

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΑΣ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Δημήτριος ΚΟΥΛΟΥΡΗΣ<sup>1\*</sup>, Ιωάννης ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗΣ<sup>2</sup>, Νικόλαος ΜΑΛΑΜΟΣ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

<sup>2</sup>Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

\*e-mail: dkoulouris@upatras.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωργία ακριβείας απαιτεί σύγχρονες μεθόδους εποπτείας καλλιεργειών, όπως είναι οι φασματικοί δείκτες βλάστησης μέσω δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδοση των φασματικών δεικτών NDVI και NDMI ως εργαλεία διαχείρισης της άρδευσης των καλλιεργειών. Η ανάλυση έγινε για δύο αγροτεμάχια με μανταρίνια στην πεδιάδα της Άρτας, με βάση χρονοσειρές των δύο δεικτών, που προέκυψαν από το δορυφορικό σύστημα Sentinel-2, από μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα άρδευσης. Όλα τα δεδομένα προέρχονται από το σύστημα ευφυούς άρδευσης IRMA\_SYS. Από την ανάλυση προκύπτει ότι κατά την αρδευτική περίοδο οι πραγματοποιούμενες αρδεύσεις οδηγούν σε αύξηση των τιμών των δύο δεικτών ενώ η μειωμένη νέφωση προκαλεί μικρότερη διασπορά των τιμών τους. Συμπερασματικά, οι δύο δείκτες μπορούν, υπό προϋποθέσεις, να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο επιτήρησης μιας καλλιέργειας, στα πλαίσια εφαρμογής μεθόδων γεωργίας ακριβείας.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Γεωργία ακριβείας, τηλεπισκόπηση, IRMA\_SYS, NDVI, NDMI, άρδευση

## EVALUATION OF VEGETATION AND MOISTURE SPECTRAL INDICES IN MANDARINE ORCHARD AS IRRIGATION MANAGEMENT TOOLS

Dimitrios KOULOURIS<sup>1\*</sup>, Ioannis TSIROGIANNIS<sup>2</sup>, Nikolaos MALAMOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agriculture, University of Patras

<sup>2</sup>Department of Agriculture, University of Ioannina

\*e-mail: dkoulouris@upatras.gr

### ABSTRACT

Precision agriculture requires modern crop surveillance methods, such as spectral vegetation indices via satellite remote sensing. This study examines the performance of NDVI and NDMI spectral indices as irrigation management tools. The analysis was performed for two fields cultivated with mandarins in the Arta plain, based on timeseries of the two indices obtained from Sentinel-2 satellite system, and on meteorological and irrigation data. All data were acquired from the IRMA\_SYS intelligent irrigation decision support system. The analysis showed that during the irrigation period the values of the two indices increased after each irrigation, while the reduced cloudiness resulted in smaller spread of their values. Conclusively, the two indices can be used, under specific conditions, as a tool for monitoring crops, within the context of precision agriculture practices.

**KEY WORDS:** Precision agriculture, remote sensing, IRMA\_SYS, NDVI, NDMI, irrigation

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας (precision agriculture) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών, σύμφωνα με την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες των καλλιεργειών, καθώς αυτές διαφοροποιούνται στον χώρο και στον χρόνο (Whelan and McBratney, 2000). Η τηλεπισκόπηση είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με έναν στόχο, μέσα από την ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν σε σχέση με τον στόχο από απόσταση (Παρχαρίδης, 2015). Αποτελεί μια μη καταστρεπτική μέθοδο και κατά συνέπεια παρέχει μια γρήγορη εκτίμηση των παραμέτρων των καλλιεργειών επειδή αποδείχτηκε ότι παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τις καταστρεπτικές μεθόδους (Moran et al., 1997). Συνεπώς, εκτός από την προβολή, η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την υδατική κατάσταση της καλλιέργειας (Ποϊραζίδης κ. άλ., 2013).

Στην τηλεπισκόπηση οι πιο γνωστοί δείκτες για την εποπτεία των καλλιεργειών, είναι οι φασματικοί δείκτες βλάστησης. Από τη δεκαετία του 1960 εφαρμόζονται για την παρακολούθηση της βιομάζας και άλλων βιοφυσικών παραμέτρων της βλάστησης, τόσο σε παγκόσμια, όσο και σε τοπική κλίμακα (Περάκης κ. άλ., 2015). Η ανάκλαση στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 300 και 1050 nm παρέχει σημαντικούς δείκτες για την καταγραφή φυσιολογικών ιδιοτήτων των φυτών, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης (Τσιρογιάννης, 2011).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται δεδομένα από το συλλογικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων άρδευσης IRMA\_SYS (<https://irmasys.com>). Αποτελεί μια φιλική στο χρήστη, ανοικτή και δωρεάν αρθρωτή πλατφόρμα, για την εκτίμηση των υδατικών απαιτήσεων καλλιέργειας σε συγκεκριμένη περιοχή καθώς και τον προγραμματισμό άρδευσης. Για την πραγματοποίηση αυτών των αποφάσεων, το σύστημα λαμβάνει υπόψη ιστορικά μετεωρολογικά δεδομένα από τους σταθμούς του συστήματος, δεδομένα πρόβλεψης καιρού από σχετική υπηρεσία καθώς και δεδομένα καλλιέργειας και εδάφους-νερού. Επίσης επιτρέπει στους χρήστες να μεταβάλλουν συγκεκριμένες παραμέτρους ώστε να λάβουν προσαρμοσμένα αποτελέσματα (Malamos et al., 2016).

