

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΝΥΧΤΕΡΙΝΗ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ
ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL 3

ANNA ΔΟΣΙΟΥ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

AM: 222305

ΑΘΗΝΑ 2023

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονείται στο πλαίσιο του μαθήματος «Ειδικά Θέματα Τηλεπισκόπησης», του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου», στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, με καθηγητή τον κύριο Παρχαρίδη Ισαάκ. Η εργασία πραγματεύεται τις επιφανειακές θερμοκρασίες του εδάφους στην πόλη του Παρισιού σε τέσσερεις διαφορετικές ημερομηνίες του Ιουλίου του 2022. Στόχος είναι ο υπολογισμός της νυχτερινής έντασης της επιφανειακής αστικής θερμικής νησίδας (SUHII – Surface Urban Heat Island Intensity) του Παρισιού με τη χρήση δορυφορικών εικόνων από τον Sentinel-3, και η αξιολόγηση της μεταβολής της διαχρονικά.

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, αναλύθηκαν οι συνθήκες που επικρατούν στην πολύ σημαντική και πυκνοκατοικημένη πόλη του Παρισιού, ανθρωπογεωγραφικά και φυσικογεωγραφικά. Επιπλέον, παρατίθενται πληροφορίες για τον δορυφόρο Sentinel-3 και τα προϊόντα του, καθώς και τεχνικές λεπτομέρειες για τις θερμικές νησίδες και τον τρόπο υπολογισμού αυτών. Οι παραπάνω πληροφορίες συντελούν καθοριστικά στην συνειδητοποίηση της επίδρασής τους στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Για να μελετηθεί το φαινόμενο υλοποιήθηκε επεξεργασία τεσσάρων δορυφορικών εικόνων Sentinel-3A LST από τον Ιούλιο του 2022 στο Παρίσι, στο λογισμικό “SNAP Desktop”, όπου υπολογίστηκαν οι τιμές των επιφανειακών θερμοκρασιών εδάφους στην αστική περιοχή της πόλης (Urban LST) και στα περίχωρα (Rural LST), καθώς και η ένταση SUHII. Οι τιμές του Urban LST συγκρίθηκαν με δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού από την ιστοσελίδα “Weather Underground” για να ερευνηθεί η διαφορά τους. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους στο λογισμικό “Excel 2016”, και στην συνέχεια χαρτογραφήθηκαν στο λογισμικό “ArcMap 10.4” για την οπτικοποίηση και τον σχολιασμό.

Abstract

The present paper is carried out in the context of the course "Special Topics in Remote Sensing", of the postgraduate program "Applied Geography and Spatial Management", at the Harokopio University of Athens, under the supervision of Mr. Parcharidis Isaak. The paper deals with surface land temperatures in the city of Paris on four different dates in July 2022. The aim is to calculate the night-time Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII) of Paris using satellite imagery from Sentinel-3 and to evaluate its variation over time.

In order to achieve this objective, the conditions of the very important and densely populated city of Paris were analyzed anthropogeographically and physical-geographically. In addition, information about the Sentinel-3 satellite and its products is provided, as well as technical details on heat islands and how they are calculated. The above information is crucial in raising awareness of their impact on climate change.

To study the phenomenon, four Sentinel-3A LST satellite images from July 2022 in Paris were processed in the "SNAP Desktop" software, where the values of surface land temperatures in the urban area of the city (Urban LST) and in the periphery (Rural LST), as well as the SUHII Intensity, were calculated. Urban LST values were compared with weather station data from the "Weather Underground" website to investigate their difference. The results were compared with each other in "Excel 2016" software, and then mapped in "ArcMap 10.4" software for visualization and annotation.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract.....	3
Περιεχόμενα	4
1. Εισαγωγή	5
2. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης.....	5
2.1 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά	5
2.2 Φυσικο-Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά	6
3. Δορυφόρος Sentinel-3 και οπτικά δεδομένα.....	7
3.1 Δορυφόρος Sentinel-3.....	7
3.2 Οπτικά Δεδομένα – Σημασία, Υπολογισμός	8
4. Δεδομένα Και Μεθοδολογία	10
4.1 Δεδομένα.....	10
4.2 Μεθοδολογία	12
5. Αποτελέσματα	15
6. Συζήτηση – Συμπεράσματα	31
Βιβλιογραφία	32

1. Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι να υπολογιστεί η νυχτερινή ένταση της αστικής θερμικής νησίδας του Παρισιού με τη χρήση δεδομένων από τον δορυφόρο Sentinel-3, και η χρονική διακύμανσή της. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται τέσσερεις δορυφορικές εικόνες Sentinel-3 LST (Land Surface Temperature), και υπολογίζονται το μέσο αγροτικό LST, το μέσο αστικό LST, και μέσω αυτών προκύπτει η ένταση SUHI (Surface Urban Heat Island) του Παρισιού. Οι δείκτες αυτοί που μετρούν την θερμοκρασία του εδάφους τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμιο, σχετίζονται άμεσα με την μελέτη της κλιματικής αλλαγής και τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για να μετριαστεί ή να μειωθεί η επίδρασή της.

2. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

2.1 Ανθρωπογεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Το Παρίσι αποτελεί την 30^η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη παγκοσμίως και είναι πρωτεύουσα της Γαλλίας. Το Παρίσι εκτείνεται σε μια περιοχή μεγαλύτερη από 105 km². Η περιοχή είναι πολύ σημαντική σε παγκόσμια κλίμακα, λόγω οικονομίας, διπλωματίας, τέχνης, επιστήμης, γαστρονομίας και μόδας. Η πόλη του Παρισιού βρίσκεται στο κέντρο της περιφέρειας Île-de-France, με εκτιμώμενο πληθυσμό 12.262.544 κατοίκους το 2019, δηλαδή γύρω στο 19% του πληθυσμού της χώρας. Επίσης, η πόλη του Παρισιού χωρίζεται σε είκοσι διοικητικές περιφέρειες (Wikipedia, 2023). Η έκταση πόλης υπολογίζεται στα 890 τετραγωνικά μίλια (2.300 τετραγωνικά χιλιόμετρα), από τα οποία τα 41 τετραγωνικά μίλια (105 τετραγωνικά χιλιόμετρα) είναι η μητροπολιτική περιοχή. Ο πληθυσμός της πόλης από μετρήσεις του 2012 ισούται με 10.858.000, με το αστικό συγκρότημα να έχει 2.265.886 κατοίκους, βάσει εκτίμησης του 2015 (Ardagh, Daul, & Ehrlich, 2023).

Το Παρίσι βρίσκεται στην βόρεια κεντρική Γαλλία και παλαιότερα περιλάμβανε και τα δύο νησιά Île Saint-Louis και Île de la Cité. Η πόλη είναι σχεδόν επίπεδη, το χαμηλότερο σημείο της απέχει 35 μέτρα από την επιφάνειας της θάλασσας, όμως έχει και πολλούς λόφους με τον υψηλότερο αυτών να είναι η Μονμάρτη στα 130 μέτρα. Η έκταση της μητροπολιτικής περιοχής της πόλης είναι 2.300 km², και περιέχει πολλά πάρκα, τα οποία αποτελούν στοιχεία ομορφιάς, διασκέδασης, αλλά και σημεία με χαμηλότερη θερμοκρασία από την πολυσύχναστη και πολύβουη πόλη. Επιπλέον, διασχίζει την πόλη του Παρισιού ένα βόρειο τόξο του ποταμού Σηκουάνα, ο οποίος προσδίδει ομορφιά και δροσιά στην πόλη, αφού αυτή είναι χτισμένη και στις δύο όχθες του (Wikipedia, 2023).

Το Παρίσι βρίσκεται στο κέντρο της πλούσιας γεωργικής περιοχής της λεκάνης του Παρισιού και αποτελεί ένα από τα οκτώ διαμερίσματα της διοικητικής περιφέρειας Île-de-France. Είναι το

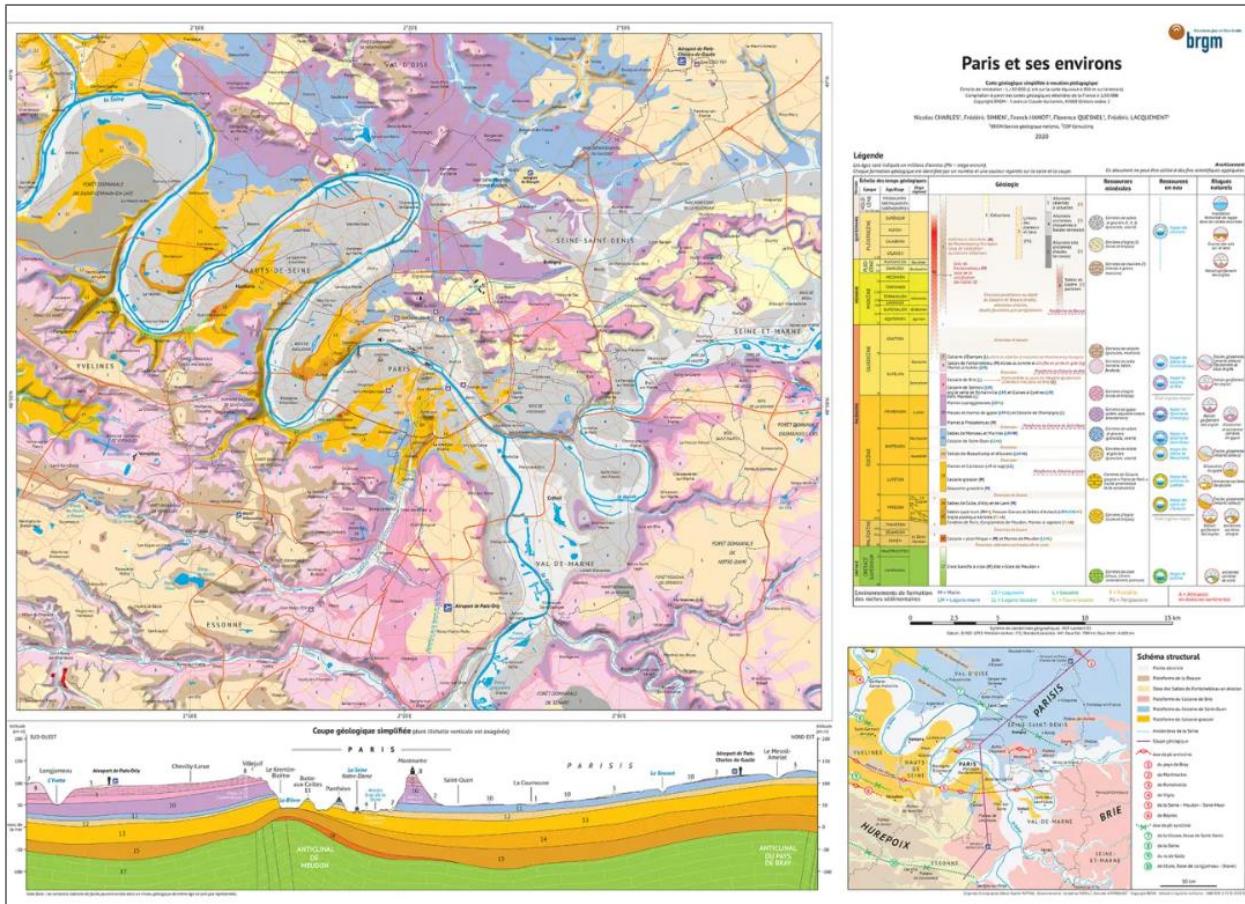
σημαντικότερο εμπορικό και πολιτιστικό κέντρο της χώρας. Επιπλέον, το Παρίσι διασχίζεται από τους ποταμούς Σηκουάνα, Ουάζ και Μαρν. Γύρω από την πόλη υπάρχουν μεγάλα δάση οξιάς και βελανιδιάς, τα οποία αποκαλούνται "πνεύμονες του Παρισιού", καθώς συμβάλλουν στον καθαρισμό του αέρα της έντονα βιομηχανοποιημένης περιοχής (Ardagh, Daul, & Ehrlich, 2023).

