



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΔΠΜΣ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της
Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής
Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια

Ευσταθίου Ν. Ειρήνη

Πτυχιούχος Γεωλόγος και Γεωπεριβαλλοντολόγος, ΕΚΠΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: *Καραθανάση Βασιλεία, Καθηγήτρια ΕΜΠ*

ΑΘΗΝΑ, 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΠΜΣ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της
Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής
Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων*



Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια

Ευσταθίου Ν. Ειρήνη

Πτυχιούχος Γεωλόγος και Γεωπεριβαλλοντολόγος, ΕΚΠΑ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καραθανάση Βασιλεία Καραντζαλος Κωνσταντίνος Κολοκούσης Πολυχρόνης

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Γεωπληροφορική» της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο μελέτης είναι η χρήση της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Φυλής – Άνω Λιοσίων ο οποίος είναι ο τελικός αποδέκτης των μη επικίνδυνων αστικών αποβλήτων της Αττικής. Ένα ιδιαίτερο θέμα το οποίο απασχολεί έντονα την κοινωνία είναι η διαχείριση των αποβλήτων και ο αντίκτυπος τους στο περιβάλλον. Όντας γεωλόγος, επιθυμώ μέσω αυτής της εργασίας να εξάγω συμπεράσματα για την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους του Χ.Υ.Τ.Α. η οποία αυξάνεται λόγω της έντονης βιοαποικοδόμησης που λαμβάνει χώρα στον συγκεκριμένο χώρο. Η παρούσα εργασία αποτελεί μια απόδειξη ότι οι δορυφόροι και η σωστή αξιοποίηση των δεδομένων τους αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τις θετικές επιστήμες και όχι μόνο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Καραθανάση Βασιλεία για την καθοδήγησή της σε όλο το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας καθώς οι γνώσεις της με βοήθησαν να ξεκλειδώσω αρκετά περίπλοκα σημεία της έρευνας. Ακόμη, ευχαριστώ πολύ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Καραντζαλο Κωνσταντίνο καθώς και τον Δρ. Μηχ. Κολοκούση Πολυχρόνη για τη βοήθεια του στα πρακτικά ζητήματα της διπλωματικής μου.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και αξιότιμους συναδέλφους μου, Τσιρώνη Βαρβάρα Υποψήφια Διδάκτωρ Τεκτονικής Γεωλογίας, Καρασαντέ Ηλέκτρα M.Sc. Γεωλόγο και Καραμήτρο Ιωάννη M.Sc. Γεωλόγο για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου και τους δικούς μου ανθρώπους που στηρίζουν τις επιλογές μου και με βοηθάνε σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) αποτελούν ένα μείζον περιβαλλοντικό θέμα το οποίο χρήζει αντιμετώπισης κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Στους Χ.Υ.Τ.Α. καταλήγουν τα περισσότερα από τα μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα των πόλεων (κυρίως οικιακά απόβλητα) τα οποία δεν ανακυκλώνονται και επιλέγεται η τελική τους διάθεση. Η τακτική παρακολούθηση τέτοιων χώρων έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία καθώς λόγω της βιοαποικοδόμησης, η οποία λαμβάνει χώρα εντός του εδάφους στα Χ.Υ.Τ.Α., εκλύονται θερμά αέρια και είναι πιθανό η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους (LST) να σημειώνει μια μικρή αύξηση σε τέτοιες περιοχές. Πολλές μελέτες έχουν διεκπεραιωθεί με κύριο θέμα την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε Χ.Υ.Τ.Α. μέσω της τηλεπισκόπησης. Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια παρακολούθησης της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους στον ενεργό Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων, στην περιοχή του Νομού Αττικής, στην Ελλάδα. Η μεθοδολογία στηρίζεται στα εργαλεία της τηλεπισκόπησης η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση ενός χώρου χωρίς την επιτόπια έρευνα. Για την εξέταση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) επεξεργάστηκαν δεδομένα Landsat 8-9 και συγκεκριμένα χρονοσειρές, οι οποίες παρέχονται από την ιστοσελίδα Sentinel EO Browser. Η χρονική περίοδος που εξετάζεται είναι από τον Ιανουάριο του 2021 έως τον Δεκέμβριο του 2022. Αντλούνται δεδομένα LST από δύο περιοχές εντός του Χ.Υ.Τ.Α., η μία αφορά στον χώρο που γίνεται αυτή τη στιγμή υγειονομική ταφή και είναι ενεργός και η δεύτερη στον χώρο στον οποίο έχει γίνει αποκατάσταση. Επιλέγεται να μελετηθούν και δεδομένα LST από έδαφος εκτός Χ.Υ.Τ.Α. στο οποίο υπάρχουν καλλιέργειες με χαμηλή βλάστηση καθώς και γυμνό έδαφος, με σκοπό να εντοπιστούν οι διαφορές στη θερμοκρασία ανάμεσα σε αυτές τις περιοχές και στον Χ.Υ.Τ.Α. Οι θερμοκρασίες εντός του Χ.Υ.Τ.Α. συγκρίνονται με εκείνες των υπόλοιπων περιοχών καθώς και με τη θερμοκρασία αέρα, η οποία παρέχεται από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων (METEO). Προκύπτει πως οι τιμές LST στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α., είναι αυξημένες κατά 1°C-2°C σε σχέση με εκείνες στην ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και κατά 4°C-5°C σε σχέση με την LST σε περιοχή εδάφους μεγαλύτερου υψομέτρου από τον Χ.Υ.Τ.Α. Στο πλαίσιο της μελέτης εξετάζονται επιπλέον περιοχές γυμνού εδάφους και καλλιεργείων των οποίων η θερμοκρασία προκύπτει μεγαλύτερη από εκείνη του Χ.Υ.Τ.Α. κατά 5°C, πιθανότατα λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας της ευρύτερης περιοχής. Η θερμοκρασία αέρα σαφώς είναι αισθητά μικρότερη από την LST όλων των περιοχών μελέτης, γεγονός που είναι αναμενόμενο. Μελετώντας την Ετήσια Έκθεση Αποτελεσμάτων Προγράμματος Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης

«Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ) Δυτικής Αττικής» η οποία εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2022, προκύπτει πως στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων δεν υπάρχουν διαφυγές βιοαερίου οι οποίες οδηγούν στην αύξηση της LST. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στον Χ.Υ.Τ.Α. θεωρείται φυσιολογική αλλά η παρακολούθηση της κρίνεται απαραίτητη.

Λέξεις Κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Δορυφορικές Εικόνες, Ανάλυση Χρονοσειράς, Χώρος Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.Τ.Α.), Επιφανειακή Θερμοκρασία Εδάφους (LST), Πολυφασματικές Εικόνες, Έδαφος

ABSTRACT

Landfills constitute a major environmental issue that needs to be handled, especially when they are located near large urban areas. In landfills, ends up most of the city non-hazardous solid waste (mainly household waste), which is not appropriate for recovery/recycling and thus it is disposed in the ground for decomposition process. Monitoring of such sites is significantly important, due to the fact that the decomposition process - which includes the release of hot gases - is harmful to the environment and to the human health. The increase of Land Surface Temperature (LST) in landfill sites can be monitored using remote sensing methods and techniques. This type of monitoring is very important for safeguarding the surrounding environment, especially in environmentally sensitive areas, as are those located close to densely populated areas, and therefore, many studies have been carried out focusing on the monitoring of the environmental impacts of landfills through remote sensing. In relevance with previous literature, the current study aims at monitoring the Land Surface Temperature (LST) of the active landfill site of Fyli – Ano Liosia, Attica, Greece.

The aim of this work is to confirm that the use of remote sensing in combination with GIS can produce very good results in waste management decision-making. The purpose is to study and monitor the environmental conditions through the Land Surface Temperature (LST) in the landfill of Fyli – Ano Liosia region. The use of satellite images for such an application is a pioneering step, but there are many studies that prove the usefulness of remote sensing in this particular field of research. Therefore, based on previous studies, we have the monitoring of the Land Surface Temperature (LST) in the landfill Fyli – Ano Liosia through remote sensing tools for the period January 2021 to December 2022. The management and the final disposal of Attica Region's wastes is carried out in the Landfill of Fyli, approved by the national legislation, at the location "Skalistiri", an area of approximately 1,000 acres, located between the Parnitha and Aigaleo mountains. The landfill of Fyli is adjacent to the no longer active landfill I and II of Ano Liosia and the Waste Disposal Area of Ano Liosia. Fyli's landfill has been operating since 2004, while the landfill I was restored in 2009, and the landfill II, in 2010. The biogas produced from the restored landfills I and II and the older Waste Disposal Area of Ano Liosia, is led to exploitation for energy production in a unit located within the boundaries of the Complete Waste Disposal Facility of Attica. Based on geological studies, two geological formations are found in the landfill, carbonate rocks and specifically limestones and dolomites of Middle Triassic-

Lower Jurassic age (around 240 Ma), as well as stream fans and debris cones of Pleistocene age (around 2.5 Ma). According to the work of Lekkas E. (2001), the study area consists mainly of debris cones and unmetamorphosed alpine carbonate formations. Alluvial deposits of Holocene age (around 0.0117 Ma) can be observed in the wider area, as well as debris cones of the same age. Also, marls and clays of Neogene age (around 20 Ma), graywackes of Middle Triassic age (around 240 Ma) and also transgressive limestones of Cenomanian – Senonian age (around 100 Ma).

For the needs of the study, time series of Land Surface Temperature (LST) have been processed as extracted from Landsat 8-9 satellite imagery. The two thermal sensors, Landsat 8 's TIRS and Landsat 9 's TIRS -2, measure the thermal radiation emitted by the Earth's surface in two thermal hyperspectral channels. The data derives from Sentinel EO Browser. The analyzed time period, as has already been stated, is from January 2021 to December 2022. It is chosen to study different areas of the landfill in terms of their LST as well as parts of bare soil and cultivation outside the landfill. The areas under consideration are the following: 1) Part of the Active area of the landfill, 2) Part of the Inactive area of the landfill, 3) Bare Soil at the same altitude as the landfill (altitude 100m), 4) Bare Soil at a higher altitude than the landfill (altitude 250m), 5) Cultivation in Aspropyrgos, 6) Cultivation in Spata. NDVI data from the same website, is also used, so that the areas outside the landfill, which will be studied, to have similar NDVI values to those of the inactive area of the landfill. First, the NDVI index values are checked and as long as the examined area has a low vegetation index, the extraction of LST data for the specific area continues. The land surface temperature inside the landfill have been compared with those of the cultivation as well as with the air temperature, which is provided by the weather station of Ano Liosia of METEO (infrastructure of National Observatory of Athens for weather forecasting). For each month there are more than one LST values. The final mean LST value is a result of the AVERAGE function of excel in order to assign one LST value to each month. The same procedure is followed for the NDVI index.

It has been observed that the LST values which are observed in the active area of the landfill are slightly higher than those of its inactive region, a fact which is evaluated as normal according to literature research (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung, 2010). The reason for this is the intense biodegradation that takes place in these areas. However, the LST differences are not large, with the active area of the landfill to show an increase of approx 1°C-2°C during most months of the year. Additionally, LST in the active area of the landfill

is higher by 3°C-4°C compared to the LST of an area of bare soil located at a higher altitude (250 m) than that of the landfill. The remaining three samples show higher LST values than those of the landfill. The LST of the bare soil at an altitude of 100m as well as the cultivation in Aspropyrgos is probably affected by the intense industrial activity of the wider area. For this reason, the sample in Spata was also examined, an area quite far from Aspropyrgos, in which, the LST is again higher than that of the landfill. The surface soil temperature in a landfill is considered high when it exceeds 60°C. Its increase is mainly due to the intense biodegradation of the waste in combination with the escape of gases and leachates within the landfill. Considering the LST data of Landsat 8-9 satellites for the examined areas, we come to the conclusion that the LST in Fyli – Ano Liosia landfill is within normal limits as the LST in its active area reaches 47.55°C. To confirm the above theory, the last annual environmental report of the landfill is studied (March 2022 edition), according to which there are no biogas escapes into the atmosphere from the active area of the landfill. The LST of the landfill is considered as normal but its monitoring is necessary.

Key Words: Remote Sensing, Satellite Images, Time Series Analysis, Landfill, Land Surface Temperature (LST), Multispectral Images, Soil

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	21
1.1. Ιστορική αναδρομή.....	21
1.2. Γνωριμία με τα GIS	22
1.3. Είδη Δεδομένων	24
1.3.1. Ψηφιδωτά/Κανονικοποιημένα δεδομένα (Raster).....	25
1.3.2. Διανυσματικά δεδομένα (Vector)	26
1.4. Εισαγωγή Δεδομένων.....	27
1.4.1. Επιφάνειες Αναφοράς	27
1.4.2. Συστήματα Αναφοράς-Συστήματα Συντεταγμένων.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	35
2.1. Ορισμός της Τηλεπισκόπησης.....	35
2.2. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	35
2.3. Δορυφορικές Τροχιές	38
2.4. Δορυφόροι και Αισθητήρες.....	40
2.4.1. Πολυφασματικοί και Υπερφασματικοί Αισθητήρες.....	40
2.4.2. Ενεργητικοί και Παθητικοί Αισθητήρες.....	41
2.4.2.1. Παθητικοί Αισθητήρες	41
2.4.2.2. Ενεργητικοί Αισθητήρες.....	43
2.4.3. Διακριτική Ικανότητα	44
2.4.4. Οι Δορυφόροι Landsat	44
2.4.5. Οι Δορυφόροι Sentinel.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΒΛΗΤΑ	59
3.1. Νομικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων στην Ελλάδα.....	59
3.2. Κατηγορίες Αποβλήτων.....	62
3.2.1. Στερεά Απόβλητα.....	62
3.2.2. Υγρά Απόβλητα	63
3.2.3. Αέρια Απόβλητα	63
3.3. Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων	64
3.3.1. Ανοικτοί Σκουπιδότοποι (Χωματερές)	64
3.3.2. Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.)	65
3.3.2.1. Αέρια Χώρων Υγειονομικής Ταφής.....	66
3.3.2.2. Το Μεθάνιο (CH ₄) ως αέριο του θερμοκηπίου	67

3.3.3. Επί Τόπου (Άμεση) Διάθεση.....	68
3.3.4. Αποτέφρωση.....	69
3.3.5. Πολτοποίηση.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	70
4.1. Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά Φυλής.....	70
4.1.1. Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Φυλής - Άνω Λιοσίων.....	71
4.2. Γεωλογικό Πλαίσιο.....	75
4.2.1. Γεωλογία Ελλάδας.....	75
4.2.2. Γεωλογία Περιοχής Μελέτης.....	81
4.2.2.1. Ενότητα Αθηνών.....	84
4.2.2.2. Ενότητα Αλεποβουνίου.....	86
4.2.2.3. Ενότητα Υποπελαγονικής.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	93
5.1. Αντικείμενο Μελέτης & Πηγές Δεδομένων.....	93
5.2. Μελέτη της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST).....	94
5.2.1. Επιφανειακή Θερμοκρασία Εδάφους (LST).....	94
5.2.2. Επεξεργασία Δεδομένων.....	95
5.2.2.1. Ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.....	101
5.2.2.2. Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.....	105
5.2.2.3. Δείγματα εδάφους εκτός του Χ.Υ.Τ.Α.....	119
5.2.2.3.1. Έδαφος σε υψόμετρο 100m κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α.....	120
5.2.2.3.2. Έδαφος σε υψόμετρο 250m κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α.....	128
5.2.2.3.3. Δείγμα σε καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο.....	135
5.2.2.3.4. Δείγμα σε καλλιέργειες στα Σπάτα.....	141
5.2.2.4. Σύγκριση LST με τη θερμοκρασία αέρα.....	146
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	153
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	157
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ	166

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Τα επίπεδα πληροφορίας (layers) σε ένα GIS.....	23
Σχήμα 2. Ψηφιδωτά και Διανυσματικά Δεδομένα.....	26
Σχήμα 3. Το Γεωειδές ως επιφάνεια αναφοράς.....	28
Σχήμα 4. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής.....	28
Σχήμα 5. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	38
Σχήμα 6. Δορυφόροι σε γεωστατική τροχιά.....	39
Σχήμα 7. Ηλιοσύγχρονη τροχιά δορυφόρου.....	40
Σχήμα 8. Παθητικοί Αισθητήρες.....	42
Σχήμα 9. Ενεργητικοί Αισθητήρες.....	43
Σχήμα 10. Σκίτσο των δορυφόρων Landsat 1-3.....	46
Σχήμα 11. Απόδοση των δορυφόρων Landsat 4-5.....	48
Σχήμα 12. Σκίτσο του δορυφόρου Landsat 6 εάν ήταν σε τροχιά.....	49
Σχήμα 13. Απόδοση του δορυφόρου Landsat 7.....	50
Σχήμα 14. Καλλιτεχνική απόδοση του δορυφόρου Landsat 8 σε τροχιά.....	51
Σχήμα 15. Απόδοση του δορυφόρου Landsat 9 σε τροχιά.....	52
Σχήμα 16. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 1.....	54
Σχήμα 17. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 2.....	55
Σχήμα 18. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 3.....	56
Σχήμα 19. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 5P.....	57
Σχήμα 20. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 6.....	58
Σχήμα 21. Απόθεση απορριμμάτων σε Χ.Υ.Τ.Α.....	66
Σχήμα 22. Σχηματική απεικόνιση του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων.....	74
Σχήμα 23. Επεκτάσεις του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων.....	75
Σχήμα 24. Διάκριση της Ευρώπης σε διαφορετικής ηλικίας ορογενετικά συστήματα.....	76
Σχήμα 25. Οι δύο κλάδοι του αλπικού συστήματος της Τηθύος.....	78
Σχήμα 26. Αναπαράσταση του Ελληνικού Τόξου.....	79
Σχήμα 27. Διάκριση σε Εξωτερικές και σε Εσωτερικές Ελληνίδες.....	80
Σχήμα 28. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας.....	81
Σχήμα 29. Διάκριση των Τεκτονομεταμορφικών Ζωνών της Ελλάδας.....	82
Σχήμα 30. Απεικόνιση των απόψεων διαφορετικών ερευνητών για τη λιθοστρωματογραφική δομή των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Αττικής.....	84
Σχήμα 31. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής του Λεκανοπεδίου Αθηνών.....	88

Σχήμα 32. Σχηματική Λιθοστρωματογραφική Στήλη της Υποπελαγονικής Ενότητας.....	90
Σχήμα 33. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2004.....	96
Σχήμα 34. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2008.....	97
Σχήμα 35. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2012.....	97
Σχήμα 36. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2016.....	98
Σχήμα 37. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2020.....	98
Σχήμα 38. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής στην ιστοσελίδα Sentinel EO Browser.....	100
Σχήμα 39. Πολύγωνο στην Ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.....	102
Σχήμα 40. Πολύγωνο στην Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.....	105
Σχήμα 41. Εγκαταστάσεις στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων.....	106
Σχήμα 42. Εκμετάλλευση χώρου εντός της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α.....	111
Σχήμα 43. Pattern LST Ιανουάριος 2021.....	115
Σχήμα 44. Pattern LST Νοέμβριος 2021.....	115
Σχήμα 45. Pattern LST Δεκέμβριος 2021.....	116
Σχήμα 46. Pattern LST Ιανουάριος 2022.....	116
Σχήμα 47. Pattern LST Φεβρουάριος 2022.....	117
Σχήμα 48. Pattern LST Νοέμβριος 2022.....	117
Σχήμα 49. Pattern LST Δεκέμβριος 2022.....	118
Σχήμα 50. Πολύγωνο γυμνού εδάφους σε ίδιο υψόμετρο με τον Χ.Υ.Τ.Α.....	121
Σχήμα 51. Πολύγωνο γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 250m.....	129
Σχήμα 52. Πολύγωνο Καλλιεργειών στην Περιοχή του Ασπρόπυργου.....	136
Σχήμα 53. Πολύγωνο Καλλιεργειών στα Σπάτα.....	141
Σχήμα 54. Απεικόνιση του Μετεωρολογικού Σταθμού Άνω Λιοσίων σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α.....	147

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
CAD	COMPUTER-AIDED DESIGN
CGIS	CANADA GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
DEM	DIGITAL ELEVATION MODEL
ECMWF	EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS
ED50	EUROPEAN DATUM 50
EE	ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ENVISAT	ENVIRONMENTAL SATELLITE
ERO	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΛΩΡΙΔΑ
ERS	EUROPEAN REMOTE-SENSING SATELLITE
ERTS	EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE
ESA	EUROPEAN SPACE AGENCY
ESRI	ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE
ETM	ENHANCED THEMATIC MAPPER
ETRS89	EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM 89
EU	EUROPEAN UNION
EUMETSAT	EUROPEAN ORGANIZATION FOR THE EXPLOITATION OF METEOROLOGICAL SATELLITES
EUREF	EUROPEAN REFERENCE FRAME
FIR	FAR INFRARED
GIBS	GLOBAL IMAGERY BROWSE SERVICES
GIS	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS
GISCIENCE	GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE
GPS	GLOBAL POSITION SYSTEM
GRS80	GEODETIC REFERENCE SYSTEM 1980
IAG	INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY
ITRS	INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM
LANDSAT	LAND SATELLITE
LST	LAND SURFACE TEMPERATURE
LWIR	LONG WAVELENGTH INFRARED
Ma	MILLION YEARS
MODIS	MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER
MSS	MULTISPECTRAL SCANNER
MWIR	MID WAVELENGTH INFRARED
MWR	MICROWAVE RADIOMETER
NASA	NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
NDVI	NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX
NICFI	NORWAY'S INTERNATIONAL CLIMATE AND FORESTS INITIATIVE
NIR	NEAR INFRARED
NOAA	NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
OLCI	OCEAN AND LAND COLOUR INSTRUMENT

*Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων*

OLI	OPERATIONAL LAND IMAGER
PAN	PANCHROMATIC
PCB	POLYCHLORINATED BIPHENYL
RBV	RETURN BEAM VIDICON
RS	REMOTE SENSING
s.s.	SENSU STRICTO
SAR	SYNTHETIC APERTURE RADAR
SAVI	SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX
SEOS	SCIENCE EDUCATION THROUGH EARTH OBSERVATION FOR HIGH SCHOOLS
SLSTR	SEA AND LAND SURFACE TEMPERATURE RADIOMETER
SWIR	SHORT WAVELENGTH INFRARED
TIRS	THERMAL INFRARED SENSOR
TM	THEMATIC MAPPER
TROPOMI	TROPOSPHERIC MONITORING INSTRUMENT
USGS	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR
UV	ULTRAVIOLET
WFD	WASTE FRAMEWORK DIRECTIVE
WGS '84	WORLD GEODETIC SYSTEM 1984
ΒΕΑΛ	ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ
ΓΠΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΓΥΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΣΤΡΑΤΟΥ
ΕΑΓΜΕ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΡΧΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
ΕΑΥΜ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΕΓΣΑ '87	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1987
ΕΔΣΝΑ	ΕΙΔΙΚΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΔΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΝΟΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΕΚΑ	ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΕΜΑΚ	ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΕΜΠ	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΟΕΔΣΑΠ	ΕΘΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
ΕΣΔΕΑ	ΕΘΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΗΠΑ	ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ
ΚΥΑ	ΚΟΙΝΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ
ΟΕΔΑ	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΟΚΧΕ	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΟΠΑ	ΟΔΗΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
ΣΓΠ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ
ΥΠΕΝ	ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΥΠΕΧΩΔΕ	ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΈΡΓΩΝ
ΦΓΕ	ΦΥΣΙΚΗ ΓΗΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

*Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων*

ΦΕΚ	ΦΥΛΛΟ ΕΦΗΜΕΡΙΔΑΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ
Χ.Υ.Τ.Α.	ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΧΑΔΑ	ΧΩΡΟΣ ΑΝΕΞΕΛΕΓΚΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΧΔΑ	ΧΩΡΟΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
ΧΥΤΥ	ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή όπου ο ανθρώπινος πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται και οι ανθρώπινες δραστηριότητες πληθαίνουν, είναι φυσικό να παράγονται πολλά και διαφορετικά είδη αποβλήτων. Τα απόβλητα αποτελούν αντικείμενα τα οποία ο κάτοχός τους χρειάζεται να τα απορρίψει διότι δεν του είναι χρήσιμα και πολλές φορές μπορούν να αποβούν και επικίνδυνα. Ωστόσο, η σωστή διαχείριση τους αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ευημερίας των έμβιων όντων καθότι μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση στο περιβάλλον και κατά συνέπεια να επηρεαστεί η υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Η διαχείριση των απορριμμάτων δεν αφορά μόνο στην απόρριψη τους αλλά και στην επαναχρησιμοποίηση προϊόντων τα οποία μέσω της σωστής επεξεργασίας μπορούν να μετατραπούν σε χρήσιμα και λειτουργικά, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο ενέργεια και προστατεύοντας το περιβάλλον. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, η Ευρώπη παράγει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων διαφόρων κατηγοριών όπως είναι τα απόβλητα τροφίμων, κήπων, κατασκευών και κατεδαφίσεων, απόβλητα ορυχείων, βιομηχανικά, υγειονομικά απόβλητα, μπαταρίες, πλαστικά κλπ. Όπως είναι λογικό, η ποσότητα και η ποιότητα των αποβλήτων που παράγονται από τον άνθρωπο, έχουν άμεση σχέση με τη βιομηχανία και με τη δράση του στην καθημερινή του ζωή. Είναι ουτοπικό να θεωρείται πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν μελλοντικά να σταματήσουν να παράγουν απόβλητα, όμως η σωστή τους διαχείριση είναι μια πολύ καλή αρχή για τη διατήρηση της ποιοτικής ζωής στον πλανήτη. Η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία θέτει φιλόδοξους στόχους προκειμένου να μπορέσει να τεθεί σε εφαρμογή η διαχείριση αποβλήτων ή αλλιώς «Waste Management» όπως είναι ευρέως διαδεδομένη. Η αλλαγή στη διαχείριση των αποβλήτων συνδέεται στενά με τη νομοθεσία της Ε.Ε. περί αποβλήτων. Το βασικό νομοθετικό μέρος σε αυτόν τον τομέα είναι η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (ΟΠΑ)/Waste Framework Directive (WFD). Η συγκεκριμένη οδηγία στοχεύει στη μεγαλύτερη δυνατή αποτροπή της παραγωγής αποβλήτων, στη χρήση των παραγόμενων αποβλήτων ως πόρων και στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που στέλνονται στις χωματερές. Περιγράφει μια ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων ξεκινώντας με την πρόληψη και συνεχίζοντας με την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, την ανάκτηση και τελειώνει με την απόρριψη η οποία είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η εφαρμογή νέων εργαλείων έρευνας, μπορεί να οδηγήσει στη σωστή διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τα απόβλητα ή ακόμη και να βελτιώσει τις τεχνικές επεξεργασίας και διάθεσης τους.

Η επιστήμη της Γεωπληροφορικής και τα εργαλεία της μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα συστατικά για τη μελέτη και τη διαχείριση των αποβλήτων. Η Γεωπληροφορική αφορά στον ευρύτερο τομέα που ενσωματώνει επιστήμες και τεχνολογίες (Geospatial Technologies) που εστιάζουν στην καταγραφή, ανάλυση και παρουσίαση στοιχείων του γεωγραφικού χώρου, όπως είναι η Γεωδαισία με τον εντοπισμό και την πλοήγηση, η Φωτογραμμετρία, η Τηλεπισκόπηση, η Επιστήμη και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, η Χαρτογραφία, το Κτηματολόγιο, και η Γεωγραφία (Κάβουρας, Μ., 2021). Μερικά από τα βασικά εργαλεία της Γεωπληροφορικής είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή αλλιώς Geographic Information Systems (G.I.S.), η Τεχνολογία Δορυφορικού Εντοπισμού Θέσης, γνωστή και ως Global Position System (GPS), η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) η οποία έχει ως κύριο αντικείμενο την ανάλυση και την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων, η Φωτογραμμετρία η οποία εστιάζει στη λήψη και στην επεξεργασία αεροφωτογραφιών. Το χαρακτηριστικό της Γεωπληροφορικής είναι ότι συνδυάζει τη χωρική με την περιγραφική πληροφορία αποτελώντας έτσι ένα εργαλείο συλλογής, ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων σε διάφορους τομείς. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να συνδυαστούν με την τεχνολογία δορυφορικού εντοπισμού θέσης (GPS) και με την τηλεπισκόπηση (RS) ώστε να γίνει μια χαρτογραφική αναπαράσταση των δεδομένων τα οποία έχουν καταγραφεί από τα αντίστοιχα συστήματα (Chalkias & Lasaridi 2009). Έχουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως ο πολεοδομικός σχεδιασμός, οι μεταφορές, η προστασία και διαχείριση φυσικών πόρων, η δασοκομία, η διαχείριση φυσικών καταστροφών, οι υπηρεσίες υγείας (Brimicombe 2003). Οι πιο κοινές εφαρμογές του GIS στον ευρύτερο κλάδο της διαχείρισης των αποβλήτων είναι ο εντοπισμός θέσεων κατάλληλων για την τοποθέτηση εγκαταστάσεων διαχείρισης και διάθεσης απορριμμάτων καθώς και η βελτιστοποίηση της συλλογής και της μεταφοράς των απορριμμάτων (Ghose et al. 2006). Επιπρόσθετα, τα ΣΓΠ έχουν χρησιμοποιηθεί για την οργάνωση και τη δρομολόγηση των οχημάτων συλλογής αποβλήτων (Chang et al. 1997), για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης στερεών αποβλήτων στις παράκτιες περιοχές και την εκτίμηση των ρυθμών παραγωγής στερεών αποβλήτων (Vijay et al. 2008).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να επιβεβαιώσει ότι η χρήση της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τα GIS μπορεί να επιτύχει πολύ καλά αποτελέσματα στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων. Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης ανήκει στον ευρύτερο κλάδο της γεωπληροφορικής και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο παρατήρησης της Γης καθώς μπορεί να καταγράψει τη γήινη επιφάνεια και το

περιβάλλον της χωρίς να έρθει σε φυσική επαφή μαζί της. Μέσω της τηλεπισκόπησης μπορούν να επιτευχθούν πολλές μελέτες οι οποίες δεν μπορούν να διεκπεραιωθούν με *in situ* έρευνα. Η ανάκτηση δεδομένων από δορυφόρους, έχει βοηθήσει ιδιαίτερα στη μελέτη της σωστής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Κάποιες από τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στον κλάδο του Waste Management αφορούν στη χαρτογράφηση χωματερών, άλλες στον εντοπισμό των κατάλληλων θέσεων για τη δημιουργία μίας χωματερής ή ενός Χ.Υ.Τ.Α. και υπάρχουν και μερικές οι οποίες αφορούν στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε χώρους υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων. Η παρούσα μελέτη εστιάζει σε αυτό το κομμάτι, στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε Χ.Υ.Τ.Α. και συγκεκριμένα στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής, ο οποίος είναι ο τελικός αποδέκτης των απορριμμάτων όλης της Αττικής. **Σκοπός** είναι η μελέτη και η παρακολούθηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους στον συγκεκριμένο χώρο υγειονομικής ταφής. Η χρήση δορυφορικών εικόνων για μια τέτοια εφαρμογή είναι ένα πρωτοποριακό βήμα, όμως υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες αποδεικνύουν τη χρησιμότητα της τηλεπισκόπησης στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας. Σύμφωνα με τη μελέτη των Iacoboaia Cristina & Petrescu Florian (2013), η ανάλυση και η επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων Landsat οδήγησαν στο συμπέρασμα πως η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων είναι αρκετά πιο υψηλή (2°C έως 8°C) σε σχέση με εκείνη του εδάφους στο οποίο δεν έχει γίνει ταφή απορριμμάτων. Αυτό φυσικά αιτιολογείται από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του εδάφους ενός Χ.Υ.Τ.Α. Τα δεδομένα που αναλύθηκαν ήταν από το θερμικό κανάλι (spectral band 6) των Landsat 4TM και Landsat 5TM και από τον αισθητήρα Enhanced Thematic Mapper (ETM+) του Landsat 7. Μια παρόμοια μελέτη με θέμα τη θερμοκρασία του εδάφους σε Χ.Υ.Τ.Α. είναι εκείνη των Nazari et al. 2020 χρησιμοποιώντας επίσης δορυφορικά δεδομένα Landsat από το θερμικό κανάλι του Landsat 5TM καθώς και από τον θερμικό αισθητήρα TIRS (Landsat 8), ο οποίος μετράει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια. Στη συγκεκριμένη εργασία, εξετάζεται μέσω δορυφορικών εικόνων, η ύπαρξη «hot spots» εντός των Χ.Υ.Τ.Α. καθώς από το 2010 υπάρχουν εστίες πυρκαγιάς εντός του εδάφους στον χώρο υγειονομικής ταφής. Μια ακόμη ενδιαφέρουσα μελέτη είναι εκείνη των Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung (2010), οι οποίοι εστίασαν στην καταγραφή του Δείκτη Εδάφους Προσαρμοσμένης Βλάστησης (SAVI) και της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST) σε Χ.Υ.Τ.Α. μέσω δορυφορικών εικόνων Landsat (αισθητήρες TM & ETM+). Οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα πως η LST στους ενεργούς χώρους του Χ.Υ.Τ.Α. ήταν υψηλότερη από τους κλειστούς χώρους του Χ.Υ.Τ.Α. κατά περίπου 3°C έως 5°C. Το SAVI, το οποίο

χρησιμοποιείται για να διερευνήσει την υγεία της βλάστησης που αναπτύσσεται στις περιοχές γύρω από τον Χ.Υ.Τ.Α., εμφάνισε χαμηλές τιμές κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α., γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο στράγγισμα που προκαλείται από τη διαδικασία της αποσύνθεσης των απορριμμάτων. Σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους μέσω δορυφορικών εικόνων, μπορεί να γίνει μια συσχέτιση μεταξύ των καταγεγραμμένων εκπομπών μεθανίου (CH₄) στα Χ.Υ.Τ.Α. από τους επίγειους σταθμούς παρακολούθησης και του LST που προέρχεται από τις εικόνες Landsat (αισθητήρες TM & ETM+) όπως στην εργασία των Faisal et al. 2012. Ωστόσο, από το 2017 και μετά (εκτόξευση του δορυφόρου Sentinel 5P), οι ποσότητες του μεθανίου οι οποίες βρίσκονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να ανιχνευτούν με τη βοήθεια του οργάνου TROPOMI το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο στον δορυφόρο Sentinel 5P. Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την παρακολούθηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (LST) στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων μέσω των εργαλείων της τηλεπισκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

1.1. Ιστορική αναδρομή

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ) είναι υπολογιστικά συστήματα για τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία, ανάλυση και απεικόνιση πληροφοριών με γεωγραφική αναφορά, δηλαδή δεδομένων που αναφέρονται σε κάποια θέση στον χώρο (Κάβουρας, Μ., 2021). Η επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας έχει ως κύριο αντικείμενο την κατανόηση και αναπαράσταση του γεωγραφικού χώρου μέσω της συλλογής, επεξεργασίας, ανάλυσης, ερμηνείας, παρουσίασης και διαχείρισης των στοιχείων του τα οποία καλούνται γεωχωρικά δεδομένα (geospatial data). Η επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας συγγέεται συχνά με την τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών-ΣΓΠ (Geographic Information Systems-GIS) η οποία στη σύγχρονη εποχή αποτελεί σύνηθες λογισμικό με πολλές δυνατότητες διαχείρισης χωρικών δεδομένων (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και κατά συνέπεια η ανάπτυξη μεθόδων λήψης και ανάλυσης αεροφωτογραφιών και αργότερα δορυφορικών εικόνων οδήγησαν στη χαρτογράφηση με μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τα παλαιότερα έτη (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015). Η ανάγκη του ανθρώπου για καταγραφή χωρικών δεδομένων τα οποία βρίσκονταν αποκλειστικά σε χάρτες και διαγράμματα εξελίχθηκε στην ψηφιοποίησή τους. Την περίοδο '60-'70, έγινε η πρώτη προσπάθεια για συστηματική χρησιμοποίηση των χαρτογραφικών δεδομένων, γνωστή και ως «αυτόματη ή αυτοματοποιημένη χαρτογραφία» (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Στις αρχές του 1960 στον Καναδά, πρωτοεισάγεται ο όρος «Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ)» από τον οραματιστή γεωγράφο Roger Tomlinson με την ανάπτυξη ενός συστήματος απογραφής των ορίων της Γης (Canada Geographic Information System-CGIS) ενώ ταυτόχρονα ξεκινούν προσπάθειες ανάπτυξης λογισμικού χαρτογραφίας από το *Laboratory for Computer στο Graphics Harvard Graduate School of Design*. Από εκεί ξεκίνησαν σημαντικές προσωπικότητες στον χώρο της ανάπτυξης συστημάτων εμπορικού λογισμικού μεταξύ των οποίων και ο Jack Dangermond ο οποίος ίδρυσε αργότερα την εταιρεία Environmental Systems Research Institute (ESRI). Ο όρος αυτός άρχισε να αποκτά ουσία από τη δεκαετία του '80 και μετά, εφόσον κατέστη δυνατή όχι

απλά η ψηφιακή καταγραφή του χώρου για χαρτογραφικούς σκοπούς, αλλά και η αξιοποίηση της πληροφορίας για την ανάλυση και διαχείριση του χώρου. Έτσι λοιπόν αναπτύσσεται εμπορικό λογισμικό είτε εξολοκλήρου νέο είτε ως επέκταση υφιστάμενων σχεδιαστικών πακέτων λογισμικού (Computer-Aided Design-CAD). Με έμφαση στη χωρική διάσταση της πληροφορίας και τις ερευνητικές προκλήσεις που προέκυψαν από την ανάγκη διαχείρισης της, εμφανίστηκε ο όρος «χωρικές επιστήμες» (spatial sciences) (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Χαρακτηριστική είναι η αρχή της δεκαετίας του '90 καθώς η τεχνολογία έχει εξελιχθεί ραγδαία λίγο πριν την εμφάνιση του διαδικτύου. Το λογισμικό ΣΓΠ αποτελεί πλέον ζητούμενο σε κάθε μελέτη που εκπονείται. Ωστόσο όπως είναι φυσικό εξακολουθούν να απασχολούν τους επιστήμονες θεμελιώδη ερωτήματα αναφορικά με τη βαθύτερη σύνδεση μεταξύ πραγματικών φαινομένων και αναπαραστάσεων. Προκειμένου να δοθούν απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα, οι πιο σημαντικοί επιστήμονες της εποχής οι οποίοι αναγνωρίζουν την ανάγκη για θεμελίωση και ανάπτυξη ενός θεωρητικού υποβάθρου πίσω από την τεχνολογία, καθιερώνουν την Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIScience - Geographic Information Science) (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Φτάνοντας πλέον στη σημερινή εποχή όπου το διαδίκτυο και η τεχνολογία έχουν γίνει κομμάτι της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου, όχι μόνο στην επίλυση καθημερινών προβλημάτων αλλά και στον επιστημονικό κλάδο, η χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο. Όλα σχεδόν τα πεδία χρησιμοποιούν πληροφορία με γεωχωρική αναφορά και γεωχωρικές τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων των ΣΓΠ (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

1.2. Γνωριμία με τα GIS

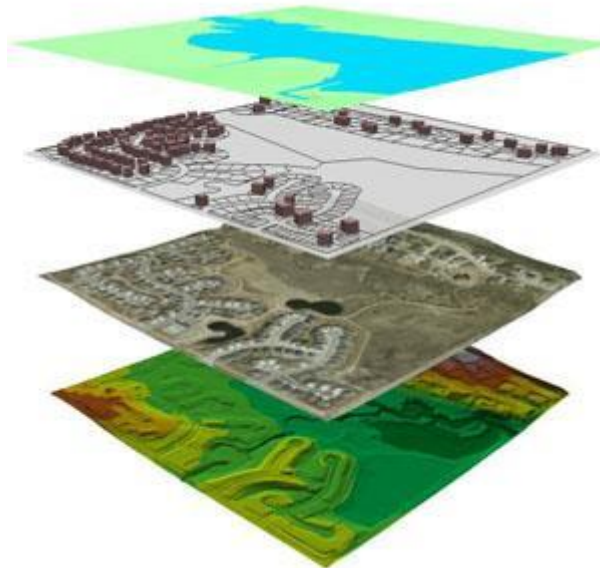
Τα GIS είναι κάτι παραπάνω από ένα μέσο κωδικοποίησης, αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων σχετικών με τις ιδιότητες της γήινης επιφάνειας. Μπορούν να χρησιμεύσουν στη δημιουργία δοκιμαστικών μοντέλων για τη μελέτη περιβαλλοντικών διαδικασιών, την ανάλυση των αποτελεσμάτων των τάσεων, τη μελέτη των πιθανών συνεπειών ενός σχεδιασμού κ.ά. (Βαϊόπουλος κ.α., 2002). Πρόκειται για σύνθετα συστήματα τα οποία αποτελούνται από επιμέρους στοιχεία όπως είναι: το σύστημα του υπολογιστή, δηλαδή το υλικό (hardware) και το λειτουργικό σύστημα, το λογισμικό (software), τα χωρικά

δεδομένα, τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων και τους χρήστες (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Σε γενικές γραμμές ένα GIS εμπεριέχει τους όρους (Μανιάτης, 1996):

- Γεωγραφία: τόσο η χρήση του ΣΓΠ, όσο και τα δεδομένα που διαχειρίζεται, έχουν άμεση σύνδεση με τη γεωγραφία και συνδέονται μέσω κάποιου συστήματος συντεταγμένων με συγκεκριμένες θέσεις στη Γη.
- Σύστημα: αποτελεί ένα περιβάλλον εργασίας μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να διαχειρίζεται, να αναλύει και να παρουσιάζει τα περιγραφικά και τα γεωγραφικά δεδομένα.
- Πληροφορία: το σύστημα αποτελεί ένα λογισμικό διαχείρισης γεωγραφικών και περιγραφικών πληροφοριών

Τα δεδομένα σε ένα ΣΓΠ αναπαρίστανται μέσω επιπέδων πληροφορίας, τα λεγόμενα layers (Σχήμα 1.), τα οποία προσομοιάζονται με διαφανείς σελίδες που η καθεμιά περιέχει διαφορετικό είδος πληροφορίας. Τα επίπεδα πληροφορίας τοποθετούνται το ένα πάνω από το άλλο ώστε να είναι εμφανές το σύνολο των χαρακτηριστικών των επιμέρους επιπέδων πληροφορίας. Συνήθως πάνω-πάνω τοποθετούνται τα σημειακά επίπεδα πληροφορίας, από κάτω τα γραμμικά, πιο κάτω τα επιφανειακά και τέλος τα ψηφιδωτά (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).



Σχήμα 1. Τα επίπεδα πληροφορίας (layers) σε ένα GIS

(πηγή: <https://topomap.gr/geografiko-systima-pliroforion/>)

Τα GIS αποτελούνται από τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά στη γεωγραφική παρουσίαση των δεδομένων με μορφή χαρτών. Το τμήμα αυτό αναλαμβάνει το σύνολο της γεωγραφικής διαχείρισης, αναζήτησης και ανάλυσης. Το δεύτερο τμήμα αφορά στη βάση δεδομένων, στην οποία είναι αποθηκευμένη η περιγραφική πληροφορία του κάθε γεωγραφικού αντικείμενου (Κουτσόπουλος κ.ά., 2006). Η βάση δεδομένων έχει τη μορφή πίνακα, όπου η κάθε στήλη περιλαμβάνει ένα διαφορετικό είδος πληροφορίας (πεδίο) και η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε διαφορετικό αντικείμενο του χάρτη. Όπως είναι λογικό, τα δύο πρώτα τμήματα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Το κάθε αντικείμενο του χάρτη αντιστοιχεί σε μια γραμμή στη βάση δεδομένων και κάθε γραμμή στη βάση δεδομένων αντιστοιχεί σε μια οντότητα του χάρτη. Αν αφαιρεθεί ένα αντικείμενο από τον χάρτη, αυτόματα θα αφαιρεθεί η αντίστοιχη γραμμή από τη βάση δεδομένων και αντιστρόφως. Το τρίτο τμήμα αφορά στη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη πρόσθετων λειτουργιών για εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, αλγόριθμους εντοπισμού θέσεων υψηλού κινδύνου κάποιας συγκεκριμένης φυσικής καταστροφής (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).

Προκειμένου να δημιουργηθεί μία GIS εφαρμογή συγκεκριμένων απαιτήσεων, ακολουθείται μία σειρά ενεργειών, από τη συλλογή και την εισαγωγή των δεδομένων, έως την επεξεργασία και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα με τη σειρά, είναι οι εξής (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015):

- ✓ Συλλογή Δεδομένων
- ✓ Εισαγωγή Δεδομένων
- ✓ Αποθήκευση Δεδομένων
- ✓ Διαχείριση Δεδομένων
- ✓ Ανάκτηση Δεδομένων
- ✓ Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων
- ✓ Παρουσίαση Δεδομένων

1.3. Είδη Δεδομένων

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου. Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία αυτών των αναπαραστάσεων είναι η συλλογή των δεδομένων, ανάλογα με το περιεχόμενο του εκάστοτε τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια ακολουθεί η επεξεργασία τους μέσω λειτουργιών όπως η

επιλογή, ταξινόμηση, γενίκευση, μετατροπή, κλπ. Αυτές οι λειτουργίες των GIS, δίνουν νόημα στα δεδομένα μετατρέποντάς τα σε πληροφορίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ανθρώπους διαφορετικούς από τους δημιουργούς (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Τα δεδομένα σε ένα GIS μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα χωρικά δεδομένα, που αφορούν σε αντικείμενα τα οποία απεικονίζονται σε χάρτη και τα ποιοτικά δεδομένα που αφορούν σε τιμές και χαρακτηριστικά, που αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Μια περαιτέρω διάκριση ανάλογα με τη φύση των δεδομένων, είναι *τα διακριτά*, όταν η πληροφορία δεν καλύπτει κάθε στοιχειώδες σημείο της περιοχής μελέτης, όπως για παράδειγμα τα σεισμικά επίκεντρα, και *τα συνεχή* όταν για κάθε σημείο του χάρτη υπάρχει μια πληροφορία, όπως για παράδειγμα το υψόμετρο μιας περιοχής. Επιπλέον, με βάση τις διαστάσεις τους στον χώρο, τα δεδομένα διακρίνονται σε σημειακά (π.χ. θέσεις δειγματοληψίας), γραμμικά (π.χ. υδρογραφικό δίκτυο) και πολυγωνικά (π.χ. λιθολογικοί σχηματισμοί). Ένα σημείο θεωρείται ότι έχει μηδενικές διαστάσεις, μία ευθεία που ενώνει δύο σημεία έχει μία διάσταση, ενώ μία επιφάνεια που αποτελείται από ένα κλειστό σύνολο πολυγωνικών γραμμών έχει δύο διαστάσεις. Τέλος, βάσει του τρόπου καταχώρισης και επεξεργασίας των χαρτογραφικών στοιχείων, τα δεδομένα στο GIS χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) Raster ή Ψηφιδωτά και β) Vector ή Διανυσματικά. Τα δύο είδη απεικόνισης έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους τόσο σε ό,τι αφορά στην αρχή λειτουργίας τους όσο και στις ιδιότητές τους (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).

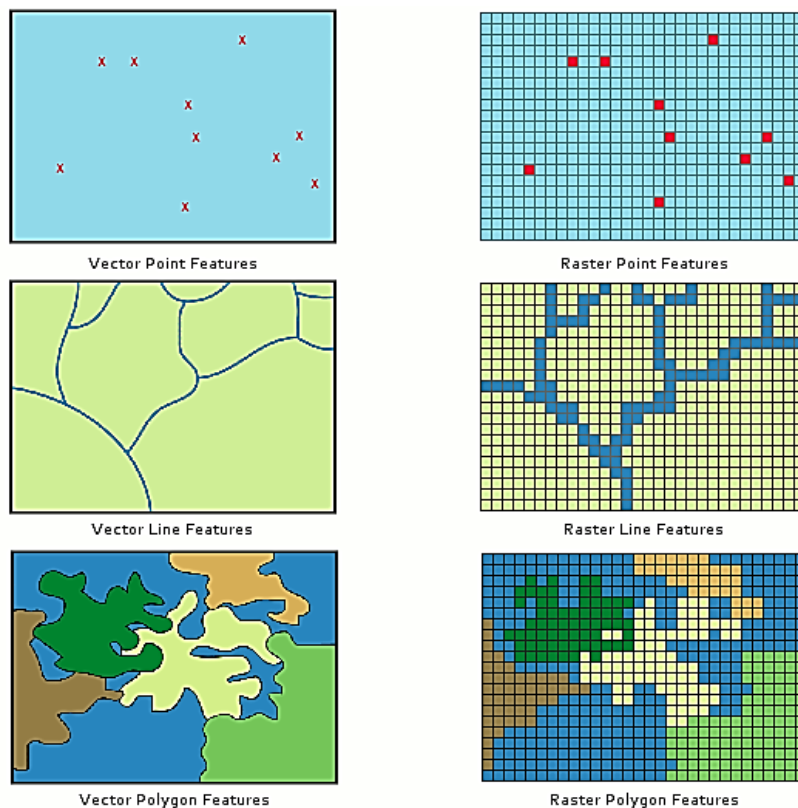
1.3.1. Ψηφιδωτά/Κανονικοποιημένα δεδομένα (Raster)

Τα ψηφιδωτά/κανονικοποιημένα ή raster δεδομένα αναπαριστούν τις γεωγραφικές οντότητες ως πλέγμα ψηφίδων (pixels), τα οποία αποθηκεύουν μια τιμή, που μπορεί να είναι μετρήσεις, αριθμοί ή κωδικοί (Σχήμα 2.). Ανάλογα με το σχήμα της ψηφίδας, τα ψηφιδωτά δεδομένα χωρίζονται σε κανονικής και μη κανονικής μορφής. Το πλέον διαδεδομένο μοντέλο είναι αυτό των «τεταρτημορίων», με βάση το τετράγωνο, λόγω της δυνατότητάς του να υποδιαιρείται σε απεριόριστο αριθμό υποπεριοχών που έχουν το ίδιο σχήμα, τις ίδιες ιδιότητες και την αυτή λειτουργία. Το μέγεθος της τετραγωνισμένης ψηφίδας, ορίζει την επιφάνεια του εδάφους που καλύπτει (π.χ. 10m×10m) και κατ' επέκταση, την ανάλυση του ψηφιδωτού αρχείου. Σημειώνεται ότι, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της ψηφίδας, τόσο υψηλότερη είναι η ανάλυση του αρχείου, δηλαδή η λεπτομέρεια της πληροφορίας, αλλά και τόσο μεγαλύτερος ο αποθηκευτικός χώρος και το

υπολογιστικό σύστημα που απαιτείται. Χρησιμοποιούνται τόσο για διακριτές οντότητες, όσο και για συνεχείς, όμως συνοδεύονται από πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών μόνο για τα διακριτά δεδομένα. Ενδείκνυται, κυρίως, για την αναπαράσταση μιας συνεχούς μεταβλητής (π.χ. υψομέτρου, βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, κ.λπ.) (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).

1.3.2. Διανυσματικά δεδομένα (Vector)

Τα διανυσματικά ή vector δεδομένα αναπαριστούν τις γεωγραφικές οντότητες ως σημεία, γραμμές ή επιφάνειες-πολύγωνα με τις συντεταγμένες να προσδιορίζουν το σχήμα και τη θέση της γεωγραφικής οντότητας (Σχήμα 2.). Κάθε ένα από τα αντικείμενα για να εισαχθεί στο GIS πρέπει να καθοριστεί η φύση του (π.χ. γραμμή), στη συνέχεια η θέση του στον χώρο μέσω των συντεταγμένων του αρχικού (x1, y1) και τελικού σημείου (x2, y2), τα σημεία αλλαγής της διεύθυνσης της γραμμής που ονομάζονται «κόμβοι» (nodes στο MapInfo Professional ή vertexes στο ArcGIS) και τα σημεία από τα οποία αποτελείται (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).



Computer Representations of Geographic Features

Σχήμα 2. Ψηφιδωτά και Διανυσματικά Δεδομένα

(πηγή: <http://www.citrasatelit.com/>)

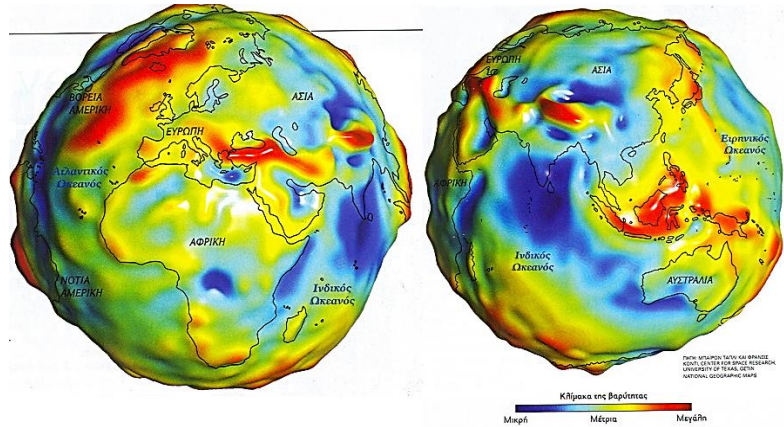
1.4. Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων σε ένα GIS δεν είναι απλή υπόθεση. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών έχουν ως στόχο την αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε ψηφιακή μορφή, κάτι το οποίο είναι αρκετά δύσκολο λόγω του ιδιαίτερου σχήματος της. Ανάλογα με την περιοχή μελέτης επάνω στη γήινη σφαίρα, αλλάζει το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, το σύστημα αναφοράς, οι παραμορφώσεις που προκύπτουν από τη μετατροπή της σφαίρας σε μια επίπεδη επιφάνεια όπως είναι ο χάρτης. Παρακάτω γίνεται μια αναφορά στις επιφάνειες αναφοράς και στα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την κατασκευή ψηφιακών χαρτών.

Ο όρος Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ) χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επιφάνεια του γήινου πλανήτη. Το σχήμα της γήινης επιφάνειας περιγράφεται γεωμετρικά ως επίπεδο, σφαίρα, σφαιροειδές και ελλειψοειδές. Η πιο σύγχρονη θεώρηση για το σχήμα της Γης χρησιμοποιεί την έννοια του **γεωειδούς**, το οποίο είναι μια σύνθετη επιφάνεια που περιγράφεται μόνο με αναλυτικούς/μαθηματικούς τύπους (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

1.4.1. Επιφάνειες Αναφοράς

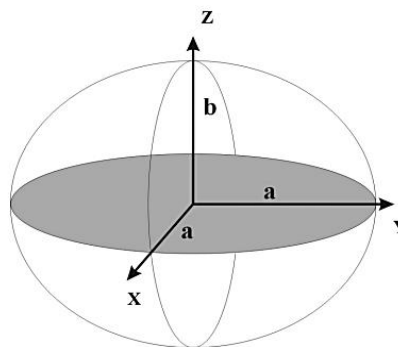
❖ **Γεωειδές:** Είναι εκείνη η επιφάνεια, στην οποία το γήινο πεδίο βαρύτητας έχει σταθερή και προκαθορισμένη τιμή. Γεωειδές καλείται η επιφάνεια που διαμορφώνεται από τη μέση στάθμη της θάλασσας και την προέκτασή της στον χώρο που καταλαμβάνουν οι ήπειροι. Το γεωειδές δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί από ένα μαθηματικό γεωμετρικό μοντέλο καθώς η επιφάνεια του γεωειδούς δεν είναι ομαλή, αλλά ελαφρά κυματοειδής (Σχήμα 3.). Αυτό συμβαίνει επειδή οι μάζες, ιδιαίτερα στον στερεό φλοιό της Γης, δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες. Συγκεκριμένα, στις θάλασσες και τους ωκεανούς η επιφάνεια του γεωειδούς βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς, ενώ κάτω από τις ηπείρους περνά πάνω από το ελλειψοειδές. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ των επιφανειών του ελλειψοειδούς και του γεωειδούς είναι πάντοτε μικρότερη από 100m (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).



Σχήμα 3. Το Γεωειδές ως επιφάνεια αναφοράς

(πηγή: Λάμπρου Ευαγγελία, Πανταζής Γιώργος, άδεια χρήσης: Creative Commons)

- ❖ **Ελλειψοειδές:** Για την αποφυγή πολύπλοκων πράξεων, το πλέον χρησιμοποιούμενο γεωμετρικό σχήμα για να αποδώσει το σχήμα της Γης, είναι το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (Σχήμα 4.). Το σχήμα αυτό δίνει ικανοποιητικές προσεγγίσεις της ΦΓΕ, χωρίς οι αναγκαίοι υπολογισμοί να γίνονται απαγορευτικά πολύπλοκοι. Για να ορισθεί ένα ελλειψοειδές πρέπει να είναι γνωστά τα εξής γεωμετρικά στοιχεία του: α) ο μεγάλος ημιάξονας (a), β) ο μικρός ημιάξονας (b), γ) η επιπλάτυνση (f), και δ) η 1^η εκκεντρότητα (e). Στη Γεωδαισία, το μαθηματικό σχήμα της Γης σε διαφορετικές περιοχές δίνεται από τοπικά ελλειψοειδή προσαρμοσμένα στη γεωμετρία που έχουν οι τοπικές ιδιομορφίες της περιοχής. Διάφορες γειτονικές περιοχές της Γης έχουν καλύτερη προσαρμογή σε διαφορετικά ελλειψοειδή. Έτσι υπάρχει ποικιλία τοπικών ελλειψοειδών για διάφορες περιοχές της Γης (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).