Όσον αφορά τους φασματικούς δείκτες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, μέσω του IRMA\_SYS, από τους δορυφόρους Sentinel-2. Οι δορυφόροι Sentinel-2 αναπτύχθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), ως μέρος του Προγράμματος Copernicus και συνίστανται στη συνύπαρξη και συνέργεια δύο όμοιων δορυφόρων που καλύπτουν όλη τη γήινη επιφάνεια. Είναι κατασκευασμένοι για να παρέχουν δεδομένα τόσο για αγροτικές όσο και για δασικές περιοχές. Διαθέτουν έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή (Περάκης και άλ., 2015). Ο δορυφόρος Sentinel-2A εκτοξεύτηκε τον Ιούνιο του 2015 και ο Sentinel-2B ετέθη σε τροχιά τον Μάρτιο του 2017, διπλασιάζοντας την χρονική ανάλυση του συστήματος, παρέχοντας δωρεάν, διαθέσιμα προς το κοινό δεδομένα, υψηλής ανάλυσης. Η αναζήτηση και η πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος Sentinel 2 είναι ελεύθερη στο ευρύ κοινό μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας της ESA Copernicus και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (<https://scihub.copernicus.eu/>).

Οι δείκτες NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και NDMI (Normalized Difference Moisture Index) είναι από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους και αποτελούν ένδειξη, ο μεν NDVI της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της καλλιέργειας και ο δε NDMI της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε νερό (Μπόλας, 2020). Οι τιμές των δεικτών σε αυτή τη μελέτη έχουν προκύψει από τις ζώνες συχνότητας των πολυφασματικών αισθητήρων του δορυφορικού συστήματος Sentinel-2.

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρατήρηση της μεταβολής των φασματικών δεικτών NDVI και NDMI, σε συγκεκριμένες καλλιέργειες, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, μετά από γεγονότα βροχόπτωσης ή άρδευσης των καλλιεργειών αυτών. Σκοπός της εργασίας είναι να δείξει εάν οι συγκεκριμένοι φασματικοί δείκτες μπορούν να αποτυπώσουν, με ασφάλεια, την υδατική κατάσταση σε μία καλλιέργεια, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό καλλιεργητικών τεχνικών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Περιοχή μελέτης

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργειες στην πεδιάδα της Άρτας, η οποία έχει έκταση 45000 εκτάρια (Tsirogiannis et al., 2015). Η πεδιάδα της Άρτας βρίσκεται στη Ήπειρο και βρέχεται από τον Αμβρακικό κόλπο. Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακού τύπου, με ζεστά καλοκαίρια και χειμώνες με μέτριες βροχοπτώσεις. Οι κυριότερες αρδευόμενες καλλιέργειες είναι τα εσπεριδοειδή, οι ελιές, το καλαμπόκι, η μηδική και τα ακτινίδια (Malamos et al., 2014). Η ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 1100 mm, συγκεντρωμένη κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, καθιστώντας έτσι την άρδευση αναγκαία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Fotia et al., 2021).

Με σκοπό την αξιολόγηση της μεταβολής των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν δύο αγροτεμάχια με καλλιέργειες μανταρινιών στην πεδιάδα της Άρτας, κατά την αρδευτική περίοδο (15/3/2021 ως 28/10/2021). Οι παραγωγοί και στις δύο περιπτώσεις κατέγραψαν στο IRMA\_SYS το ιστορικό αρδεύσεων (ημερομηνία άρδευσης και ποσότητα νερού).

Οι καλλιέργειες με τους κωδικούς τους στο IRMA\_SYS είναι οι εξής:

1. Αγροτεμάχιο 728, έκταση 5200 m<sup>2</sup>, 50% κάλυψη εδάφους, Μανταρίνια
2. Αγροτεμάχιο 729, έκταση 30000 m<sup>2</sup>, 50% κάλυψη εδάφους, Μανταρίνια.

### 2.2. Φασματικοί δείκτες καλλιεργειών

Οι φασματικοί δείκτες καλλιεργειών προκύπτουν μετά από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των φασματικών καναλιών της ίδιας δορυφορικής εικόνας ή διαφορετικών δορυφορικών εικόνων. Βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα φύλλα των φυτών. Είναι φανερό ότι οι ιδιότητες της βλάστησης επηρεάζουν την απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Campbell, 1996).

Στο κοντινό υπέρυθρο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,75 μm ως 1,35 μm) παρατηρείται ισχυρή ανάκλαση, όχι από την επιδερμίδα των φύλλων (την οποία και διαπερνά) αλλά από το εσωτερικό τους (μεσόφυλλο). Δηλαδή, η εσωτερική δομή των φύλλων είναι υπεύθυνη για την ισχυρή ανάκλαση της υγιούς βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο. Επίσης παρατηρήθηκε ότι κατά τη μετάβαση από το κόκκινο στο κοντινό υπέρυθρο η ανάκλαση στα φύλλα αυξάνεται απότομα δημιουργώντας την «κόκκινη ακμή» (Red Edge), χαρακτηριστικό γνώρισμα της βλάστησης. Κατ' αυτό τον τρόπο συμπεραίνεται ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μέγιστο στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και όχι στο πράσινο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ανάκλαση για μεγαλύτερα μήκη κύματος, από 1,35 μm έως 2,5 μm, επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του νερού στα φύλλα των φυτών (Campbell, 1996).

Στα πλαίσια ανάπτυξης του συλλογικού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για την άρδευση IRMA\_SYS στην πεδιάδα της Άρτας (<https://arta.irmasys.eu>) έχει ενσωματωθεί η δυνατότητα λήψης, για κάθε αγροτεμάχιο, δύο φασματικών δεικτών βλάστησης: α) του

Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) και β) του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (Normal Difference Moisture Index - NDMI).