2.2 Φυσικο-Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα του Παρισιού χαρακτηρίζεται ως τυπικό δυτικοευρωπαϊκό ωκεάνιο κλίμα που μεταβάλλεται από το ρεύμα του Βόρειου Ατλαντικού. Κατά μέσο όρο ανά έτος το κλίμα είναι ήπιο και μέτρια υγρό, ενώ το καλοκαίρι οι θερμοκρασίες την ημέρα κυμαίνονται από 15 έως 25 °C με πολύ ηλιοφάνεια. Ορισμένες ημέρες η θερμοκρασία θα ξεπεράσει τους 32 °C, ενώ άλλες θα φτάσει έως 40 °C όταν κυριαρχεί κάποιο κύμα καύσωνα. Το φθινόπωρο και την άνοιξη ο καιρός είναι ασταθής, όμως επικρατούν ήπιες μέρες και δροσερές νύχτες. Τον χειμώνα την ημέρα επικρατεί δροσιά και το βράδυ ο καιρός είναι ψυχρός με θερμοκρασίες γύρω στους 3 °C, αλλά και συχνούς παγετούς της τάξης των -5 °C (Wikipedia, 2023). Το Παρίσι επηρεάζεται θετικά από το ρεύμα του Κόλπου για αυτό και έχει αρκετά εύκρατο κλίμα (Ardagh, Daul, & Ehrlich, 2023).

Το Παρίσι χαρακτηρίζεται από τις απότομες και έντονες βροχοπτώσεις, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση ισούται με 641 mm. Ακόμα, από καταγραφές θερμοκρασιών των προηγούμενων ετών, η υψηλότερη θερμοκρασία ήταν τον Ιούλιο του 2019 στους 42,6 °C (108,7 °F), ενώ η χαμηλότερη στους -23,9 °C (-11,0 °F) έλαβε χώρα τον Δεκέμβριο του 1879 (Wikipedia, 2023).

Επιπρόσθετα, η πρωτεύουσα της Γαλλίας τοποθετείται πάνω σε έναν πολύ μεγάλο γεωλογικό σχηματισμό, την λεκάνη του Παρισιού. Η λεκάνη εκτείνεται από τη Βρετάνη (Brittany) έως τα Βοσγιά (Vosges) και από τη Μάγχη (English Channel) μέχρι την περιοχή Centre. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές υπερβάσεις και παλινδρομήσεις της θάλασσας ανά τα τελευταία γεωλογικά χρόνια. Λόγω αυτού υπάρχουν συσσωρευμένα πολλαπλά ιζηματογενή στρώματα, τα οποία λόγω των κινήσεων του φλοιού της Γης παρουσιάζουν κυματιστή διάταξη. Επίσης, στην περιοχή είναι πολύ συνηθισμένα τρία φαίνομενα που συνδέονται με την γεωλογία της. Αυτά είναι οι τοπικές μετακινήσεις του εδάφους εξαιτίας παλιών υπόγειων λατομείων, η διάλυση του γύψου που προκαλεί καταβόθρες, και η συρρίκνωση – διόγκωση του πηλού. Σχετικά με το τελευταίο γεγονός, το αργιλικό έδαφος παρουσιάζει μια μικρή διόγκωση και έπειτα μια καθίζηση, που σχετίζει με τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες (BRGM, 2022).



