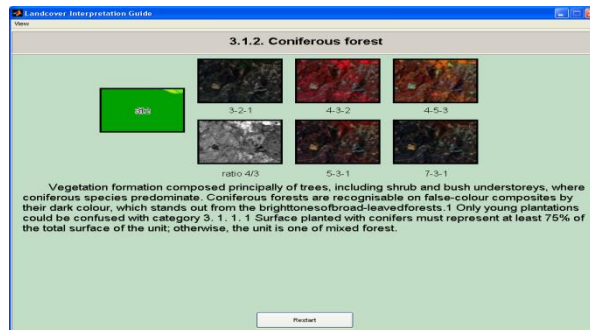
Στην ερώτηση για το αν η περιοχή αποτελείται κυρίως από φυσική γη επιλέγεται η απάντηση ναι και εισάγεται το ποσοστό 100%, ότι δηλαδή η περιοχή του παραδείγματος αποτελείται εξολοκλήρου από φυσική γη.

Στα δύο επόμενα τμήματα της οθόνης αυτής, εισάγεται ότι το ποσοστό των δέντρων είναι το 60% και των θάμνων το 30%, ενώ από τον αριθμό των δένδρων το 80% απαρτίζεται από το είδος των κωνοφόρων. Στις ερωτήσεις για το αν το μεγαλύτερο μέρος των δέντρων είναι κατεστραμμένα δίνεται η απάντηση όχι ενώ η τελευταία ερώτηση που αφορά το υπόλοιπο έδαφος την φυσικής γης παραμένει ανενεργό, αφού πρόκειται για ένα πολύ μικρό ποσοστό που δεν διαδραματίζει κανένα ρόλο.

Πιέζοντας το κομβίον *Calculate* το πρόγραμμα επεξεργάζεται τα δεδομένα και τα παρουσιάζει στον πίνακα δεξιά της οθόνης, όπως φαίνεται στην εικόνα 118.

Εικόνα 118: Η οθόνη 2^η μετά τον υπολογισμό των δεδομένων

Όπως ήταν αναμενόμενο το πρόγραμμα έχει ήδη καταλήξει σε μία και μοναδική επιλογή. Πιέζοντας το κομβίον *Continue* προβάλλονται στο χρήστη πληροφορίες και εικόνες που αφορούν την κατηγορία που το σύστημα θεωρεί ότι είναι η επικρατούσα (εικόνα 119).



Εικόνα 119: Η παρουσίαση την τελικής οθόνης του 3^{ου} παραδείγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

3. Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Καταλήγοντας λοιπόν θα ήταν σωστό να κάνουμε μια αποτίμηση της εργασίας αυτής και να συνοψίσουμε σημαντικές παρατηρήσεις αλλά και συμπεράσματα που αποκομίσαμε από την υλοποίηση της, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για περαιτέρω έρευνα του συγκεκριμένου αντικειμένου, της φωτοερμηνείας δηλαδή με την χρήση κανόνων ασαφούς λογικής “if-then” και τον προγραμματισμό τους σε ένα περιβάλλον.

