

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ TVI ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

Σκιάνης Γ. Αιμ.<sup>1</sup>, Βαϊόπουλος Δ.<sup>1</sup> και Νικολακόπουλος Κ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών  
157 84 Αθήνα, skianis@geol.uoa.gr, vaioroulos@geol.uoa.gr

<sup>2</sup> IGD GROUP, Βύρωνος 6, 152 31 Αθήνα knikolakoroulos@geol.uoa.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται, με τη βοήθεια της θεωρίας πιθανοτήτων, η συμπεριφορά του μετασχηματισμένου δείκτη βλάστησης TVI, καθώς και της παραλλαγμένης μορφής αυτού, TVI'. Εισάγοντας μια κατάλληλη κατανομή για την περιγραφή των ιστογραμμάτων των καναλιών της εικόνας, και αξιοποιώντας θεωρήματα της στατιστικής, συνάγονται οι μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν τις κατανομές τιμών των δεικτών βλάστησης TVI και TVI'. Από τη μελέτη των κατανομών αυτών συμπεραίνεται ότι όταν η τυπική αποκλιση της εικόνας της ζώνης του υπερύθρου είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ζώνης του ερυθρού, στο ιστόγραμμα TVI' η επικρατούσα τιμή είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά, ως προς την επικρατούσα τιμή του ιστογράμματος TVI. Από την άλλη πλευρά, το ιστόγραμμα TVI έχει μια επικρατούσα τιμή προς το μέσον της κλίμακας τονικότητας, καθώς και μια μεγαλύτερη διασπορά. Επομένως η εικόνα TVI έχει μια καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας από την εικόνα TVI'. Βρέθηκε επίσης ότι η εικόνα TVI έχει μεγαλύτερη διασπορά και από την εικόνα του συχνά εφαρμοζόμενου δείκτη βλάστησης NDVI. Οι θεωρητικές αυτές προβλέψεις συμφωνούν με παρατηρήσεις σε δορυφορική εικόνα Landsat από τη Νήσο Ζάκυνθο.

Τα πορίσματα αυτής της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν σε γεωλογικές και περιβαλλοντικές έρευνες, με αντικείμενο τη χαρτογράφηση περιοχών διαφοροποιημένης πυκνότητας βλάστησης, οι οποίες πιθανόν να έχουν σχέση με διάφορους τύπους εδαφών και γεωλογικών ενοτήτων.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη γεωλογική και στην περιβαλλοντική έρευνα χρησιμοποιούνται συχνά λόγοι φασματικών ζωνών από πολυφασματικές εικόνες, ως δείκτες βλάστησης, προκειμένου να χαρτογραφηθούν περιοχές με διαφοροποιημένη πυκνότητα φυτοκάλυψης. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες βλάστησης, με εμπειρικά κυρίως κριτήρια ανταπόκρισης στους τύπους φυτοκάλυψης που επιχειρείται να χαρτογραφηθούν (Jensen 1996, Rouse et. al. 1973, Deering et. al. 1975, Huete 1988, Faust 1989, Baret & Guyot 1991, Qi et. al. 1994, Burgan 1996). Ένας από τους προταθέντες δείκτες βλάστησης είναι ο Μετασχηματισμένος Δείκτης Βλάστησης (Transformed Vegetation Index) TVI (Deering et. al. 1975), που ορίζεται ως:

$$u = \sqrt{\frac{x-y}{x+y}} \quad (1)$$

$x$  και  $y$  είναι οι τιμές φωτεινότητας στις φασματικές ζώνες του εγγύς υπερύθρου και του ερυθρού, αντίστοιχα.  $u$  είναι η αριθμητική τιμή του δείκτη βλάστησης.

Όταν το  $x$  είναι μικρότερο του  $y$ , ο TVI είναι μηδέν. Προκειμένου να περιορισθεί ο αριθμός των εικονοστοιχείων με μηδενικό δείκτη βλάστησης, συχνά προτιμάται η παρακάτω παραλλαγή TVI' του δείκτη TVI (Schowengerdt 1997):

$$u = \sqrt{\frac{x-y}{x+y}} + 0.5 \quad (2)$$

Ο συνθεότερα χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης είναι ο Δείκτης Βλάστησης

Κανονικοποιημένων Διαφορών NDVI (Boyd et. al. 2002, Chuvieco et. al. 2002, Peterson et. al. 2002, Stroppiana et. al. 2002 και πολλοί άλλοι). Ο NDVI ορίζεται ως (Rouse et. al. 1973):

$$u = \frac{x - y}{x + y} \quad (3)$$

Στην παρούσα εργασία συγκρίνονται τα χαρακτηριστικά των εικόνων των δεικτών βλάστησης TVI, TVI' και NDVI. Το βασικό κριτήριο σύγκρισης είναι το εύρος του ιστογράμματος εικόνας, μέτρο του οποίου είναι η τυπική απόκλιση. Αν το ιστόγραμμα εικόνας δείκτη βλάστησης έχει μικρή τυπική απόκλιση, η εικόνα παρέχει περιορισμένη πληροφορία για τους στόχους ενδιαφέροντος. Αν η τυπική απόκλιση είναι μεγάλη και το ιστόγραμμα καλύπτει όλη την κλίμακα τονικότητας, τότε ο δείκτης βλάστησης αναμένεται να δώσει περισσότερες πληροφορίες, ιδίως όταν η επικρατούσα τιμή βρίσκεται προς το μέσο της κλίμακας τονικότητας.

