

ΑΝΤΙΚΕΙΜΟΝΣΤΡΑΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΙΚΟΝΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΗΜΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΚΗΣ ΕΛΑΤΗΣ (ΑΒΙΕΣ ΚΕΡΦΑΛΟΝΙΚΑ) ΣΤΟΝ ΕΘΝΙΚΟ ΔΡΥΜΟ ΠΑΡΝΗΘΑΣ

Κόκλα Φ.¹, Αργιαλάς Δ.¹, Κασσιός Κ.²

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης,

²Εργαστήριο Γεωγραφίας και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η κατάσταση *stress* της Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*), στις 20 μόνιμες δοκιμαστικές επιφάνειες του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, του Ν. Αττικής. Η γενική εικόνα του ελατοδάσους δεν είναι καλή, είναι γεγονός όμως ότι η Κεφαλληνιακή ελάτη παρά την έντονη κακομεταχείρισή της κατά το παρελθόν, κατόρθωσε να διατηρηθεί επί αιώνες στην Πάρνηθα και να αναγεννάτε φυσικά. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κλιματικό και εδαφικό περιβάλλον της Πάρνηθας δεν είναι πολύ κατάλληλο για την ανάπτυξη της (χαμηλό υψόμετρο, μεγάλη ξηρασία και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, φτωχά και αβαθή εδάφη), αποτελεί πλέον είδος μοναδικό, αναγκαίο και αναντικατάστατο για την περιοχή, που πρέπει να διατηρηθεί. Σκοπός της μελέτης είναι η πιλοτική διερεύνηση της κατάστασης *stress* των ελάτων του δρυμού ανά βαθμίδα προσβολής βάσει της οδηγίας της ΕΟΚ (Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση": έντονο *stress*: I, λιγότερο έντονο *stress*: II, ασθενές *stress*: III) χρησιμοποιώντας δύο περιβαλλοντικούς δείκτες, τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (*NDVI*) μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας, η οποία αποτελεί προχωρημένη μέθοδο τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με την *in situ* παρατήρηση και την μέτρηση του δείκτη φθορισμού (*fluorescence*) μέσω του φασματικού οργάνου *PEA* (Plant Efficiency Analyser). Ο συνδυασμός της τηλεπισκόπησης και της *in situ* παρατήρησης έδωσαν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα ώστε να επεκταθεί πέραν του πιλοτικού σταδίου των ελάτων που παρουσιάζουν *stress* (έντονο *stress*: I, λιγότερο έντονο *stress*: II, ασθενές *stress*: III) σ' όλη την έκταση του ελατοδάσους ή σε παρόμοιο δασο-περιβάλλον, χρησιμοποιώντας αμφότερους τους περιβαλλοντικούς δείκτες, για την καλύτερη διαχείριση και προστασία του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας.

OBJECT ORIENTED IMAGE ANALYSIS OF IKONOS IMAGERY FOR MAPPING FIR (ABIES CEPHALONICA) NECROSIS IN THE NATIONAL PARK OF PARNITHA

Kokla F.¹, Argialas D.¹, Kassios K.²

¹Laboratory of Remote Sensing,

²Laboratory of Physical Geography and Environmental Impact

School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens

Abstract

In this study, the condition of plant stress of specie *Abies cephalonica*, is examined based on 20 plots of the National Park of Parnitha, in the region of Attica. The fir forest of Parnitha in general, is not so healthy, due to the enormous illegal woodcutting in the past. Nevertheless it has managed to survive for hundred years and regenerates naturally. Although the climate and the terrestrial factors of the ecosystem of mountain Parnitha are

not suitable for the growth of fir forest (low elevation, long dry season with high temperatures during the summer, poor and shallow soil), the fir forest is a unique, essential and irreplaceable specie for the area of Parnitha, and it has to be preserved. The aim of this project was to investigate the plant stress to different levels by the directive of E.U. (EOK/1984 'Diagnosis and forest damage': high stress: I, medium stress: II, low stress: III) based on two environmental indexes: the normalized difference vegetation index (NDVI) using object oriented image analysis, of IKONOS images and the index of fluorescence using the PEA (Plant Efficiency Analyser) spectral instrument, combined with the in situ observation. Both the above methods provided satisfactory results. The pilot study can be extended to estimate the health of the whole fir forest (healthy trees, less weak trees, weak trees, not healthy trees) towards a better management and protection of the National Park of Parnitha.

Λέξεις κλειδιά: αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας, κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης, δείκτης φθορισμού.