Ο δείκτης NDVI προκύπτει ως εξής:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

όπου: NIR (Near InfraRed) μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο και RED μήκος κύματος στο ερυθρό. Λαμβάνει τιμές από -1 έως 1 με τις αρνητικές τιμές να αφορούν υδάτινες επιφάνειες, τις τιμές κοντά στο 0 να αντιστοιχούν σε γυμνό έδαφος και την τιμή 1 να αφορά πλήρη κάλυψη εδάφους με υγιή βλάστηση.

Ο δείκτης NDMI χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της περιεκτικότητας των φυτικών ιστών σε νερό και προκύπτει ως εξής:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

όπου: SWIR μήκος κύματος στα μικροκύματα και NIR (Near InfraRed) μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Το εύρος τιμών που λαμβάνει είναι από -1 έως 1. Αποτελεί σημαντικό δείκτη της υγρασίας της βλάστησης. Χρησιμοποιείται όχι για να αντικαταστήσει τον δείκτη NDVI, αλλά συμπληρωματικά προς αυτόν (Gao, 1996).

### 2.3. Δεδομένα

Στο σύστημα IRMA\_SYS διατίθενται μετεωρολογικά δεδομένα για κάθε αγροτεμάχιο, τα οποία προκύπτουν μέσω χωρικής παρεμβολής των δεδομένων επτά μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής, που έχουν εγκατασταθεί από την Περιφέρεια Ηπείρου σε συνεργασία με το Τμήμα Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Για το χρονικό διάστημα από 15/3/2021 έως 28/10/2021 ελήφθησαν τα παρακάτω δεδομένα:

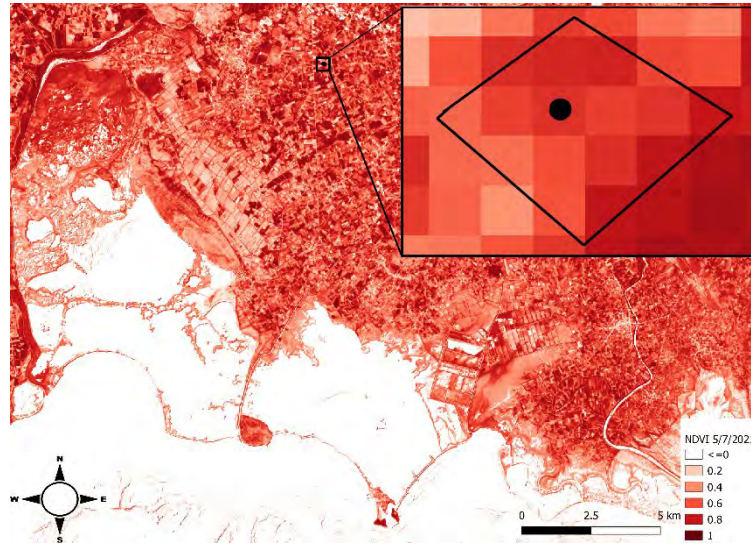
1. Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C).
2. Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ( $W m^{-2}$ ).
3. Ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης (mm).
4. Φασματικοί δείκτες NDVI και NDMI, μέσω του δορυφορικού συστήματος Sentinel-2, ανά 2 ή 3 ημέρες, για το χαρακτηριστικό σημείο κάθε αγροτεμαχίου. Οι τιμές των δεικτών λαμβάνονται σε ψηφιδωτή μορφή (raster) με μέγεθος pixel 20 m. Τα κανάλια του Sentinel-2 που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του NDVI είναι τα Band 4: RED (10 m) και Band 8: NIR (10 m) ενώ για το NDMI είναι τα Band 8a: NIR (20 m) και Band 11: SWIR (20 m).
5. Δεδομένα άρδευσης (ημερομηνία και ποσότητα νερού) τα οποία τα έχουν καταχωρήσει οι καλλιεργητές.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

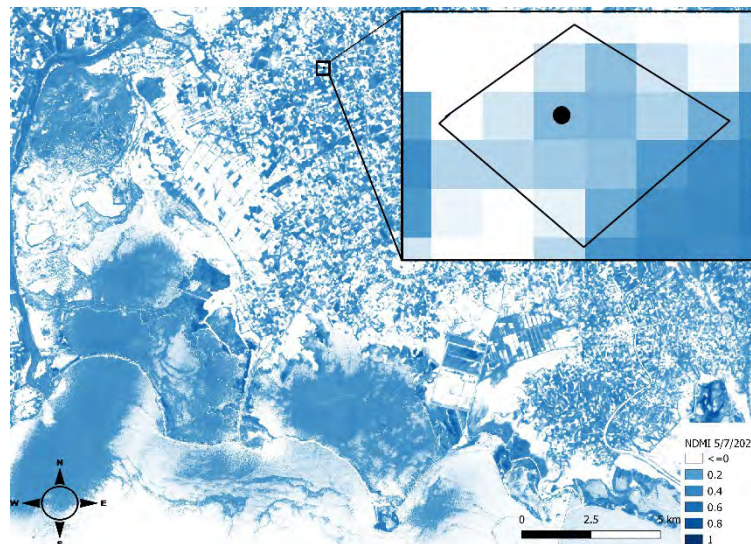
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αξιολογήθηκε η μεταβολή των φασματικών δεικτών βλάστησης και υγρασίας με βάση τα γεγονότα βροχόπτωσης και άρδευσης.