Με τη βοήθεια κατάλληλων κατανομών και αξιοποιώντας θεωρήματα της στατιστικής, μελετώνται τα ιστογράμματα των εικόνων των τριών δεικτών βλάστησης και διατυπώνονται θεωρητικές προβλέψεις για την αποτελεσματικότητα του κάθε δείκτη. Στη συνέχεια, οι προβλέψεις αυτές συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών δεικτών βλάστησης σε δορυφορική εικόνα. Τα πορίσματα αυτής της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν στη γεωλογική και περιβαλλοντική έρευνα με αντικείμενο την αναγνώριση περιοχών με διαφορετική πυκνότητα φυτοκάλυψης.

## 2 ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

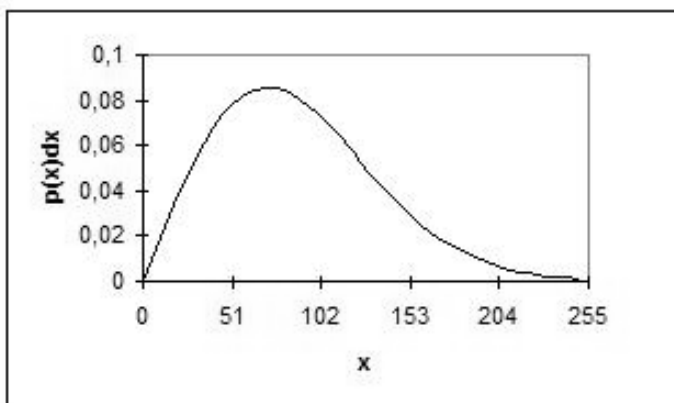
Για την πιθανοθεωρητική μελέτη της συμπεριφοράς των δεικτών βλάστησης θα πρέπει να προσομοιωθούν τα ιστογράμματα των ζωνών  $x$  και  $y$  με μια κατάλληλη κατανομή. Η κατανομή αυτή θα πρέπει να ξεκινάει από το μηδέν, να έχει μέγιστο για μια σχετικά μικρή τιμή της κλίμακας τονικότητας και να μηδενίζεται πρακτικά στις υψηλές τιμές φωτεινότητας. Μια δορυφορική εικόνα που έχει υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση και που δεν έχει γίνει σε αυτήν έλκυση ιστογράμματος, γενικά έχει αυτά τα χαρακτηριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη συμπεριφορά του ιστογράμματος εικόνας, επιλέξαμε τις παρακάτω κατανομές  $p_1$  και  $p_2$  για την περιγραφή των ιστογραμμάτων των ζωνών  $x$  και  $y$ , αντίστοιχα:

$$p_1(x) = 2a_1 x \cdot e^{-a_1 x^2} \quad (4)$$

$$p_2(y) = 2a_2 y \cdot e^{-a_2 y^2} \quad (5)$$

$a_1$  και  $a_2$  είναι θετικές παράμετροι που διαμορφώνουν την επικρατούσα τιμή του ιστογράμματος. Στο (σχ. 1) παρουσιάζεται η συμπεριφορά των κατανομών  $p_1$  και  $p_2$ .



Σχ. 1. Γραφική παράσταση των κατανομών  $p_1$  και  $p_2$ .  $a_1=a_2=0.0001$

Αν θεωρηθεί ότι οι μεταβλητές  $x$  και  $y$  είναι ασυσχέτιστες, η κατανομή  $f(x,y)$  των ζευγών τιμών φωτεινότητας  $(x,y)$  είναι η:

$$f(x, y) = 4a_1a_2 \cdot e^{-a_1x^2 - a_2y^2} \quad (6)$$

Ένας αναγνώστης με κριτικό πνεύμα θα μπορούσε να παρατηρήσει ότι γενικά υπάρχει μια γραμμική συσχέτιση τιμών φωτεινότητας μεταξύ διαφορετικών καναλιών, επομένως οι ζώνες  $x$  και  $y$  δε θα έπρεπε να θεωρούνται ως ανεξάρτητες μεταξύ τους μεταβλητές που να ακολουθούν την κατανομή της σχέσης (6). Όμως για να εργαστούμε με εύχρηστες, κατά το δυνατόν, μαθηματικές σχέσεις, θεωρούμε ότι η γραμμική συσχέτιση είναι μικρή και ότι μπορεί να παραβλεφθεί. Μια τέτοια υπόθεση ενισχύεται από το ότι μεταξύ ερυθρής και εγγύς υπέρυθρης ζώνης η συσχέτιση είναι σημαντικά μικρότερη απ'όσο μεταξύ άλλων ζωνών (ο συντελεστής συσχέτισης μπορεί να έχει τιμές μικρότερες του 0.5).