Key words: object oriented image analysis, ndvi, fluorescence.

1.Εισαγωγή

Το ελατοδάσος της Πάρνηθας είναι μοναδικό για την περιοχή της Αττικής, καλύπτει συνολικά περίπου 35.000 στρ., ενώ ως προς την υγιεινή κατάστασή του πρόκειται για ένα γηραιό δάσος με πολλά προβλήματα, εξαιτίας της έντονης λαθρούλοτομίας, βοσκής στο παρελθόν, των πυρκαγιών καθώς και της επιδημίας της ξήρανσης της ελάτης. Τα δένδρα ελάτης που βρίσκονται σε κατάσταση stress, είναι άτομα καχεκτικά, άρρωστα, γερασμένα, παρουσιάζουν έντονο αποχρωματισμό βελόνων, καθώς και ένα ποσοστό αυτών είναι ξερά. Στην απογραφή του 1995 για τον προσδιορισμό της υγιεινής κατάστασης έγινε εφαρμογή στην ειδική έκδοση της οδηγίας Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση" που στηρίχθηκε στο βαθμό βελονόπτωσης και αποχρωματισμού τους (Αμοργιανιώτης 1996).

Την δεκαετία του '30 τα ξηρά έλατα (Χρυσανθακόπουλος,1930) υπολογίζονται να είναι περίπου 10.000/ έτος, όπως και τα έτη 1947, 1950, 1957 η επιδημία αναφέρεται από τους δασολόγους Ισαακίδη, Μακρή και Γραικιώτη (Αμοργιανιώτης 1997), ενώ το έτος 1961 η ξήρανση δεν ήταν έντονη (Μακρής, 1961). Εντούτοις η επιδημία συνεχίζεται με αμείωτο ρυθμό μέχρι σήμερα (Αμοργιανιώτης, 1997). Η πρωτογενής αιτία της επιδημίας, είναι η χειρίστη κατάσταση του δάσους και οι ακραίες για την ελάτη κλιματοεδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (Καϊλίδης και Γεώργεβιτς, 1968), δεδομένου ότι η ελάτη στην Πάρνηθα βρίσκεται στα νότια ξηροθερμικά όρια εξαπλώσεώς της (Αμοργιανιώτης, 1997). Ωστόσο, η αλληλεπίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, οδηγούν στη νέκρωση των δένδρων (Τσόπελας, 2002), παράγοντες οι οποίοι μπορούν να δράσουν ως περιβαλλοντικοί δείκτες για την εκτίμηση της φυτοϋγειονομικής κατάστασης ενός περιβάλλοντος.

Οι μέχρι τώρα σχετικές έρευνες για τη ξήρανση της ελάτης στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, βασίζονται σε κλασσικές μεθόδους της επιστήμης της δασολογίας, δηλαδή σε επίγειους ελέγχους, μετρήσεις ογκομετρικών στοιχείων, λήψη δειγμάτων όπως βελόνες, δείγμα φλοιού, παχυμετρήσει, κ.α. Η αναδειχθείσα πρόσφατα μέθοδος της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση πυκνότητας του αστικού πρασίνου (Αργιαλάς – Δερζέκος, 2002) και στην αξιολόγηση της ποιότητας του τοπίου (Αργιαλάς – Δερζέκος, 2003) Η παρούσα έρευνα στηρίζεται σε σύγχρονες μεθόδους παρατήρησης και αποτύπωσης της γης, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό την μακροσκοπική έρευνα (τηλεπισκόπηση) με την in situ παρατήρηση, ενώ ακόμη παρόμοια έρευνα δεν έχει μέχρι στιγμής λάβει χώρα στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, στο σύνολο της επικράτειας.

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η πιλοτική διερεύνηση της κατάστασης stress των ελάτων του δρυμού ανά βαθμίδα προσβολής βάσει της οδηγίας της ΕΟΚ (Ε.Ο.Κ / 1984 "Διάγνωση και κατάσταση ζημιών στα δάση": έντονο stress: I, λιγότερο έντονο stress: II, ασθενές stress: III) χρησιμοποιώντας δύο περιβαλλοντικούς δείκτες, τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης

(NDVI) μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας σε συνδυασμό με την *in situ* παρατήρηση και την μέτρηση του δείκτη φθορισμού (fluorescence) μέσω του φασματικού οργάνου PEA (Plant Efficiency Analyser).