Στις Εικόνες 1 έως 4 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των NDVI και NDMI στην πεδιάδα της Άρτας, καθώς και στα δύο αγροτεμάχια μελέτης για την ημερομηνία 5/7/2021, ημέρα κατά την οποία δεν υπήρχε νέφωση. Με μαύρη κουκίδα επισημαίνεται το χαρακτηριστικό σημείο κάθε αγροτεμαχίου όπως έχει καταχωρηθεί στο σύστημα IRMA\_SYS.

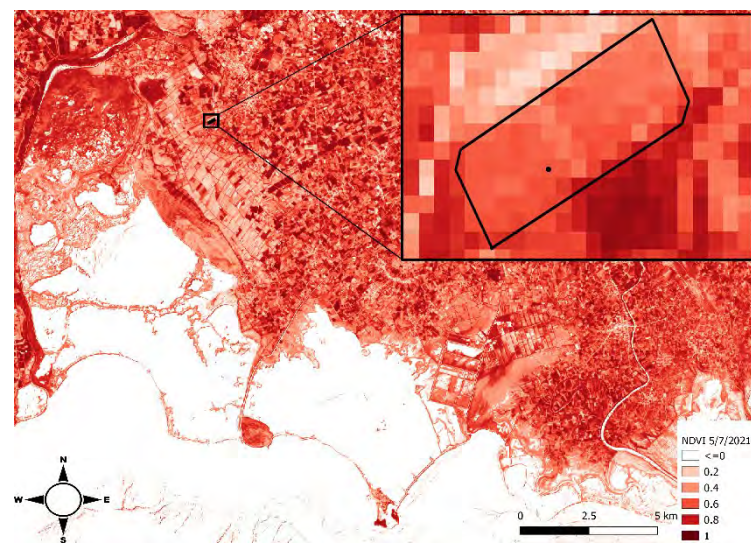




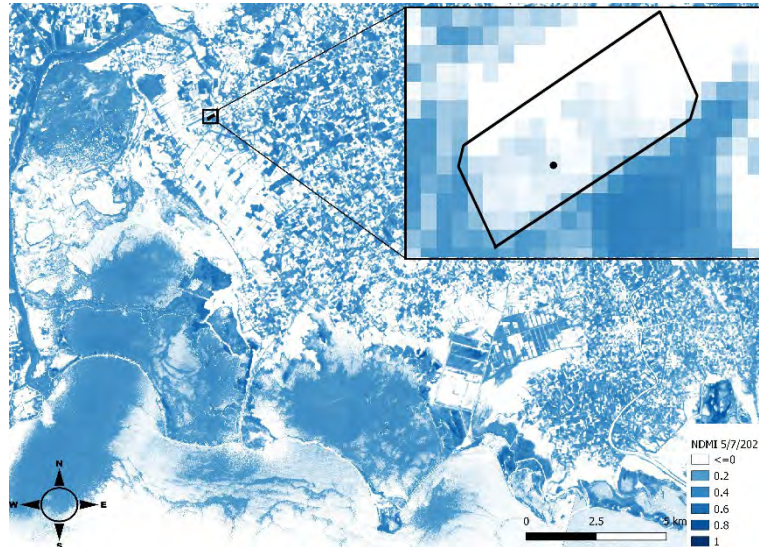
Εικόνα 1. NDVI πεδιάδας Άρτας και αγροτεμαχίου 728 στις 5/7/2021



