



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

Εκτίμηση του οικολογικού θώκου των ελαφιών
Cervus elaphus στην Πάρνηδα με τη χρήση
νευρωνικών δικτύων



Γεώργιος Β. Σομπόνης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών,
Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2017



HELLENIC REPUBLIC
National and Kapodistrian
University of Athens

FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF BIOLOGY

MASTER IN “BIOINFORMATICS”

Master's Degree Thesis

Estimation of the ecological niche of *Cervus elaphus* on Mt. Parnitha using neural networks



Georgios V. Somponis

Electrical and Computer Engineer, National and Technical
University of Athens

ATHENS 2017



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικό και Καποδιστριακό

Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΒΙΟΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

Εκτίμηση του οικολογικού θώκου των ελαφιών *Cervus elaphus*
στην Πάρνηθα με τη χρήση νευρωνικών δικτύων



Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Αναστάσιος Λεγάκις, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

Τομέας Ζωολογίας - Θαλάσσιας Βιολογίας

Τμήμα Βιολογίας, Ε.Κ.Π.Α.

Άρτεμις Νικολαΐδου, Καθηγήτρια

Τομέας Ζωολογίας - Θαλάσσιας Βιολογίας

Τμήμα Βιολογίας, Ε.Κ.Π.Α.

Αριστείδης Παρμακέλης, Επίκουρος Καθηγητής

Τομέας Οικολογίας & Ταξινομικής

Τμήμα Βιολογίας, Ε.Κ.Π.Α.

.....
Γεώργιος Β. Σομπόνης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών, Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Β. Σομπόνης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

*Στο καμένο δάσος
της Πάρνηδας*

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Ζωολογίας - Θαλάσσιας Βιολογίας, του Τμήματος Βιολογίας, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Βιοπληροφορική υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αναστασίου Λεγάκι.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή Σταύρο Χαμόδρακα, τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Βοργιά και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Αναστάσιο Λεγάκι, που μου έδωσαν την ευκαιρία να συμμετάσχω στο Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης στη Βιοπληροφορική και να ασχοληθώ με ένα καινούριο, για μένα, γνωστικό αντικείμενο. Επιπλέον, ευχαριστώ τους διδάσκοντες, τα μέλη Δ.Ε.Π., τους ερευνητές, τους Ι.Δ.Α.Χ. και τους μεταδιδακτορικούς ερευνητές για τις διαλέξεις και τη συνεισφορά τους καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος.

Στη συνέχεια νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον Αναπληρωτή Καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας Αναστάσιο Λεγάκι για την τιμή που μου έκανε να με δεχθεί ως διπλωματικό φοιτητή του. Τον ευχαριστώ για την αμέριστη βοήθεια, τη διακριτική ενθάρρυνση, την υπομονή αλλά κυρίως γιατί με τη διδασκαλία του μου εμφύσησε την αγάπη του για το αντικείμενο ενασχόλησής του. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την Καθηγήτρια Άρτεμη Νικολαΐδου και τον Επίκουρο Καθηγητή Αριστείδη Παρμακέλη, για τον χρόνο που αφιέρωσαν στην ανάγνωση, εξέταση και αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας.

Για την ανιδιοτελή βοήθειά τους, σε ότι κι αν χρειάστηκα, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω τους Δρ. Ζωή Λίτου και Δρ. Νίκο Παπανδρέου, οι οποίοι προσέφεραν τα μέγιστα για την εύρυθμη λειτουργία του μεταπτυχιακού προγράμματος. Επίσης, ευχαριστώ όλους τους συμφοιτητές μου για τη συνεργασία και υποστήριξη που επέδειξαν, στοιχεία απαραίτητα για την επιτυχή λειτουργία ενός διεπιστημονικού προγράμματος όπως αυτό του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη Βιοπληροφορική.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον Φορέα Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, το Δασαρχείο Πάρνηθας, το προσωπικό τους και κυρίως τον Δασάρχη κ. Γιώργο Ζαρέιφη για τις πληροφορίες, τις κατευθύνσεις και τη συνολική συνδρομή τους τις περιόδους συλλογής των δεδομένων. Η προσπάθεια που καταβάλουν για την προστασία και τη διαχείριση του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας είναι αξιέπαινη.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, που με στηρίζει, τους φίλους μου, που με υπομένουν, και όσους άμεσα ή έμμεσα βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Γεώργιος Β. Σομπόνης
Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

Περίληψη

Ο Εθνικός Δρυμός της Πάρνηθας είναι μια περιοχή με πλούσια χλωρίδα και πανίδα η οποία αποτελεί βιότοπο για πολλά είδη θηλαστικών και πτηνών με σημαντικότερο το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*). Το κόκκινο ελάφι στο παρελθόν εξαπλωνόταν σε ολόκληρη σχεδόν την ηπειρωτική Ελλάδα, όμως σε λίγες δεκαετίες οι πληθυσμοί του συρρικνώθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε το είδος να βρεθεί στην κατηγορία των απειλούμενων ζώων της χώρας. Ο πληθυσμός της Πάρνηθας είναι σήμερα ο πιο ακμαίος στην Ελλάδα και αποδεδειγμένα διατηρεί τα αρχέγονα γονίδια των γηγενών ελαφιών. Ωστόσο, η πυρκαγιά του 2007 κατέστρεψε σημαντικό μέρος του ενδιαιτημάτος του. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού, λόγω της μέχρι πρότινος έλλειψης φυσικών θηρευτών, ενδέχεται να έχει αρνητικά αποτελέσματα στο δάσος της Πάρνηθας εξαιτίας της πίεσης που δέχεται από τα βόσκοντα ελάφια. Συνεπώς, μια μετακίνηση των ελαφιών σε νέους βιότοπους ενδείκνυται τόσο για την αποφόρτιση του δάσους όσο και για την εκ νέου εξάπλωση του είδους στον Ελλαδικό χώρο.

Για να αυξηθούν οι πιθανότητες επιβίωσης του κόκκινου ελαφιού στην περιοχή μετακίνησής του πρέπει να εκτιμηθεί πρώτα η καταλληλότητα του νέου ενδιαιτηματος. Για τον λόγο αυτό συλλέχθηκαν δεδομένα βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων από τις περιοχές παρουσίας και απουσίας του ελαφιού στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε ένα νευρωνικό δίκτυο SOM το οποίο και εκπαιδεύτηκε με τα δεδομένα αυτά και αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητά του στην ορθή κατηγοριοποίηση άγνωστων περιοχών.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως οι επιδόσεις του SOM είναι περισσότερο από ικανοποιητικές και η εφαρμογή που αναπτύχθηκε βασισμένη σε αυτό μπορεί να εκτιμήσει άμεσα και γρήγορα την καταλληλότητα μιας περιοχής για τη φιλοξενία του κόκκινου ελαφιού της Πάρνηθας. Ωστόσο, το σύνολο των δεδομένων χρίζει βελτίωσης ούτως ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες παραμέτρους και να καλύπτει μεγαλύτερο μέρος του Εθνικού Δρυμού της Πάρνηθας.

Η εξάπλωση του κόκκινου ελαφιού σε περιοχές από όπου έχει πλέον εξαφανιστεί θα συνδράμει τόσο στη διατήρησή του, με όσα πλεονεκτήματα απορρέουν από αυτή, όσο και στην μείωση της πίεσης που αυτό ασκεί στο δάσος της Πάρνηθας. Παρ' όλα αυτά η επανεισαγωγή του κόκκινου ελαφιού σε κατάλληλους βιότοπους δεν εξασφαλίζει και την επιβίωση του αν πρότινος δεν ελεγχθεί η λαθροθηρία. Για τον λόγο αυτό η περιβαλλοντική ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών είναι θεμελιώδους σημασίας στην επιβίωση των νέων υποπληθυσμών.

Λέξεις κλειδιά: Κόκκινο ελάφι, *Cervus elaphus*, Πάρνηθα, καταλληλότητα ενδιαιτήματος, νευρωνικό δίκτυο SOM

Abstract

The National Park of Parnitha is an area with rich flora and fauna which is a habitat for many species of mammals and birds. The most important species is the red deer (*Cervus elaphus*). The red deer in the past were distributed across most of mainland Greece. However, in a few decades the populations shrunk to such an extent that the species characterized as endangered. The population of Mt. Parnitha is currently the most thriving in Greece and it is proven that reserves the genes of native deer. The destruction of a significant part of its habitat from the fire in 2007 and the increase in population due to the previously lack of natural predators may have negative effects on Mt. Parnitha's forest because of the pressure from the grazing deer. Therefore, a movement of deer to new habitats it is indicated for reducing pressure on the forest and the distribution of the species in Greece.

In order to increase the chances of survival of red deer in a new area the habitat suitability should be estimated first. For this reason, the biotic and abiotic parameters of the areas that the deer is present or absent in the National Park of Parnitha were recorded. Afterwards, a SOM neural network was implemented and trained with these data and assessed its effectiveness on the proper evaluation of unknown areas.

The results indicate that the performance of SOM neural network is more than satisfactory and the application developed based on this can estimate directly and quickly the suitability of an area for hosting the red deer of Mt. Parnitha. However, the dataset anoints improvement so as to include more parameters and cover larger part of the National Park of Parnitha.

The distribution of the red deer in areas where it has disappeared it will assist in its conservation, with what advantages deriving from it, and in reducing the pressure it exerts on Mt. Parnitha's forest. Nevertheless, the reintroduction of red deer in suitable habitats does not ensure its survival if the poaching is not eliminated first. For this reason, the environmental awareness is essential for the survival of new subpopulations.

Keywords: Red deer, *Cervus elaphus*, Mt. Parnitha, habitat suitability, SOM neural network

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	8
Περίληψη	10
Abstract	12
1 Εισαγωγή	17
1.1 Η Πάρνηθα	17
1.1.1 Γενικά	17
1.1.2 Γεωλογικές και εδαφικές συνθήκες	18
1.1.3 Υδρολογικές συνθήκες	18
1.1.4 Κλιματικές συνθήκες	20
1.1.5 Ζώνες βλάστησης	21
1.1.6 Χλωρίδα	22
1.1.7 Πανίδα	24
1.1.8 Πυρκαγιά 2007	25
1.2 Το Κόκκινο Ελάφι	26
1.2.1 Περιγραφή	27
1.2.2 Οικολογία και ενδιαίτημα	29
1.2.3 Γεωγραφική εξάπλωση, πληθυσμός και απειλές	29
1.2.4 Το κόκκινο ελάφι στην Ελλάδα	31
1.2.5 Το κόκκινο ελάφι της Πάρνηθας	32
1.3 Νευρωνικά δίκτυα	38
1.3.1 Ιστορική αναδρομή	39
1.3.2 Μοντέλο βιολογικού νευρώνα	41
1.3.3 Μοντέλο Τεχνητού Νευρώνα	42
1.3.4 Βασικές ιδιότητες	44
1.3.5 Αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων	45
1.3.5.1 Νευρωνικά δίκτυα προσοτροφολοδότησης	45
1.3.5.2 Νευρωνικά δίκτυα ανατροφολοδότησης	47
1.3.6 Μάθηση των Νευρωνικών Δικτύων	48
1.3.6.1 Επιβλεπόμενη μάθηση	48
1.3.6.2 Ενισχυτική μάθηση	49
1.3.6.3 Μη επιβλεπόμενη μάθηση	50
1.3.7 Συσχετιστικές μνήμες	50
1.3.8 Εφαρμογές Νευρωνικών Δικτύων	51
2 Υλικά και Μέθοδοι	53
2.1 Το νευρωνικό δίκτυο SOM	53
2.1.1 Βιολογική προέλευση και ιστορική αναδρομή	53
2.1.2 Εκπαίδευση του SOM	56
2.1.3 SOM επιβλεπόμενης μάθησης	59
2.1.4 Εφαρμογές των SOMs	59
2.1.5 Μέθοδοι απεικόνισης των SOMs	60
2.2 Σύνολο δεδομένων	61
2.3 Μεθοδολογία	63
2.3.1 Επεξεργασία συνόλου δεδομένων	63
2.3.2 Σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου	64
2.3.3 Υλοποίηση νευρωνικού δικτύου SOM	64
2.3.3.1 Η συνάρτηση somCreate	65

2.3.3.2	Η συνάρτηση somTrainParameters	65
2.3.3.3	Η συνάρτηση somOutput	66
2.3.3.4	Η συνάρτηση somActivation	67
2.3.3.5	Η συνάρτηση somUpdate	67
2.3.3.6	Η συνάρτηση somTrain	68
2.3.3.7	Η συνάρτηση somTest	68
2.3.3.8	Η συνάρτηση somCrossValidation	69
2.3.4	Ανάπτυξη εφαρμογής pRED-DEERct	70
3	Αποτελέσματα	75
3.1	Κριτήρια αξιολόγησης	75
3.2	Αριθμός νευρώνων SOM	76
3.3	Πλέγμα νευρώνων	79
3.4	Μέτρο απόστασης	80
3.5	Αριθμός εποχών	83
3.6	Ρυθμός μάθησης	84
4	Συζήτηση	87
5	Συμπεράσματα	89
6	Παράρτημα	91
6.1	Κώδικας συναρτήσεων για την υλοποίηση του SOM	91
6.1.1	somCreate.m	91
6.1.2	somTrainParameters.m	92
6.1.3	somOutput.m	92
6.1.4	somActivation.m	93
6.1.5	somUpdate.m	93
6.1.6	somTrain.m	94
6.1.7	somTest	95
6.1.8	somCrossValidation	96
6.2	Κώδικας εφαρμογής pRED-DEERct	98
6.3	Πρωτόκολλο καταγραφής	104
	Βιβλιογραφία	105

1

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά εκτίθενται πληροφορίες αναφορικά με τον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας και τις ιδιαιτερότητές του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*) και ειδικότερα για το κόκκινο ελάφι της Πάρνηθας. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την απαραίτητη, για τη μετέπειτα κατανόηση της διπλωματικής εργασίας, θεωρία Νευρωνικών Δικτύων.

1.1 Η Πάρνηθα

1.1.1 Γενικά

Η Πάρνηθα βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της Αττικής, σε απόσταση 36 χιλιομέτρων από την Αθήνα, και αποτελεί το μεγαλύτερο και υψηλότερο βουνό της με έκταση 300,000 στρεμμάτων και μέγιστο υψόμετρο που αγγίζει τα 1413 μέτρα. Η αξία προστασίας της περιοχής αναγνωρίστηκε ήδη από το 1961, όταν μεγάλο τμήμα της ανακηρύχθηκε Εθνικός Δρυμός.

Ο Εθνικός Δρυμός της Πάρνηθας είναι μια περιοχή με πλούσια χλωρίδα και πανίδα και με έντονη γεωμορφολογική ποικιλομορφία η οποία χρήζει προστασίας και σωστής διαχείρισης. Έχει σημαντικό ενδιαφέρον σε ελληνικό αλλά και ευρωπαϊκό επίπεδο, αφού πολλά από τα είδη χλωρίδας που εμφανίζονται στην Πάρνηθα είναι ελληνικά ενδημικά. Η πανίδα της είναι η πιο πλούσια της Αττικής και από τις πλουσιότερες στην Ελλάδα. Αποτελεί βιότοπο για πολλά είδη θηλαστικών και πτηνών τα οποία προστατεύονται από το ελληνικό και Διεθνές Δίκαιο, με σημαντικότερο είδος το κόκκινο ελάφι.

Στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας, εκτάσεως περίπου 165,000 στρεμμάτων, περιλαμβάνονται οι υψηλότερες κορυφές, όλη η ανώτερη αλπική ζώνη, η ζώνη της Κεφαλληνιακής ελάτης, η ζώνη της Χαλεπίου πεύκης και των αείφυλλων πλατύφυλλων, οι σημαντικότεροι χώροι διαβίωσης και αναπαραγωγής της πανίδας,

όλες οι περιοχές με σπάνια ενδημικά και απειλούμενα είδη γλωρίδας, όλοι οι σπουδαίοι γεωμορφολογικά σχηματισμοί (φαράγγια, βάραθρα, χαράδρες, κοιλάδες κ.τ.λ.), τα σημαντικότερα μονοπάτια και τοπία και τέλος το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων στις οποίες η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ασθενής έως ανύπαρκτη [1].

1.1.2 Γεωλογικές και εδαφικές συνθήκες

Ολόκληρο το όρος της Πάρνηθας εκτείνεται στη βορειοδυτική πλευρά του λεκανοπεδίου Αττικής και αποτελεί μια μεγάλη οροσειρά που παρουσιάζει έντονο και αξιόλογο ανάγλυφο. Μπορεί να χωριστεί σε τρία μεγάλα τμήματα, την Ανατολική, την Κεντρική, όπου βρίσκονται οι ψηλότερες κορυφές, και τη Δυτική Πάρνηθα.

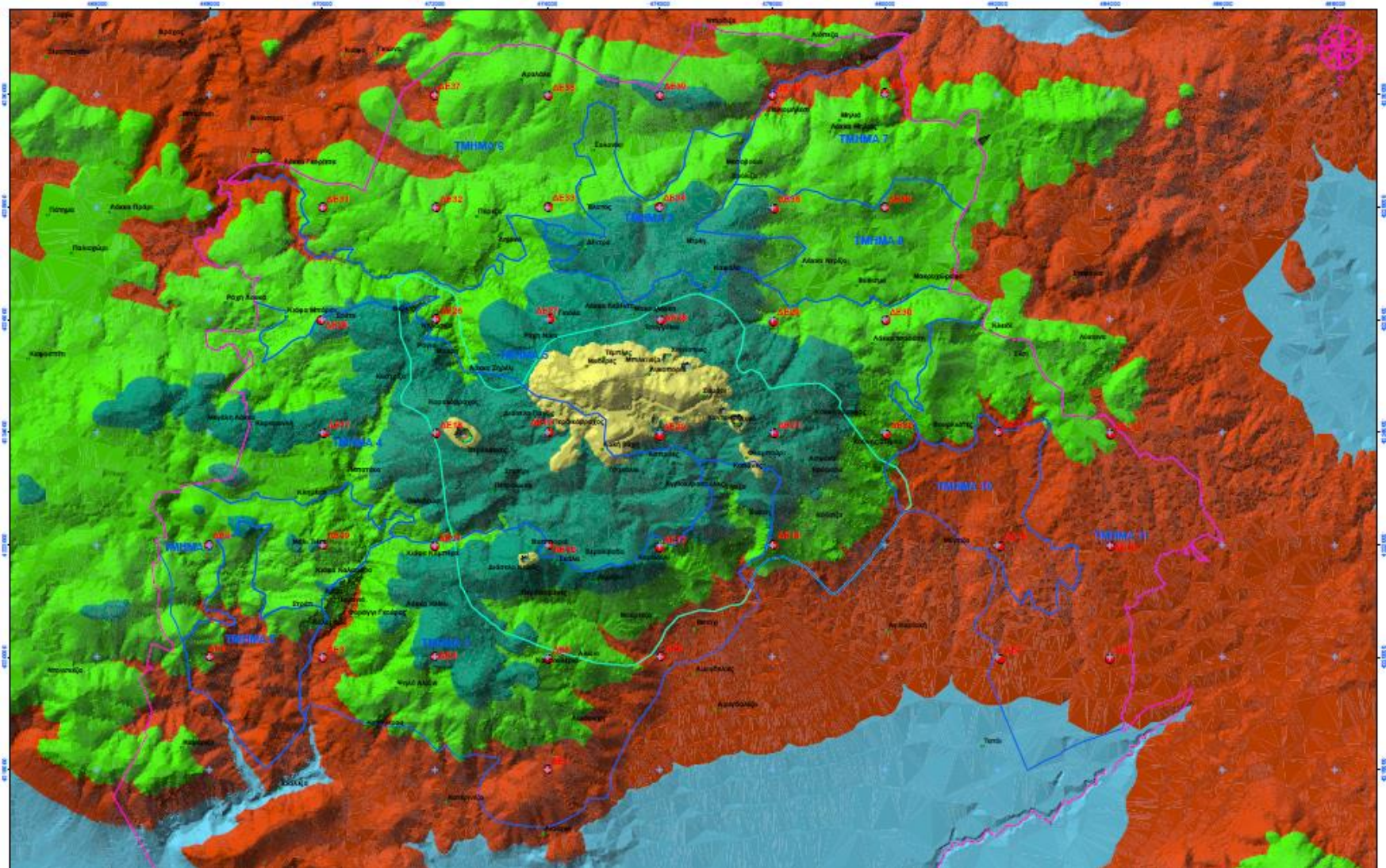
Πρόκειται για μια οροσειρά με δεκάδες κορυφές, χαράδρες, ρεματιές, οροπέδια, λιβάδια, κοιλάδες, φαράγγια και λάκκες. Στην περιοχή δεν υπάρχουν μεγάλα ποτάμια, παρά μόνο ρέματα περιοδικής ροής που χαραδρώνουν ολόκληρη την Πάρνηθα. Οι κορυφές στην Πάρνηθα είναι γενικά ομαλές, υπάρχουν όμως και απόκρημνες, βραχώδεις κορυφογραμμές. Το υψομετρικό εύρος κυμαίνεται από τα περίπου 400 έως τα 1413 μέτρα (*Εικόνα 1.1.1*).

Στη γεωλογική δομή του βουνού κυριαρχούν οι σκληροί ασβεστόλιθοι και οι σχιστόλιθοι, στα σημεία επαφής των οποίων εμφανίζονται πολλές μικρές πηγές με συνεχή και εποχική ροή. Από τα πετρώματα αυτά, ο ασβεστόλιθος δημιουργεί γενικά ένα έντονο ανάγλυφο, που κυριαρχεί στην περιοχή, ενώ οι σχιστόλιθοι δίνουν ένα ομαλό ανάγλυφο. Οι εγκάρσιες κλίσεις κυμαίνονται μεταξύ 16% και 72%, με τις επικρατέστερες να κυμαίνονται γύρω στο 40%.

Παρ' όλη την ποικιλία του ανάγλυφου, το βουνό της Πάρνηθας δεν μπορεί να θεωρηθεί δύσκολο στην πρόσβασή του. Η γειτνίασή του με το λεκανοπέδιο της Αθήνας και το επαρκές οδικό δίκτυο που το διασχίζει το καθιστούν άμεσα προσβάσιμο από όλες τις πλευρές του [1].

1.1.3 Υδρολογικές συνθήκες

Στον πυρήνα και στην ευρύτερη περιοχή του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας υπάρχει πλήθος επιφανειακών (πηγές, ρέματα, λίμνες) και υπόγειων (πηγάδια) υδατικών πόρων, οι περισσότεροι από τους οποίους βρίσκονται στις ζώνες απόλυτης προστασίας του Δρυμού.



ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΠΑΡΝΗΘΑΣ
17. ΧΑΡΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ II
ΑΧΑΡΝΕΣ 2014



ΟΙ ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ
ΗΛΙΑΣ ΝΤΟΥΦΑΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ Μ. Sc.
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΟΘΟΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΦΑΡΜ, ΔΑΣΟΠΟΝΟΣ
ΔΙΜΟΙΥΡΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟ QGIS

Εικόνα 1.1.1: Υψομετρικός χάρτης Πάρνηθας

Όπως προαναφέρθηκε, το είδος και η διάταξη των πετρωμάτων της Πάρνηθας σε σχεδόν παράλληλα στρώματα ασβεστόλιθου και σχιστόλιθου έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πάρα πολλές πηγές. Στα σημεία που έρχεται σε επαφή ο ασβεστόλιθος, ο οποίος είναι πορώδης και διαπερατός, με τα συμπαγή στρώματα του αδιαπέραστου σχιστόλιθου το νερό των βροχών και το λιωμένο χιόνι ξαναβγαίνει στην επιφάνεια του εδάφους σχηματίζοντας πηγές. Συνολικά υπάρχουν 45 πηγές συνεχούς ροής, στοιχείο απαραίτητο για την επιβίωση της πανίδας (κυρίως των ελαφιών), για τους πεζοπόρους και τους επισκέπτες [1].

Από την περιοχή των ψηλότερων κορυφών ξεκινούν προς διάφορες κατευθύνσεις βαθιά ρέματα με χειμαρρώδη εποχική ροή (από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάιο) που σχηματίζουν συχνά μικρούς καταρράκτες και λίμνες διαμορφώνοντας ένα πολύ έντονο ανάγλυφο. Τέλος, στην Πάρνηθα συναντάμε και δύο μικρές λίμνες σε υψόμετρο περίπου 600 μέτρων.

1.1.4 Κλιματικές συνθήκες

Για τον κύριο ορεινό όγκο της Πάρνηθας δεν υπάρχει μια αλληλουχία παρατηρήσεων κλιματικών δεδομένων, διότι οι μετεωρολογικοί σταθμοί που εγκαταστάθηκαν σε μεγάλο υψόμετρο λειτούργησαν μόνο αποσπασματικά και για μικρά χρονικά διαστήματα. Η περιστασιακή λειτουργία των σταθμών είχε ως αποτέλεσμα τα στοιχεία αυτών, για το κλίμα και τα μετεωρολογικά φαινόμενα στον κυρίως ορεινό όγκο της Πάρνηθας, να είναι περισσότερο ενδεικτικά παρά απόλυτα.

Συμπερασματικά, το κλίμα της Πάρνηθας έως τα 700 μέτρα για τις βόρειες εκθέσεις και έως τα 1000 μέτρα για τις νότιες είναι μέσο-μεσογειακό με 75 έως 100 βιολογικά ξηρές ημέρες. Από τα υψόμετρα που αναφέρθηκαν προηγουμένως και προς την κορυφή το κλίμα μετατρέπεται σε ασθενές μέσο-μεσογειακό με αριθμό βιολογικά ξηρών ημερών κυμαινόμενο μεταξύ 40 και 75. Τέλος, στις χαμηλότερες περιοχές ο αριθμός των βιολογικά ξηρών ημερών είναι από 100 έως 125 και το κλίμα χαρακτηρίζεται ως ασθενές θερμομεσογειακό. Η ξηρή περίοδος διαρκεί από τις αρχές Ιουνίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου. Οι μήνες με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση είναι ο Νοέμβριος, ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος. Αντίθετα, οι ξηρότεροι μήνες του χρόνου είναι ο Ιούνιος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η διάρκεια και η ένταση των χιονοπτώσεων αποτελούν έναν από τους περισσότερο βαρυσήμαντους αλλά και απρόοπτους παράγοντες όσον αφορά το τοπικό κλίμα στον ορεινό όγκο. Οι χιονοπτώσεις ξεκινούν συνήθως στις

αρχές και τα μέσα Δεκεμβρίου και συνεχίζονται μέχρι και το τέλος του Φεβρουαρίου. Ωστόσο, η συχνότητα των χιονοπτώσεων και το πόσες μέρες θα μείνει το έδαφος χιονοσκεπές ποικίλει σε μεγάλο βαθμό.

Το κλίμα στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας διαφέρει αισθητά από το αντίστοιχο της Αττικής. Οι διαφορές οφείλονται στο μεγαλύτερο υψόμετρο και στη θέση της Πάρνηθας σε σχέση με τους επικρατούντες ανέμους. Η θερμοκρασία στα ορεινά της Πάρνηθας είναι από 2 έως 6°C μικρότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία στα πεδινά. Οι βροχοπτώσεις είναι διπλάσιες στην ανώτερη ζώνη του βουνού ενώ ο παγετός και η ομίχλη είναι συχνά φαινόμενα το φθινόπωρο και τον χειμώνα.

Η πυρκαγιά στην Πάρνηθα είχε μεταξύ άλλων ως αποτέλεσμα η Αθήνα να χάσει το σημαντικότερο μηχανισμό μείωσης της θερμοκρασίας που διέθετε. Το δάσος της Πάρνηθας αποτελούσε έναν από τους κύριους μηχανισμούς ψύξης του αέρα που έρεε από τον βορρά προς την Αθήνα. Όμως, μετά την πυρκαγιά ο αέρας που περνά πάνω από μια καμένη μαύρη έκταση αντί να ψύχεται, θερμαίνεται περισσότερο [1].

1.1.5 Ζώνες βλάστησης

Η βλάστηση της Πάρνηθας υπέστη σοβαρές ζημιές κατά την πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στον Δρυμό το 2007. Σύμφωνα με στοιχεία του Δασαρχείου Πάρνηθας, κάηκαν συνολικά 21,800 στρέμματα δάσους Κεφαλληνιακής ελάτης, 10,561.98 στρέμματα Χαλεπίου πεύκης και 3,976.2 στρέμματα με αείφυλλα πλατύφυλλα.

Στην Πάρνηθα έχουν αναγνωριστεί τρεις ζώνες βλάστησης (Εικόνα 1.1.2). Η πρώτη ζώνη εκτείνεται από τα 400 έως τα 1000 περίπου μέτρα. Σε αυτή τη ζώνη κυριαρχούν τα δάση Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), οι σχηματισμοί με πουρνάρι (*Quercus coccifera*), σχίνιο (*Pistacia lentiscus*), κουμαριά (*Arbutus unedo*) και γλιστροκουμαριά (*Arbutus andrachne*) καθώς και φρυγανικά οικοσυστήματα. Στα ανώτερα υψόμετρα της ζώνης αυτής η Χαλέπιος πεύκη σχηματίζει μικτό δάσος με την Κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*).

Η δεύτερη ζώνη εκτείνεται από τα 1000 περίπου μέτρα στις νότιες εκθέσεις του βουνού και από τα 600 με 700 μέτρα στις βόρειες εκθέσεις μέχρι τα 1400 μέτρα και κυριαρχείται από δάσος Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*). Υπάρχουν επίσης συστάδες με οξύκεδρους (*Juniperus oxycedrus*) καθώς και κάποια λιβαδικά είδη στα οροπέδια. Ας σημειωθεί ότι εξαιτίας των αναδασωτικών εργασιών που

πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 1950 - 1970 το δάσος Κεφαλληνιακής ελάτης δεν είναι αμιγές αλλά σε αρκετά σημεία αναμιγνύεται με Μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), η οποία δεν είναι αυτόχθονη της περιοχής.

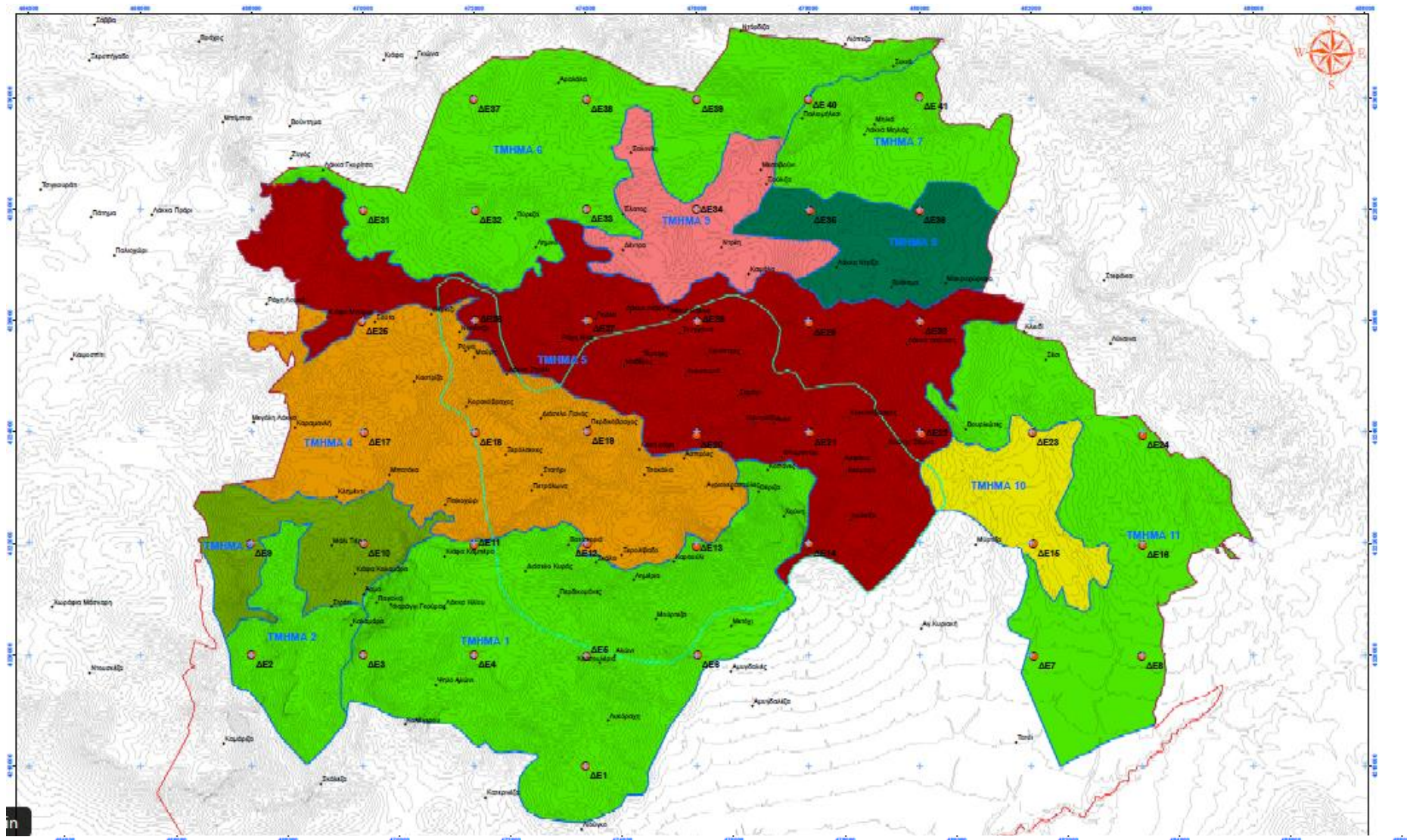
Τέλος, η τρίτη ζώνη βλάστησης, που παρατηρείται στις υψηλότερες κορυφές του βουνού, θεωρείται υποαλπική και περιλαμβάνει μικρούς αγκαθωτούς, μαξιλαρόμορφους θάμνους μαζί με αρκετά ενδημικά και σπάνια είδη. Αυτός ο τύπος βλάστησης πιθανόν έχει προκύψει από την υποβάθμιση του δάσους της Κεφαλληνιακής ελάτης και επομένως δεν μπορεί να καταταχθεί ως αυθεντική υποαλπική ζώνη [1].