3.1. Δυνατότητες – πλεονεκτήματα των ασαφών συστημάτων

Γενικά οι δυνατότητες των Ασαφών Συστημάτων ταυτίζονται με εκείνες των ειδικών και μάλιστα των ειδικών με πλήρη ενημέρωση. Οι δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των ασαφών συστημάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Αντιμετωπίζουν πολύ δύσκολα και πολύπλοκα προβλήματα τόσο καλά όσο και οι ειδικοί.
- Μεταφράζουν τις λεκτικές μεταβλητές (ασαφής προτάσεις) σε μαθηματική ποσότητα, χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις συμμετοχής όπως ένας έμπειρος τις έχει ορίσει ή όπως αυτόματα μπορούν να οριστούν μέσω νευρωνικών δικτύων και στατιστικών στοιχείων.
- Χειρίζονται και αιτιολογούν συμβολικές περιγραφές.
- Μπορούν να χρησιμοποιούν δεδομένα που περιέχουν σφάλματα, μέσω των κανόνων που δομούνται, βάση των πιθανοτήτων να συμβεί ένα γεγονός.
- Μπορούν να «συλλογίζονται» πολλαπλά, τρέχοντας πολλές υποθέσεις ταυτόχρονα.
- Μπορούν να αιτιολογήσουν τα αποτελέσματά τους ποσοτικά και να παρουσιάσουν την πιθανότητα να ισχύει ένα δεδομένο ή όχι.
- Μεγάλη διαθεσιμότητα (*availability*). Η “εξειδικευμένη γνώση” του Ασαφούς συστήματος δύναται να παρασχεθεί από οποιοδήποτε κατάλληλο υπολογιστή. Έτσι τα ασαφή συστήματα μπορούν να θεωρηθούν «ως μέσο μαζικής παραγωγής εξειδικευμένης γνώσης» (*mass production expertise*).
- Μικρό κόστος. Το συνολικό κόστος παροχής «εξειδικευμένης γνώσης» συμπεριλαμβάνει το λειτουργικό κόστος και το κόστος απόσβεσης των δαπανών ανατύξεως του ασαφούς συστήματος. Ακόμη και για τις περιπτώσεις που η συχνότητα χρήσεως της μεθόδου είναι πολύ μικρή το συνολικό κόστος της προτεινομένης μεθόδου είναι πολύ μικρότερο από το κόστος εκτίμησης με συμβατικό τρόπο.
- Μονιμότητα. Η παροχή της «εξειδικευμένης γνώσης» από τα ασαφή συστήματα είναι μόνιμη ενώ η παροχή από ειδικό έχει απροσδιόριστη διάρκεια, αφού μπορεί να διακοπεί από ασθένεια, κούραση ή απασχόληση του ειδικού σε άλλο έργο.
- Πολλαπλή εμπειρία. Η παροχή συμβουλών μπορεί να γίνει από την παράλληλη λειτουργία πολλών ασαφών συστημάτων που λειτουργούν μέρα νύχτα συνεχώς με διατήρηση της ενότητας και συνέχεια της γνωστικής ικανότητας. Τα παραπάνω προφανώς δεν ισχύουν όταν εργάζονται παράλληλα πολλοί ειδικοί. Οι γνώσεις ενός ασαφούς συστήματος μπορεί να αντιπροσωπεύουν τις γνώσεις πολλών ειδικών επιστημόνων. Κατά συνέπεια η γνώση του υπόψη συστήματος μπορεί να

ξεπεράσει το επίπεδο γνώσης ενός ειδικού, στον οποίο θα μπορούσε να ανατεθεί η εκπόνηση μιας τέτοιας εκτίμησης. Πλέον αυτού ένα ασαφές σύστημα μπορεί να λειτουργεί για την πραγματοποίηση της εκτίμησης αυτής μέρα και νύχτα πραγματοποιώντας παράλληλα πάνω από μία εργασία, το οποίο δεν μπορεί να συμβεί στην περίπτωση του ειδικού επιστήμονα.

- Ταχύτητα απόκρισης. Οι εκτιμήσεις με ασαφές σύστημα προφανώς απαιτούν πολύ μικρότερο χρόνο από ότι οι εκτιμήσεις από ειδικό επιστήμονα.
- Αιτιολόγηση αποφάσεων. Τα ασαφή συστήματα μπορούν να εξηγούν τους λόγους που οδηγούν σε κάποια απόφαση, οποτεδήποτε ετούτο ζητηθεί. Αντίθετα ο ειδικός μπορεί να παρουσιάζει απροθυμία ή και αδυναμία να παράσχει τις ίδιες εξηγήσεις.
- Αυξημένη αξιοπιστία. Από τον τρόπο λειτουργίας των ασαφών συστημάτων προκύπτει ότι οι αποφάσεις που λαμβάνει -για όσα θέματα μπορεί να λάβει αποφάσεις- έχουν αυξημένη αξιοπιστία και ρητή αιτιολόγηση. Η αξιοπιστία των αποφάσεων αυτών μπορεί να διασταυρωθεί με την απόφαση που θα ληφθεί από ένα ειδικό επιστήμονα.