2. Μεθοδολογία

Αρχικά εντοπίστηκαν οι είκοσι (20) μόνιμες δοκιμαστικές επιφάνειες στο χώρο, οι οποίες είχαν χρησιμοποιηθεί σε παλαιότερη έρευνα (Τσόπελας, 2000), με σκοπό τη λήψη των δένδρων ελάτης σε κατάσταση stress με τη βοήθεια του ψηφιακού τοπογραφικού οργάνου GPS (GS50). Οι μόνιμες επιφάνειες βρίσκονται σ' όλη την έκταση διάπλασης του ελατοδάσους, είναι κυκλικής διατομής, η καθεμία έχει έκταση ίση με 1 στρέμμα και φέρει ένα μονοσήμαντο αριθμό (π.χ. 11) για την διάκρισή της από τις υπόλοιπες επιφάνειες. Η έκθεση τους ποικίλει (Βόρεια - Νότια - Ανατολική - Δυτική - ΝΑ-ΝΔ), όπως και η κλίση (μέτριες - πολύ υψηλές), ενώ κάθε επιφάνεια φέρει άτομα ελάτης ασθενή ή νεκρά (δένδρα προσβεβλημένα από χιονοθλασσίες ή χιονοριψιές ή ανεμοριψιές, δένδρα προσβεβλημένα από το παράσιτο *Viscum album*, κ.α). Με το GPS ελήφθησαν τα κέντρα των επιφανειών καθώς και τα πιο χαρακτηριστικά δένδρα ελάτης που βρίσκονται σε κατάσταση stress (I,II,III).

Στη συνέχεια έλαβε χώρα η μακροσκοπική παρατήρηση της κατάστασης stress των δένδρων ελάτης μέσω της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης της εικόνας χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες Ikonos (έτος 2004), ανάλυσης 1μ, με τη βοήθεια του λογισμικού eCognition. Για τη σωστή παρατήρηση του φαινομένου πρωτίστως έγινε γεωμετρική διόρθωση των εικόνων με την βοήθεια του λογισμικού προγράμματος ER-Mapper 6.4, όπου για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους 1:20.000, καθώς και 52 επίγεια σημεία ελέγχου GCP' s (Ground Control Points), τα οποία αναφέρονταν στα ζεύγη συντεταγμένων των κέντρων των δοκιμαστικών επιφανειών και των δένδρων ελάτης σε κατάσταση stress που είχαν ληφθεί με το GPS. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το έγχρωμο σύνθετο RGB:432 ώστε να τονιστεί η βλάστηση, όπου κατόπιν φωτοερμηνείας επιλέχθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες (Σχήμα 1): 1. Blastisi no stress, 2. Blastisi stress I, 3. Blastisi stress II, 4. Blastisi stress III, 5. Gaiodi, 6. Skia.



Σχήμα 1. Έγχρωμο σύνθετο RGB:432 τμήματος δορυφορικής IKONOS όπου σημαίνονται ενδεικτικά οι κατηγορίες ταξινόμησης: 1. Gaiodi, 2. Blastisi no stress, 3. Blastisi stress I, 4. Blastisi stress II, 5. Blastisi stress III, 6. Skia.

Η ανάλυσή της εικόνας Ikonos περιέλαβε ένα επίπεδο (Level 1) κατάτμησης (Segmentation). Για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων κατάτμησης (φασματικό και σχήματος), ελήφθη υπόψη ότι η βλάστηση εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις συμπαγείς, που διαφοροποιούνται φασματικά έντονα από τα ελάχιστα δομικά στοιχεία του χώρου (δρόμοι). Από τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν, τα βέλτιστα αποτελέσματα απέδωσε ο συνδυασμός: φασματικό κριτήριο 0,8 και κριτήριο σχήματος 0,2. Το τελευταίο, μοιράστηκε με κατά 0,9 στο λείο της οριογραμμής και κατά 0,1 στο συμπαγές των τμημάτων. Με τη μεγάλη τιμή που δόθηκε στο φασματικό κριτήριο και στο λείο της οριογραμμής εξασφαλίστηκε να εντοπιστούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις πρασίνου, ενώ ακόμη βοήθησε στο διαχωρισμό

τους με άλλες φασματικά παρόμοιες κατηγορίες, όπως είναι η βλάστηση stress II, η βλάστηση stress I, κ.α. Στα κανάλια (4,3,2) δόθηκε η ίδια τιμή βάρους (=1), ώστε να γίνει πιο έντονη η διάκριση της βλάστησης. Η τιμή της παραμέτρου της κλίμακας επιλέχθηκε μικρή 4, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πάρα πολλά μικρά και συμπαγή αντικείμενα, τα οποία διευκόλυναν τον εντοπισμό των συγκεντρώσεων του πρασίνου και της σκιασμένης βλάστησης.