Αξιοποιώντας γνωστά θεωρήματα της στατιστικής (Spiegel 1977) μπορεί να αποδειχθεί ότι η κατανομή  $g(u)$  δείκτη βλάστησης  $u$  περιγράφεται από τη σχέση (Vaioroulos et. al. 2004):

$$g(u) = \int_0^{\infty} |J| \cdot f(v, \varphi^{-1}[u, v]) dv \quad (7)$$

$v$  είναι μια μεταβλητή εξ ορισμού ίση με  $x$ .  $\varphi^{-1}$  είναι η αντίστροφη της συνάρτησης  $\varphi$  που περιγράφει το δείκτη βλάστησης  $u$ .  $J$  είναι η ιακωβιανή των  $x$  και  $y$  ως προς  $u$  και  $v$ .

Με βάση τη σχέση (7), αποδεικνύεται (Vaioroulos et. al. 2004) ότι η κατανομή τιμών  $g(u)$  του δείκτη βλάστησης NDVI, ο οποίος ορίζεται από τη σχέση (3), περιγράφεται από τη σχέση:

$$g(u) = \frac{4\lambda(1-u^2)}{[\lambda(1+u)^2 + (1-u)^2]^2} \quad (8)$$

Η παράμετρος  $\lambda$  σχετίζεται τόσο με τις παραμέτρους  $a_1$  και  $a_2$ , όσο και με τις τυπικές αποκλίσεις  $\sigma_1$  και  $\sigma_2$  των ζωνών  $x$  και  $y$  αντίστοιχα, με βάση τη σχέση:

$$\lambda = \frac{a_1}{a_2} = \sqrt{\frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \quad (9)$$

Από τις σχέσεις (1) και (3), συνάγεται ότι ο δείκτης βλάστησης TVI είναι συνάρτηση του δείκτη NDVI, με βάση τη σχέση:

$$u(u') = \sqrt{u'} \quad (10)$$

Με  $u$  και  $u'$  συμβολίζονται οι τιμές των δεικτών βλάστησης TVI και NDVI, αντίστοιχα.

Ομοίως, από τις σχέσεις (2) και (3) συνάγεται ότι οι δείκτες βλάστησης TVI' και NDVI συνδέονται με την παρακάτω σχέση:

$$u(u') = \sqrt{u'+0.5} \quad (11)$$

Με βάση ένα γνωστό θεώρημα της στατιστικής (Spiegel 1977), η κατανομή  $g(u)$  του  $u$  συνδέεται με την κατανομή  $g(u')$  του  $u'$  μέσω της σχέσης:

$$g(u) = g[u'(u)] \cdot \left| \frac{du'}{du} \right| \quad (12)$$

Καθώς οι τιμές  $u$  των δεικτών βλάστησης TVI και TVI' είναι μεγαλύτερες ή ίσες του μηδενός, το ποσοστό των εικονοστοιχείων  $g(0)$  με μηδενικό  $u$  είναι ίσο με το ποσοστό των εικονοστοιχείων για τα οποία οι υπόρριζες ποσότητες στις σχέσεις (10) και (11) είναι μικρότερες ή ίσες του μηδενός. Κατά συνέπεια, για το δείκτη TVI ισχύει:

$$g(0) = \int_{-1}^0 g(u') du' \quad (13)$$

Το κάτω όριο ολοκλήρωσης είναι ίσο με την ελάχιστη τιμή  $u'$  του δείκτη NDVI.

Για το δείκτη TVI' ισχύει:

$$g(0) = \int_{-0.5}^0 g(u') du' \quad (14)$$

Το κάτω όριο ολοκλήρωσης είναι ίσο με την ελάχιστη τιμή της ποσότητας  $u'+0.5$ .