1.1.6 Χλωρίδα

Με τον όρο χλωρίδα εννοούμε το σύνολο των διαφόρων ειδών φυτών που απαντώνται σε μία περιοχή. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη χλωριδική μελέτη, στην Πάρνηθα απαντώνται 1096 αυτόχθονα φυτικά τάξα τα οποία ανήκουν σε 456 γένη και 90 οικογένειες ενώ τα 93 είναι ελληνικά ενδημικά και σπάνια. Ο μεγάλος αυτός πλούτος οφείλεται κυρίως στη μεγάλη έκταση του βουνού καθώς και στη μεγάλη ποικιλία των βιοτόπων του.

Το σπουδαιότερο είδος της χλωρίδας της Πάρνηθας είναι η Κεφαλληνιακή ελάτη, που εκτείνεται σε έκταση περίπου 36.000 στρεμμάτων, και ακολουθούν η Χαλέπιος πεύκη, η δρυς, το πουρνάρι, η γλιστροκουμαριά, ο οξύκεδρος, ο σχίνος κ.α.. Επίσης, σημαντικά είδη της χλωρίδας της Πάρνηθας ευδοκούν στην παραρεμάτια βλάστηση με κυριότερα είδη τον πλάτανο, την ιτιά, τη λεύκη, την οστριά, τη λυγαριά κ.α.. Τέλος, στην Πάρνηθα απαντώνται και πάνω από 100 είδη μανιταριών.

Οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς στα σημαντικά είδη χλωρίδας της περιοχής μελέτης, και ιδιαίτερα στην Κεφαλληνιακή ελάτη (κάηκαν περί τα 22,000 στρέμματα), είναι δύσκολο να εκτιμηθούν και πρέπει να αποτελέσουν αντικείμενο ξεχωριστής έρευνας. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα είδη που είναι πιο πιθανό να έχουν επιβιώσει της φωτιάς είναι εκείνα που διαθέτουν τις κατάλληλες λειτουργικές δομές και προσαρμογές. Για παράδειγμα, είδη που έχουν δυνατότητα παραβλάστησης, υπόγειο αναπαραγωγικό τμήμα ή διαθέτουν ανθεκτική στη φωτιά τράπεζα σπερμάτων θα μπορούσαν υπό προϋποθέσεις να επιβιώσουν.



ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΠΑΡΝΗΘΑΣ
6. ΧΑΡΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
ΑΧΑΡΝΕΣ 2014

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

 ΟΡΙΑ ΔΑΣΑΡΧΕΙΟΥ ΠΑΡΝΗΘΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ Ν. 248/76	 ΠΕΥΚΗ-ΘΑΜΝΟΙ	 ΕΛΑΤΗ-ΠΕΥΚΗ-ΚΑΜΕΝΗΙΑΝΑΔΑΣΩΤΕΑ ΕΚΤΑΣΗ
 ΠΥΡΗΝΑΣ	 ΠΕΥΚΗ-ΚΥΠΑΡΙΣΣΙ-ΘΑΜΝΟΙ	 ΚΑΜΕΝΗΙΑΝΑΔΑΣΩΤΕΑ ΕΚΤΑΣΗ-ΘΑΜΝΟΙ
● ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	 ΘΑΜΝΟΙ	 ΠΕΥΚΗ
• ΤΟΠΟΝΥΜΙΑ	 ΠΕΥΚΗ-ΕΛΑΤΗ-ΔΡΥΣ-ΘΑΜΝΟΙ	 ΤΜΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΚΑΙΜΑΚΑ 1 : 25.000
0 500 1.000 1.500 2.000 μέτρα

ΟΙ ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ
ΗΛΙΑΣ ΝΤΟΥΦΑΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ Μ. Sc.
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΟΡΦΟΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΒΑΡΡΗ, ΔΑΣΟΠΟΝΟΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟ QGIS

Εικόνα 1.1.2: Ζώνες βλάστησης Πάρνηθας

1.1.7 Πανίδα

Με τον όρο πανίδα εννοούμε το σύνολο των διαφόρων ειδών ζωικών οργανισμών (σπονδυλωτών και ασπόνδυλων) που απαντώνται σε μία περιοχή. Ειδικότερα στην Πάρνηθα, από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία και από προηγούμενες έρευνες προκύπτει ότι τόσο στο απώτερο όσο και στο πρόσφατο παρελθόν υπήρχαν τα περισσότερα από τα μεγάλα θηλαστικά της χώρας, όπως η καφέ αρκούδα (*Ursus arctus*, που υπήρχε μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα), ο γκρίζος λύκος (*Canis lupus*, που χάθηκε τη δεκαετία του '40), ο λύγκας (*Lynx lynx*, που υπήρχε ως και τον περασμένο αιώνα, αλλά σήμερα έχει χαθεί από όλη την Ελλάδα). Επίσης, υπήρχαν ο αγριόγατος (*Felix sylvestris*) και το αγριογούρουνο (*Sus scrofa*), τα οποία εξαφανίστηκαν από την Αττική στις αρχές του 20ου αιώνα. Σήμερα τα είδη αυτά, εκτός από τον γκρίζο λύκο και το αγριογούρουνο, δεν υπάρχουν στην Πάρνηθα, γιατί με τις έντονες ανθρωπογενείς επεμβάσεις αναγκάστηκαν να μετακινηθούν βορειότερα (Πίνδος, Β. Ελλάδα).

Πρόσφατα υπήρξαν μαρτυρίες κατοίκων, κτηνοτρόφων και περιβαλλοντικών οργανώσεων που συνηγορούσαν σε ενδεχόμενη παρουσία λύκου στην Πάρνηθα. Κατόπιν ερωτήματος του Δασαρχείου Πάρνηθας, η περιβαλλοντική οργάνωση για την άγρια ζωή και τη φύση «Καλλιστώ» αποφάνθηκε ότι υπάρχει πράγματι επανεμφάνιση λύκου στην Πάρνηθα ο οποίος πιθανότητα μετακινήθηκε από τους γειτονικούς ορεινούς όγκους του Κιθαιρώνα, του Πατέρα και την οροσειρά των Δερβενοχωριών.

Επίσης, τα αγριογούρουνα έχουν πλέον «εισβάλει» στον Εθνικό Δρυμό και ειδικότερα στο βόρειο τμήμα του, όχι όμως ως καθαρόαιμα άγρια ζώα που μετανάστευσαν από τους γύρω ορεινούς όγκους, αλλά ως διαφυγόντες, σύμφωνα με μαρτυρίες, ημίαιμοι αγριόχοιροι οι οποίοι εκτρέφονταν σταβλισμένοι στη συνορεύουσα με την Πάρνηθα περιοχή της Αυλώνας. Σήμερα, οι αγριόχοιροι αυτοί έχουν πληθύνει σημαντικά και έχουν διασκορπιστεί σε όλο τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας. Μάλιστα, πέρα από τα εμφανή σημάδια αναμόχλευσης του δασικού εδάφους, που αποδεικνύουν την ύπαρξή τους, μπορεί κανείς και να τους συναντήσει κατά την περιήγησή του στο δάσος.

Συνολικά στην Πάρνηθα έχει διαπιστωθεί η παρουσία 42 είδη θηλαστικών, 131 είδη πτηνών, 22 είδη ερπετών, 8 είδη αμφίβιων και αναρίθμητα ασπόνδυλα. Από τα παραπάνω είδη πολλά είναι προστατευόμενα. Εν κατακλείδι, η Πάρνηθα προσφέρει πολύ καλές συνθήκες για την ανάπτυξη της άγριας πανίδας λόγω της σημαντικής

έκτασής της, της πλούσιας χλωρίδας της, των υψηλών δασών της, του πολυποίκιλου ανάγλυφού της και της υψηλής προστασίας που απολαμβάνει ως Εθνικός Δρυμός, Καταφύγιο Άγριας Ζωής, Ειδική Περιοχή Προστασίας για τα Πουλιά (SPA) και περιοχή του Δικτύου «Natura 2000» [1].

1.1.8 Πυρκαγιά 2007

Η πυρκαγιά του 2007 έκαψε συνολικά μία έκταση 36,338.16 στρεμμάτων στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας. Από αυτά, τα 16,025.25 στρέμματα ανήκουν στον πυρήνα του Δρυμού και τα 20,312.48 στρέμματα στην περιφερειακή ζώνη. Τα 10,561.98 στρέμματα ήταν δάση Χαλεπίου πεύκης, τα 21,800 στρέμματα ήταν δάση Κεφαλληνιακής ελάτης και τα 3,976.20 στρέμματα ήταν δάση αείφυλλων πλατύφυλλων. Όσον αφορά την άγρια πανίδα, παρά τα όσα γράφτηκαν και ειπώθηκαν μετά την πυρκαγιά, οι εξακριβωμένες απώλειές της δεν ήταν σοβαρές. Από τους υπαλλήλους του Δασαρχείου και από τους υλοτόμους που κατασκεύασαν τα αντιπλημμυρικά έργα της Πάρνηθας και περπάτησαν σπιθαμή προς σπιθαμή ολόκληρη την καμένη έκταση καταμετρήθηκαν συνολικά 18 νεκρά ελάφια καθώς και 3 αίγαγροι που προφανώς εγκλωβίστηκαν στις φλόγες.



Εικόνα 1.1.3: Ελάφι σε καμένη περιοχή αμέσως μετά την πυρκαγιά του 2007 [1].

Ο εναπομένον πληθυσμός των ελαφιών του δρυμού εξακολουθεί να είναι ακμαίος και έχει μετακινηθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος του στο τμήμα του δρυμού που δεν κάηκε καθώς και στα όμορα του δρυμού δάση της Δυτικής Αττικής και της Βοιωτίας. Σημαντικός αριθμός επίσης μετακινήθηκε προς τα δάση του Αυλώνα, των Αφιδνών και του Τατοΐου. Επειδή όμως πολλές από τις νέες θέσεις γειτνιάζουν με κατοικημένες περιοχές, η εξεύρεση τροφής, νερού και καταφυγίου είναι δυσχερέστερη και κατά συνέπεια απαιτείται αυξημένη μέριμνα για την προστασία τους.

Όσον αφορά τα άλλα μεσαίου μεγέθους θηλαστικά του δρυμού όπως λαγοί, αλεπούδες, ασβοί, κ.τ.λ. δε βρέθηκε σημαντικός αριθμός καμένων ζώων [1].

1.2 Το Κόκκινο Ελάφι

Το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*) είναι ένα από τα μεγαλύτερα είδη ελαφιού. Πρόκειται για μηρυκαστικό θηλαστικό που ανήκει στην οικογένεια Cervidae και στην τάξη Artiodactyla [2]. Γενετικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι το κόκκινο ελάφι παραδοσιακά ορίζεται ως μία ομάδα ειδών και όχι ως ένα μεμονωμένο είδος, αν και ακόμα δεν είναι εξακριβωμένο πόσα είδη περιλαμβάνει αυτή η ομάδα. Οι πρόγονοι του γένους *Cervus* εμφανίζονται για πρώτη φορά σε απολιθώματα τα οποία χρονολογούνται δώδεκα εκατομμύρια χρόνια πριν, κατά τη διάρκεια του Μειόκαινου, στην Ευρασία. Ένα εξαφανισμένο είδος γνωστό ως Ιρλανδική Άλκη ήταν το μεγαλύτερο μέλος της οικογένειας των ελαφιών εκείνης της περιόδου και πρόσφατες μορφολογικές μελέτες αποδεικνύουν ότι είναι συγγενικό με το σύγχρονο κόκκινο ελάφι. Συνεπώς, είναι πιθανό ότι ο πρόγονος όλων των ειδών κόκκινου ελαφιού να προερχόταν από την Κεντρική Ασία [3][4].

Ωστόσο, οι εξελίξεις στη γενετική έρευνα και οι νεότερες μελέτες, με δείγματα ελαφιών από πολλές περιοχές, έχουν δώσει νέα στοιχεία για τις ιδιαιτερότητες των τοπικών πληθυσμών. Οι Ludt *et al.* [5] καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα σημερινά ελάφια κατάγονται από κοινούς προγόνους που βρίσκονταν στην περιοχή του Κιργιστάν και της βόρειας Ινδίας και έχουν δώσει δύο διακριτές ομάδες. Αυτές διαχωρίστηκαν πριν από περίπου 7 εκατομμύρια χρόνια και θα πρέπει να θεωρούνται σήμερα διαφορετικά είδη, το ανατολικό είδος *Cervus canadensis* και το δυτικό είδος *Cervus elaphus*, το οποίο μας αφορά.

1.2.1 Περιγραφή

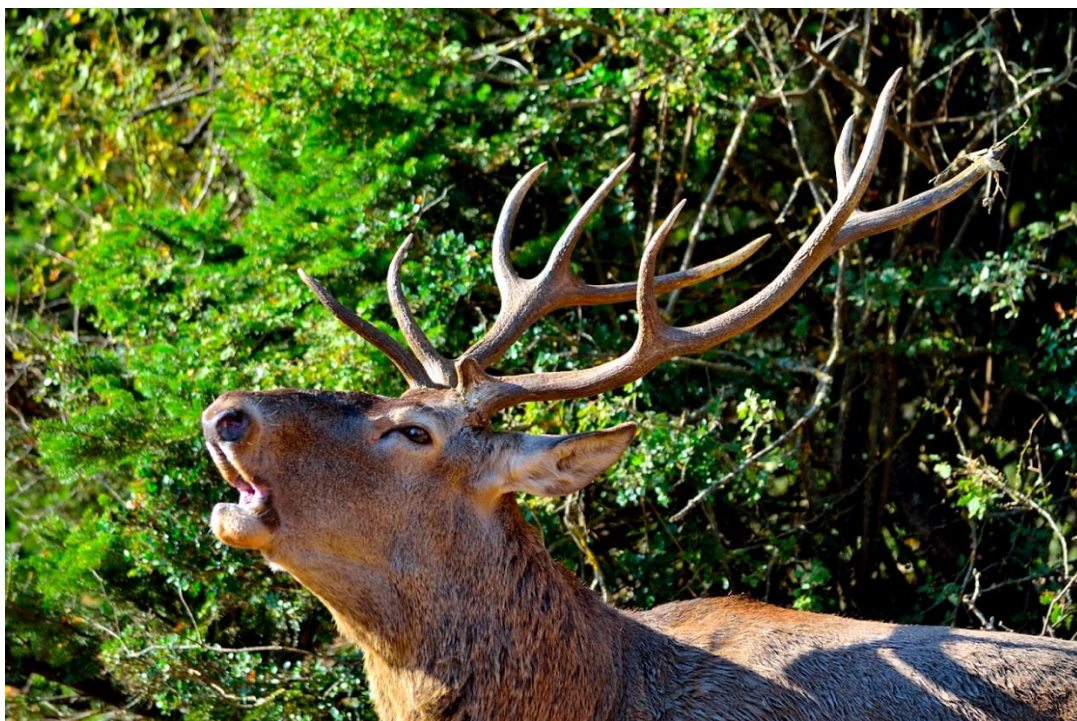
Το κόκκινο ελάφι αποτελεί το τέταρτο μεγαλύτερο είδος ελαφιού, αν και υπάρχουν διαφορές μεταξύ των υποειδών κυρίως ως προς το σωματικό μέγεθος και την ανάπτυξη των κέρατων. Το αρσενικό συνήθως έχει μήκος 175 με 250 εκατοστά και ζυγίζει 160 με 240 κιλά ενώ το θηλυκό, σαφώς μικρότερο, έχει μήκος 150 με 210 εκατοστά και ζυγίζει 120 με 170 κιλά. Η ουρά προσθέτει επιπλέον 12 με 19 εκατοστά στο μήκος ενώ το ύψος των ώμων είναι περίπου 95 με 130 εκατοστά. Μόνο τα αρσενικά άτομα έχουν κέρατα με μέσο μήκος 71 εκατοστά και βάρος 1 κιλό τα οποία αρχίζουν να αναπτύσσονται την άνοιξη και πέφτουν κάθε χρόνο περί το τέλος του χειμώνα [6].

Το κόκκινο ελάφι έχει ζήσει σε αιχμαλωσία μέχρι και 27 χρόνια, αλλά το φυσικό προσδόκιμο είναι λιγότερο από 15 χρόνια. Το φθινόπωρο το τρίχωμα τους γίνεται πιο παχύ και λειτουργεί ως μόνωση για τον επερχόμενο χειμώνα ενώ τα αρσενικά από αρκετά υποείδη αποκτούν μια μικρή χαιτή γύρω από τον λαιμό τους [2]. Το καλοκαίρι αλλάζουν τρίχωμα τρίβοντας τα σώματά τους στα δέντρα ή άλλα αντικείμενα. Το τρίχωμα του κόκκινου ελαφιού έχει διαφορετικές αποχρώσεις ανάλογα την εποχή και το ενδιαίτημά τους με το χειμωνιάτικο να είναι περισσότερο γκρι, ενώ το καλοκαιρινό πιο κόκκινο. Τέλος, όλα τα νεαρά άτομα φέρουν λευκές βούλες στο καλοκαιρινό τους τρίχωμα [7].



Εικόνα 1.2.1: Αρσενικό κόκκινο ελάφι όπου διακρίνονται τα κέρατα και η χαιτή γύρω από τον λαιμό (αριστερά) και θηλυκό κόκκινο ελάφι (δεξιά).

Τα ενήλικα κόκκινα ελάφια παραμένουν τον περισσότερο καιρό σε ομάδες του ίδιου φύλου. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αναπαραγωγής τα ώριμα αρσενικά ανταγωνίζονται για να προσελκύσουν τα θηλυκά και σε πολλές περιπτώσεις εμπλέκονται σε συγκρούσεις στις οποίες τραυματίζονται σοβαρά [8]. Από τον Αύγουστο μέχρι τις αρχές του χειμώνα τα κυρίαρχα αρσενικά ακολουθούν ομάδες μέχρι και 20 θηλυκών και τα διαφυλάσσουν από τους ανταγωνιστές τους. Την περίοδο αυτή σπάνια τρέφονται με αποτέλεσμα να χάνουν μέχρι και το 20% του βάρους τους. Τα αρσενικά τα οποία ζουν στην Ευρώπη βγάζουν έναν χαρακτηριστικό μυκηθμό [9] την περίοδο της αναπαραγωγής, κυρίως νωρίς το πρωί και αργά το βράδυ, τόσο για να προσελκύσουν τα θηλυκά όσο και για να διώξουν τα αντίζηλα αρσενικά (Εικόνα 1.2.2).



Εικόνα 1.2.2: Αρσενικό ελάφι μυκάται. Διακρίνονται σπασμένοι κλώνοι στα κέρατά του που πιθανώς προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια συγκρούσεων με άλλα αρσενικά άτομα.

Τα θηλυκά από το δεύτερο κιόλας φθινόπωρό τους μπορούν να γεννήσουν ένα ή, πιο σπάνια, δύο νεογνά ετησίως. Η περίοδος κύησης σε όλα τα υποείδη διαρκεί 240 με 262 μέρες και το νεογνό ζυγίζει περίπου 15 κιλά, το οποίο μετά από δύο βδομάδες είναι σε θέση να ενταχθεί στο κοπάδι. Απογαλακτίζεται πλήρως στους δύο μήνες ενώ παραμένει με τη μητέρα του για σχεδόν ένα χρόνο [9][10]. Τα αρσενικά ελάφια διατηρούν τα κέρατα τους για περισσότερο από έξι μήνες κατά τη διάρκεια των οποίων είναι λιγότερο κοινωνικά και δε σχηματίζουν ομάδες με άλλα ελάφια. Τα κέρατα καθώς

και το χτύπημα με τα μπροστινά πόδια, που εκτελείται και από τα δύο φύλα, αποτελούν τους μηχανισμούς άμυνας όταν δέχονται επίθεση. Όταν τα κέρατα πέσουν τα αρσενικά τείνουν να σχηματίσουν ομόφυλες ομάδες που τους επιτρέπουν να συνεργάζονται μεταξύ τους, έχοντας ένα ή περισσότερα μέλη να παρακολουθούν για πιθανούς κινδύνους ενώ τα υπόλοιπα τρέφονται ή ξεκουράζονται. Αντίστοιχα, τα θηλυκά μετά τον οίστρο σχηματίζουν μεγάλα κοπάδια έως και 50 ατόμων και τα νεογέννητα παραμένουν κοντά στις μητέρες τους [9]. Όταν πλησιάζουν θηρευτές τα μεγαλύτερα και πιο ισχυρά θηλυκά προστατεύουν το κοπάδι. Εκτός από τον άνθρωπο και τα σκυλιά, ο πιο επικίνδυνος θηρευτής που μπορεί να συναντήσει το κόκκινο ελάφι της Ευρώπης είναι ο γκριζός λύκος και περιστασιακά η καφέ αρκούδα.

1.2.2 Οικολογία και ενδιαίτημα

Το κόκκινο ελάφι προτιμάει μικτά δάση πλατύφυλλων ή κωνοφόρων δέντρων με πολλά διάκενα και χωρίς υποόροφο καθώς και παραποτάμιες και αλπικές περιοχές μακριά από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τρέφεται με βλαστούς, οφθαλμούς, φύλλα και καρπούς θάμνων και δέντρων καθώς και με πόες. Ανάλογα με την εποχή του έτους είναι δυνατό να μετακινείται σε διάφορα υψόμετρα, από το ύψος της θάλασσας έως, αρκετές φορές, και πάνω από τα δασοόρια. Συνήθως βρίσκεται σε ορεινές περιοχές, όπου περνάει το καλοκαίρι στα αλπικά λιβάδια και το χειμώνα σε κοιλάδες, ενώ συνήθως μεταναστεύει από περιοχές με βαθύ χιόνι. Τα δέντρα και οι θάμνοι παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του από τους θηρευτές αλλά και ως σημαντική πηγή τροφής κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το μέγεθος του ζωτικού του χώρου κυμαίνεται από 2,500 έως 10,000 στρέμματα, με τη μικρότερη έκταση σε μεσογειακά ενδιαιτήματα [11][12].

1.2.3 Γεωγραφική εξάπλωση, πληθυσμός και απειλές

Το κόκκινο ελάφι έχει ευρεία γεωγραφική εξάπλωση (Εικόνα 1.2.3) που εκτείνεται από την Ευρώπη και τη Βόρειο Αφρική μέχρι την Κεντρική Ασία, τη Σιβηρία, την Άπω Ανατολή και τη Βόρειο Αμερική [13][14][15]. Παλαιότερα ήταν διαδεδομένο στον Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά τώρα έχει περιοριστεί κυρίως στη βορειοδυτική Αμερική με μικρούς πληθυσμούς να έχουν επανεισαχθεί σε άλλες περιοχές [16]. Στην Ευρώπη, αν και αποσπασματικά, υπάρχει σχεδόν σε όλες τις ηπειρωτικές χώρες καθώς και σε κάποια νησιά όπως οι Βρετανικοί Νήσοι και η Σαρδηνία, ενώ απουσιάζει από τη Σκανδιναβία και την Ευρωπαϊκή Ρωσία. Το κόκκινο

ελάφι είναι το μόνο μέλος της οικογένειας Cervidae που υπάρχει στην Αφρική, με τον πληθυσμό του να έχει επίκεντρο την οροσειρά του Άτλαντα στο βορειοδυτικό τμήμα της ηπείρου και συγκεκριμένα στο Μαρόκο, την Αλγερία και την Τυνησία. Επίσης, το συγκεκριμένο είδος έχει εισαχθεί στην Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία, την Αργεντινή και τη Χιλή. Μάλιστα, στις δύο τελευταίες χώρες η εισαγωγή του είχε αρνητικές επιπτώσεις στα ενδημικά είδη, όπως το ελάφι των Νότιων Άνδεων [11].



Εικόνα 1.2.3: Γεωγραφική εξάπλωση του κόκκινου ελαφιού (IUCN)

Στον διεθνή κατάλογο απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών βρίσκεται στην κατηγορία «Μειωμένου Ενδιαφέροντος - *Least concerned - LR*», διότι είναι άφθονο σε αρκετές από τις περιοχές της σημερινής του εξάπλωσης. Σε τμήματα της Βορείου Αμερικής, όπου έχουν εκτοπιστεί οι θηρευτές του, οι πληθυσμοί του διαχειρίζονται με την άσκηση θήρας, ενώ είναι τόσο κοινό σε ορισμένες περιοχές ώστε να θεωρείται επιβλαβές στις δασικές φυτείες. Ωστόσο, οι πληθυσμοί του κατακερματίζονται συνεχώς σε κάποιες άλλες περιοχές όπως η Βόρεια Αφρική, η κεντρική Ευρώπη, οι δυτικές ΗΠΑ και ο Καναδάς, ενώ από κάποιες περιοχές έχει εκλείψει. Συγκεκριμένα, οι πληθυσμοί της Βορείου Αφρικής συνεχώς μειώνονται και από τα οκτώ υποείδη που υπάρχουν στην Κίνα τα πέντε βρίσκονται σε καθεστώς κινδύνου [17].

Η κύρια απειλή είναι η ανάμιξη διαφορετικών υποειδών από τη Βόρεια Αμερική (*wariti*) και την Ασία στην Ευρώπη και αντίστροφα καθώς και ο υβριδισμός με το ιαπωνικό ελάφι *Cervus nippon* (Sika deer) [15]. Η εισαγωγή ζώων από τη Βόρεια Αμερική στην Ευρώπη είχε επίσης ως αποτέλεσμα να εξαπλωθούν παράσιτα και αρρώστιες σε υποπληθυσμούς που δεν είχαν αντιμετωπίσει κάτι παρόμοιο στο παρελθόν (π.χ. σκώληκες ήπατος). Επίσης, η υπερθήρευση για το βελούδο των κλαδοκεράτων, που έχει μεγάλη αξία σε παραδοσιακές ιατρικές εφαρμογές, τα γεννητικά όργανα του αρσενικού, τα έμβρυα, τις ουρές των θηλυκών ή ακόμα και για τροφή έχει οδηγήσει σε μείωση των πληθυσμών σε κάποιες χώρες. Τέλος, η απώλεια βιοτόπων εξαιτίας της εντατικοποίησης της γεωργίας και της αστικοποίησης πιέζουν σε ορισμένες περιοχές κάποια υποείδη. Ωστόσο δεν θεωρούνται προς το παρόν σοβαρές απειλές για το είδος συνολικά.

1.2.4 Το κόκκινο ελάφι στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το κόκκινο ελάφι (*Cervus elaphus*) μαζί με το ζαρκάδι (*Capreolus capreolus*) και το πλατόνι (*Dama dama*) είναι τα μοναδικά είδη της οικογένειας Cervidae που η παρουσία τους είναι επιβεβαιωμένη κατά τους ιστορικούς χρόνους. Το κόκκινο ελάφι είναι το μεγαλύτερο φυτοφάγο ζώο της Ελλάδας και ως αναπόσπαστο στοιχείο της ελληνικής φύσης μπορεί να παίζει ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση και την εξέλιξη των οικοσυστημάτων, ειδικά στις μέρες μας όπου η ελεύθερη κτηνοτροφία σταδιακά εγκαταλείπεται [17].

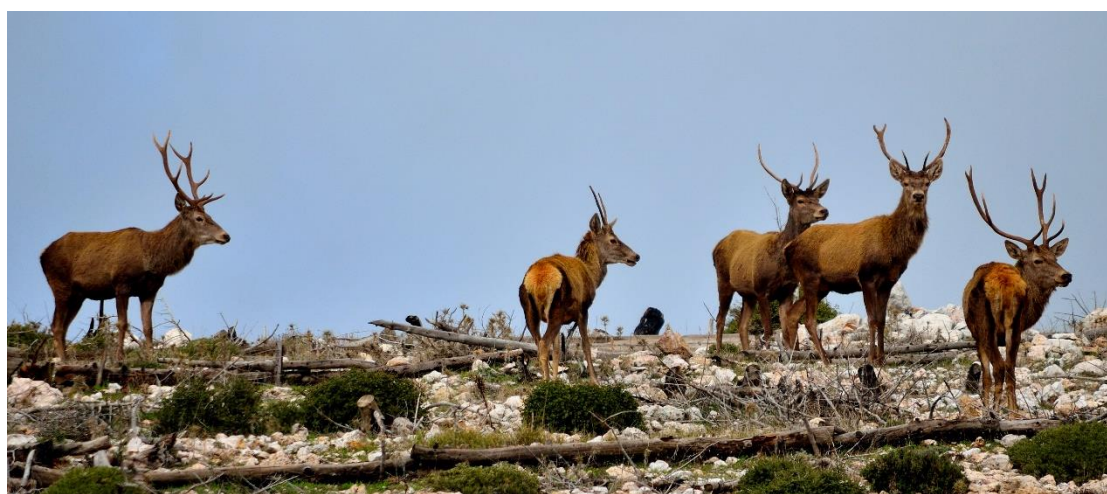
Το κόκκινο ελάφι ζούσε κάποτε σε ολόκληρη σχεδόν την ηπειρωτική Ελλάδα. Μέσα σε λίγες δεκαετίες οι πληθυσμοί του συρρικνώθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε το είδος βρέθηκε στην κατηγορία των απειλούμενων ζώων της χώρας. Στα τέλη του 20ου αιώνα τα ελάφια περιορίστηκαν στη χερσόνησο της Σιθωνίας, στην ορεινή περιοχή της Ροδόπης και στην Πάρνηθα ενώ μικροί αριθμοί φυλάσσονταν σε εκτροφεία. Τη δεκαετία του '90 ο πληθυσμός των ελαφιών της Σιθωνίας αφανίστηκε εξαιτίας της διάνοιξης ορεινών δρόμων που διευκόλυναν το έργο των λαθροκυνηγών [17][18].

Στην πρώτη έκδοση του Κόκκινου Βιβλίου των απειλούμενων σπονδυλόζωων της Ελλάδας [19] το ελάφι είχε συμπεριληφθεί στην κατηγορία των «*Κινδυνεύοντων – Endangered - E*». Ωστόσο, στην πρόσφατη αναθεώρηση του καταλόγου [12], λόγω της επιπρόσθετης μείωσης του πληθυσμού του, το ελάφι *Cervus elaphus* χαρακτηρίζεται ως «*Κρισίμως Κινδυνεύον – Critically Endangered - CR*».

Το λαθραίο κυνήγι είναι η πιο σημαντική απειλή για το κόκκινο ελάφι στην Ελλάδα και ουσιαστικά περιορίζει την εξάπλωση του είδους στη χώρα. Επιπρόσθετα, η απώλεια βιοτόπων εξαιτίας της εντατικοποίησης της γεωργίας και της επέκτασης των οικιστικών εκτάσεων περιορίζει τα διαθέσιμα ενδιαίτηματα για το είδος ενώ εμποδίζει τη φυσική διασπορά του σε νέους βιότοπους [17].

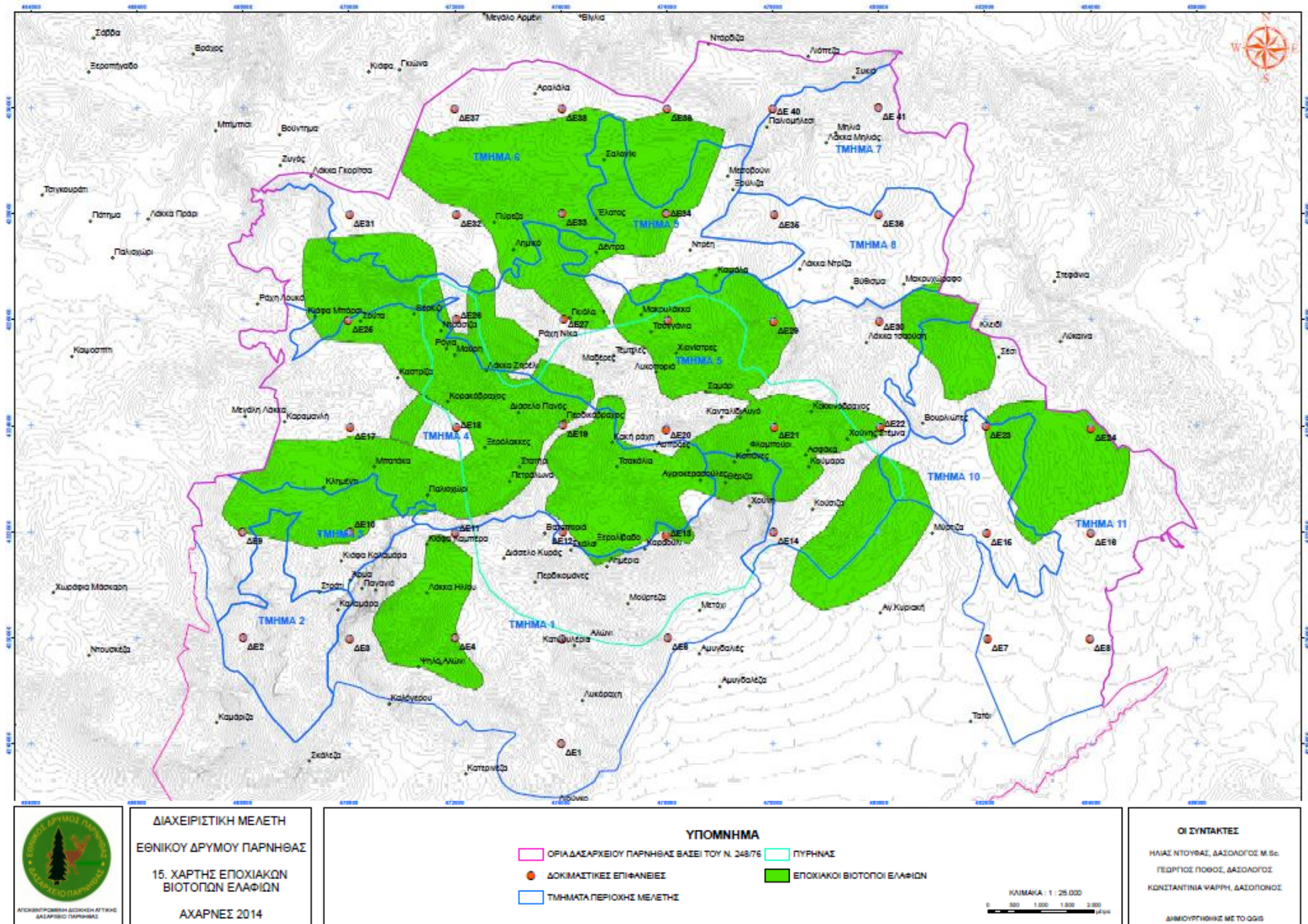
1.2.5 Το κόκκινο ελάφι της Πάρνηθας

Το κόκκινο ελάφι είναι το πιο αντιπροσωπευτικό είδος θηλαστικού που απαντάται στη Πάρνηθα (Εικόνα 1.2.4), όπου ζει και αναπαράγεται σε φυσικό περιβάλλον. Το κόκκινο ελάφι, αν και υπάρχει σε όλη την έκταση του Δρυμού, αλλάζει βιότοπους ανάλογα την εποχή (Εικόνα 1.2.5). Το καλοκαίρι παραμένει σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο ενώ τον χειμώνα κατεβαίνει μέχρι και στους πρόποδες της Πάρνηθας για αναζήτηση τροφής. Τρέφεται κυρίως με πόες, νεαρά κλαδιά από θάμνους και δένδρα, καρπούς, φρούτα και μανιτάρια. Παραμένει κοντά σε πηγές και ρέματα, που υπάρχουν άφθονα στον Δρυμό, και του αρέσουν πολύ οι λάσπες, στις οποίες κυλιέται για να αποβάλλει τα παράσιτα [1].