Χάρτης 1: Γεωλογικός Χάρτης Παρισιού (BRGM, 2022)

3. Δορυφόρος Sentinel-3 και οπτικά δεδομένα

3.1 Δορυφόρος Sentinel-3

Οι δορυφόροι Sentinel αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA – European Space Agency) για την παροχή μακροπρόθεσμων συνόλων δεδομένων κλιματικής ποιότητας που μπορούν να επιτρέψουν την παρακολούθηση και τη διερεύνηση της Γης. Το μοτίβο των τροχιών είναι τέτοιο ώστε μετά από 4 ημέρες να υπάρχει σχεδόν παγκόσμια κάλυψη με μία ευρεία απόσταση ($\sim 7^\circ$) μεταξύ των τροχιών (Quartly, et al., 2020). Σκοπός της αποστολής είναι να υπολογιστεί η τοπογραφία της επιφάνειας του νερού, η θερμοκρασία και η οπτική ραδιομετρία σε ωκεανούς και ξηρά. Υποστηρίζει καθοριστικά τα συστήματα πρόβλεψης των ωκεανών και της παρακολούθησης κλίματος και περιβάλλοντος, επειδή παρουσιάζει υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Ο δορυφόρος Sentinel-3 έχει τέσσερα κύρια όργανα (Clerc, et al., 2020):

- SRAL, το αλτίμετρο ραντάρ SAR που λειτουργεί στις μπάντες Ku/C (Ku-band: 12–18 GHz, C-band: 4–8 GHz)
- MWR, το μικροκυματικό ραδιόμετρο, το οποίο συμπληρώνει το SRAL για την πραγματοποίηση της αποστολής για την τοπογραφία της επιφάνειας της θάλασσας
- SLSTR, το ραδιόμετρο για θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και της ξηράς, με κανάλια που καλύπτουν VIS (0.38-0.72 μμ), SWIR (1.3-3.00 μμ) και θερμικό υπέρυθρο (8-15 μμ).
- OLCI, η έγχρωμη απεικόνιση ωκεανών και ξηράς στον τομέα VISNIR (0.38-1.3 μμ)

Ο Sentinel-3A εκτοξεύτηκε στις 16 Φεβρουαρίου του 2016, ενώ ο Sentinel-3B στις 25 Απριλίου του 2018. Ο Sentinel-3B λειτούργησε πολύ κοντά στον Sentinel-3A (σχηματισμός tandem με διαφορά 30 δευτερολέπτων) για τους μήνες Ιούνιο – Οκτώβριο του 2018, μέχρι να τοποθετηθεί στην καθορισμένη τροχιακή του θέση, που σχηματίζει τροχιακή γωνία 140° σε σχέση με τον Sentinel-3A. Η φάση tandem ήταν προγραμματισμένη να υλοποιηθεί για συγκριθούν οι δύο δορυφόροι και να οριστούν οι διαφορές τους. Ο Sentinel-3 αποτελεί την πρώτη αποστολή με αξιοσημείωτη περίοδο φάσης tandem για τα οπτικά όργανα (OLCI και SLSTR). Στόχος της φάσης αυτής είναι να εξασφαλιστεί η συνοχή των δεδομένων που προσφέρουν οι δύο δορυφόροι, ώστε στη συνέχεια να λειτουργήσουν ως αστερισμός και να εξασφαλίσουν έμπιστα μακροπρόθεσμα κλιματικά δεδομένα (Clerc, et al., 2020). Επιπλέον, ο κάθε δορυφόρος εκτοξεύτηκε με προβλεπόμενη διάρκεια ζωής πάνω από επτά έτη. Στόχος είναι η έγκαιρη εκτόξευση δύο ακόμη μονάδων (S3C και S3D) για επικάλυψη με τους S3A και S3B. Με αυτό τον τρόπο θα δημιουργηθεί ένα συνεκτικό σύνολο κλιματικών δεδομένων που θα καλύπτει πάνω από 15 χρόνια (Quartly, και συν., 2020).

3.2 Οπτικά Δεδομένα – Σημασία, Υπολογισμός

Κατά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (UHI – Urban Heat Island) ισχύει ότι η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στις αστικές περιοχές σε σύγκριση με τις γύρω από αυτές μη αστικές περιοχές. Παρατηρείται παγκοσμίως και οφείλεται στην ενέργεια που ανταλλάσσεται μεταξύ της ατμόσφαιρας και των αστικών επιφανειών στη Γη, που προκαλείται κυρίως από την αύξηση του αδιαπέραστου επιφανειακού καλύμματος που αντικαθιστά τις επιφάνειες βλάστησης και εξάτμισης. Η UHI επηρεάζει το περιφερειακό κλίμα, την ποιότητα του νερού και του αέρα, και την ανάπτυξη της βλάστησης. Όλοι αυτοί οι παράγοντες αποτελούν αναμφισβήτητα χαρακτηριστικά που μπορούν να επηρεάσουν την ανθρωπότητα σε θέματα όπως την υγεία, την θνησιμότητα, την κατανάλωση ενέργειας, την ευημερία, και την ανάπτυξη του περιβάλλοντος. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το φαινόμενο UHI

επιδεινώνεται σε ένα κλίμα που θερμαίνεται, και σε μια κοινωνία που συνεχώς αστικοποιείται περαιτέρω (Zhou, et al., 2018).