Σχήμα 4. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

(Βέργος Γ, Κατσουγιαννόπουλος Σ., Σεπτέμβριος 2004)

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται τρία ελλειψοειδή: το Bessel, το Hayford και το GRS80 με γεωμετρικά στοιχεία αντιστοίχως:

- Bessel: $a=6.377.397\mu$, $b=6.356.078\mu$, $f=1/299,1528$
- GRS80: $a=6.378.137\mu$, $b=6.356.752\mu$, $f=1/298,2572$
- Hayford: $a=6.378.388\mu$, $b=6.356.911\mu$, $f=1/297$

Στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής ως «παράλληλος» ορίζεται η τομή επιπέδων καθέτων στον άξονα συμμετρίας και την επιφάνεια του ελλειψοειδούς. Οι «παράλληλοι» είναι κύκλοι. Ο μέγιστος από τους κύκλους αυτούς, με ακτίνα το μεγάλο από τους ημιάξονες του ελλειψοειδούς λέγεται «ισημερινός». Ως «μεσημβρινός» ορίζεται η τομή των επιπέδων που διέρχονται από τον άξονα συμμετρίας και την επιφάνεια του ελλειψοειδούς. Οι «μεσημβρινοί» είναι ελλείψεις. Ένας εκ των μεσημβρινών ορίζεται σαν πρώτος μεσημβρινός, ώστε να χρησιμοποιείται ως αφετηρία μέτρησης των λοιπών (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

- ❖ Σφαίρα: Το ελλειψοειδές είναι δυνατό να «απλοποιηθεί» περαιτέρω, ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, σε σφαίρα (μέση γήινη σφαίρα). Αυτή είναι μια προσέγγιση η οποία δίνει καλή υπολογιστική ακρίβεια για τις περισσότερες τεχνολογικές εφαρμογές. Σε πολλούς χάρτες γενικής χρήσης, η Γη μπορεί να θεωρηθεί ως σφαίρα ακτίνας 6.371χλμ. Σε ειδικές περιπτώσεις όμως δεν αρκεί η σφαιρική προσέγγιση (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

1.4.2. Συστήματα Αναφοράς-Συστήματα Συντεταγμένων

Η δυνατότητα απεικόνισης των χωρικών δεδομένων στη σωστή τους θέση στον χώρο, είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των ΣΓΠ. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται ο ορισμός του συστήματος συντεταγμένων στο οποίο βρίσκονται τα προς επεξεργασία δεδομένα. Καταρχάς, για να απεικονιστούν τα στοιχεία μιας θέσης, απαιτείται ένα σύστημα αναφοράς, στο πλαίσιο του οποίου σε κάθε σημείο του χώρου αντιστοιχεί ένα μοναδικό ζεύγος πραγματικών αριθμών (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015). Το σύστημα συντεταγμένων (coordinate system) είναι η μέθοδος με την οποία εκφράζεται η θέση ενός σημείου με τη χρήση συντεταγμένων (π.χ. καρτεσιανές ή πολικές συντεταγμένες) ενώ το σύστημα αναφοράς (reference system) προϋποθέτει την υιοθέτηση ενός συστήματος συντεταγμένων αλλά και την τοποθέτησή του σε συγκεκριμένο πλαίσιο αναφοράς (με τον ορισμό αρχής, θεμελιωδών αξόνων, επιπέδων, κλπ.) (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Τα συστήματα αναφοράς διακρίνονται στα φυσικά και τα γεωμετρικά. Τα πρώτα, τα οποία χρησιμοποιούνται στη Γεωδαισία και σε άλλες φυσικές επιστήμες, χρησιμοποιούν άξονες ή επίπεδα αναφοράς με φυσικό νόημα σε αντίθεση με τα δεύτερα τα οποία αποτελούν αφηρημένα συστήματα. Για παράδειγμα, στα φυσικά συστήματα αναφοράς χρησιμοποιείται συχνά η διεύθυνση που καθορίζεται από τον άξονα περιστροφής της Γης, ο οποίος ταυτίζεται με τη διεύθυνση που δείχνει προς τον Πολικό Αστέρα. (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Τα συστήματα αναφοράς είναι:

- ❖ Αστρονομικό σύστημα αναφοράς
- ❖ Γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς
- ❖ Γεωγραφικό σύστημα αναφοράς
- ❖ Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς

Επιπλέον, τα συστήματα αναφοράς στα GIS μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα γεωγραφικά (geographic coordinate system) και στα προβολικά (projected coordinate system) (www.geoapikonisis.gr). Τα πρώτα ορίζουν τις θέσεις των σημείων σε ένα σφαιρικό ή σφαιροειδές μοντέλο της Γης και χρησιμοποιούν ως συντεταγμένες το γεωγραφικό μήκος (longitude) και το γεωγραφικό πλάτος (latitude) και τα δεύτερα ορίζουν τις θέσεις των σημείων σε μια αναπτυσσόμενη επιφάνεια (επίπεδο, κύλινδρο ή κώνο) χρησιμοποιώντας ως συντεταγμένες μονάδες απόστασης. Σημειώνεται ότι η θέση κάθε σημείου στην επιφάνεια της Γης ορίζεται από το γεωγραφικό μήκος του (longitude) που ισούται με τη γωνία που σχηματίζει η θέση του σημείου προς τα ανατολικά ή δυτικά με τον πρώτο μεσημβρινό (60°E) και το γεωγραφικό πλάτος του (latitude) που ισούται με τη γωνία που σχηματίζει η θέση του σημείου προς τα βόρεια ή νότια με τον Ισημερινό (55°N) (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).

Επειδή, όπως αναφέρθηκε, το πραγματικό σχήμα της Γης είναι αρκετά πολύπλοκο ώστε να χρησιμοποιηθεί στα GIS, έχουν δημιουργηθεί διάφορα είδη σφαιροειδών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν μονάδες μέτρησης γωνίας, τον πρώτο μεσημβρινό (Greenwich) και ένα ελλειψοειδές αναφοράς (Datum). Το ελλειψοειδές αναφοράς αποτελεί θεωρητική επιφάνεια, που υπολογίζεται με βάση μαθηματικές σχέσεις, είναι γνωστό ως «ελλειψοειδές εκ περιστροφής» (βλέπε κεφάλαιο 1.1.4.1.) και προσομοιάζει το σχήμα της Γης που ορίζεται από το γεωειδές, δηλαδή από την κλειστή ομαλή επιφάνεια που περιβάλλει τη Γη, εφάπτεται στη μέση στάθμη της επιφάνειας των θαλασσών και η

διεύθυνση της βαρύτητας είναι παντού κάθετη σε αυτή. Σημειώνεται, ότι το γεωειδές και το ελλειψοεδές δεν ταυτίζονται (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015).

Για να παρασταθεί η Γη ή τμήμα της στο επίπεδο, πρέπει πρώτα να απεικονιστούν οι γραμμές που θα αντιπροσωπεύουν τους μεσημβρινούς και τους παράλληλους, οι οποίες στη συνέχεια αποτελούν το δίκτυο του χάρτη, που ονομάζεται κάρτα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται χαρτογραφική απεικόνιση ή προβολή (map projection) (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015). Με βάση τη γεωμετρική επιφάνεια στην οποία προβάλλεται η επιφάνεια της Γης οι χαρτογραφικές προβολές διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, την αζιμουθιακή (η επιφάνεια προβολής είναι επίπεδο), την κωνική (η επιφάνεια προβολής είναι το εσωτερικό τμήμα ενός κώνου που περιβάλλει ή τέμνει τη γήινη σφαίρα) και την κυλινδρική (η επιφάνεια προβολής είναι το εσωτερικό τμήμα ενός κυλίνδρου που περιβάλλει ή τέμνει την γήινη σφαίρα) (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016). Τα Προβολικά Συστήματα Αναφοράς βασίζονται στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο η θέση του σημείου ορίζεται από σταθερές μονάδες απόστασης x (μέτρηση ανατολικά ή δυτικά από το 0 που είναι η αρχή των αξόνων) και y (μέτρηση βόρεια ή νότια από το 0). Αποτελούνται από (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015):

- Μονάδα μέτρησης
- Αρχή συστήματος (0,0)
- Προβολή (αζιμουθιακή, κωνική, κυλινδρική)
- Υποκείμενο Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς

Τα Προβολικά Συστήματα επιτρέπουν τη χαρτογραφική απεικόνιση σημείων του ελλειψοειδούς ή της σφαίρας στο επίπεδο, έτσι ώστε να υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία. Η διαδικασία μετασχηματισμού των φ, λ (πλάτος, μήκος) σε x, y (καρτεσιανές συντεταγμένες) περιγράφεται από μαθηματικές σχέσεις. Η επιλογή του κατάλληλου προβολικού εξαρτάται από τον σκοπό που θα εξυπηρετήσει, την περιοχή στην οποία αναφέρεται ο χάρτης και την έκταση που θα καλύψει. Κάθε τέτοια προβολή προκαλεί χωρική παραμόρφωση σε κάποιο γεωμετρικό χαρακτηριστικό, όπως στο σχήμα, εμβαδόν, απόσταση ή στη διεύθυνση (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015). Ανάλογα με το γεωμετρικό χαρακτηριστικό που παραμένει αναλλοίωτο μετά τον μετασχηματισμό, οι προβολές διακρίνονται σε (Σκοπελίτη, Α., 2021):

- Σύμμορφες (αναλλοίωτες γωνίες)

- Ισοδύναμες (αναλλοίωτα εμβαδά)
- Ισαπέχουσες (αναλλοίωτες αποστάσεις)
- Αζιμουθιακές (αναλλοίωτες διευθύνσεις)

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη κυλινδρική προβολή είναι η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Universal Transverse Mercator Projection - UTM). Ο άξονας συμμετρίας του κυλίνδρου βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζει ο Ισημερινός (κάθετος στον άξονα περιστροφής της Γης), ενώ εφάπτεται σε ένα μεσημβρινό (της επιλογής του χαρτογράφου) που καλείται κεντρικός. Η προβολή είναι σύμμορφη που σημαίνει ότι τα σχήματα διατηρούν τις μορφές τους (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016). Αποτυπώνεται στους χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ). Για να προσομοιάσει το σχήμα της Γης, χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές Hayford, το οποίο διαιρείται σε 60 μεσημβρινές ζώνες πλάτους 6°, με πρώτη τη ζώνη του Greenwich και με αύξηση των ζωνών προς τα ανατολικά και παραμορφώσεις μικρότερες από 1:2.500. Η Ελλάδα καταλαμβάνει τις ζώνες 34 και 35 (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015). Η εγκάρσια Μερκατορική προβολή έχει μεγάλη εφαρμογή στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Χρησιμοποιείται σε διεθνή κλίμακα ως παγκόσμια μερκατορική προβολή. Το ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) το οποίο είναι το κρατικό σύστημα αναφοράς της χώρας, βασίζεται σε αυτήν την προβολή (Μαρίνος Κάβουρας, Αθανασία Δάρρα, Σοφία Κονταξάκη, Ελένη Τομαή, 2016).

Σε ό,τι αφορά στον Ελλαδικό χώρο, χρησιμοποιούνται ευρέως τα ακόλουθα συστήματα αναφοράς (Evelpidou, N., & Antoniou, V., 2015):

- *Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87)*: Αποτελεί παραλλαγή της εγκάρσιας μερκατορικής προβολής (UTM) με κεντρικό μεσημβρινό στις 24° που διέρχεται από τον Διόνυσο Αττικής, άξονα τετμημένων τον Ισημερινό, False Easting 500.000 m και συντελεστή κλίμακας 0.9996. Κάνει χρήση του γεω-κεντρικού ελλειψοειδούς GRS80 και παρουσιάζει παραμορφώσεις μέχρι 1:1000 στα άκρα της χώρας (1 m σε απόσταση 1 km). Είναι προϊόν συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) και του Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ) και χρησιμοποιείται για τη σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου.

- *Ευρωπαϊκό Datum (European Datum 50/ED50)*: Ως αφετηρία έχει τον «Πύργο του Helmert» στο Potsdam της Γερμανίας. Χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές Hayford και την παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική προβολή (UTM 6°), με κεντρικό μεσημβρινό αυτόν του Greenwich. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς.
- *Παγκόσμιο WGS '84 (World Geodetic System 1984)*: Χρησιμοποιείται από το δορυφορικό σύστημα GPS. Κάνει χρήση του ελλειψοειδούς WGS '84 και δύο ειδών συστημάτων συντεταγμένων: (α) γεωγραφικές (φ , λ) και (β) καρτεσιανό τρισδιάστατο σύστημα, με αρχή το κέντρο του ελλειψοειδούς και άξονες x , y επί του ισημερινού, με θετικό άξονα y προς τον βόρειο πόλο και θετικό άξονα x προς την κατεύθυνση του μεσημβρινού του Greenwich. Ως τρίτη παράμετρος μπορεί να ληφθεί το γεωδαιτικό υψόμετρο του σημείου (h) που αντιπροσωπεύει την απόσταση του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς.
- *HATT*: Αποτελεί απλό μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στη διανομή των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) κλίμακας 1:5.000. Πρόκειται για πλάγια ισαπέχουσα αζιμουθιακή απεικόνιση με $\lambda_0 = 0$ στο Αστεροσκοπείο Αθηνών. Κάνει χρήση του ελλειψοειδούς Bessel και χωρίζει την Ελλάδα σε 130 φύλλα χάρτου (τραπέζια, διαστάσεων 55x45 km). Οι παραμορφώσεις των γωνιών, αζιμουθίων και εμβαδών διατηρούνται μικρές μέσα στο ίδιο φύλλο χάρτου και αυξάνονται αναλογικά προς τα άκρα, ενώ οι αποστάσεις, που αναφέρονται στο κέντρο και προς οποιοδήποτε σημείο του ίδιου φύλλου χάρτη, δεν παραμορφώνονται. Ωστόσο, η χρήση πολλών κέντρων προβολής απαιτεί συνεχείς μετασχηματισμούς.
- *Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς 1989 ή ETRS89 (European Terrestrial Reference System 89)*: Είναι ένα γεωκεντρικό γεωδαιτικό Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς, στο οποίο η Ευρασιατική Πλάκα θεωρείται ως στατική οντότητα στο σύνολό της, οπότε οι συντεταγμένες των γεωδαιτικών σημείων ελέγχου, καθώς και οι χάρτες της Ευρώπης που βασίζονται στο ETRS89, δεν υπόκεινται σε αλλαγές και μετακινήσεις, λόγω διηπειρωτικής ολίσθησης. Η ανάπτυξη του ETRS89 σχετίζεται με το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς ITRS, στο οποίο όμως η διηπειρωτική ολίσθηση είναι εξισορροπημένη κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η συνολική φαινομενική γωνιακά ορμή των ηπειρωτικών πλακών να είναι μηδενική. Το ETRS89 θεσπίστηκε επίσημα το 1990, από την Ευρωπαϊκή υποεπιτροπή της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας (IAG) EUREF (European Reference Frame) στη σύνοδο που πραγματοποιήθηκε στη Φλωρεντία, βασικός στόχος της οποίας ήταν η ενοποίηση των (Εθνικών) γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς της Ευρώπης για χαρτογράφηση, GIS και

πλοήγηση. Σύμφωνα με σχετικό ψήφισμα, το σύστημα ονομάστηκε Ευρωπαϊκό Επίγειο Σύστημα Αναφοράς του 1989 (ETRS89). Από τότε ETRS89 και ITRS αποκλίνουν λόγω της ηπειρωτικής ολίσθησης με μια ταχύτητα περίπου 2,5 cm ετησίως. Μέχρι το έτος 2000 τα δύο ισότιμα συστήματα διέφεραν περίπου 25 cm. Πρέπει να γίνει σαφές ότι το 89 στο όνομα του συστήματος αναφοράς, δεν είναι το έτος λύσης (πραγματοποίησης), αλλά ένα έτος αρχικού καθορισμού, όταν το ETRS89 ήταν πλήρως ισοδύναμο με το ITRS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

2.1. Ορισμός της Τηλεπισκόπησης

Σύμφωνα με το βιβλίο του Αναπληρωτή Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών, Κούτσια Νικόλαο, με τίτλο «Τηλεπισκόπηση», παρατίθενται οι παρακάτω δύο ορισμοί για την τηλεπισκόπηση.

Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται με τη γενική και ευρεία της έννοια ως η, χωρίς τη φυσική επαφή, απόκτηση δεδομένων και πληροφοριών για επιφάνειες και αντικείμενα της Γης. Ο ακριβής ορισμός της είναι δύσκολο να δοθεί και ορισμοί όπως ο παραπάνω θεωρούνται συνήθως πολύ γενικοί (HARRIS 1987). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλοί τρόποι απόδοσης του ορισμού της τηλεπισκόπησης. Σε όλους υπάρχουν δύο κοινά σημεία τα οποία χαρακτηρίζουν το επιστημονικό αυτό πεδίο, η έννοια της «συλλογής πληροφοριών» και η έννοια της «παρατήρησης από απόσταση».

Σύμφωνα με την American Society of Photogrammetry, η τηλεπισκόπηση ορίζεται στην ευρεία της έννοια ως «η μέτρηση κάποιας ιδιότητας ή η απόκτηση πληροφοριών σχετικά με κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου, με τη χρήση συσκευής καταγραφής η οποία δε βρίσκεται σε φυσική ή πολύ στενή επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο» (COLWELL 1975).

2.2. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Προκειμένου να αποτυπωθεί ένα τμήμα της γήινης επιφάνειας από έναν δορυφόρο, χρειάζεται η εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η αποτύπωση αυτή γίνεται με τη βοήθεια ειδικών οργάνων, των τηλε-απεικονιστών, στους οποίους περιέχεται και η φωτογραφική μηχανή. Προκειμένου οι τηλε-απεικονιστές να παράξουν εικόνες, χρειάζονται κάποια μορφή ενέργειας όπως είναι φυσικό. Η κυριότερη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος και η ενέργεια που δίνει είναι γνωστή σαν ηλεκτρομαγνητική (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).

Συνεπώς, η αποτύπωση των αντικειμένων τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης γίνεται χάρη στη συμβολή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από κύματα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, τα οποία διαδίδονται σε κάποιο μέσο (ατμόσφαιρα, νερό, υλικά σώματα) λόγω της περιοδικής διαταραχής των δύο πεδίων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εμφανίζονται με πολλές

διαφορετικές μορφές όπως είναι τα μικροκύματα, το ορατό φως, τα ραδιοκύματα, η υπέρυθρη και η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες Χ, οι ακτίνες Γ, οι κοσμικές ακτίνες. Τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι: α) το μήκος κύματος, δηλαδή η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο του κύματος και β) η συχνότητα, ο αριθμός δηλαδή των κύκλων του κύματος που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός ($c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$) η οποία δίνεται από το γινόμενο της συχνότητας και του μήκους κύματος. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιέχει ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών μηκών κύματος, εκ των οποίων μόνο ένα μικρό εύρος μηκών κυμάτων καταλαμβάνει το ορατό (μεταξύ 400 και 700nm) (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).

Παρακάτω παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σύμφωνα με τους Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I. (2015):

1. Ράδιο-κύματα, έχουν μήκος κύματος **από 10cm έως 10km**.
2. Μικροκύματα, έχουν μήκος κύματος **από 1mm έως 1m**.

Τα μικροκύματα διαιρούνται επίσης στις εξής 8 φασματικές ζώνες (1GHz=10⁹Hz)

- ❖ P ζώνη: 0.3 - 1GHz (30 - 100cm).
- ❖ L ζώνη: 1 - 2GHz (15 - 30cm).
- ❖ S ζώνη: 2 - 4GHz (7.5 - 15cm).
- ❖ C ζώνη: 4 - 8GHz (3.8 - 7.5cm).
- ❖ X ζώνη 8 - 12.5GHz (2.4 - 3.8cm).
- ❖ Ku ζώνη: 12.5 - 18GHz (1.7 - 2.4cm).
- ❖ K ζώνη: 18 - 26.5GHz (1.1 - 1.7cm).
- ❖ Ka ζώνη: 26.5 - 40GHz (0.75 - 1.1cm).

3. Υπέρυθρα μικροκύματα, έχουν μήκος κύματος **από 0.7 έως 300 μm** και διαιρούνται στις ακόλουθες 5 κατηγορίες:
 - ❖ Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος (Near Infrared, NIR): **από 0.7 έως 1.5μm**.
 - ❖ Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR): **από 1.5 έως 3μm**.
 - ❖ Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR): **από 3 έως 8μm**.

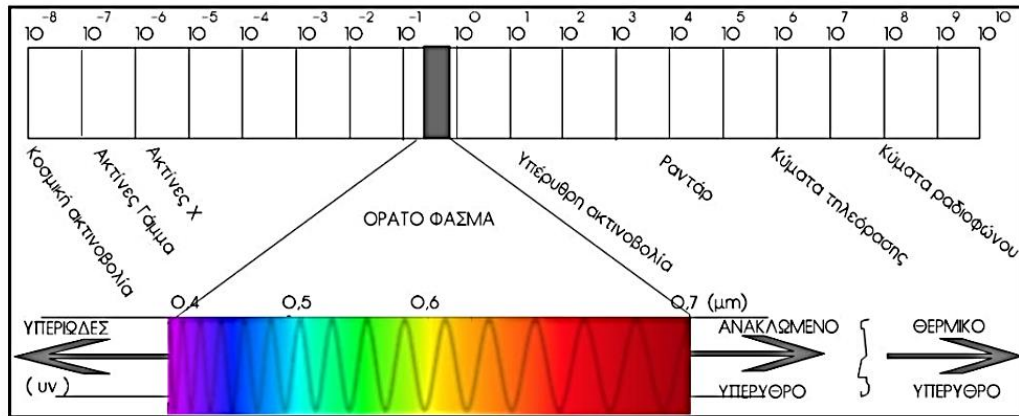
- ❖ Υπέρυθρα μεγάλα μήκη κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR): **από 8 έως 15μm.**
- ❖ Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (Far Infrared, FIR): με **μεγαλύτερο μήκος κύματος από 15μm.**

Τα NIR και SWIR είναι γνωστά ως Ανακλώμενα υπέρυθρα (Reflected Infrared), ενώ τα MWIR και τα LWIR είναι γνωστά ως θερμικά υπέρυθρα (Thermal Infrared).

4. Τα ορατά μήκη κύματος κυμαίνονται **από 400 nm** (απόχρωση του μωβ) **έως περίπου 700nm** (απόχρωση του κόκκινου) και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το χρώμα στο οποίο αντιστοιχούν στις παρακάτω 6 φασματικές ζώνες.
 - ❖ Ζώνη του κόκκινου : 610 - 700nm.
 - ❖ Ζώνη του πορτοκαλί: 590 - 610nm.
 - ❖ Ζώνη του κίτρινου: 570 - 590nm.
 - ❖ Ζώνη του πράσινου: 500 - 570nm.
 - ❖ Ζώνη του μπλε: 450 - 500nm.
 - ❖ Ζώνη απόχρωσης του μπλε (indigo): 430 - 450nm.
 - ❖ Ζώνη του βιολετί: 400 - 430nm.
5. Τέλος οι φασματικές ζώνες με τα μικρότερα μήκη κύματος είναι:
 - a. Ζώνη του υπεριώδους : **από 3 έως 400nm.**
 - b. Ζώνες των ακτινών X και των ακτινών Γάμμα (Gamma Rays).

Το κομμάτι εκείνο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι και δυνατό να καταγραφεί από τους τηλε-απεικονιστές λέγεται **ορατό φάσμα** (4^η κατηγορία). Εκτός από το οπτικό φάσμα, είναι γνωστές και διάφορες άλλες περιοχές των μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος κυρίως από τις διάφορες χρήσεις τους. Το μήκος κύματος μετριέται από μια κορυφή ενός κύματος έως την επόμενη και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ.

Στο σχήμα 5 που ακολουθεί απεικονίζεται σχηματικά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.



Σχήμα 5. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

(Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015)

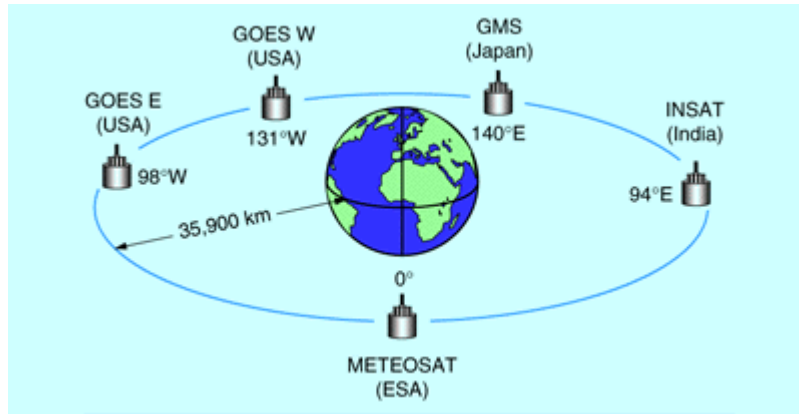
2.3. Δορυφορικές Τροχιές

Η τροχιά στην οποία βρίσκεται ένας δορυφόρος μπορεί να παραμείνει ίδια για μεγάλο χρονικό διάστημα καθώς η έλξη της βαρύτητας της Γης εξισορροπεί τη φυγόκεντρο δύναμη. Δεδομένου ότι οι δορυφόροι κινούνται σε τροχιά έξω από την ατμόσφαιρα, δεν υπάρχει αντίσταση από τον αέρα, συνεπώς, σύμφωνα με τον νόμο της αδράνειας, η ταχύτητα του δορυφόρου είναι σταθερή, με αποτέλεσμα να είναι σταθερή και η τροχιά του γύρω από τη Γη για πολλά έτη. Όσο απομακρυνόμαστε από τη Γη, η δύναμη της βαρύτητας μικραίνει και η φυγόκεντρος δύναμη αυξάνεται όσο μεγαλώνει η τροχιακή ταχύτητα. Επομένως, ένας δορυφόρος χαμηλής τροχιάς (π.χ. στα 800km από τη Γη) ο οποίος εκτίθεται σε μια μεγάλη βαρυτική έλξη θα πρέπει να κινηθεί με μεγάλη ταχύτητα για να αποκτήσει μια αντίστοιχη φυγόκεντρο δύναμη και να παραμείνει στην ίδια τροχιά. Συνεπώς, υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της απόστασης από τη Γη και της τροχιακής ταχύτητας ενός δορυφόρου (ESA, 2015. Satellite orbits).

Υπάρχουν δύο είδη δορυφορικών τροχιών (ESA, 2015. Satellite orbits):

1) Γεωστατική Τροχιά

Η γεωστατική τροχιά αναφέρεται στα 36.000km και άνω από τον γήινο ισημερινό και είναι γνωστή για τους τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους καθώς και για τους δορυφόρους των τηλεοπτικών σημάτων. Επισημαίνεται ότι τα σήματα από αυτούς τους δορυφόρους μπορούν να σταλθούν σε κάθε άκρη της Γης και χρειάζεται να παραμένουν στατικοί (οι δορυφόροι) στην ίδια θέση σε σχέση με την επιφάνεια της Γης (Σχήμα 6.).

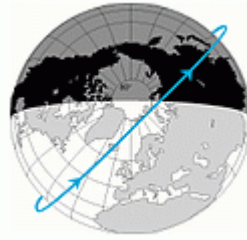


Σχήμα 6. Δορυφόροι σε γεωστατική τροχιά

(πηγή: ESA, 2015. Satellite orbits)

2) Ηλιοσύγχρονη Τροχιά

Οι δορυφόροι εξαρτώνται από το ηλιακό φως και επομένως από την τροχιά γύρω από τη Γη. Ο λόγος είναι οι αισθητήρες που φέρουν, οι οποίοι όπως ήδη αναφέρθηκε, μετρούν την αντανάκλαση του φωτός που προέρχεται από τον ήλιο και ανακλάται στη Γη. Είναι απαραίτητο λοιπόν, οι τροχιές τους να είναι προσαρμοσμένες στην εναλλαγή ημέρας-νύχτας. Οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν πολύ σημαντικά εργαλεία έρευνας επειδή οι επιστήμονες μπορούν να τις συγκρίνουν και να εξάγουν από αυτές χρήσιμα συμπεράσματα. Για να γίνει όμως αυτή η σύγκριση θα πρέπει οι συνθήκες φωτισμού να είναι ίδιες. Συνεπώς, οι καταγραφές θα πρέπει να πραγματοποιούνται την ίδια τοπική ώρα της ημέρας, έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο ίδιο σημείο πάνω από τον ορίζοντα και το επίπεδο της δορυφορικής τροχιάς να διατηρεί σταθερή γωνία ως προς το φως του ήλιου. Για να επιτευχθούν όλες αυτές οι προϋποθέσεις θα πρέπει ο δορυφόρος να κινείται σε πολική τροχιά. Σημειώνεται ότι καθώς ο δορυφόρος περιστρέφεται στην τροχιά του, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της. Κάθε φορά που ο δορυφόρος κάνει μια πλήρη περιστροφή, σαρώνει και μια νέα λωρίδα γήινης επιφάνειας. Έτσι, μετά από ένα ορισμένο αριθμό περιστροφών θα έχει σαρωθεί ολόκληρη η επιφάνεια της Γης. Μερικοί δορυφόροι σαρώνουν λωρίδες με σχετικά μεγάλο πλάτος, επομένως, μπορούν να καλύψουν ολόκληρη τη Γη με λίγες περιστροφές. Αντίθετα, οι δορυφόροι υψηλής ανάλυσης σαρώνουν λωρίδες πολύ μικρού πλάτους και κατά συνέπεια χρειάζονται αρκετές ημέρες για να καλύψουν ολόκληρη τη Γη (Σχήμα 7.).



Σχήμα 7. Ηλιοσύγχρονη τροχιά δορυφόρου

(πηγή: ESA, 2015. Satellite orbits)

2.4. Δορυφόροι και Αισθητήρες

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η αποτύπωση της γήινης επιφάνειας γίνεται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η τηλεπισκόπηση ουσιαστικά αφορά στην εξέταση παρατηρούμενων αντικειμένων σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Σε αυτό βοηθούν οι αισθητήρες οι οποίοι είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των δεδομένων (για τη μέτρηση της ακτινοβολίας που φτάνει στο δορυφορικό όργανο). Σκοπός είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία να αποδοθεί ως ψηφιακή εικόνα. Σημειώνεται ότι οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στους δορυφόρους.

2.4.1. Πολυφασματικοί και Υπερφασματικοί Αισθητήρες

Πολλά συστήματα τηλεπισκόπησης καταγράφουν ενέργεια σε ξεχωριστές περιοχές μηκών κύματος σε ποικίλες φασματικές αναλύσεις. Αυτά τα συστήματα είναι η πιο συνηθισμένη μορφή τηλεπισκοπικών αισθητήρων και ονομάζονται πολυφασματικοί αισθητήρες (4 έως 7 κανάλια). Βασίζονται στη χρήση λίγων και σχετικά μεγάλου φασματικού εύρους περιοχών. Σύνθετοι πολυφασματικοί αισθητήρες ονομάζονται υπερφασματικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν εκατοντάδες φασματικές μπάντες, οι οποίες είναι πολύ μικρές, σε όλο το ορατό, το εγγύς-υπέρυθρο και μέσο-υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η πολύ υψηλή φασματική ανάλυση τους διευκολύνει την υψηλή διάκριση μεταξύ των διαφορετικών στόχων με βάση τη φασματική τους απόκριση σε κάθε μία από τις μικρές μπάντες (Ποϊραζίδης, Κ., Βούλγαρης Μ. Δ., Κεφαλάς Γ., Λορίλια Ρ. Σ., 2013). Η υπερφασματική τηλεπισκόπηση, σε αντίθεση με την πολυφασματική, αναφέρεται σε δορυφορικές εικόνες με πολλά φασματικά κανάλια (περισσότερα από 15) (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015). Η παρούσα εργασία δεν εστιάζει στις υπερφασματικές εικόνες αλλά στις πολυφασματικές.

Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της Γης καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα διάφορα αντικείμενα στην επιφάνεια της Γης, δηλαδή οι διαφορετικές καλύψεις της, όπως είναι φυσικό, αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σημειώνεται ότι πρόκειται για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου, στις περισσότερες περιπτώσεις και για τους παθητικούς αισθητήρες. Είναι λογικό λοιπόν οι διαφορετικές καλύψεις Γης να αντιδρούν διαφορετικά στη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και έτσι εμφανίζονται σκοτεινότερες ή φωτεινότερες ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε αυτές. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν εικόνες ακριβώς της ίδιας περιοχής καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά με διαφορετική φωτεινή ένταση στις διαφορετικές περιοχές τους. Η διαφορετικότητα αυτή της καταγραφής στα διαφορετικά μήκη κύματος (όχι μόνον του ορατού φάσματος αλλά και στο υπέρυθρο και στις θερμικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος) είναι μία σημαντική αρχή επάνω στην οποία βασίζεται η Τηλεπισκόπηση (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).

2.4.2. Ενεργητικοί και Παθητικοί Αισθητήρες

2.4.2.1. Παθητικοί Αισθητήρες

Οι παθητικοί αισθητήρες δεν εκπέμπουν οι ίδιοι ακτινοβολία αλλά ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και τη θερμική ακτινοβολία στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Σχήμα 8.). Οι περισσότεροι δορυφόροι (π.χ. Landsat) είναι εφοδιασμένοι με έναν πολυφασματικό σαρωτή ο οποίος έχει την ιδιότητα να καταγράφει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που προέρχεται από την ίδια περιοχή της γήινης επιφάνειας, την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διάφορα μήκη κύματος, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τα διαφορετικά φασματικά κανάλια μιας πολυφασματικής δορυφορικής εικόνας (SEOS 2011). Οι δορυφόροι αυτοί περιλαμβάνουν διαφόρων τύπων παθητικούς αισθητήρες οι κυριότεροι των οποίων καταγράφουν στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο, θερμικό υπέρυθρο και τμήματα της περιοχής των μικροκυμάτων του Η/Μ φάσματος (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).



Σχήμα 8. Παθητικοί Αισθητήρες

(πηγή: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.) παρουσιάζονται κάποιοι παθητικοί αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στους δορυφόρους (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).

Πίνακας 1. Παθητικοί Αισθητήρες

ΟΡΓΑΝΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
Επιταχυνσιόμετρο	Καταγράφει τη γραμμική επιτάχυνση σε μία ή περισσότερες διαστάσεις καθώς και τη γωνιακή επιτάχυνση.
Ηχώμετρο	Μετρά τις κατακόρυφες κατανομές ατμοσφαιρικών παραμέτρων (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, συνθετική πολυφασματική πληροφορία).
Φασματόμετρο	Ανιχνεύει, μετρά και αναλύει το φασματικό περιεχόμενο της προσπίπτουσας Η/Μ ακτινοβολίας.
Ραδιόμετρο	Μετρά ποσοτικά την ένταση της Η/Μ ακτινοβολίας σε ορισμένα τμήματα του Η/Μ φάσματος. Υπάρχουν ραδιόμετρα για το ορατό, το υπέρυθρο ή τα μικροκύματα.
Απεικονιστικό Ραδιόμετρο	Έχει την ιδιότητα να σαρώνει και να δημιουργεί ένα διδιάστατο πίνακα εικονοστοιχείων από τον οποίο δημιουργείται και η δορυφορική εικόνα ενός φασματικού καναλιού.
Φασματο-ραδιόμετρο	Μετρά την ένταση της ακτινοβολίας σε πολλαπλά φασματικά κανάλια (πολυφασματικό). Μερικές φορές τα φασματικά κανάλια είναι υψηλής φασματικής ανάλυσης σχεδιασμένα για τη μέτρηση ειδικών γεωφυσικών παραμέτρων.
Υπερφασματικό ραδιόμετρο	Εξελιγμένος πολυφασματικός αισθητήρας που ανιχνεύει εκατοντάδες φασματικά κανάλια πολύ μικρού εύρους, στο ορατό, το υπέρυθρο και το μέσο υπέρυθρο μήκος κύματος του Η/Μ φάσματος. Έτσι μπορεί να διαχωρίζει διαφορετικές καλύψεις Γης που αλλάζουν φασματικές ιδιότητες ανά πολύ μικρά διαστήματα μήκους κύματος στο Η/Μ φάσμα.

2.4.2.2. Ενεργητικοί Αισθητήρες

Αυτό που κάνει τους ενεργητικούς αισθητήρες να ξεχωρίζουν από τους παθητικούς είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν δική τους ακτινοβολία, το σήμα της οποίας ανακλάται, διαθλάται ή διαχέεται στη γήινη επιφάνεια ή ατμόσφαιρα και να το καταγράφουν στην επιστροφή του (Σχήμα 9.). Οι πιο γνωστοί είναι τα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar/SAR) καθώς και οι αισθητήρες φθορισμού με ακτίνες Laser. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, τη σχετικά χαμηλή βροχή και το χιόνι και άρα δεν εξαρτώνται από καιρικές συνθήκες, ούτε από συνθήκες φωτισμού του ήλιου. Έχουν επίσης τη δυνατότητα να διαπερνούν τη βλάστηση και το έδαφος μέχρι βάθους περίπου ενός μέτρου καθώς και να εκτιμήσουν την υγρασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Ακόμη, χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως η γεωλογία, η γεωργία, η δασολογία, η υδρολογία, η ωκεανογραφία και η καταγραφή και μελέτη των πάγων στη γήινη επιφάνεια. Πολύ σημαντική λειτουργία τους είναι η καταμέτρηση της χρονικής διαφοράς μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρέφοντος σήματος καθώς χρησιμεύει για τον υπολογισμό αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών. Το βασικό μειονέκτημα των ραντάρ είναι ότι λόγω της χαμηλής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, το σήμα που καταγράφουν μπορεί να αλλοιωθεί από παρεμβολές και δεν έχει πολυφασματικά χαρακτηριστικά (NASA 2015). Παράδειγμα αποτελεί ο ευρωπαϊκός δορυφόρος ERS 2 ο οποίος κατασκευάστηκε από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency-ESA) και πέταξε το 1995 (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).



Σχήμα 9. Ενεργητικοί Αισθητήρες

[\(https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/\)](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/)

2.4.3. Διακριτική Ικανότητα

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι. Παρακάτω ακολουθούν οι 4 βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν μια δορυφορική εικόνα και οι οποίες συνθέτουν τη *διακριτική ικανότητα* του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου (Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I., 2015).

- Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution): Αναφέρεται στο ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, δηλαδή στη γήινη έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας του συγκεκριμένου αισθητήρα (του συγκεκριμένου δορυφόρου). Για παράδειγμα, όταν το spatial resolution της εικόνας είναι 25m, σημαίνει ότι ένα pixel της εικόνας, αντιστοιχεί σε 25 μέτρα στην πραγματικότητα. Pixel ονομάζουμε το στοιχειώδες κομμάτι εικόνας ή εικονοστοιχείο, συνήθως στην οθόνη του υπολογιστή, (αλλά και στις ψηφιακές εικόνες γενικότερα) που αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο μέγεθος της γήινης επιφάνειας. Προέρχεται από τη συντόμευση και συγκοπή Pict-el από το Picture Element.
- Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution): Αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει την επιφάνεια της Γης ο συγκεκριμένος αισθητήρας συνεπώς ουσιαστικά αναφέρεται στον αριθμό των φασματικών καναλιών από τα οποία αποτελείται η συγκεκριμένη δορυφορική εικόνα.
- Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution): Αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων της έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας. Ουσιαστικά πρόκειται για τον αριθμό των bits που περιέχει η τιμή του εικονοστοιχείου στο δυαδικό σύστημα και που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ακέραιο αριθμό στο δεκαδικό σύστημα.
- Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution): Αναφέρεται στον χρόνο επαναδιέλευσης (και άρα επανεγγραφής) από την ίδια γήινη περιοχή.

2.4.4. Οι Δορυφόροι Landsat

Παρακάτω ακολουθεί η ιστορία των δορυφόρων Landsat, όπως παρουσιάζεται από το βιβλίο των Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I. (2015) καθώς και από τη Γεωλογική Ένωση των Η.Π.Α. (USGS-United States Geological Survey).

Landsat 1-3

Η ιστορία των δορυφόρων Landsat ξεκινά τον Ιούλιο του 1972, όταν η NASA πέταξε με το αρχικό όνομα ERTS.A (Earth Resources Technology Satellite) τον πρώτο δορυφόρο της σειράς LANDSAT (LAND SATELLITE). Ο **Landsat 1** ήταν ηλιοσύγχρονος δορυφόρος, με σχεδόν πολική τροχιά, ολοκλήρωνε μια περιστροφή της Γης σε 103 λεπτά (14 φορές την ημέρα) και είχε ύψος πτήσης 917km. Πετούσε από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 18 ημέρες, δυστυχώς όμως το 1978 έπαψε να λειτουργεί. Τον Ιανουάριο του 1975 η NASA πέταξε ένα δορυφόρο ίδιο με τον προηγούμενο με διαφορά φάσης εννέα ημερών, τον **Landsat 2**, ο οποίος είχε τα ίδια χαρακτηριστικά με τον Landsat 1 και ύψος πτήσης 900km. Τον Μάρτιο του 1978 εκτοξεύθηκε και ένας τρίτος δορυφόρος, ο **Landsat 3**, έχοντας τα ίδια τα χαρακτηριστικά με τους προηγούμενους (ύψος πτήσης 917km), ο οποίος αντικατέστησε ουσιαστικά τον πρώτο, που όπως αναφέρθηκε σταμάτησε να λειτουργεί. Αυτός είχε την ιδιότητα να καλύπτει τις ίδιες τροχιές κάθε εννέα ημέρες. Στην πραγματικότητα όμως, και ενώ φαινόταν ότι λειτουργούν συγχρόνως οι δορυφόροι Landsat 2 και 3, η NASA προγραμματίζει πάντα τον έναν μόνο από τους δύο και μάλιστα αυτόν που κατέγραφε το φωτεινό μέρος της Γης. Τα βασικά είδη οργάνων που μετέφεραν για την καταγραφή της επιφάνειας της Γης οι δορυφόροι Landsat 1-3 ήταν δύο:

α) Κάμερες Επιστρεφόμενης Δέσμης (Return Beam Vidicon- RBV cameras)

-Landsat 1: χωρική ανάλυση 80 μέτρα, τρεις κάμερες (κανάλι 1 ορατό μπλε-πράσινο → 475 nm έως 575 nm, κανάλι 2 ορατό πορτοκαλί-κόκκινο → 580nm έως 680nm, κανάλι 3 ορατό κόκκινο έως εγγύς υπέρυθρο → 690nm έως 830nm)

-Landsat 2: χωρική ανάλυση 80 μέτρα, τρεις κάμερες (κανάλι 1 ορατό μπλε-πράσινο → 475 nm έως 575 nm, κανάλι 2 ορατό πορτοκαλί-κόκκινο → 580nm έως 680nm, κανάλι 3 ορατό κόκκινο έως εγγύς υπέρυθρο → 690nm έως 830nm)

-Landsat 3: χωρική ανάλυση 40 μέτρα, δύο κάμερες που λειτουργούν σε ένα ευρύ φασματικό κανάλι (πράσινο έως εγγύς υπέρυθρο → 0.505μm έως 0.750μm)

β) Πολυφασματικός Σαρωτής (Multispectral Scanner - MSS)

-Landsat 1: Ground Sampling Interval (pixel size): 57 x 79 m, χωρική ανάλυση 80 μέτρα σε τέσσερα κανάλια (κανάλι 4 ορατό πράσινο → 0.5μm έως 0.6μm, κανάλι 5 ορατό κόκκινο → 0.6μm έως 0.7μm, κανάλι 6 εγγύς υπέρυθρο → 0.7μm έως 0.8μm, κανάλι 7 εγγύς υπέρυθρο → 0.8μm έως 1.1μm)

-Landsat 2: Ground Sampling Interval (pixel size): 57 x 79 m, χωρική ανάλυση 80 μέτρα σε τέσσερα κανάλια (κανάλι 4 ορατό πράσινο → 0.5μm έως 0.6μm, κανάλι 5 ορατό κόκκινο → 0.6μm έως 0.7μm, κανάλι 6 εγγύς υπέρυθρο → 0.7μm έως 0.8μm, κανάλι 7 εγγύς υπέρυθρο → 0.8μm έως 1.1μm)

-Landsat 3: Ground Sampling Interval (pixel size): 57 x 79 m, χωρική ανάλυση 80 μέτρα σε τέσσερα κανάλια (κανάλι 4 ορατό πράσινο → 0.5μm έως 0.6μm, κανάλι 5 ορατό κόκκινο → 0.6μm έως 0.7μm, κανάλι 6 εγγύς υπέρυθρο → 0.7μm έως 0.8μm, κανάλι 7 εγγύς υπέρυθρο → 0.8μm έως 1.1μm). Σημειώνεται πως υπήρχε ένα 5^ο κανάλι, το θερμικό, ωστόσο δε λειτούργησε ποτέ (NASA, 2022, Landsat science).



Σχήμα 10. Σκίτσο των δορυφόρων Landsat 1-3

(πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-1>)

Landsat 4-5

Τον Ιούλιο του 1982 εκτοξεύτηκε ο δορυφόρος **Landsat 4** και το Μάρτιο του 1984 πέταξε ο **Landsat 5**. Η πλατφόρμα που μετέφερε τα διάφορα όργανα ήταν τελείως διαφορετική και η τροχιά που προτιμήθηκε ήταν χαμηλότερη, στα 705km, για να είναι δυνατές οι επιδιορθώσεις από το διαστημικό λεωφορείο. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι είναι ηλιοσύγχρονοι, κινούνται σε πολική τροχιά και ολοκληρώνουν μια περιστροφή σε 99 λεπτά (14,5 φορές την ημέρα). Περνάνε από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 16 ημέρες. Η διακριτική ικανότητα του καινούριου MSS ήταν 82m, τα κανάλια

μετονομάστηκαν από 4, 5, 6, 7 σε 1, 2, 3, 4 και η RBV κάμερα εγκαταλείφθηκε. Επιπλέον, ο θεματικός χαρτογράφος (Thematic Mapper-TM), ένα καινούριο όργανο με ένα ραδιόμετρο υψηλής διακριτικής ικανότητας 30m στα έξι κανάλια του και 120m στο θερμικό υπέρυθρο, αποτέλεσε το νέο όργανο καταγραφής των Landsat 4 και 5. Τα βασικά είδη οργάνων που μετέφεραν για την καταγραφή της επιφάνειας της Γης οι δορυφόροι Landsat 4-5 ήταν δύο:

α) Πολυφασματικός Σαρωτής (Multispectral Scanner - MSS)

(παρόμοιος με εκείνον των δορυφόρων Landsat 1-3)

-Landsat 4: Ground Sampling Interval (pixel size): 57 x 79 m / Τέσσερα φασματικά κανάλια (κανάλι 4 ορατό → 0.5μm έως 0.6μm, κανάλι 5 ορατό → 0.6μm έως 0.7μm, κανάλι 6 εγγύς υπέρυθρο → 0.7μm έως 0.8μm, κανάλι 7 εγγύς υπέρυθρο → 0.8μm έως 1.1μm)

-Landsat 5: Ground Sampling Interval (pixel size): 57 x 79 m / Τέσσερα φασματικά κανάλια (κανάλι 4 ορατό πράσινο → 0.5μm έως 0.6μm, κανάλι 5 ορατό κόκκινο → 0.6μm έως 0.7μm, κανάλι 6 εγγύς υπέρυθρο → 0.7μm έως 0.8μm, κανάλι 7 εγγύς υπέρυθρο → 0.8μm έως 1.1μm)

β) Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper - TM)

Η βελτιωμένη φασματική και χωρική ανάλυση του θεματικού χαρτογράφου, επιτρέπει στο όργανο να δει το έδαφος με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και περιλαμβάνει και ένα θερμικό κανάλι.

-Landsat 4: Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο και 120 m στο θερμικό / Εφτά φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός θερμικού (κανάλι 1 ορατό → 0.45μm έως 0.52μm, κανάλι 2 ορατό → 0.52μm έως 0.60μm, κανάλι 3 ορατό → 0.63μm έως 0.69μm, κανάλι 4 εγγύς υπέρυθρο → 0.76μm έως 0.90μm, κανάλι 5 εγγύς υπέρυθρο → 1.55μm έως 1.75μm, κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm, κανάλι 7 μέσο υπέρυθρο → 2.08μm έως 2.35μm)

-Landsat 5: Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο και 120 m στο θερμικό / Εφτά φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός θερμικού (κανάλι 1 ορατό → 0.45μm έως 0.52μm, κανάλι 2 ορατό → 0.52μm έως 0.6μm, κανάλι 3 ορατό → 0.63μm έως 0.69μm, κανάλι 4 εγγύς υπέρυθρο → 0.76μm έως 0.90μm, κανάλι 5 εγγύς

υπέρυθρο → 1.55μm έως 1.75μm, κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm, κανάλι 7
μέσο υπέρυθρο → 2.08μm έως 2.35μm)



Σχήμα 11. Απόδοση των δορυφόρων Landsat 4-5

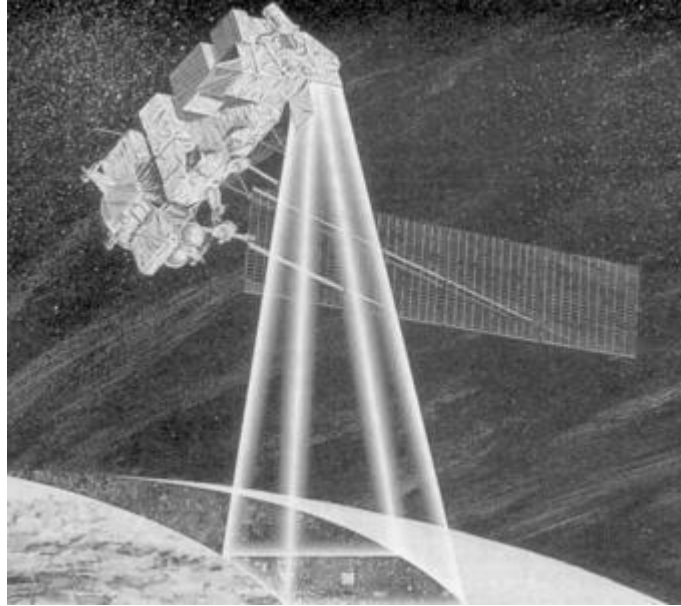
(πηγή <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-4>)

Landsat 6

Στη συνέχεια, ο **Landsat 6**, ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 1993 να τεθεί σε τροχιά (ηλιοσύγχρονος δορυφόρος, πολική τροχιά) στο ύψος των 705km. Ωστόσο δεν επιτεύχθηκε αυτός ο στόχος. Έφερε έναν ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper-ETM) που εκτός από τα επτά κανάλια του προηγούμενου TM περιείχε και ένα όγδοο με εύρος φάσματος από 0,52 έως 0,90μm, ειδικός για χαρτογράφηση.

Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (Enhanced Thematic Mapper - ETM)

Landsat 6: Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο, 120 m στο θερμικό και 15 m στο παγχρωματικό / Οκτώ φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός παγχρωματικού (κανάλι 1 μπλε → 0.45μm έως 0.52μm, κανάλι 2 πράσινο → 0.52μm έως 0.60μm, κανάλι 3 κόκκινο → 0.63μm έως 0.69μm, κανάλι 4 εγγύς υπέρυθρο → 0.76μm έως 0.90μm, κανάλι 5 εγγύς υπέρυθρο → 1.55μm έως 1.75μm, κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm, κανάλι 7 μέσο υπέρυθρο → 2.08μm έως 2.35μm, κανάλι 8 παγχρωματικό → 0,52μm έως 0,90μm)



Σχήμα 12. Σκίτσο του δορυφόρου Landsat 6 εάν ήταν σε τροχιά

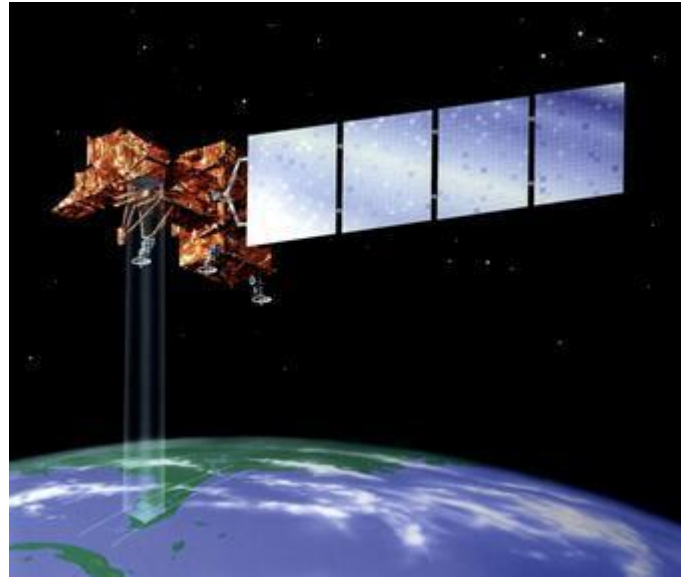
(πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-6>)

Landsat 7

Τον Απρίλη του 1999 εκτοξεύτηκε ο **Landsat 7** και φέρει έναν ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper-ETM) όπως ο Landsat 6. Βρίσκεται σε υψόμετρο 705km, είναι ηλιοσύγχρονος, κινείται σε πολική τροχιά και ολοκληρώνει μια περιστροφή σε 99 λεπτά (14,5 φορές την ημέρα). Περνάει από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 16 ημέρες. Έχει μια σημαντική βελτίωση στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι καθώς η διακριτική του ικανότητα αντί για 120m είναι 60m και επιπλέον στη φασματική περιοχή από 8 έως 11,6μm έχει τέσσερις ζώνες (κανάλια).

Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (Enhanced Thematic Mapper - ETM)

Landsat 7: Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο, 60 m στο θερμικό και 15 m στο παγχρωματικό / Οκτώ φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός παγχρωματικού (κανάλι 1 μπλε → 0.45μm έως 0.52μm, κανάλι 2 πράσινο → 0.52μm έως 0.60μm, κανάλι 3 κόκκινο → 0.63μm έως 0.69μm, κανάλι 4 εγγύς υπέρυθρο → 0.77μm έως 0.90μm, κανάλι 5 υπέρυθρο βραχέων κυμάτων → 1.55μm έως 1.75μm, κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm, κανάλι 7 μέσο υπέρυθρο → 2.08μm έως 2.35μm, κανάλι 8 παγχρωματικό → 0.52μm έως 0.90μm)



Σχήμα 13. Απόδοση του δορυφόρου Landsat 7

(πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>)

Landsat 8

Τον Φεβρουάριο του 2013 εκτοξεύτηκε ο **Landsat 8** ο οποίος φέρει δύο αισθητήρες. Πρόκειται για τον OLI (Operational Land Imager) καθώς και για το θερμικό αισθητήρα TIRS (Thermal Infrared Sensor-TIRS). Βρίσκεται σε υψόμετρο 705km, είναι ηλιοσύγχρονος δορυφόρος, κινείται σε πολική τροχιά και ολοκληρώνει μια περιστροφή σε 99 λεπτά (14,5 φορές την ημέρα). Περνάει από τα ίδια σημεία και την ίδια ώρα κάθε 16 ημέρες.

α) Operational Land Imager (OLI)

Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο και 15 m στο παγχρωματικό / Εννιά φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός παγχρωματικού (κανάλι 1 Coastal Aerosol → 0.43μm έως 0.45μm, κανάλι 2 μπλε → 0.45μm έως 0.51μm, κανάλι 3 πράσινο → 0.53μm έως 0.59μm, κανάλι 4 κόκκινο → 0.64μm έως 0.67μm, κανάλι 5 εγγύς υπέρυθρο → 0.85μm έως 0.88μm, κανάλι 6 υπέρυθρο βραχέων κυμάτων 1 - SWIR 1 → 1.57μm έως 1.65μm, κανάλι 7 υπέρυθρο βραχέων κυμάτων 2 - SWIR 2 → 2.11μm έως 2.29μm, κανάλι 8 παγχρωματικό (PAN) → 0.50μm έως 0.68μm), κανάλι 9 Cirrus → 1.36 μm έως 1.38μm)

β) Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Μετράει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, σε δυο θερμικά υπερφασματικά κανάλια. Ground Sampling Interval (pixel size): 100 m. Δύο φασματικά κανάλια:

- Κανάλι 10 TIRS 1 → 10.6μm έως 11.19μm
- Κανάλι 11 TIRS 2 → 11.5μm έως 12.51μm



Σχήμα 14. Καλλιτεχνική απόδοση του δορυφόρου Landsat 8 σε τροχιά

(πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>)

Landsat 9

Ο τελευταίος δορυφόρος Landsat που έχει μπει σε τροχιά, είναι ο Landsat 9 ο οποίος εκτοξεύτηκε τον Σεπτέμβρη του 2021. Φέρει τον αισθητήρα OLI-2 (Operational Land Imager 2) καθώς και τον Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2).

α) Operational Land Imager 2 (OLI-2)

Ο OLI-2 είναι μια αντιγραφή του OLI που είναι τοποθετημένος στον Landsat 8. Ground Sampling Interval (pixel size): 30 m στο ανακλώμενο και 15 m στο παγχρωματικό / Εννιά φασματικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένου και ενός παγχρωματικού (κανάλι 1 ορατό → 0.43μm έως 0.45μm, κανάλι 2 ορατό → 0.45μm έως 0.51μm, κανάλι 3 ορατό → 0.53μm έως 0.59μm, κανάλι 4 κόκκινο → 0.64μm έως 0.67μm, κανάλι 5 εγγύς υπέρυθρο → 0.85μm έως 0.88μm, κανάλι 6 υπέρυθρο βραχέων κυμάτων 1 – SWIR 1 → 1.57μm έως 1.65μm, κανάλι 7 υπέρυθρο βραχέων κυμάτων 2 – SWIR 2 → 2.11μm έως 2.29μm, κανάλι 8 παγχρωματικό (PAN) → 0.50μm έως 0.68μm), κανάλι 9 Cirrus → 1.36 μm έως 1.38μm)

β) Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2)

Όπως ακριβώς και ο TIRS του Landsat 8, έτσι και ο TIRS-2 μετράει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, σε δυο θερμικά υπερφασματικά κανάλια. Ground Sampling Interval (pixel size): 100 m. Δύο φασματικά κανάλια:

- Κανάλι 10 TIRS 1 → 10.6μm έως 11.19μm
- Κανάλι 11 TIRS 2 → 11.5μm έως 12.51μm



Σχήμα 15. Απόδοση του δορυφόρου Landsat 9 σε τροχιά

(πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>)

2.4.5. Οι Δορυφόροι Sentinel

Παρακάτω ακολουθεί η ιστορία των δορυφόρων Sentinel, όπως παρουσιάζεται στο βιβλίο των Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I. (2015) καθώς και στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency-ESA).

Η ESA ανέπτυξε μια σειρά από αποστολές παρατήρησης Γης «επόμενης γενιάς», για λογαριασμό της κοινής πρωτοβουλίας ESA/Ευρωπαϊκής Επιτροπής Copernicus. Ο στόχος του προγράμματος Sentinel είναι να αντικαταστήσει τις παλαιότερες αποστολές παρατήρησης της Γης που έχουν αποσυρθεί, όπως οι αποστολές ERS & Envisat, ή που πλησιάζουν στο τέλος της επιχειρησιακής τους διάρκειας ζωής. Με αυτόν τον τρόπο δε θα χαθούν χρήσιμα, για τους επιστήμονες, δεδομένα. Κάθε αποστολή εστιάζει σε μια διαφορετική πτυχή παρατήρησης της Γης (παρακολούθηση ατμόσφαιρας, ξηράς, ωκεανών κλπ.) (“Sentinel Overview”, ESA, 2022).

Το Copernicus είναι το πρόγραμμα γεωσκόπησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο παρατηρεί το περιβάλλον και τον πλανήτη μας προς όφελος όλων των ευρωπαϊκών πολιτών. Παρέχει υπηρεσίες πληροφόρησης με βάση δορυφορικά δεδομένα γεωσκόπησης και επίγεια (μη διαστημικά) δεδομένα. Τον συντονισμό και τη διαχείριση του προγράμματος έχει αναλάβει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το πρόγραμμα υλοποιείται σε συνεργασία με τα κράτη μέλη, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT), το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF), οργανισμούς της ΕΕ και την εταιρεία Mercator Océan. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες παγκόσμιων δεδομένων προερχόμενων από δορυφορικά και από επίγεια, αερομεταφερόμενα και θαλάσσια συστήματα μέτρησης, για την παροχή πληροφοριών που βοηθούν τους παρόχους υπηρεσιών, τις δημόσιες αρχές και άλλους διεθνείς οργανισμούς να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Οι χρήστες του προγράμματος έχουν ελεύθερη και απρόσκοπτη πρόσβαση στις παρεχόμενες υπηρεσίες πληροφόρησης (Copernicus.eu).