Εικόνα 2. NDMI πεδιάδας Άρτας και αγροτεμαχίου 728 στις 5/7/2021

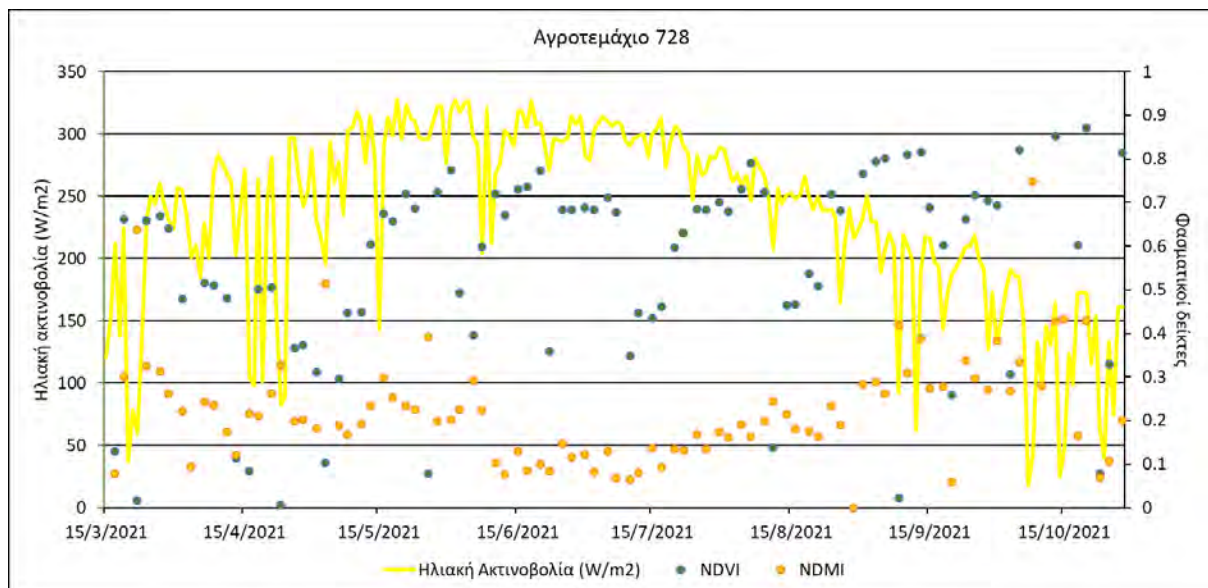


Εικόνα 3. NDVI πεδιάδας Άρτας και αγροτεμαχίου 729 στις 5/7/2021



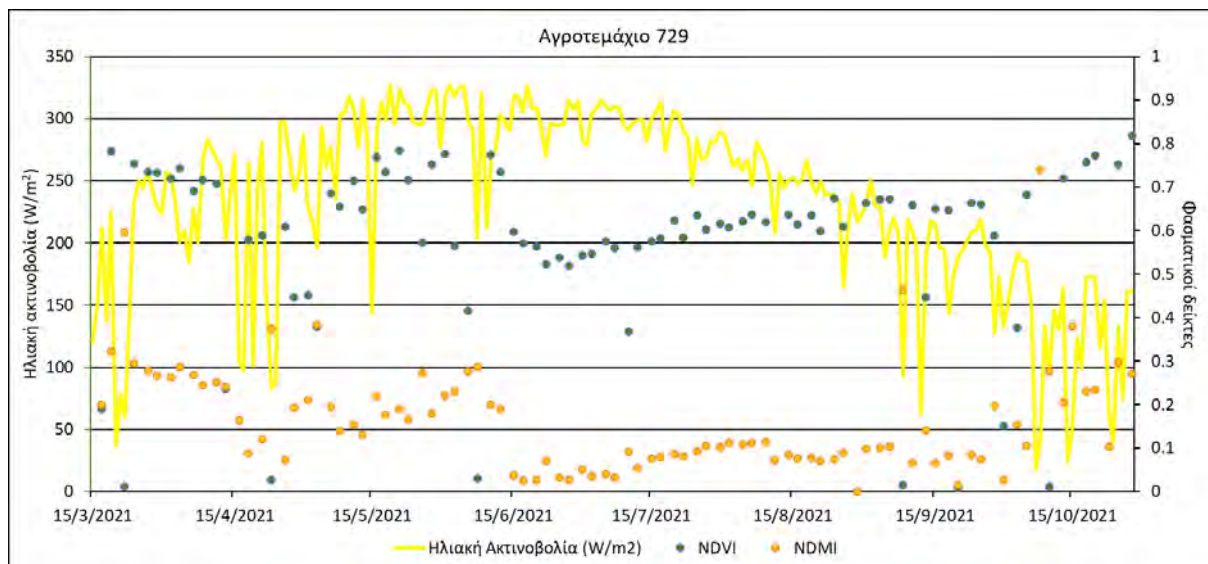
Εικόνα 4. NDMI πεδιάδας Άρτας και αγροτεμαχίου 729 στις 5/7/2021

Στα Διαγράμματα 1 και 2 παρουσιάζονται οι τιμές των δύο φασματικών δεικτών (NDVI και NDMI) και η ηλιακή ακτινοβολία και για τα δύο αγροτεμάχια για το χρονικό διάστημα από 15/3/2021 έως 28/10/2021. Στο αγροτεμάχιο 728 παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στη τιμή των δεικτών σε όλο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα, η οποία είναι εντονότερη όταν η ηλιακή ακτινοβολία έχει μεγάλες μεταβολές λόγω ύπαρξης νέφωσης. Στο αγροτεμάχιο 729 οι δείκτες φαίνεται ότι δεν μεταβάλλονται σημαντικά στο διάστημα 10 Ιουνίου έως 29 Αυγούστου. Οι διαφορές μεταξύ των δύο αγροτεμαχίων οφείλονται στις διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές που ακολουθήθηκαν όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 1. Φασματικοί δείκτες και ηλιακή ακτινοβολία στο αγροτεμάχιο 728 από 15/3/2021 έως 28/10/2021