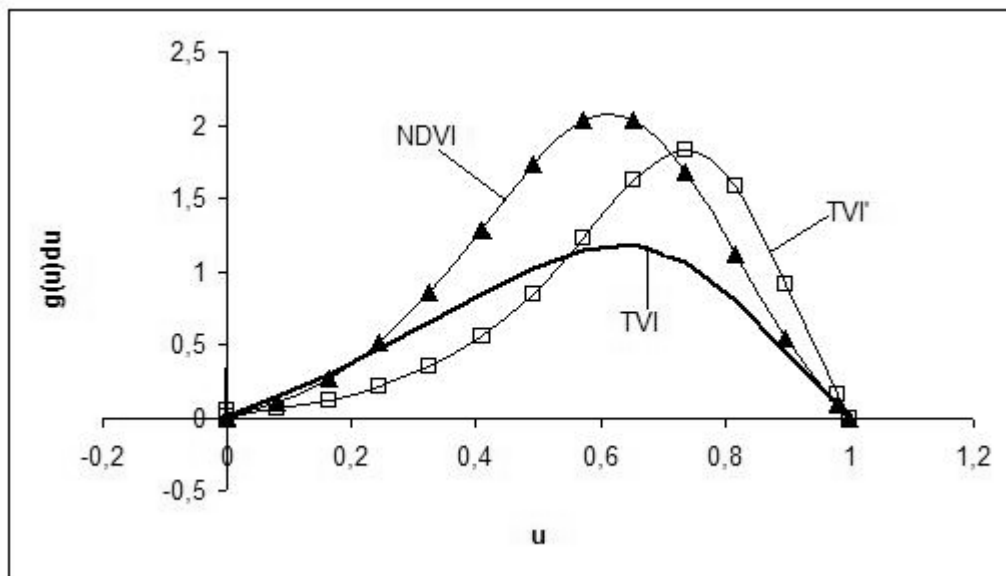
Από τις σχέσεις (8), (10), (12) και (13) συνάγεται ότι η κατανομή τιμών  $g(u)$  του δείκτη βλάστησης TVI είναι:

$$g(u) = \begin{cases} \frac{8\lambda(1-u^2)u}{(1+u^2)^3 \left[ \lambda + \left( \frac{1-u^2}{1+u^2} \right)^2 \right]^2} & (x \geq y) \\ \frac{\lambda}{\lambda+1} & (x < y) \end{cases} \quad (15)$$

Από τις σχέσεις (8), (11), (12) και (14), συνάγεται ότι η κατανομή  $g(u)$  του δείκτη βλάστησης TVI', περιγράφεται από τη σχέση:

$$g(u) = \begin{cases} \frac{8\lambda(1.5-u^2)u}{(0.5+u^2)^3 \left[ \lambda + \left( \frac{1.5-u^2}{0.5+u^2} \right)^2 \right]^2} & \left( \frac{x-y}{x+y} \geq -0.5 \right) \\ \frac{\lambda}{\lambda+9} & \left( \frac{x-y}{x+y} < -0.5 \right) \end{cases} \quad (16)$$

Στο (σχ. 2) αναπαριστάνονται γραφικά οι κατανομές τιμών των δεικτών βλάστησης NDVI, TVI και TVI', με βάση τις σχέσεις (8), (15) και (16), αντίστοιχα. Στο (σχ. 3) αναπαριστάνονται οι ίδιες τιμές, κανονικοποιημένες ως τις μέγιστες τιμές αυτών,  $g(u)$ . Οι τιμές και των τριών δεικτών βλάστησης έχουν αναχθεί στην κοινή κλίμακα τονικότητας [0,1].



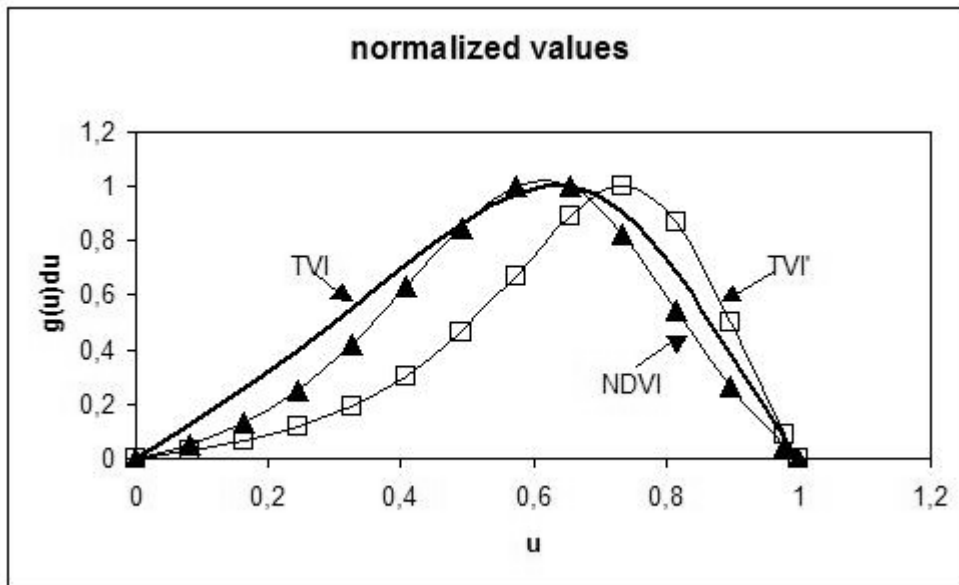
Σχ. 2. Οι κατανομές τιμών των δεικτών βλάστησης TVI, TVI' και NDVI.  $\lambda=0.25$ .