Έστερα από μελέτες τα UHIs έχουν χωριστεί σε δύο κατηγορίες, αυτή των ατμοσφαιρικών και αυτή των επιφανειακών. Τα ατμοσφαιρικά αφορούν φαινόμενα στο στρώμα Canopy Layer Heat Island (CLHI) ή στο στρώμα Boundary Layer Heat Island (BLHI). Το CLHI υπολογίζεται από σταθερούς αισθητήρες που βρίσκονται είτε σε μετεωρολογικούς σταθμούς είτε σε εν κινήσει οχήματα. Για την μέτρηση του BLHI χρειάζονται αεροσκάφη, ραδιοσκόπια και υψηλοί πύργοι, όπου προφανώς κοστίζει πολύ σε χρήμα και χρόνο, άρα αυτές διέξοδοι μέτρησης υπάρχουν σε λίγες μεγάλες πόλεις ανά τον κόσμο. Επομένως, τα δεδομένα UHI είναι συνήθως ελλιπή για τον σχεδιασμό μια αστικής χρήσης γης, και μιας έρευνας κλιματικής αλλαγής (Zhou, et al., 2018).

Το πρόβλημα που δημιουργείται με την UHI συμπληρώνει η επιφανειακή UHI (SUHI – Surface Urban Heat Island). Η SUHI προκύπτει κατά κύριο λόγο από δορυφορικά δεδομένα θερμικής τηλεπισκόπησης, και ουσιαστικά είναι η διαφορά στην θερμοκρασιακή ακτινοβολία των αστικών και μη αστικών περιοχών. Οι μετρήσεις για την επιφάνεια της Γης παρέχονται συνεχώς, δίνοντας την ευκαιρία στους ερευνητές να μελετήσουν το αστικό θερμικό περιβάλλον σε τοπικό ή παγκόσμιο επίπεδο, και σε κάθε χρονική βαθμίδα. Οι πληροφορίες που παρέχονται από το SUHI είναι δυνατό να βοηθήσουν να διαμορφωθούν αποτελεσματικά οι στρατηγικές μετριασμού του φαινομένου UHI, αλλά και η μετάβαση και προσαρμογή σε αυτό. Επιπλέον, η ημερήσια SUHI οφείλεται στη μείωση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της λανθάνουσας ροής θερμότητας. Λόγω αυτού αυξάνεται η αισθητή θερμότητα και η ανοδική θερμική ακτινοβολία που δέχονται οι αισθητήρες. Αντίθετα, το νυχτερινό SUHI οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη αποθήκευση θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας για απελευθέρωση κατά τη διάρκεια της νύχτας (Zhou, et al., 2018).

Οι τρόποι που έχουν αναπτυχθεί για να υπολογίζεται το SUHI είναι τρεις. Ο πρώτος είναι η χρήση της LST (Land Surface Temperature) αντί του SUHI. Η LST δείχνει το πόσο μεταβάλλεται η SUHI, κυρίως σε τοπική κλίμακα, και η γνώση της μπορεί να βοηθήσει στα έργα συγκεκριμένων περιοχών ώστε να μετριαστεί σε αυτές το φαινόμενο. Η SUHI εμφανίζεται κυρίως ως θερμά σημεία ή ως υψηλές LST. Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού είναι η διαφορά της LST των αστικών περιοχών και της LST στα περίχωρα, στις αγροτικές περιοχές. Η θετική διαφορά των δύο υποδηλώνει θέρμανση του αστικού πεδίου, ενώ η αρνητική διαφορά δείχνει ένα φαινόμενο απορρόφησης της θερμοκρασίας. Αυτή η μέθοδος βοηθά στην σύγκριση των SUHI μεταξύ πόλεων, περιφερειακά ή παγκόσμια, με πιθανότητες βεβαίως για σφάλματα. Επίσης, ο τρίτος τρόπος είναι η μέτρηση του SUHI με στατιστικά μοντέλα. Κάποια από αυτά είναι το

μοντέλο επιφάνειας Gauss, η μέθοδος συνέλιξης πυρήνων, οι συναρτήσεις γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της LST και της περιφερειακής ISA (Zhou, et al., 2018).

4. Δεδομένα Και Μεθοδολογία

4.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας είναι ένα διανυσματικό πολυγωνικό επίπεδο της αστικής έκτασης της πόλης του Παρισιού, σε προβολικό σύστημα συντεταγμένων WGS84. Επίσης, επιλέχθηκαν τέσσερεις δορυφορικές εικόνες Sentinel-3 LST από τον Ιούλιο του 2022, οι οποίες αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα Copernicus Open Access Hub. Πιο συγκεκριμένα, οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

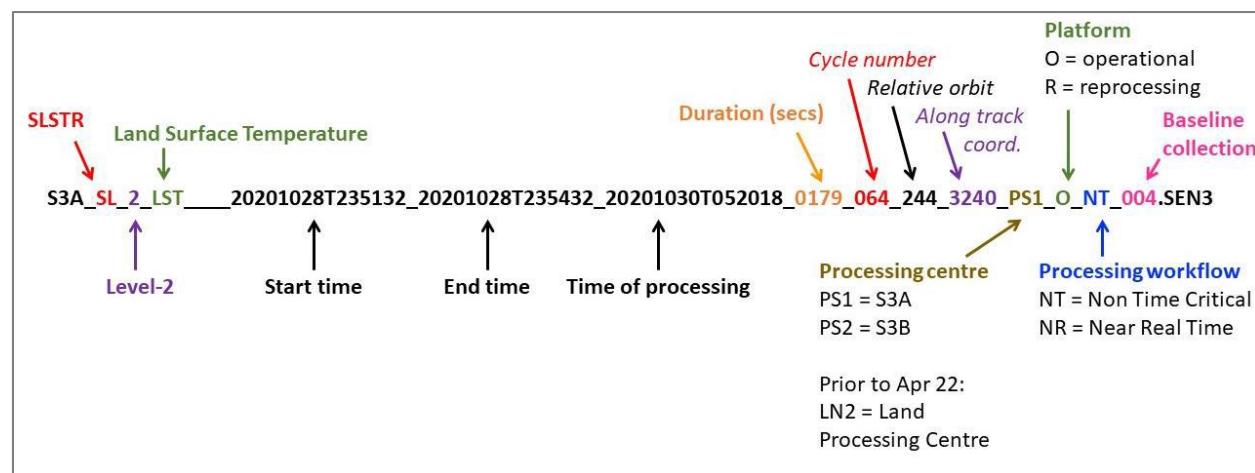
S3A_SL_2_LST____20220708T210613_20220708T210913_20220710T065317_0179_087_200_0720_PS
1_O_NT_004.SEN3