(α)



(β)

Σχήμα 2. (α) Τμήμα εικόνας IKONOS σ' έγχρωμο σύνθετο RGB:432 μετά την κατάτμηση, όπου σημαίνονται τα όρια των νέων τμημάτων με μπλε χρώμα και (β) η αρχική εικόνα για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της κατάτμησης. Στο τμήμα της εικόνας (β) σημαίνεται η υγιής βλάστηση με κόκκινο χρώμα, σε σχέση με την βλάστηση σε κατάσταση stress I, II, III που σημαίνεται με πράσινο, αχνό κόκκινο, καφέ χρώμα αντίστοιχα.

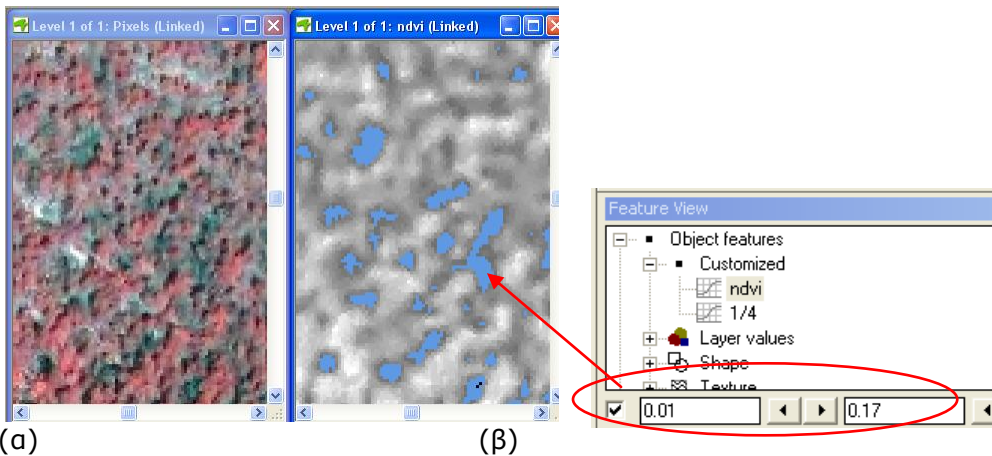
Το επόμενο στάδιο αποτελεί η ταξινόμηση βάσει της μεθόδου της εγγύτερης γειτνίασης με χρήση του φασματικού κριτηρίου του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI)(1),

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

με τη βοήθεια της συνάρτησης ασαφούς συμμετοχής, τραπεζοειδούς μορφής, καθώς και τον λόγο $\frac{1}{4}$ για την κατηγορία gaidoi, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση της ασαφούς λογικής, τραπεζοειδούς μορφής. Οι λόγοι των καναλιών που δημιουργήθηκαν είναι ενισχύσεις προκύπτουσες από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών σ' ένα φασματικό κανάλι, με τις αντίστοιχες τιμές σ' ένα άλλο κανάλι, έχοντας ως βασικό πλεονέκτημα την ανάδειξη των φασματικών χαρακτηριστικών των διαφόρων στοιχείων της εικόνας, ανεξαρτήτως της έκτασης, των συνθηκών φωτισμού της περιοχής κατόπτευσης (Αργιαλάς, 1998). Συγκεκριμένα ως προς τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) ο λόγος του εγγύς υπέρυθρου προς το κόκκινο για την υγιή βλάστηση είναι συνήθως πολύ υψηλός, σε σχέση με την βλάστηση η οποία βρίσκεται υπό κάμψη, είναι τυπικά χαμηλότερος, καθώς η υπέρυθρη ανακλαστικότητα μειώνεται, ενώ η κόκκινη ανακλαστικότητα αυξάνεται (Αργιαλάς, 1998). Ο δείκτης αυτός θεωρείται απαραίτητος για την παρούσα διερεύνηση της διάκρισης των υγιών και μη ατόμων κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή μελέτης. Ας σημειωθεί ότι οι τιμές των εικονοστοιχείων (pixel) που παρουσιάζει ο δείκτης NDVI είναι μεταξύ του -1 έως +1, ενώ οι περιοχές που δεν φέρουν ίχνος βλάστησης δίνουν αρνητική τιμή ή τιμή που αγγίζει την τιμή μηδέν (0). Έτσι, μία αρνητική τιμή ή μία τιμή που αγγίζει το 0, σημαίνει ότι δεν υπάρχει βλάστηση, ενώ μία τιμή που αγγίζει το +1 (0,7-1) αντιπροσωπεύει την καλύτερη κατάσταση υγείας του φυτού (Fortheringham; 1992, Mukherjee and Dhiraj, 2005; Solberg, 2005). Η επιλογή του λόγου καναλιών $\frac{1}{4}$ προέκυψε διότι δεδομένου ότι το κανάλι 1 (μπλε) είναι χρήσιμο για εφαρμογές