Από τις γραφικές παραστάσεις του (σχ. 2), παρατηρούμε ότι το μέγιστο της κατανομής του δείκτη βλάστησης TVI' είναι μετατοπισμένο προς τη δεξιά πλευρά της κλίμακας τονικότητας και είναι μικρά τα ποσοστά των εικονοστοιχείων με χαμηλές τιμές φωτεινότητας. Αυτό σημαίνει ότι η εικόνα του δείκτη βλάστησης TVI' αναμένεται να έχει μια διάχυτη φωτεινότητα, που ενδεχομένως να μην ευνοεί την αναγνώριση σχηματισμών χαμηλής τονικότητας. Τα μέγιστα των κατανομών TVI και NDVI βρίσκονται προς το μέσο της κλίμακας επομένως αναμένεται να έχουν οι εικόνες των δεικτών αυτών λιγότερη διάχυτη φωτεινότητα.

Στις κατανομές του (σχ. 2), η παράμετρος  $\lambda$  είναι μικρότερη της μονάδας. Για  $\lambda$  μεγαλύτερο της μονάδας, το μέγιστο της κατανομής TVI' εντοπίζεται στις χαμηλές τιμές της κλίμακας τονικότητας.

Με βάση την εμπειρία μας, εκτιμούμε ότι η τυπική απόκλιση στο εγγύς υπέρυθρο είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτήν στο ερυθρό, με αποτέλεσμα, δυνάμει της σχέσης (9), να είναι το  $\lambda$  μικρότερο της μονάδας.

Από τις κανονικοποιημένες καμπύλες του (σχ. 3), φαίνεται σαφώς ότι η διασπορά της κατανομής τιμών του δείκτη TVI είναι μεγαλύτερη από αυτήν του NDVI, καθώς και του TVI'. Αυτό επιβεβαιώνεται και από αριθμητικούς υπολογισμούς της τυπικής απόκλισης, που πραγματοποιήθηκαν με βάση τις σχέσεις (8), (15) και (16), και που περιγράφουν τις κατανομές τιμών NDVI, TVI και TVI', αντίστοιχα. Η μεγάλη διασπορά της κατανομής TVI υποδηλώνει εικόνα με καλή αντίθεση φωτεινότητας.



Σχ. 3. Κανονικοποιημένες τιμές των κατανομών φωτεινότητας των δεικτών βλάστησης TVI, TVI' και NDVI

Με βάση την πιθανοθεωρητική μελέτη εκτιμάται ότι η εικόνα TVI έχει τη μεγαλύτερη διασπορά και την καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας. Προβλέπεται επίσης ότι η εικόνα TVI' έχει μια διάχυτη φωτεινότητα («θάμπωμα»). Το επόμενο βήμα είναι να συγκριθούν αυτές οι θεωρητικές προβλέψεις με πραγματικά δεδομένα.

### 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Για τον έλεγχο των θεωρητικών προβλέψεων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά εικόνων δεικτών βλάστησης, χρησιμοποιήθηκε εικόνα Landsat7 ETM (Αύγουστος 1999). Στο (σχ. 4) εμφανίζεται η 432 RGB εικόνα της περιοχής. Στα (σχ. 5), (σχ. 6) και (σχ. 7) παρουσιάζονται οι εικόνες των δεικτών βλάστησης NDVI, TVI' και TVI, αντίστοιχα, οι οποίοι έχουν αναχθεί σε κοινή κλίμακα τονικότητας με τιμές από 0 ως 1. Για την παραγωγή των εικόνων των τριών δεικτών βλάστησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Image 8.6 της ERDAS. Στο νησί είχε σημειωθεί πυρκαϊά λίγο πριν τη λήψη της εικόνας. Οι καμένες περιοχές εμφανίζονται με σκοτεινούς τόνους στις εικόνες δεικτών βλάστησης.

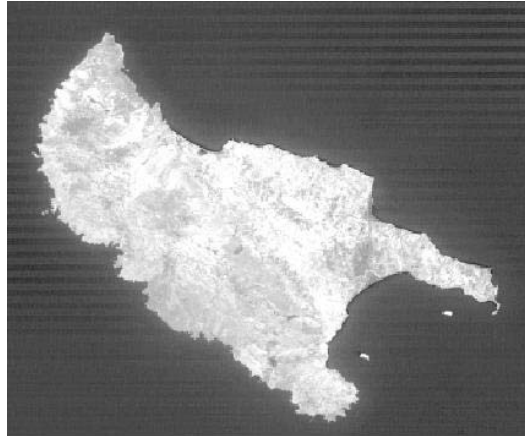
Παρατηρούμε ότι στις εικόνες των (σχ. 5) και (σχ. 6) υπάρχει μια διάχυτη φωτεινότητα, που είναι ιδιαίτερα εμφανής στη θαλάσσια περιοχή, όπου εμφανίζονται ραβδώσεις διαφοροποιημένης τονικότητας. Στην εικόνα TVI (σχ. 7), δεν υπάρχει αυτή η διάχυτη φωτεινότητα και η θάλασσα εμφανίζεται με βαθείς σκοτεινούς τόνους. Επίσης, οι καμένες περιοχές εμφανίζονται με πιο σκοτεινούς τόνους στην εικόνα δείκτη TVI απ'όσο στους άλλους δυο δείκτες.