Εικόνα 1.2.4: Ομόφυλη ομάδα αρσενικών σε καμένη περιοχή της Πάρνηθας

Η πιο παλιά μαρτυρία κόκκινου ελαφιού στην Πάρνηθα προέρχεται από τον Γερμανό βοτανικό και φυσιολόγο Theodor Heldreich, που έζησε στην Ελλάδα το διάστημα 1851-1902. Επιπρόσθετα, στο βιβλίο «Η ιστορία της Πάρνηθας» [20], του Τάσου Στεφάνου, υπάρχει φωτογραφία που χρονολογείται στη δεκαετία του 1900, όπου απεικονίζονται Αθηναίοι κυνηγοί και ο πρίγκιπας Γεώργιος με ένα σκοτωμένο ελάφι στη θέση Λυκόρεμα της Δυτικής Πάρνηθας.



Εικόνα 1.2.5: Χάρτης εποχικών βιοτόπων του κόκκινου ελαφιού στην Πάρνηθα

Το 1908 στο βασιλικό τότε κτήμα Τατοΐου, με σκοπό τον εμπλουτισμό της περιοχής, έγινε εισαγωγή από τη Δανία συνολικά 10 ελαφιών (8 θηλυκών, 2 αρσενικών) [21]. Το μεγαλύτερο ποσοστό θηλυκών ήταν βασική προϋπόθεση για τη γρηγορότερη και αποτελεσματικότερη σταθεροποίηση του ήδη υπάρχοντος φυσικού πληθυσμού. Η εγκατάστασή τους έγινε στο βορειοανατολικό τμήμα του Τατοΐου, σε περιφραγμένη ζώνη με συνολική έκταση 50 στρέμματα, όπου και παρέμειναν 2 χρόνια υπό στενή παρακολούθηση της υγιεινής τους κατάστασης. Το 1913, για την ανανέωση του γενετικού υλικού, εισήχθησαν άλλα 6 άτομα από την ίδια περιοχή της Δανίας. Την περίοδο 1919 με 1920, σε αρκετά μεγάλη έκταση (4,000 εκτάρια περίπου), αφέθηκαν ελεύθερα περίπου 150 ελάφια. Η ταχεία εξέλιξη του πληθυσμού είχε ως αποτέλεσμα την επέκτασή τους προς τη νοτιοδυτική πλευρά, καταλαμβάνοντας συνεχώς μεγαλύτερες εκτάσεις. Μέχρι το 1974 δεν υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία, με μικρή εξαίρεση ίσως τις πληροφορίες για νέες εισαγωγές ατόμων από διάφορα μέρη της Ελλάδος όπως και από τη Γιουγκοσλαβία (1958) και την Βουλγαρία (1962) πιθανόν για την αποφυγή των δυσάρεστων συνεπειών της συγγενούς διασταύρωσης. Το 1974 αναφέρεται ότι στην περιοχή Καταρράκτες Μπαφίου, μετά από πυρκαγιά μεγάλης έκτασης (1,300 εκτάρια κωνοφόρων δασών), βρέθηκαν πάνω από 200 αποτεφρωμένα ελάφια [17].

Ο σημερινός πληθυσμός της Πάρνηθας λοιπόν περιλαμβάνει και άτομα που εισήχθησαν τον περασμένο αιώνα από τη Δανία, την πρώην Γιουγκοσλαβία και τη Βουλγαρία και μέχρι πρόσφατα δεν ήταν βέβαιο αν τα γηγενή ελάφια, που προϋπήρχαν με βάση τις μαρτυρίες των Heldreich και Στεφάνου, είχαν ήδη εξαφανιστεί την περίοδο αυτή [18]. Ωστόσο, σύμφωνα με τους μελετητές, όλα τα ζώα που επανεισήχθησαν θεωρείται ότι ανήκουν στο ίδιο υποείδος με το ελληνικό (*Cervus elaphus hippelaphus*). Τη θεωρία αυτή επιβεβαίωσε η μελέτη για τη γενετική ταυτότητα των ελαφιών της Πάρνηθας που πραγματοποιήθηκε από τον Τομέα Γενετικής, Ανάπτυξης και Μοριακής Βιολογίας του Τμήματος Βιολογίας του Α.Π.Θ. για λογαριασμό του Φορέα Διαχείρισης Πάρνηθας [23]. Η εν λόγω έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα πως στην Πάρνηθα συμβιώνουν ο γηγενής πληθυσμός μαζί με έναν εισαγμένο.

Στο Σχέδιο Διαχείρισης του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας του 1997 [21] ο πληθυσμός των ελαφιών την περίοδο 1993 με 1994 αποτελούταν από περίπου 150 ζώα. Η WWF Ελλάς στην ετήσια αναφορά του προγράμματος «Έρευνα οικολογίας ελαφιών Πάρνηθας» [22], όπου και έγινε προσπάθεια υπολογισμού του αριθμού των ελαφιών

μέσω της απογραφής από εποπτικές θέσεις και της καταγραφής των κοπροσωρών και των μυκηθμών, αναφέρει την ύπαρξη περίπου 500 με 600 ατόμων το 2009. Ωστόσο, η αναλογία αρσενικών και θηλυκών ατόμων ήταν μόλις 1:1 και το 50% των θηλυκών βρέθηκαν άτεκνα κατά την περίοδο ανατροφής των νεογνών. Στο πρόσφατο σχέδιο διαχείρισης [1] ο πληθυσμός υπολογίζεται στα 1000 με 1300 άτομα το 2015. Ο αριθμός αυτός είναι μικρός, διότι εάν λάβει κανείς υπόψη τη μέχρι πρότινος έλλειψη θηρευτών και την απόλυτη προστασία των ελαφιών στον Εθνικό Δρυμό θα αναμενόταν μια γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος της WWF Ελλάς ένα τουλάχιστον περιστατικό λαθραίου κυνηγιού αποκαλύφθηκε στις Αρχές και στα μέσα ενημέρωσης στην ανατολική περιοχή της Πάρνηθας, όπου θα περίμενε κανείς ένα αυστηρό πλαίσιο ελέγχου. Επίσης, βρέθηκαν εντόσθια ζώου στην περιοχή Λοιμικού (χωρίς τομάρι ή άλλα μέρη) ενώ έχουν γίνει πολλές αναφορές κατοίκων για έντονο λαθραίο κυνήγι στις δυτικές περιοχές [17]. Μάλιστα, λόγω της έντονης επισκεψιμότητας του δρυμού, ακόμα και κατά τις βραδινές ώρες, έχουν αλλοιωθεί σημαντικά τα φυσικά αντανακλαστικά των ελαφιών ενώ πολλά από αυτά έχουν εξοικειωθεί με την ανθρώπινη παρουσία και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά εξημέρωσης. Αυτό τα καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτα απέναντι σε κάθε κακόβουλη ενέργεια και ιδιαίτερα στους επίδοξους λαθροκυνηγούς. Η μεγάλη έκταση στην οποία διασπείρονται τα ζώα τον χειμώνα (περίπου από τη Λ. Μαραθώνα έως το όρος Πάστρα) και η ελλιπής φύλαξη καθιστούν πιο εύκολη τη λαθροθηρία, η οποία είναι η κυριότερη αιτία που εξακολουθεί να πιέζει αρνητικά τον πληθυσμό.

Επιπρόσθετα στην έλλειψη αυστηρού ελέγχου του λαθραίου κυνηγιού, εγκαταλελειμμένα σκυλιά οδηγούνται συχνά στην απελπισμένη επιλογή θήρευσης ελαφιών στην περιοχή του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας [17]. Η πρόσφατη επανεμφάνιση λύκων αποτελεί έναν ακόμα ανασταλτικό παράγοντα για τον πολλαπλασιασμό του είδους.

Επίσης, η σχετική ακαταλληλότητα αρκετών ζωνών (υπερβοσκημένα ενδιαιτήματα, μονοκαλλιέργειες, φαρδύς τσιμεντένιος αγωγός μεταφοράς νερού, δρόμοι και οικιστικές εκτάσεις) κάνουν πρακτικά αδύνατη τη φυσική διασπορά των ζώων της Πάρνηθας προς τα βουνά του Κιθαιρώνα και του Ελικώνα και από εκεί στα μεγάλα βουνά της Ρούμελης και της Πίνδου, που θα μπορούσαν θεωρητικά να φιλοξενήσουν πληθυσμούς ελαφιών [17].

Μια ακόμα απειλή που αντιμετωπίζει το ελάφι είναι ο κίνδυνος της αιμομιξίας και επομένως της γενετικής υποβάθμισης. Αυτό συμβαίνει επειδή η Πάρνηθα είναι γεωγραφικά αποκομμένη από άλλες περιοχές που φιλοξενούν φυσικούς πληθυσμούς και ο πληθυσμός της ζει απομονωμένος για περίπου 50 χρόνια. Ακόμα και στο εκτροφείο θηραμάτων η τελευταία εισαγωγή αρσενικού ξένης προέλευσης έγινε πριν 35 χρόνια από τη Γιουγκοσλαβία.

Στον γενετικό εκφυλισμό του είδους συμβάλει και το γεγονός ότι λόγω της έντονης ανθρώπινης παρουσίας στον δρυμό (επισκέπτες, οχήματα, υλοτομίες κ.τ.λ.) πολλά ελάφια αναγκάζονται να καταφύγουν στις πιο απομακρυσμένες θέσεις αναζητώντας ηρεμία. Αντί λοιπόν για τα φυσικά λιβάδια, τα ελάφια συγκεντρώνονται κατά μικρές ομάδες σε βαθιά και απόμερα ρέματα, όπου τρέφονται με τροφή κατώτερης ποιότητας. Σε αυτό συνέβαλε και η πυρκαγιά του 2007 καταστρέφοντας σημαντικούς βιοτόπους τους με αποτέλεσμα την αναγκαστική μετακίνησή τους σε περιοχές λιγότερο ευνοϊκές για εύρεση τροφής και καταφυγίων. Παράλληλα, σε αυτές τις ομάδες παρατηρείται έλλειψη αρσενικών ατόμων. Συνεπώς, το ζευγάριμα δε γίνεται με τα πιο κατάλληλα και ικανά αρσενικά, επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό τη γενετική ποιότητα της επόμενης γενιάς.

Ωστόσο, εκτός από τις απειλές που αντιμετωπίζει το ελάφι της Πάρνηθας, ίσως να απειλεί και το ίδιο από την πλευρά του τον δρυμό. Οι αναφορές για αρνητική επίδραση των ελαφιών στη βλάστηση, ιδιαίτερα πληθυσμών που ενισχύονται από τον άνθρωπο, είναι δεδομένη για πολλές περιπτώσεις δασικών και αγροτικών καλλιεργειών σε περιοχές της Ευρώπης και της Αμερικής, όπου απουσιάζουν οι φυσικοί θηρευτές. Βέβαια, η επίδραση του φαινομενικά αυξανόμενου πληθυσμού ελαφιών στην προστατευόμενη περιοχή του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας δεν είναι επακριβώς γνωστή. Η μέχρι πρόσφατα απουσία για παράδειγμα των μεγάλων θηρευτών (λύκος, αρκούδα) που υπήρχαν παλαιότερα, αλλά έχουν αφανιστεί σήμερα, δημιουργεί εύλογα ερωτήματα για την πιθανή πίεση που μπορεί να ασκήσουν τα βόσκοντα ελάφια στην προστατευόμενη βλάστηση και ίσως στη χλωρίδα της περιοχής. Από την άλλη πλευρά, δεν έχει αξιολογηθεί ακόμη η «οικολογική» σημασία των ελαφιών, που παραδοσιακά ανήκαν στην ελληνική πανίδα, και ιδιαίτερα στη διαμόρφωση του τοπίου της Πάρνηθας όπου, λόγω της ανακήρυξης της περιοχής σε Εθνικό Δρυμό, έχουν υποχρεωτικά απομακρυνθεί όλα τα βόσκοντα κτηνοτροφικά ζώα.

Η βόσκηση καθώς και οι ήπιες αγροτικές δραστηριότητες κατά το παρελθόν συνέβαλαν στο να δημιουργηθεί μια ξεχωριστή ποικιλία ενδιαιτημάτων στο περιβάλλον της Πάρνηθας, δημιουργώντας μωσαϊκό οικοτόπων, απομεινάρι του οποίου είναι σήμερα τα μεγάλα ξέφωτα και λιβάδια του βουνού (Σαλονίκι, Λοιμικό, Μόλα, Παλαιοχώρι, Μεγάλη Λάκα, Μηλιά κ.τ.λ.). Εάν η φύση αφηθεί στους «φυσικούς» της ρυθμούς, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, μπορούμε να περιμένουμε ίσως μια ομογενοποίηση του τοπίου με τα πυκνά δάση και τους θαμνώνες να καταλαμβάνουν κάθε σπιθαμή εδάφους. Η βόσκηση και η κατά θέσεις «υπερβόσκηση» των ελαφιών είναι πιθανό να βοηθήσει στην οπισθοδρόμηση της διαδικασίας ομογενοποίησης και στη διατήρηση μεγαλύτερης βιοποικιλότητας [17].

Η επίδραση της δραστηριότητας των ελαφιών στη βλάστηση δεν θα πρέπει λοιπόν να θεωρείται εξ ορισμού αρνητική αλλά θα πρέπει βέβαια να παρακολουθείται στενά. Σχετική έρευνα πραγματοποιήθηκε από τη WWF το 2009 τα αποτελέσματα της οποίας [22] υποδεικνύουν ότι προς το παρόν τα ελάφια δεν επηρεάζουν αρνητικά το άκαυτο ελατόδασος. Σε πολύ λίγες θέσεις παρατηρείται ελάχιστη «σημειακή πίεση» που είναι αναμενόμενη σε ένα ζωντανό οικοσύστημα το οποίο περιλαμβάνει φυσικούς βοσκητές. Επίσης, φαίνεται να μην επηρεάζουν αρνητικά ούτε την ανάπτυξη των κωνοφόρων δενδρυλλίων των αναδασώσεων. Αυτό ήταν μάλλον αναμενόμενο για τα δενδρύλλια Μαύρης Πεύκης (*Pinus nigra*), αφού στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως ένα από τα λιγότερο προτιμώμενα δένδρα από τα ελάφια. Αν και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες σημειώνονται συχνά κορφολογήματα της Λευκής Ελάτης (*Abies alba*) από τα ελάφια, τα ζώα είναι πιθανό να αποφεύγουν την Κεφαλληνιακή Ελάτη (*Abies cephalonica*) της Πάρνηθας, που χαρακτηρίζεται από οξέα φύλλα. Τέλος, ενδεικτική είναι και η έλλειψη «στάθμης βοσκής» (*browse line*) στα ελατόδενδρα, η οποία συνήθως είναι πολύ εύκολα αντιληπτή σε δάση που δέχονται μεγάλη πίεση από τα ελάφια και άλλα κτηνοτροφικά ζώα (π.χ. είναι φανερή στον Κιθαιρώνα, όπου υπάρχουν κτηνοτροφικά ζώα). Στην Πάρνηθα, περιορισμένη «στάθμη βοσκής» παρατηρείται κατά θέσεις σε πλατύφυλλα δένδρα, κυρίως δρυς και γκορτσιές και δευτερευόντως σε φιλλύκια, ενώ απουσιάζει χαρακτηριστικά από το ελατόδασος.

Η ίδια έρευνα [22] αναφέρει πως πίεση από τα ελάφια παρουσιάστηκε στα λιγοστά δενδρύλλια δρυός που φυτεύτηκαν σε περιορισμένες θέσεις. Το μεγαλύτερο μέρος των αναδασώσεων ωστόσο προβλέπεται να γίνει με δενδρύλλια κωνοφόρων δένδρων που, ούτως ή άλλως, κυριαρχούσαν στο δάσος πριν την πυρκαγιά του 2007. Βέβαια, δεν

αποκλείεται στο μέλλον να υπάρξει αρνητική επίδραση από τα ελάφια στα δενδρύλλια των αναδασώσεων, ιδιαίτερα εάν τα ζώα αναγκαστούν να παραμείνουν στις καμένες περιοχές ή να προσελκυστούν σε αυτές με παροχή νερού, τροφής κ.τ.λ.. Για τον λόγο αυτό απαιτείται τακτική εφαρμογή του ελέγχου των επιπτώσεων της δραστηριότητας των ελαφιών στη βλάστηση ώστε να διαγνωστεί έγκαιρα κάποια ιδιαίτερα αρνητική επίδραση των ζώων. Επιπρόσθετα, σχετικές έρευνες θα πρέπει να επικεντρωθούν στο θέμα με σκοπό να οργανωθούν πιο αποτελεσματικά σχέδια διαχείρισης που θα εξασφαλίζουν τη διατήρηση των μεγάλων φυτοφάγων σε συνδυασμό με άλλα «οφέλη» όπως η βιοποικιλότητα και η «αντιτυρική προστασία».

Συνοψίζοντας, ο πληθυσμός της Πάρνηθας υπέστη σοβαρή θνησιμότητα καθώς και σοβαρή καταστροφή του ενδιαιτήματός του κατά την πυρκαγιά του 2007. Στην πυρκαγιά αυτή καταστράφηκε και το εκτροφείο έκτασης 300 στρεμμάτων που είχε ιδρυθεί για τη διατήρησή του. Παρ' όλα αυτά ο πληθυσμός αυτός βρίσκεται υπό προστασία και είναι σήμερα ο πιο ακμαίος της χώρας. Επίσης, εάν θεωρήσουμε ότι ο πληθυσμός των ελαφιών της Ροδόπης έχει άμεση επικοινωνία και σχέση με τα ελάφια της γειτονικής Βουλγαρίας, ο πληθυσμός της Πάρνηθας είναι ο μόνος που μπορεί να διατηρεί κάποια αρχέγονα γονίδια των γηγενών ελαφιών [18] και για αυτό χρήζει ιδιαίτερης προστασίας.

1.3 Νευρωνικά δίκτυα

Με τον όρο *τεχνητό νευρωνικό δίκτυο* (ΤΝΔ) εννοούμε κάθε αρχιτεκτονική υπολογισμού η οποία περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό διασυνδεδεμένων νευρωνικών επεξεργαστών και απομιμείται τη λειτουργία και τις ιδιότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου. Συνεπώς, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο ή απλά ένα νευρωνικό δίκτυο (ΝΔ) έχει την ικανότητα να μαθαίνει από εμπειρίες, να γενικεύει την υπάρχουσα γνώση και να εκτελεί λογικές αφαιρέσεις [24].

Τα ΝΔ είναι συστήματα μεγάλης κλίμακας τα οποία περιέχουν έναν μεγάλο αριθμό μη γραμμικών επεξεργαστών ειδικού τύπου, τους *νευρώνες*. Κάθε ΝΔ χαρακτηρίζεται από μία κατάσταση, ένα σύνολο εισόδων με βάρη που προέρχονται από άλλους νευρώνες και μία εξίσωση η οποία περιγράφει τη δυναμική λειτουργία του. Τα βάρη του ΝΔ ανανεώνονται μέσω μιας διαδικασίας μάθησης (εκπαίδευσης) που πραγματοποιείται με την ελαχιστοποίηση κάποιας συνάρτησης κόστους. Οι βέλτιστες τιμές των βαρών

αποθηκεύονται ως δυνάμεις μεταξύ των νευρώνων και χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση της εργασίας για την οποία προορίζεται το ΝΔ.

Τα ΝΔ εκτελούν μη συμβολική επεξεργασία πληροφορίας η οποία βασίζεται στη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και επικαλούνται την ιδέα της μοντελοποίησης *μαύρου κουτιού*, χρησιμοποιώντας μοντέλα που εμπνέονται από τη βιολογία και τη νευροφυσιολογία. Για τη χρήση των μοντέλων αυτών διατίθενται μέθοδοι (εργαλεία) που υλοποιούν πολύπλοκες συναρτήσεις και λειτουργίες. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών δεν απαιτεί ρητή γνώση, σε αντίθεση με ότι ισχύει κατά την εφαρμογή συμβολικών μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίες στηρίζονται στη λογική. Στα συμβολικά συστήματα της τεχνητής νοημοσύνης η γνώση αναπαρίσταται ρητά με κανόνες παραγωγής. Στη μη συμβολική προσέγγιση δε δίνεται η υπό εξέταση σχέση ρητά, αλλά κωδικοποιείται στη δομή του ΝΔ.

Σκοπός της παραγράφου αυτής είναι να παρουσιάσει συνοπτικά τις βασικές έννοιες των ΝΔ αρχίζοντας με μία σύντομη ιστορική αναδρομή. Κατόπιν, αναλύονται τα μοντέλα βιολογικού και τεχνητού νευρώνα, οι αρχιτεκτονικές των νευρωνικών δικτύων και οι τύποι της νευρωνικής μάθησης.

1.3.1 Ιστορική αναδρομή

Το ανθρώπινο μυαλό αποτελεί αντικείμενο έρευνας εδώ και χιλιάδες χρόνια. Με την ανάπτυξη όμως των σύγχρονων ηλεκτρονικών ο άνθρωπος προσπάθησε να μιμηθεί τον ανθρώπινο εγκέφαλο και τις νοητικές του διεργασίες. Η πρώτη αναφορά στα νευρωνικά δίκτυα χρονολογείται το 1936, όταν ο *Alan Turing*, ένας Βρετανός μαθηματικός, διατύπωσε τις αρχές για τον προσδιορισμό του τι είναι και τι δεν είναι υπολογίσιμο και έγραψε για τον τρόπο που πραγματοποιεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος υπολογισμούς με τη χρήση των νευρώνων [25]. Ένας ακόμα μαθηματικός, ο *John von Neumann*, επίσης αναφέρθηκε στα νευρωνικά δίκτυα ως έναν τρόπο πραγματοποίησης υπολογισμών ο οποίος προκύπτει από τη δομή του δικτύου αυτή καθαυτή.

Ο *Norbert Wiener*, το όνομα του οποίου συνδέεται με τον ορισμό της κυβερνητικής, σκέφτηκε ότι η βασική δομή για την κατανόηση των μαθηματικών υπολογισμών, τόσο στον ανθρώπινο εγκέφαλο όσο και στη μηχανή, είναι ένας συνδυασμός λογικής και δικτυακής δομής. Όμως, λόγω του ότι η αλγοριθμική μέθοδος ως τότε θεωρούνταν αποτελεσματική, η θεωρία για τα νευρωνικά δίκτυα έμεινε αδρανής για μεγάλο χρονικό διάστημα [26].

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη των ΝΔ έγινε το 1943 από τον νευροφυσιολόγο *Warren McCulloch* και τον μαθηματικό *Walter Pitts*, οι οποίοι πρότειναν ένα μοντέλο για το θεμελιώδες κύτταρο του εγκεφάλου, τον νευρώνα, και κατασκεύασαν ένα πρωταρχικό ΝΔ, χρησιμοποιώντας απλά ηλεκτρικά κυκλώματα, αποδεικνύοντας έτσι ότι ένα δίκτυο νευρώνων μπορεί να πραγματοποιήσει υπολογισμούς, με άλλα λόγια να μιμηθεί οποιαδήποτε υπολογιστική μηχανή [27].

Άλλο ένα σημαντικό βήμα για την εξέλιξη των ΝΔ πραγματοποιήθηκε το 1949 από τον *Donald Hebb* με τη δημοσίευση του βιβλίου του «*The Organization of Behavior*» [28], στο οποίο προτείνει έναν συγκεκριμένο μηχανισμό μάθησης για τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Σύμφωνα με τον *Hebb* η μάθηση πραγματοποιείται μέσω της τροποποίησης των βαρών των συναπτικών συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων ούτως ώστε, όταν δύο νευρώνες τείνουν να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα το βάρος της μεταξύ τους σύναψης πρέπει να αυξηθεί. Αυτός ο κανόνας μάθησης αποτελεί ακόμα τη βάση για την εκπαίδευση ορισμένων απλών ΝΔ.

Το πρώτο νευρωνικό δίκτυο, γνωστό ως *Perceptron*, κατασκευάστηκε το 1958 από τον *Frank Rosenblatt* και βασιζόταν στο νευρωνικό μοντέλο των *McCulloch* και *Pitts*. Το ΝΔ αυτό αποτελείτο από έναν πίνακα φωτοϋποδοχέων οι οποίοι δρούσαν ως εξωτερικές εισοδοί και χρησιμοποιούσε μηχανοκίνητα ποτενσιόμετρα για να παρέχει προσαρμοζόμενες συναπτικές συνδέσεις που είχαν τη δυνατότητα να διατηρήσουν μία γνωστή ρύθμιση. Σε πολλές περιπτώσεις το *Perceptron* μπορούσε να εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να διακρίνει χαρακτήρες και σχήματα τα οποία παρουσιάζονταν στην είσοδο. Παρόμοια δίκτυα μελετήθηκαν από τον *Widrow*, ο οποίος ανέπτυξε το *ADALINE (ADaptive LINear Element)* και μία αντίστοιχη διαδικασία εκμάθησης, τον κανόνα μάθησης *Widrow – Hoff*, που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα για την ακύρωση της ηχούς σε τηλεφωνικά καλώδια μεγάλων αποστάσεων [29].

Τη δεκαετία του '70 υπήρξε μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα πάνω στα νευρωνικά δίκτυα μεγάλο μέρος της οποίας χαρακτηριζόταν από έλλειψη αυστηρότητας, περίσσια αλχημεία καθώς και υπερβολικές απαιτήσεις σε σχέση με τις δυνατότητες και τη βραχυπρόθεσμη προοπτική της τεχνολογίας. Παρά τις αρχικές επιτυχίες, η δυναμική στον τομέα άρχισε να υποχωρεί προς το τέλος της δεκαετίας, καθώς προέκυψε μια σειρά δύσκολων προβλημάτων τα οποία δεν μπορούσαν να επιλυθούν με τους διαθέσιμους αλγόριθμους. Επιπρόσθετα, τα νευρωνικά δίκτυα δέχτηκαν σκληρή κριτική με επίκεντρο το βιβλίο «*Perceptrons*» [30], των *Minsky* και *Papert*, από

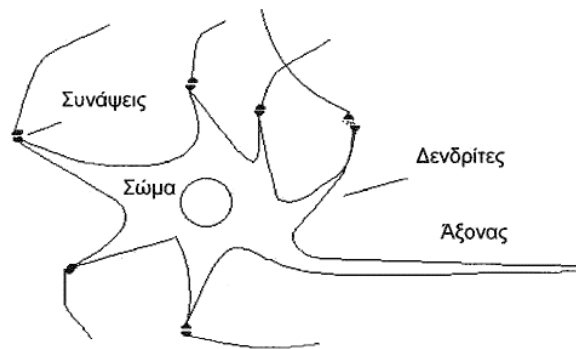
υποστηρικτές του τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης που προσπαθούσε να δώσει λύσεις, για την αναγνώριση προτύπων και σε παρόμοια προβλήματα, με τη χρήση ρητών κανόνων. Η κριτική στόχευε σε μία κατηγορία προβλημάτων τα οποία ονομάζονται *γραμμικά μη – διαχωρίσιμα* και δε μπορούσαν να λυθούν με νευρωνικά δίκτυα, όπως το *Perceptron* και το *ADALINE*, με αποτέλεσμα να χαθεί το ενδιαφέρον προς αυτά, ενώ ελάχιστοι ερευνητές παρέμειναν ενεργοί.

Τη δεκαετία του 1980 το ενδιαφέρον για τα νευρωνικά δίκτυα αναζωπυρώθηκε κυρίως λόγω της θεωρίας του *John Hopfield* ότι τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή προηγμένων μνημών για τους υπολογιστές. Ένας δεύτερος λόγος ήταν η ανακάλυψη του αλγόριθμου *ανάστροφης μετάδοσης λάθους* (*back propagation algorithm*), ο οποίος ξεπέρασε τους βασικούς περιορισμούς των προηγούμενων ΝΔ, όπως το απλό *Perceptron* [29].

Σήμερα, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ήδη με επιτυχία σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν πολλά ερευνητικά προγράμματα για την περαιτέρω ανάπτυξή τους.

1.3.2 Μοντέλο βιολογικού νευρώνα

Η ικανότητα του ανθρώπου να σκέφτεται, να θυμάται και να επιλύει προβλήματα εντοπίζεται στον εγκέφαλό του. Όπως είναι γνωστό από τη Βιολογία, η δομική μονάδα του εγκεφάλου είναι ο *νευρώνας*. Ένας τυπικός *βιολογικός νευρώνας* (Σχήμα 1.3.1) αποτελείται από το *σώμα*, που αποτελεί τον πυρήνα του, τους *δενδρίτες*, μέσω των οποίων λαμβάνει σήματα από γειτονικούς νευρώνες (σημεία εισόδου), και τον *άξονα*, που είναι η έξοδος του νευρώνα και το μέσο σύνδεσής του με άλλους νευρώνες. Σε κάθε δενδρίτη υπάρχει ένα απειροελάχιστο κενό, που ονομάζεται *σύναψη*. Οι *συνάψεις* μέσω χημικών διαδικασιών επιταχύνουν ή επιβραδύνουν τη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς το σώμα του νευρώνα. Η ικανότητα μάθησης και μνήμης που παρουσιάζει ο εγκέφαλος οφείλεται στην ικανότητα των συνάψεων να μεταβάλλουν την αγωγιμότητά τους. Τα ηλεκτρικά σήματα που εισέρχονται στο σώμα μέσω των δενδριτών συνδυάζονται και αν το αποτέλεσμα ξεπερνά κάποια τιμή κατωφλίου το σήμα διαδίδεται, με τη βοήθεια του άξονα, προς τους άλλους νευρώνες.



Σχήμα 1.3.1: Αναπαράσταση βιολογικού νευρώνα.

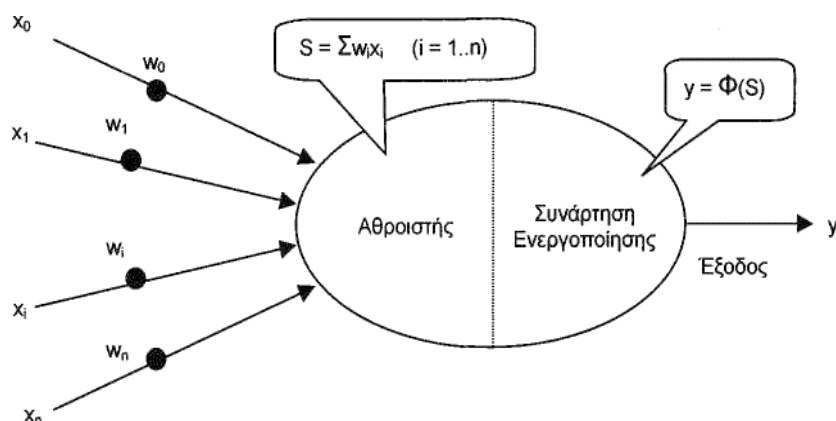
Ο εγκέφαλος ενός νεογέννητου ανθρώπου αποτελείται από περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες, κάθε ένας από τους οποίους συνδέεται, κατά μέσο όρο, με άλλους 1000. Αυτό πραγματοποιείται μέσω του άξονα κάθε νευρώνα, στον οποίο καταλήγουν ισάριθμοι δενδρίτες άλλων νευρώνων. Δεδομένου ότι κάθε τέτοια σύνδεση περιλαμβάνει και μία σύναψη, προκύπτει ότι υπάρχουν περίπου 100 τρισεκατομμύρια συνάψεις, οι οποίες και επηρεάζουν τη λειτουργία του εγκεφάλου. Είναι προφανές ότι κάθε προσπάθεια να αντιγραφεί η δομή και η λειτουργία του εγκεφάλου σε τέτοια κλίμακα είναι αδύνατη. Στην πραγματικότητα, τα μοντέλα τα οποία κατασκευάζονται περιλαμβάνουν μερικές χιλιάδες τεχνητούς νευρώνες, έχουν το πολύ ένα εκατομμύριο τεχνητές συνάψεις και παρουσιάζουν πολύ περιορισμένη λειτουργικότητα.

Αν και ο χρόνος απόκρισης των βιολογικών νευρώνων είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου (*msec*), ο εγκέφαλος είναι σε θέση να λαμβάνει πολύπλοκες αποφάσεις εκπληκτικά γρήγορα. Κατά μία άποψη, αυτό οφείλεται στο ότι η υπολογιστική ικανότητα του εγκεφάλου, καθώς και η πληροφορία που περιέχει, είναι διαμοιρασμένα σε όλο του τον όγκο. Δηλαδή, πρόκειται για ένα παράλληλο και κατανεμημένο υπολογιστικό σύστημα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι και το κυριότερο κίνητρο πίσω από την επιθυμία να μοντελοποιηθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα [31].

1.3.3 Μοντέλο Τεχνητού Νευρώνα

Ο τεχνητός νευρώνας (*artificial neuron*) είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο τα μέρη του οποίου αντιστοιχίζονται άμεσα με αυτά του βιολογικού νευρώνα. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3.2, ένας τεχνητός νευρώνας δέχεται κάποια σήματα εισόδου x_0, x_1, \dots, x_n τα οποία, σε αντίθεση με τους ηλεκτρικούς παλμούς του εγκεφάλου, αντιστοιχούν σε συνεχείς μεταβλητές. Κάθε τέτοιο σήμα εισόδου μεταβάλλεται από μια τιμή βάρους w_i (*weight*) ο ρόλος της οποίας είναι αντίστοιχος της σύναψης του βιολογικού εγκεφάλου. Η τιμή βάρους

μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, σε αντιστοιχία με την επιταχυντική ή επιβραδυντική λειτουργία της σύναψης. Το σώμα του τεχνητού νευρώνα χωρίζεται σε δύο μέρη, τον *αθροιστή* (*sum*), ο οποίος προσθέτει τα επηρεασμένα από τα βάρη σήματα εισόδου και παράγει την ποσότητα S , και τη *συνάρτηση ενεργοποίησης* ή *κατωφλίου* (*activation* ή *threshold function*), ένα μη γραμμικό φίλτρο το οποίο διαμορφώνει την τελική τιμή του σήματος εξόδου y συναρτήσει της ποσότητας S .