Sentinel 1

Ο δορυφόρος Sentinel 1 είναι η πρώτη από τις πέντε αποστολές της ESA για την πρωτοβουλία Copernicus. Παρέχει εικόνες ραντάρ ανεξάρτητα από τον καιρό και λειτουργεί και τη μέρα και τη νύχτα. Η χρήση του αφορά στην έρευνα τόσο στις χερσαίες περιοχές όσο και στους ωκεανούς. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel-1A & Sentinel-1B εκτοξεύτηκαν αντίστοιχα στις 3 Απριλίου του 2014 και στις 25 Απριλίου του 2016 και η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής τους είναι τα 7 χρόνια. Είναι ηλιοσύγχρονοι δορυφόροι, κινούνται σε πολική τροχιά και το υψόμετρο τροχιάς τους είναι 693km. Φέρει τον αισθητήρα C-SAR, ο οποίος προσφέρει μέσης και υψηλής ευκρίνειας απεικόνιση σε όλες τις καιρικές συνθήκες και την ημέρα και τη νύχτα. Ανιχνεύει κινήσεις επί του εδάφους, χαρακτηριστικό που τον καθιστά χρήσιμο για χερσαία και θαλάσσια παρακολούθηση. Στόχος της αποστολής είναι να δώσει συνέχεια στον C-Band SAR μετά από την αποχώρηση του ERS-2 και το τέλος της αποστολής του δορυφόρου Envisat. Μερικοί από τους στόχους της αποστολής είναι: α) η παρακολούθηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, β) η χαρτογράφηση σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, γ) η παρακολούθηση κλιματικής αλλαγής, δ) η χαρτογράφηση πετρελαιοκηλίδων, ε) οι τεκτονικές μετατοπίσεις λόγω ρηγμάτων κλπ.

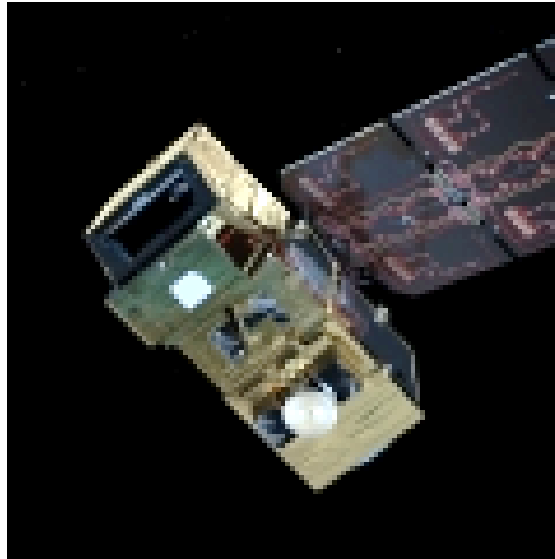


Σχήμα 16. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 1

(πηγή: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>)

Sentinel 2

Ο δορυφόρος Sentinel 2 περιλαμβάνει όργανα πολυφασματικής απεικόνισης και παρέχει εικόνες υψηλής ανάλυσης για την παρακολούθηση του εδάφους. Για παράδειγμα κάποιες εφαρμογές αυτών των εικόνων μπορεί να είναι για τη βλάστηση, για την κάλυψη του νερού και του εδάφους, για το υδρογραφικό δίκτυο και τις παράκτιες περιοχές. Μια πολύ σημαντική ιδιότητά του είναι η παροχή πληροφοριών σε περίπτωση εμφάνισης μιας έκτακτης ανάγκης. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel-2A και Sentinel-2B τέθηκαν σε τροχιά αντίστοιχα στις 22 Ιουνίου 2015 και στις 7 Μαρτίου 2017 και η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής τους είναι τα 7 χρόνια. Είναι ηλιοσύγχρονοι δορυφόροι, κινούνται σε πολική τροχιά και το υψόμετρο τροχιάς τους είναι 786 km. Ο Sentinel 2 στοχεύει στην παρακολούθηση της μεταβλητότητας των συνθηκών της επιφάνειας της Γης. Χάρη στο μεγάλο πλάτος κάλυψης του (εύρος ανοίγματος σάρωσης 290km) και τη συχνή επαναδιέλευση και καταγραφή - 10 ημέρες στον ισημερινό με έναν δορυφόρο και 5 ημέρες με δύο δορυφόρους υπό συνθήκες χωρίς σύννεφα, κάτι το οποίο καταλήγει σε 2-3 μέρες σε μέσα γεωγραφικά πλάτη - ο συγκεκριμένος δορυφόρος βοηθάει πολύ στην καταγραφή της γήινης επιφάνειας. Μερικές από τις εφαρμογές τους είναι: α) η καταγραφή της μόλυνσης παράκτιων και λιμναίων περιοχών, β) οι καταγραφές φυσικών καταστροφών, γ) η καταγραφή δασικών περιοχών/φυτικών πληθυσμών κλπ.



Σχήμα 17. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 2

(πηγή: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>)

Sentinel 3

Ο δορυφόρος Sentinel 3 είναι εφοδιασμένος με διάφορα όργανα και παρέχει υψηλής ακρίβειας οπτικά δεδομένα, δεδομένα ραντάρ καθώς και υψομετρικά δεδομένα για την παρακολούθηση της χέρσου και των ωκεανών. Καταγράφει με πολύ καλή ακρίβεια μεταβλητές όπως η τοπογραφία της θαλάσσιας επιφάνειας, η θερμοκρασία της θαλάσσιας και της χερσαίας επιφάνειας, το χρώμα των ωκεανών και της χέρσου. Τα όργανα τα οποία μεταφέρει είναι το SLSTR - Sea and Land Surface Temperature Radiometer, το OLCI - Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) καθώς και ένα SAR - Synthetic Aperture Radar και ένα MWR - Microwave Radiometer. Οι δίδυμοι δορυφόροι Sentinel-3A και Sentinel-3B τέθηκαν σε τροχιά αντίστοιχα στις 16 Φεβρουαρίου 2016 και στις 25 Απριλίου 2018 και η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής τους είναι τα 7 χρόνια. Η EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) διαχειρίζεται τους δορυφόρους και μεταφέρει τα θαλάσσια δεδομένα ενώ η ESA έχει αναλάβει το χερσαίο τμήμα. Μερικές από τις εφαρμογές αυτών των δορυφόρων είναι: α) η μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας των ωκεανών και του εδάφους, β) η μέτρηση του επιφανειακού χρώματος των ωκεανών και του εδάφους, γ) η ποιότητα του θαλασσινού νερού και η παρακολούθηση της ρύπανσης, δ) η πρόβλεψη του καιρού κλπ.



Σχήμα 18. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 3

(πηγή: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>)

Sentinel 4

Ο δορυφόρος Sentinel 4 θα παρέχει δεδομένα για την παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Ο στόχος είναι να παρακολουθεί βασικά ίχνη αερίων και αερολυμάτων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και διαμορφώνουν την ποιότητα του αέρα. Θα έχει υψηλή χωρική ανάλυση και συχνή επαναδιέλευση. Θα τεθεί σε τροχιά τα επόμενα χρόνια.

Sentinel 5

Ο δορυφόρος Sentinel 5 θα παρέχει επίσης δεδομένα για την παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Θα παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις που αφορούν σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στοιχεία της ατμόσφαιρας όπως το όζων, το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο. Θα τεθεί σε τροχιά τα επόμενα χρόνια.

Sentinel 5P

Ο δορυφόρος Sentinel 5 Precursor τέθηκε σε τροχιά στις 13 Οκτωβρίου του 2017. Πρόκειται για μια αποστολή που στοχεύει να παρέχει δεδομένα μέχρι την εκτόξευση του Sentinel 5. Είναι η πρώτη αποστολή στο πλαίσιο του προγράμματος Copernicus που είναι αφοσιωμένη στην καταγραφή της ατμόσφαιρας. Είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ της ESA, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission), του κέντρου διαστήματος της Ολλανδίας (Netherlands Space Office), της βιομηχανία, των χρηστών

δεδομένων και των επιστημόνων. Η αποστολή αποτελείται από έναν δορυφόρο ο οποίος φέρει το όργανο TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε από την ESA και την Ολλανδία. Σκοπός του συγκεκριμένου δορυφόρου είναι να παρέχει ατμοσφαιρικές μετρήσεις με υψηλή χωροχρονική ανάλυση, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της ποιότητας του αέρα, για την ακτινοβολία όζοντος και UV καθώς και για την παρακολούθηση και πρόβλεψη του κλίματος.



Σχήμα 19. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 5P

(πηγή: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p>)

Sentinel 6

Ο δορυφόρος Sentinel 6 είναι εφοδιασμένος με συγκεκριμένα όργανα ώστε να παρέχει δεδομένα υψομετρίας υψηλής ακρίβειας για τη μέτρηση του υψομέτρου της θαλάσσιας επιφάνειας, κυρίως για ωκεανογραφικούς σκοπούς και για κλιματολογικές μελέτες. Είναι μια συνεργατική αποστολή ανάμεσα στην Ευρώπη (European Union-EU, ESA & EUMETSAT) και στις Η.Π.Α. (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA & National Aeronautics and Space Administration-NASA). Πρόκειται για δύο δορυφόρους, ο ένας εκ των οποίων εκτοξεύτηκε στις 24 Νοεμβρίου 2020 και ο δεύτερος αναμένεται να τεθεί σε τροχιά το 2025.



Σχήμα 20. Απόδοση του δορυφόρου Sentinel 6

(πηγή: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-6>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Σύμφωνα με τον νόμο **N. 4819/2021 (ΦΕΚ 129/Α` 23.7.2021)**, ως απόβλητα «ορίζονται κάθε ουσία ή αντικείμενο, το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει». Ως επικίνδυνα απόβλητα «ορίζονται τα απόβλητα που εμφανίζουν μία ή περισσότερες από τις επικίνδυνες ιδιότητες που αναφέρονται στο Παράρτημα ΙΙΙ του Μέρους Β'» της προαναφερθείσας ΦΕΚ.

Ανάλογα με τη σύστασή τους, τα απόβλητα, περιέχουν πληθώρα συστατικών, τα οποία είτε προϋπάρχουν στο περιβάλλον ως φυσικά συστατικά αλλά εισέρχονται μέσω των αποβλήτων σε επίπεδα μεγαλύτερα των φυσικών (π.χ. θρεπτικά συστατικά, μέταλλα, κ.λπ.), είτε δεν υπάρχουν σε φυσικές πηγές και εισέρχονται ως ξένα στοιχεία (υδρογονάνθρακες, διοξίνες κ.λπ.). Ο διαχωρισμός αυτός είναι απαραίτητος καθότι η απόρριψη αποβλήτων με συστατικά τα οποία υπάρχουν ήδη στο περιβάλλον ως φυσικά, προκαλεί σταδιακές μεταβολές όπως είναι ο ευτροφισμός ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, όπως είναι φυσικό, η είσοδος «ξένων» προς το περιβάλλον στοιχείων, προκαλεί την άμεση υποβάθμιση του καθώς δεν υπάρχουν οι κατάλληλοι φυσικοί μηχανισμοί για να αφομοιώσουν αυτά τα στοιχεία. Η σημαντικότητα αυτών των δύο κατηγοριών, όπως είναι λογικό, εξαρτάται από την ποσότητα των αποβλήτων, από το είδος τους (στερεά, υγρά, αέρια), από την περιεκτικότητά τους στα διάφορα συστατικά καθώς και από το είδος του αποδέκτη (Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, 2022).

3.1. Νομικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων στην Ελλάδα

Το νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα στηρίζεται όπως είναι λογικό, στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας για τα απόβλητα. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι νόμοι που διέπουν τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα, σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με τον Ν. 3854/10 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της

νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και τον Ν.4042/2012,

- Ν.4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα,

- Ν. 4014/11 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει (Άρθρο 12).

- Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/118/ΕΚ, 2001/119/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της Επιτροπής Ε.Κ.

- Κανονισμός (ΕΚ) 1013/2006 Για τις μεταφορές αποβλήτων, όπως έχει τροποποιηθεί, συμπληρωθεί και ισχύει.

- ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016 Β) «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων»

- ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων»

- ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909 Β) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

- ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»

- ΚΥΑ Η.Π. 4641/232/2006 (ΦΕΚ 168 Β) «Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών Χ.Υ.Τ.Α. σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (Παρ.Ι) της υπ' αριθμ.29407/3508/2002 ΚΥΑ»

- ΚΥΑ Η.Π.13588/725/2006: Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991. Αντικατάσταση της υπ.αριθ.19396/1546/1997 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων (ΦΕΚ Β'604/28-3-2006)».
- ΚΥΑ Η.Π. 24944/1159/2006: Έγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ. Β) της υπ' αριθμ. 13588/725 κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων κ.λπ.» (Β'383) και σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του άρθρου 7 (παρ.1) της οδηγίας 91/156/ΕΚ του Συμβουλίου της 18ης Μαρτίου 1991 και του «Εθνικού Σχεδιασμού διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων», που προβλέπονται στο άρθρο 5 της ίδιας ΚΥΑ (ΦΕΚ Β'791/30-6-2006)
- ΚΥΑ 8668/2007 (ΦΕΚ Β'287/2-3-2007): Έγκριση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (ΕΣΔΕΑ), σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ.Α) της υπ' αριθμ. 13588/725 κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων κ.λπ.» (Β' 383) και σε συμμόρφωση με τις διατάξεις του άρθρου 7 (παρ.1) της υπ' αριθμ. 91/156/ΕΚ οδηγίας του Συμβουλίου της 18ης Μαρτίου 1991. Τροποποίηση της υπ' αριθμ.13588/725/2006 κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων ... κ.λπ.» (Β' 383) και της υπ' αριθμ.24944/1159/206 κοινή υπουργική απόφαση «Έγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων ... κ.λπ.» (Β' 791).
- ΚΥΑ 7589/731/2000 (ΦΕΚ Β 514) Για τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη διαχείριση των πολυχλωροδифαινυλίων και πολυχλωροτριφαινυλίων
- ΚΥΑ 18083/1098 Ε.103/ 2003 (ΦΕΚ Β 606) Σχέδια διάθεσης/απολύμανσης συσκευών που περιέχουν PCB. Γενικές κατευθύνσεις για τη συλλογή και μετέπειτα διάθεση συσκευών και αποβλήτων με PCB, σύμφωνα με το άρθρο 7 της κοινής υπουργικής απόφασης 7589/731/2000 (Β' 514).
- ΚΥΑ με αρ. Κ.Υ.Α.146163/2012 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ.7 του ν.4042/2012.

3.2. Κατηγορίες Αποβλήτων

Τα απόβλητα μπορούν να διακριθούν σε στερεά, σε υγρά και σε αέρια. Στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί αναλυτικά η επεξήγηση της κάθε κατηγορίας, όπως παρουσιάζεται η «Διαχείριση Αποβλήτων Απορριμμάτων» από το Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας.

3.2.1. Στερεά Απόβλητα

Στερεά απόβλητα θεωρούνται οι ουσίες ή τα αντικείμενα που εμφανίζονται κυρίως σε στερεή φυσική κατάσταση, από τις οποίες ο κάτοχος τους θέλει ή υποχρεούται να απαλλαγεί. Είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους, οπότε το κόστος απόρριψής τους είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους. Τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν τις παρακάτω κατηγορίες αποβλήτων: α) Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κ.λπ.), β) Στερεά ή υδαρή απόβλητα που δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας), γ) Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγεία, κ.λπ.), δ) Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, ε) Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων, στ) Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα), ζ) Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων, η) Ιλύς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων και τη βιομηχανία, θ) Ιατρικά απόβλητα, ι) Ελαστικά, κ) Σκραπ (π.χ. αποσυρθέντα αυτοκίνητα, παλαιοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές). Σαφώς στην κατηγορία των στερεών αποβλήτων εντάσσονται και τα επικίνδυνα απόβλητα στερεής μορφής τα οποία χρήζουν συγκεκριμένης διαχείρισης.

Η σημαντικότερη κατηγορία στερεών αποβλήτων είναι τα αστικά απορρίμματα λόγω του μεγάλου όγκου τους. Όπως είναι φυσικό, οι καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου οδηγούν στην παραγωγή πληθώρας στερεών αποβλήτων κυρίως στα αστικά κέντρα. Στη μεγάλη κατηγορία των αστικών στερεών αποβλήτων ανήκουν τα οικιακά απόβλητα (υπολείμματα τροφών, ζυμώσιμα, χαρτόνια, πλαστικά, υφάσματα, δέρματα, ξύλα, απόβλητα κήπων, γυαλιά, μέταλλα, ογκώδη αντικείμενα, επικίνδυνα οικιακά, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές), τα εμπορικά απόβλητα και τα απόβλητα ιδρυμάτων, τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (ξύλα, σκυρόδεμα, τούβλα, καλώδια, μέταλλα, χώμα, πέτρες) καθώς και τα απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων (σκουπίδια, ξύλα, κλαδιά).

3.2.2. Υγρά Απόβλητα

Υγρά απόβλητα χαρακτηρίζονται τα απόβλητα τα οποία βρίσκονται σε υγρή μορφή. Είναι μια από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης και μόλυνσης του περιβάλλοντος και αποτελούνται κατά κύριο λόγο από νερό το οποίο χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο. Προκύπτουν είτε από βιομηχανικές παραγωγικές διαδικασίες είτε από καθημερινές οικιακές χρήσεις, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται πολύ η ποιότητα του νερού λόγω των πολλών χημικών και βιολογικών παραπροϊόντων που δέχεται. Σκοπός είναι η σωστή επεξεργασία των αποβλήτων ώστε να μην επηρεαστεί αρνητικά το περιβάλλον από την τελική διάθεσή τους. Η επεξεργασία τους, όπως είναι φυσικό, εξαρτάται από τη σύστασή τους. Στην υδάτινη μάζα τους τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορα οργανικά και ανόργανα συστατικά, τα οποία μπορούν να διακριθούν σε φυσικά συστατικά, σε χημικά συστατικά και σε βιολογικά συστατικά. Τα φυσικά συστατικά αφορούν στο χρώμα, στην οσμή και στη θερμοκρασία του υγρού καθώς και στα στερεά συστατικά του όπως είναι η άμμος που μπορεί να περιέχει ή μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη συνολική μάζα του αποβλήτου ή ακόμη και ογκώδη αντικείμενα. Το χρώμα είναι συνήθως γκρι έως μαύρο με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται από 10°C έως 21°C και η οσμή είναι αρκετά έντονη λόγω των δύσοσμων αερίων. Τα χημικά συστατικά αφορούν στα οργανικά συστατικά, δηλαδή στα παραπροϊόντα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (υπολείμματα τροφής, απορρυπαντικά κ.λπ.), στο άζωτο το οποίο περιλαμβάνει το οργανικό άζωτο, την αμμωνία και τα νιτρικά άλατα (NO_3) και στο φώσφορο ο οποίος διαχωρίζεται σε ανόργανο (PO_4^{3-}) και σε οργανικό και συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Τέλος, τα βιολογικά συστατικά των αστικών αποβλήτων αφορούν στην παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών ενώ εκείνα των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων διαφοροποιούνται ανάλογα με την παραγωγική διαδικασία της εκάστοτε βιομηχανίας και δεν περιέχουν συνήθως παθογόνους μικροοργανισμούς.

3.2.3. Αέρια Απόβλητα

Ως αέρια απόβλητα (ή αερολύματα) ορίζονται τα αέρια παραπροϊόντα φυσικών ή χημικών διεργασιών, όπως για παράδειγμα της καύσης. Ανάλογα με την πηγή τους τα κυριότερα συστατικά των αερίων αποβλήτων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής: α) Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), β) Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), γ) Οξείδια του θείου (SO_x), δ) Οξείδια του αζώτου (NO_x), ε) Υδρογονάνθρακες, στ) Όζον.

Τα αέρια απόβλητα στην ατμόσφαιρα εμπλέκονται σε διάφορες χημικές αντιδράσεις τόσο μεταξύ τους όσο και μεταξύ των συστατικών της ατμόσφαιρας όπως είναι το οξυγόνο, οι

υδρατμοί, κ.λπ., κυρίως ως αποτέλεσμα της απορρόφησης ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται οι δευτερογενείς ρύποι, όπως είναι το τροποσφαιρικό όζον, το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2), το νιτρικό υπεροξυακετύλιο [$CH_3C(O)OONO_2$] και τα υπεροξείδια του αζώτου οι οποίοι είναι υπεύθυνοι κατά κύριο λόγο για τα φαινόμενα του φωτοχημικού νέφους, της μειωμένης ορατότητας, του ερεθισμού των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος, αλλά και για μια σειρά επιπτώσεων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Στην Ελλάδα η κύρια πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι μεταφορές καθότι λείπουν οι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες.

3.3. Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.2., τα απόβλητα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια. Η διαχείριση είναι ξεχωριστή για κάθε κατηγορία και στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναλυθεί εκτενώς η διαχείριση των στερεών μη επικίνδυνων αποβλήτων καθώς η παρούσα μελέτη αφορά στην παρακολούθηση χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.). Τα στερεά απόβλητα αποτελούν ένα μεγάλο πρόβλημα λόγω του όγκου τους, ο οποίος τα καθιστά δύσκολα στη διαχείριση τους η οποία θα πρέπει να είναι αποτελεσματική και άμεση. Η δυσοσμία η οποία εκλύεται καθώς και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται, μπορούν να προκαλέσουν μολύνσεις που για να αποφευχθούν θα πρέπει να γίνει άμεση διαχείριση των αποβλήτων. Κύριο μέλημα αποτελεί η μείωση της παραγωγής αποβλήτων από τον άνθρωπο, έπειτα η ανακύκλωση τους και τέλος η απομάκρυνση τους μέσω των διαφορετικών τρόπων επεξεργασίας τους ως τελευταία επιλογή, ως λύση ανάγκης. Στην Ελλάδα δυστυχώς, τα ποσοστά ανακύκλωσης είναι πολύ χαμηλά, περίπου στο 20%, ενώ το 80% των απορριμμάτων καταλήγει σε χωματερές. Παρακάτω ακολουθούν οι πιο γνωστές μέθοδοι διαχείρισης στερεών αποβλήτων όπως παρουσιάζονται στο βιβλίο του Δρ. Ευθύμιου Α. Λέκκα «Γεωλογία και Περιβάλλον», 1998.

3.3.1. Ανοιχτοί Σκουπιδότοποι (Χωματερές)

Οι χωματερές αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο διάθεσης στερεών αποβλήτων. Τοποθετούνται σε θέσεις οι οποίες είναι ελεύθερες (π.χ. οικόπεδα) και τις περισσότερες φορές λειτουργούν χωρίς να υπολογίζεται ο κίνδυνος της υγείας και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Τις περισσότερες φορές τα σκουπίδια καίγονται ενώ σε ανοιχτούς σκουπιδότοπους ισοπεδώνονται και συμπυκνώνονται. Είναι μια βασική πηγή μόλυνσης και για αυτό το λόγο αρκετές έχουν κλείσει, όμως κάποιες λειτουργούν ακόμη.

Σημειώνεται πως η πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων της περιοχής στην οποία βρίσκεται η χωματερή, είναι πολύ μεγάλη και επιβάλλεται η διεκπεραίωση γεωλογικής και υδρογεωλογικής μελέτης προκειμένου να εκτιμηθεί η έκταση του προβλήματος. Τα υγειονομικά θέματα που προκύπτουν από τη ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων σε ανοιχτούς σκουπιδότοπους είναι γνωστά (μόλυνση της ατμόσφαιρας, του επιφανειακού και του υπόγειου νερού). Αυτός είναι και ο λόγος που γίνεται η σταδιακή αντικατάστασή τους με χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.).

3.3.2. Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.)

Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) συχνά συγχέονται με τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.). Ο όρος υπολείμματα αναφέρεται στα σκουπίδια που έχουν δεχθεί κάποια επεξεργασία πριν καταλήξουν να ταφούν. Γίνεται μια πρώτη διαλογή των σκουπιδιών σε περίπτωση που κάποια μπορούν να ανακυκλωθούν και τα υπόλοιπα συμπιέζονται και επεξεργάζονται περαιτέρω. Από αυτήν τη διαδικασία προκύπτουν τα υπολείμματα τα οποία μεταφέρονται στους ΧΥΤΥ.

Η υγειονομική ταφή είναι μία μέθοδος διάθεσης στερεών αποβλήτων η οποία, μέσω της ταφής των απορριμμάτων, προστατεύει τη δημόσια υγεία. Τα απορρίμματα συμπακνώνονται και στη συνέχεια καλύπτονται με ένα στρώμα από συμπακνωμένο χώμα (υγειονομική ταφή). Το συμπακνωμένο χώμα δεν επιτρέπει στα έντομα και στα τρωκτικά να εισέλθουν στα απόβλητα και έτσι δε γίνεται μεταφορά επιβλαβών ουσιών. Ακόμη, λόγω της ταφής, δεν έρχονται σε επαφή με τον αέρα και μειώνεται το ποσοστό του επιφανειακού νερού που μπορεί να εισέλθει στα απόβλητα (Σχήμα 21.).

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τη διαδικασία, τα σκουπίδια αποτίθενται, συμπακνώνονται και θάβονται (βάθος ταφής 2 έως 15 μέτρα). Στο τέλος κάθε μέρας, καλύπτονται από συμπακνωμένο χώμα πάχους το λιγότερο 15 εκατοστά. Το τελευταίο στρώμα κάλυψης είναι το λιγότερο 50 εκατοστά συμπακνωμένου εδάφους, ώστε να ελαχιστοποιείται η διήθηση του επιφανειακού νερού. Όπως είναι φυσικό, δεν μπορούν όλοι οι χώροι να μετατραπούν σε Χ.Υ.Τ.Α.. Η σωστή επιλογή κατάλληλου χώρου για υγειονομική ταφή είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία απαιτεί τη συμβολή των επιστημόνων. Τα κριτήρια επιλογής είναι η περατότητα, το τοπογραφικό ανάγλυφο, το βάθος του υπόγειου νερού το ποσοστό της κατείδυσης, ο τύπος εδαφών και πετρωμάτων και η θέση της ζώνης διάθεσης σε σχέση με τη διεύθυνση ροής του επιφανειακού και υπόγειου νερού. Στην

Ελλάδα, σύμφωνα με το ΥΠΕΝ, λειτουργούν ή βρίσκονται υπό κατασκευή 79 χώροι υγειονομικής ταφής μη επικινδύνων αστικών στερέων αποβλήτων.

Τα βασικά μειονεκτήματα της υγειονομικής ταφής είναι δύο, το στράγγισμα και η διαφυγή αερίου μεθανίου. Πιο συγκεκριμένα, το στράγγισμα αφορά στη μόλυνση του υπόγειου και του επιφανειακού νερού. Αν τα απόβλητα που έχουν ταφεί έρθουν σε επαφή με το νερό που κατεισδύει ή με αυτό που κινείται υπόγεια και πλευρικά μέσα από τα σκουπίδια, τότε προκαλείται διήθηση με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός υγρού που έχει την ικανότητα να μεταφέρει βακτηρίδια. Όσον αφορά το μεθάνιο, σημειώνεται πως κατά την αποσύνθεση των οργανικών απορριμμάτων παράγεται μεθάνιο το οποίο υπάρχει κίνδυνος να διαφύγει στην ατμόσφαιρα. Οι σύγχρονοι Χ.Υ.Τ.Α. είναι εξοπλισμένοι με συστήματα συλλογής και επεξεργασίας στραγγίσματος και βιοαερίου (CH₄ και CO₂).



Σχήμα 21. Απόθεση απορριμμάτων σε Χ.Υ.Τ.Α.

(πηγή: Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_4.html)

3.3.2.1. Αέρια Χώρων Υγειονομικής Ταφής

Οι βιοχημικές δράσεις που αναπτύσσονται σε κάθε χώρο διάθεσης αποβλήτων, οδηγούν στην παραγωγή στραγγισμάτων καθώς και στην παραγωγή βιοαερίου. Η διαδικασία παραγωγής καθώς και η σύσταση του βιοαερίου, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η ποσότητα και η σύσταση των στερεών αποβλήτων, ο ρυθμός αποδόμησης των οργανικών ενώσεων, η πυκνότητα των στερεών αποβλήτων, το κλίμα, η υγρασία, η θερμοκρασία του χώρου κλπ. Συνεπώς είναι αρκετά δύσκολο να προβλέψει κανείς τον ρυθμό παραγωγής του βιοαερίου, την ποσότητά του και τη σύστασή του. Το μόνο στοιχείο που είναι δεδομένο είναι ότι η ποσότητα και ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου

αυξάνονται όσο προχωράει η ενηλικίωση του χώρου διάθεσης και κορυφώνονται κατά την περίοδο λήξης της απόθεσης των απορριμμάτων (Ενιαίος Σύνδεσμος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Δήμων και Κοινοτήτων Ν. Λάρισας).

Το παραγόμενο βιοαέριο χρειάζεται αρκετό καιρό μέχρι να φτάσει να έχει μια σταθερή σύσταση. Σε γενικές γραμμές, τα αέρια που παράγονται από τους Χ.Υ.Τ.Α. αποτελούνται από μεθάνιο (CH_4) σε ποσοστό 45%-60%, από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σε ποσοστό 40%-60%, από άζωτο (N_2) σε ποσοστό 2%-5% και από οξυγόνο σε ποσοστό από 0.1%-1% (Sabrin et al. 2020, Joshi et al. 2018). Τις πρώτες εβδομάδες και μήνες μετά την ταφή των απορριμμάτων, ο χώρος διάθεσης λειτουργεί κάτω από αερόβιες συνθήκες και παράγεται κυρίως διοξείδιο του άνθρακα. Το αέριο που προκύπτει από το αερόβιο στάδιο περιέχει και οξυγόνο και άζωτο. Όταν ο χώρος περάσει στην αναερόβια φάση αποδόμησης των απορριμμάτων, η ποσότητα του οξυγόνου πλησιάζει σχεδόν στο μηδέν και το άζωτο τείνει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<1%). Τα βασικά αέρια που είναι τα τελικά προϊόντα του αναερόβιου σταδίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα και κυρίως το μεθάνιο, η διαδικασία παραγωγής του οποίου αυξάνεται όσο τα μεθανογενή βακτήρια αντικαθίστανται. Κατά τη σταθεροποίηση του χώρου ταφής, το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (55%-65%) και διοξείδιο του άνθρακα (35%-45%). Τα ποσοστά και η παρουσία άλλων συστατικών εξαρτώνται άμεσα από το είδος των προς διάθεση αποβλήτων και τις συνθήκες ταφής (Ενιαίος Σύνδεσμος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Δήμων και Κοινοτήτων Ν. Λάρισας).

3.3.2.2. Το Μεθάνιο (CH_4) ως αέριο του θερμοκηπίου

Το μεθάνιο (CH_4) είναι το μικρότερο σταθερό μόριο υδρογονάνθρακα με ένα άτομο άνθρακα. Είναι αέριο που καίγεται με χαρακτηριστική φλόγα κυανού χρώματος. Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση ως κύριο συστατικό του φυσικού αερίου (τυπικά 75% έως 90% κ.ό.). Ένας από τους βασικούς λόγους παρακολούθησης των εκπομπών αερίου μεθανίου είναι ότι αποτελεί ένα από τα αέρια που συνεισφέρουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρεται στην παγίδευση από την ατμόσφαιρα, μέρος της ανακλώμενης από την επιφάνεια της Γης ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα τη θέρμανση του πλανήτη. Το μεθάνιο είναι κατά 21 φορές δραστικότερο (σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών), ως προς την ικανότητα παγίδευσης της θερμότητας, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου που δημιουργούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες, το μεθάνιο έρχεται δεύτερο με σχετική

συμβολή 9,3%, με πρώτο το διοξείδιο του άνθρακα με σχετική συμβολή 83% (Βαλαβανίδης Θανάσης & Ευσταθίου Κωνσταντίνος).

Το μεθάνιο παράγεται και εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα της Γης από φυσικές (έλη, τερμίτες) και ανθρωπογενείς (χωματερές, πετρελαιοπηγές, κτηνοτροφία) πηγές. Η φυσική παραγωγή του είναι μια συνεχής διαδικασία και εξακολουθεί να παράγεται ως προϊόν σήψης οργανικής ύλης σε έλη και υδροβιότοπους υπό την επίδραση μεθανογόνων βακτηρίων υπό συνθήκες απουσίας οξυγόνου και σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Οι εκτιμήσεις ως προς τις ποσότητες μεθανίου που παρέχουν οι διάφορες πηγές διαφέρουν αλλά σύμφωνα με τις περισσότερες μελέτες οι μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου εκλύονται από ανθρωπογενείς πηγές και όχι από φυσικές. Οι εκπομπές μεθανίου από φυσικές πηγές καθορίζονται κυρίως από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και οι ποσότητες των κατακρημνίσεων. Οι βασικότερες φυσικές πηγές είναι οι υδρότοποι, οι ωκεανοί, οι τερμίτες και οι υδρίτες μεθανίου. Όσον αφορά στις ανθρωπογενείς πηγές μεθανίου, μεγάλες ποσότητες του παράγονται από τις αγροτικές και από τις βιομηχανικές δραστηριότητες του ανθρώπου. Οι βασικότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι η εντερική ζύμωση τροφών ζώων, η διαχείριση ζωικών λιπασμάτων (κοπριά), οι επιχώσεις απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.-Landfills), η παραγωγή και επεξεργασία πετρελαίου, οι απώλειες φυσικού αερίου, τα ανθρακωρυχεία και η επεξεργασία λυμάτων. Η κυριότερη ανθρωπογενής πηγή μεθανίου είναι οι χώροι απόρριψης και επίχωσης των αστικών απορριμμάτων, δηλαδή οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) / χωματερές. Στις σύγχρονες χωματερές (Χ.Υ.Τ.Α.), προβλέπεται η ανάκτηση και η αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου, το οποίο μπορεί να περιέχει από 50% έως 75% μεθάνιο, ώστε να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ενέργειας. Σημειώνεται πως είναι περιβαλλοντικά προτιμότερη η καύση του εκλυόμενου μεθανίου προς διοξείδιο του άνθρακα παρά η απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα καθώς είναι πολύ πιο δραστικό από το διοξείδιο του άνθρακα ως προς τη θέρμανση του πλανήτη (Βαλαβανίδης Θανάσης & Ευσταθίου Κωνσταντίνος).

3.3.3. Επί Τόπου (Άμεση) Διάθεση

Η πιο γνωστή μέθοδος άμεσης διάθεσης στα αστικά κέντρα είναι το μηχανικό άλεσμα του υλικού απευθείας από το σπίτι. Το άλεσμα των απορριμμάτων γίνεται μέσω μιας συσκευής η οποία τοποθετείται στο νεροχύτη της κουζίνας και μετά το άλεσμα τα σκουπίδια χύνονται στον υπόνομο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται αρκετά ο όγκος των απορριμμάτων ωστόσο όπως είναι φυσικό δεν αφορά σε μεγάλα στερεά απόβλητα. Μέσω

της συγκεκριμένης μεθόδου, γίνεται άμεσα η μεταφορά των υπολειμμάτων αλλά η τελική διάθεση μεταφέρεται στο πρόγραμμα επεξεργασίας λυμάτων καθώς τα στερεά υλικά πρέπει να επεξεργαστούν. Ένα σημαντικό πρόβλημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι τα επικίνδυνα χημικά υγρά που μπορεί να καταλήξουν άθελα ή θελημένα στους υπονόμους και τα οποία χρήζουν ειδικής επεξεργασίας ως τοξικές ύλες.

Ως άμεση διάθεση μπορεί να θεωρηθεί και η μικρής κλίμακας αποτέφρωση η οποία συνήθως εφαρμόζεται από νοσοκομειακά ιδρύματα. Ωστόσο, οι αποτεφρωτήρες αυτοί χρειάζονται συνεχή συντήρηση και φυσικά προσοχή ώστε να μην προκύψει οποιοδήποτε ατύχημα. Σημειώνεται πως η στάχτη και τα άλλα υπολείμματα θα πρέπει να μεταφέρονται σε μια τελική θέση απόθεσης.

3.3.4. Αποτέφρωση

Είναι η διαδικασία καύσης των απορριμμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες (900°C έως 1000°C) με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε αδρανή υπολείμματα, όπως η στάχτη, και να μειώνεται ο όγκος τους. Με αυτόν τον τρόπο, όπως είναι λογικό, γίνεται πιο εύκολη η διάθεσή τους. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα της αποτέφρωσης καθώς ο πολύ μεγάλος όγκος των απορριμμάτων μετατρέπεται σε στάχτη η οποία διατίθεται αργότερα σε μια χωματερή. Επιπλέον, τα απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά σε άλλες καύσιμες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (καύση με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας). Ωστόσο οι αποτεφρωτήρες έχουν υψηλά κόστη συντήρησης και τα μη καιγόμενα υλικά μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση του αέρα και συνεπώς πρέπει να απομακρυνθούν. Παρά τα αρνητικά της καύσης, οι αποτεφρωτήρες αποτελούν ένα κοινό τρόπο διάθεσης αποβλήτων, κυρίως στο εξωτερικό.

3.3.5. Πολτοποίηση

Η πολτοποίηση είναι μια βιομηχανική διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά υλικά αποσυντίθεται σε ένα γαιώδες υλικό που χρησιμοποιείται σαν βελτιωτικό εδάφους. Είναι μια γρήγορη διαδικασία και γίνεται με μερική αποσύνθεση υγρών, στερεών και οργανικών αποβλήτων από αερόβιους οργανισμούς. Το μειονέκτημα της πολτοποίησης είναι η αναγκαιότητα διαχωρισμού του οργανικού υλικού από τα άλλα απόβλητα. Συνεπώς, θα πρέπει το οργανικό υλικό να συλλέγεται χωριστά από τα υπόλοιπα απόβλητα.

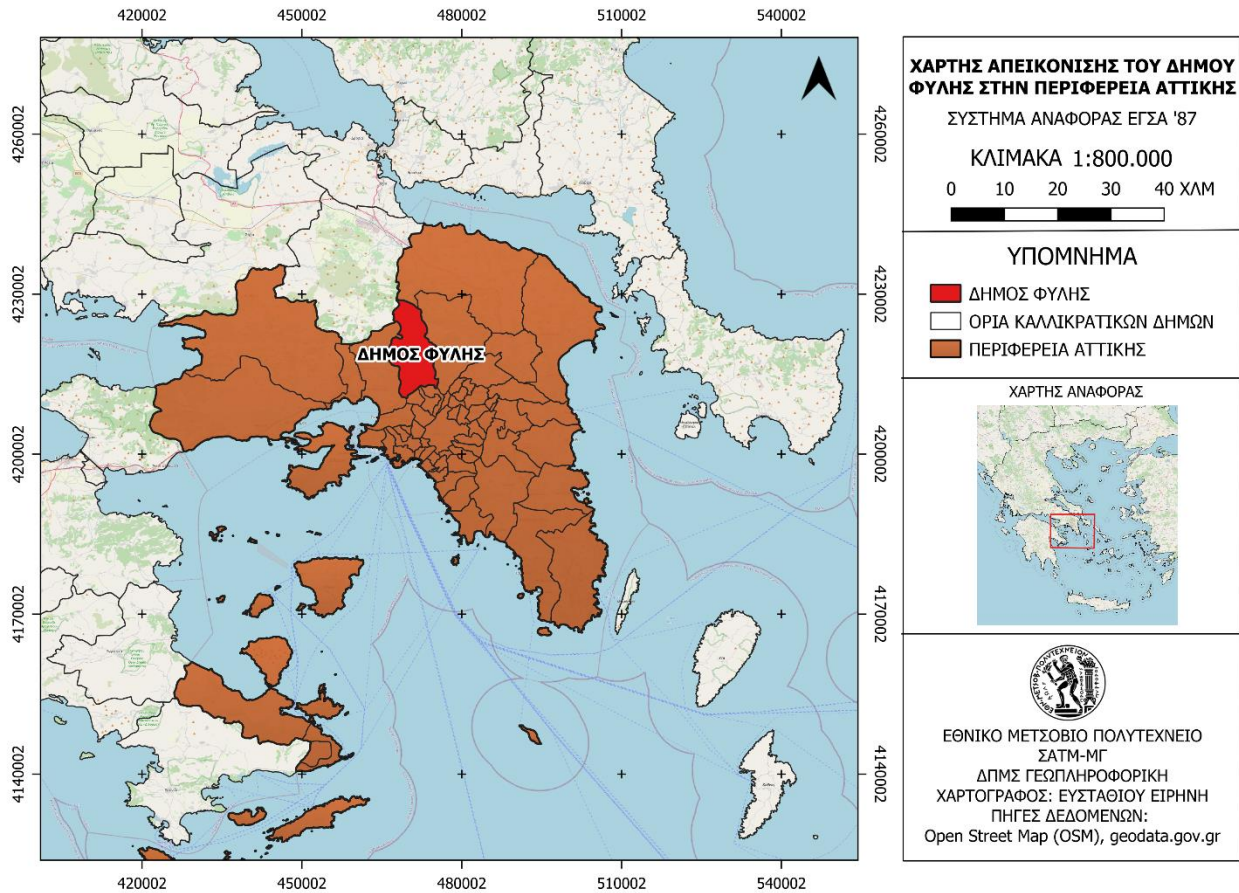
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1. Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά Φυλής

Η Περιφέρεια Αττικής σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της, έχει χωριστεί σε οκτώ περιφερειακές ενότητες οι οποίες είναι οι εξής: 1) Περιφερειακή Ενότητα Κεντρικού Τομέα Αθηνών, 2) Περιφερειακή Ενότητα Βόρειου Τομέα Αθηνών, 3) Περιφερειακή Ενότητα Δυτικού Τομέα Αθηνών, 4) Περιφερειακή Ενότητα Νότιου Τομέα Αθηνών, 5) Περιφερειακή Ενότητα Ανατολικής Αττικής, 6) Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής, 7) Περιφερειακή Ενότητα Πειραιώς, 8) Περιφερειακή Ενότητα Νήσων.

Η Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής περιλαμβάνει τους Δήμους Ασπροπύργου, Ελευσίνας, Μάνδρας - Ειδυλλίας, Μεγαρέων και τον Δήμο Φυλής του οποίου ο Χ.Υ.Τ.Α. αποτελεί και την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας. Ο Δήμος Φυλής (Χάρτης 1.) είναι δήμος της περιφέρειας Αττικής που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καλλικράτης. Προέκυψε από τη συνένωση των προϋπαρχόντων Δήμων Φυλής, Άνω Λιοσίων και Ζεφυρίου. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 105.128 τ.χλμ. και ο πληθυσμός του 45.965 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Αποτελείται από τη Δημοτική Ενότητα Άνω Λιοσίων (Έδρα του Δήμου), τη Δημοτική Ενότητα Ζεφυρίου και τη Δημοτική Ενότητα Φυλής.

**Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων**



Χάρτης 1. Χάρτης Απεικόνισης του Δήμου Φυλής στην Περιφέρεια Αττικής

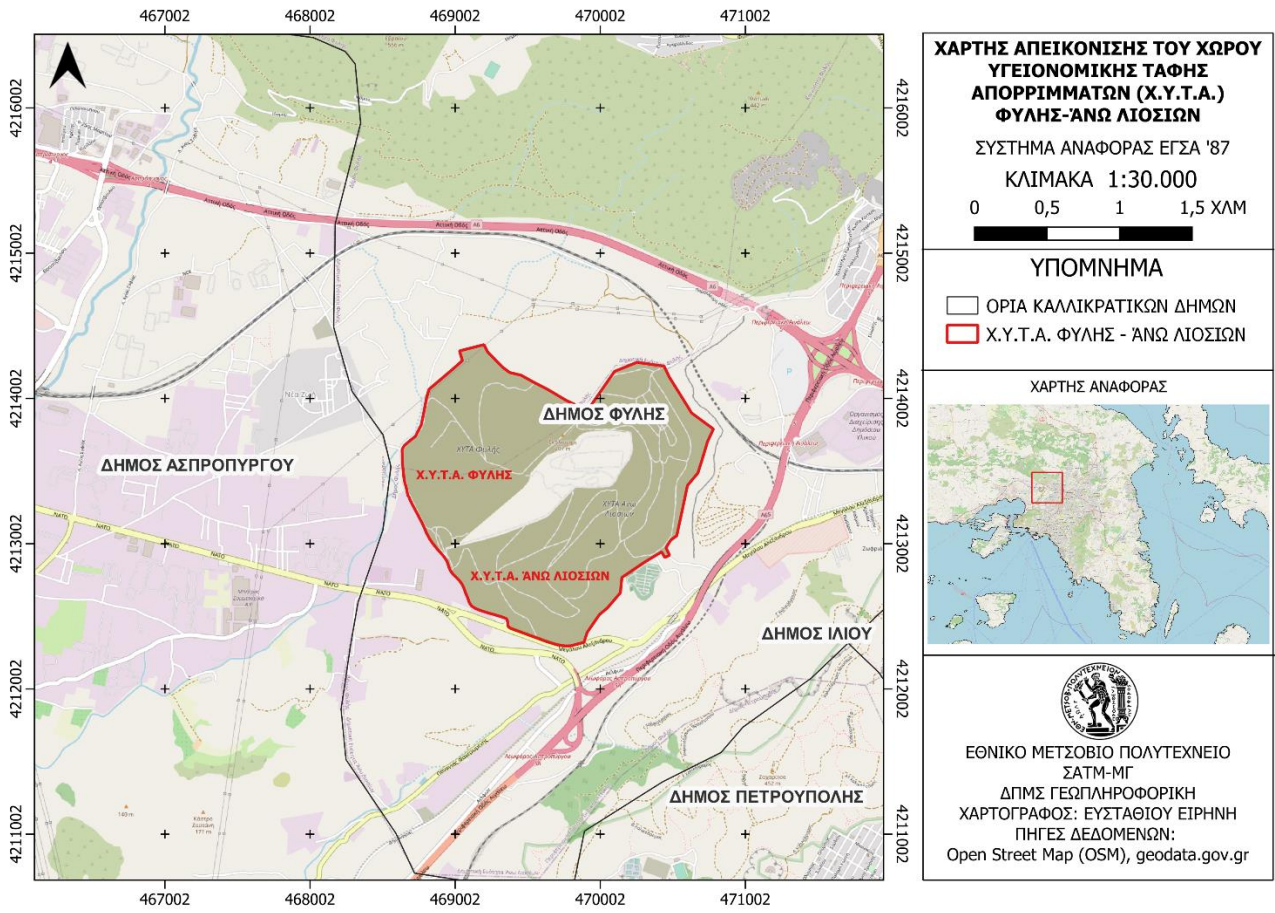
(Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

4.1.1. Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Φυλής – Άνω Λιοσίων

Η διαχείριση και τελική διάθεση των απορριμμάτων της μητροπολιτικής Περιφέρειας Αττικής γίνεται στον εγκεκριμένο από την εθνική νομοθεσία Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων Φυλής, στη θέση «Σκαλιστήρι», έκτασης 1.000 περίπου στρεμμάτων, που βρίσκεται μεταξύ των ορέων Πάρνηθα και Αιγάλεω. Ο Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής (Χάρτης 2.) γειτνιάζει με τους μη λειτουργούντες πια Χ.Υ.Τ.Α. Ι και ΙΙ Άνω Λιοσίων και τον ΧΔΑ (Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων) Άνω Λιοσίων. Ο Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής λειτουργεί από το 2004 ενώ το 2009 αποκαταστάθηκε ο Χ.Υ.Τ.Α. Ι και το 2010 ο Χ.Υ.Τ.Α. ΙΙ. Το παραγόμενο βιοαέριο από τους αποκατεστημένους ΧΥΤΑ Ι και ΙΙ και τον παλαιότερο ΧΑΔΑ Άνω Λιοσίων, οδηγείται προς εκμετάλλευση για παραγωγή ενέργειας σε μονάδα που βρίσκεται εντός των ορίων της ΟΕΔΑ, αλλά με ιδιωτικό φορέα λειτουργίας (ΒΕΑΛ Α.Ε.). Η κατασκευή του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής έγινε με χρηματοδότηση από εθνικούς και κοινοτικούς πόρους και χωρίστηκε σε δύο φάσεις: την Α' και τη Β' φάση. Σήμερα η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων γίνεται

στην Α' φάση, η οποία αναπτύσσεται σε έκταση 364.000 τ.μ. και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 17.032.000 κ.μ. ή 13.625.000 τόνων. Στο Χ.Υ.Τ.Α. γίνονται αποδεκτά μόνο μη επικίνδυνα αστικά και προσομοιάζονται με αυτά στερεά απόβλητα και κανένα επικίνδυνο απόβλητο όπως περιγράφεται αναλυτικά στην Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων του έργου όπως τροποποιήθηκε και ισχύει. Η είσοδος των απορριμματοφόρων γίνεται μέσω της κεντρικής πύλης εισόδου της ΟΕΔΑ (Ολοκληρωμένη Εγκατάσταση Διάθεσης Απορριμμάτων) Φυλής. Κατά την είσοδό τους τα οχήματα ζυγίζονται στις ειδικές γεφυροπλάστιγγες του Χ.Υ.Τ.Α.. Μετά τη ζύγισή τους τα οχήματα ακολουθούν τη διαδρομή του εσωτερικού οδικού δικτύου προς το ημερήσιο μέτωπο διάθεσης των απορριμμάτων και εναποθέτουν τα απορρίμματα στο υποδεικνυόμενο από τους επόπτες του Χ.Υ.Τ.Α. σημείο. Στη συνέχεια τα απορρίμματα προωθούνται, διαστρώνονται, συμπιέζονται, ώστε να ελαχιστοποιείται ο χώρος που καταλαμβάνουν. Κατόπιν χωματοκαλύπτονται, ώστε να περιορίζονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι εργασίες γίνονται από το προσωπικό του Συνδέσμου και από ειδικά μηχανήματα, προωθητήρες και συμπιεστικά, ιδιοκτησίας ΕΔΣΝΑ (ΕΔΣΝΑ, 2021).

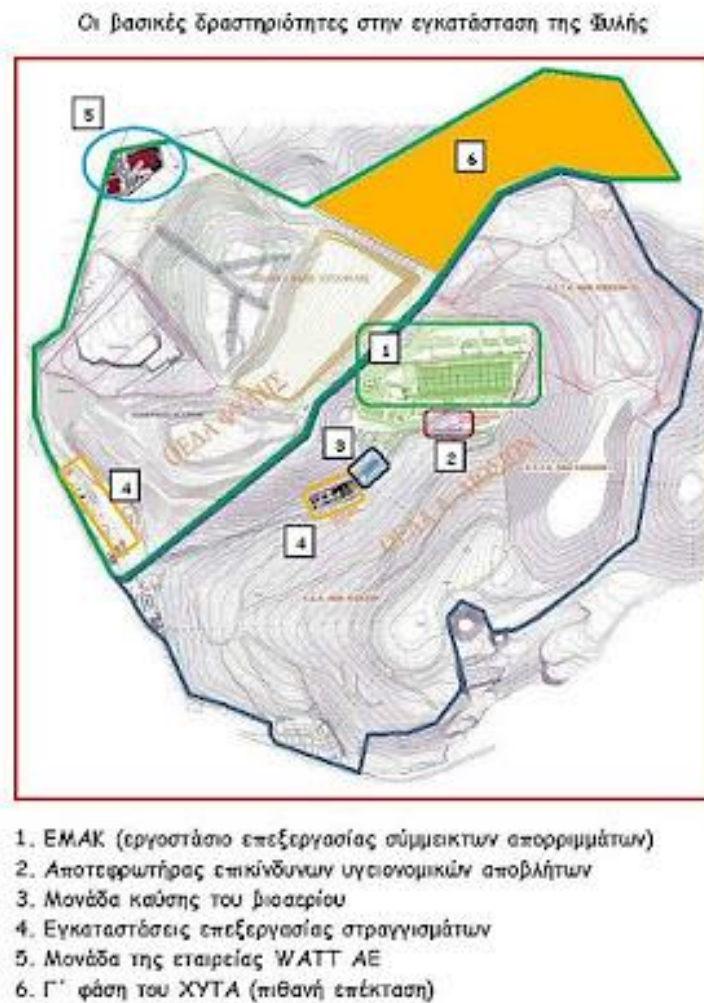
**Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων**



Χάρτης 2. Χάρτης Απεικόνισης του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων στον Δήμο Φυλής

(Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Η εγκατάσταση στη Φυλή περιλαμβάνει τρεις περιοχές οι οποίες είναι: α) η ΟΕΔΑ Α. Λιοσίων, β) η ΟΕΔΑ Δυτικής Αττικής (Φυλής) και γ) η περιοχή γ' φάσης (σημειώνεται με κίτρινο χρώμα στο σχήμα 22.)



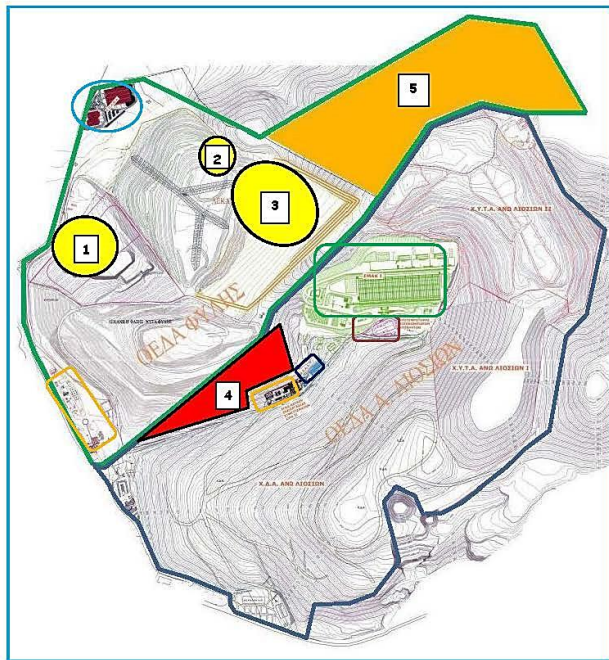
Σχήμα 22. Σχηματική απεικόνιση του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων

(πηγή: ergasianet.gr)

Ο ΟΕΔΑ Α. Λιοσίων περιλαμβάνει την παλιά χωματερή (ΧΔΑ), τον Χ.Υ.Τ.Α. Ι Α. Λιοσίων, τον Χ.Υ.Τ.Α. ΙΙ Α. Λιοσίων, το εργοστάσιο επεξεργασίας ΕΜΑΚ, τον αποτεφρωτήρα επικίνδυνων υγειονομικών αποβλήτων, τη μονάδα καύσης του βιοαερίου και την πρώτη μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων. Στην ΟΕΔΑ Α. Λιοσίων όλοι οι χώροι είναι αποκατεστημένοι εκτός από τα τμήματα στα οποία βρίσκονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αποβλήτων. Η πλήρης αποκατάσταση του θα λάβει χώρα με το κλείσιμο του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής και την απομάκρυνση των εγκαταστάσεων από εκεί. Ο ΟΕΔΑ Φυλής περιλαμβάνει τον ΧΥΤΑ Φυλής, τη δεύτερη μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων και την ιδιωτική μονάδα επεξεργασίας της WATT ΑΕ. Όσον αφορά τις ανενεργές εκτάσεις του Χ.Υ.Τ.Α., εκείνες βρίσκονται στον ΟΕΔΑ Α. Λιοσίων καθώς ο χώρος έχει περάσει σε φάση αποκατάστασης εδώ και αρκετά χρόνια. Ωστόσο δεν παύουν να λειτουργούν στον

συγκεκριμένο χώρο μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Ένας επιπλέον προβληματισμός όσον αφορά τις αποκατεστημένες περιοχές είναι το νέο κύτταρο (σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 23) το οποίο αποτελεί επέκταση του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής στο Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων. Συνεπώς δεν υπάρχει κάποια ξεκάθαρη ανενεργή περιοχή, ωστόσο σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί ο τρόπος εργασίας και η επιλογή εδάφους ώστε να γίνει η μελέτη της LST.

Οι διαδοχικές επεκτάσεις του ΧΥΤΑ στην εγκατάσταση της Φυλής



1. Πρώτη εσωτερική επέκταση ΧΥΤΑ Φυλής (επέκταση κυττάρου - εκβάθυνση)
2. Δεύτερη εσωτερική επέκταση ΧΥΤΑ Φυλής (σε ύψος, πρώτο «πανωσήκιμα»)
3. Τρίτη εσωτερική επέκταση ΧΥΤΑ Φυλής (σε ύψος, δεύτερο «πανωσήκιμα»)
4. Νέο κύτταρο στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων
5. Χώρος γ' φάσης ΧΥΤΑ Φυλής (πιθανός προορισμός των νέων ΧΥΤΑ, που επιδιώκεται να κατασκευαστούν, μέσω διεθνούς διαγωνισμού, που βρίσκεται σε εξέλιξη)

Σχήμα 23. Επεκτάσεις του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων

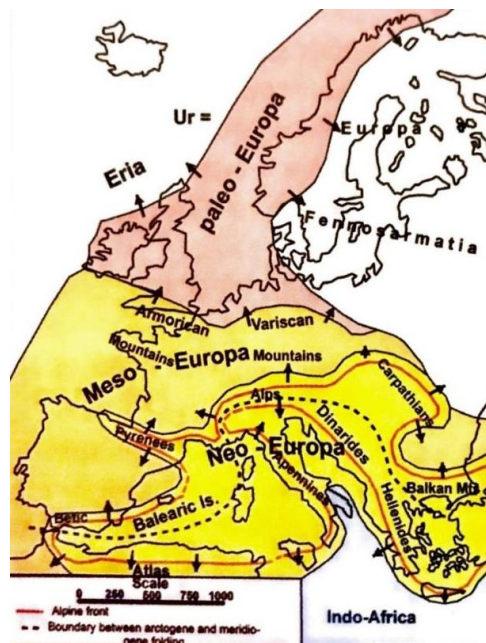
(πηγή: *ergasianet.gr*)

4.2. Γεωλογικό Πλαίσιο

4.2.1. Γεωλογία Ελλάδας

Η Ελλάδα αποτελεί χαρακτηριστικό τμήμα του αλπικού συστήματος και της ΝεοΕυρώπης (Σχήμα 24.), αποτελώντας συνέχεια της ορογενετικής αλυσίδας των Άλπεων, που διά μέσου επιμέρους οροσειρών, όπως οι Δειναρίδες, οι Ελληνίδες, οι Ταυρίδες, οι Ιρανίδες και οι Αφγανίδες, καταλήγει στο ορεινό συγκρότημα των Ιμαλαίων. Πρόκειται για τη μία από τις δύο κύριες ορεινές αλυσίδες του αλπικού συστήματος, η οποία περιλαμβάνει τις

υψηλότερες κορυφές του κόσμου και η οποία είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης δύο πλακών με ηπειρωτικό φλοιό, δηλαδή της Ευρασίας προς βορρά και των τεμαχών της πρώην Γκοντβάνας προς νότο, δηλαδή κυρίως την Αφρική, την Αραβία και την Ινδία. Η ορεινή αυτή αλυσίδα, Άλπεις-Ιμαλάια, δημιουργήθηκε από την πτύχωση ιζημάτων που είχαν αποθεθεί κατά το Μεσοζωικό και μέρος του Καινοζωικού αιώνα μέσα σε ένα μεγάλο ωκεανό που χώριζε τις δύο ηπείρους, Ευρασία και Γκοντβάνα, ο οποίος ονομάστηκε από τον Suess (1885-1909) Τηθύς. Έτσι όταν είναι επιθυμητή η διάκριση της συγκεκριμένης ορεινής αλυσίδας Άλπεις-Ιμαλάια, που είναι περίπου παράλληλη προς τον Ισημερινό, χρησιμοποιείται ο όρος απλικό σύστημα της Τηθύος (Tethyan Orogenic System) (Παπανικολάου, 2015, Γεωλογία Ελλάδας).