όπως η διάκριση ανθρωπογενών κατασκευών, κ.α., ενώ το κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο) θεωρείται κατάλληλο για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης, προσδιορισμό βιομάζας, κ.α. (Ρόκος, 2004), ο λόγός τους δε, είναι ικανός για τη διάκριση γεωλογικών χαρακτηριστικών, π.χ. ασβεστόλιθος.

Η τελική επιλογή των ορίων των ασαφών συναρτήσεων που αντιστοιχούν στις ιδιότητες ndvi και το λόγο $\frac{1}{4}$, ήταν αποτέλεσμα μίας διαδικασίας αλληπάλληλων δοκιμών, που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια φωτοερμηνείας των απεικονίσεων των τιμών του γκρι αυτών των δύο μεταβλητών όπως παραδειγματικά φαίνεται στο Σχήμα 3. Τα τελικά όρια που επιλέχθηκαν για τον ndvi είναι stress I: 0,01-0,17, stress II: 0,17-0,27, stress III: 0,27-0,36, no stress: 0,36-0,8, skia: -0,3-0,01 και για τον $\frac{1}{4}$ είναι από 0,6 έως 1,1.

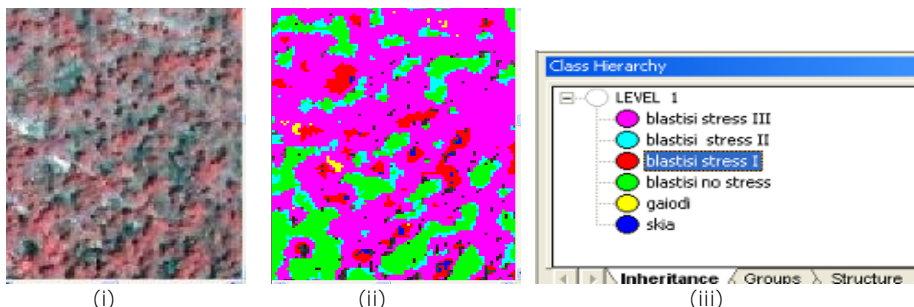


(α)

(β)

Σχήμα 3. Τμήμα εικόνας IKONOS όπου σημαίνεται με γαλάζιο χρώμα η κατηγορία βλάστηση stress I (α) και τα όρια των τιμών του δείκτη ndvi της κατηγορίας αυτής (β)

Εν συνεχεία έγινε η ταξινόμηση βάσει της μεθόδου της εγγύτερης γειτνίασης (standard nearest neighbor) ως προς τις μέσες φασματικές τιμές στα τρία κανάλια, όπου διακρίθηκαν τα εξής: δένδρα που δεν παρουσιάζουν stress (NDVI: 0,36- 0,8), δένδρα που έχουν ασθενές stress III (NDVI: 0,27-0,36), δένδρα που έχουν αρκετό stress II (NDVI: 0,17-0,27), σε δένδρα που παρουσιάζουν έντονο stress I (NDVI: 0,01-0,17), ενώ για τον καλύτερο διαχωρισμό τους από τα υγιή δένδρα ελάτης (no stress) διακρίθηκαν και δένδρα που είναι σκιασμένα (skia: NDVI: -0,3-0,01), καθώς και μία επιπλέον κατηγορία: τα γαιώδη υλικά (gaiodi) (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. (i) Τμήμα της εικόνας μετά την κατάτμηση, (ii) Η ταξινόμησή της, (iii) Το υπόμνημά της