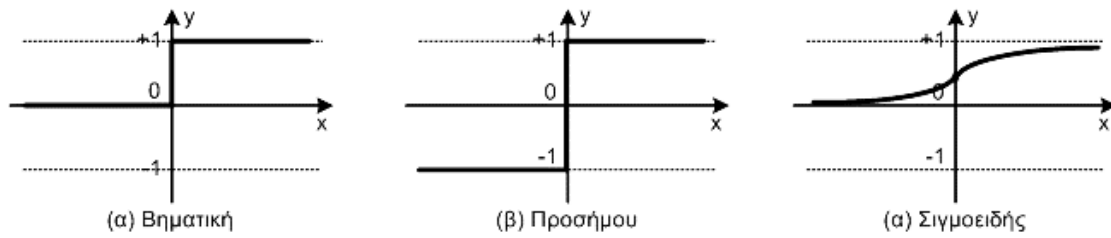
Σχήμα 1.3.2: Μοντέλο τεχνητού νευρώνα.

Υπάρχουν τρεις τυπικές περιπτώσεις για τη συνάρτηση ενεργοποίησης :

- Η *βηματική* (*step*) συνάρτηση (Σχήμα 1.3.3α), η οποία δίνει στην έξοδο αποτέλεσμα (συνήθως 1) μόνο αν η τιμή που υπολογίζει ο αθροιστής είναι μεγαλύτερη από μία τιμή κατωφλίου T .
- Η συνάρτηση *πρόσημου* (*sign*) (Σχήμα 1.3.3β), η οποία δίνει στην έξοδο αρνητική (ή θετική) πληροφορία αν η τιμή που υπολογίζει ο αθροιστής είναι μικρότερη (ή μεγαλύτερη) από μία τιμή κατωφλίου T .
- Η *σιγμοειδής* (*sigmoid*) συνάρτηση η οποία εκφράζεται από τη γενική σχέση:

$$\Phi(S) = \frac{1}{1+e^{-aS}} \quad (3.1)$$

όπου a είναι ένας συντελεστής ρύθμισης της ταχύτητας μετάβασης μεταξύ των δύο ασυμπτωτικών τιμών. Η σιγμοειδής συνάρτηση (Σχήμα 1.3.3γ) είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί παρέχει μη γραμμικότητα στον νευρώνα, κάτι που είναι απαραίτητο στη μοντελοποίηση μη γραμμικών φαινομένων.



Σχήμα 1.3.3: Γραφικές παραστάσεις συναρτήσεων ενεργοποίησης.

Οι τεχνητοί νευρώνες δίνουν τη δυνατότητα υλοποίησης απλών αλγεβρικών συναρτήσεων καθώς και των λογικών συναρτήσεων AND, OR και NOT. Για παράδειγμα, στην υλοποίηση του NOT χρησιμοποιείται ως συνάρτηση ενεργοποίησης η βηματική με κατώφλι $T = -0.5$. Οι τιμές εισόδου μπορούν να κυμαίνονται από 0 (ψευδές) έως 1 (αληθές). Αν η είσοδος του νευρώνα είναι 0, τότε πολλαπλασιαζόμενη με το βάρος $w = -1$ δίνει $S = 0$. Η τιμή αυτή ξεπερνά το κατώφλι του -0.5 οπότε στην έξοδο παράγεται 1. Στην περίπτωση που η τιμή εισόδου είναι 1, τότε $S = -1$, τιμή η οποία βρίσκεται κάτω του κατωφλίου, με αποτέλεσμα να παράγεται στην έξοδο 0 [31].

1.3.4 Βασικές ιδιότητες

Υπάρχουν τέσσερις ιδιότητες που είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ). Αυτές είναι:

- Η ικανότητά τους να μαθαίνουν μέσω παραδειγμάτων (*learn by example*).
- Η δυνατότητα θεώρησής τους ως κατανεμημένη μνήμη (*distributed memory*) και ως μνήμη συσχέτισης (*associative memory*).
- Η μεγάλη τους ανοχή σε σφάλματα (*fault-tolerant*).
- Η ικανότητά τους για αναγνώριση προτύπων (*pattern recognition*).

Αν και τα ΝΔ δεν είναι τα μόνα συστήματα με ικανότητα μάθησης μέσω παραδειγμάτων, εντούτοις διακρίνονται για την ικανότητά τους να οργανώνουν την πληροφορία των δεδομένων εισόδου σε χρήσιμες μορφές. Αυτές οι μορφές αποτελούν στην ουσία ένα μοντέλο το οποίο αναπαριστά τη σχέση που ισχύει μεταξύ των δεδομένων εισόδου και εξόδου.

Ο χαρακτηρισμός των ΝΔ ως κατανεμημένη μνήμη πηγάζει από το ότι η πληροφορία που κωδικοποιούν είναι κατανεμημένη σε όλα τα βάρη της συνδεσμολογίας τους. Για τον ίδιο λόγο τα ΝΔ χαρακτηρίζονται και ως μνήμες

συσχέτισης. Μια μνήμη συσχέτισης αποθηκεύει πληροφορία συσχετίζοντας αποθηκευμένα δεδομένα μεταξύ τους. Η ανάκληση (*recall*) της πληροφορίας γίνεται με βάση το περιεχόμενο και όχι τη διεύθυνση, όπως δηλαδή συμβαίνει και με τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η παραπάνω οργάνωση κάνει ορισμένα είδη ΝΔ να είναι πολύ ανεκτικά σε μικρές αλλαγές στα σήματα εισόδου, δηλαδή είναι σε θέση να παράγουν τη σωστή έξοδο ακόμη κι αν τα δεδομένα εισόδου είναι λίγο διαφορετικά ή και ελλιπή.

Τα ΝΔ έχουν μεγάλη ανοχή σε δομικά σφάλματα. Αυτό σημαίνει ότι η κακή λειτουργία ή η καταστροφή ενός νευρώνα ή κάποιων συνδέσεων δεν είναι ικανή να διαταράξει σημαντικά τη λειτουργία τους, καθώς, όπως αναφέρθηκε, η πληροφορία που εσωκλείουν δεν είναι εντοπισμένη σε συγκεκριμένο σημείο αλλά διάχυτη σε όλο το δίκτυο. Γενικά, το μέγεθος του σφάλματος λόγω «δομικών αστοχιών» είναι ανάλογο του ποσοστού των κατεστραμμένων συνδέσεων. Αυτό κάνει τα ΝΔ, και συγκεκριμένα τις υλοποιήσεις τους σε κύκλωμα, ιδανικά για χρήση σε αυτοματισμούς που θα λειτουργήσουν σε αντίξοες συνθήκες (π.χ. διάστημα, χώρους με ραδιενέργεια, πεδίο μάχης κ.τ.λ.).

Τέλος, τα ΝΔ έχουν εξαιρετική ικανότητα αναγνώρισης προτύπων, καθώς δεν επηρεάζονται από ελλιπή ή και με θόρυβο δεδομένα. Από τη στιγμή που ένα ΝΔ εκπαιδευτεί στο να αναγνωρίζει συνθήκες και καταστάσεις, απαιτείται ένας μόνο κύκλος λειτουργίας για να προσδιορίσει μία συγκεκριμένη κατάσταση [31].

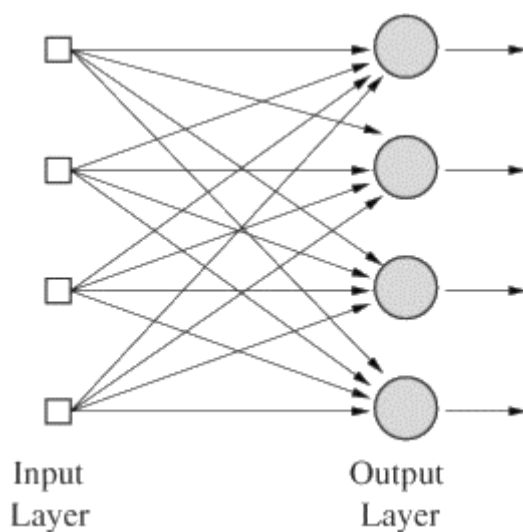
1.3.5 Αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων

Η τοπολογική δομή είναι το κύριο χαρακτηριστικό των ΝΔ και αναφέρεται στην αρχιτεκτονική στην οποία διευθετούνται οι πολλαπλοί νευρώνες. Οι δύο βασικές ιδιότητες που καθορίζουν την αρχιτεκτονική ενός ΝΔ είναι το πλήθος των στρωμάτων (*layers*) και οι συνδέσεις ανάμεσα στους νευρώνες.

1.3.5.1 Νευρωνικά δίκτυα προστροφοδότησης

Στην απλούστερη περίπτωση ένα διαστρωματωμένο ΝΔ έχει ένα στρώμα εισόδου από κόμβους πηγής (*source nodes*), το οποίο προβάλλεται πάνω σε ένα στρώμα νευρώνων εξόδου (*κόμβων υπολογισμού*), αλλά όχι αντίστροφα. Ένα τέτοιο ΝΔ είναι αυστηρά τύπου προστροφοδότησης (*feed forward*) και καλείται *μονοστρωματικό ΝΔ*

προσοτροφοδότησης (Σχήμα 1.3.4), όπου το μοναδικό στρώμα είναι το στρώμα νευρώνων εξόδου. Αυτό σημαίνει ότι το στρώμα των κόμβων εισόδου δεν προσμετράται, γιατί δεν λαμβάνει χώρα κανένας υπολογισμός σε αυτό.

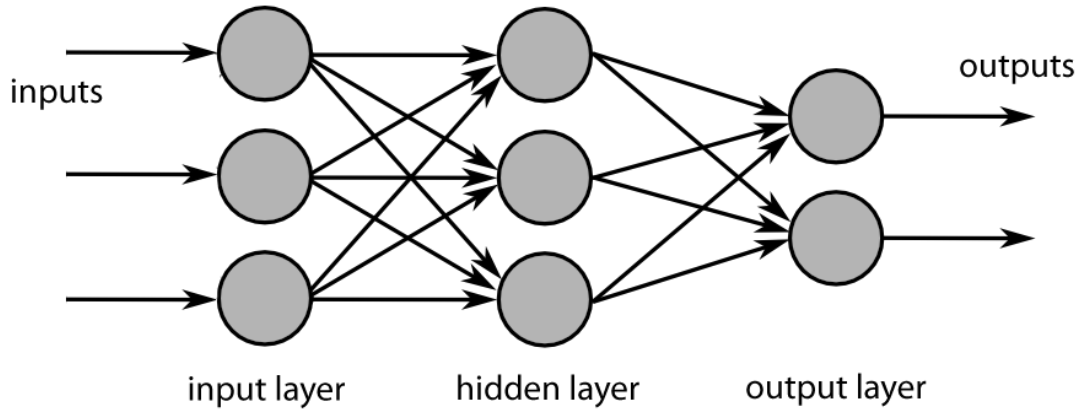


Σχήμα 1.3.4: Μονοστρωματικό ΝΔ προσοτροφοδότησης

Ένα τυπικό παράδειγμα μονοστρωματικού ΝΔ προσοτροφοδότησης είναι η γραμμική συσχετιστική μνήμη, η οποία αντιστοιχεί (συσχετίζει) ένα διάνυσμα (πρότυπο) εξόδου σε ένα διάνυσμα εισόδου και αποθηκεύει την πληροφορία ως αλλαγές στα συναπτικά βάρη.

Στη γενική περίπτωση, ένα ΝΔ προσοτροφοδότησης περιέχει ένα ή περισσότερα κρυμμένα (*hidden*) στρώματα, των οποίων οι υπολογιστικοί κόμβοι είναι γνωστοί ως κρυμμένοι νευρώνες και παρεμβαίνουν μεταξύ των εξωτερικών εισόδων και εξόδων. Στα δίκτυα αυτά, που ονομάζονται πολυστρωματικά ΝΔ προσοτροφοδότησης, οι κόμβοι πηγής στο στρώμα εισόδου παρέχουν τα στοιχεία του προτύπου δράσης (εισόδου), τα οποία εισέρχονται ως είσοδοι στο πρώτο κρυμμένο στρώμα υπολογιστικών κόμβων. Ομοίως, οι εξόδοι του πρώτου κρυμμένου στρώματος εισέρχονται ως είσοδοι στους κόμβους του δεύτερου κρυμμένου στρώματος κ.ο.κ.. Το τελικό στρώμα κόμβων (στρώμα εξόδου) δίνει τη συνολική απόκριση στα διανύσματα εισόδου, δηλαδή στα πρότυπα εξωτερικής δράσης.

Ένα παράδειγμα ΝΔ προσοτροφοδότησης με ένα κρυμμένο στρώμα τριών κόμβων, τρεις κόμβους πηγής στο στρώμα εισόδου και δύο κόμβους στο στρώμα εξόδου απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3.5. Το δίκτυο αυτό αναφέρεται συμβολικά ως ΝΔ προσοτροφοδότησης 3-3-2.



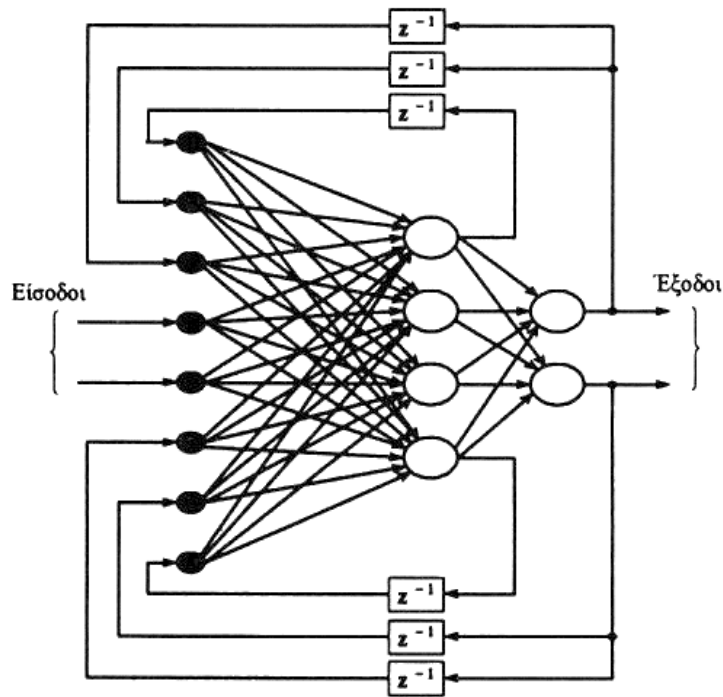
Σχήμα 1.3.5: Πολυστρωματικό ΝΔ προστροφοδότησης 3-3-2 (με ένα κρυμμένο στρώμα)

Το ΝΔ του Σχήματος 1.3.5 ονομάζεται *πλήρως διασυνδεδεμένο*, γιατί κάθε κόμβος, οποιουδήποτε στρώματος, συνδέεται με όλους τους κόμβους του επόμενου στρώματος. Εάν αυτό δεν ισχύει, δηλαδή εάν λείπουν μερικοί σύνδεσμοι επικοινωνίας (συναπτικές συνδέσεις), τότε το ΝΔ χαρακτηρίζεται *μερικώς διασυνδεδεμένο* [24].

1.3.5.2 Νευρωνικά δίκτυα ανατροφοδότησης

Εάν το ΝΔ περιέχει τουλάχιστον έναν βρόχο ανατροφοδότησης ο οποίος ανακυκλώνει πληροφορία μέσω του ιδίου ή προηγούμενων στρωμάτων, τότε ονομάζεται *αναδρομικό ΝΔ* ή *ΝΔ ανατροφοδότησης*. Το αποτέλεσμα της ανατροφοδότησης είναι ότι όταν ένα διάνυσμα (πρότυπο) εισόδου εισέρχεται στο αναδρομικό ΝΔ, δεν παράγει ένα πρότυπο εξόδου σε πεπερασμένο αριθμό χρονικών βημάτων, αλλά δρα με κυκλικό τρόπο, όπου τα ίδια στρώματα ενεργοποιούνται επαναληπτικά. Εάν το ΝΔ είναι αφ' εαυτού ευσταθές, πιθανώς να ταλαντωθεί για κάποιο χρονικό διάστημα προτού φτάσει σε μία σταθερή κατάσταση στην οποία οι νευρωνικές ενεργοποιήσεις θα σταματήσουν να αλλάζουν, με αποτέλεσμα να παραχθεί μια σταθερή έξοδος. Διαφορετικά, εάν το ΝΔ δεν είναι ευσταθές, οι ταλαντώσεις θα συνεχίσουν αδιάκοπα. Συνεπώς, όταν εκπαιδεύουμε ένα αναδρομικό ΝΔ είναι σημαντικό να βρούμε το σύνολο των συναπτικών βαρών που του επιτρέπουν να σταθεροποιηθεί στις επιθυμητές τιμές εξόδου.

Ένα παράδειγμα μονοστρωματικού αναδρομικού ΝΔ απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3.6. Οι βρόχοι ανατροφοδότησης κλείνουν μέσω μοναδιαίων καθυστερήσεων, οι οποίες συμβολίζονται με z^{-1} , όπου $z^{-1} \cdot y(k) = y(k - 1)$ και k παριστά διακριτό χρόνο. Στη θεωρία συστημάτων το z^{-1} ονομάζεται *τελεστής μοναδιαίας καθυστέρησης* [24].



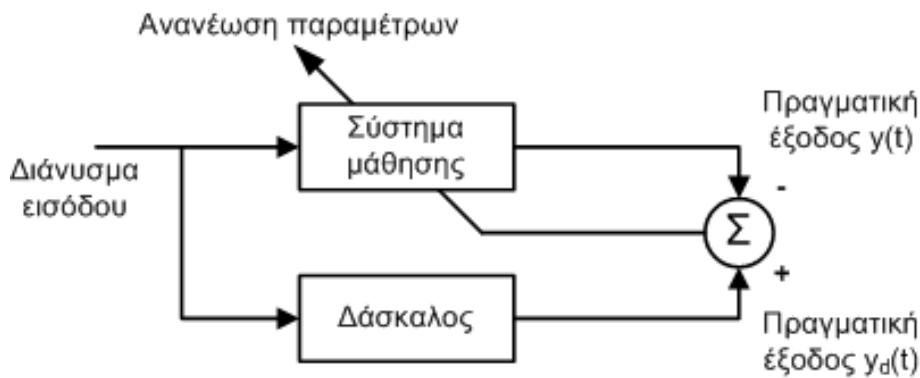
Σχήμα 1.3.6. Πλήρως διασυνδεδεμένο ΝΔ ανατροφοδότησης

1.3.6 Μάθηση των Νευρωνικών Δικτύων

Τα ΝΔ πραγματοποιούν δύο βασικές λειτουργίες: τη *μάθηση* (*learning*) και την *ανάκληση* (*recall*). *Μάθηση* είναι η διαδικασία τροποποίησης της τιμής των βαρών του δικτύου, ώστε δοθέντος συγκεκριμένου διανύσματος εισόδου να παραχθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εξόδου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επίσης και *εκπαίδευση* (*training*). *Ανάκληση* (*recall*) είναι η διαδικασία υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου για συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου και συγκεκριμένες τιμές βαρών [31]. Ο γενικός τρόπος με τον οποίο γίνεται η τροποποίηση των βαρών ενός ΝΔ κατά την εκπαίδευσή του επιτρέπει τη διάκριση τριών ειδών μάθησης, που παρουσιάζονται παρακάτω.

1.3.6.1 Επιβλεπόμενη μάθηση

Η δομή της *επιβλεπόμενης* ή *ενεργού μάθησης* (*supervised learning*) έχει τη γενική μορφή του Σχήματος 1.3.7 και περιλαμβάνει δύο κύριες συνιστώσες, τον δάσκαλο και το σύστημα μάθησης.



Σχήμα 1.3.7: Δομή της επιβλεπόμενης μάθησης

Το κύριο χαρακτηριστικό της επιβλεπόμενης μάθησης είναι η ύπαρξη του εξωτερικού δασκάλου, ο οποίος με βάση τη γνώση και την εμπειρία του είναι ικανός να διδάξει στο ΝΔ τις επιθυμητές εξόδους για ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Όταν ο δάσκαλος και το ΝΔ λαμβάνουν ένα διάνυσμα εισόδου εκπαίδευσης, ο δάσκαλος δίνει στο ΝΔ μια επιθυμητή έξοδο η οποία αναπαριστά τη βέλτιστη ενέργεια (δράση) που πρέπει να κάνει το ΝΔ. Οι παράμετροι του ΝΔ ανανεώνονται με βάση τόσο το διάνυσμα εκπαίδευσης όσο και του σήματος σφάλματος, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής και επιθυμητής απόκρισης [24].

1.3.6.2 Ενισχυτική μάθηση

Στον τύπο αυτό της μάθησης το ΝΔ τροφοδοτείται και πάλι με δειγματικά πρότυπα εισόδου, χωρίς όμως να τροφοδοτείται με τις επιθυμητές αποκρίσεις σε αυτές τις εισόδους. Εν αντιθέσει, χρησιμοποιείται ένα συνολικό μέτρο επάρκειας της προκύπτουσας απόκρισης (*δείκτης συμπεριφοράς*) το οποίο μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο στην επιθυμητή συμπεριφορά. Το μέτρο αυτό είναι γνωστό ως ενισχυτικό σήμα (*reinforcement signal*) και ανατροφοδοτείται στο ΝΔ έτσι ώστε να επιβραβεύσει τις ορθές και να τιμωρεί τις λανθασμένες συμπεριφορές.

Η διαφορά ανάμεσα στην ενισχυτική και την επιβλεπόμενη μάθηση είναι ότι στην πρώτη το σύστημα βελτιώνεται χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο συμπεριφοράς οι τιμές του οποίου δίνονται από το περιβάλλον, ενώ στη δεύτερη το κριτήριο συμπεριφοράς καθορίζεται εσωτερικά με βάση τις επιθυμητές αποκρίσεις. Συνεπώς, ένα σύστημα ενισχυτικής μάθησης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα *αξιολόγησης και ανατροφοδότησης*. Με την ενισχυτική μάθηση μπορούν να εκπαιδευτούν τόσο τα ΝΔ προσοτροφοδότησης όσο και τα αναδρομικά [24].

1.3.6.3 Μη επιβλεπόμενη μάθηση

Στη μη επιβλεπόμενη μάθηση, που καλείται και αυτό-οργανούμενη (*self-organized learning*), δε χρησιμοποιείται εξωτερικός δάσκαλος για να επιβλέψει την εκπαίδευση, αλλά το ΝΔ, αντί να μάθει συγκεκριμένα παραδείγματα (ζεύγη) εισόδου – εξόδου, μαθαίνει ένα *ανεξάρτητο καθηκόντων μέτρο* της ποιότητας της παράστασης. Οι προς επιλογή ελεύθερες παράμετροι του δικτύου προσαρμόζονται έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί το μέτρο αυτό. Πρακτικά, το μόνο που χρειάζεται ένα ΝΔ μη επιβλεπόμενης μάθησης είναι να συντονιστεί στις στατιστικές ομαλότητες των δεδομένων εισόδου και μετά να μπορέσει να δημιουργήσει εσωτερικές παραστάσεις για την κωδικοποίηση των ιδιοτήτων τους [24].

Στην πράξη, στις περισσότερες εφαρμογές ΤΝΔ χρησιμοποιείται μάθηση υπό επίβλεψη (*supervised learning*), για την οποία υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι. Στον αλγόριθμο που βασίζεται στον κανόνα Δέλτα (*Delta rule learning*), η διαφορά μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής εξόδου ελαχιστοποιείται μέσω μιας διαδικασίας ελαχίστων τετραγώνων. Στον αλγόριθμο *ανάστροφης μετάδοσης λάθους* (*back propagation*) η μεταβολή των βαρών βασίζεται στον υπολογισμό της συνεισφοράς κάθε βάρους στο συνολικό σφάλμα. Στην *ανταγωνιστική μάθηση* (*competitive learning*) οι τεχνητοί νευρώνες συναγωνίζονται, κατά κάποιο τρόπο, μεταξύ τους και μόνο αυτός με τη μεγαλύτερη απόκριση σε δοθείσα είσοδο τροποποιεί τα βάρη του. Τέλος, στην *τυχαία μάθηση* (*random learning*) οι μεταβολές στα βάρη εισάγονται τυχαία και ανάλογα με το αν η έξοδος βελτιώνεται ή όχι, με βάση κάποια προκαθορισμένα από τον χρήστη κριτήρια, οι μεταβολές αυτές υιοθετούνται ή απορρίπτονται [31].

1.3.7 Συσχετιστικές μνήμες

Η συσχετιστική μνήμη είναι γνώριμη σε μας γιατί αντιστοιχεί στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η ανθρώπινη μνήμη. Έτσι λ.χ. σχηματίζουμε συσχετίσεις (αντιστοιχίες) ανάμεσα σε τόπους και γεγονότα, μουσικά κομμάτια με ανθρώπους κ.ο.κ.. Στους συνήθεις, μη νευρωνικούς υπολογιστές, η μνήμη δεν λειτουργεί με συσχετιστικό τρόπο, γιατί κάθε στοιχείο πληροφορίας αποθηκεύεται στη δική του περιοχή μνήμης και η πρόσβαση σε αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τη διεύθυνσή του.

Στις συσχετιστικές μνήμες η παρουσίαση ενός ερεθίσματος εισόδου (*προτύπου, pattern*) ακολουθείται από ανάκληση ενός άλλου συνόλου προτύπων που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη. Συνεπώς, η λειτουργία μιας συσχετιστικής μνήμης περιλαμβάνει δύο φάσεις: τη φάση μάθησης και τη φάση ανάκλησης (ανάκτησης). Κατά τη φάση μάθησης, το πρότυπο που παρουσιάζεται μετασχηματίζεται σε ένα αποθηκευμένο πρότυπο, ενώ κατά τη φάση της ανάκτησης η μνήμη δέχεται μια παραμορφωμένη ή ατελή παραλλαγή του αποθηκευμένου προτύπου και δίνει ως έξοδο το αντίστοιχο ακριβές πρότυπο. Για τον λόγο αυτό οι συσχετιστικές μνήμες ονομάζονται και *μνήμες με διευθύνσεις περιεχομένου (CAM: Content Addressable Memory)*. Επειδή δεν υπάρχει άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο, η έξοδος δε καθορίζεται από μια απλή θέση της μνήμης, αλλά μάλλον συμμετέχει ολόκληρη η μνήμη θέσεων αυτής. Συνεπώς, μια συσχετιστική μνήμη χαρακτηρίζεται από μη - εντοπισμένη παράσταση, είναι δηλαδή *κατανεμημένη μνήμη*.

Η συσχέτιση διακρίνεται σε *αυτοσυσχέτιση* και *ετεροσυσχέτιση*. Στην πρώτη, ένα πρότυπο αντιστοιχείται στη μνήμη με τον εαυτό του, οπότε οι χώροι των δεδομένων εισόδου και εξόδου έχουν την ίδια διάσταση. Στην ετεροσυσχέτιση αυθαίρετα διανύσματα εισόδου αντιστοιχούνται με άλλα αυθαίρετα αποθηκευμένα διανύσματα της μνήμης που μπορεί να έχουν την ίδια ή διαφορετική διάσταση [24].

1.3.8 Εφαρμογές Νευρωνικών Δικτύων

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΝΔ είναι συχνά συμπληρωματικά με εκείνα των συμβατικών τεχνικών ανάλυσης δεδομένων ενώ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων τα οποία έχουν ένα ή και περισσότερα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά [29]:

- Υπάρχει μεγάλο πλήθος δεδομένων για την εκπαίδευση του δικτύου
- Είναι δύσκολο να βρεθεί μια απλή και μοντελοποιημένη λύση η οποία να είναι επαρκής
- Η επεξεργασία των νέων δεδομένων πρέπει να είναι ταχύτατη, είτε γιατί υπάρχει μεγάλος, προς ανάλυση, αριθμός δεδομένων, είτε επειδή η ανάλυση πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο
- Η μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων πρέπει να είναι αποτελεσματική στην αντιμετώπιση του θορύβου στα δεδομένα εισόδου.

Τα ΝΔ είναι κατάλληλα για προβλήματα στα οποία ο συνήθης υπολογισμός δεν είναι αποδοτικός, όπως η μηχανική όραση, η αναγνώριση προτύπων, η αναγνώριση φωνής, η μη γραμμική πρόβλεψη, η ελεύθερη μοντέλου αναγνώριση συστημάτων, ο αυτόματος έλεγχος, η ρομποτική, τα επιχειρησιακά προβλήματα κ.α..

Τα ΝΔ έχουν χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών, όπως είναι ο σχεδιασμός ενεργειών (*planning*), ο χρονοπρογραμματισμός (*scheduling*), η διάγνωση λαθών σε δορυφορικές επικοινωνίες, η αναγνώριση υπογραφών, η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη τιμών μετοχών, κ.α.. Επίσης, τα περισσότερα σύγχρονα προγράμματα οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα. Επιπλέον, νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται και σε υπολογιστές παλάμης που δέχονται εντολές χειρόγραφα (*palmtop*).

Άλλες εφαρμογές των ΝΔ είναι στην Ιατρική (π.χ. ανάλυση ηλεκτροκαρδιογραφήματος, ιατρική διάγνωση και επεξεργασία ιατρικής εικόνας), σε αμυντικά συστήματα (π.χ. υποβρύχια ανίχνευση ναρκών), στην οικονομία (π.χ. ανάλυση αγοράς μετοχών, ασφάλεια συναλλαγών, εκτίμηση φερεγγυότητας δανειζόμενου πελάτη, εκτίμηση ακίνητης περιουσίας) και στη σχεδίαση, έλεγχο και αναζήτηση (π.χ. παράλληλη υλοποίηση NP-πλήρων προβλημάτων).

Τα τελευταία χρόνια τα ΝΔ χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου που βασίζονται στην ασαφή λογική (*neurofuzzy systems*), με κύριο ρόλο τον υπολογισμό της συνάρτησης συγγένειας.

Ένα γνωστό εμπορικό σύστημα που κάνει χρήση ΝΔ είναι το *PAPNET*, το οποίο κάνει διάγνωση σε αποτελέσματα "τεστ Παπανικόλαου". Μια ψηφιοποιημένη εικόνα μικροσκοπίου δίνεται ως είσοδος στο νευρωνικό δίκτυο, το οποίο αναλαμβάνει να κρίνει αν υπάρχει ανωμαλία ή όχι. Το εν λόγω σύστημα επιταχύνει σημαντικά τη χρονοβόρα διαδικασία εξέτασης των δεδομένων της εξέτασης από τον ειδικό ιατρό [31].

2

Υλικά και Μέθοδοι

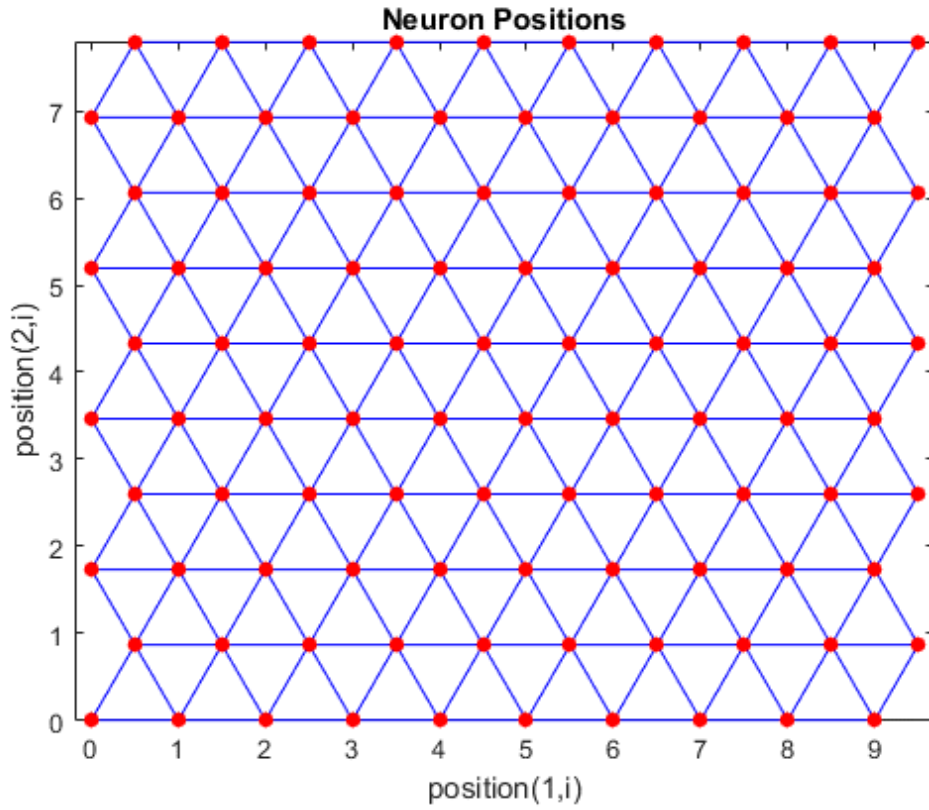
Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά παρουσιάζεται το νευρωνικό δίκτυο SOM, που θα αποτελέσει μετέπειτα το βασικό εργαλείο για την εκτίμηση της καταλληλότητας του ενδαιτήματος του κόκκινου ελαφιού της Πάρνηθας. Στη συνέχεια παρατίθενται λεπτομέρειες αναφορικά με το σύνολο δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί και κλείνοντας περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του SOM.