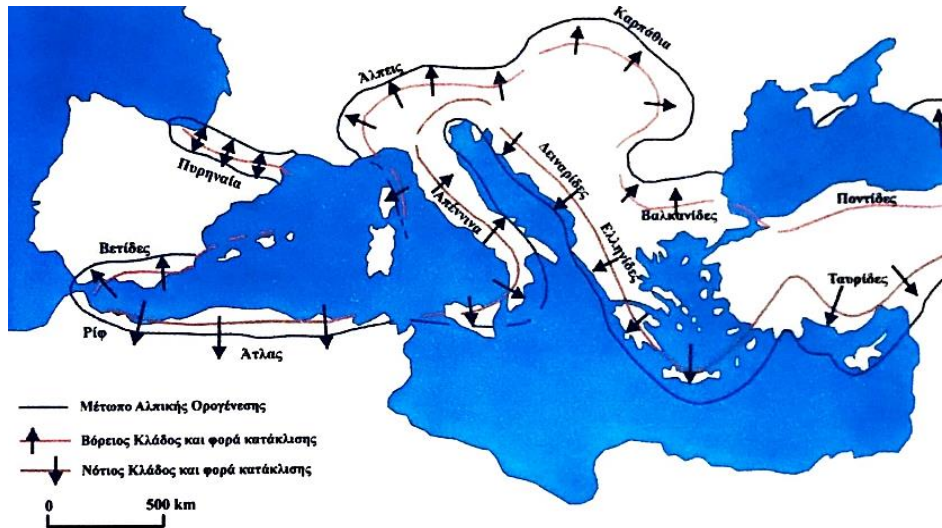


Σχήμα 24. Διάκριση της Ευρώπης σε διαφορετικής ηλικίας ορογενετικά συστήματα

(«Γεωλογία της Ελλάδας», Παπανικολάου Δ., 2015)

Το ορογενετικό σύστημα της Τηθύος περιλαμβάνει περίπου ευθύγραμμα τμήματα, καθώς και περιοχές με καμπυλόγραμμα τμήματα, που αποτελούν συγκεκριμένα τόξα. Ανάλογα με τις ορεινές αλυσίδες που δομούν τα επιμέρους ευθύγραμμα ή καμπυλόγραμμα τμήματα του συστήματος της Τηθύος ονομάζονται και τα τμήματα του ορογενετικού συστήματος είτε απλά σαν ένα τμήμα ορογενετικού συστήματος, όπως π.χ. οι Δειναρίδες, οι Ιρανίδες κτλ., είτε σαν επιμέρους ορογενετικά τόξα, όπως π.χ. το τόξο των Δυτικών Άλπεων, το τόξο των Καρπαθίων, το Ελληνικό τόξο κτλ. Εκτός από τη διάκριση των διαδοχικών τμημάτων, κατά μήκος του ορογενετικού συστήματος της Τηθύος υπάρχει και μια σημαντική

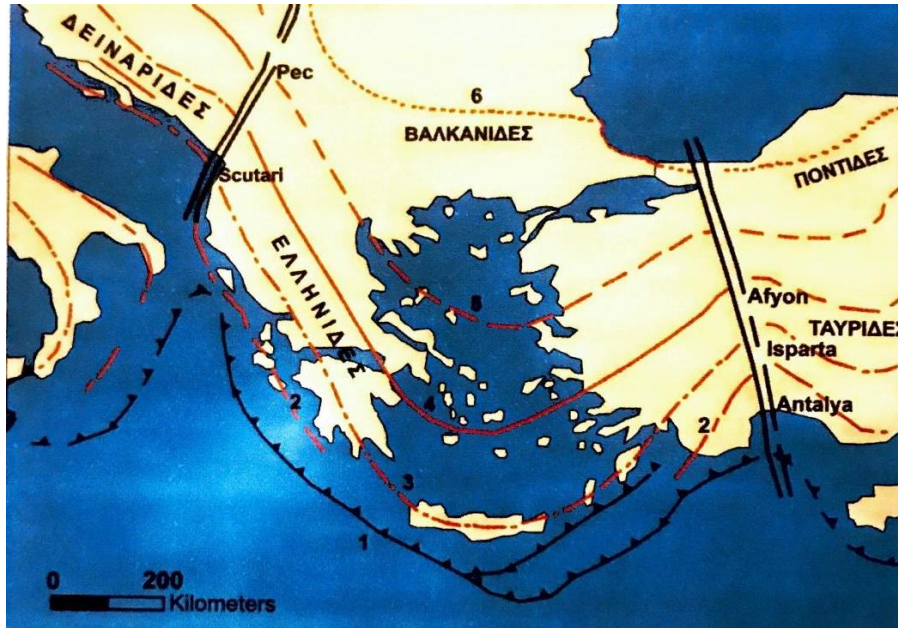
διάκριση εγκάρσια προς το ορογενετικό σύστημα σε δύο κλάδους. Δηλαδή στην πραγματικότητα το ορογενετικό σύστημα, μπορεί να διακριθεί σε μια διπλή ορεινή αλυσίδα, που διασχίζει σε παράλληλη διάταξη όλη την αλπική ζώνη. Από τη σημερινή γεωγραφική διάταξη η διάκριση γίνεται σε έναν βόρειο και σε έναν νότιο κλάδο, ενώ με κριτήριο την παλαιογεωγραφική – γεωτεκτονική ένταξη των πετρωμάτων που δομούν τους δύο κλάδους μιλάμε για ορογενετικές αλυσίδες του Ευρασιατικού περιθωρίου ή του βόρειου τμήματος της Τηθύος και αλυσίδες των περιθωρίων της Γκοντβάνας ή του νότιου περιθωρίου της Τηθύος. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο βόρειος κλάδος απαντά καθ' όλο το μήκος της ζώνης σε άμεση επαφή με την Ευρασιατική πλάκα και συνήθως τα πετρώματα του χώρου του Ωκεανού της Τηθύος έχουν επωθηθεί πάνω στο Ευρασιατικό περιθώριο. Αντίθετα ο νότιος κλάδος απαντά επωθούμενος πάνω στα υπολείμματα του Ωκεανού της Τηθύος στην Ανατολική Μεσόγειο και απευθείας πάνω στις πλάκες του νότου στο υπόλοιπο τμήμα της ζώνης. Δηλαδή εκτός της Ανατολικής Μεσογείου σε όλο το υπόλοιπο μήκος του αλπικού συστήματος της Τηθύος έχει επέλθει σύγκρουση ανάμεσα σε Ευρασία και στα διάφορα τμήματα της πρώην Γκοντβάνας. Αυτό σημαίνει πως το μόνο τμήμα γκοντβανικής προέλευσης όπου διατηρούνται ακόμα παθητικά περιθώρια ηπείρων στον χώρο της Τηθύος βρίσκεται στις νότιες ακτές της Ανατολικής Μεσογείου (Λιβύη, Αίγυπτος, Παλαιστίνη, Συρία) (Παπανικολάου, 2015, Γεωλογία Ελλάδας). Παρατηρώντας τις επιμέρους οροσειρές του συστήματος της Τηθύος στον χώρο της Μεσογείου, διακρίνονται δύο κλάδοι, ο βόρειος και ο νότιος. Ο βόρειος κλάδος περιλαμβάνει κυρίως τις Βετίδες οροσειρές στην Ιβηρική χερσόνησο, τα Πυρηναία, τις Άλπεις (κυρίως το βόρειο τμήμα τους με τις Ελβετίδες), τα Καρπάθια, τις Βαλκανίδες, τις Ποντίδες, τον Καύκασο και στη συνέχεια άλλες οροσειρές ανατολικότερα προς τα Ιμαλάια. Ο νότιος κλάδος περιλαμβάνει κυρίως το Ριφ, τον Άτλαντα, τη Σικελία, τα Απέννινα, τις Νότιες Άλπεις, τις Ελληνίδες, τις Δειναρίδες, τις Ταυρίδες, τις Ιρανίδες και στη συνέχεια τμήματα άλλων οροσειρών έως τα Ιμαλάια (Σχήμα 25.).



Σχήμα 25. Οι δύο κλάδοι του αλπικού συστήματος της Τηθύος

(«Γεωλογία της Ελλάδας», Παπανικολάου Δ., 2015)

Συμπερασματικά, η Ελλάδα, δηλαδή οι Ελληνίδες, που σχηματίζουν το Ελληνικό τόξο, ανήκουν στο αλπικό ορογενετικό σύστημα και πιο συγκεκριμένα στον νότιο κλάδο του ορογενετικού συστήματος της Τηθύος. Τα χαρακτηριστικά του Ελληνικού τόξου είναι ότι έχει μήκος περίπου 1.500km, αρχίζει με μορφοτεκτονική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ στην Αλβανία, στη Νότια Γιουγκοσλαβία και στην ηπειρωτική Ελλάδα, κάμπτεται σε διεύθυνση Α-Δ από τα Κύθηρα στην Κρήτη και στη συνέχεια σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στα Δωδεκάνησα και στη Λυσία της Νοτιοδυτικής Μικρασίας έως την Isparta (Σπάρτη) και Antalya (Αττάλεια) στη ζώνη συμβολής των δύο τόξων Ελληνικού και Ταυρικού (Μονοδ, 1976). Τα δύο σκέλη του τόξου σχηματίζουν δηλαδή ορθή γωνία μεταξύ τους. Τέλος το κυριότερο χαρακτηριστικό του Ελληνικού τόξου είναι ότι πρόκειται για το μόνο τμήμα από ολόκληρο το σύστημα της Τηθύος όπου συνεχίζεται αυτή τη στιγμή η ορογένεση και το οποίο έχει όλα τα γεωδυναμικά χαρακτηριστικά ενός υπό εξέλιξη ορογενετικού τόξου. Αυτό οφείλεται στο ότι η Ανατολική Μεσόγειος, πάνω στην οποία συνεχίζει να κινείται το Ελληνικό τόξο, και ιδιαίτερα ο χώρος του Ιονίου Πελάγους, είναι, το τελευταίο υπολειμματικό τμήμα της Τηθύος, το οποίο δεν έχει ακόμη συμμετάσχει στην υπό εξέλιξη αλπική ορογένεση και το οποίο αντιπροσωπεύει το ακόμα απαραμόρφωτο τελευταίο περιθώριο της Αφρικανικής πλάκας. Το όριο της λεκάνης της Ανατολικής Μεσογείου και του ηπειρωτικού περιθωρίου της Αφρικανικής πλάκας απαντά πολύ κοντά κατά μήκος της σημερινής ακτογραμμής της Λιβύης και της Αιγύπτου (Σχήμα 26.) (Παπανικολάου, 2015, Γεωλογία Ελλάδας).

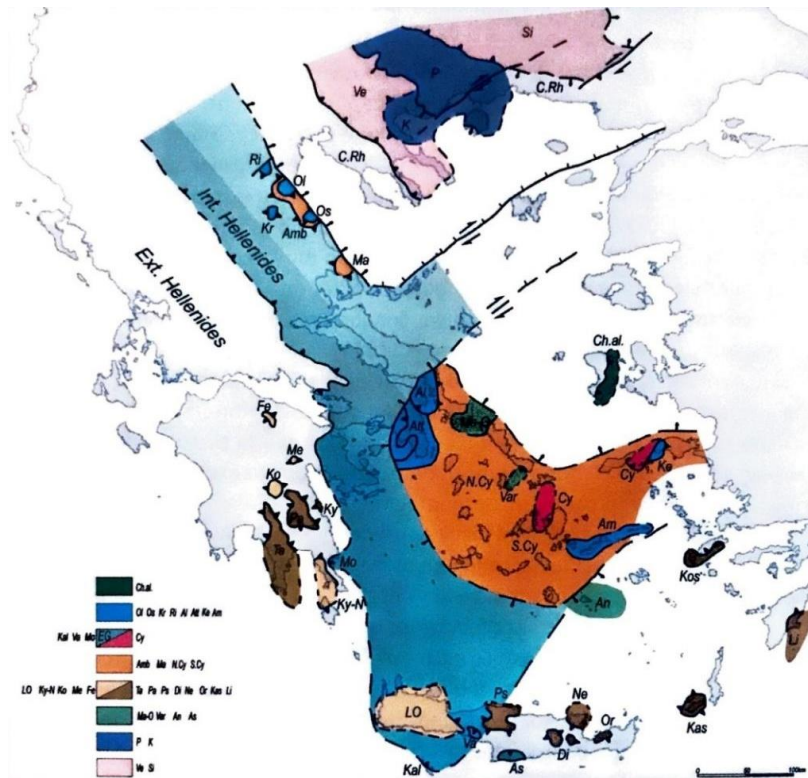


Σχήμα 26. Αναπαράσταση του Ελληνικού Τόξου

Οριοθετείται στα ανατολικά από τις Ταυρίδες και στα δυτικά από τις Δειναρίδες
(1.Ελληνική τάφρος, 2.Γεωτεκτονική διεύθυνση Ιόνιας, 3.Γεωτεκτονική διεύθυνση Πίνδου,
4.Γεωτεκτονική διεύθυνση Ανατολικής Ελλάδας, 5.Γεωτεκτονική διεύθυνση Αξίου,
6.Γεωτεκτονική διεύθυνση Βαλκανίδων-Ποντίδων) («Γεωλογία της Ελλάδας», Παπανικολάου
Δ., 2015)

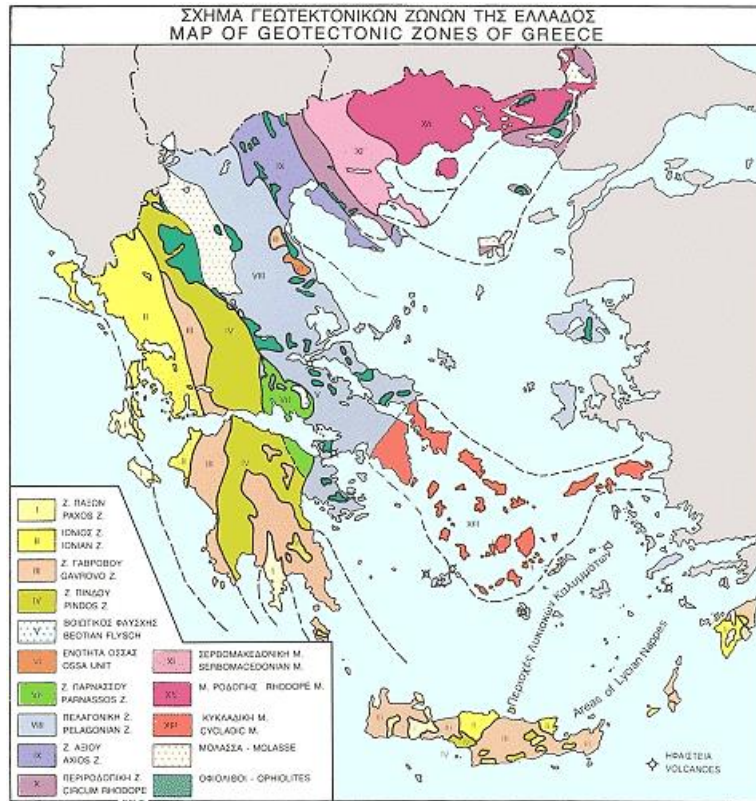
Η έναρξη των κύριων ορογενετικών φαινομένων του αλπικού κύκλου άρχισε στις Ελληνίδες, όπως και στο υπόλοιπο σύστημα της Τηθύος, κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό (περίπου στα 145Ma). Τα πρώτα αυτά φαινόμενα συνέβησαν στη σημερινή οπισθοχώρα του Ελληνικού τόξου, δηλαδή στο εσωτερικό προς τον πυρήνα χώρο του. Τα παλαιο-αλπικά ή ηω-αλπικά αυτά φαινόμενα, απολιθώθηκαν κάτω από την Κενομάνια επίκλυση (περίπου στα 100Ma), η οποία συνέβη σε όλο τον προηγούμενο τεκτονισμένο χώρο. Στη συνέχεια εξακολούθησε ο αλπικός κύκλος, με ρηγή ανθρακική ιζηματογένεση πάνω στον παλαιοτεκτονισμένο χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του Ανωτέρου Κρητιδικού (περίπου στα 100Ma - 66Ma) και έκλεισε οριστικά με φλύσχη στο Ηώκαινο (περίπου στα 56Ma - 34Ma), οπότε με τη δεύτερη φάση ορογενετικών φαινομένων κατά το Ανώτερο Ηώκαινο - Ολιγόκαινο (περίπου στα 34Ma) ολοκληρώθηκε ο αλπικός κύκλος. Έτσι, στον χώρο του Ελληνικού τόξου μπορούν να διακριθούν οι λεγόμενες Εσωτερικές Ελληνίδες, όπου έχουμε δύο ορογενετικές περιόδους με ταυτόχρονη παρουσία της κενομάνιας ασυμφωνίας και οι λεγόμενες Εξωτερικές Ελληνίδες (Σχήμα 27.) που εμφανίζονται σήμερα στην περιφέρεια του Ελληνικού τόξου, οι οποίες έχουν συνεχείς

στρωματογραφικές στήλες και τεκτονίστηκαν μόνο μια φορά κατά το Ηώκαινο – Μειόκαινο, δηλαδή κατά την κύρια αλπική φάση της ορογένεσης (Brunn, 1960, Jacobshagen et al., 1976, Παπανικολάου, 2015, Γεωλογία Ελλάδας).



Σχήμα 27. Διάκριση σε Εξωτερικές και σε Εσωτερικές Ελληνίδες
(«Γεωλογία της Ελλάδας», Παπανικολάου Δ., 2015)

Η ανάγκη για ομαδοποίηση των ομοειδών στρωματογραφικών ακολουθιών – σχηματισμών οδήγησε στην προσπάθεια διάκρισης ενοτήτων με κοινά χαρακτηριστικά και σημαντική γεωγραφική εξάπλωση. Η προσπάθεια αυτή στηρίχθηκε σε στρωματογραφικά και σε τεκτονικά κριτήρια. Πρόκειται για μια διαίρεση στις λεγόμενες γεωτεκτονικές ζώνες (τεκτονικές ενότητες), οι οποίες αφορούν καθαρά το ορογενετικό στάδιο της εξέλιξης των Ελληνίδων (Aubouin, 1959). Η σημερινή δομή της Ελλάδας από γεωτεκτονικής απόψεως είναι αποτέλεσμα της πολύ έντονης τεκτονικής εξέλιξης που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Αυτός ο τεκτονισμός αποτυπώνεται σήμερα μέσω των τεκτονικών ενοτήτων που απαντούνται στην Ελλάδα (Σχήμα 28.).



Σχήμα 28. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας

(πηγή : orykta.gr)

Οι τεκτονικές ενότητες είναι:

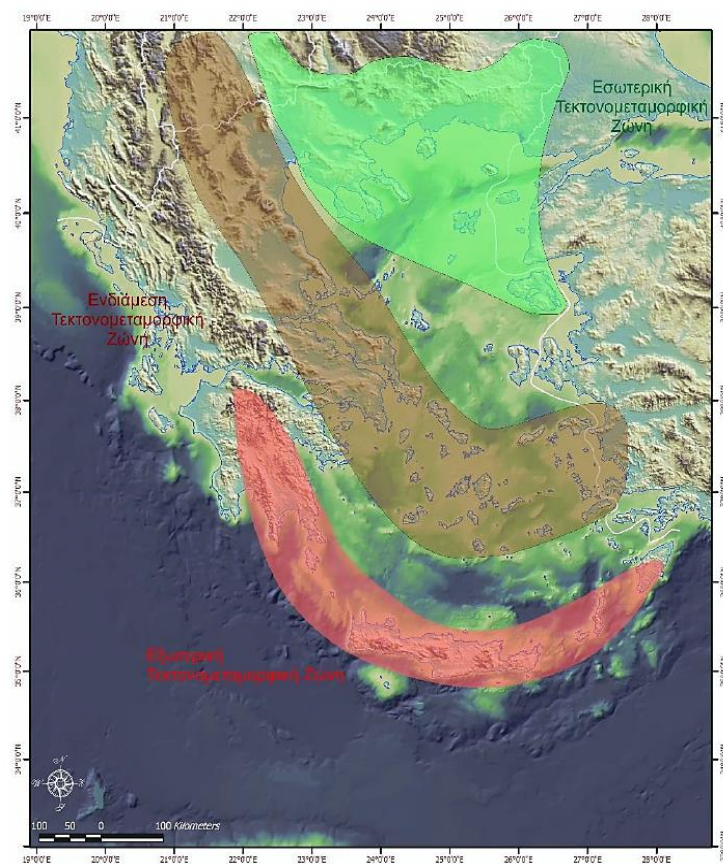
Α)Εξωτερικές Ελληνίδες: Ενότητα Παξών (Προαπούλια), Ιόνια Ενότητα, Ενότητα Γαβρόβου-Τρίπολης, Ενότητα Πίνδου-Ωλονού, Ενότητα Θεσσαλίας-Βοιωτίας, Ενότητα Παρνασσού, Ενότητα Κρήτης-Μάνης, Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών (Ενότητα Άρνας)

Β)Εσωτερικές Ελληνίδες: Ενότητα Υποπελαγονικής, Ενότητα Πελαγονικής, Ενότητα Ανατολικής Ελλάδας, Μαλιακή ενότητα, Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων, Κατώτερη Ενότητα (Όλυμπος -Αλμυροπόταμος -Κερκετέας), Αττικοκυκλαδική ενότητα, Ζώνη Αξιού (Ενότητες Αλμωπίας-Πάικου-Παιονίας), Ενότητα Περιροδοπικής, Σύμπλεγμα Σερβομακεδονικής (Ενότητα Βερτίσκου, Ενότητα Κερδυλίων), Σύμπλεγμα Ροδόπης (Ενότητα Σιδηρόνερου, Ενότητα Παγγαίου)

4.2.2. Γεωλογία Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ο Δήμος Φυλής ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής. Η γεωλογική δομή της Αττικής έχει απασχολήσει αρκετά την επιστημονική κοινότητα καθώς ακόμη και σήμερα συνεχίζουν να γίνονται μελέτες που

αφορούν στην γεωλογία της με σκοπό να αποσαφηνιστούν μερικές «γκρι» ζώνες. Από γεωτεκτονικής άποψης η Αττική τοποθετείται στις Εσωτερικές Ελληνίδες και στην Ενδιάμεση Τεκτονομεταμορφική Ζώνη (Σχήμα 29.) των Ελληνίδων (Brunn 1956, Παπανικολάου, 1986). Με βάση τον Παπανικολάου (1986), στην Αττική απαντούν μεταλπηκοί σχηματισμοί, αμεταμόρφωτοι σχηματισμοί (Ενότητα Υποπελαγονικής και Ενότητα Ανατολικής Ελλάδας) καθώς και μεταμορφωμένοι σχηματισμοί (Ενότητα Αττικής και Ενότητα Λαυρίου). Διακρίνονται τέσσερις μεγάλες μεταλπηκές λεκάνες: 1) τα Μεσόγεια, 2) ο Ασπρόπυργος, 3) το λεκανοπέδιο της Αθήνας και 4) η λεκάνη των Μεγάρων.



Σχήμα 29. Διάκριση των Τεκτονομεταμορφικών Ζωνών της Ελλάδας

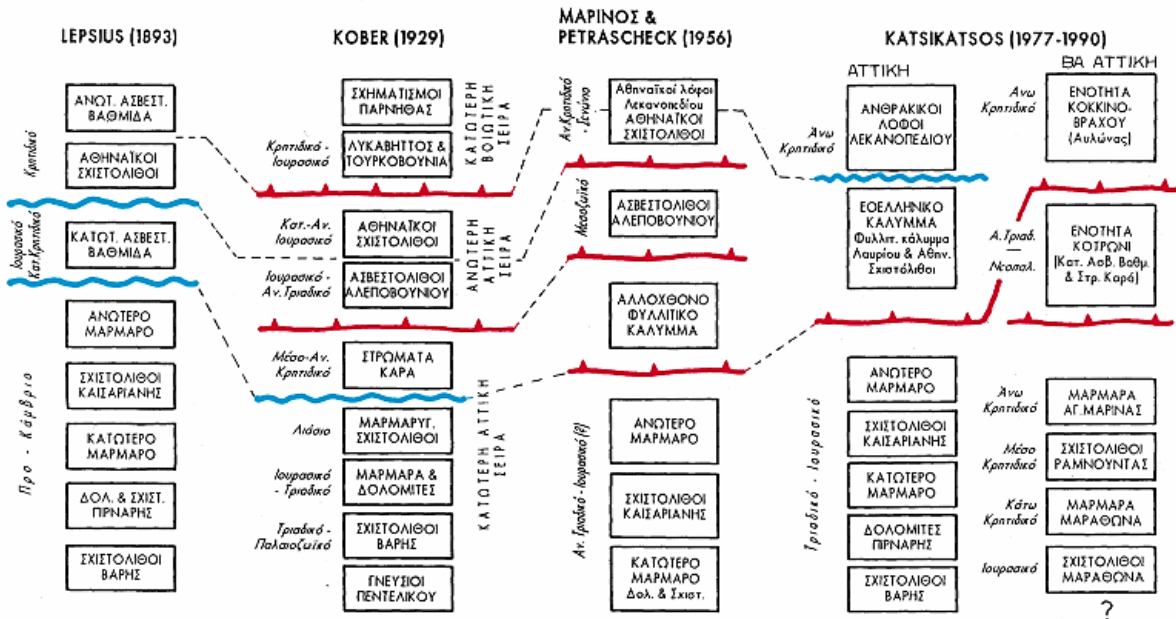
(Σούκης, Κ., 2018, Σημειώσεις Μαθήματος «Γεωλογία Ελλάδας», Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ)

Σύμφωνα με την εργασία των Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε. (2004), σημειώνεται πως το Λεκανοπέδιο των Αθηνών βρίσκεται στο βορειοδυτικό περιθώριο του Αττικοκυκλαδικού μεταμορφικού συμπλέγματος. Αποτελεί ένα μεγάλο βύθισμα που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Αττικής, έχει μήκος περίπου 22km από ΒΑ

προς τα ΝΔ, πλάτος 11km εγκαρσίως και γενική διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ (S. PetushoK & Π. Τζεφέρης). Ανατολικά και Βορειοανατολικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Υμηττού και της Πεντέλης ενώ στα Δυτικά και Βόρεια από τους ορεινούς όγκους του όρους Αιγάλεω, του Ποικίλου όρους και της Πάρνηθας. Ο Υμηττός και η Πεντέλη δομούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής ενώ το όρος Αιγάλεω, το Ποικίλο όρος και η Πάρνηθα δομούνται από τους αμεταμόρφωτους σχηματισμούς της Υποπελαγονικής Ενότητας (Marinos & Petracheck 1956, Παπανικολάου 1986, MARIOLAKOS, I., & FOUNTOULIS, I., 2002). Στο εσωτερικό του Λεκανοπεδίου και κατά μήκος του κεντρικού του άξονα, αναπτύσσεται μια σειρά από λόφους όπως είναι τα Τουρκοβούνια, ο Λυκαβηττός, ο λόφος του Στρέφη, η Ακρόπολη, ο λόφος του Φιλοπάππου, ο λόφος Αρδηττού κλπ. (S. PetushoK & Π. Τζεφέρης).

Πλήθος ερευνητών έχει μελετήσει την γεωλογική δομή της Αττικής. Οι περισσότεροι ερευνητές κάνουν λόγο για μία σχετικά αυτόχθονη ενότητα από δολομίτες, μάρμαρα και σχιστόλιθους πάνω στην οποία είναι επωθημένη μία αλλόχθονη ενότητα, κυρίως από σχιστόλιθους με ιζήματα της ανωκρητιδικής επίκλυσης. Η δομή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής βασίζεται ακόμη και σήμερα στην έρευνα του Lepsius στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Ο Lepsius (1893), διέκρινε τρεις Κρητιδικές βαθμίδες στο Λεκανοπέδιο, με επαφές τεκτονικού χαρακτήρα. Από αυτές, η κατώτερη αντιστοιχεί στα πετρώματα που εντοπίζονται στους δυτικούς πρόποδες του Υμηττού, η ενδιάμεση αντιστοιχεί στους «Σχιστόλιθους Αθηνών» και η ανώτερη, περιλαμβάνει τα ανθρακικά πετρώματα που εμφανίζονται στις κορυφές των Αθηναϊκών λόφων. Η ηλικία των σχηματισμών επιβεβαιώνεται και από τον Ktenas (1907) καθώς στη μελέτη του αναφέρει την ύπαρξη πλήθους απολιθωμάτων Ανωκρητιδικής ηλικίας στους Αθηναϊκούς λόφους. Ο Kober (1929), διέκρινε επίσης τρεις σειρές, οι οποίες δεν ταυτίζονται με αυτές του Lepsius και αποτελούν διαδοχικά καλύμματα ή λέπη. Σταδιακά, οι περισσότεροι ερευνητές αναγνώρισαν την τεκτονική φύση των επαφών μεταξύ των νηριτικών ανθρακικών που καταλαμβάνουν την κορυφή των Αθηναϊκών λόφων και των υποκείμενων σχηματισμών και ταυτόχρονα ανέφεραν απολιθώματα του Άνω Κρητιδικού για τους νηριτικούς ασβεστόλιθους (Μαρίνος 1937, Renz 1940, Sindowski 1949, 1951 κ.α.). Οι Μαρίνος et al. (1971, 1974) διαχωρίζουν τους σχηματισμούς του Λεκανοπεδίου σε δύο ενότητες: τα υποκείμενα «Στρώματα Καρρά», που αντιστοιχούν στο φυλλιτικό κάλυμμα της Ενότητας Λαυρίου και στους υπερκείμενους «Σχιστόλιθους Αθηνών», για τους οποίους αναφέρουν την ύπαρξη *Globotruncana* sp. σε διάφορες θέσεις στο Λεκανοπέδιο, πιστοποιώντας την Ανωκρητιδική ηλικία τους. Μεταξύ των δύο ενοτήτων παρεμβάλλονται τεκτονικά οι

άγνωστης ηλικίας ασβεστόλιθοι του Αλεποβουνίου. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, τα νηριτικά και τα πελαγικά ιζημάτα των «Σχιστόλιθων Αθηνών» αποτελούν πλευρικές μεταβάσεις της ίδιας στρωματογραφικής μονάδας ενώ τα παρατηρούμενα τεκτονικά λατυποπαγή μεταξύ των δύο φάσεων οφείλονται κυρίως σε ιδιαίτερες συνθήκες ιζηματογένεσης και λιγότερο σε φαινόμενα δυσαρμονίας.



Σχήμα 30. Απεικόνιση των απόψεων διαφορετικών ερευνητών για τη λιθοστρωματογραφική δομή των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Αττικής

(Λόζιος, 1993)

Λεπτομερής χαρτογράφηση του Λεκανοπεδίου Αθηνών στο πλαίσιο της μικροζωνικής μελέτης (Παπανικολάου et al. 2002), που εκπονήθηκε για το ΥΠΕΧΩΔΕ, μετά τον σεισμό της Αθήνας το 1999, οδήγησε στη διάκριση των αλπικών σχηματισμών σε δύο ενότητες: την υπερκείμενη Ενότητα Αθηνών και την υποκείμενη Ενότητα Αλεποβουνίου.

Παρακάτω ακολουθεί μια περαιτέρω ανάλυση των ενοτήτων που απαρτίζουν το λεκανοπέδιο Αθηνών, έτσι όπως παρουσιάζονται στις εργασίες των Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε. (2004), των S. Petushok & Π. Τζεφέρης καθώς και στο βιβλίο «Γεωλογία της Ελλάδας» του Παπανικολάου, Δ. Ι., 2015.

4.2.2.1. Ενότητα Αθηνών

Οι σχηματισμοί της Ενότητας Αθηνών δομούν το μεγαλύτερο τμήμα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών. Σημειώνεται πως επιφανειακά εμφανίζονται μόνο στα ανώτερα τμήματα

των λόφων του κεντρικού και του δυτικού τμήματος καθώς καλύπτονται από Νεογενείς και Τεταρτογενείς μεταλλικές αποθέσεις. Κατά μήκος της δυτικής παρυφής του Λεκανοπεδίου οι εμφανίσεις της Ενότητας των Αθηνών σχηματίζουν επιμήκη ζώνη, την οποία αποτελούν οι πρόβουνοι του όρους Αιγάλεω και του Ποικίλου όρους. Η βορειότερη εμφάνιση της Ενότητας Αθηνών απαντά στο όριο των Δήμων Άνω Λιοσίων και Αχαρνών (Μενιδίου), ενώ οι νοτιότερες εμφανίσεις της παρατηρούνται στην περιοχή μεταξύ Νίκαιας και Κερατσινίου. Στο κεντρικό τμήμα, εμφανίσεις της ενότητας παρατηρούνται στους λόφους που υψώνονται μεταξύ των δομημένων περιοχών του κέντρου της πρωτεύουσας, με διεύθυνση Βορράς - Νότος. Η Ενότητα Αθηνών μπορεί να διακριθεί, από λιθολογικής απόψεως, σε δύο επιμέρους "υποενότητες", οι οποίες εναλλάσσονται διαδοχικά και παρουσιάζουν διαφορετικούς χαρακτήρες φάσεως και διαφορετική τεκτονική παραμόρφωση (Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004).

Η πρώτη υποενότητα περιλαμβάνει λευκούς-γκριζωπούς, σπανιότερα καστανόχρους, συμπαγείς, άστρωτους - παχυστρωματώδεις, νηριτικούς ασβεστόλιθους, κατά θέσεις δολομιτικούς. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί εμφανίζουν γενικά τα ίδια χαρακτηριστικά τόσο στο δυτικό όσο και στο κεντρικό τμήμα του Λεκανοπεδίου και περιέχουν τρηματοφόρα, πλήρεις τομές και θραύσματα ρουδιστών, που προσδιορίζουν κατά βάση ηλικία Σενωνίου. Σε αρκετές περιοχές εμφανίζονται στην ανώτερη θέση του συνόλου της Ενότητας Αθηνών. Στους ανατολικούς πρόποδες του Ποικίλου, οι ανώτεροι νηριτικοί ασβεστόλιθοι είναι πιο καστανόχροοι σε σχέση με υποκείμενες εμφανίσεις της ίδιας λιθολογικής υποενότητας. Δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη λιθολογική ποικιλία. Η δεύτερη υποενότητα, αντιστοιχεί σε ένα σύνθετο σύστημα, που αποτελείται από διάφορες λιθολογίες και είναι γνωστό με την ονομασία "σχιστόλιθοι των Αθηνών" s.s. (Μαρίνος et al. 1971). Η ονομασία αυτή είναι παραπλανητική και δεν αντιστοιχεί στην πραγματική φύση των σχηματισμών δεδομένου ότι περιλαμβάνει αμεταμόρφωτα κλαστικά ιζήματα, όπως πηλίτες, ψαμμίτες, αργιλικούς σχίστες, αργίλους, ψαμμούχες μάργες και γραουβάκες, τοφφικά ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα, καθώς επίσης και πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστολίθους, οι οποίοι κατά θέσεις σχηματίζουν αξιόλογες εμφανίσεις και συχνά περιέχουν πυριτικές ενδιαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων. Σε αρκετές θέσεις, τόσο στο δυτικό τμήμα όσο και στο κεντρικό έχει αναφερθεί η ύπαρξη πλουσιότατης μικροπανίδας του Άνω Κρητιδικού, εντός των μαργαϊκών ασβεστολίθων (Μαρίνος 1937, Τάταρης 1967, Μαρίνος et al. 1971, 1974).

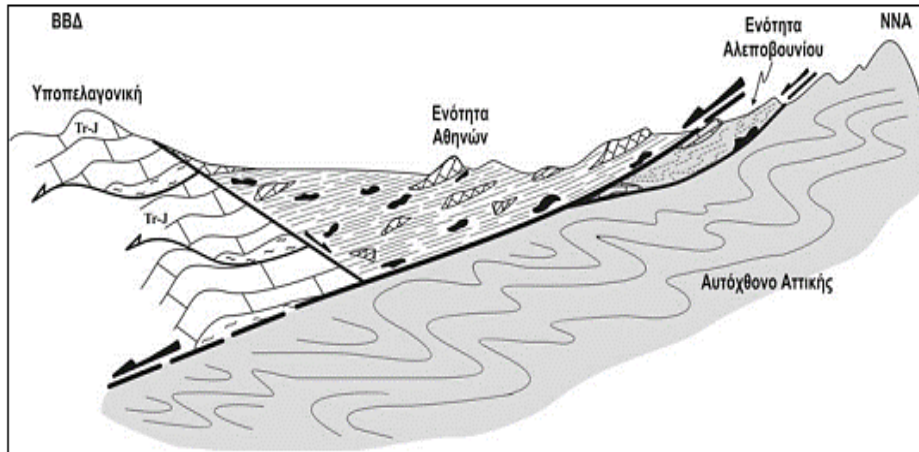
Όσον αφορά στην τεκτονική θέση της ενότητας, η Ενότητα Αθηνών έρχεται σε επαφή με τη μεταμορφωμένη ενότητα Αλεποβουνίου (βλέπε κεφάλαιο 4.2.2.2.) καθώς και με την αμεταμόρφωτη ενότητα της Υποπελαγονικής (βλέπε κεφάλαιο 4.2.2.3.). Στο ανατολικό τμήμα του Λεκανοπεδίου, η Ενότητα Αθηνών υπέρκειται τεκτονικά των σχηματισμών της μεταμορφωμένης Ενότητας Αλεποβουνίου με την επαφή, στο μεγαλύτερο τμήμα της, να καλύπτεται από μεταλπικούς σχηματισμούς. Η επαφή της Ενότητας Αθηνών με την Ενότητα Αλεποβουνίου είναι ένα σημαντικό κανονικό ρήγμα αποκόλλησης, το οποίο οριοθετεί τους αμεταμόρφωτους από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και συνέβαλε στην άνοδο των μεταμορφωμένων πετρωμάτων στην επιφάνεια. Η Ενότητα Αθηνών καταλαμβάνει την κορυφαία θέση στη στέγη της αποκόλλησης ενώ η Ενότητα Αλεποβουνίου είναι στην κορυφαία θέση του δαπέδου. Στο δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου επίσης υπέρκειται τεκτονικά των σχηματισμών της Ενότητας Υποπελαγονικής (Σχήμα 31.). Η επαφή είναι ένα κανονικό ρήγμα μικρής κλίσης, αντιθετικό ως προς το ρήγμα αποκόλλησης, εμφανίζεται κατά μήκος των ανατολικών προπόδων του Αιγάλεω και του Ποικίλου όρους, κλίνει με μέτριες τιμές κλίσης προς τα ανατολικά, και τέμνεται από νεότερα ρήγματα με διεύθυνση ~Α-Δ. Η Ενότητα Αθηνών είναι η ανώτερη ενότητα του Λεκανοπεδίου και στο σύνολό της είναι ένα melange Ανωκρητιδικής ηλικίας, το οποίο περιλαμβάνει δύο λιθολογικά σύνολα. Εμφανίζεται στο δυτικό και στο κεντρικό τμήμα, όπου υπέρκειται τεκτονικά της Υποπελαγονικής Ενότητας και της Ενότητας Αλεποβουνίου αντίστοιχα και είναι πιθανό να σχετίζεται με παρόμοιες λιθολογίες και ενότητες που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή της Αργολίδας (Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004).

4.2.2.2. Ενότητα Αλεποβουνίου

Η ενότητα Αλεποβουνίου εμφανίζεται κατά μήκος των δυτικών προπόδων του Υμηττού, όπου παρεμβάλλεται μεταξύ των υποκείμενων μεταμορφωμένων σχηματισμών της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής και των υπερκείμενων σχηματισμών της Ενότητας Αθηνών (Σχήμα 31.). Αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα που δομούν τη σειρά των λόφων (Τσακός, Λιθάρι, Αλεποβούνι, Κουταλάδες, λόφος Ζωοδόχου Πηγής Υμηττού, Κοπανάς κ.α.), οι οποίοι αναπτύσσονται ως πρόβουνοι του Υμηττού από την περιοχή του αυχένα του προς την οροσειρά της Πεντέλης μέχρι την περιοχή της Αργυρούπολης. Σ' ένα μεγάλο μέρος της καλύπτεται ασύμφωνα από μεταλπικές αποθέσεις. Όπως στην Ενότητα Αθηνών έτσι και στην Ενότητα Αλεποβουνίου, από λιθολογική και τεκτονική άποψη, διακρίνονται δύο κύρια λιθολογικά σύνολα (Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004).

Το ανώτερο σύνολο της ενότητας Αλεποβουνίου περιλαμβάνει συμπαγείς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, λευκούς έως ερυθρίζοντες ή φαιοκάστανους, άστρωτους έως παχυστρωματώδεις. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί μερικές φορές εξελίσσονται προς περισσότερο πλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους της ίδιας όψης. Η ηλικία των κρυσταλλικών ασβεστολίθων δεν έχει διευκρινιστεί καθώς δεν υπάρχουν προσδιορίσιμα απολιθώματα μέσω των οποίων μπορεί να γίνει η χρονολόγηση. Με βάση παλαιότερες έρευνες, οι μελετητές αναφέρουν κάποια περιγράμματα από λείψανα ανακρυσταλλωμένων φυκών, πιθανότατα *Gygozozella*, στο λόφο Αλεποβουνίου (Καισαριανή), εκπρόσωπο της οικογένειας *Orbitolinidae*, πιθανότατα Κάτω Κρητιδικής ηλικίας, στο λόφο Κόρακα (Negris 1915 - 1919), καθώς και το χαρακτηριστικό κοράλλι *Thecosmilia* (Kober 1929), κοντά στον Άγιο Ιωάννη τον Μάρκο, απέναντι από το νεκροταφείο Καισαριανής. Από αυτά συμπεραίνεται ότι η ηλικία των ανθρακικών είναι εν μέρει Τριαδική. Το κατώτερο σύνολο της Ενότητας Αλεποβουνίου συνίσταται από μεταμορφωμένα έως ημιμεταμορφωμένα ψαμμιτικά, σχιστομαργαϊκά στρώματα και φυλλίτες, έντονα πτυχωμένους και σχιστοποιημένους, ιδιαίτερα αμέσως κάτω από την τεκτονική επαφή με τους υπερκείμενους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους Αλεποβουνίου. Εντός αυτών παρεμβάλλονται τεφροί ή καστανοί, πλακώδεις ασβεστόλιθοι, καθώς και πλακώδεις ερυθροί ή κιτρινωποί μικροκοκκώδεις χαλαζίτες. Το συνολικό πάχος των φυλλιτών μαζί με τους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως το πολύ μια-δυο εκατοντάδες μέτρα (Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004).

Η Ενότητα Αλεποβουνίου οριοθετείται από δύο τεκτονικές επαφές μικρής κλίσης τόσο με τα υποκείμενα μεταμορφωμένα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής που δομούν το όρος Υμηττός (ανατολικά), όσο και με τα αμεταμόρφωτα πετρώματα της Ενότητας Αθηνών (δυτικά). Η ενότητα Αλεποβουνίου πιθανότατα αποτελεί τη συνέχεια της Ενότητας Λαυρίου στο Λεκανοπέδιο Αθηνών και είναι τεκτονικά σφηνωμένη μεταξύ της υπερκείμενης Ενότητας Αθηνών και των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του Υμηττού μέσω δύο τεκτονικών επαφών, που κλίνουν με μικρή έως μέτρια κλίση προς τα βορειοδυτικά (Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004).



Σχήμα 31. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής του Λεκανοπεδίου Αθηνών

(Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε., 2004)

4.2.2.3. Ενότητα Υποπελαγονικής

Η Υποπελαγονική ενότητα βρίσκεται στη δυτική πλευρά της Πελαγονικής ενότητας (Κίλιας & Μουντράκης., 1989. Mountrakis et al., 1983) και εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ από την Αλβανία, προς τη δυτική Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά Ελλάδα φθάνοντας τουλάχιστον μέχρι την ανατολική Πελοπόννησο. Εμφανίζεται στη Βόρεια Αττική, στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στην Εύβοια, στην Αργολίδα, στον ορεινό όγκο της Πίνδου και σε μερικά νησιά των Κυκλάδων. Η ενότητα της Υποπελαγονικής είχε ονομαστεί αρχικά ενότητα Ανατολικής Ελλάδας καθώς καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της (Renz 1955). Η ονομασία Υποπελαγονική δόθηκε αργότερα από τον Aubouin (1959) για να χαρακτηρίσει τα πετρώματα που απαρτίζουν τη ζώνη μετάβασης δυτικά του Πελαγονικού υβώματος προς τη ζώνη της Πίνδου με αποτέλεσμα οι λιθοφάσεις να χαρακτηρίζονται από μετάβαση νηριτικών σε πελαγικές αντίστοιχα. Ωστόσο σήμερα ο όρος Υποπελαγονική δεν είναι τόσο ακριβής καθώς δεν αντιστοιχεί στον παλαιογεωγραφικό χώρο που είχε καθορίσει τότε ο Aubouin (1959). Τότε η Υποπελαγονική είχε ορισθεί σαν η κλιτύς από τη λεκάνη της Πίνδου προς το πελαγονικό ήβωμα, κατά μήκος της οποίας είχε γίνει έκχυση οφιολίθων. Αργότερα όμως έπαψε να ισχύει ο αρχικός ορισμός της ενότητας, καθώς η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών έδωσε μια νέα διάσταση όσον αφορά στη δημιουργία των οφιολίθων οι οποίοι δημιουργούνται στις μεσοωκεάνιες ράχες και όχι μέσω διεισδύσεων γρανιτικού τύπου με επακόλουθη τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια (Παπανικολάου, Δ., Ι., 2015). Τη δεκαετία του 1970, διαπιστώθηκε ότι οι οφιολίθοι της Υποπελαγονικής αποτελούν τεκτονικό κάλυμμα πάνω στα υποκείμενα τριαδικό-ιουρασικά πετρώματα και ότι η «Πελαγονική ζώνη» περιλάμβανε

και πλήθος μεταμορφωμένων αλπικών και προ-αλπικών ενοτήτων, οπότε ο όρος Υποπελαγονική έχασε την αρχική του σημασία και πολλές φορές αντικαταστάθηκε από τον όρο «μη μεταμορφωμένη Πελαγονική» (Celet & Ferriere, 1978). Ωστόσο ο όρος Υποπελαγονική επικρατεί μέχρι σήμερα και αφορά στα μη μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία περιλαμβάνουν την ανθρακική πλατφόρμα του Τριαδικο-Ιουρασικού (Παπανικολάου, 1986). Τα πετρώματα που περιλαμβάνει είναι κυρίως νηριτικά με χαρακτηριστική την εμφάνιση μεγάλων οφιολιθικών μαζών και τη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (Ozsvar et al., 2011). Οι οφιολίθοι της Υποπελαγονικής χαρακτηρίζονται ως η εξωτερική (προς δυσμάς) οφιολιθική λωρίδα της Ελλάδας γνωστή και ως ERO (Μουντράκης 2010).

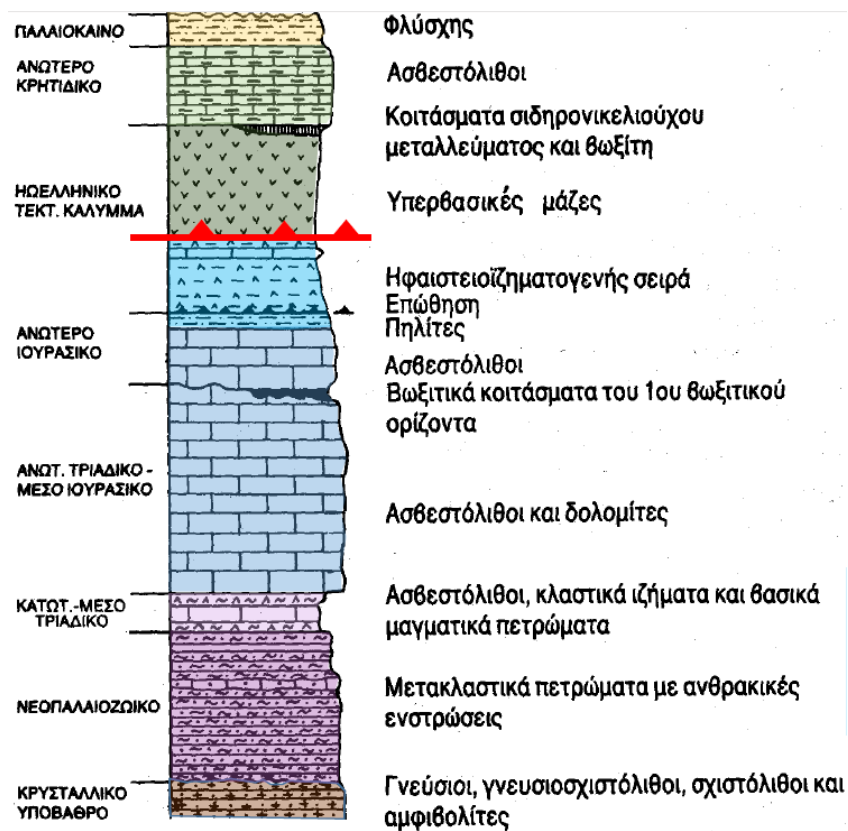
Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα ανατολικά της Υποπελαγονικής, πάνω στα οποία βρίσκονται Μεσοζωϊκά ιζήματα, αποτελούν την Πελαγονική ενότητα. Πιστεύεται ότι η Πελαγονική ενότητα ήταν ηπειρωτικό τέμαχος της Κιμμερικής ηπείρου που αποσπάστηκε από τη Γκοντβάνα και συγκολλήθηκε στην Ευρωπαϊκή ήπειρο (Mountrakis 1984). Οι Τριαδικής-Ιουρασικής ηλικίας σχηματισμοί της Υποπελαγονικής ζώνης έχει αποδειχθεί ότι είναι ίδιοι με εκείνους της Πελαγονικής. Η κύρια διαφορά τους, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι ότι οι σχηματισμοί της Υποπελαγονικής δεν έχουν υποστεί μεταμόρφωση ενώ οι σχηματισμοί της Πελαγονικής είναι μεταμορφωμένοι.

Όσον αφορά στη λιθοστρωματογραφία της ενότητας, πρόκειται για νηριτικού τύπου πετρώματα μιας ασβεστολιθικής πλατφόρμας, η οποία συμπληρώνεται από τις γνωστές σαν σχιστο-ψαμμιτο-κερατολιθικές διαπλάσεις καθώς και από τους οφιολίθους. Πιο αναλυτικά, η Υποπελαγονική αποτελείται από κάτω προς τα πάνω από τους παρακάτω σχηματισμούς (Σκούρτσος Εμμανουήλ, Σημειώσεις μαθήματος «Γεωλογία Ελλάδας», 2017):

- 1) Κρυσταλλικό υπόβαθρο: Βιοτιτικοί, διμαργαρυγιακοί γνεύσιοι και σχιστόλιθοι, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες (Εμφανίζεται στη βόρεια Εύβοια).
- 2) Κλαστικά πετρώματα με ενστρώσεις ασβεστολίθων, ελαφρά μεταμορφωμένοι σε ορισμένες περιοχές. Περμικοί ασβεστόλιθοι. Ηλικία Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο – Πέρμιο.
- 3) Κύριο χαρακτηριστικό η ύπαρξη βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων με τόφρους με κλαστικούς σχηματισμούς και ασβεστόλιθους κονδυλώδεις με αμμωνίτες. Ηλικία Κατώτερο – Μέσο Τριαδικό.

- 4) Νηριτικοί ασβεστόλιθοι με ύπαρξη βωξιτικού ορίζοντα με ταβάνι ασβεστόλιθους με Cladocoropsis. Ανώτερο Τριαδικό – Ανώτερο Ιουρασικό.
- 5) Κερατόλιθοι και ερυθροί πηλίτες που μεταβαίνουν στη σχιστο-ψαμμιτο-κερατολιθική διάπλαση η οποία παίρνει μορφή τεκτονικού μείγματος. Ηλικία Οξφόρδιο – Κιμμερίδιο.
- 6) Κάλυμμα οφιολίθων. Μέσο Τριαδικό έως Μέσο Ιουρασικό.

Παρακάτω στο σχήμα 32 απεικονίζεται σχηματικά η στρωματογραφική κολώνα της ενότητας της Υποπελαγονικής όπως παρουσιάζεται από τις σημειώσεις του καθηγητή Σκούρτσο Εμμανουήλ στο μάθημα «Γεωλογία Ελλάδας».



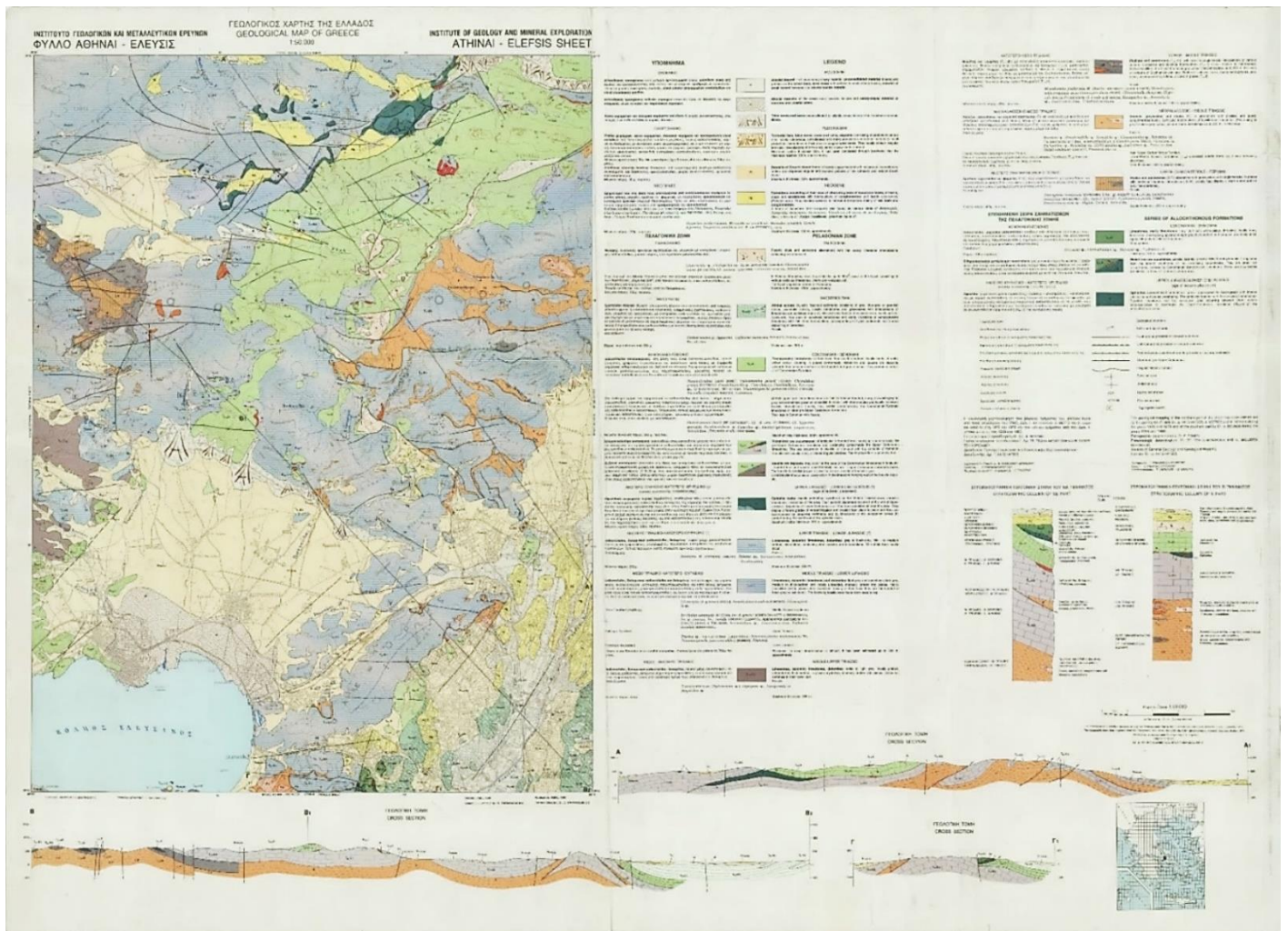
Σχήμα 32. Σχηματική Λιθostrωματογραφική Στήλη της Υποπελαγονικής Ενότητας

(Σκούρτσος Εμμανουήλ, Σημειώσεις μαθήματος «Γεωλογία Ελλάδας», 2017)

Τα πετρώματα της Υποπελαγονικής δομούν την Πάρνηθα, το όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο όρος και είναι αμεταμόρφωτα πετρώματα όπως ήδη αναφέρθηκε. Η επαφή της Ενότητας Αθηνών με την Ενότητα Υποπελαγονικής στα δυτικά πρηνή του Λεκανοπεδίου, είναι ένα κανονικό ρήγμα μικρής κλίσης. Η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από τα πετρώματα

**Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων**

της ενότητας της Υποπελαγονικής όπως φαίνεται και στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη της Ελευσίνας ο οποίος υπάρχει στα αρχεία του ΕΑΓΜΕ (ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΕΤΤΟΣ, Α., ΒΙΔΑΛΗΣ, Μ., ΔΟΥΝΑΣ, Α. 1986. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ ΕΛΕΥΣΙΣ, ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000. ΑΘΗΝΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Α.Γ.Μ.Ε.).