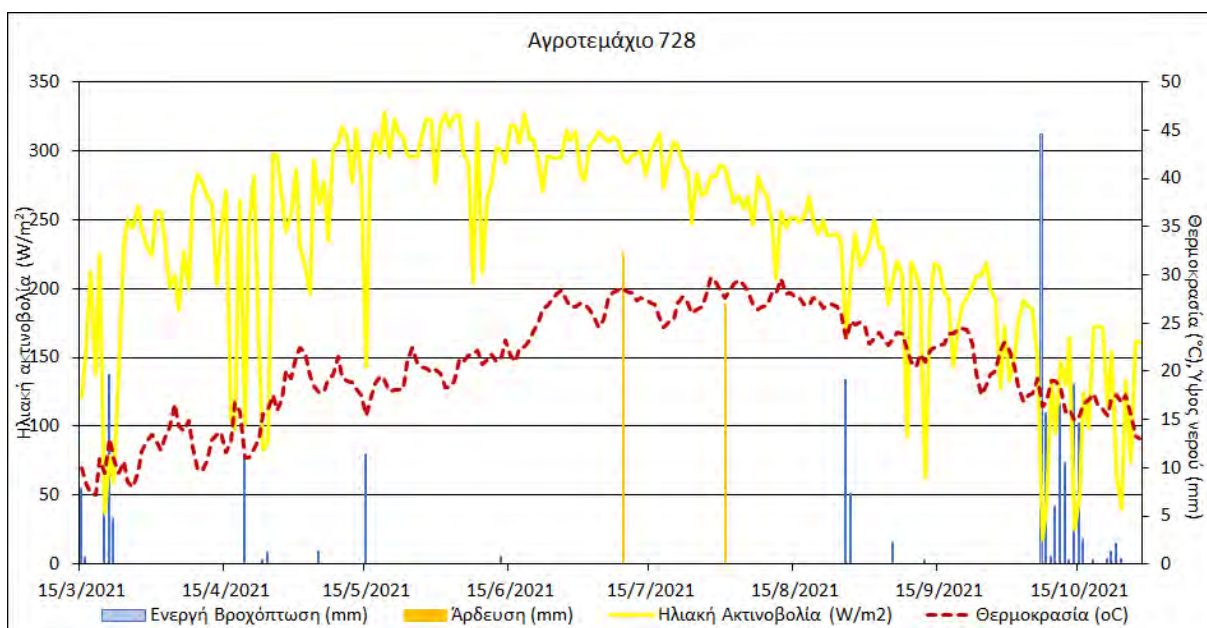


**Διάγραμμα 2.** Φασματικοί δείκτες και ηλιακή ακτινοβολία στο αγροτεμάχιο 729 από 15/3/2021 έως 28/10/2021

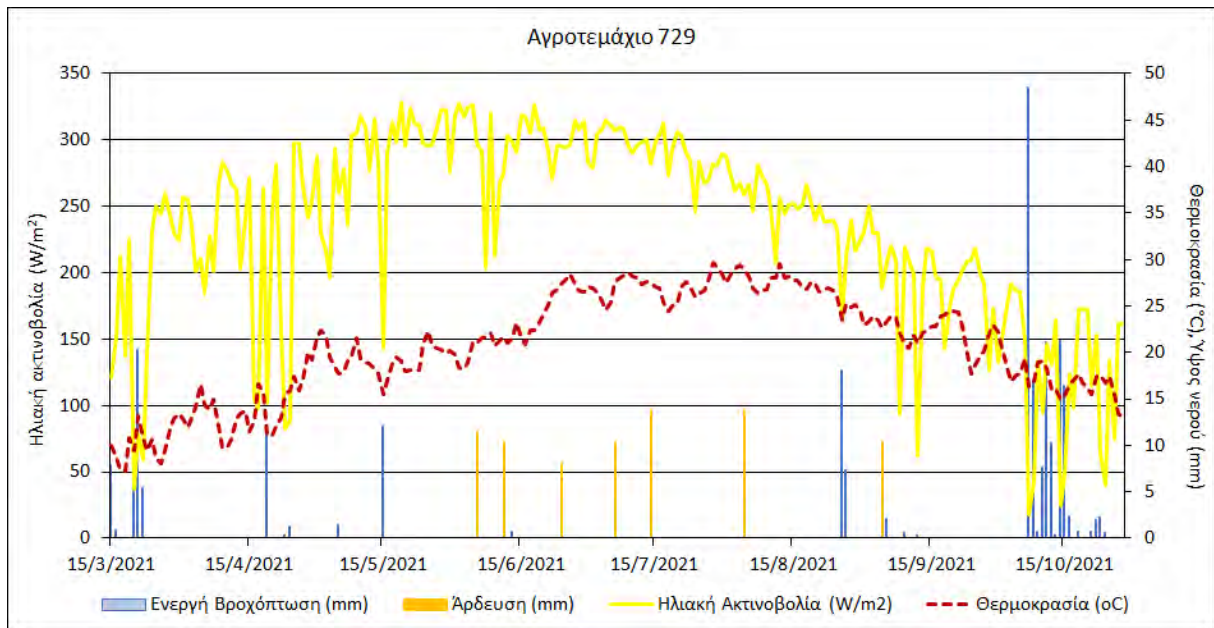
Στα Διαγράμματα 3 και 4 παρουσιάζονται οι αρδεύσεις που εφάρμοσαν οι δύο καλλιεργητές σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία και τις βροχοπτώσεις, κατά το χρονικό διάστημα 15/3/2021 έως 28/10/2021.

Το συνολικό ύψος ενεργής βροχόπτωσης για το αγροτεμάχιο 728, για το διάστημα 15/3/2021 έως 28/10/2021, ήταν 232 mm. Για το ίδιο διάστημα για το αγροτεμάχιο 729 το ύψος ενεργής βροχόπτωσης ήταν 252 mm.

Παρατηρούμε ότι οι δύο καλλιεργητές ακολούθησαν διαφορετικές τακτικές άρδευσης. Ο καλλιεργητής του αγροτεμαχίου 728 εφάρμοσε 2 αρδεύσεις συνολικού ύψους νερού 59 mm με μέσο όρο 29,5 mm, ενώ ο καλλιεργητής του αγροτεμαχίου 729 εφάρμοσε 7 αρδεύσεις συνολικού ύψους νερού 78 mm με μέσο όρο 11,2 mm.