2.1 Το νευρωνικό δίκτυο SOM

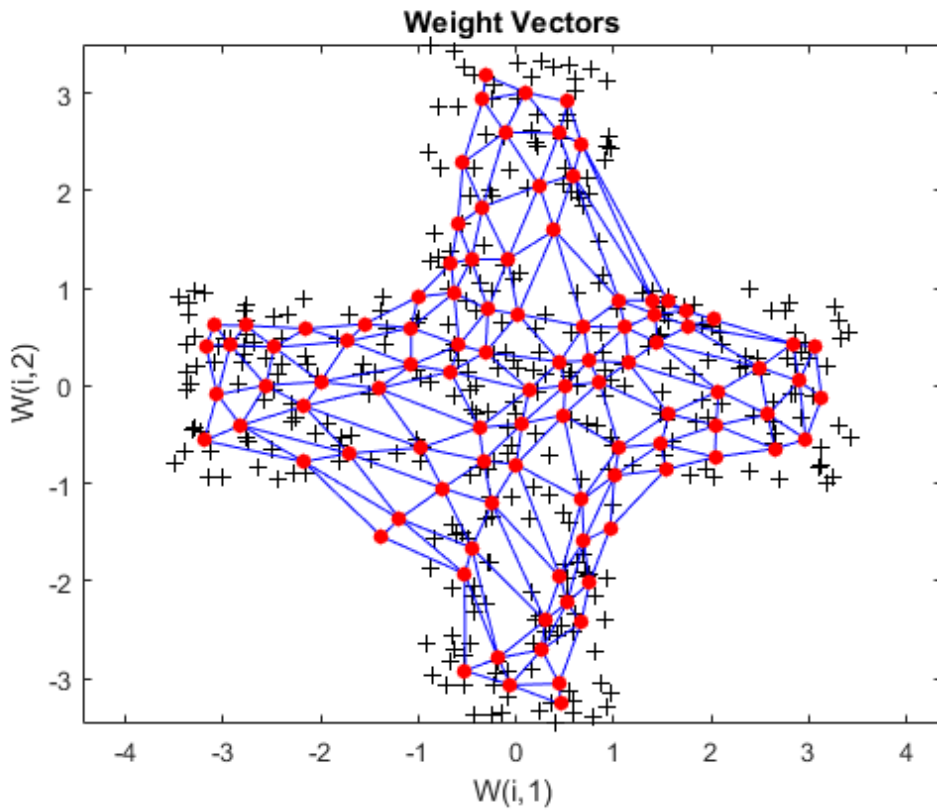
Το δίκτυο SOM (*Self-Organizing Map*) ή *αυτό-οργανούμενος χάρτης* προτάθηκε απ' τον *Kohonen*, στα μέσα της δεκαετίας του 1980, και πρόκειται για ένα ΝΔ μη επιβλεπόμενης μάθησης. Πιο συγκεκριμένα, για την εκπαίδευσή του χρησιμοποιείται η ανταγωνιστική μάθηση, σύμφωνα με την οποία οι νευρώνες του ανταγωνιστικού επιπέδου ανταγωνίζονται για το ποιος θα επικρατήσει (θα βγει νικητής) σε κάποιο συγκεκριμένο ερέθισμα (πρότυπο εισόδου) [32].

2.1.1 Βιολογική προέλευση και ιστορική αναδρομή

Σε ένα δίκτυο SOM οι νευρώνες τοποθετούνται στη θέση των κόμβων ενός πλέγματος μίας ή δύο διαστάσεων (*Σχήμα 2.1.1*). Χάρτες μεγαλύτερης διάστασης, αν και είναι δυνατό να δημιουργηθούν, συνήθως δε χρησιμοποιούνται. Το όνομα *αυτό-οργανούμενος χάρτης* το πήρε από το γεγονός ότι οι νευρώνες συντονίζονται επιλεκτικά σε διάφορα πρότυπα εισόδου, στα πλαίσια της ανταγωνιστικής διαδικασίας εκπαίδευσης, και διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε η θέση τους στο πλέγμα να συσχετίζεται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των προτύπων αυτών (*Σχήμα 2.1.2*). Δηλαδή, οι τοπογραφικές θέσεις των νευρώνων είναι ενδεικτικές των χαρακτηριστικών των προτύπων εισόδου.



Σχήμα 2.1.1: Οι αρχικές θέσεις των νευρώνων σε διδιάστατο εξαγωνικό πλέγμα.

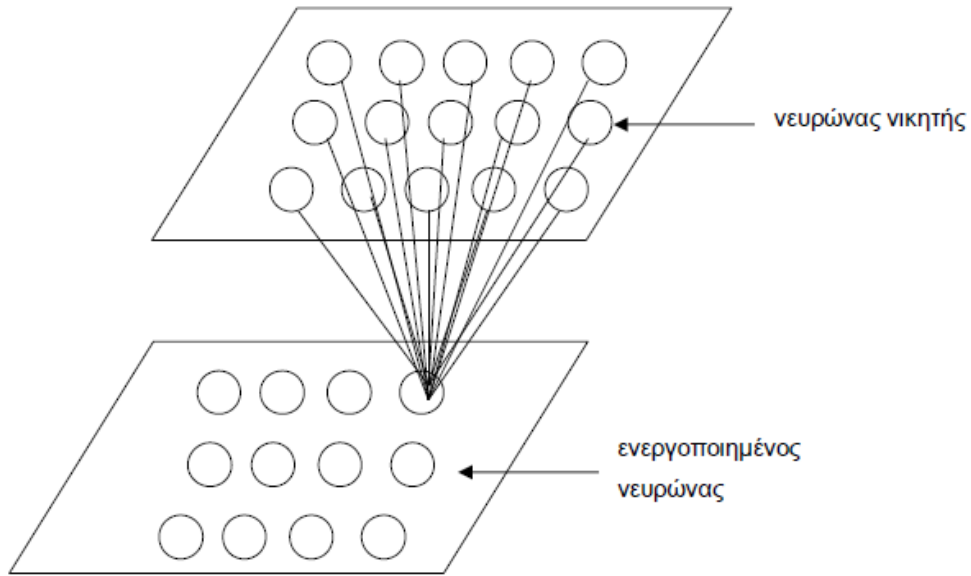


Σχήμα 2.1.2: Τελικές θέσεις νευρώνων έχοντας προσαρμοστεί στα πρότυπα εισόδου.

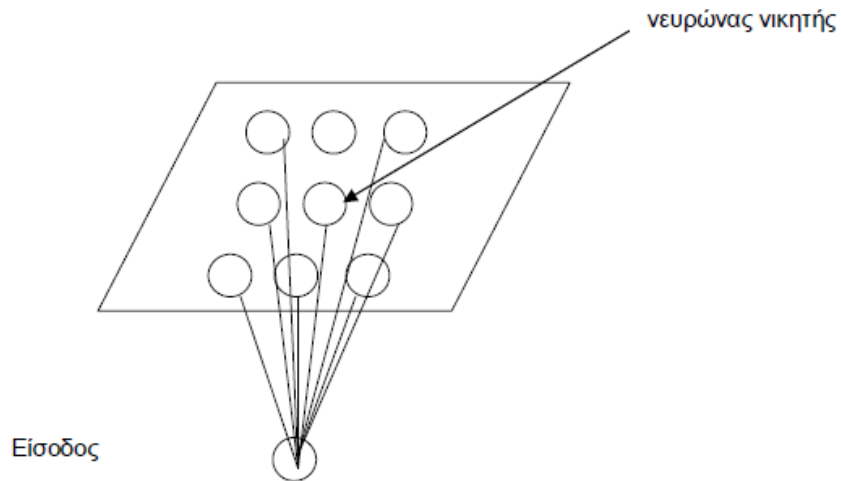
Η ιδέα για το SOM προέκυψε από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, όπου διαφορετικά αισθητήρια όργανα διεγείρουν διαφορετικές περιοχές του. Αναλυτικότερα, οι αισθήσεις της αφής, της όρασης και της ακοής απεικονίζονται σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού με τοπολογική διάταξη. Επομένως, βασικό δομικό στοιχείο για την επεξεργασία πληροφοριών του νευρικού συστήματος είναι ένας χάρτης με τις θέσεις των νευρώνων. Με βάση τον χάρτη αυτό, τα σήματα εισόδου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους αντιστοιχίζονται στους διάφορους νευρώνες. Για παράδειγμα, σε κάθε επίπεδο του ακουστικού μονοπατιού τα νευρωνικά κύτταρα και οι ίνες τοποθετούνται ανατομικά σε σχέση με τη συχνότητα που δημιουργεί την ισχυρότερη απόκριση σε κάθε νεύρο. Αν και οι περισσότερες από τις χαμηλού επιπέδου οργανώσεις του εγκεφάλου είναι γενετικά προκαθορισμένες, κάποιες υψηλότερου επιπέδου δημιουργούνται με τη βοήθεια της εκμάθησης, παρατηρείται δηλαδή αυτο-οργάνωση [33]. Ο *Kohonen*, με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά, παρουσίασε έναν αλγόριθμο που παράγει αυτό που εκείνος ονομάζει «*αυτο-οργανούμενες απεικονίσεις χαρακτηριστικών*» [32].

Το πρώτο μοντέλο απεικόνισης χαρακτηριστικών που προτάθηκε απ' τους *Willshaw* και *von der Malsburg* το 1976 (Σχήμα 2.1.3) βασιζόταν σε βιολογικές αρχές και προσπαθούσε να εξηγήσει τη σύνδεση του αμφιβληστροειδή με το οπτικό τμήμα του φλοιού του εγκεφάλου. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο ξεχωριστά διαστάτα πλέγματα νευρώνων που συνδέονται μεταξύ τους και το ένα προβάλλεται πάνω στο άλλο. Το ένα πλέγμα αναπαριστά νευρώνες εισόδου και το άλλο εξόδου. Η βασική ιδέα του μοντέλου είναι η κωδικοποίηση της γεωμετρικής εγγύτητας σε μορφή συσχετίσεων ηλεκτρικής δραστηριότητας και η επίτευξη αυτο-οργάνωσης, ώστε γειτονικοί νευρώνες εισόδου να απεικονίζονται σε γειτονικούς νευρώνες εξόδου. Η αυτο-οργάνωση λοιπόν παράγει μια τοπολογικά διατεταγμένη απεικόνιση [33].

Ο *Kohonen* το 1982 πρότεινε ένα μοντέλο (Σχήμα 2.1.4) που ενσωματώνει τα βασικά χαρακτηριστικά των υπολογιστικών χαρτών του εγκεφάλου χωρίς να προσπαθεί να εξηγήσει νευροβιολογικές λεπτομέρειες. Είναι περισσότερο γενικευμένο από εκείνο των *Willshaw* και *von der Malsburg* με την έννοια ότι είναι ικανό να διενεργεί συμπίεση δεδομένων (μείωση των διαστάσεων εισόδου). Το μοντέλο αυτό ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων *διανυσματικού κβαντισμού* (*vector quantization*) και μπορεί να προσεγγιστεί είτε με βάση τις αρχές της βιολογικής αυτο-οργάνωσης είτε ακολουθώντας τη θεωρία πληροφορίας (*κωδικοποίηση πληροφορίας*) [32].



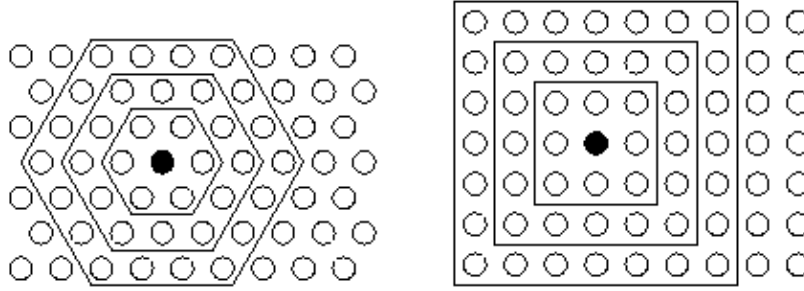
Σχήμα 2.1.3: Το μοντέλο των Willshaw και von der Malsburg.



Σχήμα 2.1.4: Το μοντέλο του Kohonen.

2.1.2 Εκπαίδευση του SOM

Το δίκτυο SOM αποτελείται από έναν αριθμό N νευρώνων σε κάθε έναν από τους οποίους αποδίδεται ένα v -διάστατο διάνυσμα βάρους w_i . Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αυτά τα διανύσματα βάρους έχουν την ίδια διάσταση με τα πρότυπα εισόδου. Οι νευρώνες τοποθετούνται αρχικά στις θέσεις των κόμβων ενός πλέγματος συνήθως ορθογώνιας, εξαγωνικής ή τυχαίας μορφής (Σχήμα 2.1.5) [32].



Σχήμα 2.1.5: Νευρώνες σε εξαγωνικό και ορθογώνιο πλέγμα. Διακρίνονται ο νευρώνας νικητής καθώς και τα όρια της γειτονιάς γύρω από αυτόν.

Η διαδικασία εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου SOM χωρίζεται στις φάσεις ανταγωνισμού, συνεργασίας και ανταμοιβής, οι οποίες επαναλαμβάνονται έως ότου συμπληρωθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός εποχών. Κάθε εποχή εκπαίδευσης t αρχίζει με την τυχαία επιλογή ενός εκ των προτύπων εισόδου $\mathbf{x} \in \mathcal{R}^n$, το οποίο και παρουσιάζεται στην είσοδο του SOM. Στη φάση ανταγωνισμού υπολογίζεται για κάθε νευρώνα i η απόσταση ή το εσωτερικό γινόμενο μεταξύ του διανύσματος βάρους του $\mathbf{w}_i(t)$ και του πρότυπου εισόδου $\mathbf{x}(t)$. Ο νευρώνας με την μικρότερη απόσταση ή το μεγαλύτερο εσωτερικό γινόμενο αποτελεί τον νικητή:

$$c(t) = \min(d_i) = \|\mathbf{x}(t) - \mathbf{w}_i(t)\|$$

ή

$$c(t) = \max(s_i) = \mathbf{w}_i \mathbf{x}$$

Ως μέτρο της απόστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Ευκλείδεια απόσταση, η απόσταση Μανχάταν κ.α..

Στη φάση συνεργασίας καθορίζεται η τοπολογική γειτονιά γύρω από τον νευρώνα νικητή με τη χρήση μιας συνάρτησης γειτνίασης. Τυπικά, πρόκειται για μια μονοκόρυφη συνάρτηση, συμμετρική γύρω από την τοποθεσία του νικητή, η οποία φθίνει μονοτονικά σε σχέση με την απόσταση. Συχνά χρησιμοποιείται μια συνάρτηση όπως η παρακάτω:

$$h_{ci}(t) = \begin{cases} 1, & i \in N_c \\ 0, & i \notin N_c \end{cases}$$

Όπου N_c η τοπολογική γειτονιά γύρω από τον νευρώνα νικητή. Μία άλλη ευρέως χρησιμοποιούμενη συνάρτηση είναι η γκαουσιανή:

$$h_{ci}(t) = \exp\left(-\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\delta(t)^2}\right)$$

Σε αυτή την παράσταση, η νόρμα $\|r_c - r_i\|$ εκφράζει την απόσταση μεταξύ των νευρώνων c και i , με το r_i να αποτελεί τη δισδιάστατη τοποθεσία του διανύσματος του νευρώνα i στο πλέγμα. Η παράμετρος δ αποτελεί μία παράμετρο πλάτους φθίνουσα με τον χρόνο και καθοδηγεί τη μείωση της γειτονιάς του πυρήνα κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης.

Τέλος, στη φάση της ανταμοιβής, προσαρμόζονται τόσο το διάνυσμα βάρους του νικητή όσο και τα διανύσματα βάρους των νευρώνων εντός της γειτονιάς του. Η προσαρμογή αυτή υλοποιείται σε μια σταδιακή μείωση της διαφοράς μεταξύ των αντίστοιχων χαρακτηριστικών του πρότυπου εισόδου και του διανύσματος βάρους και βασίζεται στην παρακάτω σχέση, της οποίας η σύγκλιση αποδεικνύεται μαθηματικά:

$$w_i(t + 1) = w_i(t) + a(t)h_{ci}(t)[x(t) - w_i(t)], \quad 0 \leq a(t) \leq 1$$

Από γεωμετρική άποψη, με την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης τα διανύσματα βάρους των προσαρμοσμένων νευρώνων μετακινούνται προς το πρότυπο εισόδου. Το πόσο θα μετακινηθούν τα διανύσματα αυτά καθορίζεται από τον ρυθμό μάθησης $a(t)$, ο οποίος φθίνει με την πάροδο του χρόνου. Ο αριθμός των νευρώνων που επηρεάζεται από την προσαρμογή και το μέγεθος της προσαρμογής, το οποίο εξαρτάται από την απόσταση του νευρώνα από τον νικητή, καθορίζονται από τη συνάρτηση γειτνίασης $h_{ci}(t)$. Ο αριθμός αυτός των νευρώνων αρχικά επιλέγεται αρκετά μεγάλος ώστε να σχηματίζουν έναν πυρήνα και μειώνεται χρονικά, ούτως ώστε στο τέλος της εκπαίδευσης μόνο ο νικητής να προσαρμόζεται.

Με βάση τα παραπάνω ο αλγόριθμος εκπαίδευσης του SOM συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικοποίησε τα βάρη συνδέσεων των N νευρώνων σε μικρές, τυχαίες τιμές.
2. Εφάρμοσε μια νέα είσοδο $\mathbf{x}(t)$.
3. Υπολόγισε την απόσταση ή το εσωτερικό γινόμενο μεταξύ του διανύσματος εισόδου $\mathbf{x}(t)$ και του διανύσματος βάρους $\mathbf{w}_i(t)$ κάθε νευρώνα.
4. Επίλεξε ως νικητή τον νευρώνα με τη μικρότερη απόσταση ή το μεγαλύτερο εσωτερικό γινόμενο.
5. Προσάρμοσε τα βάρη του νικητή νευρώνα και των γειτονικών του.
6. Επανάλαβε το βήμα 2 έως ότου συμπληρωθούν οι εποχές εκπαίδευσης.

2.1.3 SOM επιβλεπόμενης μάθησης

Όπως έχει αναφερθεί, το SOM ανήκει στα νευρωνικά δίκτυα μη επιβλεπόμενης μάθησης. Ωστόσο, στην περίπτωση που παρέχεται η επιπρόσθετη πληροφορία των κατηγοριών στις οποίες ανήκουν τα πρότυπα ενός συνόλου δεδομένων, οι δυνατότητες του SOM δύνανται να διευρυνθούν, πράγμα που έχει άμεσο αντίκτυπο στην περαιτέρω βελτίωση των επιδόσεών του. Η εν λόγω προσέγγιση καλείται *supervised SOM* καθότι κινείται στα όρια μεταξύ επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης μάθησης [32].

Για να μετασχηματιστεί ο αλγόριθμος μη επιβλεπόμενης μάθησης του SOM σε επιβλεπόμενης, το διάνυσμα κάθε προτύπου εισόδου χωρίζεται σε δύο τμήματα \mathbf{x}_u και \mathbf{x}_s , όπου \mathbf{x}_u είναι το διάνυσμα χαρακτηριστικών του προτύπου και \mathbf{x}_s είναι η κατηγορία στην οποία ανήκει το πρότυπο βάσει μίας ορθογώνιας κωδικοποίησης των κατηγοριών. Εν συνεχεία, τα συνενωμένα διανύσματα προτύπων εισόδου $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_u, \mathbf{x}_s]$ χρησιμοποιούνται στη διαδικασία εκπαίδευσης του SOM, γεγονός που αιτιολογεί τον όρο επιβλεπόμενης μάθησης, αφού η πληροφορία των κατηγοριών στις οποίες ανήκουν τα πρότυπα αξιοποιείται αναλόγως.

Κατά την αναγνώριση ή κατηγοριοποίηση ενός αγνώστου προτύπου, μόνο το τμήμα \mathbf{x}_u του διανύσματος αυτού συγκρίνεται με το αντίστοιχο τμήμα του διανύσματος βάρους όλων των νευρώνων του SOM. Η δε κατηγορία του νέου προτύπου καθορίζεται από το \mathbf{w}_s τμήμα του διανύσματος βαρών του νευρώνα νικητή.

2.1.4 Εφαρμογές των SOMs

Μία από τις βασικές λειτουργίες που καλείται να επιτελέσει το SOM ως ένα κλασικό δίκτυο μη επιβλεπόμενης μάθησης είναι η *ομαδοποίηση προτύπων (clustering)* ή αλλιώς η *μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification)*. Στόχος του *clustering* είναι η αντιστοίχιση προτύπων προερχόμενων από σύνολα δεδομένων σε ομάδες (*σωρούς, clusters*) σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια ομοιότητας. Ο διαχωρισμός των αρχικών συνόλων σε ομάδες γίνεται στη βάση της μεγιστοποίησης της ομοιότητας μεταξύ των προτύπων του ίδιου σωρού και στην ελαχιστοποίηση της ομοιότητας μεταξύ προτύπων που ανήκουν σε διαφορετικούς σωρούς.

Το SOM, εκτός των δυνατοτήτων που προσφέρει για ομαδοποίηση προτύπων, είναι ένα αποδοτικό εργαλείο για οπτικοποίηση δεδομένων μεγάλων διαστάσεων. Στη βασική του μορφή ουσιαστικά μετατρέπει τις μη γραμμικές στατιστικές

συσχετίσεις προτύπων μεγάλης διάστασης σε απλές γεωμετρικές συσχετίσεις σημείων ενός επιπέδου μικρής διάστασης το οποίο συνήθως είναι ένα δισδιάστατο πλέγμα νευρώνων - κόμβων. Κατά συνέπεια, καθώς το SOM συμπιέζει την πληροφορία διατηρώντας στις απεικονίσεις τις σημαντικότερες τοπολογικές και μετρικές συσχετίσεις των δεδομένων, μπορεί να υποστηριχθεί ότι παράγει ένα είδος αφαίρεσης.

Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά, η οπτικοποίηση και η αφαίρεση, σε συνδυασμό με την ομαδοποίηση προτύπων είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε μία σειρά πολύπλοκων και σύνθετων εργασιών όπως στην αναγνώριση φωνής, στη ρομποτική, στην παραγωγή ελέγχου, στις τηλεπικοινωνίες, στην επεξεργασία εικόνας (*image processing*), στην όραση υπολογιστών κ.α..

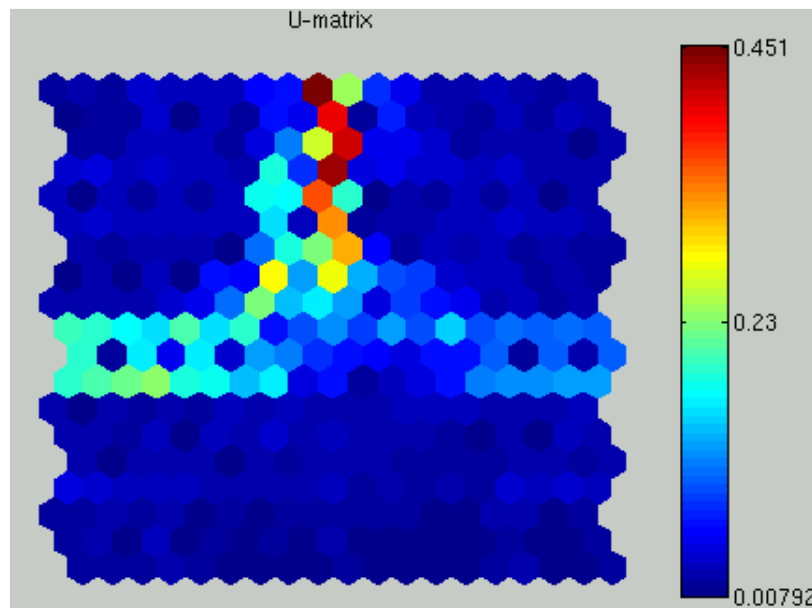
2.1.5 Μέθοδοι απεικόνισης των SOMs

Οι διάφορες μέθοδοι απεικόνισης του αυτο-οργανούμενου χάρτη χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον στόχο που θέλει να εκπληρώσει η καθεμία. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι που έχουν σκοπό την παρουσίαση του συνολικού σχήματος και της δομής των δεδομένων (*Σχήματα 2.1.1 και 2.1.2*). Στη δεύτερη ανήκουν οι μέθοδοι όπου αναλύονται τα πρότυπα διανύσματα, για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά των συστάδων και η αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων των διανυσμάτων. Στην τρίτη και τελευταία κατηγορία στόχος είναι η εξέταση καινούριων δειγμάτων δεδομένων για την κατάταξη και κατηγοριοποίησή τους [33].

Στην περίπτωση της περιγραφής τόσο του συνολικού σχήματος των δεδομένων όσο και των χαρακτηριστικών των συστάδων μια από τις πιο βασικές μεθόδους απεικόνισης των χαρτών SOM είναι οι *πίνακες ενοποιημένων αποστάσεων* (*unified distance matrix ή U-matrix*) [34]. Στους πίνακες αυτούς (*Σχήμα 2.1.6*) οι αποστάσεις κάθε νευρώνα του χάρτη σε σχέση με καθέναν από τους άμεσους γείτονές του υπολογίζονται και απεικονίζονται με τη βοήθεια χρωμάτων επί ενός επιπέδου, δηλαδή κάθε απόσταση αντιστοιχίζεται με μια χρωματική κλίμακα. Εναλλακτικά, οι αποστάσεις μπορούν να απεικονιστούν χρησιμοποιώντας είτε διαφορετικά σχήματα και μεγέθη για κάθε νευρώνα του χάρτη SOM είτε διαφορετικές γραμμές που να ενώνουν τους νευρώνες. Η πιο απλή περίπτωση του πίνακα αποστάσεων είναι να υπολογιστεί μία μοναδική τιμή για κάθε νευρώνα του χάρτη, δηλαδή να υπολογιστεί η ελάχιστη, η μέγιστη ή η μέση

τιμή των αποστάσεων αυτού του νευρώνα από τους γειτονικούς του και να χρησιμοποιηθεί κατόπιν αυτή η τιμή για να καθοριστεί το μέγεθος και το χρώμα του.

Οι μέθοδοι απεικόνισης του χάρτη SOM χρησιμοποιώντας πίνακες αποστάσεων αναδεικνύουν τα όρια μεταξύ των συστάδων και δίνουν μια συνολική εικόνα για τη δομή των δεδομένων εισόδου. Μια άλλη προσέγγιση στη χρήση τους είναι για την απεικόνιση της ομοιότητας μεταξύ των νευρώνων. Αυτό μπορεί να γίνει με την απόδοση ενός χρώματος σε κάθε νευρώνα, οπότε ένας παρόμοιος θα αποκτά κοντινή απόχρωση.

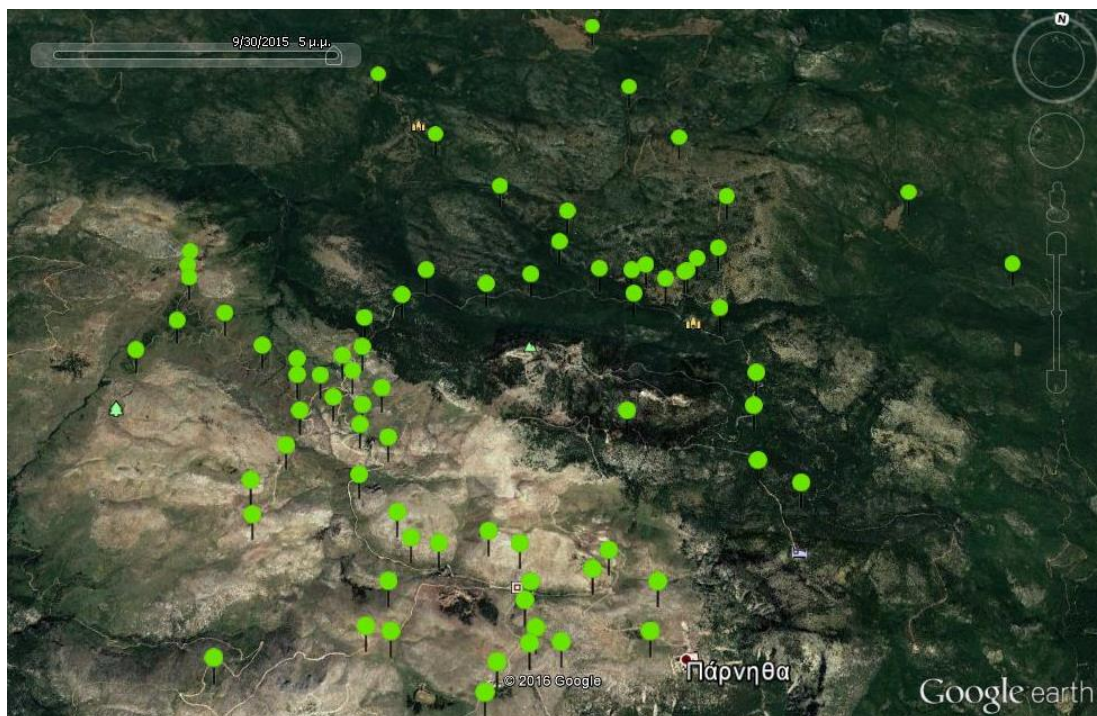


Σχήμα 2.1.6: Πίνακας αποστάσεων U-Matrix.

2.2 Σύνολο δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων για το κόκκινο ελάφι της Πάρνηθας πραγματοποιήθηκε σε δύο περιόδους, τον Νοέμβριο του 2014 και τον Σεπτέμβριο του 2015. Σε 15 συνολικά επισκέψεις καταγράφηκαν 184 ελάφια και καλύφθηκε ένα μεγάλο μέρος του ορεινού όγκου της Πάρνηθας. Σκοπός της συλλογής ήταν η εύρεση των περιοχών στις οποίες αρέσκεται να κινείται και να τρέφεται το ελάφι καθώς και των περιοχών που αποφεύγει. Ο προσδιορισμός των περιοχών αυτών έγινε κυρίως μέσω οπτικής επαφής με τα ζώα. Ωστόσο, επειδή ο εντοπισμός των ελαφιών σε δασώδη περιβάλλοντα είναι πρακτικά δύσκολος, ενίοτε αξιοποιήθηκαν κάποιες βιοδηλωτικές ενδείξεις που μαρτυρούσαν την παρουσία τους, όπως κοπροσωροί, ίχνη από οπλές κ.α..

Για κάθε περιοχή σημειώθηκαν αναλυτικά οι βιοτικές και αβιοτικές της παράμετροι συμπληρώνοντας το πρωτόκολλο καταγραφής που σχεδιάστηκε για τον λόγο αυτό και παρατίθεται στο Παράρτημα 6.3. Τα περιβαλλοντικά στοιχεία προσδιορίστηκαν με τη χρήση του φορητού μετεωρολογικού σταθμού Kestrel 4000. Οι συντεταγμένες καταγράφηκαν μέσω της εφαρμογής GPS Essentials και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο Google Earth Pro (Εικόνα 2.2.1), όπου και υπολογίστηκαν το υψόμετρο, η κλίση και η κάλυψη του εδάφους για κάθε περιοχή.



Εικόνα 2.2.1: Στίγματα παρουσίας του κόκκινου ελαφιού στην Πάρνηθα

Σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν εφικτή η προσέγγιση μιας περιοχής ή η οπτική επαφή με το ελάφι και συνεπώς η καταγραφή ορισμένων πληροφοριών όπως η ηλικία του ζώου ή το είδος φυτού με το οποίο τρεφόταν. Για τον λόγο αυτό από το σύνολο των παραμέτρων που καταγράφηκαν στο πρωτόκολλο αφαιρέθηκαν όσες ήταν ελλιπείς ενώ για τις υπόλοιπες υπολογίστηκε η στατιστική σημαντικότητα τους αναφορικά με την ύπαρξη ή όχι ελαφιού στην αντίστοιχη περιοχή. Με βάση την παραπάνω ανάλυση προέκυψε πως οι κρίσιμες παράμετροι είναι η κάλυψη του εδάφους με δέντρα ή θάμνους, το είδος της βλάστησης, το υψόμετρο, η έκθεση και η κλίση του εδάφους.

Το τελικό λοιπόν σύνολο δεδομένων αποτελείται από 382 ισομοιρασμένες παρατηρήσεις παρουσίας ή απουσίας του ελαφιού με τις προαναφερθείσες παραμέτρους. Η κάλυψη του εδάφους κατηγοριοποιήθηκε σε 11 κλάσεις από 0% έως 100% ενώ οι περιοχές ανάλογα με το είδος βλάστησης χωρίστηκαν σε άγονες εκτάσεις,

καμένες εκτάσεις, δασικές εκτάσεις, θαμνώνες και ποολίβαδα (στην κατηγορία αυτή συμπεριελήφθησαν οι αραιές δασικές εκτάσεις και οι αραιοί θαμνώνες). Το υψόμετρο κυμάνθηκε μεταξύ των 600 και 1400 μέτρων και η κλίση του εδάφους από 0° έως 60°.

2.3 Μεθοδολογία

Τα παραπάνω δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της καταλληλότητας του ενδιαιτήματος του κόκκινου ελαφιού της Πάρνηθας με τη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης. Σε αντίστοιχα προβλήματα, οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι επίλυσης περιλαμβάνουν Πολυστρωματικά *Perceptrons* (*MultiLayer Perceptrons – MLPs*), *Support Vector Machines (SVMs)* ή *Δέντρα Αποφάσεων (Decision Trees)*. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε μια διαφορετική προσέγγιση με τους *αυτο-οργανούμενους χάρτες (SOMs)* ως το νευρωνικό δίκτυο που θα εκπαιδευτεί από το σύνολο δεδομένων της προηγούμενης παραγράφου. Συγκεκριμένα, θα γίνει χρήση της έκδοσης επιβλεπόμενης μάθησης του SOM, η οποία είναι πιο αποδοτική στην ταξινόμηση. Απώτερος στόχος είναι το εκπαιδευμένο πλέον δίκτυο SOM να μπορεί, όταν τροφοδοτηθεί με τις παραμέτρους μιας νέας περιοχής, να προβλέπει αν σε αυτή δύναται να επιβιώσει ή όχι το κόκκινο ελάφι της Πάρνηθας.

2.3.1 Επεξεργασία συνόλου δεδομένων

Μετά την επιλογή του SOM, και συγκεκριμένα του supervised SOM, το σύνολο δεδομένων έπρεπε να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία για να πληροί τις προϋποθέσεις του συγκεκριμένου ΝΔ και να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευσή του.

Αρχικά, τα κατηγορικά δεδομένα, δηλαδή αυτά που προέρχονται από ποιοτικές μεταβλητές, όπως το είδος βλάστησης και η έκθεση, κωδικοποιήθηκαν σε αριθμούς ούτως ώστε να μπορούν να αναγνωρισθούν από το SOM. Για το είδος της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν οι αριθμοί από το 0 έως το 5 για τις άγονες εκτάσεις, τα ποολίβαδα, τις δασικές εκτάσεις, τους θαμνώνες και τις καμένες εκτάσεις αντίστοιχα. Η έκθεση αντιστοιχίστηκε στους αριθμούς 0 έως 7 για τα οκτώ σημεία του ορίζοντα (B, BA, A, NA, N, ΝΔ, Δ, ΒΔ αντίστοιχα) ενώ με 8 κωδικοποιήθηκαν οι επίπεδες εκθέσεις.