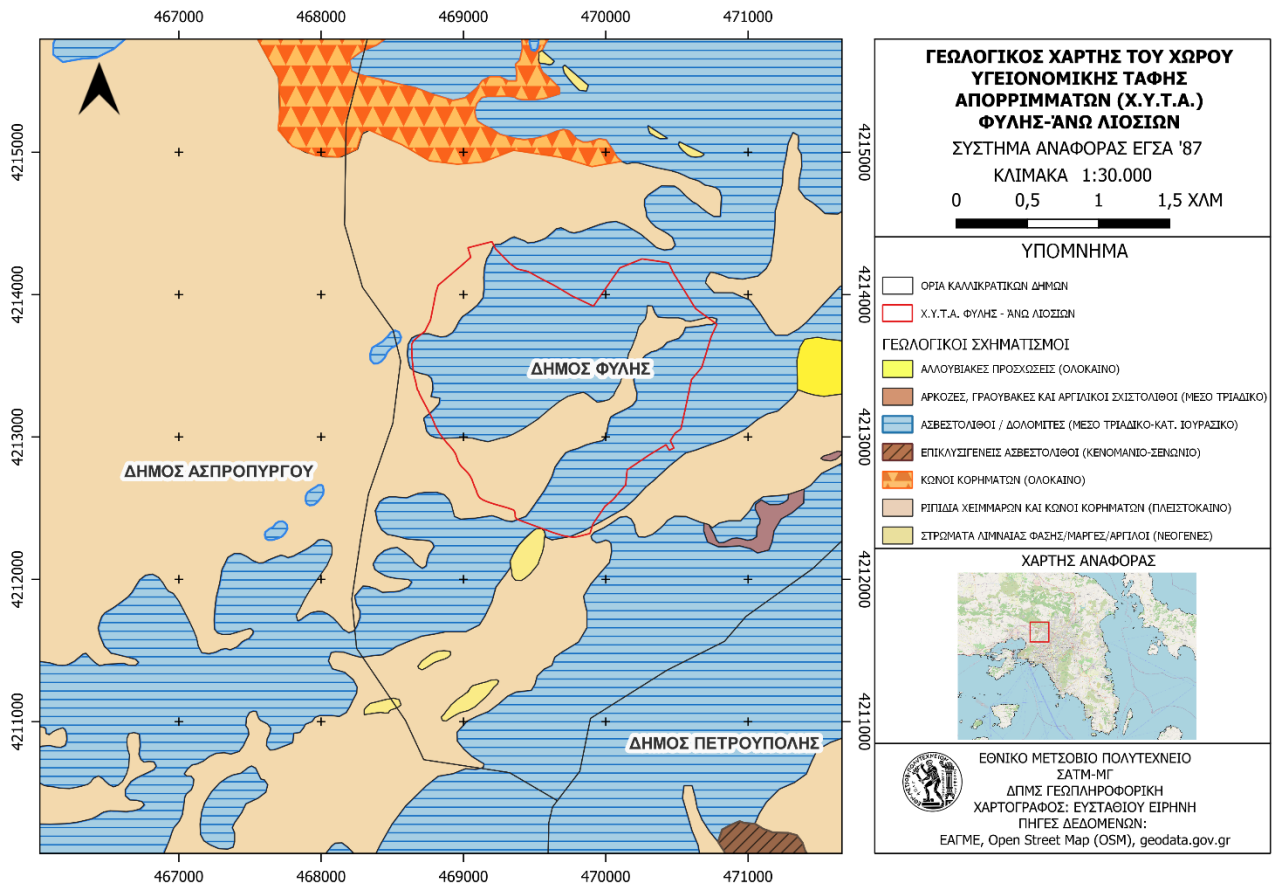


Χάρτης 3. Γεωλογικός Χάρτης Ελευσίνας

(ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΕΤΤΟΣ, Α., ΒΙΔΑΛΗΣ, Μ., ΔΟΥΝΑΣ, Α. 1986. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ ΕΛΕΥΣΙΣ, ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000. ΑΘΗΝΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Α.Γ.Μ.Ε)

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε ένα μικρό σημείο του χάρτη 3, για αυτόν τον λόγο, ο παραπάνω χάρτης γεωαναφέρθηκε και ψηφιοποιήθηκε ώστε να είναι πιο εστιασμένος στην περιοχή του Χώρου Υγειονομικής Ταφής του Δήμου Φυλής. Το σφάλμα γεωαναφοράς του είναι 3.78 μέτρα. Ο χάρτης 3 έχει κλίμακα 1:50.000, συνεπώς το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα είναι $(0,25 \cdot 50.000) / 1.000 = 12,5$ μέτρα και η γεωαναφορά θεωρείται επιτυχής.

**Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων**



Χάρτης 4. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α.

(Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0.-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Όπως φαίνεται και στον χάρτη 4, στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής απαντούνται δύο γεωλογικοί σχηματισμοί, ανθρακικά πετρώματα και συγκεκριμένα ασβεστόλιθοι και δολομίτες ηλικίας Μέσου Τριαδικού - Κατώτερου Ιουρασικού (περίπου στα 240 Ma), καθώς και ριπίδια χειμάρρων και κώνοι κορημάτων ηλικίας Πλειστόκαινου (περίπου στα 2.5 Ma). Σύμφωνα με την εργασία του Lekkas (2001), η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από κορήματα και αλπικούς ανθρακικούς σχηματισμούς αμεταμόρφωτους. Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρούνται αλλουβιακές προσχώσεις ηλικίας Ολόκαινου (περίπου στα 0.0117 Ma) καθώς και κώνοι κορημάτων της ίδιας ηλικίας. Ακόμη, στρώματα λιμναίας φάσης ηλικίας Νεογενούς (περίπου στα 20 Ma), αρκόζες και γραουβάκες ηλικίας Μέσου Τριαδικού (περίπου στα 240 Ma) και τέλος επικλυσιγενείς ασβεστόλιθοι ηλικίας Κενομάνιου - Σενώνιου (περίπου στα 100 Ma).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1. Αντικείμενο Μελέτης & Πηγές Δεδομένων

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής – Άνω Λιοσίων μέσω της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (Land Surface Temperature-LST). Η περιοχή μελέτης είναι ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων του Δήμου Φυλής ο οποίος είναι ο τελικός αποδέκτης όλων των μη επικίνδυνων αποβλήτων της Αττικής. Η μελέτη και η συνεχής παρακολούθηση τέτοιων χώρων είναι πολύ σημαντική καθώς λόγω της βιοαποικοδόμησης των απορριμμάτων, εκλύονται θερμά αέρια τα οποία αυξάνουν την επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους. Βασικό βήμα της μελέτης αποτελεί η συλλογή δορυφορικών δεδομένων που αφορούν στην καταγραφή της LST. Σημειώνεται πως επιλέγονται δορυφορικά δεδομένα Landsat για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι δορυφόροι Landsat 4-5, Landsat 7 και Landsat 8-9 διαθέτουν θερμικά κανάλια τα οποία μπορούν να καταγράψουν την LST. Συγκεκριμένα οι δορυφόροι Landsat 4-5 φέρουν τον αισθητήρα Thematic Mapper (TM) ο οποίος διαθέτει θερμικό κανάλι (Κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 120m. Ο δορυφόρος Landsat 7 φέρει έναν ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper-ETM) ο οποίος επίσης διαθέτει θερμικό κανάλι (Κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 60m. Τέλος, οι δορυφόροι Landsat 8-9 φέρουν τον θερμικό αισθητήρα TIRS (Thermal Infrared Sensor-TIRS) ο οποίος μετράει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, σε δυο θερμικά υπερφασματικά κανάλια (Κανάλι 10 TIRS 1 → 10.6μm έως 11.19μm / Κανάλι 11 TIRS 2 → 11.5μm έως 12.51μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 100m. Συμπληρωματικά, στη μελέτη της LST, χρησιμοποιείται και ο δείκτης βλάστησης NDVI ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα παρέχονται από την ιστοσελίδα “Sentinel EO Browser” η οποία διαθέτει τα παρακάτω δορυφορικά δεδομένα: Sentinel 1, Sentinel 2, Sentinel 3, Sentinel 5P, Landsat 1-5 MMS L1, Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8-9, Landsat ESA (Archive), Harmonized Landsat Sentinel, Envisat Meris, MODIS, DEM, Copernicus Services, Proba-V, GIBS, Planet NICFI.

5.2. Μελέτη της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST)

5.2.1. Επιφανειακή Θερμοκρασία Εδάφους (LST)

Η θερμότητα αποτελεί μια μορφή ενέργειας η οποία εξαρτάται από τη δομή της ύλης και είναι δυνατό να μεταδοθεί σε διάφορα συστήματα ή σώματα με διάφορους τρόπους ή να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας. Η θερμοκρασία είναι το μέτρο με το οποίο προσδιορίζεται η "θερμική κατάσταση" των διαφόρων σωμάτων, ένα φυσικό μέγεθος που συνδέεται με τη μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων ενός συστατικού, το οποίο και χαρακτηρίζει πόσο θερμό ή πόσο ψυχρό είναι αυτό. Κύρια πηγή θερμότητας για την ατμόσφαιρα και τη Γη είναι ο ήλιος η ακτινοβολία του οποίου ρυθμίζει τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυρίως των κατώτερων στρωμάτων της, του εδάφους και των νερών. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, από την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται απ' αυτόν, απορροφά πολύ μικρά ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό να απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους η οποία και θερμαίνεται πολύ περισσότερο (ΚΑΛΤΣΟΥΝΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ). Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους είναι μια θεμελιώδης παράμετρος του κλίματος και της βιολογίας, που επηρεάζει τους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Έχει χαρακτηριστεί ως μια από τις πιο σημαντικές καταγραφές της NASA και άλλων διεθνών οργανισμών (King, 1999).

Οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας πάνω στην επιφάνεια της Γης οφείλονται στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η LST μετρά την εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια του εδάφους, όπου αλληλοεπιδρά η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και το θερμαίνει. Αυτή η ποιότητα καταγραφής καθιστά την LST έναν άριστο δείκτη διαχωρισμού ενέργειας μεταξύ γήινης επιφάνειας-ατμόσφαιρας και εξαιρετικά ευαίσθητο στις μεταβαλλόμενες συνθήκες επιφάνειας (Nemani et al., 1996; Wan et al., 2004; Lambin and Ehrlich, 1995; Mildrexler et al., 2009). Η LST εξαρτάται από την ποσότητα της θερμότητας που εισέρχεται και εξέρχεται από το έδαφος (προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία → ανακλώμενη ακτινοβολία → ανακλαστικές ιδιότητες του εδάφους → θερμικές ιδιότητες του όπως η σύστασή του, η θερμοχωρητικότητά του, η υγρασία του). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στο έδαφος ανά ημέρα είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, η εποχή του έτους, το υψόμετρο, ο προσανατολισμός και η κλίση του εδάφους. Η μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους καταγράφεται όταν η θερμοκρασία του αέρα αποκτά τη μέγιστη τιμή της. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από τη

θερμοκρασία του αέρα και στενότερα συνδεδεμένη με τα ραδιενεργά και τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα. Σημειώνεται πως κατά μέσο όρο στη διάρκεια του έτους, το γυμνό έδαφος θερμαίνεται περισσότερο από ένα έδαφος καλυμμένο με βλάστηση καθώς η LST είναι αρκετά ευαίσθητη σε αλλαγές της χλωρίδας.

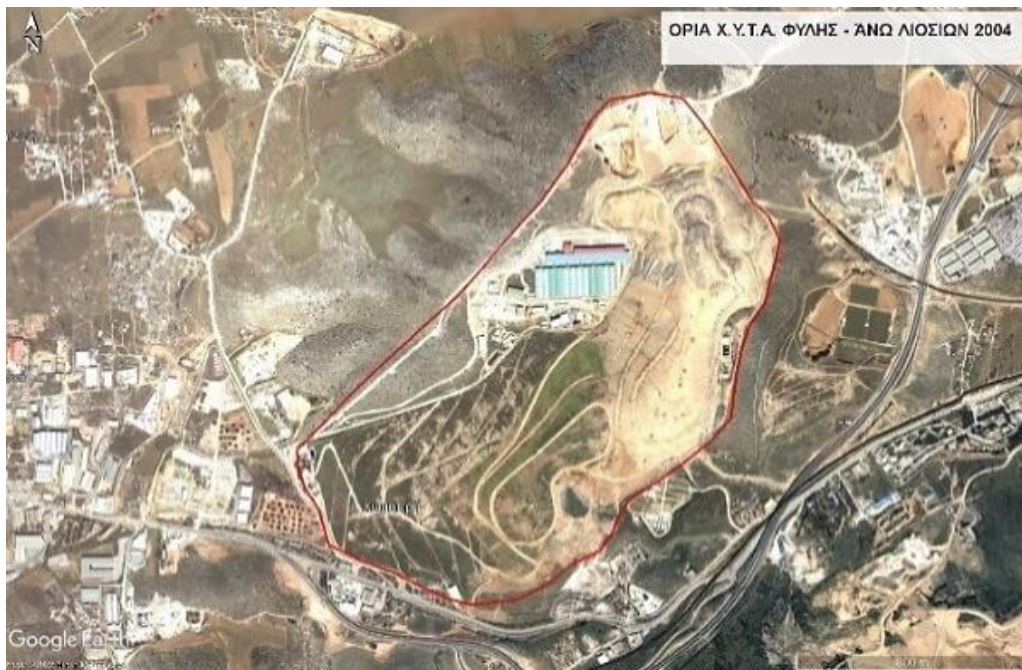
Η ανάκτηση δεδομένων μέσω της τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα μέσω των θερμικών υπέρυθρων δεδομένων (TIR) παρέχει χωρικά συνεχείς μετρήσεις LST με παγκόσμια κάλυψη για την εξέταση της θερμικής ετερογένειας της γήινης επιφάνειας καθώς και τις επιπτώσεις στις επιφανειακές θερμοκρασίες που απορρέουν από αλλαγές που αποδίδονται σε φυσικούς αλλά και σε ανθρώπινους παράγοντες (Jin and Dickinson, 2010; Li et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα ολοένα αυξανόμενο πλήθος μελετών που αφορά στη χρησιμότητα των δεδομένων LST για οικολογικές και βιογεωγραφικές μελέτες. Οι θερμοκρασίες που προέκυψαν από τη συλλογή υπέρυθρων θερμικών δεδομένων TIR συνδυάστηκαν με δείκτες βλάστησης για τη δημιουργία χαρτών καλύψεων Γης (Lambin and Ehrlich, 1995; Nemani and Running, 1997) καθώς και για τις διαταραχές του οικοσυστήματος (Mildrexler et al., 2007, 2009; Coops et al., 2009). Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελούν οι Nemani et al. (1993) οι οποίοι χρησιμοποίησαν την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) ως δείκτη επιπέδων επιφανειακής υγρασίας.

Γίνεται αντιληπτό πως η μελέτη της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους αφορά σε ένα ευρύ πλήθος εφαρμογών καθώς πολλοί επιστήμονες από διαφορετικούς κλάδους των θετικών επιστημών τη χρησιμοποιούν για τις μελέτες τους. Στην παρούσα εργασία η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) αντλείται από τα θερμικά κανάλια των δορυφόρων Landsat μέσω της ιστοσελίδας Sentinel EO Browser. Επιλέγεται να μην γίνει επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων λόγω του μεγάλου όγκου τους αλλά να εξετασθούν οι χρονοσειρές της LST οι οποίες αντλούνται μέσω της συγκεκριμένης ιστοσελίδας.

5.2.2. Επεξεργασία Δεδομένων

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος εργασίας όσον αφορά στα δεδομένα της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST). Ξεκινώντας, σκοπός είναι να προσδιοριστεί ακριβώς ο χώρος στον οποίο γίνεται η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων της Αττικής. Με τη βοήθεια του Google Earth Pro γίνεται ο προσδιορισμός της επιφάνειας του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων καθώς και η χωρική του εξέλιξη από το 2004 έως το 2020. Παρακάτω παρατίθενται με χρονολογική σειρά (εικόνες ανά 4 χρόνια) οι δορυφορικές

εικόνες που παρέχονται από το Google Earth Pro και με κόκκινο χρώμα έχουν σημειωθεί τα όρια του Χ.Υ.Τ.Α.. Είναι εμφανές πως το 2004 (Σχήμα 33.), πριν από 19 χρόνια, ο Χ.Υ.Τ.Α. καταλάμβανε τη μισή έκταση από τη σημερινή. Ο χώρος ξεκίνησε να επεκτείνεται προς τα δυτικά από το 2004 και μετά (δημιουργία του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής), φτάνοντας στο 2008 όπου από την εικόνα (Σχήμα 34.) φαίνεται να έχει γίνει μια μικρή επέκταση του χώρου προς τα δυτικά. Από το 2010 έως σήμερα, ο Χ.Υ.Τ.Α. διατηρεί τα ίδια όρια τα οποία όπως φαίνεται και από τις εικόνες (Σχήματα 35., 36., 37.) είναι λίγο πιο εκτεταμένα σε σχέση με εκείνα του 2008. Σημειώνεται πως ο Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής γειτνιάζει με τους μη λειτουργούντες πια Χ.Υ.Τ.Α. Ι και ΙΙ Άνω Λιοσίων και τον ΧΔΑ Άνω Λιοσίων (ΕΔΣΝΑ, 2021). Όπως φαίνεται και από το σχήμα 37 (Όρια Χ.Υ.Τ.Α. 2020), ο χώρος στα ανατολικά έχει περάσει σιγά σιγά στο στάδιο της αποκατάστασης ενώ στα δυτικά ο Χ.Υ.Τ.Α. δείχνει να είναι ενεργός.



Σχήμα 33. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2004

(Google Earth Pro)



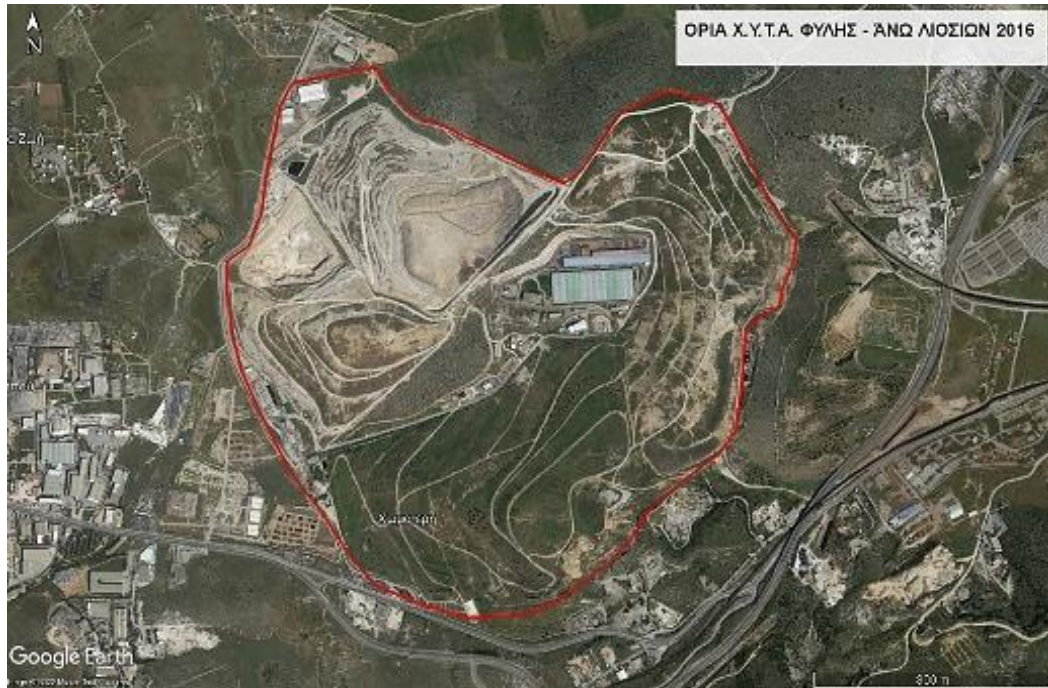
Σχήμα 34. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2008

(Google Earth Pro)



Σχήμα 35. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2012

(Google Earth Pro)



Σχήμα 36. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2016

(Google Earth Pro)

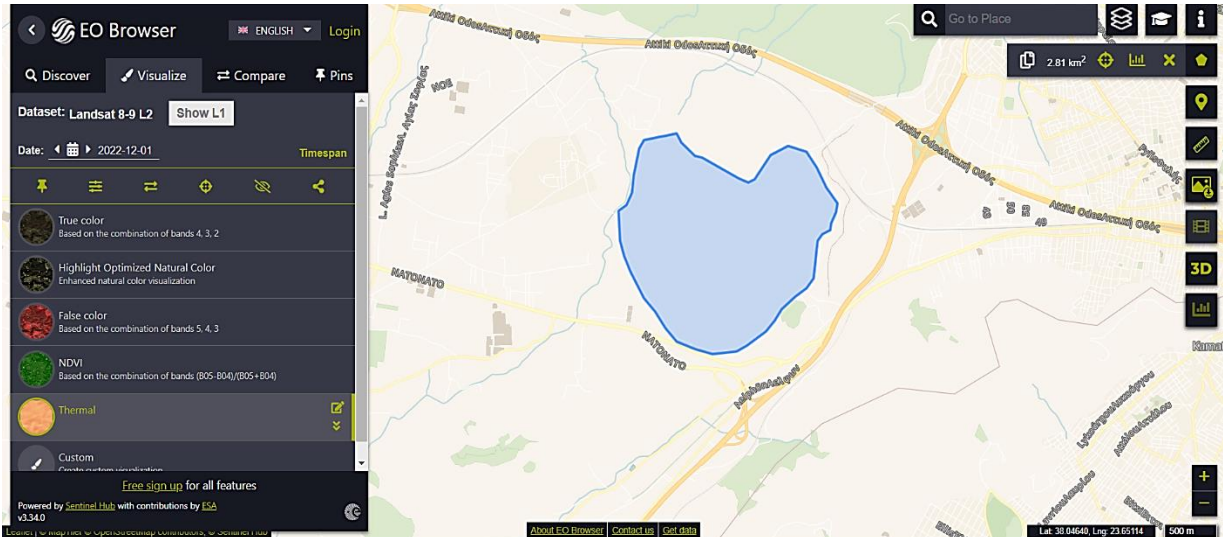


Σχήμα 37. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων 2020

(Google Earth Pro)

Ο τρόπος εργασίας στο Sentinel EO Browser στηρίζεται στα όρια του Χ.Υ.Τ.Α. όπως παρουσιάζονται παραπάνω στις εικόνες του Google Earth Pro. Η συγκεκριμένη ιστοσελίδα παρέχει αρκετά δορυφορικά δεδομένα όμως για την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους χρησιμοποιούνται δεδομένα των δορυφόρων Landsat. Οι δορυφόροι Landsat 4-5, Landsat 7 και Landsat 8-9 διαθέτουν θερμικά κανάλια τα οποία μπορούν να καταγράψουν την LST. Συγκεκριμένα οι δορυφόροι Landsat 4-5 φέρουν τον αισθητήρα Thematic Mapper (TM) ο οποίος διαθέτει θερμικό κανάλι (Κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 120m. Ο δορυφόρος Landsat 7 φέρει έναν ενισχυμένο θεματικό χαρτογράφο (Enhanced Thematic Mapper-ETM) ο οποίος επίσης διαθέτει θερμικό κανάλι (Κανάλι 6 θερμικό → 10.40μm έως 12.50μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 60m. Τέλος, οι δορυφόροι Landsat 8-9 φέρουν τον θερμικό αισθητήρα TIRS (Thermal Infrared Sensor-TIRS) ο οποίος μετράει τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, σε δυο θερμικά υπερφασματικά κανάλια (Κανάλι 10 TIRS 1 → 10.6μm έως 11.19μm / Κανάλι 11 TIRS 2 → 11.5μm έως 12.51μm) και έχει Ground Sampling Interval (pixel size) 100m. Ωστόσο στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν καταγραφές LST από τους δορυφόρους Landsat 4-5 που να παρέχονται από το Sentinel EO Browser, συνεπώς δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα από αυτό το dataset. Από τον ETM+ του Landsat 7 υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα μόνο επιπέδου 1 (Level 1), τα οποία δεν έχουν δεχθεί ατμοσφαιρική διόρθωση, συνεπώς επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τα θερμικά κανάλια των δορυφόρων Landsat 8-9 επιπέδου 2 (Level 2) τα οποία έχουν υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση. Σημειώνεται πως τα δεδομένα που αντλούνται είναι χρονοσειρές (time series). Οι χρονοσειρές βοηθούν στην παρακολούθηση ενός μεγέθους, στην παρούσα περίπτωση το μέγεθος είναι η LST, σε συνάρτηση με τον χρόνο. Προκειμένου να γίνει σωστά ο εντοπισμός της περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. χρησιμοποιούνται τα όρια του πολυγώνου του Χ.Υ.Τ.Α. από το Google Earth Pro όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 37. Το αρχείο μορφής KMZ μπορεί να εισαχθεί στην ιστοσελίδα Sentinel EO Browser (Σχήμα 38.)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων

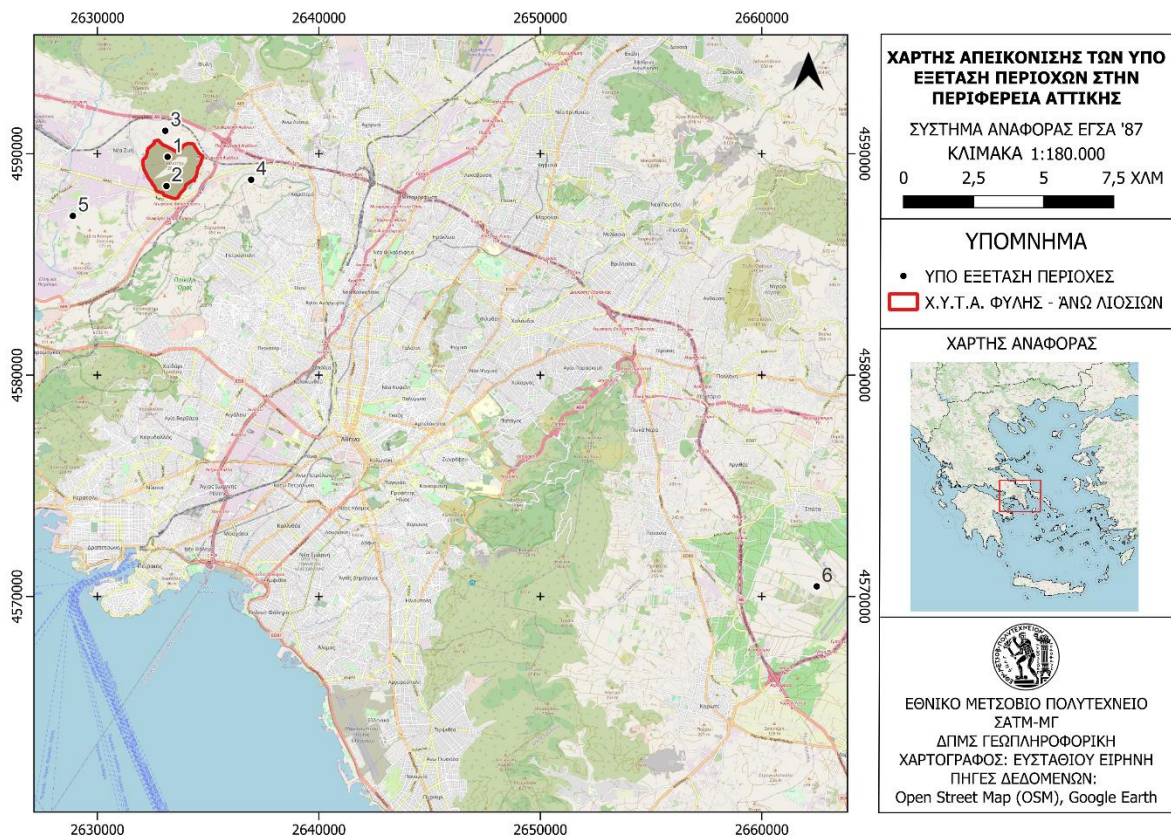


Σχήμα 38. Όρια Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής στην ιστοσελίδα Sentinel EO Browser

Ωστόσο επιλέγεται να μην γίνει επεξεργασία των δεδομένων της LST για το πολύγωνο του σχήματος 38 αλλά να χωριστεί η περιοχή σε τμήματα και να μελετηθεί έτσι (Χάρτης 5). Προκειμένου να γίνει μια χωρική ανάλυση της LST στον χώρο του Χ.Υ.Τ.Α., δημιουργούνται δύο πολύγωνα, το ένα αφορά στον ενεργό χώρο του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής (Σημείο 1 – Χάρτης 5) στον οποίο πραγματοποιείται υγειονομική ταφή (δυτικό τμήμα) και το δεύτερο αφορά στον ανενεργό χώρο (Σημείο 2 – Χάρτης 5) ο οποίος όπως φαίνεται και από το σχήμα 37 έχει περάσει στο στάδιο της αποκατάστασης (ανατολικό-νοτιοανατολικό τμήμα) (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung 2010). Σε επόμενο στάδιο γίνεται σύγκριση της LST του Χ.Υ.Τ.Α. με την LST σε περιοχές στις οποίες δε γίνεται ταφή απορριμμάτων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στο έδαφος ανά ημέρα είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, η εποχή του έτους, το υψόμετρο, ο προσανατολισμός και η κλίση του εδάφους. Συνεπώς, στην επιλογή των περιοχών εκτός του Χ.Υ.Τ.Α. θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο Χ.Υ.Τ.Α., ώστε η περιοχή για την οποία θα εξετασθεί η LST της και θα γίνει η σύγκριση της με εκείνη του Χ.Υ.Τ.Α., να έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον Χ.Υ.Τ.Α., δηλαδή παρόμοιες κλίσεις, παρόμοιο υψόμετρο κτλ. Επιλέγεται να εξετασθούν καλλιέργειες χαμηλής βλάστησης (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung 2010) στον Ασπρόπυργο (Σημείο 5 – Χάρτης 5) και στα Σπάτα (Σημείο 6 – Χάρτης 5) και γυμνό έδαφος, καθώς για τη μελέτη της LST προτιμάται το έδαφος το οποίο δεν καλύπτεται έντονα από βλάστηση διότι θερμαίνεται περισσότερο από ένα έδαφος καλυμμένο με βλάστηση. Στην επιλογή αυτών των περιοχών, λαμβάνεται υπόψη και ο δείκτης NDVI. Τα γυμνά εδάφη που εξετάζονται βρίσκονται σε υψόμετρο

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων

100m (Σημείο 3 - Χάρτης 5) και σε υψόμετρο 250m (Σημείο 4 - Χάρτης 5). Όπως είναι λογικό, τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν από το 2013 και μετά, χρονιά στην οποία τέθηκε σε τροχιά ο Landsat 8. Επιλέγεται να επεξεργαστούν τα δεδομένα των τελευταίων δύο ετών, 2021 και 2022, ανά μήνα, ώστε να γίνει η σύγκριση τους με τη θερμοκρασία του αέρα (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung 2010, Faisal et al. 2012), δεδομένα τα οποία παρέχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων από τη ΜΕΤΕΟ (<https://penteli.meteo.gr/stations/anoliosia/>). Οι περιοχές εξέτασης - σημεία παρουσιάζονται στο χάρτη 5.



Χάρτης 5. Χάρτης Απεικόνισης των υπό εξέταση περιοχών

(Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

5.2.2.1. Ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Δημιουργείται ένα πολύγωνο εντός του Χ.Υ.Τ.Α., έκτασης 0.13 km² (Σχήμα 39.), ώστε να εξετασθεί η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στον χώρο που λαμβάνει χώρα η υγειονομική ταφή και αντλούνται οι χρονοσειρές για το πολύγωνο που έχει επιλεχθεί με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο

Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη. Εξετάζεται η θέση «Σκαλιστήρι» όπως ονομάζεται, η οποία είναι ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται σήμερα η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων.



Σχήμα 39. Πολύγωνο στην Ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μέσω του Excel και περιλαμβάνει τα εξής βήματα. Αρχικά αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Σημειώνεται πως λόγω του cloud coverage παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο 2022 (-7°C, -8°C) οι οποίες επιλέγεται να μη ληφθούν υπόψη καθώς σύμφωνα με βιβλιογραφική

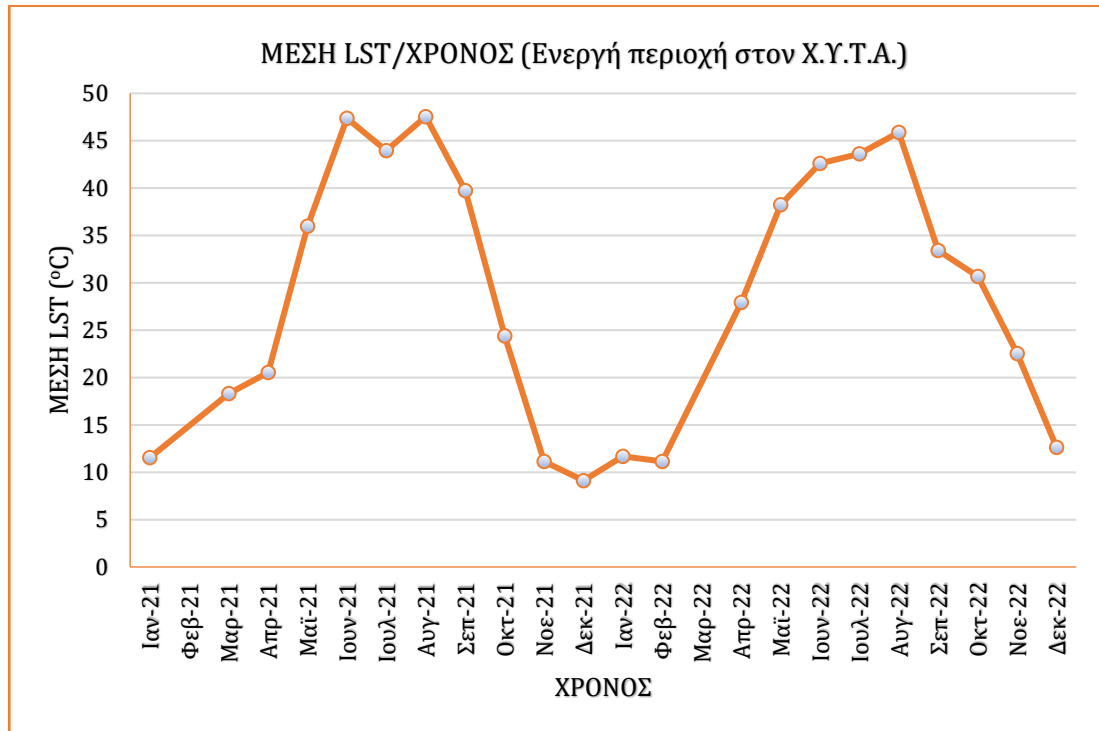
μελέτη η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάντα λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Έχοντας ως δεδομένα τις θερμοκρασίες του αέρα, από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων, από τον Γενάρη του 2021 έως τον Δεκέμβρη του 2022, σημειώνεται πως κανένα μήνα δεν υπήρχε πτώση της θερμοκρασίας κάτω από μηδέν βαθμούς, συνεπώς οι αρνητικές τιμές που είναι καταγεγραμμένες από τον δορυφόρο πιθανώς να οφείλονται στη νεφοκάλυψη και για αυτό τον λόγο δε λαμβάνονται υπόψη. Η αφαίρεση των αρνητικών τιμών δε γίνεται αυθαίρετα καθώς ελέγχονται και οι τιμές της θερμοκρασίας του προηγούμενου μήνα ώστε να υπάρχει μια λογική μετάβαση από τον έναν μήνα στον άλλον. Για παράδειγμα, όταν οι τιμές του Ιανουαρίου είναι κοντά στους 11°C και του Φεβρουαρίου στους 11-12°C θεωρείται επιτυχής η αφαίρεση των αρνητικών τιμών διότι είναι πιθανό να οφείλονται σε σφάλματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 2.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για το τμήμα εδάφους στην ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. (Διάγραμμα 1.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021.

Πίνακας 2. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο (Ενεργή περιοχή στον Χ.Υ.Τ.Α.)

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	11.54
Μαρ-21	18.30
Απρ-21	20.55
Μαϊ-21	35.97
Ιουν-21	47.37
Ιουλ-21	43.97
Αυγ-21	47.55
Σεπ-21	39.74
Οκτ-21	24.40
Νοε-21	11.14
Δεκ-21	9.12
Ιαν-22	11.67
Φεβ-22	11.13
Μαρ-22	1.29
Απρ-22	27.93
Μαϊ-22	38.25
Ιουν-22	42.59
Ιουλ-22	43.63
Αυγ-22	45.89

Σεπ-22	33.42
Οκτ-22	30.67
Νοε-22	22.53
Δεκ-22	12.64



Διάγραμμα 1. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην ενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 1, η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας που σημειώνεται είναι 47.5°C τον Αύγουστο του 2021 ενώ η ελάχιστη είναι 1.3°C τον Μάρτη του 2022. Ωστόσο τον Μάρτη του 2021 η θερμοκρασία εδάφους είχε τιμή 23°C, συνεπώς είναι πιθανό η τιμή 1.3°C που σημειώνεται τον ίδιο μήνα έναν χρόνο μετά να είναι αλλοιωμένη λόγω της επίδρασης από τα σύννεφα. Ακόμη, βλέποντας την LST τον Φεβρουάριο του 2022 (περίπου 11°C) και τον Απρίλιο του 2022 (περίπου 28°C), η τιμή 1.3°C για τον Μάρτιο του 2022 φαίνεται πως είναι εσφαλμένη. Για το λόγο αυτό δεν απεικονίζεται στο διάγραμμα και επιλέγεται να μη ληφθεί υπόψη. Η κατανομή της LST σε σχέση με τον χρόνο είναι αρκετά φυσιολογική καθώς τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) σημειώνει γύρω στους 11°C ενώ όσο φτάνει προς τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία αυξάνεται στους 20°C-28°C (Απρίλιος) και έπειτα στους 36°C (Μάιος) φτάνοντας στους 40°C-47°C το καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) για να μειωθεί ξανά το φθινόπωρο (Σεπτέμβριος και Οκτώβριος). Σύμφωνα με βιβλιογραφία, η

επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στους Χ.Υ.Τ.Α., παρατηρείται να είναι χαμηλότερη τον χειμώνα διότι λόγω του κρύου, είναι πολύ πιο αργή η αποσύνθεση των αποβλήτων (Faisal et al. 2012). Ακόμη στην εργασία των Nazari et al. 2020, σημειώνεται πως η LST είναι μικρότερη τον χειμώνα σε σχέση με εκείνη του καλοκαιριού. Συνεπώς οι αριθμητικές τιμές της LST στο ενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. είναι αρκετά φυσιολογικές χωρίς να παρατηρείται τάση ανόδου.

5.2.2.2. Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Σε επόμενο στάδιο δημιουργείται ένα πολύγωνο εντός του Χ.Υ.Τ.Α., έκτασης επίσης 0.13km², αλλά αυτή τη φορά στην ανενεργή περιοχή η οποία έχει περάσει στο στάδιο της αποκατάστασης (Σχήμα 40.) και αντλούνται οι χρονοσειρές για το πολύγωνο που έχει επιλεγθεί με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη.



Σχήμα 40. Πολύγωνο στην Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Η ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής – Άνω Λιοσίων αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση καθότι ενώ ο Χ.Υ.Τ.Α. Λιοσίων, σύμφωνα με πηγές που έχουν μελετηθεί, είναι

αποκατεστημένος, αρκετά τμήματά του είναι ακόμη ενεργά. Στο σχήμα 40 φαίνεται πως το κομμάτι εδάφους που έχει επιλεγεί ανήκει στον αποκατεστημένο ΧΔΑ Άνω Λιοσίων. Ωστόσο, σύμφωνα με το σχήμα 41 που ακολουθεί, είναι εμφανές ότι πολύ κοντά στο συγκεκριμένο σημείο μελέτης, έχει ξεκινήσει η επέκταση του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής, το λεγόμενο «νέο κύτταρο» του χώρου υγειονομικής ταφής. Το συγκεκριμένο στοιχείο πρέπει να ληφθεί υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο το σημείο εδάφους που επιλέγεται να μελετηθεί είναι στον αποκατεστημένο ΧΔΑ Άνω Λιοσίων.



Σχήμα 41. Εγκαταστάσεις στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων

(πηγή: myota.gr)

Στη συγκεκριμένη επιλογή εδάφους λαμβάνεται υπόψη και ο δείκτης NDVI ώστε σε επόμενο στάδιο όπου θα επιλεγεί τμήμα εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α., ο δείκτης NDVI να έχει παρόμοιες τιμές με εκείνες της ανενεργής περιοχής εντός του Χ.Υ.Τ.Α.. Ο NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης μιας περιοχής με τιμές από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές του NDVI που πλησιάζουν στο -1 αντιστοιχούν στο νερό. Οι τιμές κοντά στο μηδέν (-0.1 έως 0.1) αντιστοιχούν γενικά σε άγονες περιοχές. Οι χαμηλές θετικές τιμές αντιστοιχούν σε λιβάδια ή θάμνους (0.2 έως 0.4) ενώ οι υψηλές

(τιμές που πλησιάζουν το 1) αντιπροσωπεύουν εύκρατα και τροπικά δάση. Όπως είναι λογικό ο δείκτης βλάστησης δεν αγγίζει υψηλές τιμές στην περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. καθώς δεν αναπτύσσεται βλάστηση.

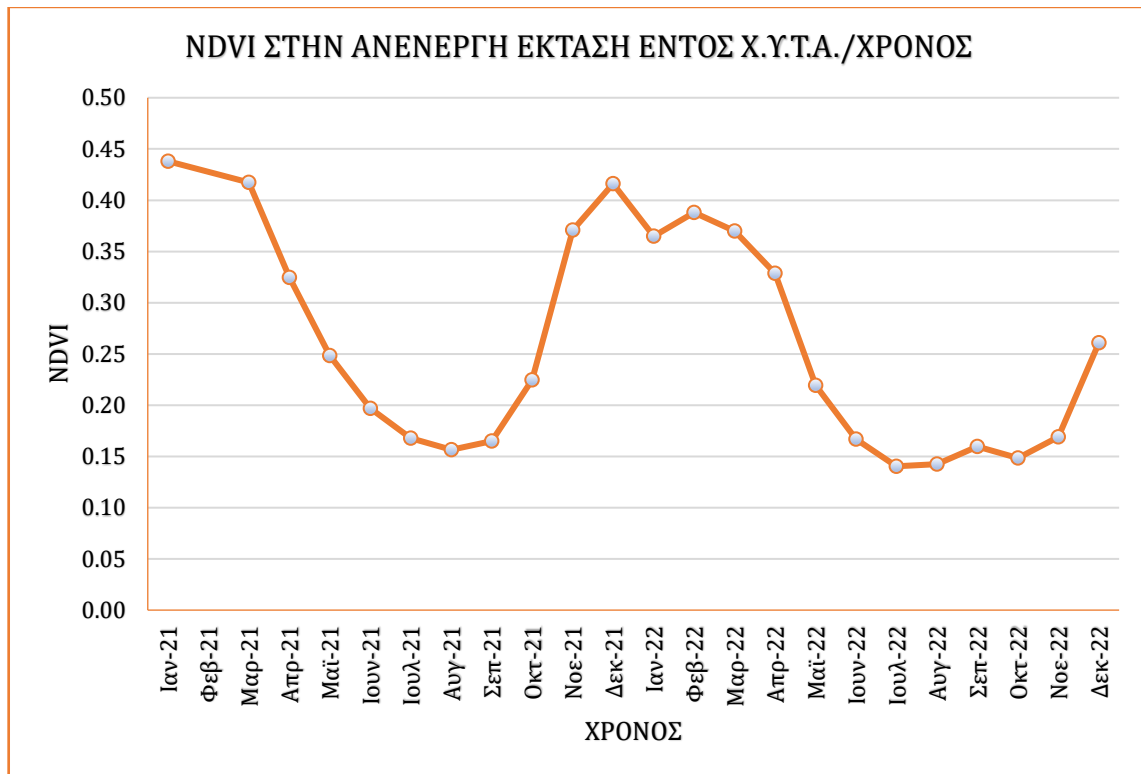
Τα δεδομένα NDVI αντλούνται επίσης από το Sentinel EO Browser και όπως ακριβώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της LST, γίνεται και για τον NDVI. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση των τιμών όταν υπάρχουν περισσότερες από μία και έτσι επιλέγεται να εξαχθεί ο μέσος όρος (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών του δείκτη βλάστησης για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές NDVI, εννοώντας πάντα τη μέση τιμή NDVI (τιμή mean).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές NDVI (μέση τιμή) από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 3.) καθώς και το διάγραμμα μέσης τιμής NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για την ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. (Διάγραμμα 2.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021.

Πίνακας 3. Μέσες τιμές NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο (Ανενεργή περιοχή στον Χ.Υ.Τ.Α.)

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ NDVI
Ιαν-21	0.44
Μαρ-21	0.42
Απρ-21	0.32
Μαϊ-21	0.25
Ιουν-21	0.20
Ιουλ-21	0.17
Αυγ-21	0.16
Σεπ-21	0.16
Οκτ-21	0.22
Νοε-21	0.37
Δεκ-21	0.42
Ιαν-22	0.36
Φεβ-22	0.39
Μαρ-22	0.37
Απρ-22	0.33
Μαϊ-22	0.22

Ιουν-22	0.17
Ιουλ-22	0.14
Αυγ-22	0.14
Σεπ-22	0.16
Οκτ-22	0.15
Νοε-22	0.17
Δεκ-22	0.26



Διάγραμμα 2. NDVI σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Όπως είναι αναμενόμενο οι τιμές του δείκτη βλάστησης είναι αρκετά χαμηλές στην περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. με την υψηλότερη να είναι 0.44 τον Ιανουάριο του 2021. Γενικά αύξηση παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και μείωση τους καλοκαιρινούς. Η βλάστηση σε τέτοιες περιοχές είναι αποτέλεσμα ανθρώπινης παρέμβασης καθώς είναι ένας τρόπος αποκατάστασης του χώρου. Συνήθως χρησιμοποιείται χαμηλή βλάστηση και όχι ψηλά δέντρα καθώς το έδαφος δεν είναι τόσο γόνιμο για να μπορέσουν να ευδοκιμήσουν. Αυτό πιθανόν να οφείλεται και στη διαδικασία του στραγγίσματος που παρατηρείται σε αυτές τις περιοχές λόγω της ταφής των απορριμμάτων (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung, 2010).

Για τα δεδομένα της LST ακολουθείται η ίδια διαδικασία επεξεργασίας η οποία γίνεται στο Excel. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο Ιανουάριος

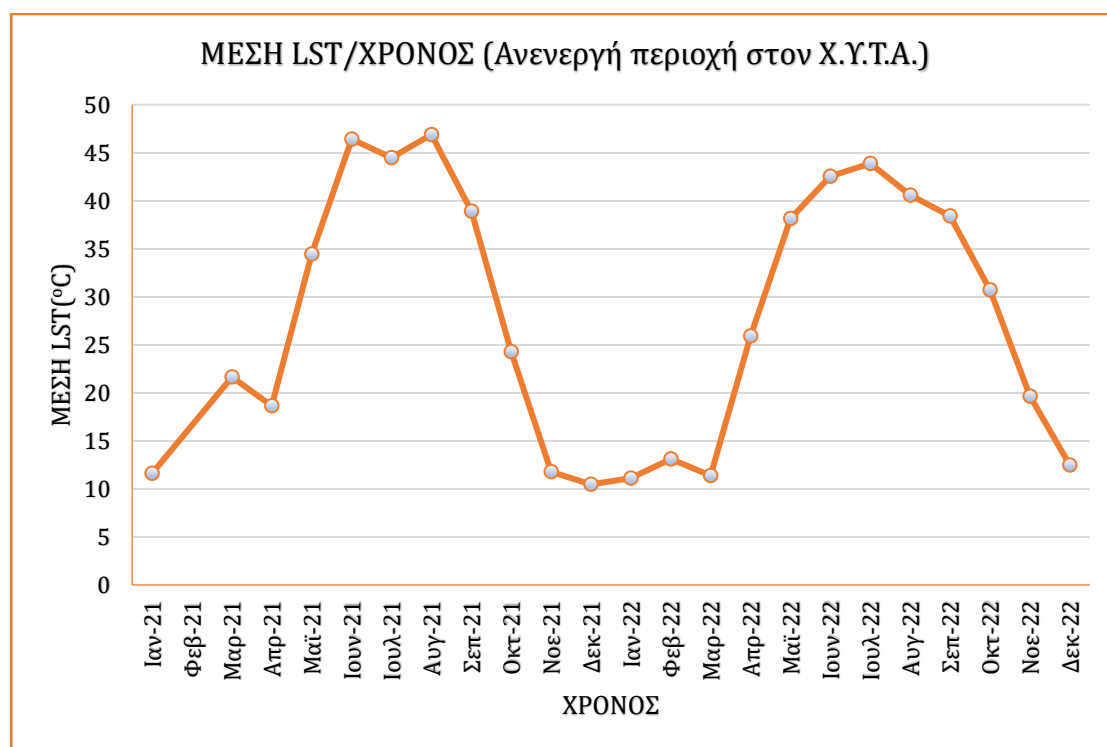
2021 έως Δεκέμβρης 2022. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Σημειώνεται πως λόγω του cloud coverage παρατηρείται μια ακραία τιμή θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο 2022 (-3 °C) η οποία επιλέγεται να μη ληφθεί υπόψη καθώς σύμφωνα με βιβλιογραφική μελέτη η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάντα λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Έχοντας ως δεδομένα τις θερμοκρασίες του αέρα, από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων, από τον Γενάρη του 2021 έως τον Δεκέμβρη του 2022, σημειώνεται πως κανένα μήνα δεν υπήρχε πτώση της θερμοκρασίας κάτω από μηδέν βαθμούς, συνεπώς οι αρνητικές τιμές που είναι καταγεγραμμένες από το δορυφόρο πιθανώς να οφείλονται στη νεφοκάλυψη και για αυτόν τον λόγο δε λαμβάνονται υπόψη. Η αφαίρεση των αρνητικών τιμών δε γίνεται αυθαίρετα καθώς ελέγχονται και οι τιμές της θερμοκρασίας του προηγούμενου μήνα ώστε να υπάρχει μια λογική μετάβαση από τον έναν μήνα στον άλλον. Για παράδειγμα, όταν οι τιμές του Ιανουαρίου είναι κοντά στους 11°C και του Φεβρουαρίου στους 11-12°C θεωρείται επιτυχής η αφαίρεση των αρνητικών τιμών διότι είναι πιθανό να οφείλονται σε σφάλματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 4.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για την ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. (Διάγραμμα 3.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021.

Πίνακας 4. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο (Ανενεργή περιοχή στον Χ.Υ.Τ.Α.)

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	11.61
Μαρ-21	21.65
Απρ-21	18.66
Μαϊ-21	34.45
Ιουν-21	46.42

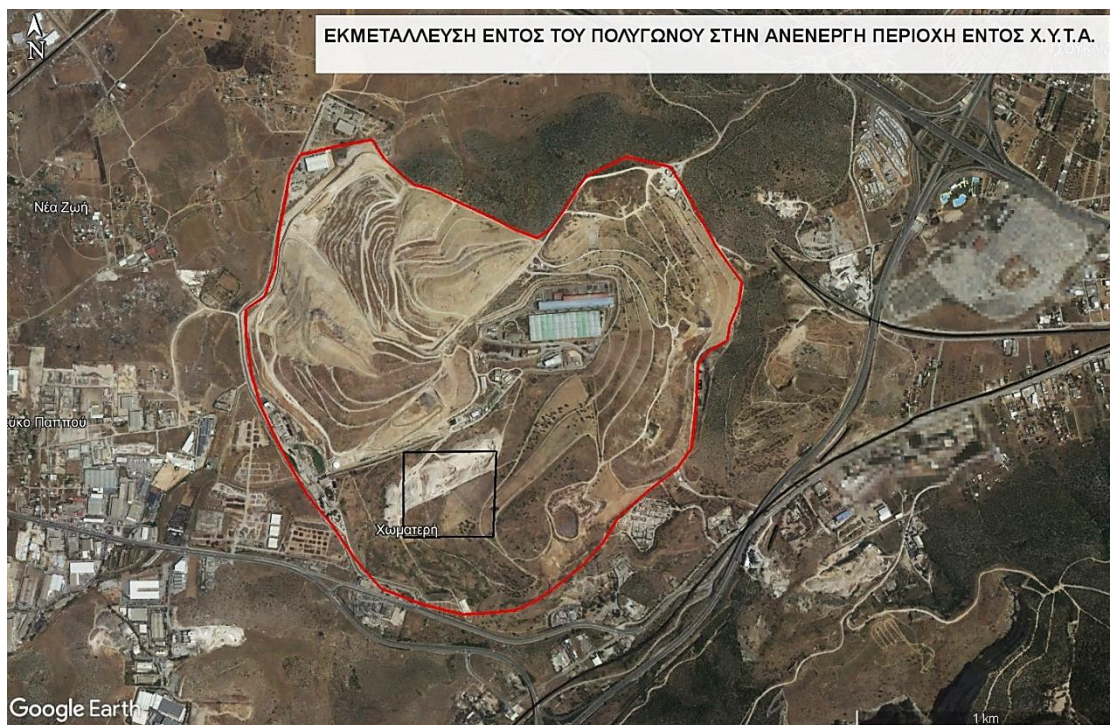
Ιουλ-21	44.48
Αυγ-21	46.89
Σεπ-21	38.91
Οκτ-21	24.27
Νοε-21	11.80
Δεκ-21	10.47
Ιαν-22	11.13
Φεβ-22	13.13
Μαρ-22	11.38
Απρ-22	25.90
Μαϊ-22	38.16
Ιουν-22	42.55
Ιουλ-22	43.90
Αυγ-22	40.60
Σεπ-22	38.42
Οκτ-22	30.73
Νοε-22	19.65
Δεκ-22	12.49



Διάγραμμα 3. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 3 φαίνεται πως δεν έχει έντονες διαφορές από το διάγραμμα 1. Στο ανενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α., οι τιμές LST είναι ελάχιστα μικρότερες από

εκείνες στην ενεργή περιοχή, γεγονός που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση καθώς σύμφωνα με διεθνή βιβλιογραφία, οι τιμές στις ανενεργές περιοχές ενός Χ.Υ.Τ.Α. αναμένονται πιο χαμηλές σε σχέση με εκείνες του ενεργού του τμήματος (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung, 2010). Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στη συγκεκριμένη περιοχή έχουν ξεκινήσει εκ νέου έργα υγειονομικής ταφής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (Σχήμα 41.), έχει δημιουργηθεί ένα «νέο κύτταρο», ως προέκταση της Β' φάσης του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής το οποίο όμως δε βρίσκεται εντός του δείγματος εδάφους που έχει επιλεγεί. Αντλώντας εικόνα του Ιουνίου 2022 από το Google Earth Pro, φαίνεται πως στο επιλεγμένο τμήμα στο ανενεργό κομμάτι του Χ.Υ.Τ.Α., γίνονται κάποιες εργασίες (Σχήμα 42) οι οποίες κατά πάσα πιθανότητα αφορούν στη δημιουργία ενός νέου χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

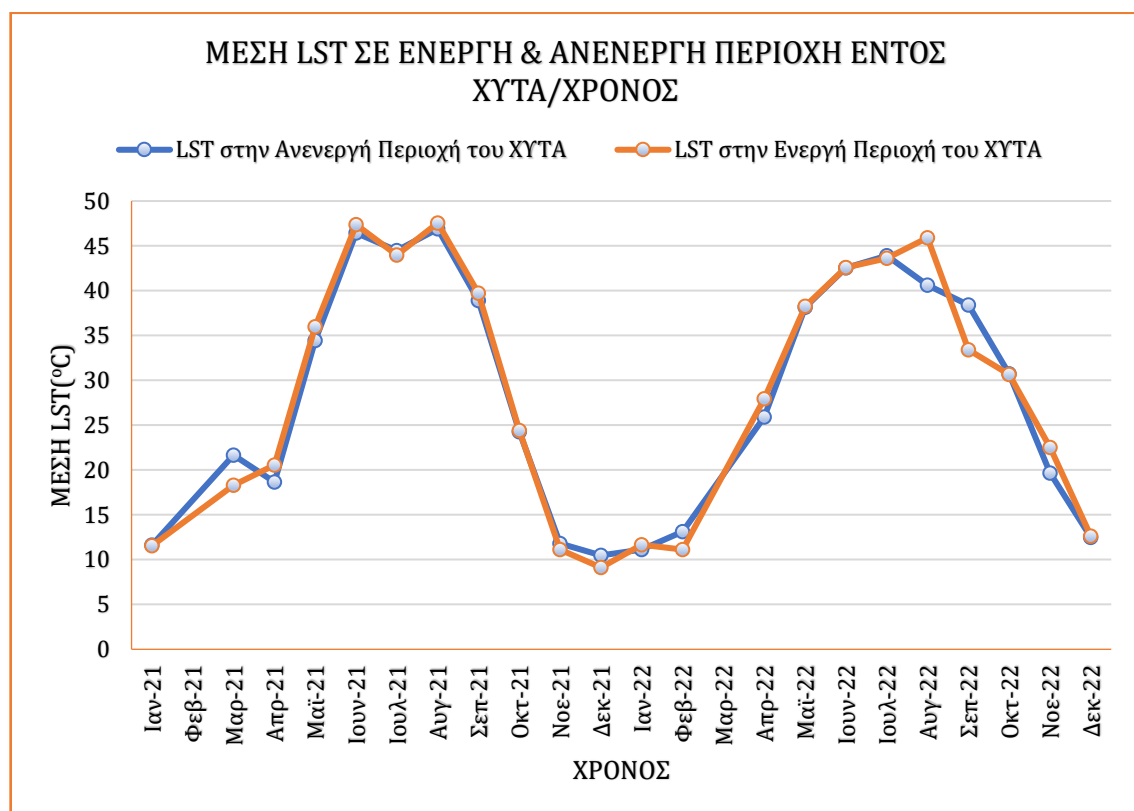


Σχήμα 42. Εκμετάλλευση χώρου εντός της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α.

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Σύμφωνα με το διάγραμμα 3, η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας που σημειώνεται είναι σχεδόν 47°C τον Αύγουστο του 2021 ενώ η ελάχιστη είναι 11.13°C τον Γενάρη του 2022. Η κατανομή της LST σε σχέση με τον χρόνο είναι αρκετά φυσιολογική καθώς τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) σημειώνει χαμηλές θερμοκρασίες (11°C-12°C). Όσο προχωράμε προς τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία

αυξάνεται στους 20°C-25°C (Απρίλιος) και έπειτα στους 35°C (Μάιος) φτάνοντας στους 43°C-47°C το καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) για να μειωθεί ξανά το φθινόπωρο (Σεπτέμβριος και Οκτώβριος). Αυτό που προκύπτει κοιτώντας τα διαγράμματα 2 και 3, είναι η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που έχει η LST με τον δείκτη NDVI. Όσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης NDVI, τόσο χαμηλότερη είναι η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους, γεγονός που μπορεί να επιβεβαιωθεί και από βιβλιογραφικές μελέτες (Pánek, V., 2022). Στο διάγραμμα 4 που ακολουθεί γίνεται η σύγκριση των LST για τα δείγματα εδάφους στην ενεργή και στην ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. Φαίνεται πως στην ενεργή περιοχή οι θερμοκρασίες του εδάφους είναι ελάχιστα πιο υψηλές σε σχέση με την ανενεργή, τους περισσότερους μήνες του χρόνου.