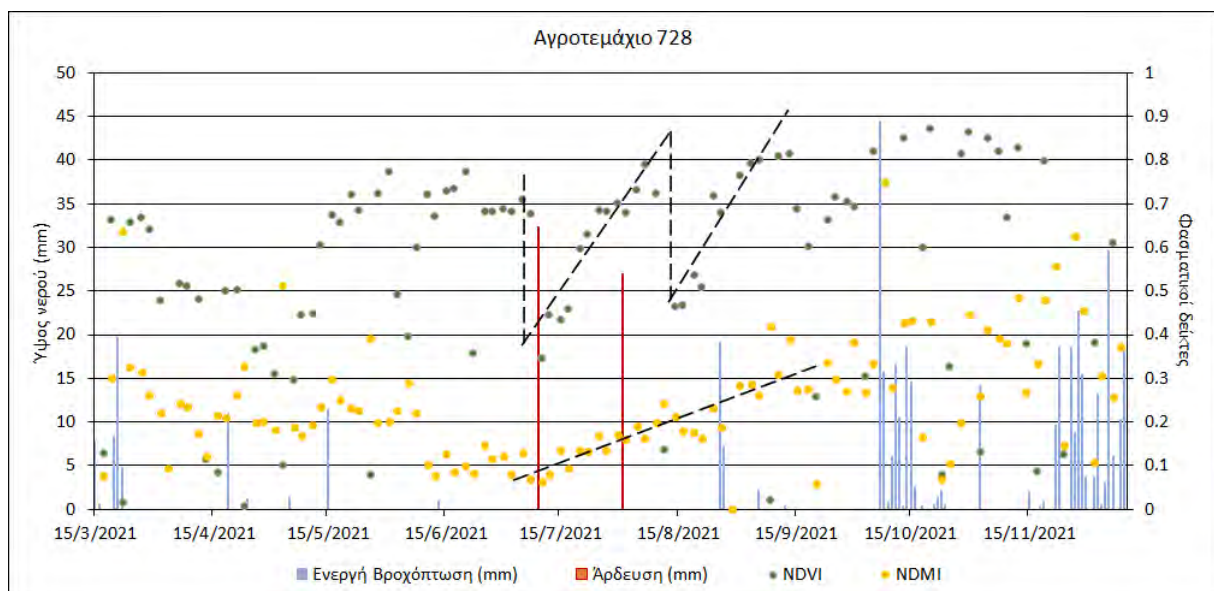


**Διάγραμμα 3.** Μετεωρολογικές μεταβλητές και αρδεύσεις στο αγροτεμάχιο 728 από 15/3/2021 έως 28/10/2021



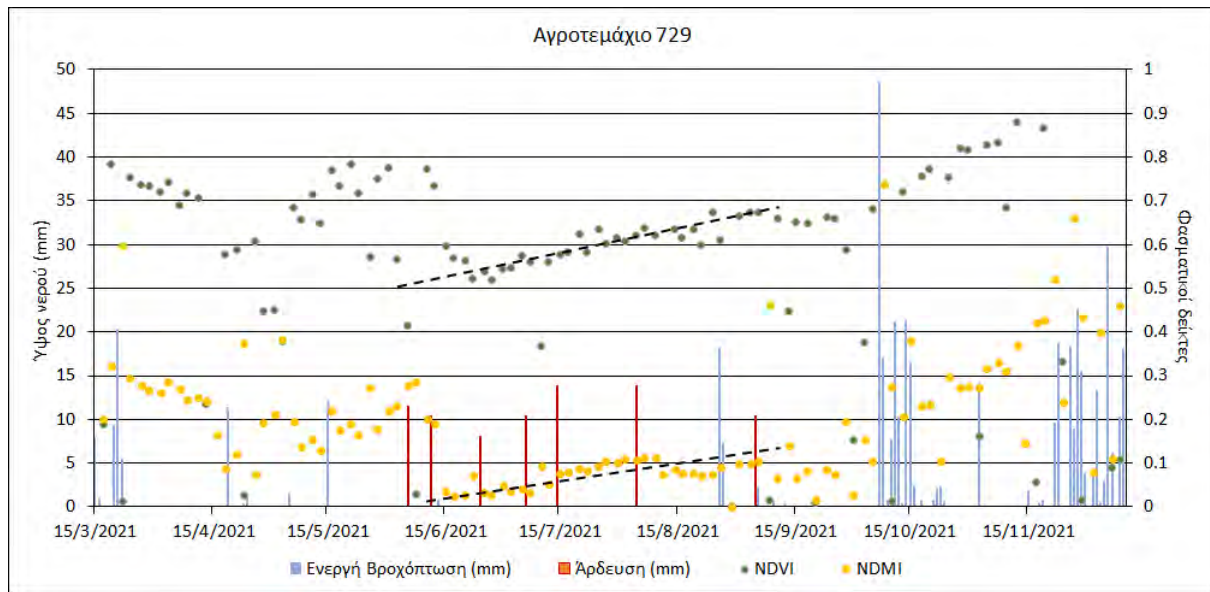
**Διάγραμμα 4.** Μετεωρολογικές μεταβλητές και αρδεύσεις στο αγροτεμάχιο 729 από 15/3/2021 έως 28/10/2021

Στα Διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζονται οι τιμές των φασματικών δεικτών για το διάστημα 15/3/2021 έως 9/12/2021, για τα δύο αγροτεμάχια, καθώς και η βροχόπτωση και η άρδευση για το διάστημα αυτό. Κατά την αρδευτική περίοδο, έχουν προστεθεί γραμμές τάσης για να τονίσουν τη μεταβολή των δεικτών, καθώς, όπως φαίνεται υπάρχει μικρότερη διασπορά των τιμών τους κατά την περίοδο αυτή.



**Διάγραμμα 5.** NDVI και NDMI αγροτεμαχίου 728 σε σχέση με βροχοπτώσεις και αρδεύσεις





**Διάγραμμα 6.** NDVI και NDMI αγροτεμαχίου 729  
σε σχέση με βροχοπτώσεις και αρδεύσεις

Παρατηρούμε ότι στο αγροτεμάχιο 728 υπήρξαν δύο απότομες πτώσεις του NDVI οι οποίες οφείλονται σε εργασίες αφαίρεσης ζιζανίων σε αυτές τις ημερομηνίες, σύμφωνα με το ημερολόγιο καταγραφής εργασιών του καλλιεργητή. Μετά τις εργασίες ακολούθησαν αρδεύσεις ή βροχοπτώσεις με συνέπεια την γρήγορη αύξηση του NDVI μετά από 2 ως 3 ημέρες. Ο δείκτης NDMI δεν φαίνεται να έχει ευαισθησία σε αυτές τις εργασίες, ενώ παρουσιάζει πιο ομαλή άνοδο μετά την εφαρμογή της πρώτης άρδευσης στα μέσα Ιουλίου, η οποία συντηρείται και μετά την εφαρμογή της δεύτερης άρδευσης.