Στη συνέχεια όλες οι αριθμητικές πλέον τιμές των πέντε παραμέτρων του συνόλου δεδομένων κανονικοποιήθηκαν στη μονάδα, ούτως ώστε να είναι πιο αποτελεσματική η διαδικασία μάθησης, και αποτέλεσαν το x_u τμήμα του διανύσματος εισόδου. Το x_s

τιμήμα προέκυψε μετά από ορθογώνια κωδικοποίηση της κατηγορίας που ανήκει το κάθε πρότυπο εισόδου. Συγκεκριμένα, αν ένα πρότυπο εισόδου αναφέρεται σε περιοχή κατάλληλη για τη φιλοξενία του ελαφιού, τότε $\mathbf{x}_s = [\mathbf{1} \ \mathbf{0}]$, διαφορετικά $\mathbf{x}_s = [\mathbf{0} \ \mathbf{1}]$.

Κάθε πρότυπο εισόδου λοιπόν αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα της μορφής:

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_u \ \mathbf{x}_s] = [Cover \ Vegetation \ Altitude \ Exposure \ Slope \ 1 \ 0]$$

ή

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_u \ \mathbf{x}_s] = [Cover \ Vegetation \ Altitude \ Exposure \ Slope \ 0 \ 1]$$

2.3.2 Σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου

Για την εκπαίδευση και αξιολόγηση του SOM το παραπάνω σύνολο δεδομένων πρέπει να χωριστεί σε δύο υποσύνολα, το *σύνολο εκπαίδευσης* (*training dataset*) και το *σύνολο ελέγχου* (*testing dataset*). Το σύνολο εκπαίδευσης θα χρησιμοποιηθεί για τη διαδικασία μάθησης ενώ το σύνολο ελέγχου για την αξιολόγηση των επιδόσεών του. Ωστόσο, επειδή το υπάρχον σύνολο δεδομένων είναι μικρό υπάρχει κίνδυνος *υπερπροσαρμογής* (*overfit*) του ΝΔ, δηλαδή το SOM να δίνει καλά αποτελέσματα μόνο με τα συγκεκριμένα δεδομένα και να μη μπορεί να γενικεύσει σε άγνωστα πρότυπα εισόδου. Για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκε η λεγομένη *k-επαναλήψεων διασταυρούμενη επικύρωση* (*k-fold cross validation*). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή το αρχικό σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε *k* ισομεγέθη υποσύνολα, ένα εκ των οποίων αποτελεί το σύνολο ελέγχου και τα υπόλοιπα *k - 1* το σύνολο εκπαίδευσης. Η διαδικασία της εκπαίδευσης επαναλαμβάνεται *k* φορές με το κάθε ένα από τα *k* υποσύνολα να χρησιμοποιείται από μία φορά ως σύνολο ελέγχου. Εν προκειμένω επιλέχθηκε η *στρωματοποιημένη 10-fold cross validation* τεχνική χωρίζοντας το σύνολο δεδομένων σε δέκα υποσύνολα ίδιου μεγέθους που στο καθένα περιέχονται ίσες παρατηρήσεις από κάθε κατηγορία.

2.3.3 Υλοποίηση νευρωνικού δικτύου SOM

Η υλοποίηση του SOM πραγματοποιήθηκε με βάση τις γενικές αρχές που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.1 στο περιβάλλον και στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB. Παρακάτω περιγράφονται η λειτουργία και τα ορίσματα εισόδου και εξόδου των συναρτήσεων που αναπτύχθηκαν ενώ ο λεπτομερής κώδικάς τους παρατίθεται στο Παράρτημα 6.1.

2.3.3.1 Η συνάρτηση *somCreate*

Η συνάρτηση *somCreate* κατασκευάζει ένα νέο δίκτυο SOM δεχόμενη τα παρακάτω ορίσματα:

- **minMax**: πίνακας $D \times 2$ (όπου D ο αριθμός των χαρακτηριστικών των προτύπων εισόδου) που στην πρώτη στήλη περιέχει τις ελάχιστες τιμές όλων των χαρακτηριστικών εισόδου ενώ στη δεύτερη στήλη τις μέγιστες τιμές.
- **gridSize**: πίνακας γραμμή του οποίου το πρώτο στοιχείο περιέχει το πλήθος των νευρώνων ανά γραμμή και το δεύτερο στοιχείο το πλήθος των νευρώνων ανά στήλη.

Η εν λόγω συνάρτηση δημιουργεί τις ακόλουθες καθολικές (*global*) μεταβλητές ώστε να μπορούν να προσπελαστούν από τις υπόλοιπες συναρτήσεις που καθορίζονται στη συνέχεια:

- **neuronsPerRow**: το πλήθος των νευρώνων ανά γραμμή (οριζόντια διεύθυνση) που περιέχονται στο πλέγμα του αυτο-οργανούμενου χάρτη.
- **neuronsPerColumn**: το πλήθος των νευρώνων ανά στήλη (κατακόρυφη διεύθυνση) που περιέχονται στο πλέγμα του αυτο-οργανούμενου χάρτη.
- **N**: το συνολικό πλήθος των νευρώνων.
- **IW**: οι παράμετροι - βάρη του SOM είναι ένας πίνακας μεγέθους $N \times D$, κάθε στοιχείο της γραμμής του οποίου αρχικοποιείται σε μία τυχαία τιμή μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής του αντίστοιχου χαρακτηριστικού εισόδου.
- **distances**: πίνακας $N \times N$ που περιέχει την απόσταση κάθε νευρώνα από όλους τους υπόλοιπους νευρώνες. Η κύρια διαγώνιος του αποτελείται από μηδενικά ενώ ο πίνακας είναι συμμετρικός.

2.3.3.2 Η συνάρτηση *somTrainParameters*

Η συνάρτηση *somTrainParameters* αρχικοποιεί ή καθορίζει συγκεκριμένες παραμέτρους που σχετίζονται με τη διαδικασία εκπαίδευσης ενός SOM. Τα ορίσματα που δέχεται είναι τα εξής:

- **setOrderLR**: η τιμή που τίθεται για τον αρχικό ρυθμό μάθησης κατά το *ordering* στάδιο της εκπαίδευσης.

- **setOrderSteps:** η τιμή που τίθεται για το πλήθος των εποχών κατά το *ordering* στάδιο της διαδικασίας εκπαίδευσης.
- **setTuneLR** η τιμή που τίθεται για τον ρυθμό μάθησης κατά το *tuning* στάδιο της εκπαίδευσης.

Η εν λόγω συνάρτηση κατασκευάζει τις ακόλουθες καθολικές (*global*) μεταβλητές:

- **maxNeighborDist:** η μέγιστη απόσταση που εμφανίζεται μεταξύ δύο οποιωνδήποτε νευρώνων.
- **tuneND:** η απόσταση στο πλέγμα του SOM εντός της οποίας εάν βρίσκεται ένας νευρώνας θεωρείται γειτονικός του νευρώνα νικητή κατά το *tuning* στάδιο της εκπαίδευσης.
- **orderLR:** ο αρχικός ρυθμός μάθησης κατά το *ordering* στάδιο της εκπαίδευσης.
- **orderSteps:** το πλήθος των εποχών κατά το *ordering* στάδιο της διαδικασίας εκπαίδευσης.
- **tuneLR:** ο ρυθμός μάθησης κατά το *tuning* στάδιο της εκπαίδευσης.

2.3.3.3 Η συνάρτηση *somOutput*

Η συνάρτηση *somOutput* υπολογίζει την έξοδο του SOM σε κάποιο πρότυπο εισόδου το οποίο δέχεται ως όρισμα:

- **pattern:** πίνακας $D \times 1$ που περιέχει διατεταγμένα τα χαρακτηριστικά ενός προτύπου εισόδου, δηλαδή ουσιαστικά είναι ένα διάνυσμα στήλη διάστασης D .

και δίνει στην έξοδο της τον νευρώνα νικητή:

- **output:** πίνακας $N \times 1$ που περιέχει το σύνολο των εξόδων του SOM. Οι τιμές αυτές είναι όλες 0 εκτός της τιμής για τον νευρώνα νικητή, που είναι 1.

Η παραπάνω συνάρτηση σε πρώτη φάση υπολογίζει την αρνητική Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του προτύπου εισόδου και του διανύσματος παραμέτρων κάθε νευρώνα του SOM. Στη συνέχεια βρίσκει τον νευρώνα με τη μεγαλύτερη τιμή και θέτει την έξοδο του στη μονάδα.

2.3.3.4 Η συνάρτηση somActivation

Η συνάρτηση somActivation υπολογίζει τις ενεργοποιήσεις όλων των νευρώνων του SOM και δέχεται τα εξής ορίσματα:

- **pattern**: πίνακας $D \times 1$ που περιέχει διατεταγμένα τα χαρακτηριστικά ενός προτύπου εισόδου, δηλαδή ουσιαστικά είναι ένα διάνυσμα στήλη διάστασης D .
- **neighborDist**: η απόσταση στο πλέγμα του SOM εντός της οποίας εάν βρίσκεται ένας νευρώνας θεωρείται γειτονικός του νευρώνα νικητή.

Η έξοδος της είναι:

- **h**: πίνακας $N \times 1$ που συνίσταται από τις τιμές των ενεργοποιήσεων όλων των νευρώνων ενός SOM.

Σύμφωνα με τη συνάρτηση αυτή ο νευρώνας νικητής λαμβάνει τιμή ενεργοποίησης 1, οι νευρώνες που θεωρούνται γειτονικοί σε αυτόν (δηλαδή αυτοί που βρίσκονται σε απόσταση \leq neighborDist) λαμβάνουν τιμή ενεργοποίησης 0.5 και όλοι οι υπόλοιποι νευρώνες έχουν τιμή ενεργοποίησης 0.

2.3.3.5 Η συνάρτηση somUpdate

Η συνάρτηση somUpdate ενημερώνει το σύνολο των παραμέτρων ενός SOM δεχόμενη τα εξής ορίσματα:

- **pattern**: πίνακας $D \times 1$ που περιέχει διατεταγμένα τα χαρακτηριστικά ενός προτύπου εισόδου, δηλαδή ουσιαστικά είναι ένα διάνυσμα στήλη διάστασης D .
- **learningRate**: ο ρυθμός μάθησης κατά το τρέχον βήμα της τροποποίησης των βαρών του SOM.
- **neighborDist**: η απόσταση στο πλέγμα του SOM εντός της οποίας εάν βρίσκεται ένας νευρώνας θεωρείται γειτονικός του νευρώνα νικητή.

Αυτή η συνάρτηση τροποποιεί τα βάρη, ή αλλιώς τις παραμέτρους, ενός SOM βάσει του αλγορίθμου μάθησης του Kohonen, ο οποίος επιγραμματικά είναι ο εξής:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + a(t)h_{ci}(t)[x(t) - w_i(t)], \quad 0 \leq a(t) \leq 1$$

όπου w_i το διάνυσμα παραμέτρων του νευρώνα i , x το πρότυπο εισόδου, h_{ci} η ενεργοποίηση του νευρώνα i και a ο ρυθμός μάθησης.

2.3.3.6 Η συνάρτηση *somTrain*

Η συνάρτηση *somTrain* εκπαιδεύει το SOM δεχόμενη το εξής όρισμα:

- **trainData:** πίνακας DxP που περιέχει το σύνολο των προτύπων εκπαίδευσης για το SOM (*training dataset*).

Η εν λόγω συνάρτηση εκπαιδεύει ένα SOM παρουσιάζοντας κάθε πρότυπο, προσδιορίζοντας τον νευρώνα νικητή (ανταγωνισμός), υπολογίζοντας τις ενεργοποιήσεις (συνεργασία) και ανανεώνοντας τις παραμέτρους του SOM βάσει του αλγορίθμου μάθησης του Kohonen (ανταμοιβή). Αυτή η διαδικασία γίνεται ακολουθιακά και ξεχωριστά για όλα τα πρότυπα σε κάθε εποχής εκπαίδευσης. Γενικότερα, η εκπαίδευση περιλαμβάνει αμφότερα τα στάδια *ordering* και *tuning*, κάθε ένα εκ των οποίων διαρκεί έναν ορισμένο αριθμό εποχών.

Το στάδιο *ordering* διαρκεί *orderSteps* εποχές. Η απόσταση εντός της οποίας ο νευρώνας νικητής και κάθε άλλος νευρώνας θεωρούνται γειτονικοί ξεκινάει ως η μέγιστη απόσταση μεταξύ δυο οποιωνδήποτε νευρώνων (μεταβλητή *maxNeighborDist*) και μειώνεται (γραμμικά ή εκθετικά) μέχρι την τιμή *tuneND*. Αντίστοιχα, η αρχική τιμή του ρυθμού μάθησης είναι *orderLR* και μειώνεται ομοίως (γραμμικά ή εκθετικά) μέχρι την τιμή *tuneLR*.

Το στάδιο *tuning* διαρκεί σαφώς περισσότερες εποχές από ό,τι το στάδιο *ordering*, συνήθως κατά ένα συντελεστή από 2 έως 5. Η απόσταση εντός της οποίας ο νευρώνας νικητής και κάθε άλλος νευρώνας θεωρούνται γειτονικοί είναι σταθερή και ίση με *tuneND*. Ο ρυθμός μάθησης είτε διατηρείται αμετάβλητος και ίσος με *tuneLR* είτε με αρχική τιμή την *tuneLR* μειώνεται με ιδιαίτερα αργό τρόπο.

2.3.3.7 Η συνάρτηση *somTest*

Η συνάρτηση *somTest* κατηγοριοποιεί τα δεδομένα ελέγχου δεχόμενη το εξής όρισμα:

- **testData:** Πίνακας DxT που περιέχει το σύνολο των προτύπων ελέγχου (*testing dataset*).

και χρησιμοποιώντας το εκπαιδευμένο πλέον SOM δίνει στην έξοδο της:

- **preData:** Πίνακας DxT που περιέχει το σύνολο των προτύπων ελέγχου αλλά κατηγοριοποιημένα πλέον από το SOM.

Η παραπάνω συνάρτηση αρχικά υπολογίζει την αρνητική Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε άγνωστου προτύπου εισόδου και του διάνυσματος βάρους κάθε νευρώνα του SOM. Με τον τρόπο αυτό βρίσκει τον νευρώνα νικητή για κάθε νέα είσοδο. Στη συνέχεια, από το διάνυσμα βάρους του νευρώνα αυτού επιλέγει τα δύο τελευταία πεδία, που καθορίζουν ουσιαστικά την κατηγορία στην οποία ανήκει το άγνωστο πρότυπο, τα προσθέτει στο τέλος του άγνωστου προτύπου και τα στρογγυλοποιεί, ούτως ώστε να είναι μηδέν ή ένα. Ο πίνακας που προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία επιστρέφεται στην έξοδο.

2.3.3.8 Η συνάρτηση *somCrossValidation*

Η συνάρτηση *somCrossValidation* εφαρμόζει την τεχνική της διασταυρούμενης επικύρωσης. Στην είσοδο της δέχεται τα εξής ορίσματα:

- **k:** Ο αριθμός των επαναλήψεων της τεχνικής.
- **dataset:** Το σύνολο δεδομένων.
- **n:** Ο αριθμός των νευρώνων σε κάθε διάσταση του πλέγματος.
- **orderLR:** Ο ρυθμός μάθησης στο *ordering* στάδιο της εκπαίδευσης.
- **orderSteps:** Ο αριθμός εποχών στο *ordering* στάδιο της εκπαίδευσης.
- **tuneLR:** Ο ρυθμός μάθησης στο *tuning* στάδιο της εκπαίδευσης.

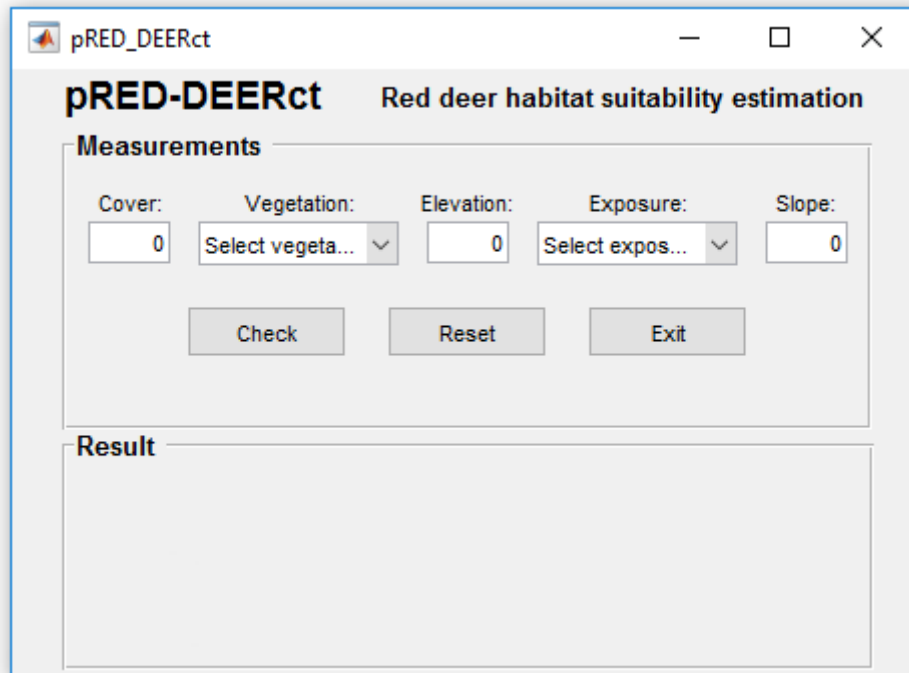
Στην έξοδο της δίνει τη μήτρα σύγχυσης (*confusion matrix*) καθώς και τα παρακάτω:

- **MCC:** Ο συντελεστής συσχέτισης του Matthews.
- **QE:** Το σφάλμα κβαντισμού.

Η συνάρτηση αυτή αρχικά χωρίζει το σύνολο δεδομένων σε k υποσύνολα, για την εφαρμογή της διασταυρούμενης επικύρωσης, και στη συνέχεια επαναλαμβάνει την διαδικασία δημιουργίας, αρχικοποίησης, εκπαίδευσης και ελέγχου του SOM k φορές. Σε κάθε επανάληψη σχεδιάζει τον U-matrix ενώ στο τέλος υπολογίζει τη μήτρα σύγχυσης, το συντελεστή συσχέτισης του Matthews και το σφάλμα κβαντισμού.

2.3.4 Ανάπτυξη εφαρμογής pRED-DEERct

Για να μπορεί ο εκάστοτε χρήστης να χρησιμοποιεί το εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο SOM και να λαμβάνει μια εκτίμηση για την καταλληλότητα μιας υποψήφιας για την εισαγωγή του κόκκινου ελαφιού περιοχής, αναπτύχθηκε στο περιβάλλον προγραμματισμού MATLAB η εφαρμογή pRED-DEERct (Σχήμα 2.3.1).



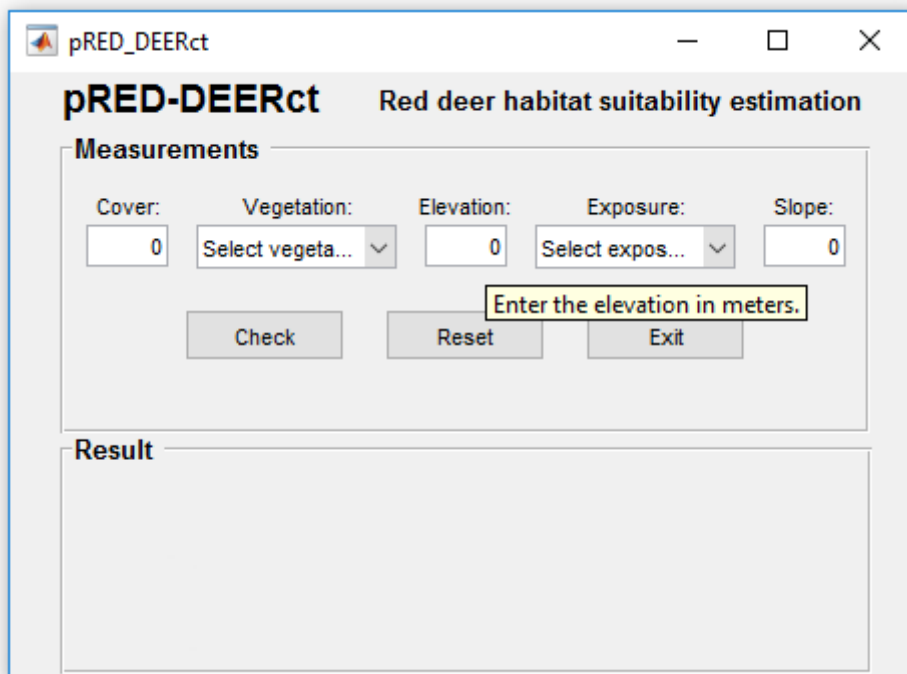
Σχήμα 2.3.1: Η γραφική διεπαφή χρήστη της εφαρμογής pRED-DEERct.

Η γραφική διεπαφή (*Graphical User Interface – GUI*) της εφαρμογής αυτής αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα. Στο πρώτο τμήμα, που ονομάζεται «Measurements», ο χρήστης καλείται να εισάγει τις παραμέτρους μιας νέας περιοχής στα αντίστοιχα πεδία. Σε καθένα από τα πεδία αυτά εμφανίζεται είτε βοήθεια για τη μορφή με την οποία πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα (Σχήμα 2.3.2) είτε μια λίστα με τις δυνατές επιλογές (Σχήμα 2.3.3). Στην περίπτωση που τα δεδομένα δεν έχουν σωστή μορφή ή είναι ελλιπή εμφανίζεται σχετικό μήνυμα σφάλματος (Σχήμα 2.3.4).

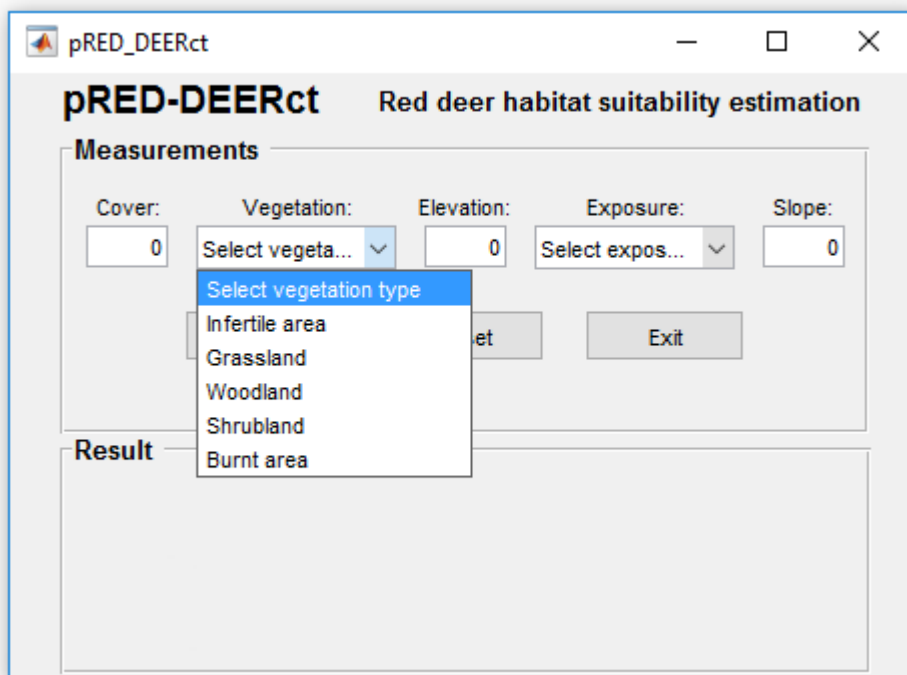
Στο πρώτο τμήμα υπάρχουν επίσης τα κουμπιά «Check», «Reset» και «Exit». Με το πάτημα του κουμπιού «Check» τα πεδία για την εισαγωγή των παραμέτρων κλειδώνουν και εμφανίζεται στο δεύτερο τμήμα του GUI, το οποίο ονομάζεται «Result», η εκτίμηση του νευρωνικού δικτύου SOM για την καταλληλότητα του ενδιαίτηματος (Σχήματα 2.3.5 και 2.3.6). Για να καταστεί δυνατή η εισαγωγή από τον χρήστη νέων δεδομένων, αφού έχει προηγηθεί κάποια εκτίμηση, είναι απαραίτητη η επιλογή του κουμπιού «Reset». Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διαγραφή των εισαγμένων

παραμέτρων, το ξεκλείδωμα των αντίστοιχων πεδίων και το σβήσιμο του προηγούμενο αποτελέσματος. Τέλος, το κλείσιμο της εφαρμογής πραγματοποιείται μέσω του κουμπιού «Exit».

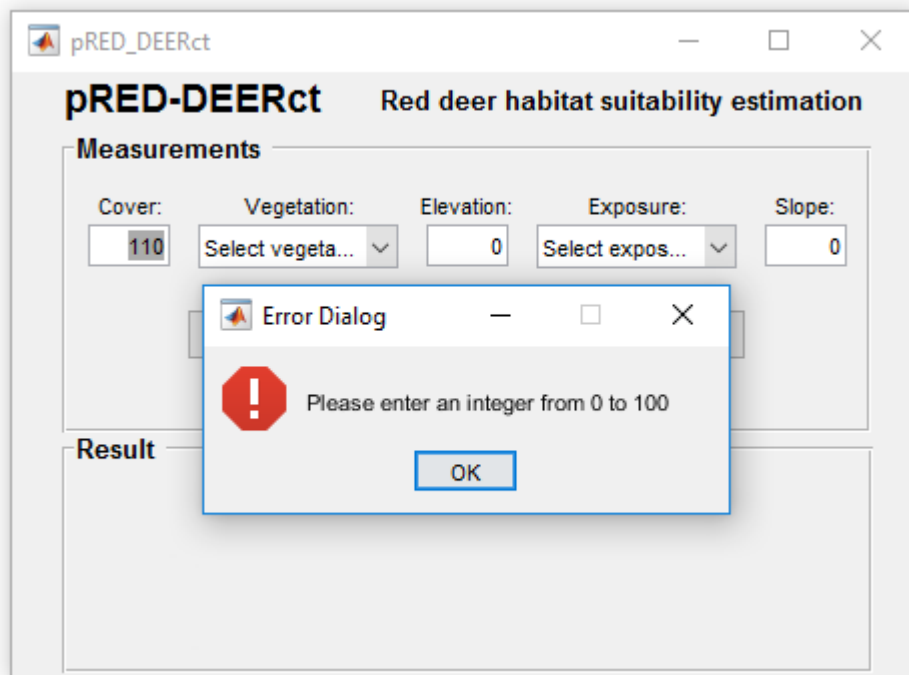
Ο κώδικας για την εφαρμογή pRED-DEERct παρατίθεται στο Παράρτημα 6.2.



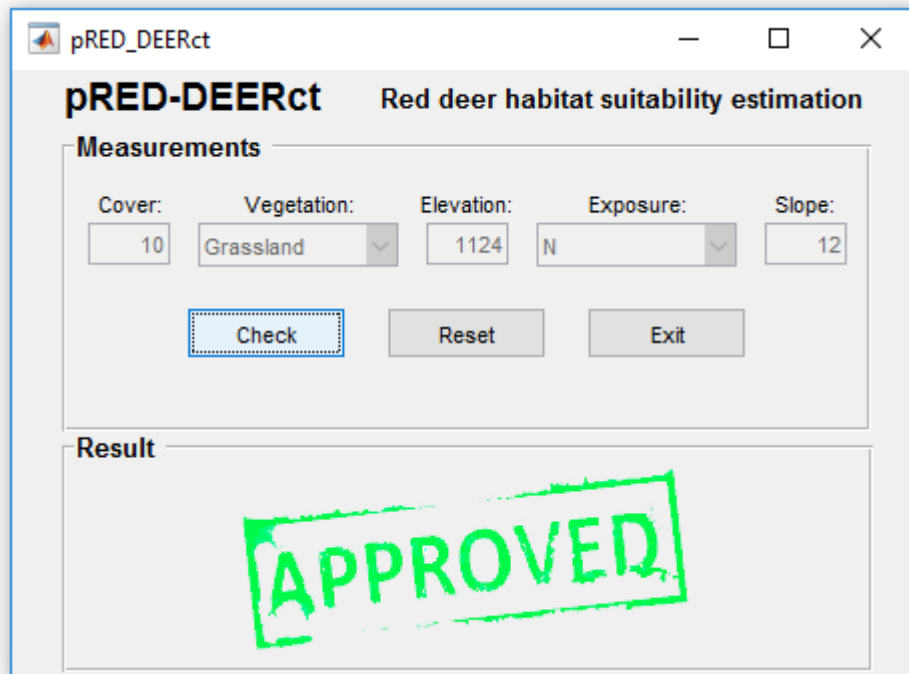
Σχήμα 2.3.2: Παράδειγμα βοήθειας για την εισαγωγή των δεδομένων.



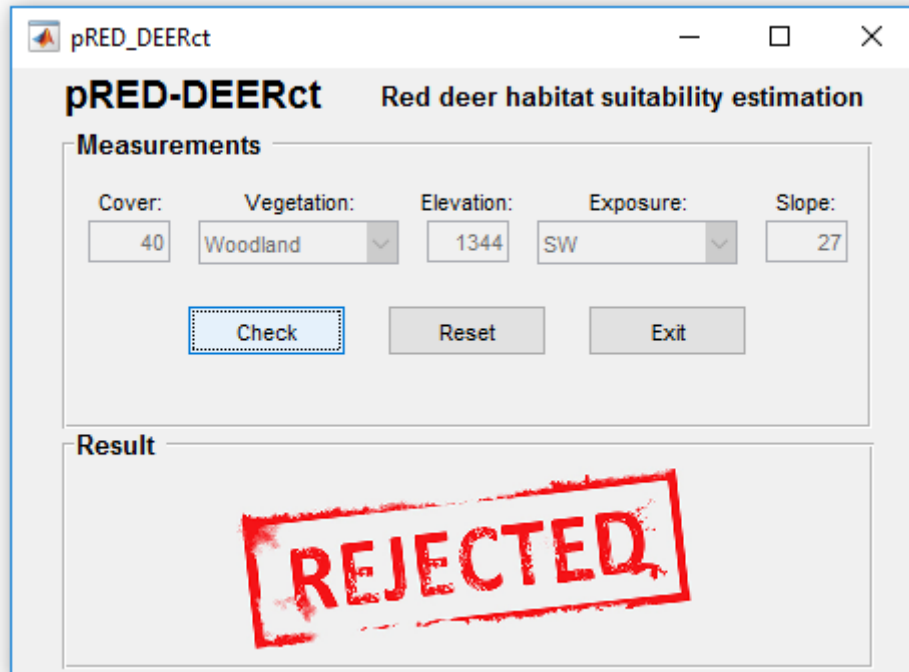
Σχήμα 2.3.3: Παράδειγμα λίστας με τις δυνατές επιλογές για την εισαγωγή των δεδομένων.



Σχήμα 2.3.4: Παράδειγμα σφάλματος κατά την εισαγωγή των δεδομένων.



Σχήμα 2.3.5: Παράδειγμα θετικής εκτίμησης του νευρωνικού δικτύου SOM για μία περιοχή.



Σχήμα 2.3.6: Παραδείγματα αρνητικής εκτίμησης του νευρωνικού δικτύου SOM για μία περιοχή.

3

Αποτελέσματα

Για την εύρεση της βέλτιστης αρχιτεκτονικής και των ιδανικών παραμέτρων του SOM πραγματοποιήθηκαν δοκιμές (*trial and error*) τροποποιώντας κάθε φορά ένα στοιχείο του και αξιολογώντας την επίδοσή του. Οι παράμετροι που ελέγχθηκαν ήταν με τη σειρά ο αριθμός των νευρώνων, το είδος πλέγματος, το μέτρο απόστασης, ο αριθμός εποχών εκπαίδευσης και ο ρυθμός μάθησης. Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά παρουσιάζονται τα κριτήρια αξιολόγησης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της απόδοσης του SOM και στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών.

3.1 Κριτήρια αξιολόγησης

Για τον έλεγχο των επιδόσεων του SOM χρησιμοποιήθηκε η μήτρα σύγχυσης (*confusion matrix*) (Πίνακας 3.1), που περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις για τον υπολογισμό των περισσότερων κριτηρίων αξιολόγησης όπως η ευαισθησία (*Sensitivity* ή *True Positive Rate – TPR*), η ειδικότητα (*Specificity* ή *True Negative Rate – TNR*), η ακρίβεια (*Accuracy – ACC*), η θετική προγνωστική αξία (*Positive Predictive Value – PPV*) και η αρνητική προγνωστική αξία (*Negative Predictive Value – NPV*).