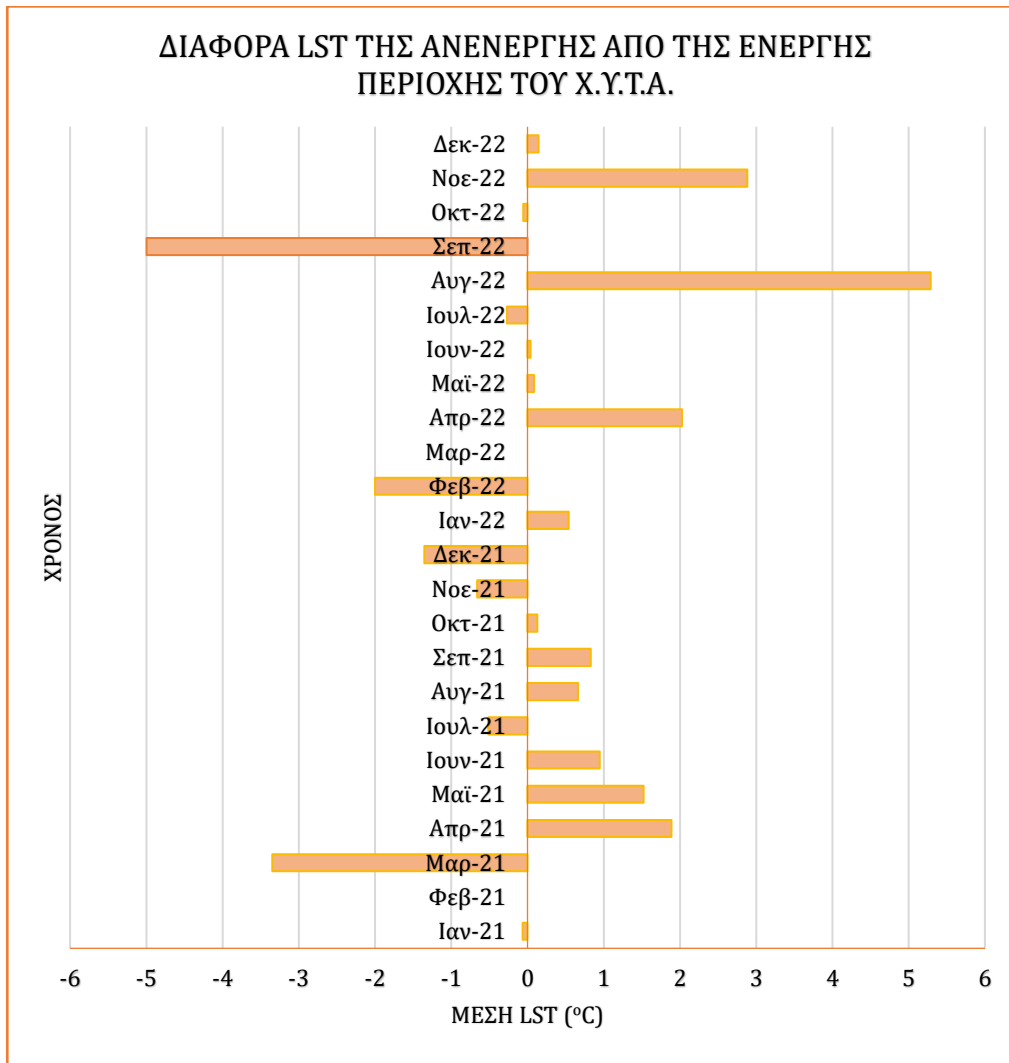


Διάγραμμα 4. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην Ενεργή και στην Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α.

Παρακάτω στο διάγραμμα 5 φαίνεται η διαφορά στις τιμές LST για τις δύο περιοχές (έχει αφαιρεθεί η τιμή LST για τον Μάρτιο του 2022). Γίνεται αφαίρεση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους της ανενεργής περιοχής από εκείνη της ενεργής περιοχής. Σε γενικές γραμμές, στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. η θερμοκρασία τους περισσότερους μήνες σημειώνει μια αύξηση των 1-2°C, με ένα μέγιστο στους 6°C τον Αύγουστο του 2022.

Υπάρχουν βέβαια και μήνες όπου η LST στην ανενεργή περιοχή είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην ενεργή περιοχή. Ο Μάρτιος του 2022 δεν παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα καθώς η τιμή του Μαρτίου του 2022 για το ενεργό κομμάτι είναι μόλις 1.3°C, τιμή η οποία πιθανόν να μην αντιστοιχεί στην πραγματικότητα. Συμπερασματικά, η LST στο ενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. δε σημειώνει έντονες θερμοκρασιακές διαφορές από την LST του ανενεργού τμήματος καθώς στο ανενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. υπάρχουν μήνες που η LST είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην ενεργή περιοχή. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το τμήμα της ανενεργής περιοχής που επιλέχθηκε, δεν είναι και τόσο ανενεργό. Πολύ κοντά στο συγκεκριμένο τμήμα εδάφους έχει δημιουργηθεί το «νέο κύτταρο» του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής ενώ εντός αυτού οι δορυφορικές εικόνες (από το 2021 και μετά) δείχνουν πως ένα κομμάτι του ήδη βρίσκεται υπό εκμετάλλευση πιθανότατα για ταφή απορριμμάτων. Επιπλέον, σημειώνεται πως τα υλικά τα οποία θάβονται στον Χ.Υ.Τ.Α. πιθανότατα να έχουν διαφορετική θερμοχωρητικότητα από το έδαφος με αποτέλεσμα να μη συγκρατούν τα ίδια ποσά θερμότητας ειδικά την περίοδο του χειμώνα, οδηγώντας στη μείωση της θερμοκρασίας στο ενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α.

Προκειμένου να αιτιολογηθούν οι διαφορές της LST μεταξύ της ενεργής και της ανενεργής περιοχής, μελετάται η Ετήσια Έκθεση Αποτελεσμάτων Προγράμματος Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης «Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ) Δυτικής Αττικής» η οποία εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2022 και αφορά στο έτος 2021. Τα αποτελέσματα της έκθεσης που μελετώνται αφορούν στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και συγκεκριμένα στις διαφυγές βιοαερίου οι οποίες οδηγούν στην αύξηση της LST. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, «το βιοαέριο που παράγεται στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων αντλείται μέσω δικτύου κάθετων και οριζόντιων αγωγών και οδηγείται σε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας». Με βάση όλα τα παραπάνω, εφόσον δεν παρατηρούνται υψηλές τιμές LST, σημαίνει πως η λειτουργία του Χ.Υ.Τ.Α. δεν πυροδοτεί την έντονη αύξηση της LST καθότι δεν υπάρχουν έντονες διαφυγές βιοαερίου που να επηρεάζουν τη θερμοκρασία εδάφους.

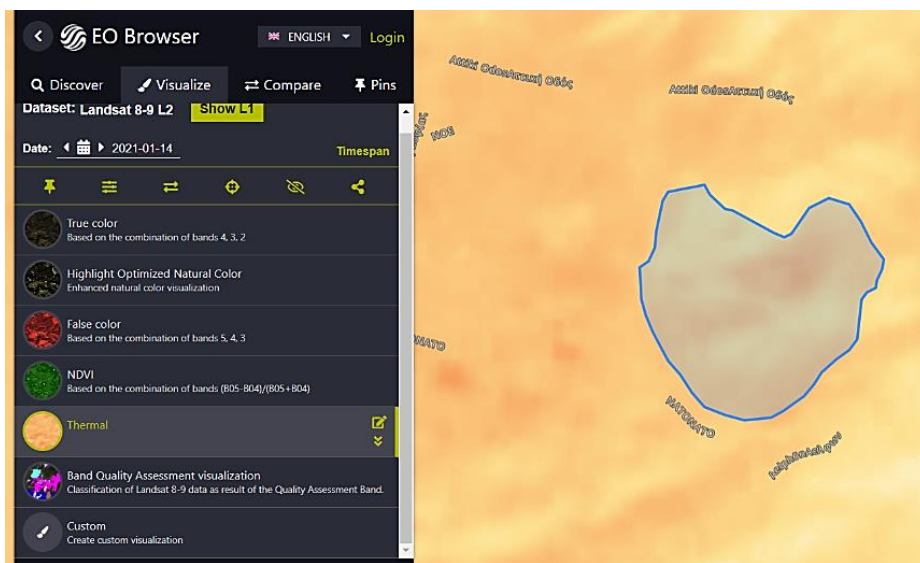


Διάγραμμα 5. Διαφορά LST της Ανενεργής από της Ενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. σε συνάρτηση με τον Χρόνο

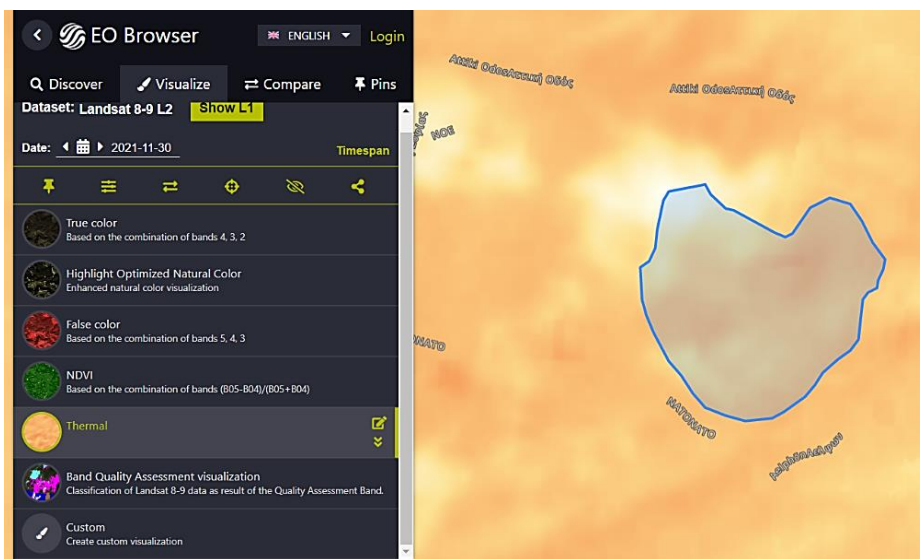
Το αποκατεστημένο τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. είναι το ανατολικό τμήμα του, δηλαδή ο Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων ο οποίος περιλαμβάνει τον Χ.Υ.Τ.Α. Ι Άνω Λιοσίων, τον Χ.Υ.Τ.Α. ΙΙ Άνω Λιοσίων και τον Χ.Δ.Α. Αυτοί οι χώροι όπως ήδη αναφέρθηκε είναι αρκετό καιρό αποκατεστημένοι, ωστόσο μελετώντας τις συνθήκες LST που επικρατούν στον Χ.Υ.Τ.Α., μέσω των δεδομένων των δορυφόρων Landsat 8-9, παρατηρείται ένα pattern αυξημένης LST στο σημείο του Χ.Υ.Τ.Α. κοντά στους αποκατεστημένους Χ.Υ.Τ.Α. των Άνω Λιοσίων. Για αυτόν τον λόγο επιλέγεται δείγμα εδάφους από το τμήμα του Χ.Δ.Α. (όσον αφορά στη μελέτη της ανενεργής περιοχής).

Πιο αναλυτικά, όπως φαίνεται και στο σχήμα 41., ο ΟΕΔΑ Α. Λιοσίων περιλαμβάνει την παλιά χωματερή (ΧΔΑ), τον Χ.Υ.Τ.Α. Ι Α. Λιοσίων, τον Χ.Υ.Τ.Α. ΙΙ Α. Λιοσίων, το εργοστάσιο

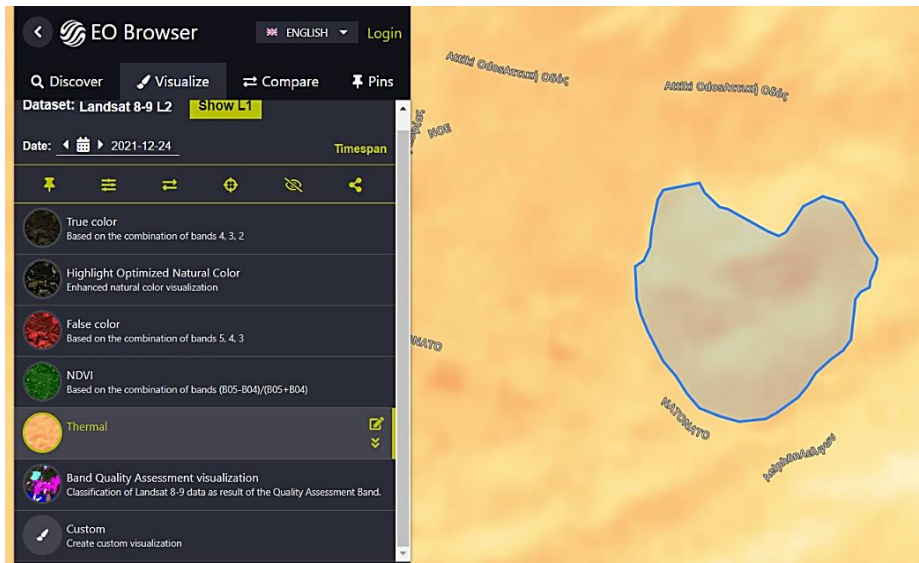
επεξεργασίας ΕΜΑΚ, τον αποτεφρωτήρα επικίνδυνων υγειονομικών αποβλήτων, τη μονάδα καύσης του βιοαερίου και την πρώτη μονάδα επεξεργασίας στραγγισμάτων. Συνεπώς, δεν είναι ένας χώρος στον οποίο γίνεται μόνο υγειονομική ταφή, αλλά λειτουργούν και εργοστάσια (ΕΜΑΚ, αποτεφρωτήρας, καύση βιοαερίου). Αντλώντας τα δεδομένα LST που παρέχονται από το Sentinel EO Browser, παρατηρείται πως στο σημείο ακριβώς όπου λειτουργούν οι εγκαταστάσεις, η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με τον υπόλοιπο Χ.Υ.Τ.Α. Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες από το Sentinel EO Browser, κυρίως τους χειμερινούς μήνες, που απεικονίζουν το συγκεκριμένο pattern.



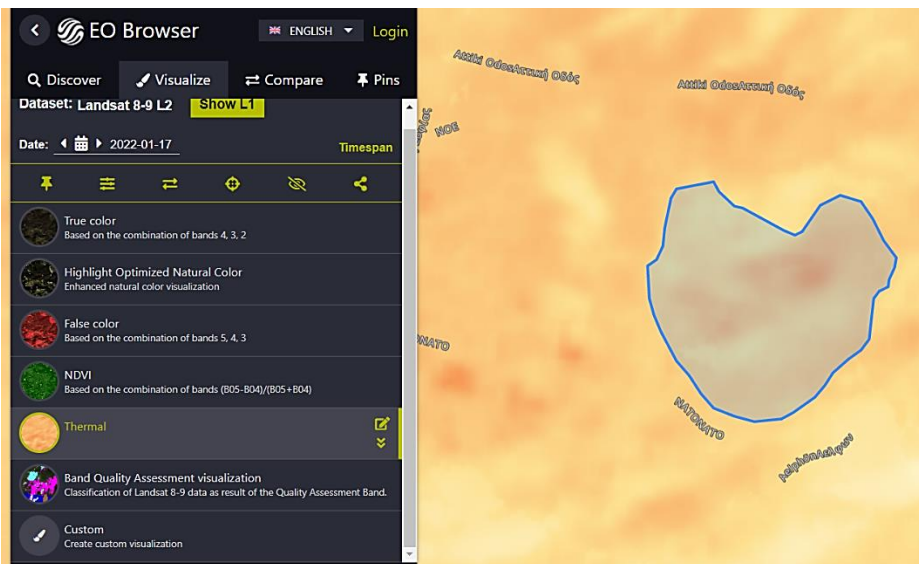
Σχήμα 43. Pattern LST Ιανουάριος 2021



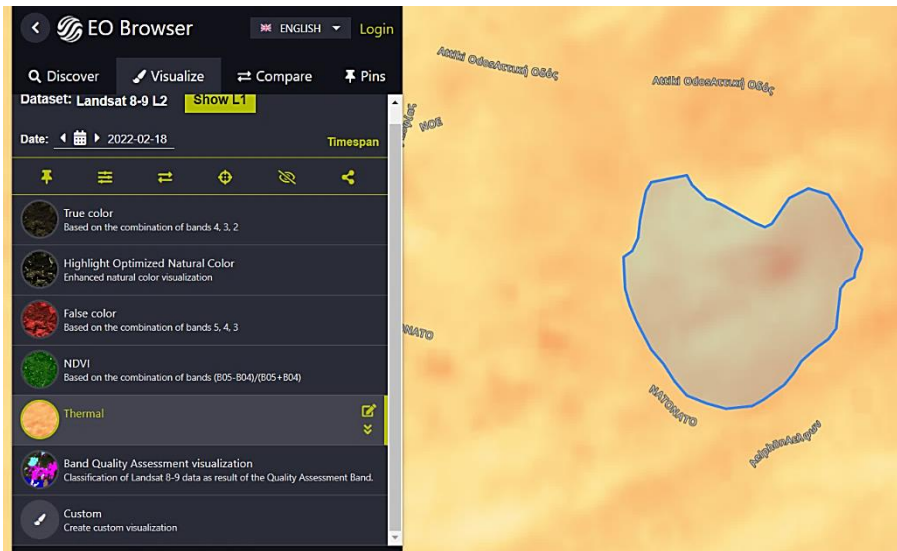
Σχήμα 44. Pattern LST Νοέμβριος 2021



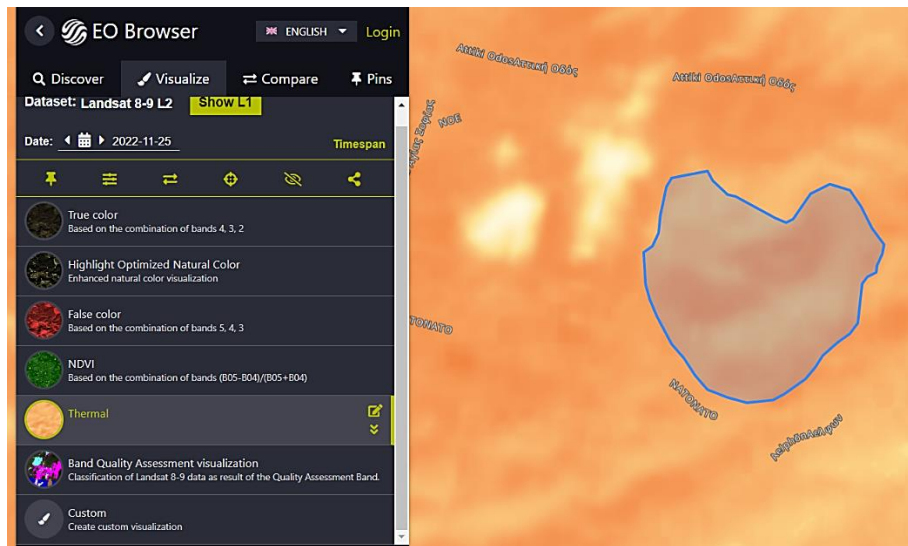
Σχήμα 45. Pattern LST Δεκέμβριος 2021



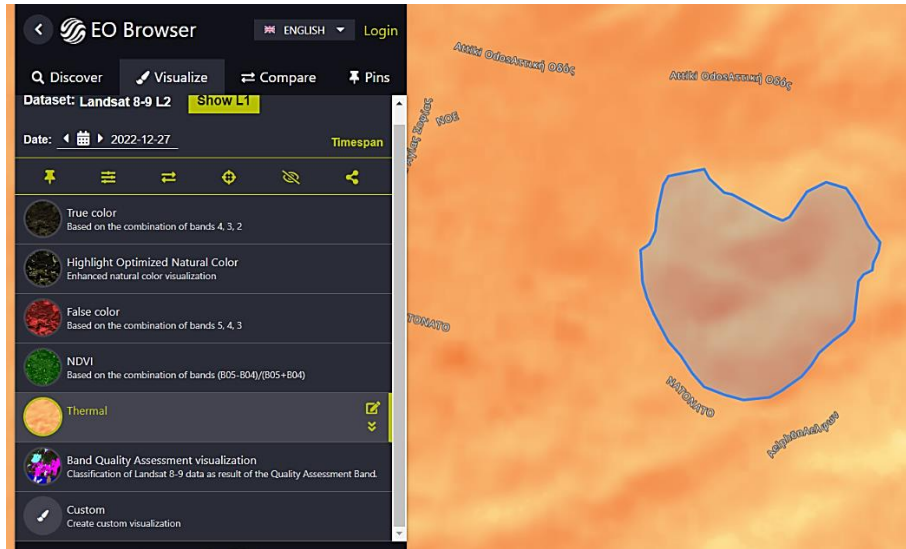
Σχήμα 46. Pattern LST Ιανουάριος 2022



Σχήμα 47. Pattern LST Φεβρουάριος 2022



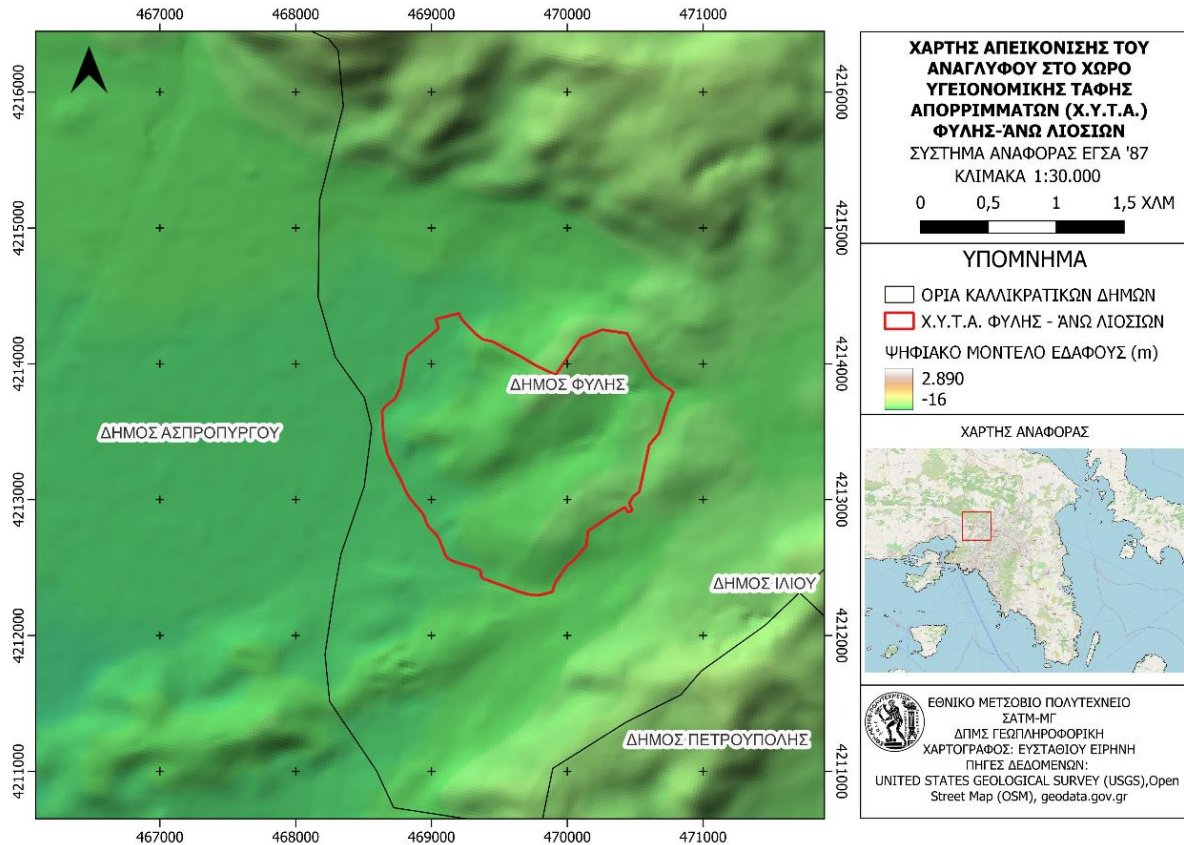
Σχήμα 48. Pattern LST Νοέμβριος 2022



Σχήμα 49. Pattern LST Δεκέμβριος 2022

Όπως φαίνεται διαδοχικά στα σχήματα 43 έως 49, παρατηρούνται υψηλές τιμές LST κυρίως στο κέντρο της συνολικής έκτασης του Χ.Υ.Τ.Α., με το pattern να έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Παρατηρώντας το σχήμα 41 φαίνεται πως στο κέντρο του Χ.Υ.Τ.Α., δηλαδή κατά μήκος της διεύθυνσης που εμφανίζονται οι υψηλές θερμοκρασίες, υπάρχουν οι εγκαταστάσεις ΕΑΥΜ (αποτεφρωτήρας), ΕΜΑΚ (εργοστάσιο επεξεργασίας σύμμεικτων απορριμμάτων) και η μονάδα παραγωγής ενέργειας. Λαμβάνεται υπόψη και το γεγονός ότι η συγκεκριμένη περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. έχει χαμηλότερο υψόμετρο σε σχέση με τον υπόλοιπο Χ.Υ.Τ.Α., κάτι το οποίο φαίνεται και από τον χάρτη 6 ο οποίος απεικονίζει το ανάγλυφο του Χ.Υ.Τ.Α. Πιθανόν είναι κι αυτός ένας παράγοντας που ενισχύει την έντονη αύξηση της θερμοκρασίας σε αυτό το σημείο σε συνδυασμό με τη λειτουργία των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης και επεξεργασίας των απορριμμάτων με αποτέλεσμα ο δορυφόρος να «σκανάρει» τα κτίρια και όχι το έδαφος.

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



Χάρτης 6. Χάρτης Ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α.

(Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0.-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

5.2.2.3. Δείγματα εδάφους εκτός του Χ.Υ.Τ.Α.

Σε επόμενο στάδιο γίνεται σύγκριση της LST του Χ.Υ.Τ.Α. με την LST σε περιοχές στις οποίες δε γίνεται ταφή απορριμμάτων. Εξετάζοντας ξένη βιβλιογραφία, επιλέγεται να μελετηθούν δείγματα γυμνού εδάφους καθώς και καλλιεργειών χαμηλής βλάστησης (Iacoboaea Cristina & Petrescu Florian 2013). Οι περιοχές γυμνού εδάφους που επιλέγονται είναι αρκετά κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α. ενώ οι καλλιέργειες βρίσκονται σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Ο Χ.Υ.Τ.Α. βρίσκεται σε μια άκρως βιομηχανική περιοχή με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται αρκετές καλλιέργειες. Ωστόσο, για τη μελέτη της LST χρησιμοποιούνται μερικές καλλιέργειες οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή του Ασπρόπυργου καθώς και καλλιέργειες χαμηλής βλάστησης στα Σπάτα. Στην επιλογή των περιοχών εκτός του Χ.Υ.Τ.Α. θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες που επηρεάζουν την LST όπως είναι το υψόμετρο (Khandelwal, S. et al. 2018), η υγρασία του εδάφους και η ύπαρξη βλάστησης η οποία επιβραδύνει την αύξηση της LST (Liu, J. et al. 2022). Συνεπώς, επιλέγεται να εξετασθούν καλλιέργειες χαμηλής βλάστησης (Shaker Ahmed & Yan Wai

Yeung 2010, Iacoboaea Cristina & Petrescu Florian 2013) και γυμνό έδαφος (Iacoboaea Cristina & Petrescu Florian 2013). Στην επιλογή αυτών των περιοχών, λαμβάνεται υπόψη και ο δείκτης NDVI όπως είναι λογικό, καθώς οι υψηλές τιμές NDVI οδηγούν σε χαμηλές τιμές LST (Páneek, V., 2022). Δεδομένου ότι εντός του Χ.Υ.Τ.Α. δεν αναπτύσσεται βλάστηση, είναι πιο ορθό να επιλεγθούν τμήματα εδάφους στα οποία δεν υπάρχει βλάστηση.

5.2.2.3.1. Έδαφος σε υψόμετρο 100m κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α.

Από τον χάρτη 6 φαίνεται πως ο Χ.Υ.Τ.Α. δε βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο. Συγκεκριμένα, οι δύο περιοχές που έχουν μελετηθεί έως τώρα (ενεργή και ανενεργή περιοχή) βρίσκονται στα 150 μέτρα και στα 125 μέτρα υψόμετρο αντίστοιχα. Συνεπώς πρέπει το δείγμα εδάφους που θα εξετασθεί να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά. Δημιουργείται ένα πολύγωνο σε γυμνό έδαφος υψομέτρου περίπου 100 m, έκτασης επίσης 0.13km², το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 50. Όπως φαίνεται και από την εικόνα, πρόκειται για γυμνό έδαφος το οποίο από γεωλογικής απόψεως χαρακτηρίζεται ως πλειστοκαινικής ηλικίας κώνοι κορημάτων, σύγχρονες αποθέσεις δηλαδή. Αντλούνται οι χρονοσειρές για το πολύγωνο που έχει επιλεγθεί με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη.



Σχήμα 50. Πολύγωνο γυμνού εδάφους σε ίδιο υψόμετρο με τον Χ.Υ.Τ.Α.

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Στη συγκεκριμένη επιλογή εδάφους, όπως ήδη αναφέρθηκε, λαμβάνεται υπόψη ο δείκτης NDVI ο οποίος πρέπει να έχει παρόμοιες τιμές με εκείνες της ανενεργής περιοχής εντός του Χ.Υ.Τ.Α. Θεωρείται δεδομένο ότι η ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. δεν έχει φυτοκάλυψη. Ο NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης μιας περιοχής με τιμές από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές του NDVI που πλησιάζουν στο -1 αντιστοιχούν στο νερό. Οι τιμές κοντά στο μηδέν (-0.1 έως 0.1) αντιστοιχούν γενικά σε άγονες περιοχές. Οι χαμηλές θετικές τιμές αντιστοιχούν σε λιβάδια ή θάμνους (0.2 έως 0.4) ενώ οι υψηλές (τιμές που πλησιάζουν το 1) αντιπροσωπεύουν εύκρατα και τροπικά δάση.

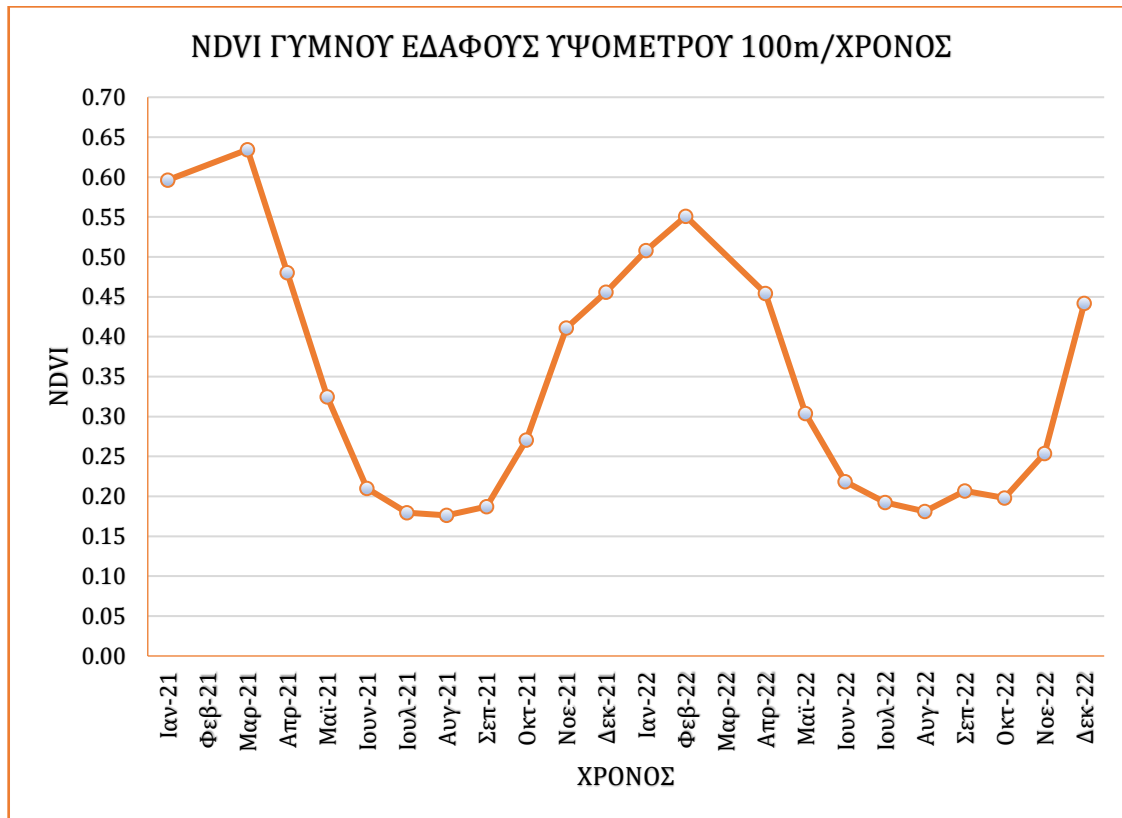
Τα δεδομένα NDVI αντλούνται επίσης από το Sentinel EO Browser και όπως ακριβώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της LST, γίνεται και για τον NDVI. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση των τιμών όταν υπάρχουν περισσότερες από μία και έτσι επιλέγεται να εξαχθεί ο μέσος όρος (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών του δείκτη βλάστησης

για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές NDVI, εννοώντας πάντα τη μέση τιμή NDVI (τιμή mean).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές NDVI (μέση τιμή) από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 5.) καθώς και το διάγραμμα μέσης τιμής NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α. σε υψόμετρο 100m (Διάγραμμα 6.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021 και για τον Μάρτιο του 2022.

Πίνακας 5. Μέσες τιμές NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο (Γυμνό έδαφος σε υψόμετρο 100m)

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ NDVI
Ιαν-21	0.60
Μαρ-21	0.63
Απρ-21	0.48
Μαϊ-21	0.32
Ιουν-21	0.21
Ιουλ-21	0.18
Αυγ-21	0.18
Σεπ-21	0.19
Οκτ-21	0.27
Νοε-21	0.41
Δεκ-21	0.46
Ιαν-22	0.51
Φεβ-22	0.55
Απρ-22	0.45
Μαϊ-22	0.30
Ιουν-22	0.22
Ιουλ-22	0.19
Αυγ-22	0.18
Σεπ-22	0.21
Οκτ-22	0.20
Νοε-22	0.25
Δεκ-22	0.44



Διάγραμμα 6. NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το γυμνό έδαφος σε υψόμετρο 100m

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 6, η επιλογή του συγκεκριμένου δείγματος εδάφους ως προς τον δείκτη NDVI είναι ορθή καθότι οι τιμές του δείκτη βλάστησης είναι παρόμοιες με εκείνου της ανενεργής περιοχής εντός Χ.Υ.Τ.Α. (διάγραμμα 2). Οι τιμές του NDVI του γυμνού εδάφους κυμαίνονται από 0.18 έως 0.63 ενώ εκείνες της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. από 0.14 έως 0.44. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες και οι μικρότερες τους θερινούς, όπως είναι λογικό.

Για τα δεδομένα της LST ακολουθείται η ίδια διαδικασία επεξεργασίας η οποία γίνεται στο Excel. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των

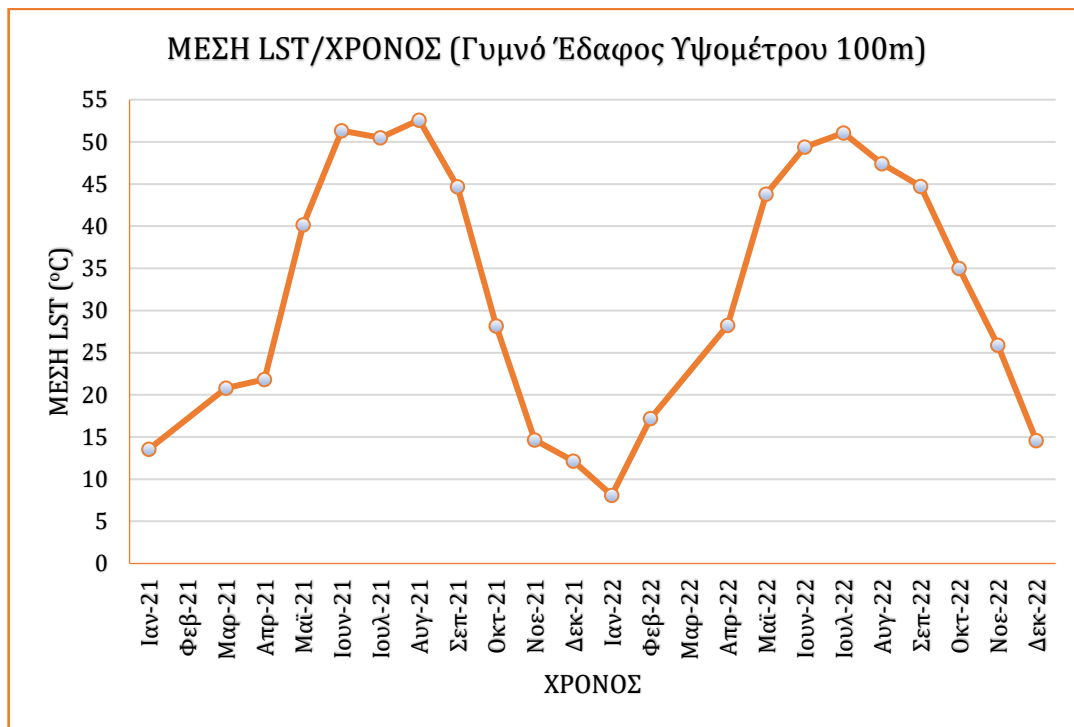
τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Λόγω του cloud coverage παρατηρείται μια ακραία τιμή θερμοκρασίας τον μήνα Νοέμβριο 2022 (-7.8°C) η οποία επιλέγεται να μη ληφθεί υπόψη καθώς σύμφωνα με βιβλιογραφική μελέτη η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάντα λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Έχοντας ως δεδομένα τις θερμοκρασίες του αέρα, από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων, από τον Γενάρη του 2021 έως τον Δεκέμβρη του 2022, σημειώνεται πως κανένα μήνα δεν υπήρχε πτώση της θερμοκρασίας κάτω από μηδέν βαθμούς, συνεπώς οι αρνητικές τιμές που είναι καταγεγραμμένες από το δορυφόρο πιθανώς να οφείλονται στη νεφοκάλυψη και για αυτόν τον λόγο δε λαμβάνονται υπόψη. Η αφαίρεση των αρνητικών τιμών δε γίνεται αυθαίρετα καθώς ελέγχονται και οι τιμές της θερμοκρασίας του προηγούμενου μήνα ώστε να υπάρχει μια λογική μετάβαση από τον έναν μήνα στον άλλον. Για παράδειγμα, όταν οι τιμές του Ιανουαρίου είναι κοντά στους 11°C και του Φεβρουαρίου στους 11-12°C θεωρείται επιτυχής η αφαίρεση των αρνητικών τιμών διότι είναι πιθανό να οφείλονται σε σφάλματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 6.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α. σε υψόμετρο 100m (Διάγραμμα 7.) ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021 και τον Μάρτιο του 2022.

Πίνακας 6. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο (Γυμνό Έδαφος σε υψόμετρο 100m)

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	13.56
Μαρ-21	20.80
Απρ-21	21.85
Μαϊ-21	40.17
Ιουν-21	51.33
Ιουλ-21	50.50
Αυγ-21	52.60
Σεπ-21	44.70
Οκτ-21	28.15
Νοε-21	14.65

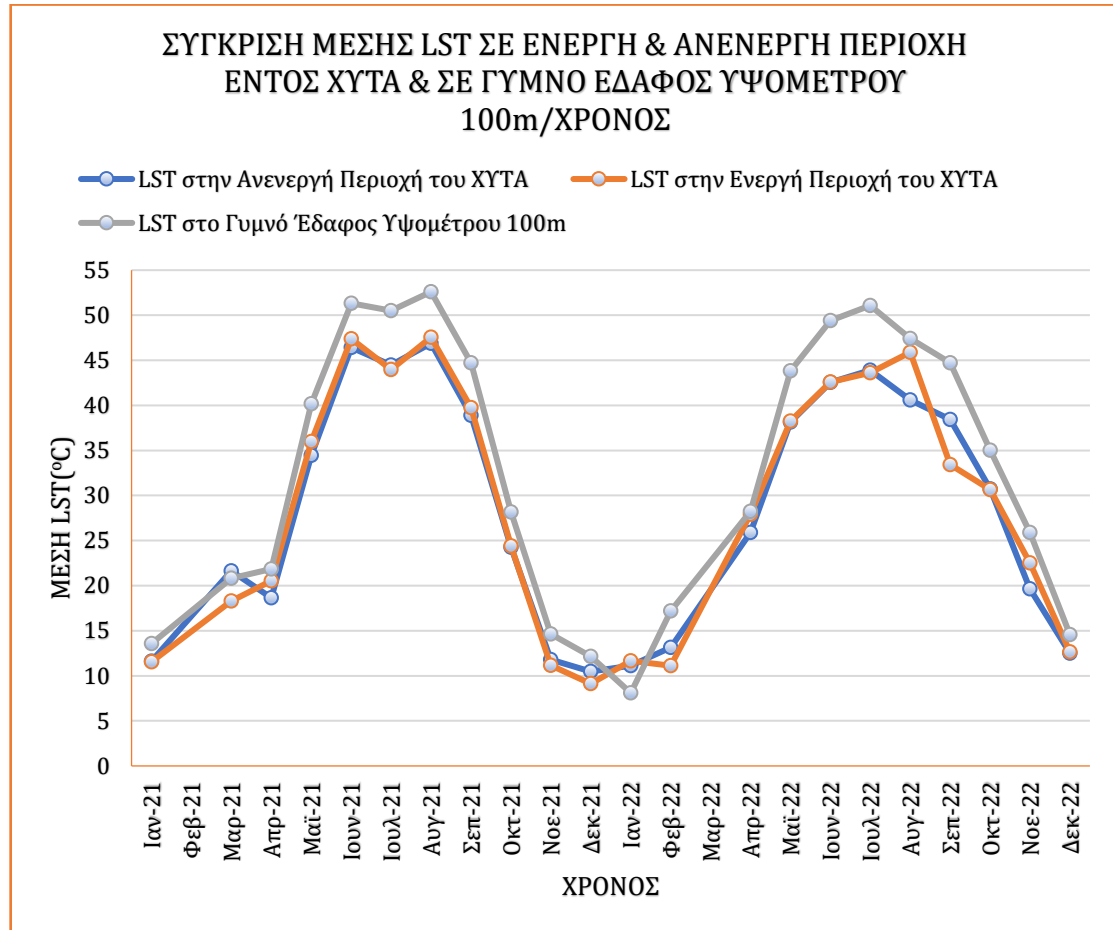
Δεκ-21	12.16
Ιαν-22	8.09
Φεβ-22	17.21
Απρ-22	28.23
Μαϊ-22	43.82
Ιουν-22	49.41
Ιουλ-22	51.08
Αυγ-22	47.41
Σεπ-22	44.71
Οκτ-22	35.01
Νοε-22	25.88
Δεκ-22	14.58



Διάγραμμα 7. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στο Γυμνό Έδαφος Υψομέτρου 100m

Στο διάγραμμα 7 απεικονίζεται η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε γυμνό έδαφος βόρεια από τον Χ.Υ.Τ.Α. η οποία όπως φαίνεται και από τις τιμές του πίνακα 6 είναι πιο αυξημένη σε σχέση με την LST εντός του Χ.Υ.Τ.Α. και στην ενεργή και στην ανενεργή περιοχή του. Η θερμοκρασία είναι πιο αυξημένη τους θερινούς μήνες ενώ τον χειμώνα σημειώνει τις μικρότερες τιμές της. Αυτό που προκύπτει κοιτώντας τα διαγράμματα 6 και 7, είναι η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που έχει η LST με τον δείκτη NDVI. Όσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης NDVI, τόσο χαμηλότερη είναι η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους,

γεγονός που μπορεί να επιβεβαιωθεί και από βιβλιογραφικές μελέτες (Pánek, V., 2022). Για να γίνει πιο αντιληπτή η διαφορά της LST των τριών περιοχών μελέτης, κατασκευάζεται το διάγραμμα 8.



Διάγραμμα 8. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην Ενεργή & στην Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. & στο Γυμνό Έδαφος Υψομέτρου 100m

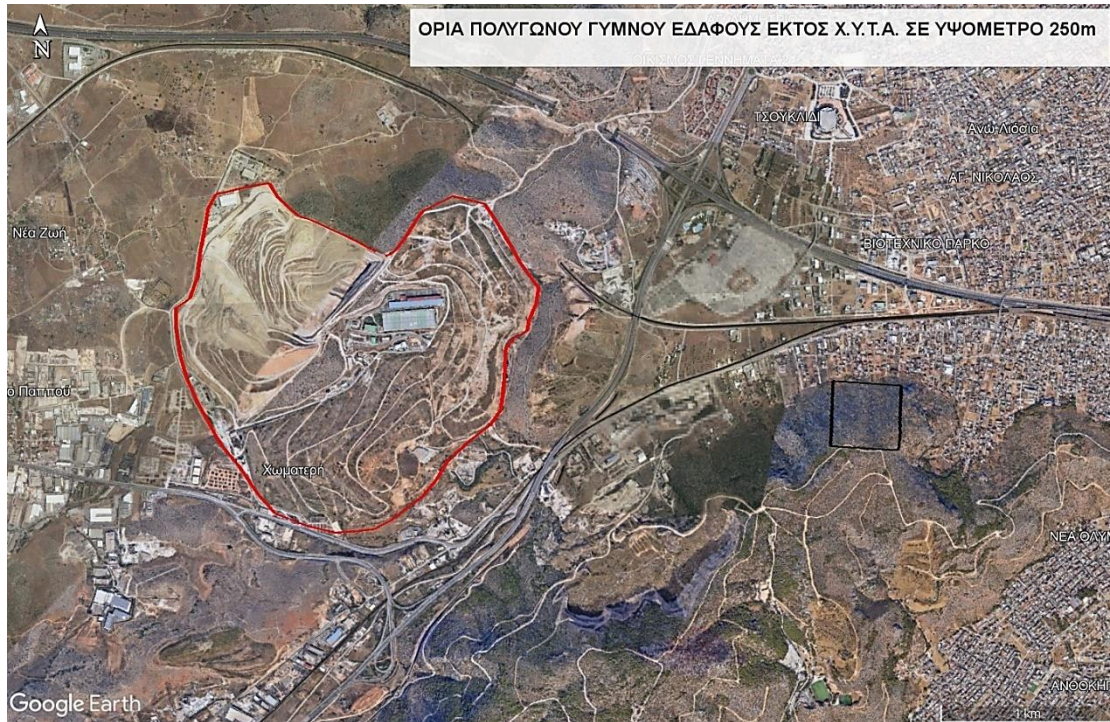
Στο παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανής η διαφορά της LST των τριών περιοχών, με εκείνη του γυμνού εδάφους να είναι όλους τους μήνες μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο περιοχές, πέρα από τον Ιανουάριο του 2022. Με βάση βιβλιογραφική μελέτη, το αναμενόμενο θα ήταν η θερμοκρασία εδάφους εντός του Χ.Υ.Τ.Α. να είναι πιο υψηλή δεδομένου της έντονης βιοαποικοδόμησης. Ωστόσο λαμβάνεται υπόψη και το γεγονός ότι η συγκεκριμένη περιοχή του Ασπροπύργου και γενικότερα της Ελευσίνας, αποτελεί μια έντονη βιομηχανική ζώνη με πολλά εργοστάσια και βιομηχανίες, επηρεάζοντας έτσι τη θερμοκρασία εδάφους που καταγράφει ο δορυφόρος. Συνεπώς με αυτά τα αποτελέσματα φαίνεται πως ο Χ.Υ.Τ.Α. στην παρούσα κατάσταση του, δεν αποτελεί κίνδυνο με την

επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους που σημειώνει. Προκειμένου να γίνει μια περαιτέρω εξέταση των συγκεκριμένων τιμών, λαμβάνεται υπόψη ότι η LST επηρεάζεται κυρίως από τρεις παράγοντες, την λευκαύγεια (albedo) του εκάστοτε αντικειμένου ή της επιφάνειας, την κάλυψη βλάστησης και την υγρασία του εδάφους. Η λευκαύγεια ορίζεται ως το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος και είναι ο λόγος της συνολικής ανακλώμενης ακτινοβολίας ως προς τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Η κάθε επιφάνεια έχει διαφορετικό albedo. Για παράδειγμα, τα δάση, οι λίμνες, οι ωκεανοί ανακλούν μικρότερα ποσά της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη λευκαύγεια ενώ οι ερημικές περιοχές, ο πάγος, το χιόνι, ανακλούν μεγαλύτερα ποσά και έχουν υψηλότερη λευκαύγεια (Coakley, 2003). Οι επιφάνειες ή τα αντικείμενα με μικρές τιμές ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, έχουν μικρή λευκαύγεια και κατά συνέπεια απορροφούν μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνοντας την LST (Andrés-Anaya, P. et al. 2021). Αντίστοιχα, η ύπαρξη βλάστησης σε μια περιοχή, οδηγεί σε μεγαλύτερα ποσά ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να μη σημειώνεται αυξημένη LST σε αυτές τις περιοχές. Τέλος η υγρασία του εδάφους, όπως είναι φυσικό, οδηγεί σε μικρές τιμές LST. Η περιοχή γυμνού εδάφους που έχει επιλεχθεί, έχει τις ίδιες ιδιότητες με εκείνες του Χ.Υ.Τ.Α., όσον αφορά στην κάλυψη της βλάστησης και στην λευκαύγεια καθώς είναι και οι δύο περιοχές, άγονα εδάφη. Ωστόσο, σημειώνεται πως ο Χ.Υ.Τ.Α. βρίσκεται σε ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι) ενώ το γυμνό έδαφος αποτελείται από κώνους κορημάτων, σύγχρονες αποθέσεις δηλαδή, μη συνεκτικά πετρώματα. Τα κορήματα αποτελούν συσσωματώματα κλαστικών υλικών που προέρχονται από τη φυσικοχημική διάσπαση πετρωμάτων ενώ αντίθετα οι ασβεστόλιθοι είναι ανθρακικά συνεκτικά πετρώματα από τα οποία αποτελούνται αρκετοί ορεινοί όγκοι. Ωστόσο στον Χ.Υ.Τ.Α χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά για την ταφή των απορριμμάτων, συνεπώς δεν εξετάζεται η υγρασία του ασβεστόλιθου ως πέτρωμα αλλά του αδρανούς υλικού που καλύπτει τα απορρίμματα μετά την ταφή τους. Μια εξήγηση που θα μπορούσε να δοθεί είναι ότι οι σύγχρονες αποθέσεις απορροφούν το νερό, ως μη συνεκτικά πετρώματα, μη συγκρατώντας το στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να παραμένει πάντα χωρίς υγρασία η επιφάνεια του εδάφους και να αυξάνεται η επιφανειακή θερμοκρασία του. Αντίθετα, στα Χ.Υ.Τ.Α., τα αδρανή υλικά που σκεπάζουν τα απορρίμματα, δεν επιτρέπουν στο νερό να διεισδύσει, με αποτέλεσμα η επιφανειακή υγρασία του εδάφους να είναι εντονότερη και να μειώνεται η θερμοκρασία. Αυτό αποτελεί μια εξήγηση για τις βροχερές περιόδους, ωστόσο και το καλοκαίρι η θερμοκρασία του γυμνού εδάφους είναι πιο υψηλή από εκείνη στα Χ.Υ.Τ.Α., συνεπώς η πιο λογική εξήγηση που θα μπορούσε να

δοθεί είναι ότι η ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας έχει πολύ έντονη βιομηχανική δραστηριότητα η οποία αυξάνει την LST του εδάφους με αποτέλεσμα να επηρεάζεται πιο πολύ η LST από την έντονη βιομηχανική δραστηριότητα παρά από την υγειονομική ταφή. Για περαιτέρω εξέταση, επιλέγεται να μελετηθεί και ένα κομμάτι γυμνού εδάφους μεγαλύτερου υψομέτρου (250m) στην περιοχή της Πετρούπολης, ανατολικά του Χ.Υ.Τ.Α., το οποίο παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2.2.3.2. Έδαφος σε υψόμετρο 250m κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α.

Αφού έχει εξετασθεί δείγμα εδάφους πλησίον του Χ.Υ.Τ.Α. και σε ίδιο υψόμετρο με εκείνον, η μελέτη συνεχίζεται στην ίδια περιοχή αλλά σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Δημιουργείται ένα πολύγωνο σε έδαφος υψομέτρου περίπου 250m, έκτασης επίσης 0.13km², το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 51. Το γυμνό έδαφος σε υψόμετρο 100m έδειξε να σημειώνει μεγαλύτερες τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους σε σχέση με τον υπό μελέτη Χ.Υ.Τ.Α. πιθανότατα λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται στην περιοχή. Στη συνέχεια λοιπόν εξετάζεται έδαφος σε μια πλαγιά του λόφου της Πετρούπολης, με σχετικά χαμηλή βλάστηση και με υψόμετρο που ξεκινά από τα 200m και φτάνει τα 300m. Αντλούνται οι χρονοσειρές για το πολύγωνο που έχει επιλεγθεί με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη. Το δείγμα εδάφους που εξετάζεται παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 51.



Σχήμα 51. Πολύγωνο γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 250m

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Στη συγκεκριμένη επιλογή εδάφους, λαμβάνεται υπόψη ο δείκτης NDVI ο οποίος όπως είναι λογικό, θα είναι πιο αυξημένος σε σχέση με την περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και του γυμνού εδάφους καθώς πρόκειται για έναν λόφο στον οποίο αναπτύσσεται χαμηλή βλάστηση. Ο NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης μιας περιοχής με τιμές από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές του NDVI που πλησιάζουν στο -1 αντιστοιχούν στο νερό. Οι τιμές κοντά στο μηδέν (-0.1 έως 0.1) αντιστοιχούν γενικά σε άγονες περιοχές. Οι χαμηλές θετικές τιμές αντιστοιχούν σε λιβάδια ή θάμνους (0.2 έως 0.4) ενώ οι υψηλές (τιμές που πλησιάζουν το 1) αντιπροσωπεύουν εύκρατα και τροπικά δάση.

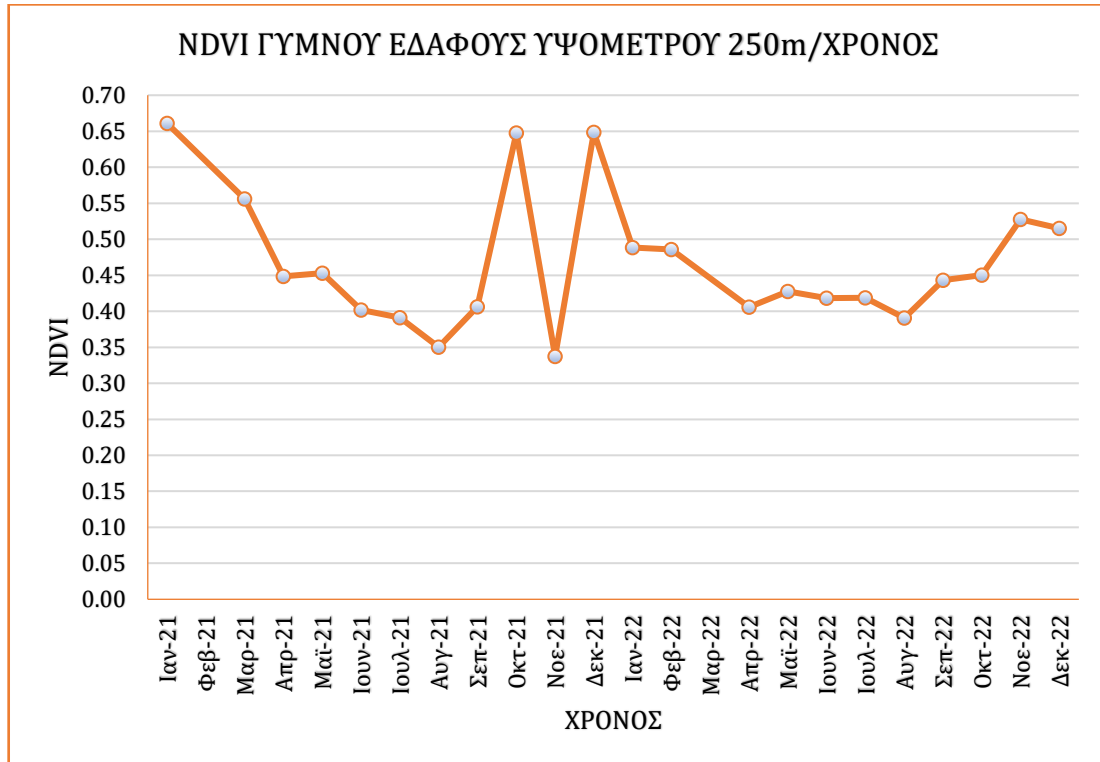
Τα δεδομένα NDVI αντλούνται επίσης από το Sentinel EO Browser και όπως ακριβώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της LST, γίνεται και για τον NDVI. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση των τιμών όταν υπάρχουν περισσότερες από μία και έτσι επιλέγεται να εξαχθεί ο μέσος όρος (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών του δείκτη βλάστησης

για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές NDVI, εννοώντας πάντα τη μέση τιμή NDVI (τιμή mean).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές NDVI (μέση τιμή) από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 7.) καθώς και το διάγραμμα μέσης τιμής NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α. σε υψόμετρο 250m (Διάγραμμα 9.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021 και για τον Μάρτιο του 2022.

Πίνακας 7. Μέσες τιμές NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο (Γυμνό έδαφος σε υψόμετρο 250m)

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ NDVI
Ιαν-21	0.66
Μαρ-21	0.56
Απρ-21	0.45
Μαϊ-21	0.45
Ιουν-21	0.40
Ιουλ-21	0.39
Αυγ-21	0.35
Σεπ-21	0.41
Οκτ-21	0.65
Νοε-21	0.34
Δεκ-21	0.65
Ιαν-22	0.49
Φεβ-22	0.49
Απρ-22	0.41
Μαϊ-22	0.43
Ιουν-22	0.42
Ιουλ-22	0.42
Αυγ-22	0.39
Σεπ-22	0.44
Οκτ-22	0.45
Νοε-22	0.53
Δεκ-22	0.52



Διάγραμμα 9. NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το γυμνό έδαφος σε υψόμετρο 250m

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 9, η περιοχή που έχει επιλεχθεί έχει περισσότερη βλάστηση σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. Οι τιμές του NDVI του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 250m κυμαίνονται από 0.34 έως 0.66, του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 100m κυμαίνονται από 0.18 έως 0.63 ενώ εκείνες της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. από 0.14 έως 0.44. Πρόκειται για περιοχή με περισσότερη βλάστηση όπως φαίνεται και από τη δορυφορική εικόνα (Σχήμα 51.) καθώς τους περισσότερους μήνες του χρόνου οι τιμές είναι κοντά στο 0.40-0.50, χωρίς ωστόσο να αφορά σε πυκνή βλάστηση αλλά σε θάμνους. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες και οι μικρότερες τους θερινούς, όπως είναι λογικό.