Όσον αφορά το αγροτεμάχιο 729, παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου ότι τόσο ο NDVI όσο και ο NDMI αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό (μικρότερο από το αγροτεμάχιο 728), χωρίς μεγάλες μεταβολές. Ο ρυθμός αύξησης συντηρείται με μικρότερες και συχνότερες αρδεύσεις σε σχέση με το αγροτεμάχιο 728, ενώ η επίδραση της άρδευσης ή της βροχοπτώσης στους δείκτες παρατηρείται ξανά μετά από 2-3 ημέρες.

Και στις δύο περιπτώσεις όταν ξεκινούν οι συχνές βροχοπτώσεις του φθινοπώρου οι δείκτες παίρνουν μεγαλύτερες τιμές.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρατήρηση των ανωτέρω αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι οι φασματικοί δείκτες NDVI και NDMI μεταβάλλονται αισθητά μετά από βροχοπτώσεις ή αρδεύσεις. Συγκεκριμένα ο δείκτης NDVI φαίνεται να είναι πιο ευαίσθητος στις μεταβολές, σε σχέση με τον δείκτη NDMI. Επίσης ο δείκτης NDVI είναι ευαίσθητος και σε καλλιεργητικές εργασίες όπως η αφαίρεση ζιζανίων.

Βέβαια, επειδή η κατάσταση της καλλιέργειας δεν μεταβάλλεται στιγμιαία μετά τη βροχοπτώση ή την άρδευση, η μεταβολή των δεικτών δεν είναι άμεση χρονικά, αλλά απαιτεί την παρέλευση μικρού χρονικού διαστήματος (2 με 3 ημέρες), όπως φάνηκε και στα δύο αγροτεμάχια. Συνεπώς οι μεταβολές των δεικτών θα πρέπει να εξετάζονται όχι ως μεμονωμένες τιμές αλλά ως χρονοσειρές, σε συνάρτηση με πληροφορίες που αφορούν τις καλλιεργητικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται στο υπό μελέτη αγροτεμάχια.

Και στα δύο υπό μελέτη αγροτεμάχια οι αρδεύσεις συνοδεύτηκαν από σαφή τάση αύξησης των τιμών των δύο φασματικών δεικτών οπότε μπορούμε να καταλήξουμε στο

συμπέρασμα ότι η άρδευση της καλλιέργειας αποτυπώνεται μέσω των φασματικών δεικτών NDVI και NDMI, σε ικανοποιητικό βαθμό. Συνεπώς μπορούν, υπό προϋποθέσεις, να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο επιτήρησης μιας καλλιέργειας, στα πλαίσια εφαρμογής μεθόδων γεωργίας ακριβείας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μπόλας, Ν. 2020. Σύγκριση τηλεσκοπικών δεδομένων δορυφόρου Sentinel-2 και συστήματος μη επανδρωμένου αεροχήματος. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωπονικών Σπουδών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
- Παρχαρίδης, Ι. 2015. Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και Εφαρμογές. ΣΕΑΒ, 6 σελ.
- Περάκης, Κ., Φαρασλής, Ι., Μωυσιάδης, Α. 2015. Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες. ΣΕΑΒ, Βόλος, 60, 140 σελ.
- Ποϊραζίδης, Κ., Βούλγαρης, Μ. Δ., Κεφαλάς, Γ., Λορίλια, Ρ. 2013. Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης. Τμήμα Τεχνολογία Περιβάλλοντος και Οικολογίας, ΑΤΕΙ Ιονίων Νήσων, Ζάκυνθος
- Τσιρογιάννης, Ι. 2011. Προσδιορισμός δεικτών θερμικής και υδατικής καταπόνησης καλλιεργειών για τη διαχείριση του μικροκλίματος και της άρδευσης στο θερμοκήπιο, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Φουντάς, Σ., Γέμος, Θ. 2015. Γεωργία Ακριβείας, ΣΕΑΒ, Αθήνα, 135, 136 σελ.
- Campbell, B.J. 1996. Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis, UK
- Fotia, K., Mehmeti, A., Tsirogiannis, I., Nanos, G., Mamolos, A., Malamos, N., Barouchas, P., Todorovic, M. 2021. LCA-based Environmental Performance of Olive Cultivation: Rainfed vs. Irrigated using Conventional and Smart Irrigation Practices, in the Plain of Arta, Greece. Water, MDPI, doi.10.3390
- Gao, B-C. 1996. NDMI-A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. Remote Sensing Environment, 58:257-266
- Malamos, N., Barouchas, P., Lagouvardos, K. 2014. Development of an Irrigation Information System for the plain of Arta (IRMA\_SYS Arta). ETCF
- Malamos, N., Tsirogiannis, I., Christofides, A. 2016. Modelling irrigation management services: the IRMA\_SYS case. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics, DOI: 10.1504/IJSAMI.2016.077264
- Moran, M.S., Inoue, Y., Barnes, E.M. 1997. Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management. Remote Sensing of the Environment, 61: 319-346
- Tsirogiannis, I.L., Karras, G., Tsolis, D., Barelos, D. 2015. Irrigation and Drainage Scheme of the Plain of Arta – Effects on the Rural Landscape and the Wetlands of Amvrakikos' Natura Area. Agric. Agric. Sci. Procedia
- Whelan, B. M., McBratney, A. B. 2000. The "Null Hypothesis" of Precision Agriculture. Precision Agriculture, 2: 265-279