S3A_SL_2_LST____20220716T205842_20220716T210142_20220718T062053_0179_087_314_0720_PS
1_O_NT_004.SEN3

S3A_SL_2_LST____20220724T205112_20220724T205412_20220726T063124_0179_088_043_0720_PS
1_O_NT_004.SEN3

S3A_SL_2_LST____20220730T213605_20220730T213905_20220801T071135_0180_088_129_0720_PS
1_O_NT_004.SEN3

Όπως ορίζεται και από το εγχειρίδιο χρήστη του Copernicus Sentinel-3 SLSTR στην εικόνα, η λήψη των δορυφορικών εικόνων έγινε στις 08-07-2022, 16-07-2022, 24-07-2022, 30-07-2022, τις βραδινές ώρες από 20:51 έως 21:39, και όλα είναι προϊόντα Level-2.



Εικόνα 1: Επεξήγηση ονομασίας δορυφορικών εικόνων (Polehampton, και συν., 2022)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν. Ο πρώτος πίνακας συγκεντρώνει κάποια από τα σημαντικά κοινά χαρακτηριστικά των εικόνων, ενώ οι επόμενοι αναγράφουν τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε εικόνας ξεχωριστά βάσει της ημερομηνίας λήψης της.

Attributes of the Satellite Images	
Instrument	SLSTR
Mode	EO
Satellite	Sentinel-3
Product level	L2
Product type	SL_2_LST
Relative Orbit Direction (start)	ascending
Instrument abbreviation	SLSTR
Instrument name	Sea and Land Surface Temperature Radiometer
Operator	European Space Agency
Satellite number	A

Satellite image at 08.07.2022	
Cycle number	87
Relative orbit (start)	200
Sensing start	2022-07-08T21:06:12.819407Z
Sensing stop	2022-07-08T21:09:12.819407Z

Satellite image at 16.07.2022	
Cycle number	87
Relative orbit (start)	314
Sensing start	2022-07-16T20:58:42.314349Z
Sensing stop	2022-07-16T21:01:42.314349Z

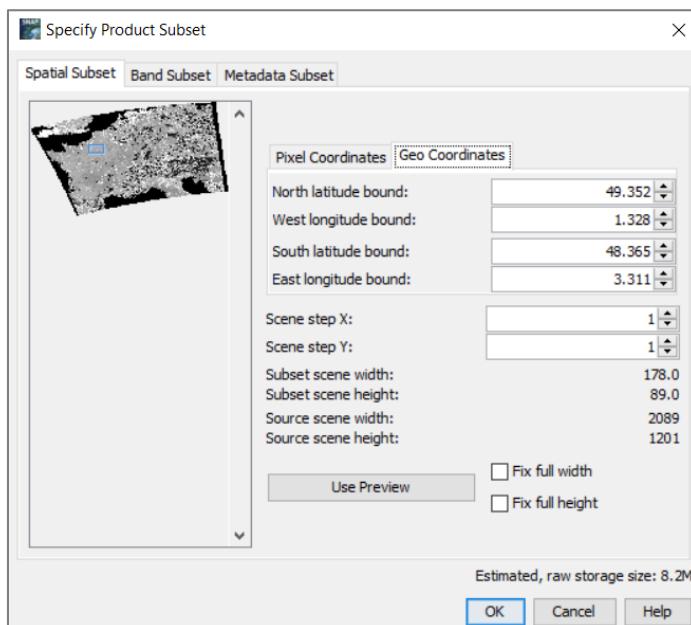
Satellite image at 24.07.2022	
Cycle number	88
Relative orbit (start)	43
Sensing start	2022-07-24T20:51:12.238828Z
Sensing stop	2022-07-24T20:54:12.238828Z

Satellite image at 30.07.2022	
Cycle number	88
Relative orbit (start)	129
Sensing start	2022-07-30T21:36:05.161964Z
Sensing stop	2022-07-30T21:39:05.161964Z

4.2 Μεθοδολογία

Αρχικά, στο λογισμικό “QGIS Desktop 3.22.14” προβλήθηκε το shapefile της πόλης του Παρισιού μαζί με το Basemap “OSM Standard” από το plugin “QuickMapServices”. Με την βοήθεια του plugin “Coordinate Capture” επιλέχθηκαν δύο σημεία που βρίσκονται στα περίχωρα της πόλης. Το πρώτο βρίσκεται βορειοδυτικά της πόλης, με συντεταγμένες 49.352 N, 1.328 W, ενώ το δεύτερο σημείο βρίσκεται νοτιοανατολικά της πόλης, με συντεταγμένες 48.365 S, 3.311 E. Αυτές οι συντεταγμένες χρειάζονται στη συνέχεια στο κόψιμο των δορυφορικών εικόνων σε μικρότερες.