Για τα δεδομένα της LST ακολουθείται η ίδια διαδικασία επεξεργασίας η οποία γίνεται στο Excel. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό

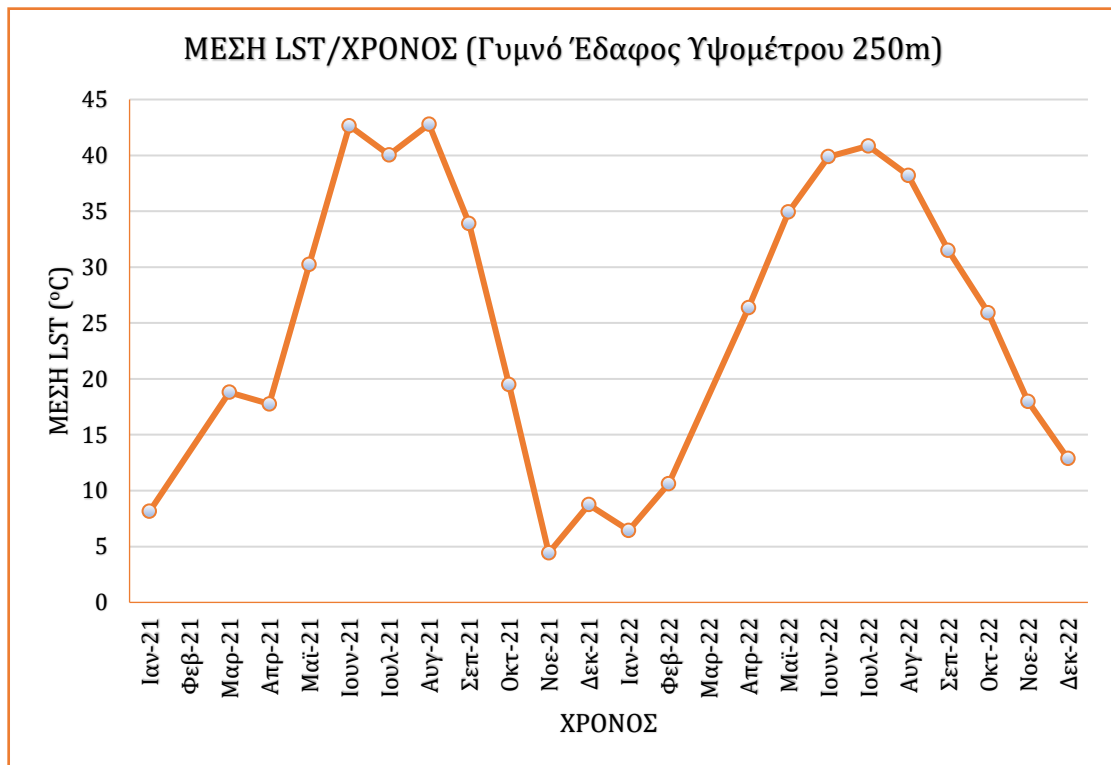
πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Σημειώνεται πως λόγω του cloud coverage παρατηρούνται τέσσερις ακραίες τιμές θερμοκρασίας, μια τον Ιανουάριο του 2022 (-10.2 °C), μια τον Φεβρουάριο του 2022 (-1.5 °C), μια τον Απρίλιο του 2022 (-2.5 °C) και μια τον Δεκέμβριο του 2022 (-6.1 °C) οι οποίες επιλέγεται να μη ληφθούν υπόψη καθώς σύμφωνα με βιβλιογραφική μελέτη η θερμοκρασία του εδάφους είναι πάντα λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Έχοντας ως δεδομένα τις θερμοκρασίες του αέρα, από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων, από τον Γενάρη του 2021 έως τον Δεκέμβρη του 2022, σημειώνεται πως κανένα μήνα δεν υπήρχε πτώση της θερμοκρασίας κάτω από μηδέν βαθμούς, συνεπώς οι αρνητικές τιμές που είναι καταγεγραμμένες από το δορυφόρο πιθανώς να οφείλονται στη νεφοκάλυψη και για αυτόν τον λόγο δε λαμβάνονται υπόψη. Η αφαίρεση των αρνητικών τιμών δε γίνεται αυθαίρετα καθώς ελέγχονται και οι τιμές της θερμοκρασίας του προηγούμενου μήνα ώστε να υπάρχει μια λογική μετάβαση από τον έναν μήνα στον άλλον. Για παράδειγμα, όταν οι τιμές του Ιανουαρίου είναι κοντά στους 11°C και του Φεβρουαρίου στους 11-12°C θεωρείται επιτυχής η αφαίρεση των αρνητικών τιμών διότι είναι πιθανό να οφείλονται σε σφάλματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 8.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α. σε υψόμετρο 250m (Διάγραμμα 10.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021 και τον Μάρτιο του 2022.

Πίνακας 8. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο (Γυμνό Έδαφος σε υψόμετρο 250m)

DATE	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	8.14
Μαρ-21	18.80
Απρ-21	17.76
Μαϊ-21	30.25
Ιουν-21	42.65
Ιουλ-21	40.05
Αυγ-21	42.78

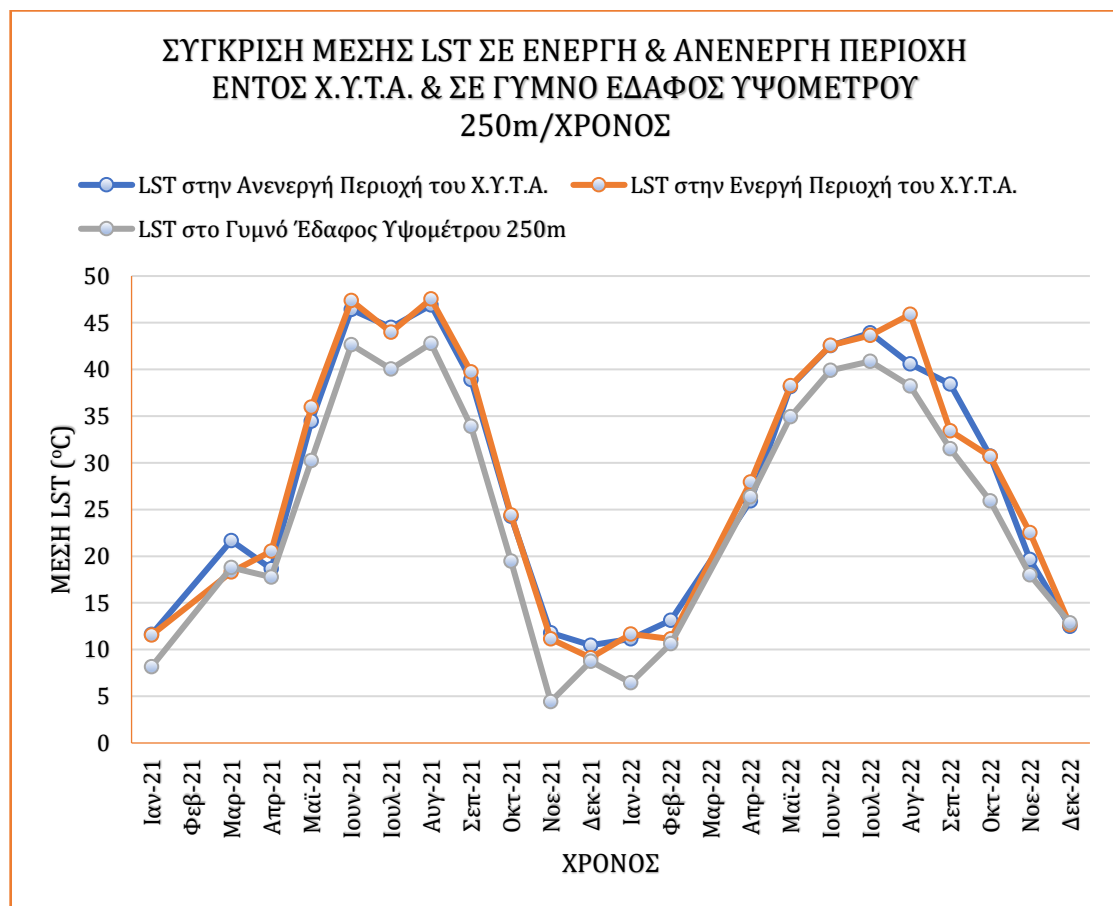
Σεπ-21	33.91
Οκτ-21	19.49
Νοε-21	4.43
Δεκ-21	8.75
Ιαν-22	6.44
Φεβ-22	10.62
Απρ-22	26.37
Μαϊ-22	34.92
Ιουν-22	39.89
Ιουλ-22	40.85
Αυγ-22	38.21
Σεπ-22	31.51
Οκτ-22	25.91
Νοε-22	17.99
Δεκ-22	12.87



Διάγραμμα 10. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στο Γυμνό Έδαφος Υψομέτρου 250m

Στο διάγραμμα 10 απεικονίζεται η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε γυμνό έδαφος στα ανατολικά του Χ.Υ.Τ.Α., στον λόφο της Πετρούπολης. Όπως φαίνεται και από τις τιμές του πίνακα 8, η θερμοκρασία εδάφους είναι μειωμένη σε σχέση με την LST εντός του Χ.Υ.Τ.Α. και στην ενεργή και στην ανενεργή περιοχή του. Η υψηλότερη θερμοκρασία που

σημειώνεται είναι 43°C τον Αύγουστο του 2021. Το δείγμα εδάφους που έχει επιλεχθεί βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. και δεν πρόκειται για ένα εντελώς γυμνό έδαφος καθώς αναπτύσσεται χαμηλή αραιή βλάστηση σε αυτό. Πιθανότατα ο παράγοντας που συντελεί στο να μην αυξάνεται κατά πολύ η LST να είναι το υψόμετρο της περιοχής (Khandelwal, S. et al. 2018) σε συνδυασμό με τη βλάστηση (Liu, J. et al. 2022). Από τα διαγράμματα 9 και 10, δεν είναι τόσο ξεκάθαρη η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που έχει η LST με τον δείκτη NDVI ο οποίος έχει σχεδόν όλους τους μήνες τιμές κοντά στο 0.40-0.45, με τα μέγιστα να σημειώνονται τον χειμώνα όπου και η LST έχει τις μικρότερες τιμές της. Για να γίνει πιο αντιληπτή η διαφορά της LST μεταξύ της ενεργής και της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. και του εδάφους σε υψόμετρο 250m, κατασκευάζεται το διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο στην Ενεργή & στην Ανενεργή περιοχή εντός του Χ.Υ.Τ.Α. & στο Γυμνό Έδαφος Υψομέτρου 250m

Από το διάγραμμα 11 διακρίνεται πως η θερμοκρασία εδάφους στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. είναι ελάχιστα πιο υψηλή από εκείνη στην ανενεργή, η οποία με τη σειρά της είναι πιο υψηλή σε σχέση με την LST του εδάφους εκτός Χ.Υ.Τ.Α. Η αριθμητική διαφορά που παρατηρείται σε γενικές γραμμές είναι 3°C-4°C σε σχέση με την ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και 5°C σε σχέση με την ενεργή. Η συγκεκριμένη κατάσταση μοιάζει αρκετά φυσιολογική καθώς τα εδάφη που έχουν λίγο παραπάνω βλάστηση και βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο, σημειώνουν μικρότερες θερμοκρασίες εδάφους. Ωστόσο επειδή δεν είναι τόσο μεγάλη η υψομετρική διαφορά ούτε και η ανάπτυξη βλάστησης, η χαμηλότερη LST πιθανότατα να οφείλεται και στο γεγονός ότι ο λόφος της Πετρούπολης δεν έρχεται σε άμεση επαφή με βιομηχανίες η λειτουργία των οποίων επηρεάζει αρνητικά μια περιοχή. Μια ακόμη παρατήρηση είναι η κλίση του τμήματος εδάφους που έχει επιλεχθεί, η οποία ίσως συμβάλλει στο να έχει περισσότερη σκιά σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. Η κλίση του είναι περίπου στις 25 μοίρες ενώ εκείνη του Χ.Υ.Τ.Α. στις 10 μοίρες για το ενεργό του τμήμα και στις 6 μοίρες για το ανενεργό του.

5.2.2.3.3. Δείγμα σε καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο

Σαν τελευταία δείγματα, επιλέγονται καλλιέργειες στις οποίες θα μελετηθεί η LST. Αρχικά επιλέγονται καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο και σε επόμενο στάδιο στα Σπάτα. Και οι δύο καλλιέργειες που μελετώνται είναι στο ίδιο υψόμετρο με τον Χ.Υ.Τ.Α. Το κομμάτι εδάφους που εξετάζεται και αφορά σε καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο, παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 52. Δημιουργείται ένα πολύγωνο έκτασης 0.13km² και αντλούνται οι χρονοσειρές με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη.



Σχήμα 52. Πολύγωνο Καλλιέργειών στην Περιοχή του Ασπρόπυργου

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Και σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται ο δείκτης NDVI ο οποίος όπως είναι λογικό, θα είναι πιο αυξημένος σε σχέση με την περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και του γυμνού εδάφους υψομέτρου 100m καθώς πρόκειται για καλλιέργειες. Ο NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης μιας περιοχής με τιμές από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές του NDVI που πλησιάζουν στο -1 αντιστοιχούν στο νερό. Οι τιμές κοντά στο μηδέν (-0.1 έως 0.1) αντιστοιχούν γενικά σε άγονες περιοχές. Οι χαμηλές θετικές τιμές αντιστοιχούν σε λιβάδια ή θάμνους (0.2 έως 0.4) ενώ οι υψηλές (τιμές που πλησιάζουν το 1) αντιπροσωπεύουν εύκρατα και τροπικά δάση.

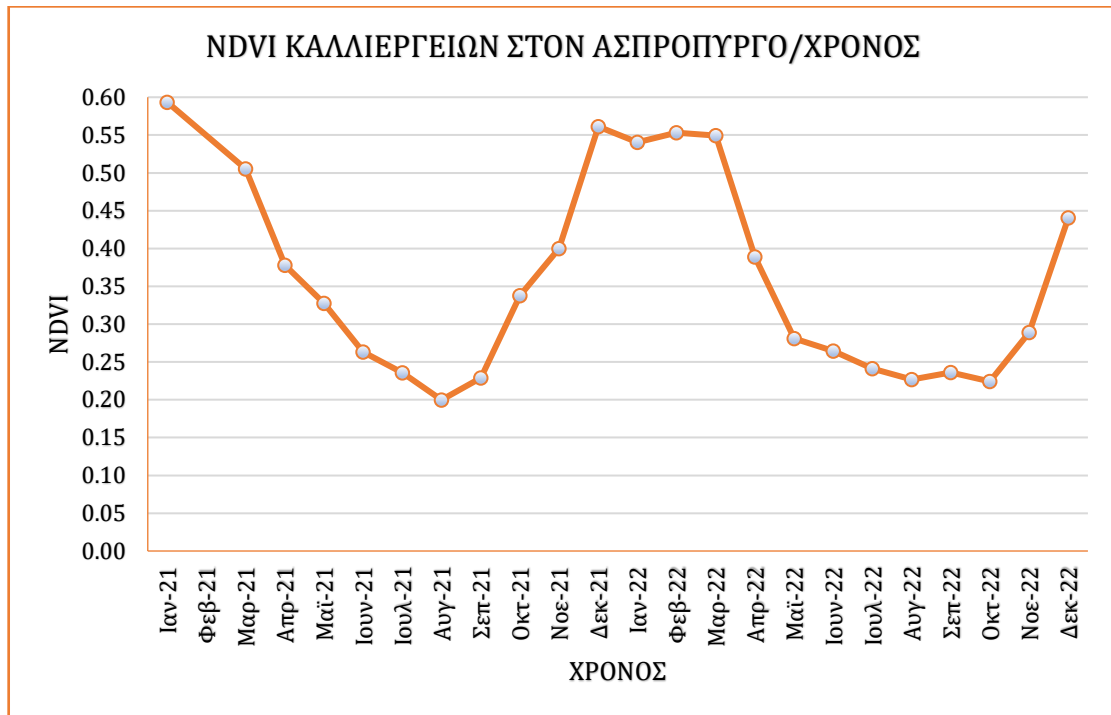
Τα δεδομένα NDVI αντλούνται επίσης από το Sentinel EO Browser και όπως ακριβώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της LST, γίνεται και για τον NDVI. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση των τιμών όταν υπάρχουν περισσότερες από μία και έτσι επιλέγεται να εξαχθεί ο μέσος όρος (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών του δείκτη βλάστησης

για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές NDVI, εννοώντας πάντα τη μέση τιμή NDVI (τιμή mean).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές NDVI (μέση τιμή) από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 9.) καθώς και το διάγραμμα μέσης τιμής NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα καλλιέργειών στον Ασπρόπυργο (Διάγραμμα 12.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021.

Πίνακας 9. Μέσες τιμές NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο (Καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο)

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ NDVI
Ιαν-21	0.59
Μαρ-21	0.51
Απρ-21	0.38
Μαΐ-21	0.33
Ιουν-21	0.26
Ιουλ-21	0.24
Αυγ-21	0.20
Σεπ-21	0.23
Οκτ-21	0.34
Νοε-21	0.40
Δεκ-21	0.56
Ιαν-22	0.54
Φεβ-22	0.55
Μαρ-22	0.55
Απρ-22	0.39
Μαΐ-22	0.28
Ιουν-22	0.26
Ιουλ-22	0.24
Αυγ-22	0.23
Σεπ-22	0.24
Οκτ-22	0.22
Νοε-22	0.29
Δεκ-22	0.44



Διάγραμμα 12. NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 12, η περιοχή που έχει επιλεχθεί έχει περισσότερη βλάστηση σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. Οι τιμές του NDVI για τις καλλιέργειες στην περιοχή του Ασπρόπυργου, κυμαίνονται από 0.20 έως 0.59, του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 250m κυμαίνονται από 0.34 έως 0.66, του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 100m κυμαίνονται από 0.18 έως 0.63 ενώ εκείνες της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. από 0.14 έως 0.44. Πρόκειται για περιοχή με περισσότερη βλάστηση σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. Οι τιμές του NDVI των καλλιεργειών, πλησιάζουν τις τιμές του γυμνού εδάφους που βρίσκεται σε υψόμετρο 250m καθώς και εκείνου στα 100m. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες και οι μικρότερες τους θερινούς, όπως είναι λογικό.

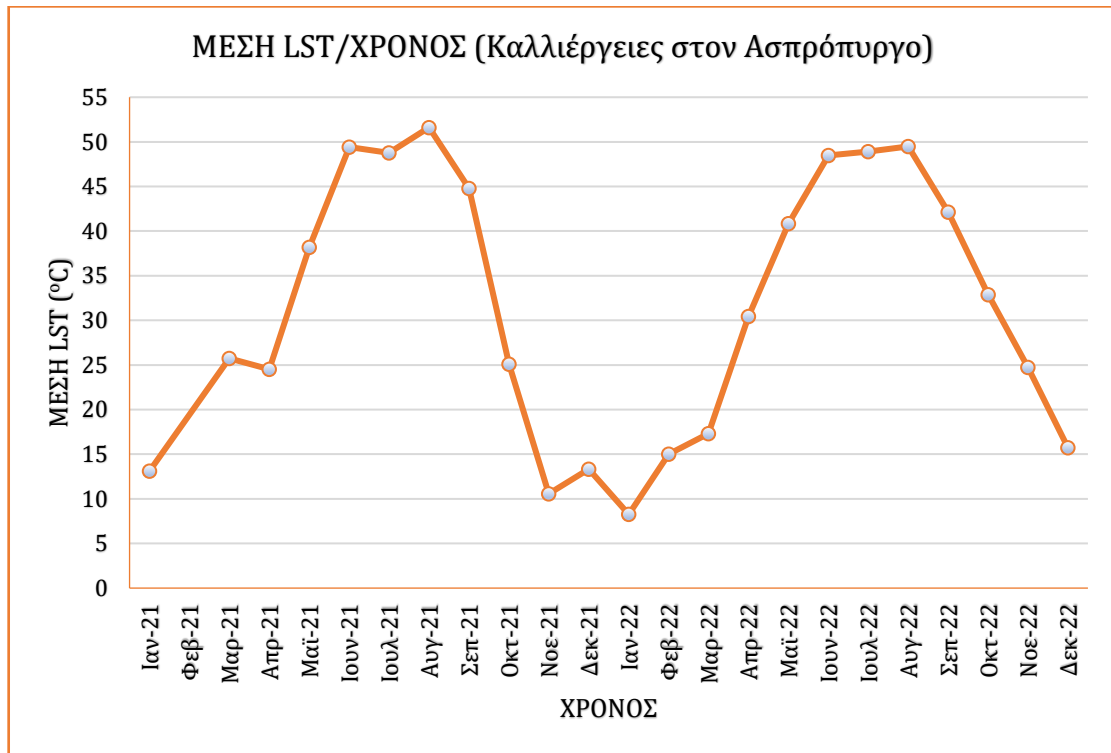
Για τα δεδομένα της LST ακολουθείται η ίδια διαδικασία επεξεργασίας η οποία γίνεται στο Excel. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβριος 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Από τον Δεκέμβριο του 2021, οι καταγραφές σε κάποιους μήνες αυξάνονται από δύο σε τρεις ή τέσσερις. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό

πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Σημειώνεται πως δεν παρατηρείται καμία ακραία τιμή θερμοκρασίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 10.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα καλλιιεργειών στον Ασπρόπυργο (Διάγραμμα 13.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει τιμή για τον Φεβρουάριο του 2021.

Πίνακας 10. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο Καλλιιεργειες στον Ασπρόπυργο

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	13.12
Μαρ-21	25.75
Απρ-21	24.51
Μαϊ-21	38.20
Ιουν-21	49.42
Ιουλ-21	48.77
Αυγ-21	51.61
Σεπ-21	44.77
Οκτ-21	25.11
Νοε-21	10.58
Δεκ-21	13.32
Ιαν-22	8.26
Φεβ-22	15.03
Μαρ-22	17.32
Απρ-22	30.43
Μαϊ-22	40.84
Ιουν-22	48.48
Ιουλ-22	48.92
Αυγ-22	49.49
Σεπ-22	42.14
Οκτ-22	32.88
Νοε-22	24.73
Δεκ-22	15.74



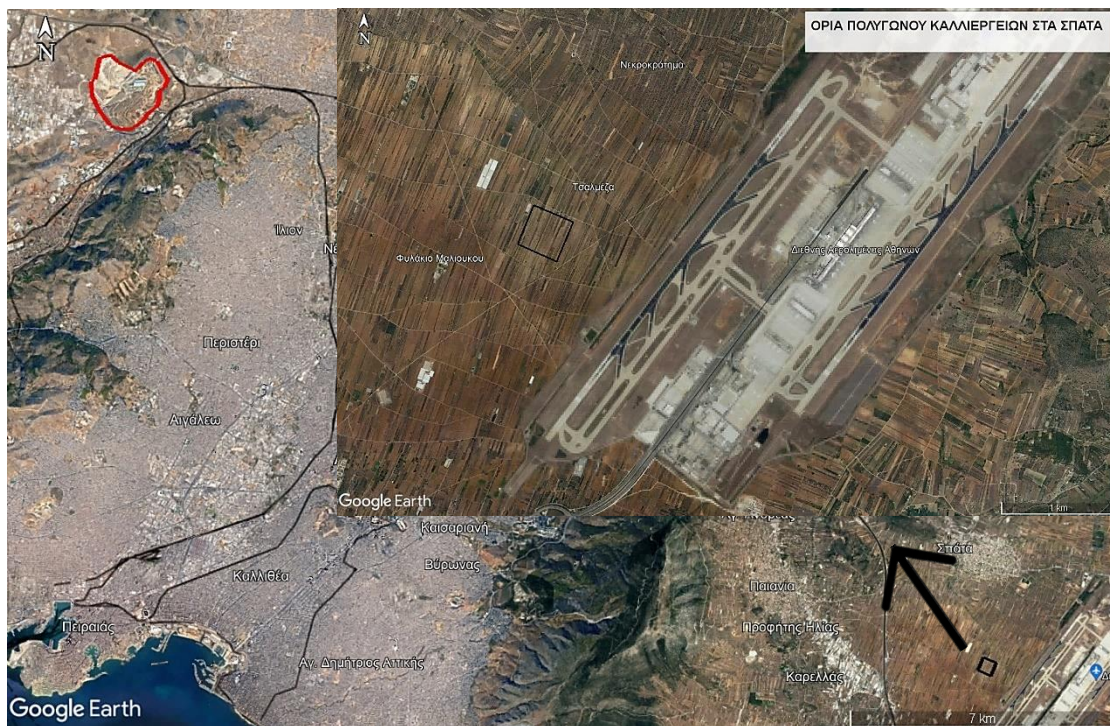
Διάγραμμα 13. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο σε Καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο

Στο διάγραμμα 13 απεικονίζεται η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε καλλιέργειες σε κοντινή απόσταση από τον Χ.Υ.Τ.Α. Όπως φαίνεται και από τις τιμές του πίνακα 10, η θερμοκρασία εδάφους είναι μεγαλύτερη από εκείνη στον Χ.Υ.Τ.Α. έως και 4°C κάποιους μήνες τον χρόνο, γεγονός που επιβεβαιώνει πως η LST του Χ.Υ.Τ.Α. δε βρίσκεται σε επικίνδυνα επίπεδα. Ωστόσο οι τόσο υψηλές θερμοκρασίες σε καλλιέργειες μπορούν να δικαιολογηθούν από τη βιομηχανική ζώνη στην οποία βρίσκονται καθότι ο Ασπρόπυργος φιλοξενεί αρκετές βιομηχανίες όπως και η Ελευσίνα. . Αυτό που προκύπτει κοιτώντας τα διαγράμματα 12 και 13, είναι η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που έχει η LST με τον δείκτη NDVI. Όσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης NDVI, τόσο χαμηλότερη είναι η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους, γεγονός που μπορεί να επιβεβαιωθεί και από βιβλιογραφικές μελέτες (Pánek, V., 2022).

Για το συγκεκριμένο τμήμα εδάφους, το Sentinel EO Browser παρέχει τιμή για τον Μάρτιο του 2022 (17.32°C). Ωστόσο σε αργότερο στάδιο, όταν θα γίνει σύγκριση των LST όλων των περιοχών οι οποίες έχουν μελετηθεί και για τις οποίες δεν υπάρχει η αντίστοιχη τιμή, θα αφαιρεθεί.

5.2.2.3.4. Δείγμα σε καλλιέργειες στα Σπάτα

Τέλος εξετάζεται δείγμα καλλιεργειών σε μια αρκετά απομακρυσμένη περιοχή σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α., στα Σπάτα, κοντά στο αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Ο λόγος που εξετάζεται αυτή η περιοχή είναι για να γίνει μια σύγκριση της LST σε καλλιέργειες που βρίσκονται αρκετά χιλιόμετρα μακριά σε μια περιοχή που δεν είναι τόσο έντονη η βιομηχανική δραστηριότητα, υπάρχει ωστόσο το αεροδρόμιο σε πολύ κοντινή απόσταση. Το κομμάτι εδάφους που εξετάζεται και αφορά σε καλλιέργειες στα Σπάτα, παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 53 σε κλίμακα 7km και 1km. Δημιουργείται ένα πολύγωνο έκτασης 0.13km² και αντλούνται οι χρονοσειρές για το πολύγωνο που έχει επιλεγεί με cloud coverage μεταξύ 5% έως 10% (συγκεκριμένα 7%) ώστε να μην είναι έντονη η αλλοίωση των δεδομένων από τη νεφοκάλυψη. Το πολύγωνο κατασκευάζεται αρχικά στο Google Earth Pro και έπειτα εισάγεται στο Sentinel EO Browser ώστε η περιοχή να είναι ήδη καθορισμένη.



Σχήμα 53. Πολύγωνο Καλλιεργειών στα Σπάτα

(Σημειώνεται με μαύρο χρώμα-Google Earth Pro)

Και σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται ο δείκτης NDVI ο οποίος όπως είναι λογικό, θα είναι πιο αυξημένος σε σχέση με την περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και του γυμνού εδάφους υψομέτρου 100m καθώς πρόκειται για καλλιέργειες. Ο NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης

ο οποίος δείχνει την πυκνότητα της βλάστησης μιας περιοχής με τιμές από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές του NDVI που πλησιάζουν στο -1 αντιστοιχούν στο νερό. Οι τιμές κοντά στο μηδέν (-0.1 έως 0.1) αντιστοιχούν γενικά σε άγονες περιοχές. Οι χαμηλές θετικές τιμές αντιστοιχούν σε λιβάδια ή θάμνους (0.2 έως 0.4) ενώ οι υψηλές (τιμές που πλησιάζουν το 1) αντιπροσωπεύουν εύκρατα και τροπικά δάση.

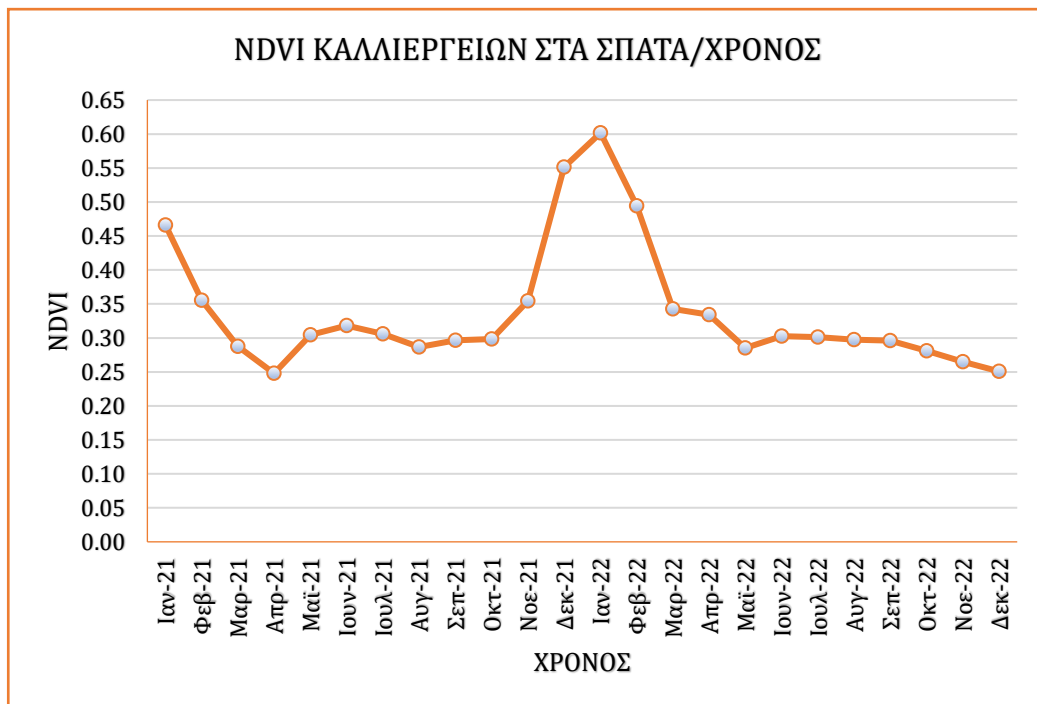
Τα δεδομένα NDVI αντλούνται επίσης από το Sentinel EO Browser και όπως ακριβώς γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων της LST, γίνεται και για τον NDVI. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Τους περισσότερους μήνες καταγράφονται παραπάνω από δύο τιμές και σε κάποιους μήνες φτάνουν μέχρι και τις εφτά. Επειδή δεν μπορεί να γίνει σωστή σύγκριση των τιμών όταν υπάρχουν περισσότερες από μία, επιλέγεται να εξαχθεί ο μέσος όρος (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών του δείκτη βλάστησης για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές NDVI, εννοώντας πάντα τη μέση τιμή NDVI (τιμή mean).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές NDVI (μέση τιμή) από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 11.) καθώς και το διάγραμμα μέσης τιμής NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα καλλιεργειών στα Σπάτα (Διάγραμμα 14.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022.

Πίνακας 11. Μέσες τιμές NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο (Καλλιέργειες στα Σπάτα)

ΧΡΟΝΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ NDVI
Ιαν-21	0.47
Φεβ-21	0.36
Μαρ-21	0.29
Απρ-21	0.25
Μαϊ-21	0.30
Ιουν-21	0.32
Ιουλ-21	0.31
Αυγ-21	0.29
Σεπ-21	0.30
Οκτ-21	0.30
Νοε-21	0.35
Δεκ-21	0.55
Ιαν-22	0.60
Φεβ-22	0.49

Μαρ-22	0.34
Απρ-22	0.33
Μαϊ-22	0.29
Ιουν-22	0.30
Ιουλ-22	0.30
Αυγ-22	0.30
Σεπ-22	0.30
Οκτ-22	0.28
Νοε-22	0.27
Δεκ-22	0.25



Διάγραμμα 14. NDVI σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις καλλιέργειες στα Σπάτα

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 14, η περιοχή που έχει επιλεχθεί δεν έχει πολλή έντονη βλάστηση, αλλά σίγουρα περισσότερη σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. Οι τιμές του NDVI για τις καλλιέργειες στα Σπάτα, κυμαίνονται από 0.25 έως 0.60, των καλλιεργειών στον Ασπρόπυργο κυμαίνονται από 0.20 έως 0.59, του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 250m κυμαίνονται από 0.34 έως 0.66, του γυμνού εδάφους σε υψόμετρο 100m κυμαίνονται από 0.18 έως 0.63 ενώ εκείνες της ανενεργής περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. από 0.14 έως 0.44. Πρόκειται για περιοχή με περισσότερη βλάστηση σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. και με το γυμνό έδαφος υψομέτρου 100m. Οι τιμές του NDVI των καλλιεργειών στα Σπάτα, θυμίζουν αρκετά τις τιμές των υπόλοιπων περιοχών, εκτός από εκείνες του Χ.Υ.Τ.Α. που όπως είναι

λογικό είναι λίγο πιο χαμηλές. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες και οι μικρότερες τους θερινούς.

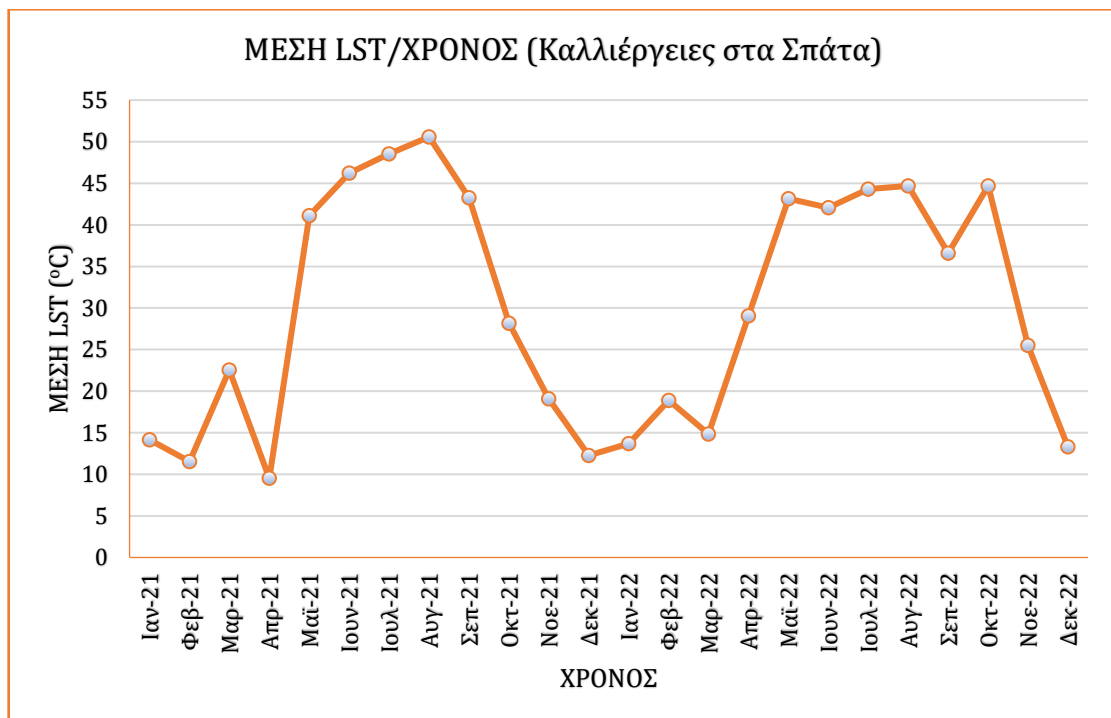
Για τα δεδομένα της LST ακολουθείται η ίδια διαδικασία επεξεργασίας η οποία γίνεται στο Excel. Αντλούνται τα δεδομένα από την ιστοσελίδα για τη χρονική περίοδο *Ιανουάριος 2021 έως Δεκέμβρης 2022*. Ο δορυφόρος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά τον Φεβρουάριο του 2013 και «σκανάρει» την ίδια επιφάνεια της Γης ανά 16 ημέρες. Τους περισσότερους μήνες καταγράφονται παραπάνω από δύο τιμές και σε κάποιους μήνες φτάνουν μέχρι και τις εφτά. Ωστόσο τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (METEO) με τα οποία θα γίνει η σύγκριση, περιλαμβάνουν μια τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα συνεπώς τα δορυφορικά δεδομένα επεξεργάζονται έτσι ώστε να αντιστοιχεί μια τιμή LST σε κάθε μήνα. Αυτό πραγματοποιείται με την εξαγωγή του μέσου όρου (συνάρτηση AVERAGE στο excel) των τιμών της θερμοκρασίας για τον μήνα για τον οποίο υπάρχουν παραπάνω από μια τιμές LST, εννοώντας πάντα τη μέση LST (τιμή mean). Σημειώνεται πως λόγω του cloud coverage παρατηρούνται τρεις ακραίες τιμές θερμοκρασίας, μια τον Νοέμβριο του 2021 (-25.7°C), μια τον Μάρτιο του 2022 (-42.5°C) και μια τον Δεκέμβριο του 2022 (-15.6°C) οι οποίες πιθανόν να οφείλονται στη νεφοκάλυψη και για αυτόν τον λόγο δε λαμβάνονται υπόψη. Η αφαίρεση των αρνητικών τιμών δε γίνεται αυθαίρετα καθώς ελέγχονται και οι τιμές της θερμοκρασίας του προηγούμενου μήνα ώστε να υπάρχει μια λογική μετάβαση από τον έναν μήνα στον άλλον. Για παράδειγμα, όταν οι τιμές του Ιανουαρίου είναι κοντά στους 11°C και του Φεβρουαρίου στους 11-12°C θεωρείται επιτυχής η αφαίρεση των αρνητικών τιμών διότι είναι πιθανό να οφείλονται σε σφάλματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές μέσης LST από το Sentinel EO Browser έπειτα από την επεξεργασία τους στο excel (Πίνακας 12.) καθώς και το διάγραμμα μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο για το δείγμα καλλιεργείων στα Σπάτα (Διάγραμμα 15.), ξεκινώντας από τον Γενάρη του 2021 και φτάνοντας στον Δεκέμβρη του 2022.

Πίνακας 12. Τιμές μέσης LST σε συνάρτηση με τον χρόνο Καλλιέργειες στα Σπάτα

DATE	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ LST (°C)
Ιαν-21	14.14
Φεβ-21	11.56
Μαρ-21	22.53
Απρ-21	9.52
Μαϊ-21	41.11

Ιουν-21	46.24
Ιουλ-21	48.53
Αυγ-21	50.57
Σεπ-21	43.27
Οκτ-21	28.16
Νοε-21	19.07
Δεκ-21	12.25
Ιαν-22	13.68
Φεβ-22	18.91
Μαρ-22	14.85
Απρ-22	29.07
Μαϊ-22	43.13
Ιουν-22	42.08
Ιουλ-22	44.29
Αυγ-22	44.69
Σεπ-22	36.59
Οκτ-22	44.69
Νοε-22	25.53
Δεκ-22	13.32



Διάγραμμα 15. Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο σε Καλλιέργειες στα Σπάτα

Στο διάγραμμα 15 απεικονίζεται η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε καλλιέργειες στα Σπάτα. Η κατανομή της LST είναι λίγο διαφορετική σε σχέση με εκείνες των εδαφών που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Ασπροπύργου, γεγονός που είναι φυσιολογικό καθότι τα Σπάτα βρίσκονται σε πολλή μεγάλη απόσταση από τον Ασπρόπυργο. Όπως φαίνεται και από τις τιμές του πίνακα 12, η θερμοκρασία εδάφους είναι μεγαλύτερη από εκείνη στον Χ.Υ.Τ.Α. έως και 5°C -6°C κάποιους μήνες τον χρόνο. Ωστόσο αυτό δεν είναι κάτι τόσο αναμενόμενο καθώς το δείγμα εδάφους αφορά σε καλλιέργειες και μάλιστα σε μια περιοχή που δεν είναι τόσο βιομηχανική. Πιθανότατα έχουν συμβάλει άλλοι παράγοντες στην αύξηση της LST, όπως είναι η θέση των καλλιεργειών (νοτιότερα σε σχέση με τον Ασπρόπυργο) με αποτέλεσμα να δέχονται μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας. Από τα διαγράμματα 14 και 15, δεν είναι τόσο ξεκάθαρη η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που έχει η LST με τον δείκτη NDVI ο οποίος έχει σχεδόν όλους τους μήνες τιμές κοντά στο 0.30, με τα μέγιστα να σημειώνονται τον χειμώνα όπου και η LST έχει τις μικρότερες τιμές της. Σημειώνεται πως τον Απρίλιο του 2021 παρατηρείται μια αρκετά χαμηλή τιμή LST και τον Οκτώβριο του 2022 μια αρκετά υψηλή. Εξετάζοντας τα δορυφορικά δεδομένα φαίνεται πως τον Απρίλιο του 2021 υπάρχουν μερικά σύννεφα τα οποία πιθανόν να επηρεάζουν το αποτέλεσμα, τα οποία όμως ωστόσο δεν παρατηρούνται τον Οκτώβριο του 2022. Η υψηλή τιμή του Οκτωβρίου ίσως οφείλεται σε εργασίες στο έδαφος ή έχει επηρεαστεί από άλλους παράγοντες. Οι λόγοι για τους οποίους οι θερμοκρασίες αγγίζουν αυτές τις τιμές τους συγκεκριμένους μήνες, δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Ο σκοπός για τον οποίο μελετάται η συγκεκριμένη περιοχή είναι για να γίνει η σύγκρισή της με την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α.

Για το συγκεκριμένο τμήμα εδάφους, το Sentinel EO Browser παρέχει τιμές και για τον Φεβρουάριο του 2021 (11.56°C) και για τον Μάρτιο του 2022 (17.32°C). Ωστόσο σε επόμενο στάδιο, όταν θα γίνει σύγκριση των LST όλων των περιοχών οι οποίες έχουν μελετηθεί και για τις οποίες δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες τιμές, θα αφαιρεθούν.

5.2.2.4. Σύγκριση LST με τη θερμοκρασία αέρα

Έχοντας εξάγει τα συμπεράσματα για την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους που έχει καταγραφεί στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής-Άνω Λιοσίων καθώς και στις υπόλοιπες περιοχές που έχουν εξετασθεί, επιλέγεται να γίνει η σύγκριση τους με τη θερμοκρασία αέρα (Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung 2010, Faisal et al. 2012), δεδομένα τα οποία παρέχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό των Άνω Λιοσίων (METEO) (Σχήμα 54).



Σχήμα 54. Απεικόνιση του Μετεωρολογικού Σταθμού Άνω Λιοσίων σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. (Σημειώνεται με κίτρινη πινέξα-Google Earth Pro)

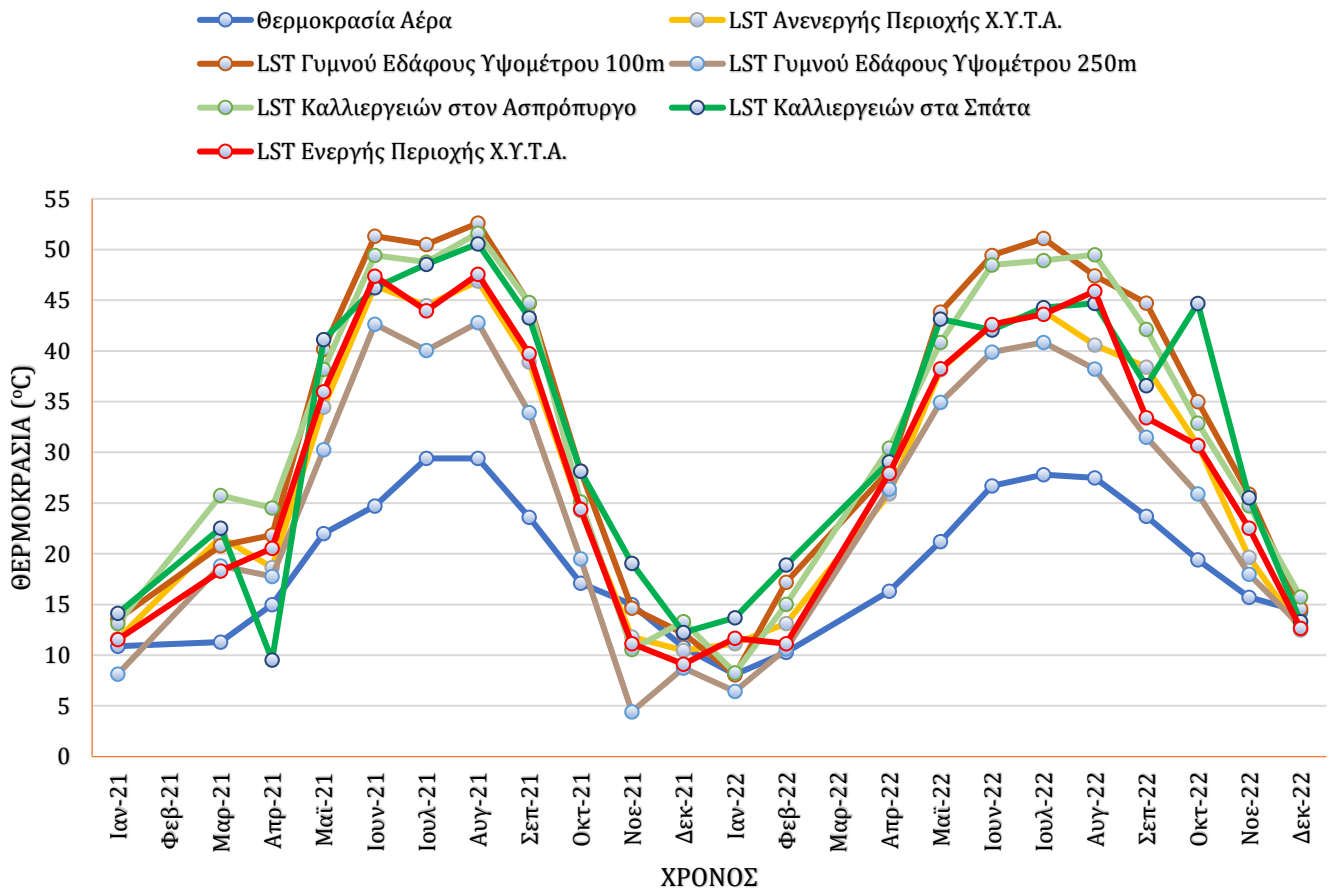
Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα διαγράμματα, η θερμοκρασία εδάφους στον Χ.Υ.Τ.Α. είναι αρκετά αυξημένη ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες όπου και αγγίζει σχεδόν τους 48°C. Ακόμη πιο υψηλή είναι και η θερμοκρασία γυμνού εδάφους των υπό εξεταζόμενων περιοχών. Είναι δεδομένο πως η θερμοκρασία αέρα είναι αισθητά μειωμένη σε σχέση με τη θερμοκρασία του εδάφους όπως πηγάζει από κλιματολογικές μελέτες αλλά επιβεβαιώνεται και στην παρούσα εργασία μέσω των παρακάτω διαγραμμάτων, συμπέρασμα το οποίο εξάγεται και από τις εργασίες των Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung 2010 και Faisal et al. 2012. Στον πίνακα 13 σημειώνονται συγκριτικά οι θερμοκρασίες LST για όλες τις περιοχές μελέτης και η μέση θερμοκρασία αέρα για τη χρονική περίοδο 2021-2022 και στα διαγράμματα 16 και 17 απεικονίζεται η σύγκρισή τους. Στη συνέχεια κατασκευάζεται και το διάγραμμα 18 ώστε να φανεί πιο ευδιάκριτα η διαφορά στις τιμές των LST της κάθε περιοχής σε σχέση με την θερμοκρασία αέρα. Στο διάγραμμα 18 έχει αφαιρεθεί η LST κάθε υπό εξέταση περιοχής από τη θερμοκρασία αέρα. Σημειώνεται πως οι τιμές του Φεβρουαρίου 2021 και του Μαρτίου 2022 δεν έχουν ληφθεί υπόψιν για την κατασκευή των παρακάτω διαγραμμάτων.

**Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας
Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων**

Πίνακας 13. Σύγκριση LST των περιοχών μελέτης με τη Μέση Θερμοκρασία Αέρα

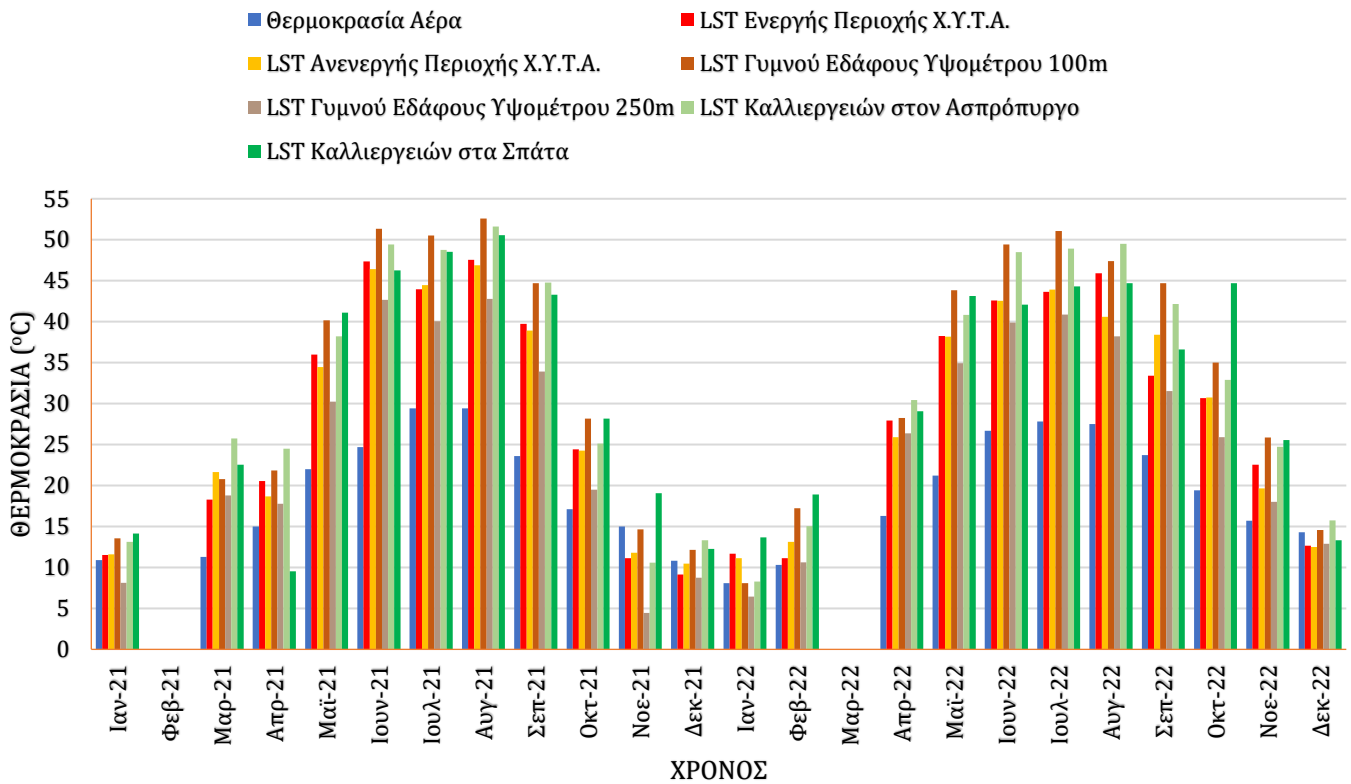
ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)	ΜΕΣΗ LST ΕΝΕΡΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Χ.Υ.Τ.Α. (°C)	ΜΕΣΗ LST ΑΝΕΝΕΡΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Χ.Υ.Τ.Α. (°C)	ΜΕΣΗ LST ΓΥΜΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 100 m (°C)	ΜΕΣΗ LST ΓΥΜΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 250 m (°C)	ΜΕΣΗ LST ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟ (°C)	ΜΕΣΗ LST ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΠΑΤΑ (°C)
Ιαν-21	10.9	11.54	11.61	13.56	8.14	13.12	14.14
Φεβ-21	<u>10.9</u>	-	-	-	-	-	<u>11.56</u>
Μαρ-21	11.3	18.3	21.65	20.8	18.8	25.75	22.53
Απρ-21	15	20.55	18.66	21.85	17.76	24.51	9.52
Μαϊ-21	22	35.97	34.45	40.17	30.25	38.2	41.11
Ιουν-21	24.7	47.37	46.42	51.33	42.65	49.42	46.24
Ιουλ-21	29.4	43.97	44.48	50.5	40.05	48.77	48.53
Αυγ-21	29.4	47.55	46.89	52.6	42.78	51.61	50.57
Σεπ-21	23.6	39.74	38.91	44.7	33.91	44.77	43.27
Οκτ-21	17.1	24.4	24.27	28.15	19.49	25.11	28.16
Νοε-21	15	11.14	11.80	14.65	4.43	10.58	19.07
Δεκ-21	10.8	9.12	10.47	12.16	8.75	13.32	12.25
Ιαν-22	8.1	11.67	11.13	8.09	6.44	8.26	13.68
Φεβ-22	10.3	11.13	13.13	17.21	10.62	15.03	18.91
Μαρ-22	<u>8.7</u>	<u>1.29</u>	<u>11.38</u>	-	-	<u>17.32</u>	<u>14.85</u>
Απρ-22	16.3	27.93	25.90	28.23	26.37	30.43	29.07
Μαϊ-22	21.2	38.25	38.16	43.82	34.92	40.84	43.13
Ιουν-22	26.7	42.59	42.55	49.41	39.89	48.48	42.08
Ιουλ-22	27.8	43.63	43.90	51.08	40.85	48.92	44.29
Αυγ-22	27.5	45.89	40.60	47.41	38.21	49.49	44.69
Σεπ-22	23.7	33.42	38.42	44.71	31.51	42.14	36.59
Οκτ-22	19.4	30.67	30.73	35.01	25.91	32.88	44.69
Νοε-22	15.7	22.53	19.65	25.88	17.99	24.73	25.53
Δεκ-22	14.3	12.64	12.49	14.58	12.87	15.74	13.32

ΣΥΓΚΡΙΣΗ LST ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ/ΧΡΟΝΟΣ



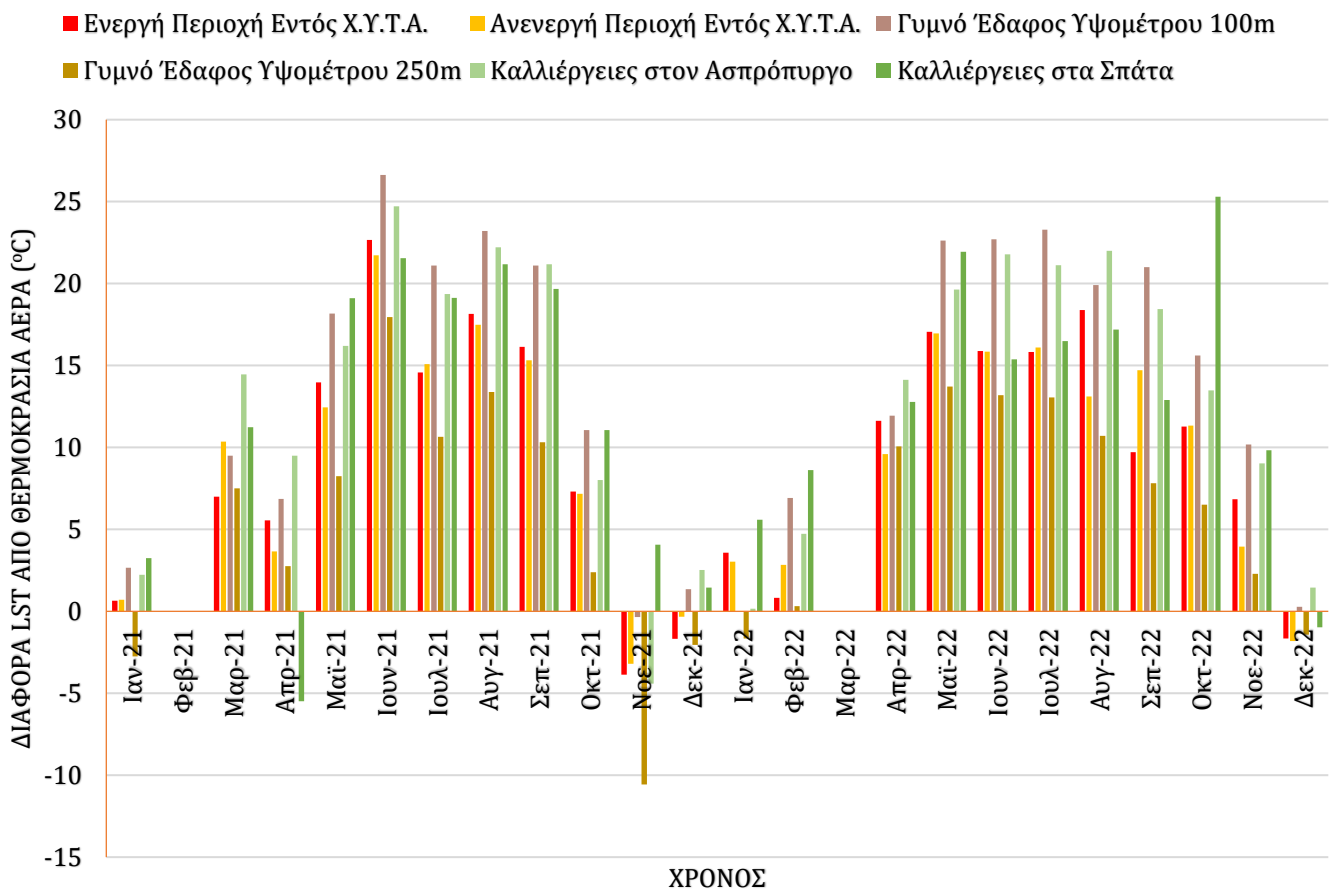
Διάγραμμα 16. Μέση Θερμοκρασία Αέρα & Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο για τις περιοχές μελέτης

ΣΥΓΚΡΙΣΗ LST ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ/ΧΡΟΝΟΣ



Διάγραμμα 17. Μέση Θερμοκρασία Αέρα & Μέση LST σε συνάρτηση με τον Χρόνο για τις περιοχές μελέτης

ΔΙΑΦΟΡΑ LST ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ/ΧΡΟΝΟΣ



Διάγραμμα 18. Διαφορά Μέσης LST από τη Θερμοκρασία Αέρα σε συνάρτηση με τον Χρόνο για τις περιοχές μελέτης

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως υπάρχουν αισθητές διαφορές στις τιμές της LST και σε εκείνες της θερμοκρασίας αέρα. Φαίνεται πως πρόκειται για εξαρτημένες μεταβλητές όπως είναι φυσικό διότι η μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους καταγράφεται όταν η θερμοκρασία του αέρα αποκτά τη μέγιστη τιμή της. Η κατανομή που ακολουθούν οι τιμές είναι η ίδια, με την αύξηση της θερμοκρασίας να παρατηρείται τους θερινούς μήνες και τη μείωση της τους χειμερινούς μήνες. Η θερμοκρασία του αέρα είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη του εδάφους για όλες τις περιοχές μελέτης γεγονός το οποίο έχει επιστημονική εξήγηση. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, από την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται απ' αυτόν, απορροφά πολύ μικρά ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό να απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους η οποία και θερμαίνεται πολύ περισσότερο (ΚΑΛΤΣΟΥΝΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ).