3.2. Περιορισμοί – μειονεκτήματα των ασαφών συστημάτων

Από όσα προαναφέρθηκαν τα μειονεκτήματα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Ένα ασαφές σύστημα μπορεί να δώσει συμβουλές μόνο για το συγκεκριμένο γνωστικό χώρο, για τον οποίο σχεδιάστηκε ή αλλιώς για τον χώρο για τον οποίο το σύστημα απέκτησε γνώση.
- Τα ασαφή συστήματα δεν παράγουν άμεσα νέα γνώση, (όπως ενδεχόμενα ένας ειδικός επιστήμονας παράγει) αλλά συμβάλλουν έμμεσα στην παραγωγή της επειδή παρέχουν γνώσεις με υψηλή οργάνωση και μεγάλη διαθεσιμότητα.
- Η «γνωστική ικανότητα» ενός ασαφούς συστήματος εξαρτάται από την ποιότητα και την πληρότητα της γνώσης που απέκτησε. Η γνώση αυτή πρέπει να είναι σαφής και αξιόπιστη. Άτυπη, ασαφής και «εν τη γενέσει» γνώση δεν πρέπει να αποθηκεύεται στο σύστημα .
- Η «γνωστική ικανότητα» ενός ασαφούς συστήματος οριακά μπορεί να ταυτιστεί με εκείνη του ταλαντούχου και πλήρως ενημερωμένου ειδικού. Όμως αυτή μπορεί να είναι εφάμιλλη ή και καλύτερη της γνωστικής ικανότητας ενός ειδικού με συνήθεις ικανότητες.
- Η «διαθέσιμη γνώση» από τον άριστα ενημερωμένο ειδικό γνωστικός χώρος) είναι πάντοτε μικρότερη από την «απαιτούμενη γνώση» για την αντιμετώπιση όλων των στοιχείων του προβλήματος (χώρος γνώσης του προβλήματος). Το ίδιο ισχύει και για τη διαθέσιμη γνώση από το ασαφές σύστημα.

3.3. Περιορισμοί – μειονεκτήματα της εφαρμογής στο Matlab

Κατά την δημιουργία του προγράμματος στην γλώσσα προγραμματισμού Matlab παρουσιάστηκε μια σωρεία προβλημάτων ή οποία δεν είχε προβλεφτεί. Τα προβλήματα αυτά που παρουσιάστηκαν είναι τα εξής:

- Αυξημένος όγκος εργασίας. Παρόλο που η γλώσσα προγραμματισμού Matlab είναι μια γλώσσα που προσφέρει στο χρήστη μια ποικιλία εργαλείων και έτοιμων ρουτινών προγραμματισμού χρειάστηκαν συνολικά 41835 σειρές κώδικα. Αυτός είναι και ο λόγος που ο κώδικας δεν παρουσιάζεται στον παρόν τόμο αφού θα καταλάμβανε περίπου 700 σελίδες.
- Η σχεδίαση του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη ήταν περισσότερο πολύπλοκη από το αναμενόμενο. Έτσι από τις 12 διαφορετικές οθόνες που χρειάστηκε να σχεδιαστούν και να προγραμματιστούν, οι περισσότερες αυτών σχεδιάστηκαν τρεις και τέσσερις φορές μέχρι να οριστικοποιηθεί το αποτέλεσμα.
- Η δημιουργία ασαφών συστημάτων στο Matlab μέσω της ασαφούς εργαλειοθήκης του προγράμματος παρουσιάζει πολλούς περιορισμούς, όπως παραδείγματος χάριν, ότι δεν μπορεί ο προγραμματιστής να δημιουργήσει ασαφής προτάσεις με δύο διαφορετικούς τελεστές (and και or).
- Τέλος η διαχείριση της μνήμης του συστήματος μέσω του Matlab δεν είναι η ιδανική. Αυτό σε συνδυασμό με τον μεγάλο όγκο ρουτινών του προγράμματος συνεπάγεται την απαίτηση μιας ισχυρής υπολογιστικής μηχανής για την εκτέλεσή του.

3.4. Προοπτικές

Ένα ασαφές σύστημα προφανώς έχει τη δυνατότητα να αναθεωρείται κατά καιρούς και να εναρμονίζεται με τις γνώσεις που αποκτήθηκαν στο διάστημα που πέρασε ή με τις γνώσεις που προϋπήρχαν αλλά δεν αποθηκεύτηκαν στο σύστημα. Η συστηματική αυτή βελτίωση οδηγεί τελικά στη δημιουργία μίας «βάσης γνώσης» που διακρίνεται από πληρότητα, ενημερότητα και μεγάλη διαθεσιμότητα (long term development).