Στη συνέχεια, στο λογισμικό “SNAP Desktop” εισήχθησαν τα .xml αρχεία όλων των εικόνων και πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική διόρθωσή τους με την εντολή Reprojection σε προβολή: Geographic Lat/Lon (WGS 84). Ύστερα, με την εντολή Subset κόπηκαν βάσει των γεωγραφικών συντεταγμένων (Geo Coordinates) που αναφέρθηκαν παραπάνω οι δορυφορικές εικόνες σε μικρότερο μέγεθος, τόσο ώστε να συμπεριλαμβάνεται όχι μόνο η πόλη του Παρισιού, αλλά και τα περίχωρα. Έπειτα, για τις τέσσερεις κομμένες εικόνες δημιουργήθηκαν ιστογράμματα (Histograms) για την μπάντα LST, και γραφήματα διασποράς (Scatter Plots) για τις μπάντες LST και LST_uncertainty.



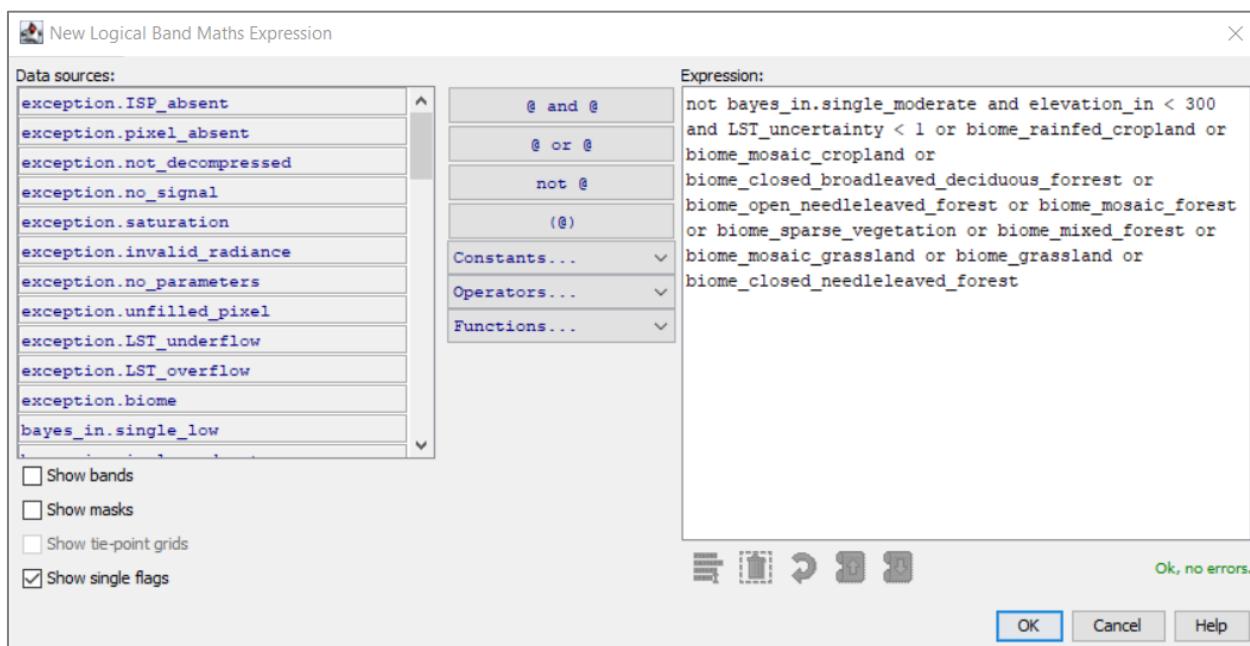
Εικόνα 2: Γεωγραφικές συντεταγμένες για subset των εικόνων

Η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους της αγροτικής περιοχής υπολογίστηκε δημιουργώντας μία νέα μάσκα, σε κάθε κομμένη εικόνα, που δεν συμπεριλαμβάνει τα νέφη (not bayes_in.single_moderate), το υψόμετρο είναι κάτω από 300 μέτρα (elevation_in < 300), το σφάλμα LST_uncertainty είναι μικρότερο από 1 (LST_uncertainty < 1), και επικρατούν τα είδη βλάστησης που

φαίνονται στο Expression στην εικόνα. Το πρόθεμα biome σημαίνει βιότοπος ή αλλιώς μεγαοικοσύστημα. Τα μόνα είδη βλάστησης που υπάρχουν στις κομμένες εικόνες είναι όσα συμπεριλήφθηκαν στο Expression, και αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Biome_rainfed_cropland= καλλιεργήσιμες εκτάσεις με βροχή
- Biome_mosaic_cropland = ψηφιδωτό καλλιεργούμενων εκτάσεων
- Biome_closed_broadleaved_deciduous_forrest = κλειστό δάσος πλατύφυλλων φυλλοβόλων
- Biome_open_needleleaved_forest = ανοιχτό δάσος κωνοφόρων
- Biome_mosaic_forest = ψηφιδωτό δάσος
- Biome_sparse_vegetation = αραιή βλάστηση
- Biome_mixed_forest = μικτό δάσος
- Biome_mosaic_grassland = ψηφιδωτό λιβάδι
- Biome_grassland = λιβάδι
- Biome_closed_needleleaved_forest = κλειστό δάσος κωνοφόρων

Από τα στατιστικά (Statistics) των μασκών προκύπτουν οι ακραίες τιμές, η μέση τιμή και ο συντελεστής μεταβλητότητάς (Coefficient of variation) τους. Οι μέσες τιμές των εικόνων (mean rural LST) συγκρίθηκαν στο λογισμικό “Excel 2016”. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκτάσεις πράσινου μέσα στην αστική περιοχή δεν μπορούν να διαχωριστούν, οπότε συμπεριλαμβάνονται και αυτές στα αποτελέσματα του αγροτικού LST.