Η εικόνα TVI έχει καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας απ'όσο οι εικόνες TVI' και NDVI και αυτό έχει ως συνέπεια να εμφανίζονται ευκρινέστερα οι σκοτεινές λεπτές γραμμές του οδικού δικτύου στην εικόνα TVI από το βόρειο μέρος της Νήσου (σχ. 8) απ'όσο στην εικόνα TVI' της ίδιας περιοχής (σχ. 9). Φαίνεται λοιπόν να επαληθεύονται, από ποιοτική άποψη, οι θεωρητικές προβλέψεις για εικόνα

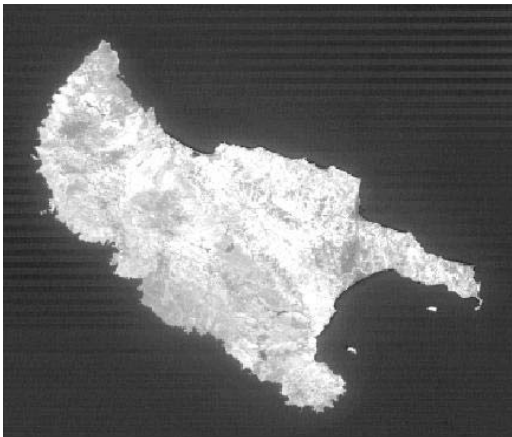
TVI χωρίς «θάμπωμα» και με καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας από αυτήν των δυο άλλων δεικτών βλάστησης.



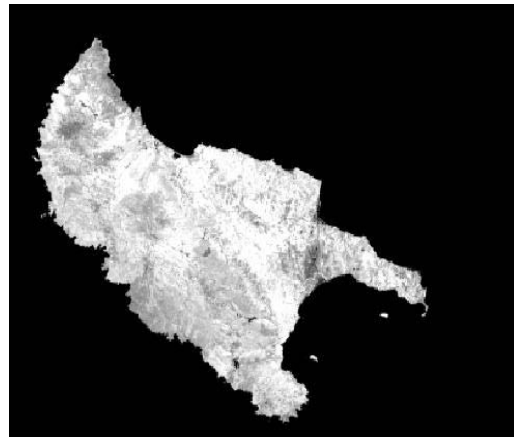
Σχ. 4. 432 RGB εικόνα Landsat 7 ETM από τη Νήσο Ζακύνθου



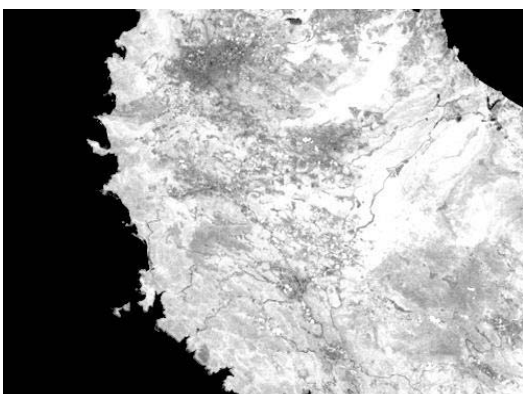
Σχ. 5. Εικόνα δείκτη βλάστησης NDVI της Νήσου Ζακύνθου



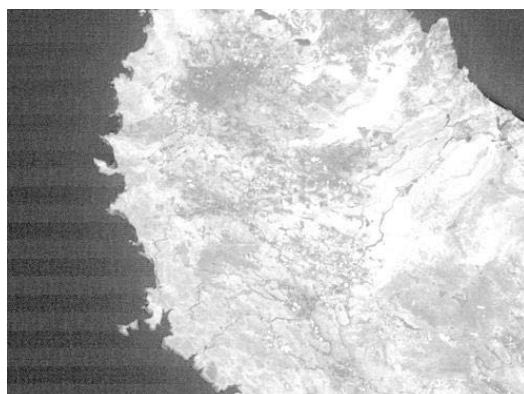
Σχ. 6. Εικόνα δείκτη βλάστησης TVI της Νήσου Ζακύνθου



Σχ. 7. Εικόνα δείκτη βλάστησης TVI της Νήσου Ζακύνθου



Σχ. 8. Εικόνα TVI από το βόρειο τμήμα της Νήσου Ζακύνθου



Σχ. 9. Εικόνα TVI από το βόρειο τμήμα της Νήσου Ζακύνθου

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι τυπικές αποκλίσεις των ιστογραμμάτων των εικόνων των τριών δεικτών βλάστησης. Όπως προβλέπει και η πιθανοθεωρητική μελέτη, η τυπική απόκλιση της εικόνας TVI είναι μεγαλύτερη από αυτές των εικόνων NDVI και TVI'.