		Actual Value (as confirmed by experiment)	
		positives	negatives
Predicted Value (predicted by the test)	positives	TP True Positive	FP False Positive
	negatives	FN False Negative	TN True Negative

Πίνακας 3.1: Μήτρα σύγχυσης

Αναλυτικά, τα παραπάνω κριτήρια αξιολόγησης υπολογίζονται με βάση τις τιμές της μήτρας σύγχυσης και τις ακόλουθες σχέσεις:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}, \quad TNR = \frac{TN}{TN + FP}$$

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}$$

$$PPV = \frac{TP}{TP + FP}, \quad NPV = \frac{TN}{TN + FN}$$

Επιπρόσθετα, έγινε χρήση του συντελεστή συσχέτισης του Matthews (*Matthews Correlation Coefficient – MCC*) όπως αυτός ορίζεται από τη σχέση:

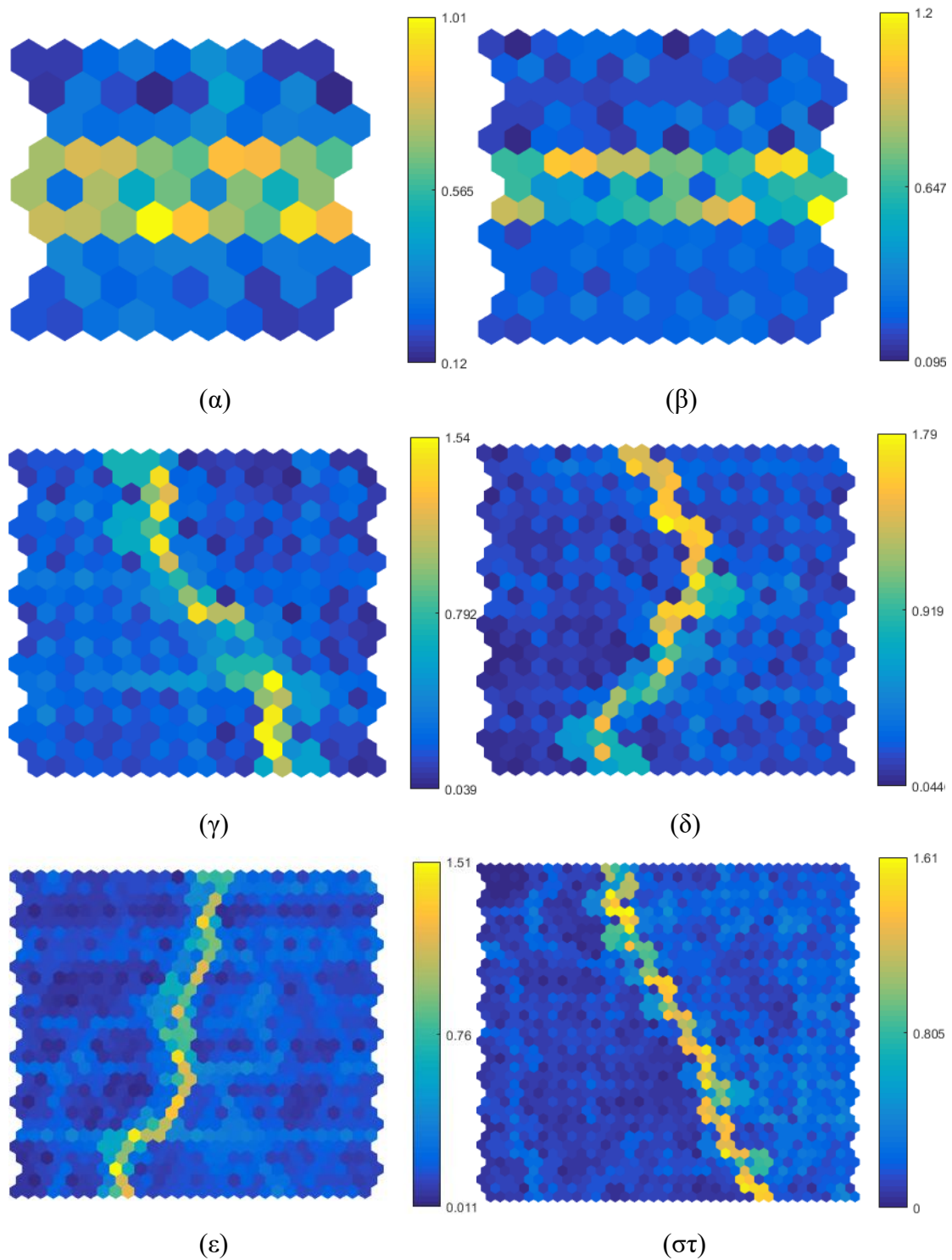
$$MCC = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}}$$

και του σφάλματος κβαντισμού (*Quantization Error – QE*), το οποίο αποτελεί τη μέση απόσταση μεταξύ του νευρώνα νικητή και του προτύπου εισόδου:

$$QE = \frac{\sum_{i=1}^P \|x_i - w_c\|}{P}$$

3.2 Αριθμός νευρώνων SOM

Αναφορικά με τον αριθμό των νευρώνων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για 25, 49, 100, 144, 225 και 400 νευρώνες, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές (ορθογώνιο πλέγμα, Ευκλείδεια απόσταση, 100 εποχές εκπαίδευσης και ρυθμό μάθησης ίσο με τη μονάδα). Στο *Σχήμα 3.1* παρατίθεται ο U-Matrix για κάθε δοκιμή, όπου και φαίνεται ότι το SOM, ανεξαρτήτως αριθμού νευρώνων, καταφέρνει να χωρίσει τα πρότυπα εισόδου στις δύο κατηγορίες. Στον *Πίνακα 3.2* συνοψίζονται οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης ενώ στο *Σχήμα 3.2* και στο *Σχήμα 3.3* απεικονίζονται οι τιμές αυτές συναρτήσει του αριθμού των νευρώνων του SOM.

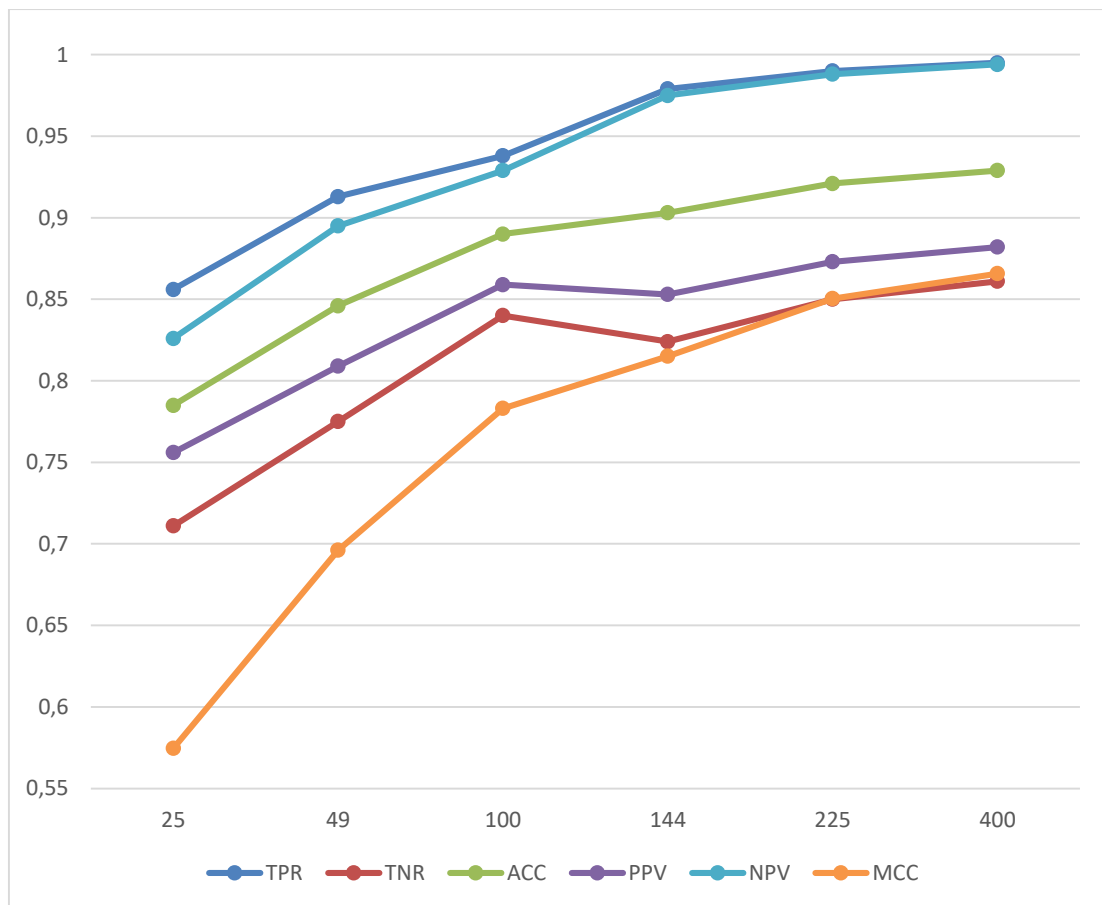


Σχήμα 3.1: Οι πίνακες ενοποιημένων αποστάσεων (*U-Matrices*) του SOM με (α) 25 νευρώνες, (β) 49 νευρώνες, (γ) 100 νευρώνες, (δ) 144 νευρώνες, (ε) 225 νευρώνες και (στ) 400 νευρώνες.

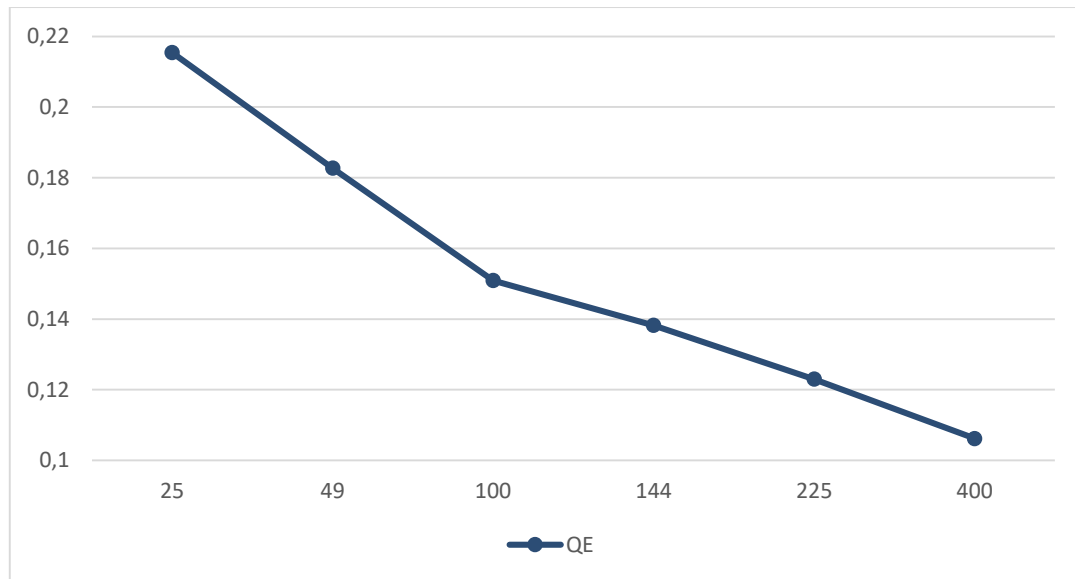
N	25	49	100	144	225	400
TPR (%)	85.6	91.3	93.8	97.9	99.0	99.5
TNR (%)	71.1	77.5	84.0	82.4	85.0	86.1
ACC (%)	78.5	84.6	89.0	90.3	92.1	92.9
PPV (%)	75.6	80.9	85.9	85.3	87.3	88.2
NPV (%)	82.6	89.5	92.9	97.5	98.8	99.4
MCC	0.5746	0.6961	0.7831	0.8151	0.8504	0.8657
QE	0.2154	0.1827	0.1509	0.1382	0.1230	0.1062

Πίνακας 3.2: Η απόδοση του SOM συναρτήσει του αριθμού των νευρώνων του.

Από τα Σχήματα 3.2 και 3.3. παρατηρούμε ότι με την αύξηση του αριθμού των νευρώνων αυξάνεται και η απόδοση του SOM. Ωστόσο, μια περαιτέρω αύξηση, αν και πιθανώς θα βελτιώνει επιπλέον τις τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης, είναι απαγορευτική λόγω του χρόνου που απαιτείται για την εκπαίδευση του μεγάλου πλήθους των νευρώνων.



Σχήμα 3.2: Διαγραμματική απεικόνιση των τιμών των κριτηρίων αξιολόγησης συναρτήσει του αριθμού των νευρώνων.



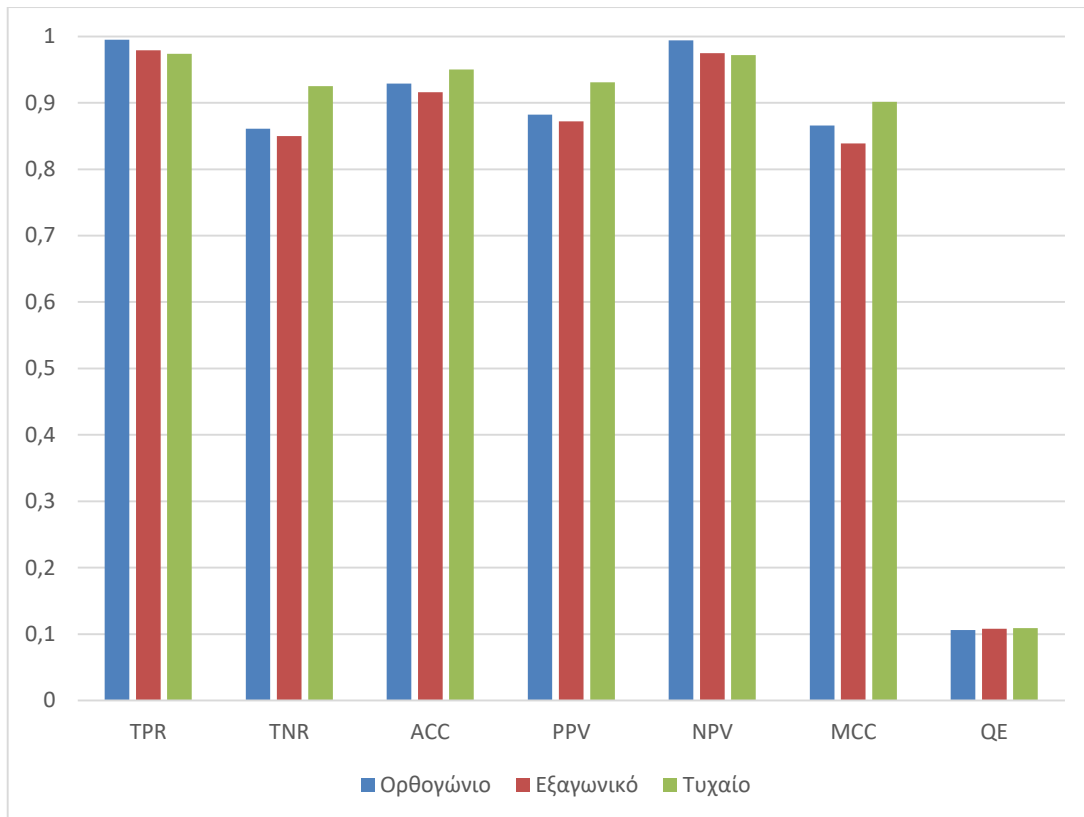
Σχήμα 3.3: Διαγραμματική απεικόνιση του σφάλματος κβαντισμού συναρτήσει του αριθμού των νευρώνων.

3.3 Πλέγμα νευρώνων

Στη συνέχεια, τροποποιούμε τον τύπο του πλέγματος από ορθογώνιο σε εξαγωνικό ή τυχαίο, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό των νευρώνων ίσο με 400, με τον οποίο βάσει της προηγούμενης παραγράφου φαίνεται να αποδίδει καλύτερα το SOM, καθώς και τις υπόλοιπες παραμέτρους στις προεπιλεγμένες τιμές. Στον Πίνακα 3.3 παρατίθενται οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης για κάθε δοκιμή ενώ στο Σχήμα 3.3 γίνεται διαγραμματική απεικόνισή τους, από όπου εύκολα διαπιστώνεται πως το τυχαίο πλέγμα έχει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Τύπος πλέγματος	Ορθογώνιο	Εξαγωνικό	Τυχαίο
TPR (%)	99.5	97.9	97.4
TNR (%)	86.1	85.0	92.5
ACC (%)	92.9	91.6	95.0
PPV (%)	88.2	87.2	93.1
NPV (%)	99.4	97.5	97.2
MCC	0.8657	0.8386	0.9014
QE	0.1062	0.1081	0.1089

Πίνακας 3.3: Η απόδοση του SOM συναρτήσει του τύπου πλέγματος των νευρώνων.



Σχήμα 3.3: Απεικόνιση των κριτηρίων αξιολόγησης για κάθε τύπο πλέγματος.

3.4 Μέτρο απόστασης

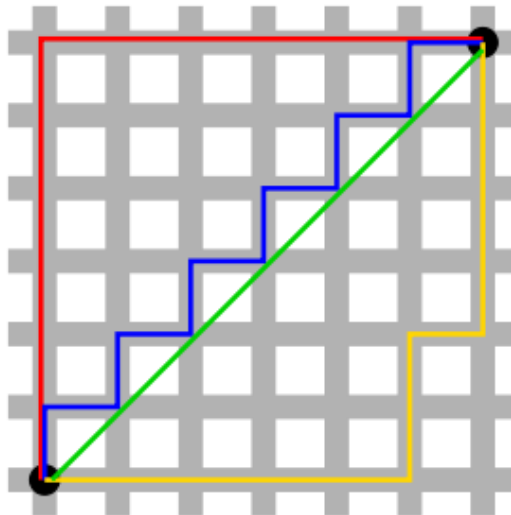
Ομοίως, διατηρώντας σταθερό το τυχαίο πλέγμα 400 νευρώνων δοκιμάζουμε διαφορετικό μέτρο απόστασης των νευρώνων. Εκτός της Ευκλείδειας απόστασης, που μεταξύ δύο νευρώνων i, j ορίζεται από την σχέση:

$$d_{ij}^{Euclidean} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

χρησιμοποιήθηκε η απόσταση Μανχάταν:

$$d_{ij}^{Manhattan} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Η διαφορά των δύο παραπάνω μέτρων απόστασης φαίνεται στο Σχήμα 3.4, όπου η πράσινη γραμμή αποτελεί την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των δύο σημείων ενώ οι υπόλοιπες γραμμές την απόσταση Μανχάταν.

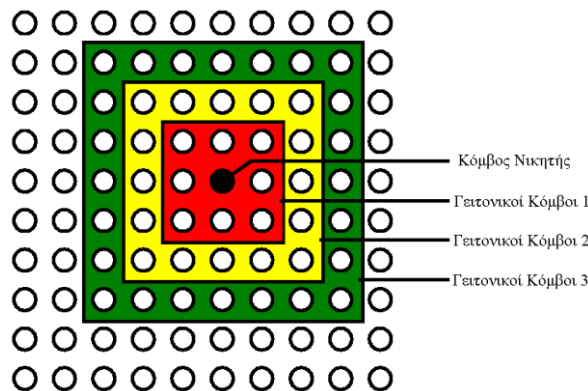


Σχήμα 3.4: Ευκλείδεια και Μανχάταν απόσταση μεταξύ δύο σημείων.

Η απόσταση Box (*Box distance*) αποτελεί μια διαφορετική προσέγγιση και δίνεται από τη σχέση:

$$d_{ij}^{Box} = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|)$$

Η φυσική της ερμηνεία φαίνεται στο Σχήμα 3.5, όπου διακρίνονται καθαρά οι νευρώνες γύρω από τον νικητή με απόσταση Box ίση με 1, 2 και 3 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.5: Φυσική ερμηνεία της απόστασης Box.

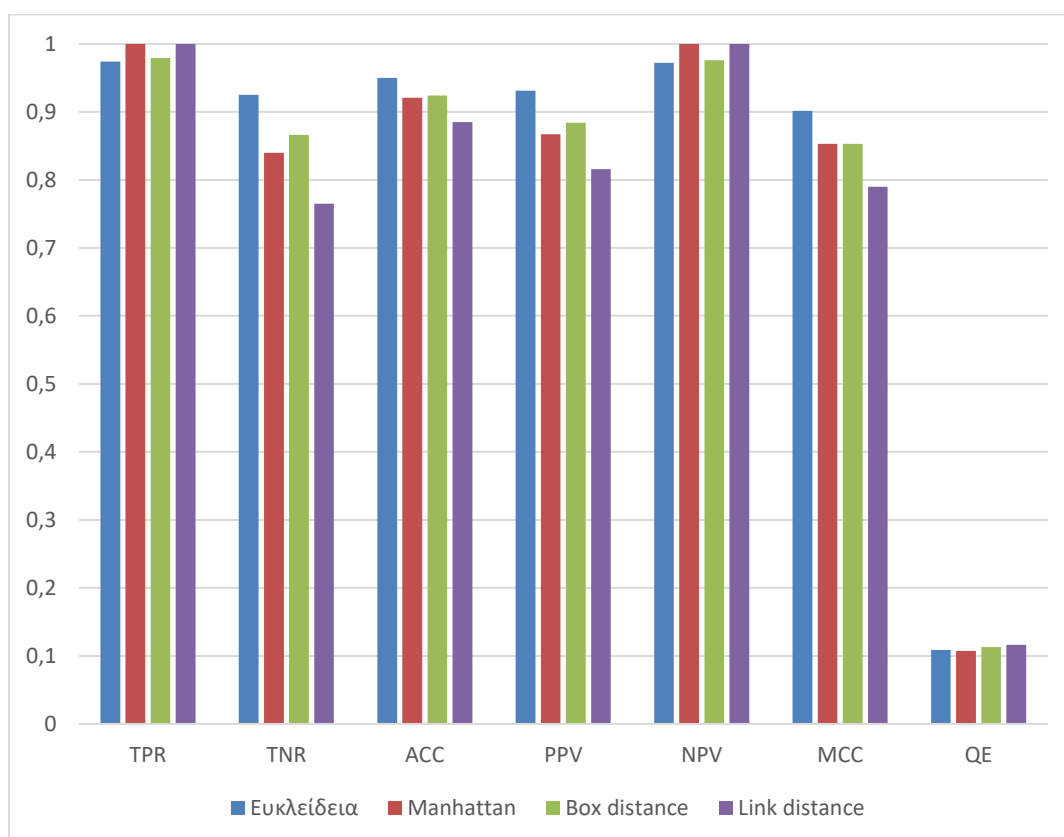
Τέλος, η απόσταση Link (*Link Distance*) ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$d_{ij}^{Link} = \begin{cases} 0, & \text{εάν } i = j \\ 1, & \text{εάν } \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq 1 \\ 2, & \text{εάν υπάρχει } k, d_{ik} = d_{kj} = 1 \\ 3, & \text{εάν υπάρχουν } k_1, k_2, d_{ik_1} = d_{k_1 k_2} = d_{k_2 j} = 1 \\ M, & \text{εάν υπάρχουν } k_1 \dots k_M, d_{ik_1} = d_{k_1 k_2} = \dots = d_{k_M j} = 1 \\ N, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Τα αποτελέσματα της επίδοσης του SOM για το κάθε μέτρο απόστασης περιλαμβάνονται στον Πίνακα 3.4. και οπτικοποιούνται με τη βοήθεια του ραβδογράμματος του Σχήματος 3.6. Παρατηρούμε ότι η Ευκλείδεια απόσταση πετυχαίνει καλύτερες τιμές στην πλειοψηφία των κριτηρίων αξιολόγησης.

Μέτρο απόστασης	Ευκλείδεια	Manhattan	Box distance	Link distance
TPR (%)	97.4	100.0	97.9	100.0
TNR (%)	92.5	84.0	86.6	76.5
ACC (%)	95.0	92.1	92.4	88.5
PPV (%)	93.1	86.7	88.4	81.6
NPV (%)	97.2	100.0	97.6	100.0
MCC	0.9014	0.8530	0.8529	0.7899
QE	0.1089	0.1072	0.1128	0.1162

Πίνακας 3.4: Η απόδοση του SOM συναρτήσει του χρησιμοποιούμενου μέτρου απόστασης.



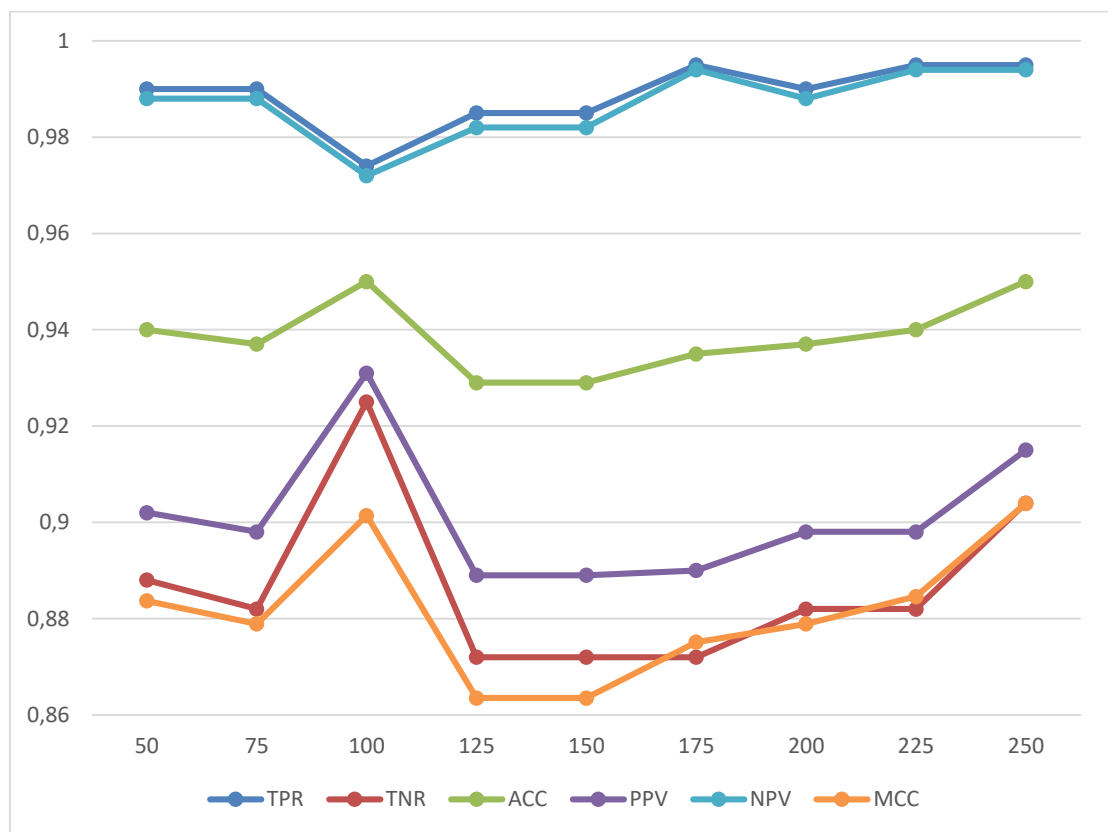
Σχήμα 3.6: Απεικόνιση των κριτηρίων αξιολόγησης για κάθε μέτρο απόστασης.

3.5 Αριθμός εποχών

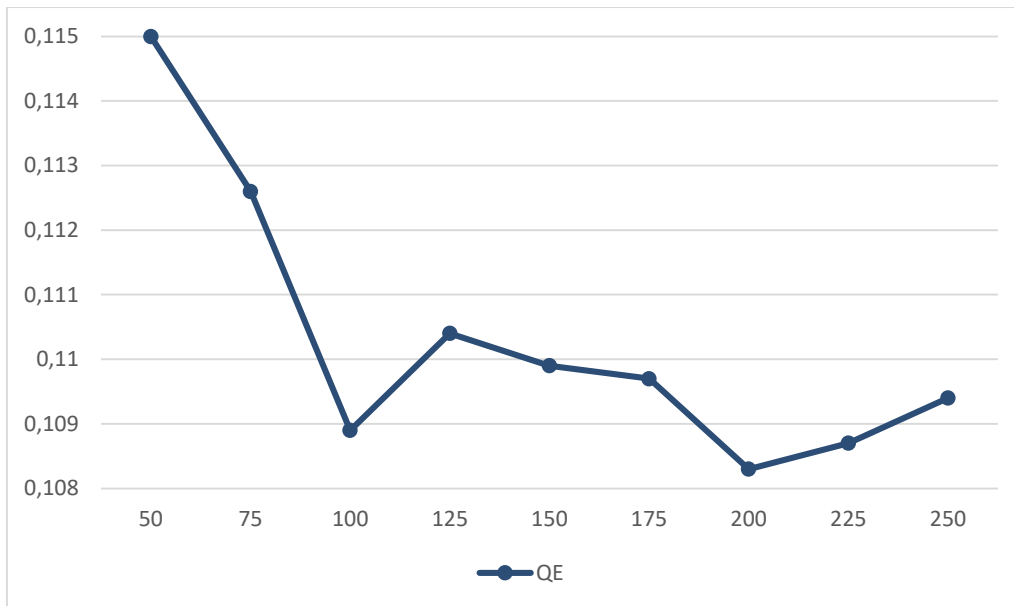
Στη φάση αυτή, έχοντας πλέον καθιερωμένη την αρχιτεκτονική του τυχαίου πλέγματος 400 νευρώνων και της Ευκλείδειας απόστασης, επιλέγουμε διαφορετικό αριθμό εποχών εκπαίδευσης στο διάστημα από 50 έως 250 (με βήμα 25) και παραθέτουμε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.5. Στα Σχήματα 3.7 και 3.8 απεικονίζονται οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης συναρτήσει του αριθμού εποχών εκπαίδευσης.

Αριθμός εποχών	50	75	100	125	150	175	200	225	250
TPR (%)	99.0	99.0	97.4	98.5	98.5	99.5	99.0	99.5	99.5
TNR (%)	88.8	88.2	92.5	87.2	87.2	87.2	88.2	88.2	90.4
ACC (%)	94.0	93.7	95.0	92.9	92.9	93.5	93.7	94	95.0
PPV (%)	90.2	89.8	93.1	88.9	88.9	89.0	89.8	89.8	91.5
NPV (%)	98.8	98.8	97.2	98.2	98.2	99.4	98.8	99.4	99.4
MCC	0.8837	0.8789	0.9014	0.8635	0.8635	0.8751	0.8789	0.8846	0.9039
QE	0.1150	0.1126	0.1089	0.1104	0.1099	0.1097	0.1083	0.1087	0.1094

Πίνακας 3.5: Η απόδοση του SOM συναρτήσει του αριθμού εποχών.



Σχήμα 3.7: Απεικόνιση των κριτηρίων αξιολόγησης συναρτήσει του αριθμού εποχών.



Σχήμα 3.8: Απεικόνιση του σφάλματος κβαντισμού συναρτήσει του αριθμού των εποχών εκπαίδευσης.

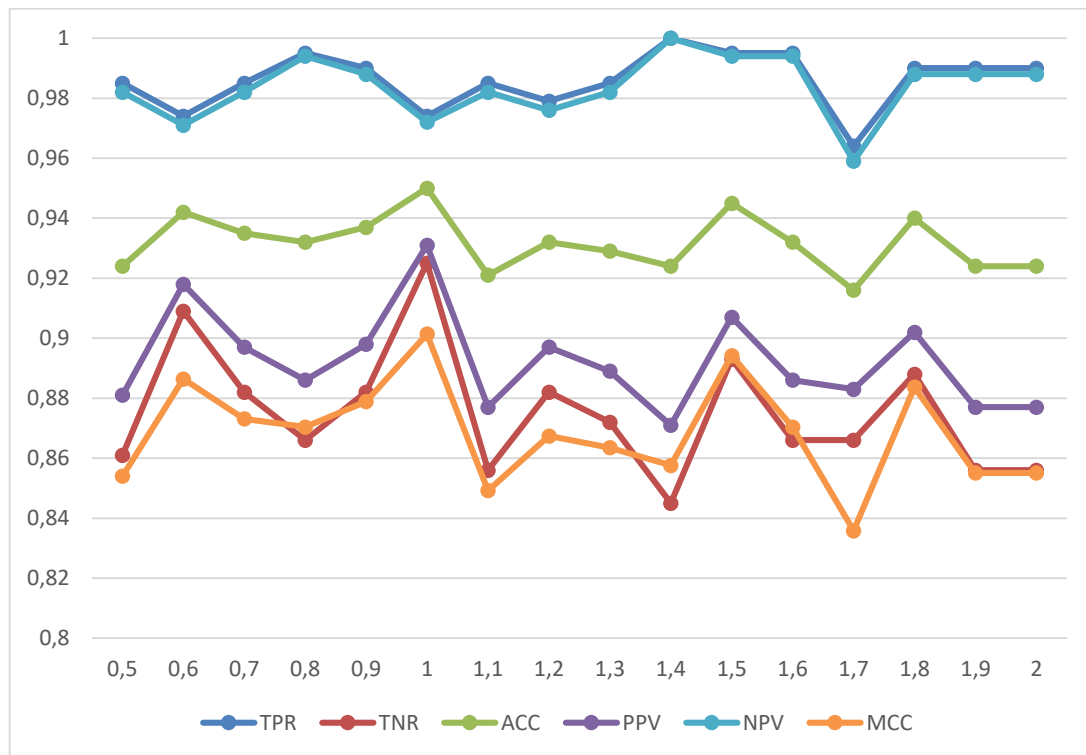
Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε μια σχετική βελτίωση της επίδοσης του SOM με την αύξηση του αριθμού των εποχών εκπαίδευσης. Ωστόσο, στις 100 εποχές είναι εμφανές ένα τοπικό ελάχιστο για την περίπτωση του σφάλματος κβαντισμού και ένα τοπικό μέγιστο για τα κριτήρια TNR, ACC, PPV και MCC, υποδεικνύοντας μία ιδιαίτερα καλή απόδοση του SOM. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η διαδικασία εκπαίδευσης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα μας οδηγεί στο να θεωρήσουμε τις 100 εποχές εκπαίδευσης ως την ιδανική τιμή.

3.6 Ρυθμός μάθησης

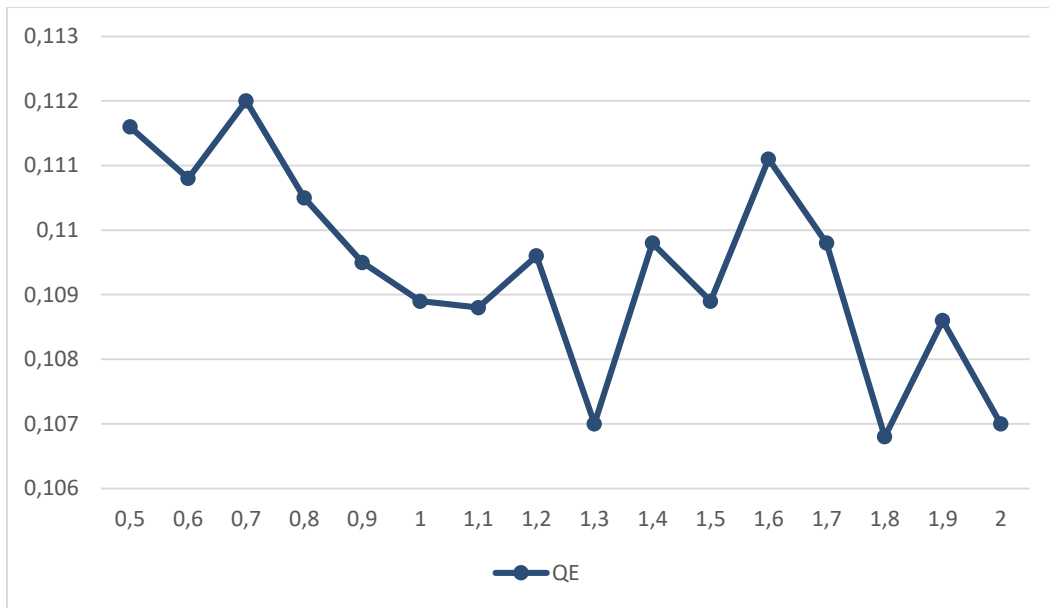
Στο τελευταίο στάδιο έχουν πλέον οριστικοποιηθεί οι υπόλοιπες παράμετροι του SOM και μεταβάλλουμε τον ρυθμό μάθησης στο διάστημα 0.5 έως 2.0 (με βήμα 0.1). Οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης παρατίθενται στον Πίνακα 3.6 ενώ στα Σχήματα 3.9 και 3.10 φαίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα κριτήρια αξιολόγησης δεν παρατηρείται κάποια συστηματική αύξηση ή μείωση της απόδοσης του SOM με τη μεταβολή του ρυθμού μάθησης. Συνεπώς, επιλέγεται αυθαίρετα να ισούται με τη μονάδα.