Από τις 20 δοκιμαστικές επιφάνειες επιλέχθηκαν μόνο 4 δοκιμαστικές επιφάνειες με τα εξής τοπογραφικά χαρακτηριστικά: επικρατούσες κλίσεις ήπιες (10% - 20%) ή μέτριες (>20% & <45%), έκθεση νότια, νοτιοανατολική, νοτιοδυτική, με σκοπό τη λήψη δειγμάτων βελόνων ελάτης για τη μέτρηση του δείκτη φθορισμού (fluorescence: Fv/Fm)¹ που παρουσιάζουν τα δένδρα ελάτης στις διάφορες καταστάσεις stress (I, II, III). Η επιλογή των δοκιμαστικών επιφανειών στηρίχθηκε σ' αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας βάσει της οποίας η ελάτη που βρίσκεται στα όρια εξάπλωσής της και δεν έχει ανατολική ή βόρεια έκθεση είναι περισσότερο μη υγιής σε σχέση με την ελάτη που φύεται σε βορεινές, ανατολικές θέσεις, μ' έντονες κλίσεις (Αμοργιανιώτης, 1996). Τα δείγματα των βελόνων μετρήθηκαν με το φασματικό όργανο PEA (Plant Efficiency Analyser), υπό εργαστηριακές συνθήκες και τα όρια των μετρήσεων του δείκτη φθορισμού (Fv/Fm) για τις τρεις κατηγορίες stress (I, II, III) της ελάτης είναι τα εξής (Πίνακας 1):

Πίνακας 1. Αποτελέσματα μέτρησης δείκτη φθορισμού στις καταστάσεις stress (I,II, III) της ελάτης

Βαθμίδα stress	Τιμή (Fv/Fm)
Stress I	0,067 - 0,5
Stress II	0,617 - 0,793
Stress III	0,809 - 0,843

Στη συνέχεια διερευνήθηκε ο βαθμός συσχέτισης του δείκτη φθορισμού με τους δύο προαναφερθέντες αβιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος βάσει της εξίσωσης μετασχηματισμού Fischer (1)

$$z = (1/2) * [\ln(1+x)/(1-x)] \quad (1)$$

όπου z: Fv/Fm, χ: έκθεση ή χ: κλίση

3. Αποτελέσματα

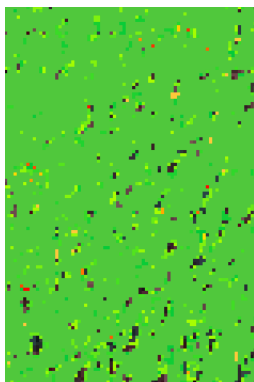
Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης ήταν άκρως ικανοποιητικά σ' όλες τις δοκιμαστικές επιφάνειες, όπως φαίνεται και από τον δείκτη σταθερότητας της ταξινόμησης (Classification Stability) στην παρακάτω γραφική προβολή (Σχήμα 5). Η σταθερότητα της ταξινόμησης αποδίδει για κάθε αντικείμενο εικόνας μία τιμή, από σκούρο πράσινο (1,0, μη-ασαφή) μέχρι κόκκινο (0,0, απολύτως ασαφή). Ακόμη, η σταθερότητα της ταξινόμησης που παρουσιάζει μία δοκιμαστική επιφάνεια φαίνεται στον Σχήμα 6, όπου σημειώνονται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή που λαμβάνει κάθε κατηγορία, η τιμή της μέγιστης απόκλισης (stdD), η μέση τιμή των εικονοστοιχείων (Mean), το πλήθος των αντικειμένων που ταξινομήθηκαν στις οριζόμενες κατηγορίες (Objects) (Σχήμα 7).

Βάσει του ανωτέρω Πίνακα 1 τα άτομα ελάτης που ανήκουν στην κατηγορία stressI παρουσιάζουν χαμηλότερη τιμή του λόγου (Fv/Fm) σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες stress II & stress III, τα άτομα που ανήκουν στην κατηγορία stress II έχουν μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με την κατηγορία stressI, ενώ τα άτομα ελάτης που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία stress III παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες. Όσο η τιμή του λόγου (Fv/Fm) τείνει προς την τιμή μηδέν (0), τόσο πιο έντονη είναι η κατάσταση stress στην οποία βρίσκονται τα φυτά, ενώ όσο η τιμή τείνει στη μονάδα τα φυτά είναι πιο υγιή (Zarco and Apostol, 2002).

Εν συνεχεία από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης του δείκτη φθορισμού ως προς την έκθεση και κλίση προέκυψε ότι ο δείκτης φθορισμού παρουσιάζει έντονη

¹Ο λόγος Fv/ Fm (Fv= (Fm - Fo), Fo: αρχική τιμή φθορισμού, Fm: μέγιστη τιμή φθορισμού) αναλογεί στην απόδοση του κβάντουμ στην φωτοχημεία (Butler and Kitajima, 1975), και παρουσιάζει μεγάλο βαθμό συσχέτισης μεταξύ του κβάντουμ και της καθαρής φωτοσύνθεσης των άθικτων φύλλων (Bjorkman and Demmig, 1987).