Πίνακας 1

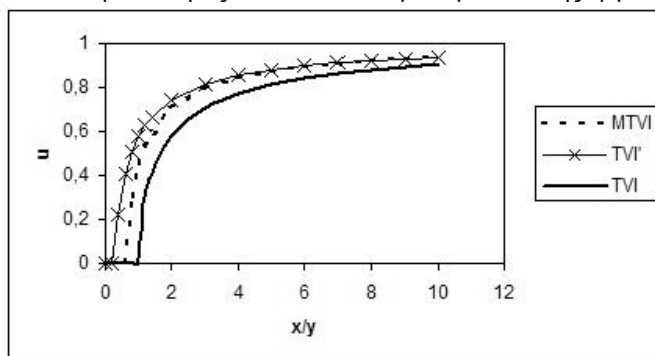
Δείκτης Βλάστησης	NDVI	TVI'	TVI
Τυπική Απόκλιση	0.095	0.083	0.219

Τόσο οι θεωρητικές προβλέψεις, όσο και ο πειραματικός έλεγχος με δορυφορική εικόνα, έδειξαν ότι ο δείκτης βλάστησης TVI, παράγει εικόνες με μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και καλύτερη αντίθεση φωτεινότητας από αυτές που προκύπτουν από τους δείκτες TVI' και NDVI. Κατά συνέπεια, ο δείκτης TVI είναι ο πλέον ενδεδειγμένος, κυρίως για ανίχνευση σχηματισμών χαμηλής τονικότητας, όπως καμένες περιοχές ή γεωλογικές ενότητες με αραιή φυτοκάλυψη.

Υπάρχει ωστόσο η δυνατότητα να αξιοποιηθεί και ένας τροποποιημένος δείκτης TVI, ο MTVI, που ορίζεται από τη σχέση:

$$u = \sqrt{\frac{cx - y}{cx + y}} \quad (17)$$

Το  $c$  είναι μια παράμετρος με τιμές από 1 ως 3. Εξαιτίας αυτής της παραμέτρου ο δείκτης βλάστησης MTVI λαμβάνει ενδιάμεσες τιμές μεταξύ TVI και TVI', όπως φαίνεται στο (σχ. 10). Μια εικόνα MTVI, από πλευράς οπτικού αποτελέσματος και στατιστικών χαρακτηριστικών, είναι μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ TVI και TVI'. Στο βαθμό που το  $c$  πλησιάζει τη μονάδα, η εικόνα MTVI έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την εικόνα TVI. Στο βαθμό που το  $c$  αυξάνεται, η εικόνα MTVI προσομοιάζει με την εικόνα TVI'. Διαφορετικές τιμές του  $c$  αντιστοιχούν σε εικόνες με διαφοροποιημένη τονικότητα, διευρύνοντας έτσι τις επιλογές του χρήστη. Ο δείκτης MTVI μπορεί να κατασκευαστεί εύκολα με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (για παράδειγμα με το εργαλείο spatial modeler του ERDAS Imagine ή με τη γλώσσα προγραμματισμού του ILWIS) και η μελέτη της αποτελεσματικότητάς του είναι αντικείμενο μελλοντικής εργασίας.



Σχ. 10. Γραφική παράσταση της μεταβολής των τιμών TVI, TVI' και MTVI ως προς το λόγο των φασματικών ζωνών  $x/y$ .  $c=1.5$

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πιθανοθεωρητική ανάλυση έδειξε ότι ο δείκτης TVI παράγει εικόνες με μεγάλη τυπική απόκλιση, που ευνοεί μια καλή αντίθεση φωτεινότητας. Ο δείκτης TVI', εξαιτίας της υπόρριξης ποσότητας 0.5, παράγει εικόνες με μεγάλη φωτεινότητα και μικρή τυπική απόκλιση.

Ο πειραματισμός με δορυφορική εικόνα Landsat 7 ETM επιβεβαίωσε τις θεωρητικές προβλέψεις περί καλύτερης αντίθεσης φωτεινότητας της εικόνας TVI από την εικόνα TVI'. Επί πλέον, ως συνέπεια της μεγάλης διάχυτης φωτεινότητας που χαρακτηρίζει την εικόνα TVI', γραμμώσεις χαμηλής φωτεινότητας, όπως το οδικό δίκτυο για παράδειγμα, εμφανίζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια στην εικόνα TVI.

Κατά συνέπεια, εκτιμούμε ότι ο δείκτης TVI, έτσι όπως ορίζεται από τη σχέση (1), είναι προτιμητέος σε σχέση με τον τροποποιημένο δείκτη TVI', έστω και αν ο δεύτερος χρησιμοποιείται

συχνότερα και είναι ενσωματωμένος σε διαδεδομένα πακέτα λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων.