Ο σχεδιασμός ενός ασαφούς συστήματος με τον γλώσσα προγραμματισμού Matlab έχει το πλεονέκτημα του ελέγχου των αποτελεσμάτων μέσω της εργαλειοθήκης και τον επαναπρογραμματισμό τους μετά από σειρά δοκιμών.

Όμως ο προγραμματισμός στο Matlab δεν είναι ο αυτοσκοπός. Η συνήθης πρακτική είναι η δημιουργία του προγράμματος στο Matlab για τον έλεγχο την ορθότητας των αποτελεσμάτων και ο επανασχεδιασμός της σε κάποια άλλη γλώσσα προγραμματισμού όπως η C++.

Εν κατακλείδι τα αποτελέσματα των ασαφών συστημάτων στην φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων είναι εντυπωσιακά, όπως έχει ήδη αποδειχτεί στην πράξη, με την κυκλοφορία πολλών προγραμμάτων στο εμπόριο, με αυτό τον σκοπό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

4. Βιβλιογραφία

Αργιαλάς Δ. 1999. Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση. ΕΜΠ .

Αργιαλάς Δ. 1998. Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση. ΕΜΠ.

Argialas D., 1995. Towards Structured Knowledge Models for Landform Representation. Zeitschrift fur Geomorphologie N.F Supplement-Bd., 101, pp. 85-108.

Argialas D., Miliareisis G., 1996. Physiographic Knowledge Acquisition: Identification, Conceptualization and Representation. Proceedings of the ASPRS, Vol. 3, Baltimore, MD, pp. 311-320.

Argialas D., Miliareisis G., 1997a. Landform Spatial Knowledge Acquisition: Identification, Conceptualization and Representation. Proceedings of the ASPRS, Vol. 3, Seattle, Washington, pp. 733-740.

Argialas D., Miliareisis G., 1997b. An Object Oriented Representation Model for the Landforms of an Arid Climate Intermontane Basin: Case Study of Death Valley/CA. 23rd Conference of the Remote Sensing Society, Reading, U.K , pp. 199-205.

Argialas D., Miliareisis G., 2000. Physiographic Region Interpretation: Formalization with Rule Based Structures and Object Hierarchies.

Nziengui, M., Tchindjang, M., Couprie, P., Nji. Fogwe Z., Rudant, J., 2003. The application of Remote Sensing Data for Description of Forest Tree Stands and of Land Cover Changes: Cases Studies of Grande Chartreuse in France, the protected area of the Mondah Forest and the Cristal Mountains in Gabon. Durban, South Africa, 10 . 16 August 2003.

Slovenian Forestry Institute, Testing criteria for classifying Slovenian forests into European Forest Types using Palearctic and FFH habitat classification.

Ρόκος Δ. 1999. Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση. ΕΜΠ Κεραυνού Ε. 2000.

James C. Bezdek University of West Florida, James Keller University of Missouri, Raghu Krisnapuram Colorado School of Mines, Nikhil R. Pal Indian Statistical Institute, 2005. Fuzzy models and algorithms for pattern recognition and image processing.

Zongmin Ma Université de Sherbrooke, Canada, 2005, Advances in Fuzzy Object-Oriented Databases: Modeling and Applications.

Andy H. Register Georgia Tech Research Institute Atlanta, Georgia, U.S.A., 2007, A Guide to MATLAB® Object-Oriented Programming.

S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa, 2007, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.

Patrick Marchand Nvidia, O. Thomas Holland The Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division, 2003, *Graphics and GUIs with MATLAB®* Third Edition.

Θεοχάρης Ι. 2002. Ασαφή Συστήματα 2002. ΑΠΘ.

Siler W., Buckley J. 2005. Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning.

<http://www.dblab.ece.ntua.gr/courses/AI/2003/>

<http://archive.comlab.ox.ac.uk/comp/ai.html>

http://gis.kkal.gr/xriseis_tilepiskopisis.html

<http://wikimediafoundation.org/wiki/Home>

<http://www.topografoi.com/rs/wiki>