διακύμανση στις 4 επιλεγμένες δοκιμαστικές επιφάνειες, δίνοντας ακρίβεια αποτελεσμάτων κατά 95%, - συγκεκριμένα τα δένδρα ελάτης των νοτίων εκθέσεων παρουσιάζουν έντονη κατάσταση stress I σε σχέση μ' αυτά των νοτιοδυτικών και νοτιοανατολικών εκθέσεων και τα οποία με τη σειρά τους παρουσιάζουν από έντονο έως λιγότερο έντονο stress (II, III) -, καθώς και ότι υπάρχει σημαντική στατιστική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο κατηγοριών κλίσεων (ήπιες, μέτριες), με όριο σφάλματος 0,5 και συγκεκριμένα τα άτομα ελάτης που φύονται σε μέτριες κλίσεις παρουσιάζουν εντονότερο stress I σε σχέση με εκείνα που φύονται σε ήπιες κλίσεις (stress II, III).



Σχήμα 5. Η σταθερότητα ταξινόμησης του τμήματος της εικόνας του σχήματος 4

Classification Stability					
Class	Objects	Mean	Std...	Minimum	Ma...
blastisi kali	16918	0.747	0.191	0.1	1
nekra atoma	27687	0.66	0.284	0.000231	1
blastisi asthenis	106506	0.822	0.218	0.000725	1
blastisi ligotero asthenis	11492	0.667	0.29	0.1	1
skia	4464	0.562	0.313	3.88e-005	0.995
gaiodi	10072	0.621	0.291	3.08e-005	1

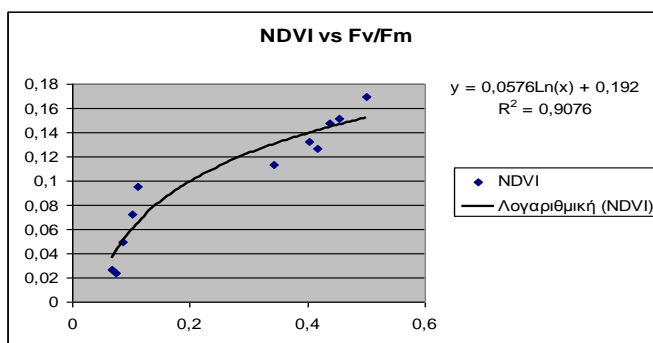
Σχήμα 6. Σταθερότητα ταξινόμησης του τμήματος της εικόνας του σχήματος 4

Ακόμη ερευνήθηκε η σχέση μεταξύ των δύο περιβαλλοντικών δεικτών (ndvi, fluorescence), η οποία εκφράστηκε για τις τρεις καταστάσεις stress μέσω λογαριθμικών εξισώσεων, οι οποίες βρέθηκαν να είναι πολύ ικανοποιητικές ($R^2=0,90$) (Σχήμα 7, 8, 9).

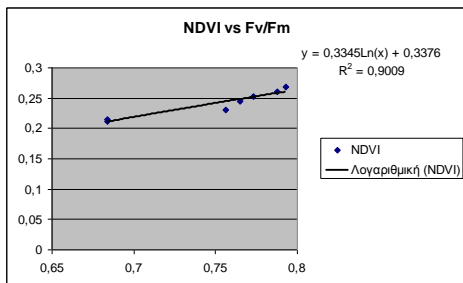
Κατάσταση **stress I**: $y = 0.0576\ln(x) + 0.192$

Κατάσταση **stress II**: $y = 0.3345\ln(x) + 0.3376$

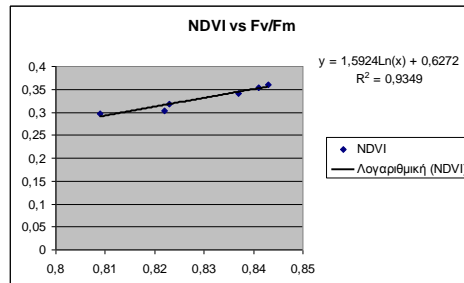
Κατάσταση **stress III**: $y = 1.5924\ln(x) + 0.6272$



Σχήμα 7. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress I



Σχήμα 8. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress II



Σχήμα 9. Γραφική παράσταση σχέσης μεταξύ δεικτών ndvi - fluorescence κατάστασης stress III