Ωστόσο, αν ο χρήστης επιθυμεί να έχει διευρυμένα περιθώρια επιλογών από πλευράς οπτικού αποτελέσματος, μπορεί να εφαρμόσει το δείκτη MTVI, με βάση τη σχέση (17), για διάφορες τιμές της παραμέτρου  $c$ . Οι εικόνες που παράγονται για διάφορα  $c$  θα έχουν ενδιάμεσες τιμές φωτεινότητας μεταξύ αυτής των εικόνων TVI και TVI'.

Ένα γενικότερο συμπέρασμα που προκύπτει από αυτήν την εργασία είναι ότι η θεωρία πιθανοτήτων μπορεί να συμβάλει στην αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης που εφαρμόζονται σε πολυφασματικές εικόνες. Με την πιθανοθεωρητική ανάλυση μπορούν να διατυπωθούν προβλέψεις για τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εικόνας, οι οποίες, στο βαθμό που επιβεβαιώνονται από τον έλεγχο με πραγματικά δεδομένα τηλεανίχνευσης, οδηγούν σε αξιόπιστα συμπεράσματα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς του υπό μελέτη δείκτη βλάστησης.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Baret, F., and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment* 35, 161-173
- Boyd, D. S., Phipps, P. C., Foody, G. M., and Walsh, R. P. D., 2002. Exploring the utility of NOAA AVHRR middle infrared reflectance to monitor the impacts of ENSO-induced drought stress on Sabah rainforests. *International Journal of Remote Sensing*, 23(2), 5141-5147
- Burgan, R. E., 1996. Use of Remotely Sensed Data for Fire Danger Estimation. *Earsel Advances in Remote Sensing. Remote Sensing and GIS applications for Forest Fire Management*, 4(4), 1-8
- Chuvieco, E., Martin, M. P., and Palacios, A., 2002. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing* 23(23), 5103-5110
- Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., and Schell, J. A., 1975. Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data. *10<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment* 2, 1169-1178
- Faust, N. L., 1989. Image Enhancement. In: Allen Kent and James G. Williams (editors), *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Vol. 20, Supplement 5. Marcel Dekker Inc.
- Huete, A. R., 1978. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309
- Jensen, R. J., 1995. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, 316 pp
- Peterson, D. L., Price, K. P., and Martinko, E. A., 2002. Discriminating between cool season and warm season grassland cover types in northeastern Kansas. *International Journal of Remote Sensing* 23(23), 5015-5130
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., and Sorooshian, S., 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 48(2), 119-126
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *3<sup>rd</sup> ERTS Symposium*, Vol. 1, 48-62
- Schowengerdt, R. A., 1997. *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, 515 pp
- Spiegel, M. R., 1977. *Πιθανότητες και Στατιστική*. McGraw-Hill, ΕΣΠΙ, 384 σελ.
- Stroppiana, D., Pinnock, S., Pereira, J. M. C., and Gregoire, J. M., 2002. Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia. *Remote Sensing of Environment* 82, 21-37
- Vaiopoulos, D., Skianis, G. Aim., and Nikolakopoulos, K., 2004. The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 25(20), 4219-4236.



## ABSTRACT

### ASSESSMENT OF THE TVI VEGETATION INDEX WITH THE AID OF PROBABILITY THEORY

Skianis G. Aim.<sup>1</sup>, Vaiopoulos D.<sup>1</sup>, and Nikolakopoulos K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Remote Sensing Laboratory, Faculty of Geology, University of Athens, 157 84 Athens. skianis@geol.uoa.gr, vaiopoulos@geol.uoa.gr

<sup>2</sup> IGD GROUP, Vyronos 6, 152 31 Athens. knikolakopoulos@geol.uoa.gr

In the present paper the statistical behaviour of the Transformed Vegetation Index TVI is studied. TVI is defined by:

$$u = \sqrt{\frac{x - y}{x + y}} \quad (1)$$

or, alternatively, by:

$$u = \sqrt{\frac{x - y}{x + y} + 0.5} \quad (2)$$

$u$  is the numerical value of the vegetation index.  $x$  and  $y$  are the brightness values of the near infrared and red zones, respectively. Relation (1) defines the vegetation index TVI. Relation (2) defines the vegetation index TVI'.

Using appropriate distributions to describe the histograms of  $x$  and  $y$  channels, and taking into account certain theorems from probability theory, the expressions for the distributions of TVI and TVI' values are deduced. According to these expressions, the standard deviation of TVI image is larger than that of TVI', as well as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The prevailing value of the TVI' histogram is located at the right part of the tonality range. Therefore, according to the mathematical analysis, the TVI image has a better contrast than that of the NDVI and TVI' images. The TVI' has a diffuse luminance.

The theoretical predictions were tested with a Landsat 7 ETM image of Zakynthos Island (western Greece) and they were found to be in accordance with the satellite data. It was also observed that lineaments with a dark tonality are expressed more clearly in the TVI image than in the TVI' image.

The general conclusion is that the TVI vegetation index is preferable from TVI', since the former produces images with a larger standard deviation and a better contrast than the latter.

The results and conclusions of this paper may be useful in geological and environmental research, for mapping regions with a different vegetation cover.