Φαίνεται πως τον χειμώνα, οι τιμές ανάμεσα στην LST και τη θερμοκρασία αέρα δεν έχουν αρκετή διαφορά (<10°C) ενώ από τον Απρίλιο και μετά μέχρι τον Σεπτέμβρη, τους καλοκαιρινούς μήνες δηλαδή, οι διαφορές είναι αρκετά μεγάλες (>15°C-20°C). Σύμφωνα με τους Yan, W. Y. et al. 2014, κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, είναι πιο έντονες οι διαφορές στη θερμοκρασία ανάμεσα στον Χ.Υ.Τ.Α. και στις γύρω περιοχές συγκριτικά με τον χειμώνα. Συνεπώς τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει είναι φυσιολογικά καθώς οι έντονες διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες και όχι τους χειμερινούς. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται στο γυμνό έδαφος υψομέτρου 100m ενώ οι χαμηλότερες ανήκουν στο γυμνό έδαφος υψομέτρου 250m, στην πλαγιά της Πετρούπολης. Ωστόσο στο διάγραμμα 17 διακρίνεται πως τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριος 2021, Απρίλιος 2021, Νοέμβριος 2021, Δεκέμβριος 2021, Ιανουάριος 2022 και Δεκέμβριος 2022) η θερμοκρασία αέρα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την LST κάποιων περιοχών μελέτης. Σύμφωνα με τη μελέτη του Faisal K. S. (2011), η LST είχε βγει μικρότερη από την θερμοκρασία αέρα τους χειμερινούς μήνες και είχε βρεθεί νερό σε αυτές τις περιοχές *“it was observed that some of the LST derived from the remote sensing images are lower than the air temperature. It is worth mentioning that most of these cases occur when images are acquired in the winter (Jan. 13, 1985; Dec. 29 1987; Oct. 29, 1993; and Feb. 28, 1993) and water (waste water) was found in these areas”*. Συνεπώς, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που έχουν παρατηρηθεί ίσως να εξηγούνται από την υγρασία του εδάφους δεδομένου ότι πρόκειται για χειμερινούς μήνες κατά την διάρκεια των οποίων εμφανίζονται αρκετές βροχοπτώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μελέτη, σημειώνονται τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί. Η παραπάνω εργασία έχει ως στόχο να επιβεβαιώσει πως η χρήση της τηλεπισκόπησης και η αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων μπορούν να συμβάλλουν επιτυχώς στην αξιολόγηση περιοχών στις οποίες γίνεται διάθεση των αποβλήτων. Σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους (LST) του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής-Άνω Λιοσίων η οποία αυξάνεται έντονα σε τέτοιους χώρους καθώς λόγω της βιοαποικοδόμησης γίνεται έκλυση αερίων. Μελετώντας αρκετή βιβλιογραφία σχετική με το παραπάνω θέμα, σημειώνεται πως η LST σε Χ.Υ.Τ.Α. τείνει να είναι πιο υψηλή σε σχέση με γειτονικά εδάφη στα οποία δε γίνεται υγειονομική ταφή απορριμμάτων. Ταυτόχρονα βέβαια, οι μη υψηλές τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας στον Χ.Υ.Τ.Α. υποδηλώνουν την εύρυθμη λειτουργία του χωρίς να εμφανίζονται έντονες επιπτώσεις στο περιβάλλον όσον αφορά καθαρά την αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους. Ωστόσο, οι επιφανειακές θερμοκρασίες εδάφους που έχουν προκύψει από τις περιοχές μελέτης, δημιουργούν έναν προβληματισμό. Φαίνεται πως τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες σημειώνει το γυμνό έδαφος υψομέτρου 100m, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες που φτάνει μέχρι και τους 52.6°C. Μια εξήγηση που θα μπορούσε να δοθεί για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο διαφορετικός γεωλογικός σχηματισμός (κώννοι κορημάτων) αυτού του εδάφους σε σχέση με τους ασβεστόλιθους του Χ.Υ.Τ.Α. και τις διαφορετικές ιδιότητες του σε σχέση με το ανθρακικό πέτρωμα όσον αφορά στην απορρόφηση βρόχινου νερού. Ωστόσο επειδή οι υψηλότερες LST του γυμνού εδάφους παρατηρούνται σε όλη τη διάρκεια των δύο υπό εξέταση ετών, το νερό της βροχής δεν αποτελεί τον βασικό παράγοντα που επηρεάζει την LST. Πιθανότατα η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στον Ασπρόπυργο να επηρεάζει περισσότερο τη θερμοκρασία του εδάφους σε σχέση με τη λειτουργία του Χ.Υ.Τ.Α. Στη συνέχεια, υψηλές τιμές LST παρατηρούνται και στις καλλιέργειες στον Ασπρόπυργο και στις καλλιέργειες στα Σπάτα οι οποίες σημειώνουν εξίσου υψηλές θερμοκρασίες με εκείνες του γυμνού εδάφους υψομέτρου 100m. Πρόκειται για δείγματα με παρόμοιο δείκτη NDVI με εκείνο του Χ.Υ.Τ.Α. Και σε αυτήν την περίπτωση είναι πιθανό να έχει επηρεάσει η βιομηχανική δραστηριότητα για αυτό το λόγο ξεετάζονται και οι καλλιέργειες στα Σπάτα αποδεικνύοντας πως δεν αποτελεί μόνο η βιομηχανική δραστηριότητα παράγοντα αύξησης της θερμοκρασίας. Οι αμέσως επόμενες υψηλές LST παρατηρούνται στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α., με μια διαφορά προς τα κάτω, έως και 5°C από τις προηγούμενες τρεις περιοχές οι οποίες αφορούν σε εκτάσεις εκτός Χ.Υ.Τ.Α. Στην ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. καταγράφονται

μικρότερες θερμοκρασίες, με διαφορά προς τα κάτω, περίπου στους 1°C-2°C σε σχέση με την ενεργή περιοχή. Ωστόσο υπάρχουν μήνες στους οποίους η ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. έχει μεγαλύτερη επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους. Το γεγονός αυτό εξηγείται αρχικά από τις διεργασίες που έχουν ξεκινήσει από το 2021 και λαμβάνουν χώρα στη συγκεκριμένη ανενεργή περιοχή και πιθανότατα αυξάνουν την LST. Ωστόσο ένας ακόμη παράγοντας που συνυπολογίζεται για την ερμηνεία της αυξημένης LST τους χειμερινούς μήνες, είναι ότι τα υλικά τα οποία θάβονται στον Χ.Υ.Τ.Α. πιθανότατα να έχουν διαφορετική θερμοχωρητικότητα από το έδαφος, μη συγκρατώντας τα ίδια ποσά θερμότητας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία στο ενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. ειδικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η περιοχή με τη χαμηλότερη θερμοκρασία είναι η πλαγιά της Πετρούπολης, μια περιοχή με διαφορετική κλίση και μεγαλύτερο υψόμετρο από τις υπόλοιπες (γυμνό έδαφος 250m). Η συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζει μικρότερη LST σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α., καθώς η αριθμητική διαφορά που παρατηρείται σε γενικές γραμμές είναι 3°C-4°C προς τα κάτω σε σχέση με την ανενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και 5°C προς τα κάτω σε σχέση με την ενεργή. Σημειώνεται πως η θερμοκρασιακή σχέση που έχουν η ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α., η ανενεργή περιοχή του και η πλαγιά της Πετρούπολης, επιβεβαιώνει παλαιότερες εργασίες σύμφωνα με τις οποίες, ένα έδαφος εκτός Χ.Υ.Τ.Α. σημειώνει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με έναν ανενεργό Χ.Υ.Τ.Α., ο οποίος με τη σειρά του έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες από έναν ενεργό Χ.Υ.Τ.Α. στον οποίο γίνεται ταφή απορριμμάτων και εκλύονται αρκετά θερμά αέρια τα οποία πυροδοτούν και την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η LST στην πλαγιά της Πετρούπολης κρίνεται ως φυσιολογική καθώς είναι μια περιοχή στην οποία δε γίνεται ταφή απορριμμάτων και δε δέχεται την ίδια ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τον Χ.Υ.Τ.Α. δεδομένου της κλίσης του εδάφους. Ακόμη, η αύξηση του υψομέτρου μειώνει την επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους συνεπώς είναι κι αυτός ένας παράγοντας που συνυπολογίζεται για την συγκεκριμένη περιοχή σε συνδυασμό με την ύπαρξη αραιής χαμηλής βλάστησης.

Εστιάζοντας μόνο στις θερμοκρασίες του Χ.Υ.Τ.Α, παρατηρείται πως κυμαίνονται από 9.12°C έως 47.55°C για την ενεργή περιοχή και από 10.47°C έως 46.89°C για την ανενεργή περιοχή. Η LST που έχει μετρηθεί στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. δε διαφέρει αρκετά από τις LST που υπάρχουν στη βιβλιογραφία (Nazari et al. 2020, Shaker Ahmed & Yan Wai Yeung, 2010) συνεπώς η διακύμανση των τιμών φαίνεται φυσιολογική. Σκοπός της εργασίας είναι η παρακολούθηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων, για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εξετασθεί ποιες θερμοκρασίες

θεωρούνται επικίνδυνες σε έναν χώρο υγειονομικής ταφής. Το θέμα γύρω από έναν ζεστό Χ.Υ.Τ.Α. αποτελεί μια πρόκληση στον κλάδο της διαχείρισης αποβλήτων ειδικά τα τελευταία χρόνια, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας του απαιτεί την άμεση ανταπόκριση ειδικών ώστε να επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε έναν Χ.Υ.Τ.Α θεωρείται υψηλή όταν ξεπερνάει τους 60°C. Ωστόσο υπάρχουν και περιοχές όπου ανάλογα τα χαρακτηριστικά τους τα θερμοκρασιακά όρια αλλάζουν. Μια από τις επιπτώσεις των θερμών Χ.Υ.Τ.Α. είναι το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας το οποίο χρησιμοποιείται σε τέτοιους χώρους ως υλικό επένδυσης και χάνει την ισχύ του σε θερμοκρασίες άνω των 60°C. Ακόμη, η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση των θερμών αερίων που εκπέμπονται από τα Χ.Υ.Τ.Α. λόγω της βιοαποικοδόμησης, με αποτέλεσμα οι εργαζόμενοι να δυσκολεύονται πολύ στη διαχείρισή του. Τέτοιες συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν και σε μεγαλύτερη εισροή νερού βροχής εντός του Χ.Υ.Τ.Α., λόγω καθίζησης, με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο όγκος των στραγγισμάτων κάνοντάς τον μη διαχειρίσιμο. Συνεπώς η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους σε τέτοιους χώρους είναι πολύ σημαντικό να παρακολουθείται καθότι επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η ποιότητα ζωής των κατοίκων των περιοχών που βρίσκονται κοντά στον Χ.Υ.Τ.Α καθώς και η λειτουργία του. Σημειώνεται πως η αύξηση της θερμοκρασίας δεν είναι απαραίτητο πως θα οδηγήσει σε μια υπόγεια πυρκαγιά εντός του Χ.Υ.Τ.Α., χωρίς αυτό ωστόσο να σημαίνει πως δεν είναι απαραίτητο να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης για την αύξηση της LST στους Χ.Υ.Τ.Α.

Συμπερασματικά, ο εξεταζόμενος Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων, δε σημειώνει έντονη αύξηση επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους, η οποία αξιολογείται ότι βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα (μέγιστη θερμοκρασία περίπου 48°C). Η αύξηση της LST οφείλεται κατά κύριο λόγο στην έντονη βιοαποικοδόμηση των απορριμμάτων η οποία οδηγεί στη διαφυγή αερίων εντός του Χ.Υ.Τ.Α., καθώς και στην καθίζηση του και αύξηση του όγκου των στραγγισμάτων. Προς συμπλήρωση των συμπερασμάτων που εξάγονται με βάση τα δορυφορικά δεδομένα, μελετάται και η Ετήσια Έκθεση Αποτελεσμάτων Προγράμματος Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης «Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ) Δυτικής Αττικής» η οποία εκδόθηκε τον Μάρτιο του 2022 και αφορά στο έτος 2021. Τα αποτελέσματα της έκθεσης που αξιοποιούνται στην παρούσα εργασία αφορούν στην ενεργή περιοχή του Χ.Υ.Τ.Α. και συγκεκριμένα στις διαφυγές βιοαερίου οι οποίες οδηγούν στην αύξηση της LST καθώς και στις καθιζήσεις οι οποίες αποτελούν επίσης ένα αποτέλεσμα της βιοαποικοδόμησης. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, «το βιοαέριο που παράγεται στον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων αντλείται μέσω

δικτύου κάθετων και οριζόντιων αγωγών και οδηγείται σε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Για τον έλεγχο των ενδεχόμενων διαφυγών βιοαερίου γίνονται μετρήσεις στις 33 γεωτρήσεις ελέγχου διαφυγών βιοαερίου και προκύπτει πως οι ποσότητες διαφυγών βιοαερίου που εντοπίζονται, παρουσιάζουν πτωτική τάση κατά την περίοδο αναφοράς του έτους. Τα φρεάτια ελέγχου διαφυγών βιοαερίου, είναι ταπωμένα, αποτρέποντας οποιαδήποτε ποσότητα βιοαερίου να εκλυθεί στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύεται και από το ότι στις γεωτρήσεις ελέγχου που διαπιστώθηκαν ποσότητες βιοαερίου με ανοιχτά τα ακροφύσια, οι τιμές με κλειστές τις βάνες στον περιβάλλοντα χώρο είναι μηδενικές. Επιπλέον, όπως γίνεται αντιληπτό και από τις μετρήσεις πίεσης, οι ταχύτητες που σημειώθηκαν προσεγγίζουν το μηδέν, ενισχύοντας το συμπέρασμα της μη ύπαρξης διαφυγής». Όσον αφορά την καθίζηση, οι μετρήσεις της πραγματοποιούνται με την χρήση μαρτύρων καθίζησης οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε όλον τον χώρο και πραγματοποιούνται επαναληπτικές μετρήσεις με τη συχνότητα παρακολούθησης να είναι τριμηνιαία. Προκύπτουν χαμηλές τιμές καθίζησης στο ενεργό τμήμα του Χ.Υ.Τ.Α. Με βάση όλα τα παραπάνω, εφόσον δεν παρατηρούνται υψηλές τιμές LST, σημαίνει πως η λειτουργία του Χ.Υ.Τ.Α. δεν πυροδοτεί την έντονη αύξηση της LST καθότι δεν υπάρχουν έντονες διαφυγές βιοαερίου που να επηρεάζουν τη θερμοκρασία εδάφους. Η επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στον Χ.Υ.Τ.Α. θεωρείται φυσιολογική αλλά η παρακολούθησή της κρίνεται απαραίτητη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andrés-Anaya, P., Sánchez-Aparicio, M., del Pozo, S., & Lagüela, S. (2021). Correlation of Land Surface Temperature with IR Albedo for the Analysis of Urban Heat Island. *Engineering Proceedings*, 8(1), 9.
2. Aubouin, J. (1959) : Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale -Les confins de l'Épire et de la Thessalie. *Ann.Geol.Pays Hellen* 10, p.1-483
3. Brimicombe, A.J., 2003. A Variable Resolution Approach to Cluster Discovery in Spatial Data Mining. Chapter in *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2003*, 2669, 1–11. International Conference Montreal, Canada, May 18–21, 2003 Proceedings, Part III.
4. BRUNN J.H. (1956). – Etude géologique du Pinde septentrional de la Macédoine occidentale. – *Ann. Géol. Pays hellén.*, 7, 1-358.
5. Brunn, J. H. (1960). Les zones helléniques internes et leur extension ; reflexions sur l'orogenese alpine [with discussion]. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7(4), 470-486.
6. CELET, P. & FERRIERE, J., 1978, Les Hellénides internes : Le Pélagonien, *Eclogae Geol. Helv.*, 71/3, 467-495.
7. Chalkias, C. and Lasaridi, K., 2009. A GIS Based Model for the Optimisation of Municipal Solid Waste Collection: The Case Study of Nikea, Athens, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5(10): 640–650.
8. Chang, N.B., Lu, H.Y. and Wei, Y.L., 1997. GIS Technology for Vehicle Routing and Scheduling in Solid Waste Collection Systems. *Journal of Environmental Engineering*, 123(9): 901–910.
9. Coakley, J. A. (2003). Reflectance and albedo, surface. *Encyclopedia of the Atmosphere*, 1, 1914-23.
10. Coops, N.C., Wulder, M.A., Iwanicka, D., 2009. Large area monitoring with a MODISbased disturbance index (DI) sensitive to annual seasonal variations. *Remote Sens. Environ.* 113, 1250–1261. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.015>.
11. Evelpidou, N., & Antoniou, V. (2015). *Geographic Information Systems* [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions, σ. 11,14,15,16,17,21,23,24,25,27,28
12. Faisal, K. S. (2011). Environmental monitoring of landfill sites using multi-temporal remote sensing images. *Ryerson University*, 1-78.

13. Faisal, K., AlAhmad, M., & Shaker, A. (2012). Remote sensing techniques as a tool for environmental monitoring. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(B8), 513-518.
14. Ghose, M.K., Dikshit, A.K. and Sharma, S.K., 2006. A GIS Based Transportation Model for Solid Waste Disposal – A Case Study on Asansol Municipality. *Waste Management*, 26, 1287–1293. doi: [10.1016/j.wasman.2005.09.022](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.022).
15. Harris, R. (1987). *Satellite remote sensing. An introduction*.
16. Hulley, G. C., Ghent, D., Götsche, F. M., Guillevic, P. C., Mildrexler, D. J., & Coll, C. (2019). Land surface temperature. In *Taking the Temperature of the Earth* (pp. 57-127). Elsevier.
17. Iacoboaia, C., & Petrescu, F. (2013). Landfill monitoring using remote sensing: a case study of Glina, Romania. *Waste Management & Research*, 31(10), 1075-1080.
18. Jacobshagen, V., Risch, H., & Roeder, D. (1976). Die eohellenische phase, definition und interpretation. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 133-145.
19. Jin, M., Dickinson, R.E., 2010. Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations. *Environ. Res. Lett.* 5, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>.
20. Joshi, R., & Pant, D. (2018). Landfill biodegradation process and leachate. In *Waste Bioremediation* (pp. 233-247). Springer, Singapore.
21. Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 87-94.
22. King, M. D. (1999). EOS science plan: the state of science in the EOS program.
23. Kober, L. 1929. Beitrage zur Geologie von Attika. *Sitzungsb. Acad. Wiss. In Wien. Abt. I* 138B, 8 Heft.
24. Ktenas, C. 1907. Sur l'age des terrains calcaires des environs d' Athenes. *Com.Rend. Ac. Sc. Paris*, 144, 697-699.
25. Lambin, E.F., Ehrlich, D., 1995. Combining vegetation indices and surface temperature for land-cover mapping at broad spatial scales. *Int. J. Remote Sens.* 16, 573–579. <https://doi.org/10.1080/01431169508954423>.
26. Lekkas, E. (2001). The Athens earthquake (7 September 1999): intensity distribution and controlling factors. *Engineering Geology*, 59(3-4), 297-311.
27. Lepsius, R., 1893. Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre von Metamorphismus der Gesteine, Berlin *Zeitschr. f. partkt. Geol.*, 4, 196 S.592 p

28. Li, Y., Zhao, M., Motesharrei, S., Mu, Q., Kalnay, E., Li, S., 2015. Local cooling and warming effects of forests based on satellite observations. *Nat. Commun.* 6, 6603. <https://doi.org/10.1038/ncomms7603>.
29. Liu, J., Liu, S., Tang, X., Ding, Z., Ma, M., & Yu, P. (2022). The Response of Land Surface Temperature Changes to the Vegetation Dynamics in the Yangtze River Basin. *Remote Sensing*, 14(20), 5093.
30. Marinos, G. & Petracheck, W. 1956. Laurium. I.G.M.E. Geol. Geoph. Res., V/1, 247pp.
31. MARIOLAKOS, I., & FOUNTOULIS, I. (2002). University of Athens, Faculty of Geology, Department of Dynamic Tectonic Applied Geology, Greece. *Integration of Earth Science Research on the Turkish and Greek 1999 Earthquakes*, 9, 113.
32. Mildrexler, D.J., Zhao, M., Heinsch, F.A., Running, S.W., 2007. A new satellite-based methodology for continental scale disturbance detection. *Ecol. Appl.* 17, 235–250. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2007\)017\[0235:ANSMFC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2007)017[0235:ANSMFC]2.0.CO;2).
33. Mildrexler, D.J., Zhao, M., Running, S.W., 2009. Testing a MODIS Global Disturbance Index across North America. *Remote Sens. Environ.* 113, 2103–2117. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.05.016>.
34. Monod, O. L. I. V. I. E. R. (1976). La " courbure d'Isparta"; une mosaïque de blocs autochtones surmontés de nappes composites à la jonction de l'arc hellénique et de l'arc taurique. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7(2), 521-531.
35. Mountrakis, D. (1984): Structural evolution of the Pelagonian zone in Northwestern Macedonia. Greece - *Spec. Publis. Geol. Soc. Lond.* 17., p. 581-590
36. Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliadis, A., Eleftheriadis, G., & Christofides, G. (1983). Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(11), 1673-1681.
37. Nazari, R., Alfergani, H., Haas, F., Karimi, M. E., Fahad, M. G. R., Sabrin, S., ... & Peters, R. W. (2020). Application of satellite remote sensing in monitoring elevated internal temperatures of landfills. *Applied Sciences*, 10(19), 6801.
38. Negris, Ph., 1915-1919. Rôches crystallophyliennes et tectonique de la Grèce. Ref. Pia: N. Jah. F. Min. Geol. Pal. Beil., I, 100p
39. Nemani, R.R., Pierce, L.L., Running, S.W., 1993. Developing satellite derived estimates of surface moisture status. *J. Appl. Meteorol.* 32, 548–557. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1993\)0322.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1993)0322.0.CO;2).

40. Nemani, R.R., Running, S.W., 1997. Land cover characterization using multitemporal red, near-IR, and thermal-IR data from NOAA/AVHRR. *Ecol. Appl.* 7, 79–90. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0079:LCCUMR\] 2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0079:LCCUMR] 2.0.CO;2).
41. Nemani, R.R., Running, S.W., Pielke, R.A., Chase, T.N., 1996. Global vegetation cover changes from coarse resolution satellite data. *J. Geophys. Res.* 101, 7157–7162. <https://doi.org/10.1029/95JD02138>.
42. Ozsvart, P., Dosztaly, L., Migiros, G., Tselepidis, V., Kovacs, S. (2011): New radiolarian biostratigraphic age constrains on Middle Triassic basalts and radiolarites from inner Hellenides (Northern Pindos and Othrys Mountain, Northern Greece) and their implications for the geodynamic evolution of the early Mesozoic Neotethys - *International Journal of Earth sciences*. DOI: 10.1007/s00531-010-0628-9
43. Pánek, V. (2022). Determination of semi-aerobic landfill suitability in tropical developing countries using land surface temperature: A case study of an unmanaged open dump in transition in Yangon City region, Myanmar.
44. Papanikolaou, D., 1986. Late Cretaceous Paleogeography of the Metamorphic Hellenides. *Geol. Geoph. Res., IGME. Hors serie volume in honor of Prof Papastamatiou*, 315-328.
45. Perakis, K., Moysiadis, A., & Faraslis, I. (2015). *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες* [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions, σ. 20,21,23,24,51,52,59,65
46. Renz C. 1940. Die Tektonik der griechischen Gebirge. *Πραγμ. Ακαδ. Αθηνών*, 8, 171σ.
47. Renz, C. (1955): Die Vorneogene Stratigraphie der normal sedimentaren Formationen Griechenlands - *Inst. Geol. and Subsurf. Res., Athens*
48. S. Petushok & Π. Τζεφέρης: Τα σιδηρονικελιούχα στο Αιγάλεω και γενικότερα την Περιφέρεια Αττικής
49. Sabrin, S., Nazari, R., Fahad, M. G. R., Karimi, M., Everett, J. W., & Peters, R. W. (2020). Investigating effects of landfill soil gases on landfill elevated subsurface temperature. *Applied Sciences*, 10(18), 6401.
50. SEOS, 2011. Introduction to Remote Sensing.
51. Shaker, A., & Yan, W. Y. (2010, June). Trail road landfill site monitoring using multitemporal Landsat satellite data. In *Canadian Geomatics Conference 2010 and ISPRS COM I Symposium*.
52. Sindowski, K. 1949. Der geologische Bau von Attika. *Ann Geol. Pays Hell.*, 2, 163-218.

53. Sindowski, K. 1951. Zur Geologie des Lykabettus-Tourkovounia Gebietes bei Athen mit einem Beitrag über fröhdiluviale Wirbielterfunde aus Spalten. *Ann Geol. Pays Hell.*, 3, 11-21.
54. Suess, Edward (1885-1909). *Das Antlitz der Erde (The Face of the Earth)*.
55. Vijay, Ritesh, Gautam, Ajay, Kalamdhad, Ajay, Gupta, Apurba and Devotta, Sukumar, 2008. GIS-Based Locational Analysis of Collection Bins in Municipal Solid Waste Management Systems. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7, 39-43. doi:10.1139/s07-033.
56. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., Li, Z.-L., 2004. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *Int. J. Remote Sens.* 25 (1), 261-274. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417> (Online).
57. Yan, W. Y., Mahendrarajah, P., Shaker, A., Faisal, K., Luong, R., & Al-Ahmad, M. (2014). Analysis of multi-temporal landsat satellite images for monitoring land surface temperature of municipal solid waste disposal sites. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 8161-8173.
58. Βαϊόπουλος Δ.Α., Βασιλόπουλος Α.Π. & Ευελπίδου Ν.Η. (2002). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών από τη θεωρία στην πράξη. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 463σ.
59. Βέργος Γ, Κατσουγιαννόπουλος Σ., Σεπτέμβριος (2004).“ Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικού Προσδιορισμού”, σ. 91
60. Κάβουρας Μ. (2021). Σημειώσεις Μαθήματος «Θεωρία Γεωπληροφορικής», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωπληροφορική», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, ΕΜΠ
61. Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., & Τομαή, Ε. (2016). *Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Αρχές και Τεχνολογίες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, σ. 14,15,21,23,70,71,72,79,82
62. ΚΑΛΤΣΟΥΝΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ. Πρακτικά Φυσικής της Ατμόσφαιρας (Εργαστήρια), Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
63. ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΕΤΤΟΣ, Α., ΒΙΔΑΛΗΣ, Μ., ΔΟΥΝΑΣ, Α. 1986. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ ΕΛΕΥΣΙΣ, ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000. ΑΘΗΝΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Α.Γ.Μ.Ε
64. Κίλιας, Α. Α., & Μουντράκης, Δ. Μ. (1989). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής: τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός= The Pelagonian nappe: tectonics,

- metamorphism and magmatism. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 23(1), 29-46.
65. Κούτσιας, Ν., 2018. *Τηλεπισκόπηση*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Αγρίνιο
66. Κουτσόπουλος Κ, Ευελπίδου Ν. & Βασιλόπουλος Α., (2006). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Χρήση του MapInfo Professional, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 273σ.
67. Λάμπρου Ευαγγελία, Πανταζής Γιώργος, εκπαιδευτικό υλικό στα πλαίσια του μαθήματος «Ειδικά θέματα Γεωδαισίας», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, ΕΜΠ
68. Λέκκας, Λ., Ευθύμιος, 1998, Γεωλογία και Περιβάλλον, Γ' Έκδοση, Αθήνα, πηγή ηλεκτρονικού βιβλίου: <http://labtect.geol.uoa.gr>, σελ. 135-139
69. Λόζιος, Σ., 1993. Τεκτονική ανάλυση μεταμορφωμένων σχηματισμών ΒΑ Αττικής. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθήνας
70. Μανιάτης Γ. (1996). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης – Κτηματολογίου. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 304σ.
71. Μαρίνος, Γ. 1937 Η τεκτονική θέσις του συστήματος των σχιστολίθων των Αθηνών εις την δυτικήν ζώνην αυτού. Πρακτ. Ακαδ. Αθ., 12, 16-21.
72. Μαρίνος, Γ., Κατσικάτσος, Γ., Γεωργιάδου-Δικαιούλια, Ε. & Μίρκου Ρ., 1971. Το σύστημα των Σχιστολίθων Αθηνών. Ι. Στρωματογραφία και τεκτονική, *Ann. Geol. Pays Hell*, XXIII, 183-26.
73. Μαρίνος, Γ., Κατσικάτσος, Γ., Μίρκου-Περιποπούλου, Ρ., 1974. Το σύστημα των σχιστολίθων των Αθηνών ΙΙ. Στρωματογραφία και τεκτονική. *Ann. Geol. Pays Hell*, XXV, 439-444.
74. Μουντράκης, Δ. (2010): Γεωλογία της Ελλάδας, University studio press
75. ΝΟΜΟΣ 4819/2021 (ΦΕΚ 129/Α` 23.7.2021)
76. Παπανικολάου Δ. και συνεργάτες (πάνω από 10 ονόματα) 2002. Γεωλογική – Γεωτεχνική μελέτη Λεκανοπεδίου Αθηνών. Εφαρμοσμένη Ερευνητικό πρόγραμμα. 152 σελ. Αθήνα.
77. Παπανικολάου, Δ. Ι., Λόζιος, Σ. Γ., Σούκης, Κ., & Σκούρτσος, Ε. (2004). Η γεωλογική δομή του αλλοχθόνου συστήματος των "Σχιστολίθων Αθηνών". *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 36(4), 1550-1559.
78. Παπανικολάου, Δ., 1986. Γεωλογία Ελλάδα. Αθήνα.

79. Παπανικολάου, Δ., 1986. Η ενδιάμεση τεκτονομεταμορφική ζώνη των Ελληνίδων, *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, 20, 101-120.
80. Παπανικολάου, Δ., 2015, Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις Πατάκη
81. Ποϊραζίδης, Κ., Βούλγαρης Μ. Δ., Κεφαλάς Γ., Λορίλια Ρ. Σ. (2013). Βασικές Αρχές Τηλεπισκόπησης , Εργαστήριο Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Οικολογίας, Τμήμα Τεχνολογίας Περιβάλλοντος και Οικολογίας, ΑΤΕΙ Ιονίων Νήσων
82. Σκοπελίτη, Α. (2021). Σημειώσεις Μαθήματος «Συλλογή Χωρικών Δεδομένων και Εντοπισμός», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωπληροφορική», Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, ΕΜΠ
83. Σκούρτσος, Ε. (2015) Σημειώσεις Μαθήματος «Γεωλογική Χαρτογράφηση», Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΕΚΠΑ
84. Σκούρτσος, Ε. (2017) Σημειώσεις Μαθήματος «Γεωλογία Ελλάδας», Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, ΕΚΠΑ
85. Τάταρης, Α. 1967. Παρατηρήσεις επί της δομής της περιοχής Σκαραμαγκά - όρους Αιγάλεω - Πειραιώς - Αθηνών (Αττική). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, VII/1, 52-88.
86. Χαλκιάς, Χ. (2006). Όροι και έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 157σ.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. NASA, 2015. What are passive and active sensors? Διαθέσιμο στο:
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html [Πρόσβαση 10/11/2022]
2. NASA, 2022. LANDSAT 3 Multispectral Scanner System Διαθέσιμο στο:
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-3/> [Πρόσβαση 14/11/2022]
3. USGS, 2022. Landsat Satellite Missions. Διαθέσιμο στο:
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions> [Πρόσβαση 14/11/2022]
4. ESA, 2022. Sentinel Overview. Διαθέσιμο στο:
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions> [Πρόσβαση 14/11/2022]
5. ESA, 2015. Satellite orbits. Διαθέσιμο στο:
[https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace GR/SEMAPY4PVFG_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMAPY4PVFG_0.html) [Πρόσβαση 14/11/2022]
6. Για το πρόγραμμα Copernicus. Διαθέσιμο στο:
<https://www.copernicus.eu/el/liga-logia-gia-copernicus> [Πρόσβαση 15/11/2022]

7. Για τις γεωτεκτονικές ενότητες της Ελλάδας. Διαθέσιμο στο:
<https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas> [Πρόσβαση 15/11/2022]
8. Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας, 2022. Διαχείριση Αποβλήτων Απορριμμάτων. Διαθέσιμο στο: <http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8.html> [Πρόσβαση 18/11/2022]
9. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2022. Διαθέσιμο στο:
<https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2014/arthra/apoblita-problima-i-poros> [Πρόσβαση 22/11/2022]
10. ΥΠΕΝ, Νομικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων στην Ελλάδα. Διαθέσιμο στο:
<https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovliton/sterea-apovlita/nomothesia/> [Πρόσβαση 23/11/2022]
11. Για τα όργανα του Sentinel 3. Διαθέσιμο στο:
<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/olci/>
[Πρόσβαση 28/11/2022]
12. ΕΔΣΝΑ, 2021. Πληροφορίες για τον Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής. Διαθέσιμο στο:
<https://www.edсна.gr/chyta-fylis-2/> [Πρόσβαση 28/11/2022]
13. Για τα δορυφορικά δεδομένα Sentinel ΕΟ Browser. Διαθέσιμο στο:
<https://apps.sentinel-hub.com/> [Πρόσβαση 28/11/2022]
14. Μετεωρολογικά Δεδομένα ΜΕΤΕΟ. Διαθέσιμο στο:
<https://penteli.meteo.gr/stations/anoliosia/> [Πρόσβαση 16/12/2022]
15. Βαλαβανίδης Θανάσης, Αναπληρωτής Καθηγητής & Ευσταθίου Κωνσταντίνος, «Μεθάνιο – Η Χημική Ένωση του Μήνα», Τμήμα Χημείας. Διαθέσιμο στο:
http://195.134.76.37/chemicals/chem_CH4.htm [Πρόσβαση 18/12/2022]
16. Για τα αέρια της υγειονομικής ταφής, Ενιαίος Σύνδεσμος Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Δήμων και Κοινοτήτων Λάρισας. Διαθέσιμο στο:
<https://www.fodsalar.gr/> [Πρόσβαση 28/12/2022]
17. Για την αποκατάσταση των Χ.Υ.Τ.Α. Ι & ΙΙ των Άνω Λιοσίων. Διαθέσιμο στο:
<https://www.tanea.gr/2021/06/12/greece/prasino-fos-apo-to-ypen-gia-tin-epektasi-tou-xyta-fylis/> [Πρόσβαση 13/02/2023]
18. Για τη χωροθέτηση του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής – Άνω Λιοσίων. Διαθέσιμο στο:
<http://ergasianet.gr/2020/07/01/%CF%87%CF%85%CF%84%CE%B1-%CF%86%CF%85%CE%BB%CE%AE%CF%82-%CF%84%CE%B1-%CF%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%81%CF%81%CE%BF%CE%AE->

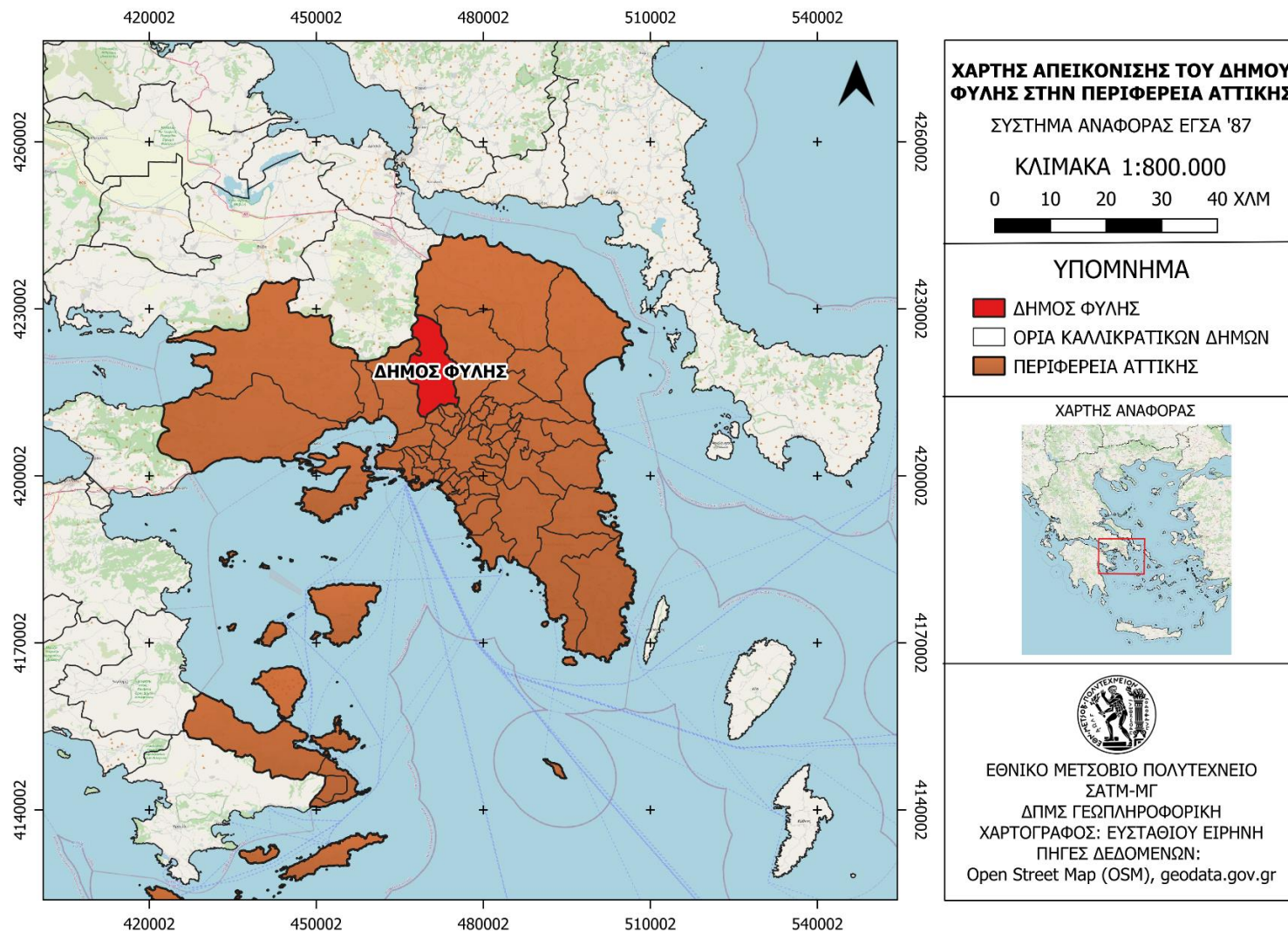
[%CF%88%CE%B5%CF%8D%CE%B4%CE%B7-](#)

[%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%80/](#) [Πρόσβαση 13/02/2023]

19. Για τη θερμοκρασία στα Χ.Υ.Τ.Α. Διαθέσιμο στο:
<https://www.tetrattech.com/en/blog/when-temperatures-rise-the-challenges-of-hot-landfills> [Πρόσβαση 13/02/2023]
20. Για την ιστορία του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής-Άνω Λιοσίων. Διαθέσιμο στο:
<https://www.ot.gr/2021/06/12/green/prasino-fos-apo-to-ypen-gia-tin-epektasi-tou-xyta-fylis/> [Πρόσβαση 14/02/2023]
21. Για τις εγκαταστάσεις διαχείρισης απορριμμάτων στον Χ.Υ.Τ.Α. Διαθέσιμο στο:
<https://www.myota.gr/2021/01/25/%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%8E%CF%80%CE%BF%CF%85-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD/> [Πρόσβαση 14/02/2023]

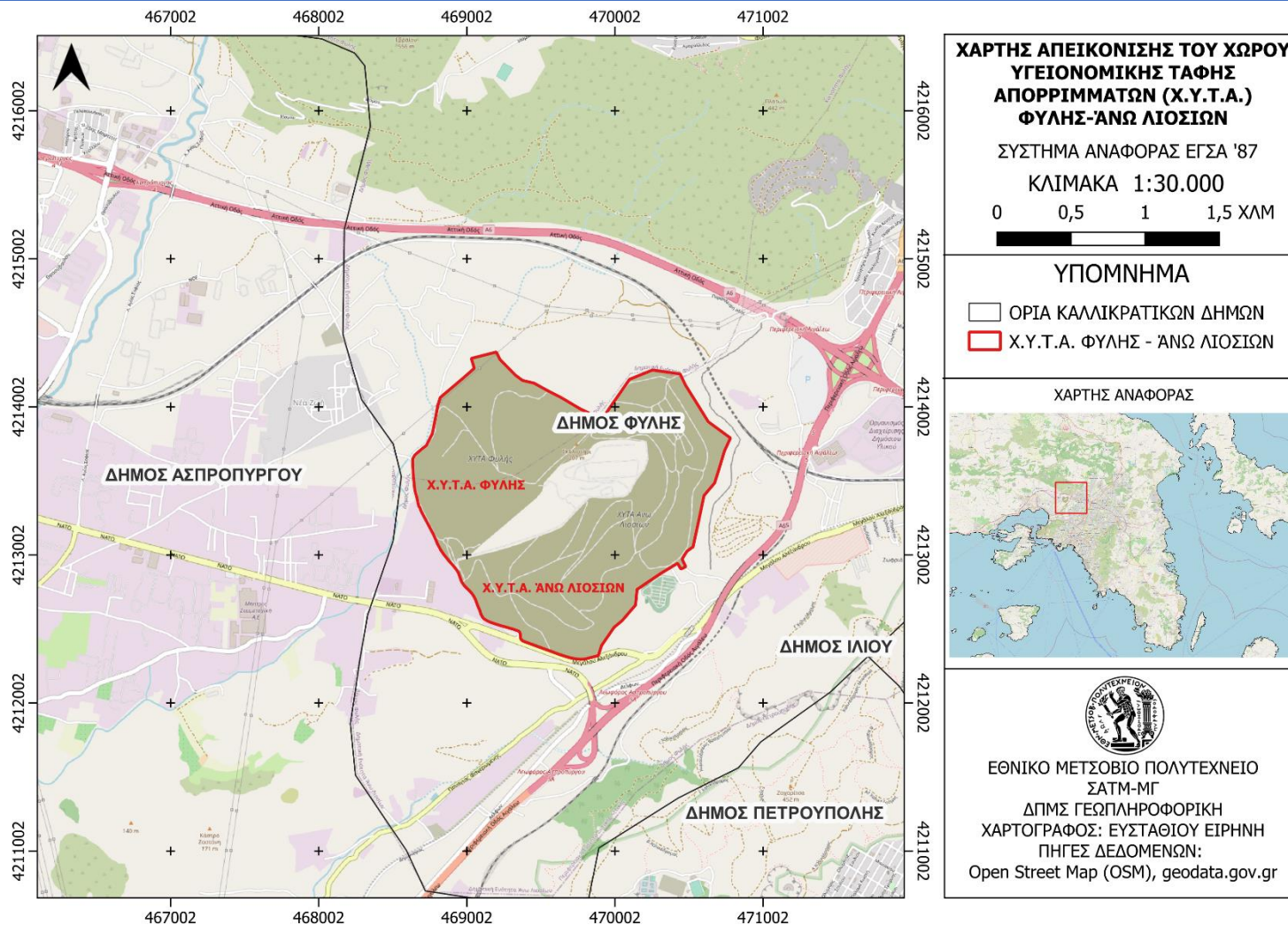
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.)
Φυλής - Άνω Λιοσίων



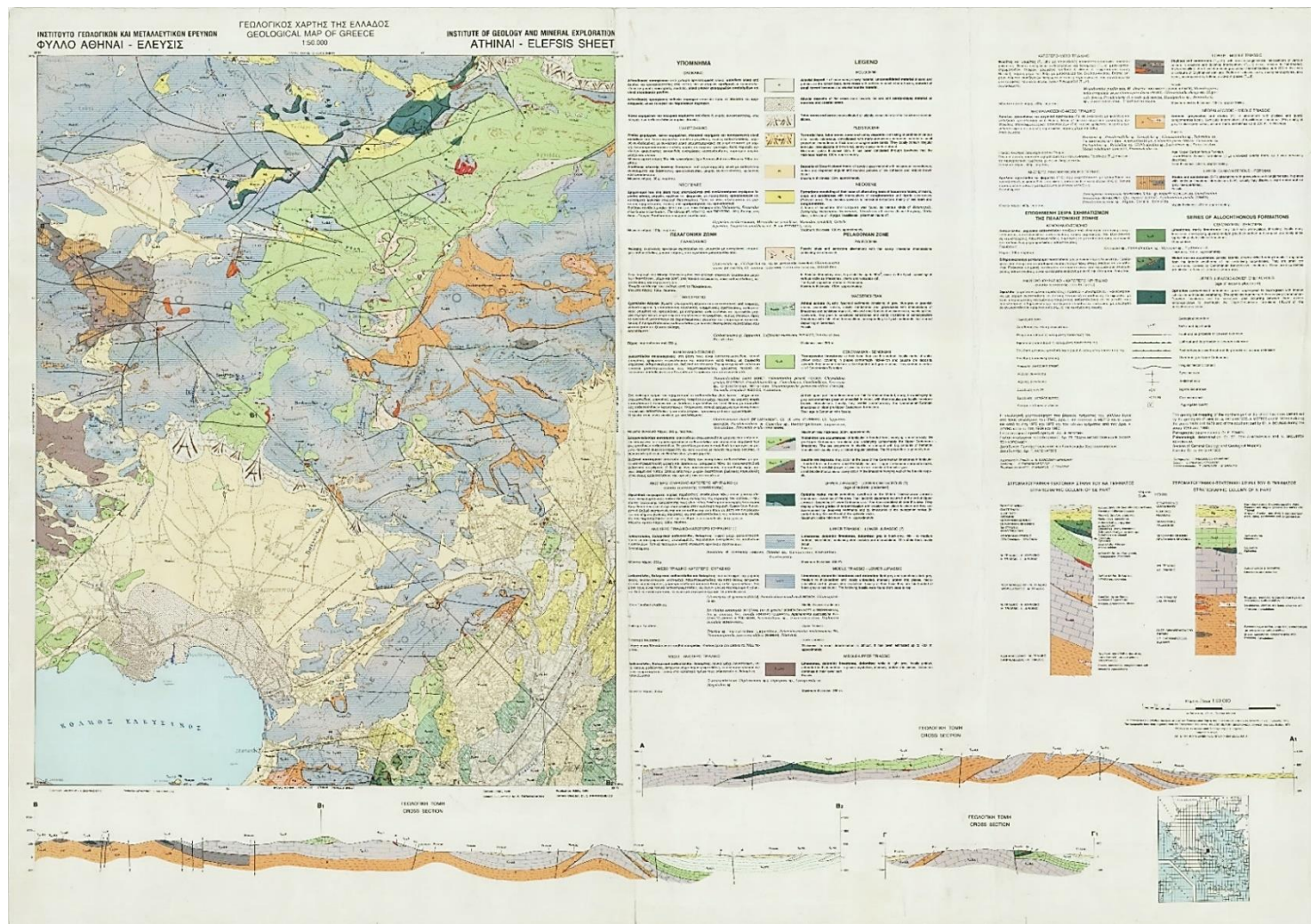
Χάρτης 1. Χάρτης Απεικόνισης του Δήμου Φυλής στην Περιφέρεια Αττικής (Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



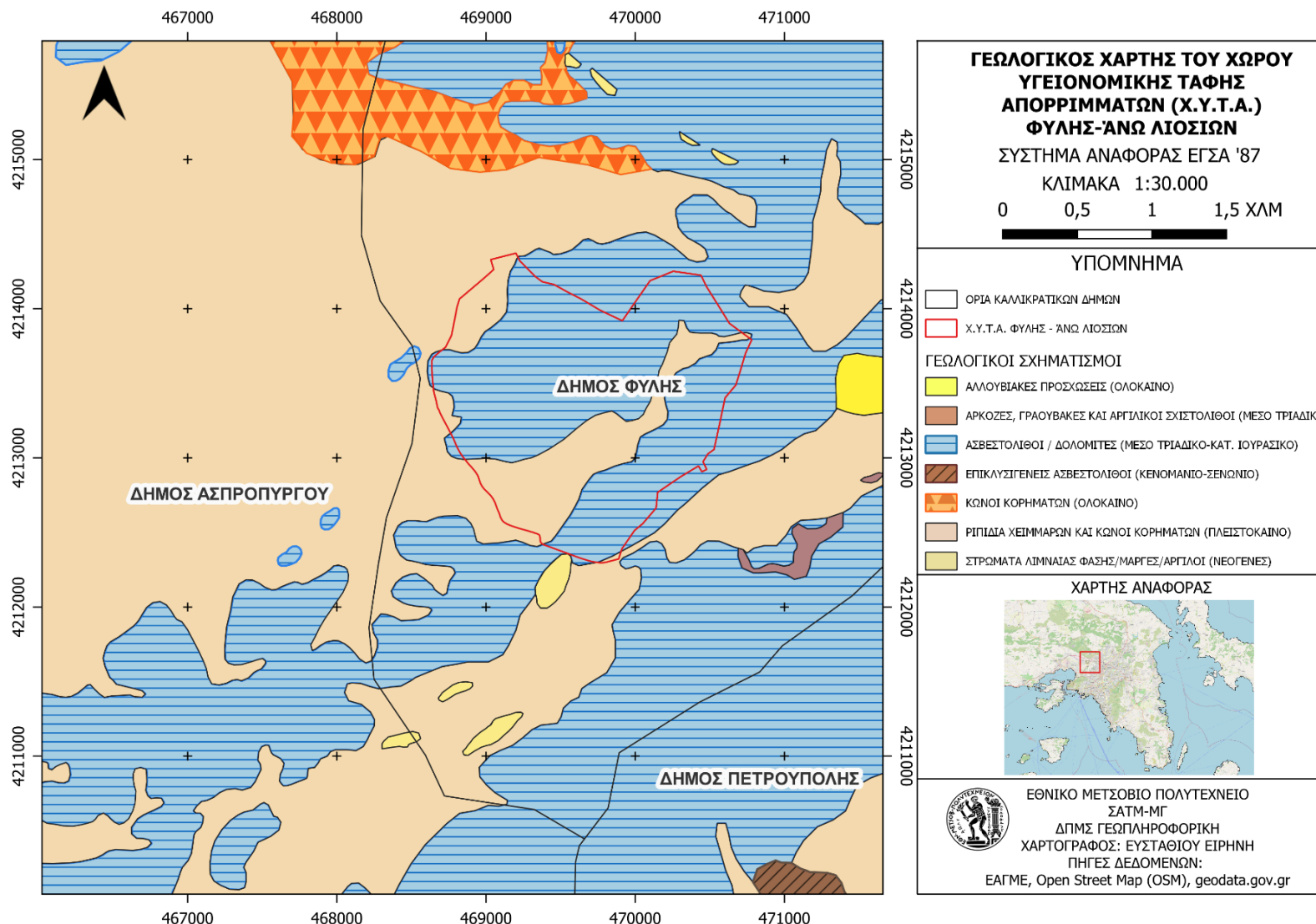
Χάρτης 2. Χάρτης Απεικόνισης του Χ.Υ.Τ.Α. Φυλής - Άνω Λιοσίων στον Δήμο Φυλής (Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α) Φυλής - Άνω Λιοσίων



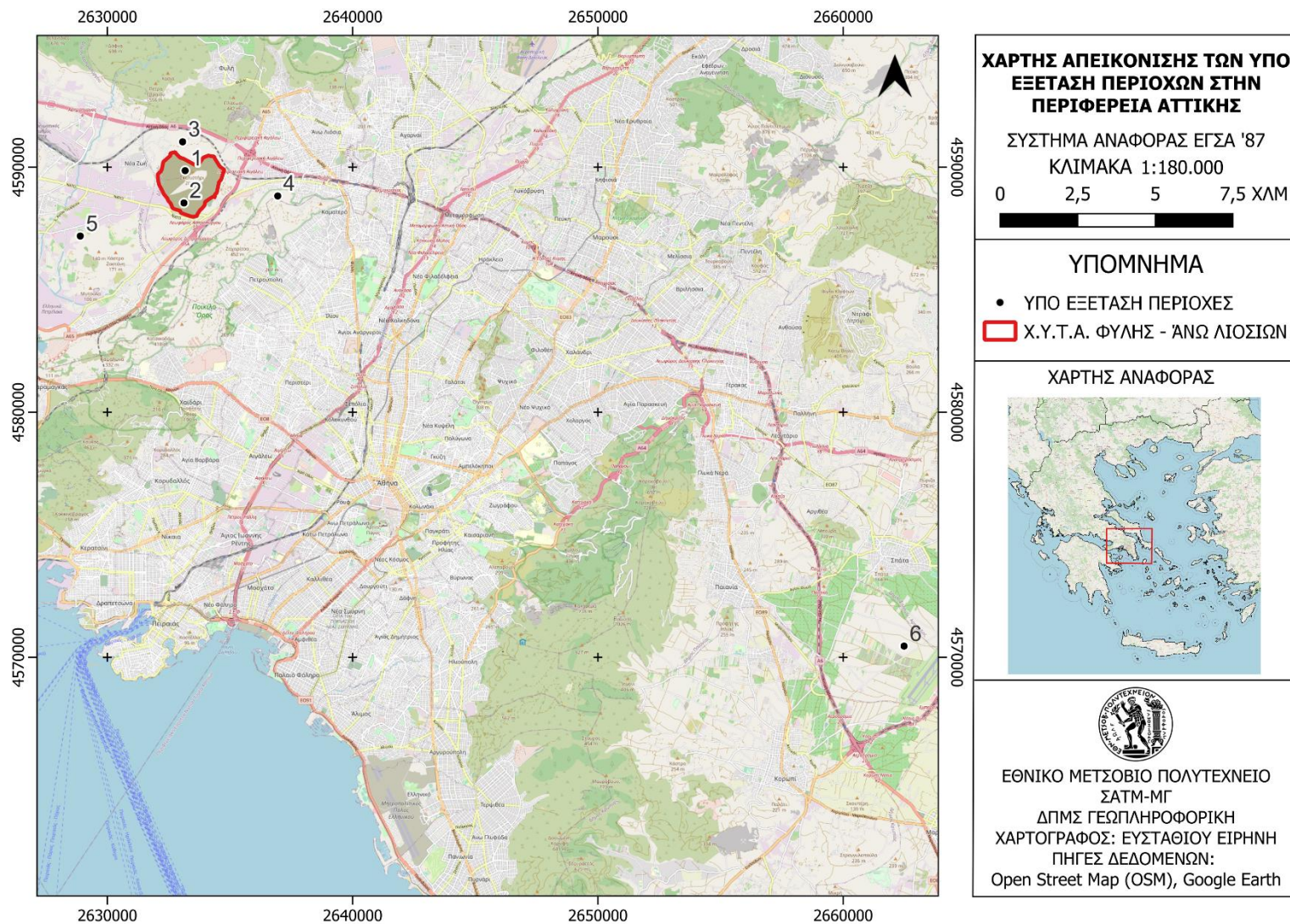
Χάρτης 3. Γεωλογικός Χάρτης Ελευσίνας (ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΜΕΤΤΟΣ, Α., ΒΙΔΑΛΗΣ, Μ., ΔΟΥΝΑΣ, Α. 1986. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΦΥΛΛΟ ΑΘΗΝΑΙ ΕΛΕΥΣΙΣ, ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1/50.000. ΑΘΗΝΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Α.Γ.Μ.Ε)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



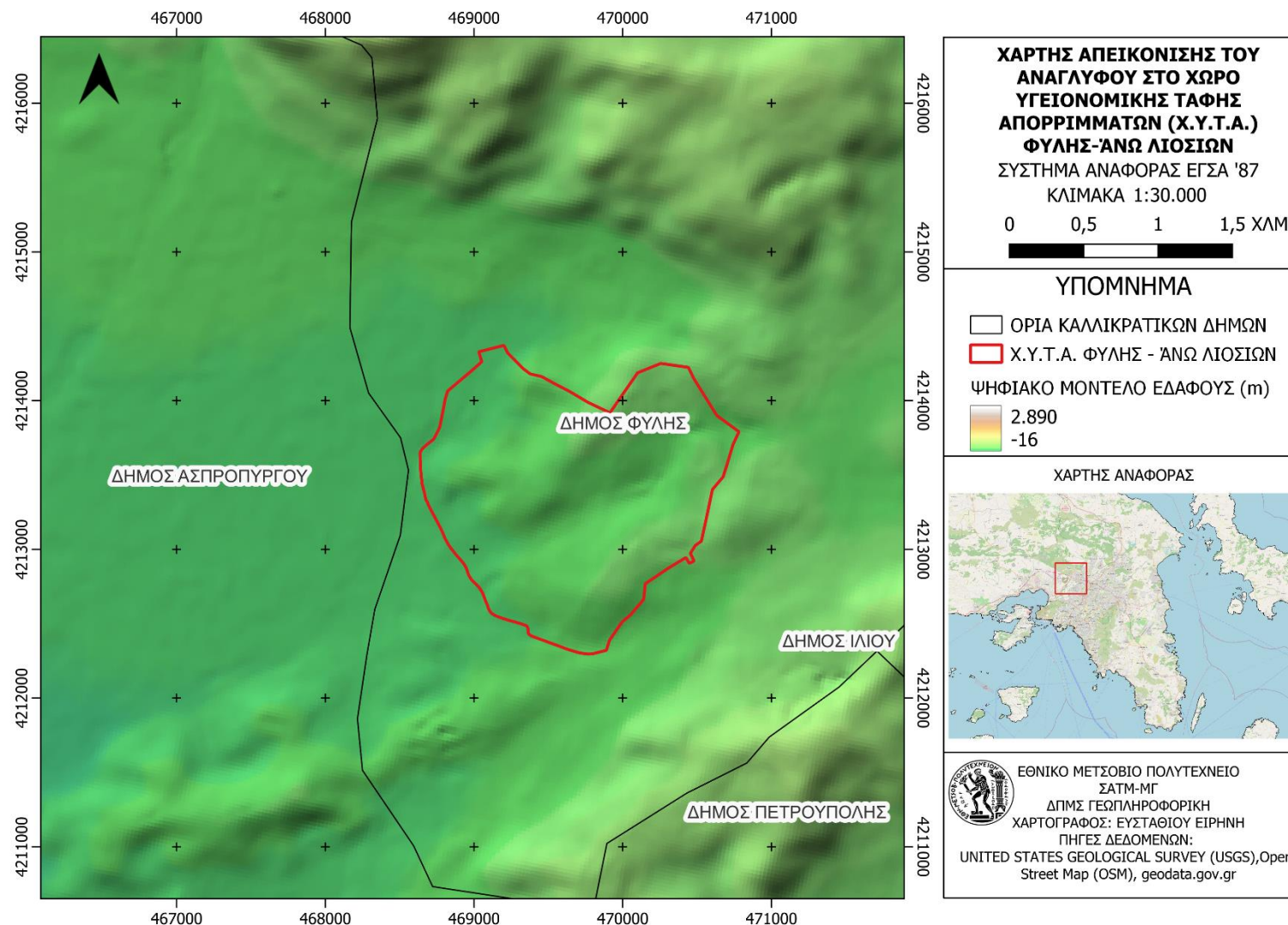
Χάρτης 4. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. (Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



Χάρτης 5. Χάρτης Απεικόνισης των υπό εξέταση περιοχών (Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)

Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι για την παρακολούθηση της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους στο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) Φυλής - Άνω Λιοσίων



Χάρτης 6. Χάρτης Ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής του Χ.Υ.Τ.Α. (Περιβάλλον εργασίας QGIS 3.24.0-Χαρτογράφος Ευσταθίου Ειρήνη)