4. Συμπεράσματα

Οι μέχρι τώρα σχετικές έρευνες για τη ξήρανση της ελάτης στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, βασίζονται σε κλασικούς μεθόδους της επιστήμης της δασολογίας, δηλαδή σε επίγειους ελέγχους, μετρήσεις ογκομετρικών στοιχείων, λήψη δειγμάτων όπως βελόνες, δείγμα φλοιού, παχυμετρηση, κ.α. Η παρούσα έρευνα στηρίζεται σε σύγχρονες μεθόδους παρατήρησης και αποτύπωσης της γης, συνδυάζοντας με τον τρόπο αυτό την μακροσκοπική έρευνα (τηλεπισκόπηση) με την in situ παρατήρηση, ενώ ακόμη παρόμοια έρευνα δεν έχει μέχρι στιγμής λάβει χώρα στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, στο σύνολο της επικράτειας.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πράγματι ότι σε πολύ μεγάλο βαθμό δύναται να χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός των δύο περιβαλλοντικών δεικτών: κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (ndvi) και του δείκτη φθορισμού (fluorescence) για την εκτίμηση της φυτοϋγειονομικής κατάστασης του ελατοδάσους και κατά προέκταση ενός δασικού περιβάλλοντος, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και προστασία του. Μελλοντικά προτείνεται η μελέτη του Κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (ndvi) με την μέθοδο της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τονίζοντας τα κριτήρια του σχήματος και όχι τόσο τα φασματικά κριτήρια, ενώ ακόμη προτείνεται η μελέτη του δείκτη φθορισμού (Fv/Fm) σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία

- Αργιαλάς Δ., 1998: Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Αθήνα, 112 - 114.
- Αμοργιανιώτης Γ., 1996: Έρευνα της Δομής και της Εξέλιξης του Ελατοδάσους Πάρνηθας, Αθήνα, 10-15.
- Αμοργιανιώτης Γ., 1997: Διαχειριστικό Σχέδιο Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, Αθήνα, 240-258
- Καϊλίδης Δ. και Γεώργεβιτς Ρ., 1968: Επιδημία φλοιοφάγων εντόμων επί της ελάτης της Πάρνηθας, Αθήνα, 28-45.
- Μακρής Κ., 1962: Διαχειριστική Μελέτη Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, Αθήνα, 62-65.
- Ρόκος Δ., 2004: Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Τηλεπισκόπησης - Δ.Π.Μ.Σ. 'Περιβάλλον & Ανάπτυξη', Αθήνα.

Τσόπελας Π., 2003: Δασική Πολιτική – Πρεμνοφυή Δάση – Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος, 11ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Αρχαία Ολυμπία, 30 Σεπτεμβρίου 2003.

Butler and Kitajima, 1975: A tripartite model for chloroplast fluorescence. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, August 1977, 8, 3382-3385.

Bjorkman and Demmig, 1987: 'Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77k among vascular plants of diverse origin, Plant, Cell & Environment, 6, 703-707.

Fortheringham S., Charlton, M., Brunsdon, Ch., 1992: Measuring spatial variations in relationships

with geographically weighted regression. In Fischer M., Getis A. (ed.): Recent Developments

in Spatial Analysis. Spatial Statistic, Spatial Statistics, Behavioural Modelling and Computational Intelligence. Springer-Verlag Berlin,. 60-82.

Mukherjee Arka Prava & Dhiraj Mohan, 2005: NDVI Analysis: Use of Vegetation Health as a Groundwater Indicator. Cuddapah District in Andhra Pradesh, India.

Solberg S., Naesset E., Lange H., Bollands O.M., 2005: Remote Sensing of Forest Health. Proceedings of SNS meeting in forest pathology, Norway, September 2005..

Zarco-Tejada, Haboudane D., Tremblay N., Apostol S., 2002: Detection of Chlorophyll Fluorescence in Vegetatio from Airborne Hyperspectral CASI Imagery in the Red Edge Spectral Region. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Romania 21-25 July 2003..

Αργιαλάς Δ., Δερζέκος Π., 2002. Χαρτογράφηση Αστικού Πρασίνου από Δεδομένα Ικονος με Αντικειμενοστραφή Βάση Γνώσης και Ασαφή Λογική. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, ΑΠΘ Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου 2002, σελ. 39-46.

Argialas D. and P. Derzekos (2003). "Mapping Urban Green from IKONOS Data by an Object-Oriented Knowledge-base and Fuzzy Logic", in Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II. M. Ehlers (Editor) Proceedings of SPIE International Conference on Remote Sensing, Vol. 4886 (2003), 23-26 September 2002, Agia Pelagia, Crete, pp. 96-106.