Ρυθμός μάθησης	TPR (%)	TNR (%)	ACC (%)	PPV (%)	NPV (%)	MCC	QE
0.5	98.5	86.1	92.4	88.1	98.2	0.8540	0.1116
0.6	97.4	90.9	94.2	91.8	97.1	0.8864	0.1108
0.7	98.5	88.2	93.5	89.7	98.2	0.8731	0.1120
0.8	99.5	86.6	93.2	88.6	99.4	0.8704	0.1105
0.9	99.0	88.2	93.7	89.8	98.8	0.8789	0.1095
1.0	97.4	92.5	95.0	93.1	97.2	0.9014	0.1089
1.1	98.5	85.6	92.1	87.7	98.2	0.8492	0.1088
1.2	97.9	88.2	93.2	89.7	97.6	0.8674	0.1096
1.3	98.5	87.2	92.9	88.9	98.2	0.8635	0.1070
1.4	100	84.5	92.4	87.1	100	0.8576	0.1098
1.5	99.5	89.3	94.5	90.7	99.4	0.8942	0.1089
1.6	99.5	86.6	93.2	88.6	99.4	0.8704	0.1111
1.7	96.4	86.6	91.6	88.3	95.9	0.8358	0.1098
1.8	99.0	88.8	94.0	90.2	98.8	0.8837	0.1068
1.9	99.0	85.6	92.4	87.7	98.8	0.8551	0.1086
2.0	99.0	85.6	92.4	87.7	98.8	0.8551	0.1070

Πίνακας 3.5: Η απόδοση του SOM συναρτήσει του ρυθμού μάθησης.



Σχήμα 3.9: Οι τιμές των κριτηρίων αξιολόγησης συναρτήσει του ρυθμού μάθησης.



Σχήμα 3.10: Η τιμή του σφάλματος κβαντισμού συναρτῆσει του ρυθμού μάθησης.

4

Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων υποδεικνύουν ότι η απόδοση του νευρωνικού δικτύου SOM που υλοποιήθηκε είναι περισσότερο από ικανοποιητική. Με την ιδανική αρχιτεκτονική και τις σχεδόν βέλτιστες παραμέτρους η ευαισθησία αγγίζει το 97.4% (μόλις 1.3% ψευδώς αρνητικά), η αρνητική προγνωστική αξία το 97.2% και η ακρίβεια το 95.0%. Εξίσου υψηλή τιμή έχει και ο συντελεστής συσχέτισης του Matthews που ισούται με 0.9014 ενώ το σφάλμα κβαντισμού παραμένει χαμηλό και ίσο με 0.1089. Μάλιστα, σε μερικές δοκιμές η ευαισθησία και η αρνητική προγνωστική αξία άγγιξαν το απόλυτο αλλά με υψηλό τίμημα για τα υπόλοιπα κριτήρια.

Ωστόσο, σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν τόσο η ειδικότητα όσο και η θετική προγνωστική αξία, αν και έχουν υψηλές τιμές, υστερούν των υπολοίπων κριτηρίων αξιολόγησης και στην καλύτερη των περιπτώσεων είναι ίσες με 92.5% (3.7% ψευδώς θετικά) και 93.1% αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό αποκλείεται να οφείλεται σε λάθος αρχιτεκτονική ή παραμέτρους λόγω της σταθερά χαμηλότερης τιμής τους συγκριτικά με τα υπόλοιπα κριτήρια καθώς και των διεξοδικών ελέγχων που εκτελέστηκαν. Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι ότι το σύνολο δεδομένων πιθανώς να μην περιέχει ομοιόμορφα κατανεμημένες παρατηρήσεις σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης και αυτό να οδηγεί στην υπερεκτίμηση της πρόγνωσης του νευρωνικού δικτύου.

Ένα ακόμα στοιχείο που υποδηλώνουν τα αποτελέσματα είναι ότι το SOM καταφέρνει με ιδιαίτερη επιτυχία να αναγνωρίσει τις μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των πέντε παραμέτρων του συνόλου δεδομένων. Βέβαια, στην περίπτωση που οι παράμετροι ήταν περισσότερες δεν είναι σίγουρο ότι θα συνέβαινε το ίδιο, καθώς θα ήταν πιο δύσκολο να διατηρηθούν τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των προτύπων εισόδου. Πάραυτα, μια περαιτέρω αύξηση του αριθμού των νευρώνων πιθανώς να έλυνε το πρόβλημα αυτό.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι το σύνολο δεδομένων είναι μείζονος σημασίας για την αποτελεσματική εκπαίδευση και μετέπειτα λειτουργία το SOM, όπως και κάθε

νευρωνικού δικτύου. Δεδομένης της μεγάλης έκτασης του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας και της δυσκολίας συλλογής των δεδομένων είναι απαραίτητο η διαδικασία αυτή να πραγματοποιηθεί από μια μεγάλη ομάδα και όχι από ένα μεμονωμένο άτομο. Η ομάδα είναι πιο εύκολο να καλύψει μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, να καταγράψει περισσότερες παραμέτρους και να συλλέξει ποιοτικότερα δεδομένα.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε επανειλημμένως στις προηγούμενες παραγράφους, η εκπαίδευση του SOM είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην εύρεση της κατάλληλης αρχιτεκτονικής και των βέλτιστων παραμέτρων. Ωστόσο, με τη χρήση πολυπύρηνου επεξεργαστή και την παράλληλη εκτέλεση του αλγόριθμου εκπαίδευσης του SOM στους πυρήνες του είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί εν μέρει το πρόβλημα αυτό.

5

Συμπεράσματα

Ο πληθυσμός του κόκκινου ελαφιού της Πάρνηθας αποτελεί τον πιο ακμαίο πληθυσμό ενός είδους που αν και κάποτε εξαπλωνόταν σε όλη σχεδόν τη χώρα σήμερα περιλαμβάνεται στον κατάλογο των απειλούμενων ζώων της Ελλάδας [12]. Η διατήρηση και η εν δυνάμει εξάπλωση του πληθυσμού αυτού είναι εξέχουσας σημασίας εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της γενετικής του ταυτότητας, που παραμένει αναλλοίωτη και περιλαμβάνει ακόμα τα γονίδια αυτόχθονων ζώων [23], τα οποία ανήκουν σε μια ξεχωριστή ομάδα ελαφιών που βρήκε καταφύγιο στον θύλακα της Βαλκανικής χερσονήσου κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο [5]. Επιπρόσθετα, το ελάφι της Πάρνηθας εμποδίζει την ομογενοποίηση της βλάστησης και συμβάλει στη διατήρηση και αύξηση της βιοποικιλότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εγκαταλειμμένες αγροτικές εκτάσεις της Πάρνηθας που έχουν μετατραπεί σε ποολίβαδα εξαιτίας της βόσκησης των ελαφιών [17]. Επίσης, πιθανή είναι η συμβολή τους στην αντιπυρική προστασία μέσω του περιορισμού της βιομάζας και συνεπώς της μείωσης στην ένταση και έκταση των πυρκαγιών [36][37][38]. Τέλος, η παρουσία ελαφιών μπορεί να συνδράμει στην επιβίωση ζώων που ανήκουν στους καταναλωτές και αποικοδομητές. Για παράδειγμα τα τσακάλια όπως και όλα τα είδη γυπών είναι ζώα που απειλούνται με εξαφάνιση στην Ελλάδα ενώ θα μπορούσαν να συντηρούνται από τους πληθυσμούς ελαφιών.

Οι μελέτες για την επίδραση των ελαφιών στη βλάστηση της Πάρνηθας, και κυρίως στις αναδασωτές περιοχές, δεν υποδεικνύουν κάποια αρνητική επιρροή [22], ωστόσο αυτό μπορεί να αλλάξει στο μέλλον. Η περιορισμένη αρχικά βλάστηση στις περιοχές που κατέκαψε η μεγάλη πυρκαγιά του 2007 έδωσε τη θέση της σε ένα μεγάλο ποολίβαδο και θαμνολίβαδο από την άνοιξη του 2009 και μετά. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη μέχρι πρότινος φυσικών θηρευτών και την προστασία των ελαφιών μπορεί να οδηγήσει σε μια υπερβολική αύξηση του πληθυσμού των ζώων που με τη σειρά της να φανεί επιζήμια για τις αναδασωτικές ενέργειες [17].

Η εξάπλωση του κόκκινου ελαφιού σε περιοχές από όπου έχει πλέον εξαφανιστεί θα συνδράμει τόσο στη διατήρησή του, με όσα πλεονεκτήματα απορρέουν από αυτή, όσο και στην αποφόρτιση του Εθνικού Δρυμού της Πάρνηθας. Ωστόσο, το κατακερματισμένο από μονοκαλλιέργειες και ανθρώπινες κατασκευές περιβάλλον περιορίζει τους διαθέσιμους βιότοπους των ελαφιών και περιορίζει τις δυνατότητες φυσικής επανεποίησης κατάλληλων περιοχών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη αυστηρού ελέγχου του λαθραίου κυνηγιού κάνουν πρακτικά αδύνατη τη φυσική διασπορά των ζώων της Πάρνηθας προς τα βουνά του Κιθαιρώνα, Ελικώνα και από εκεί στα μεγάλα βουνά της Ρούμελης και της Πίνδου. Η τεχνητή μεταφορά σε κατάλληλους βιότοπους προτείνεται ως πρακτικό μέσον δημιουργίας νέων υποπληθυσμών [17].

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία βασισμένη στο νευρωνικό δίκτυο SOM φαίνεται να μπορεί να εκτιμήσει άμεσα και γρήγορα την καταλληλότητα μιας περιοχής για τη φιλοξενία του κόκκινου ελαφιού της Πάρνηθας. Μάλιστα, αν βελτιωθεί το σύνολο δεδομένων και αυξηθούν οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη οι προγνώσεις θα είναι ακόμα πιο κοντά στην πραγματικότητα και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία μελλοντική μετακίνηση των ελαφιών.

Παρ' όλα αυτά, η επανεισαγωγή του κόκκινου ελαφιού σε κατάλληλους βιότοπους δεν εξασφαλίζει και την επιβίωσή του. Το λαθραίο κυνήγι είναι η κύρια αιτία μείωσης ή τοπικής εξαφάνισης των ελαφιών στην Ελλάδα. Όπως σημειώνεται μάλιστα στην έκθεση της IUCN για τα απειλούμενα θηλαστικά της Μεσογείου [39] η άμεση θανάτωση από ανθρώπους είναι η σημαντικότερη απειλή για τα μεγαλόσωμα θηλαστικά της γεωγραφικής περιοχής. Καθώς λοιπόν η λαθροθηρία αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα για τα ελάφια της Ελλάδας, η περιβαλλοντική ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών είναι θεμελιώδους σημασίας για την επιβίωση των νέων υποπληθυσμών.

6

Παράρτημα

6.1 Κώδικας συναρτήσεων για την υλοποίηση του SOM

6.1.1 somCreate.m

```
function somCreate(minMax, gridSize)
% Συνάρτηση που κατασκευάζει ένα SOM

global neuronsPerRow neuronsPerColumn N IW distances;

neuronsPerRow = gridSize(1,1); % Αριθμός νευρώνων ανά γραμμή
neuronsPerColumn = gridSize(1,2); % Αριθμός νευρώνων ανά στήλη
N = neuronsPerRow*neuronsPerColumn; % Συνολικός αριθμός νευρώνων

minFeatureValues = minMax(:,1)';
maxFeatureValues = minMax(:,2)';
dimensions = size(minMax,1);

% Αρχικοποίηση των βαρών σε τυχαίες τιμές εντός των ορίων τιμών
for i = 1:N,
    IW(i,:) = rand(1,dimensions).*(maxFeatureValues-
        minFeatureValues)+minFeatureValues;
end

% Δημιουργία ορθογώνιου πλέγματος
positions = gridtop(neuronsPerRow,neuronsPerColumn);

% Υπολογισμός Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των νευρώνων του πλέγματος
distances = dist(positions);
```

6.1.2 *somTrainParameters.m*

```
function somTrainParameters(setOrderLR, setOrderSteps, setTuneLR)
% Συνάρτηση που αρχικοποιεί ή καθορίζει τις παραμέτρους
% που σχετίζονται με τη διαδικασία εκπαίδευσης ενός SOM

global distances maxNeighborDist tuneND orderLR orderSteps tuneLR;

maxNeighborDist = ceil(max(max(distances)));
tuneND = 1;

orderLR = setOrderLR;
orderSteps = setOrderSteps;
tuneLR = setTuneLR;
```

6.1.3 *somOutput.m*

```
function [output] = somOutput(pattern)
% Υπολογίζει την έξοδο του SOM δοθέντος ενός προτύπου εισόδου

global IW N;

myDiffMatrix = zeros(N,1);
output = zeros(N,1);

% Υπολογισμός για κάθε νευρώνα της αρνητικής Ευκλείδειας
% απόστασης μεταξύ του βάρους και του προτύπου εισόδου
for i=1:N
    myDiffMatrix(i) = negdist(IW(i,:), pattern);
end

[~, Index] = max(myDiffMatrix); % Εύρεση του νευρώνα νικητή
output(Index) = 1;
end
```

6.1.4 somActivation.m

```
function [a] = somActivation(pattern, neighborDist)
% Υπολογισμός της ενεργοποίησης του SOM

global N distances;
a = zeros(N, 1); % Αρχικά όλες οι τιμές του πίνακα μηδενίζονται

% Κλήση της συνάρτησης somOutput για την εύρεση του νευρώνα νικητή
localIndex = find(somOutput(pattern),1);

% Υπολογισμός της τιμής ενεργοποίησης των γειτονικών νευρώνων
for i=1:N
    if (distances(i, localIndex) <= neighborDist)
        a(i) = 0.5;
    end
end

% Τιμή ενεργοποίησης του νευρώνα νικητή
a(localIndex) = 1;
end
```

6.1.5 somUpdate.m

```
function somUpdate(pattern, learningRate, neighborDist)
% Ενημερώνει το σύνολο των παραμέτρων του SOM

global N IW;

% Κλήση της συνάρτησης somActivation για να υπολογιστεί ο πίνακας με
% τις τιμές ενεργοποίησης όλων των νευρώνων
localMatrix = somActivation(pattern, neighborDist);

% Ενημερώνονται τα βάρη όλων των νευρώνων με βάση τον κανόνα μάθησης
% του Kohonen
for i=1:N
    IW(i,:) = IW(i,:) + learningRate * localMatrix(i) * (pattern' -
    IW(i,:));
end
end
```


6.1.6 somTrain.m

```
function somTrain(trainData)
% Συνάρτηση εκπαίδευσης του SOM

global orderSteps maxNeighborDist tuneND orderLR tuneLR IW distances;

% Υπολογισμός της γραμμικής μείωσης του ρυθμού μάθησης και της
% περιοχής γειτνίασης
lrVec = linspace(orderLR,tuneLR,orderSteps);
neighborVec = linspace(maxNeighborDist,tuneND,orderSteps);

% Στάδιο ordering
for i = 1:orderSteps
    % Επιλογή της περιοχής γειτνίασης και του ρυθμού μάθησης της i
    % εποχής
    neighborDist = neighborVec(i);
    learningRate = lrVec(i);

    % Κλήση της somUpdate για κάθε πρότυπο εισόδου
    for j = 1:(size(trainData,2))
        somUpdate(trainData(:, j), learningRate, neighborDist);
    end
end

% Στάδιο tuning
for i = (orderSteps + 1) : (3 * orderSteps)

    % Κλήση της somUpdate για κάθε πρότυπο εισόδου
    for j = 1:(size(trainData,2))
        somUpdate(trainData(:, j), tuneLR, tuneND);
    end
end
end
```

6.1.7 somTest

```
function [preData] = somTest(testData)
% Συνάρτηση κατηγοριοποίησης άγνωστων προτύπων από το SOM

global IW XW N
matrix = zeros(size(testData,2),N);
ind = zeros(size(testData,2));

% Υπολογισμός της αρνητικής Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ κάθε
% άγνωστου προτύπου και του διανύσματος βάρους κάθε νευρώνα
for i =1:size(testData, 2)

    for j=1:N
        matrix(i,j) = negdist(IW(j,1:5), testData(1:5,i));
    end

    % Εύρεση του νευρώνα νικητή
    [maxXW , ind(i)] = max(matrix(i,:));

    % Αποθήκευση της ελάχιστης απόστασης για τον υπολογισμό του
    % σφάλματος κβαντισμού
    XW = XW + abs(maxXW);

    % Προσθήκη του ws μέρους του διανύσματος βάρους του νευρώνα
    % νικητή στο τέλος του άγνωστου προτύπου
    preData(i,:) = [testData(1:5,i)' IW(ind(i),6:7)];

end

% Στρογγυλοποίηση του ws μέρους κάθε προτύπου
preData(:,6:7) = round(preData(:,6:7));
preData = preData';
```

6.1.8 somCrossValidation

```
function [MCC, QE] =
somCrossValidation(k, dataset, n, orderLR, orderSteps, tuneLR)
% Η συνάρτηση εφαρμόζει την τεχνική cross validation στο σύνολο
δεδομένων

global IW XW;
ConfMatTar = zeros(7,0);
ConfMatOut = zeros(7,0);
XW=0;

% Δημιουργία k υποσυνόλων
c = cvpartition(dataset(6,:), 'KFold', k);

% Επανάληψη της διαδικασίας για k φορές
for i = 1:k

    clearvars -except ConfMatOut ConfMatTar XW c ClassPatterns i IW;

    minMax = zeros(size(dataset,1), 2);

    % Εύρεση μέγιστης και ελάχιστης τιμής κάθε παραμέτρου του συνόλου
    % δεδομένων
    for m=1:(size(dataset,1))
        minMax(m, 1) = min(dataset(m, :));
        minMax(m, 2) = max(dataset(m, :));
    end

    figure(1); clf;

    gridSize = [n n];

    % Κλήση της somCreate για τη δημιουργία του και αρχικοποίηση του
    % SOM
    somCreate(minMax, gridSize);
```

```

% Κλήση της somTrainParameters για τον καθορισμό των παραμέτρων
% του SOM
somTrainParameters(orderLR, orderSteps, tuneLR);

% Κλήση της somTrain για την εκπαίδευση του SOM με το σύνολο
% εκπαίδευσης
somTrain(dataset(:, training(c,i)'));

% Σχεδίαση του U-matrix
somShow(IW, gridSize);
figure(i+1); clf;

% Κλήση της somTest για την κατηγοριοποίηση του συνόλου ελέγχου
preData = somTest(dataset(:, ~training(c,i)'));

% Αποθήκευση των αναμενόμενων και προβλεπόμενων τιμών για τον
% υπολογισμό της μήτρας σύγχυσης
ConfMatTar = [ConfMatTar dataset(:, ~training(c,i)')];
ConfMatOut = [ConfMatOut preData];

end

% Υπολογισμός της μήτρας σύγχυσης
plotconfusion(ConfMatTar(6,:), ConfMatOut(6,:));

% Υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης του Matthews
MCC = corrcoef(ConfMatTar(6,:), ConfMatOut(6,:));

% Υπολογισμός του σφάλματος κβαντισμού
QE = XW/size(dataset, 2);

```

6.2 Κώδικας εφαρμογής pRED-DEERct

```
function varargout = pRED_DEERct(varargin)
% Κώδικας εφαρμογής pRED-DEERct

% Εναρξη κώδικα αρχικοποίησης
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @pRED_DEERct_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @pRED_DEERct_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% Τέλος κώδικα αρχικοποίησης

% Εκτελείται πριν το GUI της εφαρμογής pRED_DEERct ανοίξει
function pRED_DEERct_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

% Προεπιλεγμένη έξοδος της εφαρμογής pRED_DEERct στην γραμμή εντολών
handles.output = hObject;

% Δέσμευση χώρου για την αποθήκευση των παραμέτρων
handles.parameters = zeros(5,1);

% Ενημερώνει τις δομές δοδομένων
guidata(hObject, handles);
```

```

% Η έξοδος της παρακάτω συνάρτησης επιστρέφεται στη γραμμή εντολών
function varargout = pRED_DEERct_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

% Επιστρέφει τις παραμέτρους που εισάγει ο χρήστης στη γραμμή εντολών
varargout{1} = handles.parameters;

function cover_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ανάγνωση του ποσοστού κάλυψης που εισάγει ο χρήστης
cover_percentage = str2double(get(hObject, 'String'));

% Έλεγχος ορθότητας του ποσοστού κάλυψης
if cover_percentage > 100 || cover_percentage < 0 ||
mod(cover_percentage,1) ~= 0
    uicontrol(handles.cover);
    errordlg('Please enter an integer from 0 to 100')
end

function cover_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function vegetation_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ανάγνωση του είδους βλάστησης που εισάγει ο χρήστης
vegetation_type = get(hObject, 'Value');

% Έλεγχος ορθότητας του είδους βλάστησης
if vegetation_type > 6 || vegetation_type < 2
    uicontrol(handles.vegetation);
    errordlg('Please select a valid vegetation type')
end

```

```

function vegetation_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function elevation_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ανάγνωση του υψόμετρου που εισάγει ο χρήστης
elevation_meters = str2double(get(hObject, 'String'));

% Έλεγχος ορθότητας του υψόμετρου
if elevation_meters > 1500 || elevation_meters < 600 ||
mod(elevation_meters,1) ~= 0
    uicontrol(handles.elevation);
    errordlg('Please enter an integer from 600 to 1500')
end

function elevation_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function exposure_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ανάγνωση της έκθεσης που εισάγει ο χρήστης
exposure = get(hObject, 'Value');

% Έλεγχος ορθότητας της έκθεσης
if exposure > 10 || exposure < 2
    uicontrol(handles.exposure);
    errordlg('Please select a valid exposure')
end

```

```

function exposure_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function slope_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ανάγνωση της κλίσης του εδάφους που εισάγει ο χρήστης
ground_slope = str2double(get(hObject, 'String'));

% Έλεγχος ορθότητας της κλίσης του εδάφους
if ground_slope > 90 || ground_slope < 0 || mod(ground_slope,1) ~= 0
    uicontrol(handles.slope);
    errordlg('Please enter an integer from 0 to 90')
end

function slope_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% Εκτελείται με το πάτημα του κουμπιού check.
function check_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Αποθήκευση όλων των δεδομένων που εισάγει ο χρήστης στις
% αντίστοιχες μεταβλητές
cover = str2double(get(handles.cover, 'string'));
vegetation = get(handles.vegetation, 'value');
elevation = str2double(get(handles.elevation, 'string'));
exposure = get(handles.exposure, 'value');
slope = str2double(get(handles.slope, 'string'));

```



```

% Έλεγχος αν έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα
if isnan(cover)
    uicontrol(handles.cover);
    errordlg('Please enter vegetation cover')

elseif vegetation == 1
    uicontrol(handles.vegetation);
    errordlg('Please select vegetation type')

elseif isnan(elevation)
    uicontrol(handles.elevation);
    errordlg('Please enter elevation')

elseif exposure == 1
    uicontrol(handles.exposure);
    errordlg('Please select exposure')

elseif isnan(slope)
    uicontrol(handles.slope);
    errordlg('Please enter slope')

else
    handles.parameters = [cover/100; (vegetation-2)/10;
    elevation/1000; (exposure-2)/10; slope/100];

    % Κάλεισμα της συνάρτησης somTest με τις παραμέτρους που έχει
    % εισάγει ο χρήστης
    result = somTest(handles.parameters);
    axes(handles.axes1)

    % Εμφάνιση του αποτελέσματος στο GUI
    if result(6,1) == 1
        imshow('Approved.jpg')
    else
        imshow('Rejected.jpg')
    end

    guidata(hObject, handles);

```

```

% Απενεργοποίηση των πεδίων εισόδου
set(handles.cover,'Enable','off');
set(handles.vegetation,'Enable','off');
set(handles.elevation,'Enable','off');
set(handles.exposure,'Enable','off');
set(handles.slope,'Enable','off');

end

% Εκτελείται με το πάτημα του κουμπιού reset
function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Ενεργοποίηση και καθαρισμός των πεδίων εισόδου
set(findobj('style','edit'),'String',{'0'},'Enable','on');
set(findobj('style','popupmenu'),'Value',1,'Enable','on');

% Καθαρισμός του αποτελέσματος
cla(handles.axes1,'reset');
set(handles.axes1,'Color',[0.941,0.941,0.941],
'XColor',[0.941,0.941,0.941],'YColor',[0.941,0.941,0.941]);

% Εκτελείται με το πάτημα του κουμπιού exit
function exit_Callback(hObject, eventdata, handles)

close(gcf) % Κλείσιμο GUI

```

6.3 Πρωτόκολλο καταγραφής

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΛΑΦΙΩΝ																	
Ημερομηνία:		Εναρξη:		Λήξη:		Αριθμός ελαφιών:		♂:	♀:	Νεαρά:		Απροσδιόριστα:					
Μετεωρολογικά στοιχεία	Άνεμος:	beaufort	Χιόνι:	1 (0-25%)		2 (25-50%)		3 (50-75%)		4 (75-100%)		Υψος:					
			Βροχή:	1 (καθόλου)		2 (ασθενής)						3 (καταιγίδα)					
	Κατεύθυνση:		Ορατότητα:	1 (Καλή)		2 (Μέτρια)											
			Νεφοκάλυψη:	1 (0-25%)		2 (25-50%)		3 (50-75%)				4 (75-100%)					
Θερμοκρασία:	°C	Τύπος σύννεφων:		Ci	Cc	Cs	As	Ac	St	Sc	Ns	Cu	Cb				
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΤΟΜΟ								ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑ									
Ώρα	Συντ/νες	♂	♀ 2 ετών	♀ ενήλικο	Νεογνό (NGN) Νεαρό (NP)	Απρ/στο	Συμπ/ρά	Όχληση			Βλάστηση				Τοπογραφία		
								Απόσταση από οδικό δίκτυο	Απόσταση από οικισμό	Βόσκηση	Κάλυψη	Διαχ/κή μορφή	Είδος βλάστησης	Είδος τροφής	Υψόμετρο	Έκθεση	Κλίση
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															
		Μετωπ: 2ον: Α: κλωνο Δ: κλωνο															

Βιβλιογραφία

- [1] Ντούφας, Η., Πόθος Γ. & Ψάρρη Κ. *Διαχειριστική Μελέτη Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας 2015-2024*
- [2] Geist, V. (1998). *Deer of the World: Their Evolution, Behavior, and Ecology*. Mechanicsburg, Pa: Stackpole Books. ISBN 0-8117-0496-3.
- [3] Moore, G.H. & Littlejohn, R.P. (1989). Hybridisation of farmed wapiti (*Cervus elaphus manitobensis*) and red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Journal of Zoology*. 16 (2): 191–198.
- [4] Perez-Espona, S., Hall, R. J., Perez-Barberia, F. J., Glass, B. C., Ward, J. F. & Pemberton, J. M. (2012). The impact of past introductions on an iconic and economically important species, the red deer of Scotland. *Journal of Heredity*. 104 (1): 14–22.
- [5] Ludt, J.C., Schroeder, W., Rottmann, O. & Kuehn, R. (2004). Mitochondrial DNA phylogeography of red deer (*Cervus elaphus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31, 1064-1083.
- [6] Macdonald, D.W. & Barrett, P. (1993). *Mammals of Europe*. New Jersey: Princeton University Press. ISBN 0-691-09160-9.
- [7] Pisarowicz, J. "American Elk – *Cervus elaphus*". National Park Service. Retrieved 2006-10-10.
- [8] Walker, M. "The Red Deer *Cervus elaphus*". World Deer Website. Archived from the original on February 12, 2008.
- [9] Thomas, J. W. & Toweill, D. (2002). *Elk of North America, Ecology and Management*. New York: HarperCollins.

- [10] Animal Diversity Web. *Cervus elaphus*. University of Michigan, Museum of Zoology.
- [11] Lovari, S., Herrero, J., Conroy, J., Maran, T., Giannatos, G., Stubbe, M., Aulagnier, S., Jdeidi, T., Masseti, M., Nader, I., de Smet, K. & Cuzin, F. 2008. *Cervus elaphus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2008*.
- [12] Σφουγγάρης, Θ. 2009. Κόκκινο Ελάφι. Στο: Λεγάκις Α. & Μαραγκού Π. (επιμ. έκδ): *Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ειδών Ζώων της Ελλάδας*, Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα, 528 σελ
- [13] Corbet, G. B. (1978). *The Mammals of the Palaearctic Region: A Taxonomic Review*. British Museum (Natural History) and Cornell University Press, London, UK and Ithaca, NY, USA.
- [14] Wilson, D. E. & Ruff, S. (1999). *The Smithsonian Book of North American Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, USA.
- [15] Koubek, P. & Zima, J. (1999). *Cervus elaphus*. In: A. J. Mitchell-Jones, G. Amori, W. Bogdanowicz, B. Krystufek, P. J. H. Reijnders, F. Spitzenberger, M. Stubbe, J. B. M. Thissen, V. Vohralik & J. Zima (eds), *The Atlas of European Mammals*, pp. 388–389. Academic Press, London, UK.
- [16] Wilson, D. E. & Reeder, D. M. (1993). *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, USA.
- [17] Λατσούδης, Π. (2009). *Σχέδιο δράσης για την προστασία του Κόκκινου Ελαφιού Cervus elaphus στην Ελλάδα*. WWF Ελλάς. Αθήνα. Δεκέμβριος 2009, 44 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
- [18] Λατσούδης, Π., Kret, E., Ποϊραζίδης, Κ. & Κατσαδωράκης, Γ. (2010). *Σχέδιο Συστηματικής Παρακολούθησης Κόκκινων Ελαφιών Cervus elaphus Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας*. WWF Ελλάς, Αθήνα. 72 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
- [19] Καρανδεινός, Μ. & Λεγάκις, Α. (επιμ.) (1992). *Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Σπονδυλοζώων της Ελλάδας*. Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία-Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, Αθήνα.
- [20] Στεφάνου, Τ. (1983). *Η ιστορία της Πάρνηθας*, Έκδοση Φυσιολατρικού Σωματείου "Οι Φίλοι της Πάρνηθας", Αθήνα.

- [21] Αμοργιανιώτης Γ. (συντ. έκδ.) κ.α. (1997). *Σχέδιο Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας. Ενότητες Α' και Β'.* Υπουργείο Γεωργίας, Γ. Γ. Δασών & Φυσικού Περιβάλλοντος, Αθήνα.
- [22] Λατσούδης, Π & Kret, K. (2009). *Ετήσια αναφορά προγράμματος «Ερευνα οικολογίας ελαφιών Πάρνηθας», Ιανουάριος-Δεκέμβριος 2009.* WWF Ελλάς, Αθήνα. 49 σελ.+10 χάρτες (Αδημοσίευτη εργασία).
- [23] Karaiskou, N., Tsakogiannis, A., Gkagkavouzis, P., Papika, S., Latsoudis, P., Kavakiotis, I., Pantis, J., Abatzopoulos, T., Triantaphyllidis, K., Triantaphyllidis, A., (2014). Greece: A Balkan subrefuge for a remnant Red Deer (*Cervus elaphus*) population, *Journal of Heredity*, 2014:105(3):334-344.
- [24] Τζαφέστας, Γ. Σ. (1992). *Υπολογιστική Νοημοσύνη, Τόμος Α: Μεθοδολογίες*, Αθήνα.
- [25] Aleksander, I. (1993). *An Introduction to Neural Computing.* Chapman & Hall.
- [26] Schwaiger, R. (1999). *Applications of Hopfield Networks*, PS Introduction to Bioinformatics, Salzburg.
- [27] Pitts, W. & McCulloch, W. S. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys.* 5: 115–133.
- [28] Hebb, D.O. (1949). *The organization of behavior.* Wiley, New York.
- [29] Bishop, C.M. (1994). Neural networks and their applications. *Rev. Sci. Instrum.* 65(6): 1803-1832.
- [30] Minsky, L.M. & Papert, A.S. (1959). *Perceptrons.* MIT Press.
- [31] Βλαχάβας, Ι., Κεφάλας, Π., Βασιλειάδης, Ν., Ρεφανίδης, Ν., Κόκκορας, Φ. & Σακελλαρίου, Η. (2002). *Τεχνητή Νοημοσύνη*, Εκδόσεις Γαργατάνη, Θεσσαλονίκη.
- [32] Kohonen, T. (1995). *Self-Organizing Maps.* Springer Series in information Sciences, Berlin, Heidelberg: Springer.
- [33] Willshaw, D. J., Von Der Malsburg, C. (1976). How Patterned Neural Connections Can Be Set Up by Self-Organization. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 194, p 431-445, The Royal Society.

- [34] Vesanto, J. (1999). SOM-based data visualization methods. *Intelligent Data Analysis*, vol. 3, p. 111-126.
- [35] Ultsch, A., Siemon, H. P. (1990). Kohonen's Self Organizing Feature Maps for Exploratory Data Analysis". *Proceedings of the International Neural Network Conference (INNC-90)*, Paris, France.
- [36] Röder, A., J. Hill, B. Duguy, J.A. Alloza, and R. Vallejo (2008). Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (eastern Spain). *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, no. 1, pp.: 259–273.
- [37] Etienne, M. (2005). Management of grazing animals for environmental quality. *Options Méditerranéennes, Series A, No. 67*, pp.225-235
- [38] Brown, T. (2002). Minimizing Wildfire Risk with Grazing. *Rangelands*, Vol. 24, No. 3, pp. 17-18.
- [39] Temple, H.J. and Cuttelod, A. (Compilers). (2009). *The Status and Distribution of Mediterranean Mammals*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. vii +32pp.