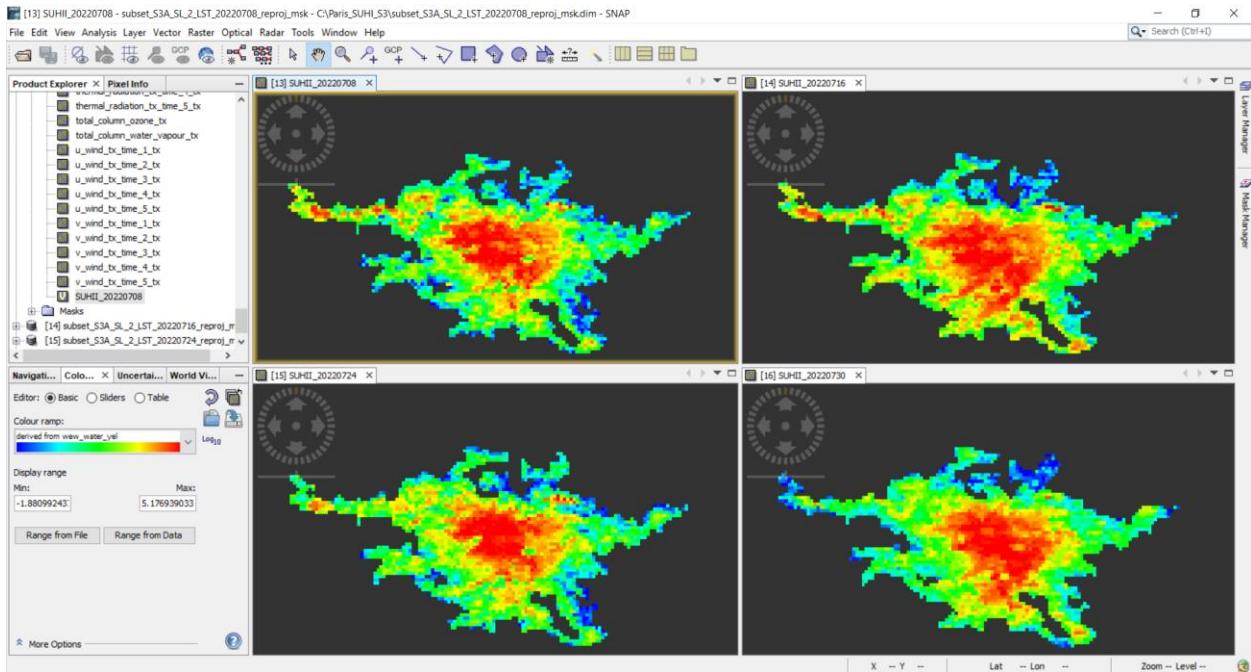


Εικόνα 3: Δημιουργία νέας μάσκας για το Rural LST

Συνεχίζοντας, για να υπολογιστεί η μέση επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους μέσα στην πόλη (mean urban LST) χρειάστηκε να γίνει import στο λογισμικό το αρχείο Shapefile του Παρισιού, και με την εντολή Land/Sea Mask, κόπηκε ,η ήδη κομμένη εικόνα, ακριβώς στο εύρος της πόλης. Μετά από αυτό από τα στατιστικά (Statistics) των νέων αρχείων προέκυψαν οι ακραίες τιμές, η μέση τιμή και ο συντελεστής μεταβλητότητάς (Coefficient of variation) της επιφανειακής θερμοκρασίας του εδάφους μέσα στην πόλη.

Όμως αυτές οι πληροφορίες κρίθηκε εύλογο να συγκριθούν με τις πραγματικές θερμοκρασίες του εδάφους στο Παρίσι τις συγκεκριμένες ημέρες. Έτσι από την ιστοσελίδα <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPARIS18259/graph/2022-07-8/2022-07-8/daily> και τον σταθμό Marais - IPARIS18259, βρέθηκαν οι θερμοκρασίες του εδάφους στο κέντρο του Παρισιού τις ανάλογες ημερομηνίες και ώρες που λήφθηκαν οι δορυφορικές εικόνες. Οι θερμοκρασίες στην προηγούμενη ιστοσελίδα βρίσκονται σε βαθμούς Fahrenheit οπότε μετατράπηκαν σε βαθμούς Kelvin στο site <https://www.rapidtables.com/convert/temperature/fahrenheit-to-kelvin.html>, για να μπορούν να συγκριθούν με τις θερμοκρασίες του αστικού περιβάλλοντος από το λογισμικό “SNAP Desktop”. Η σύγκρισή τους πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό “Excel 2016” και υπολογίστηκαν οι διαφορές τους και αν είναι όμοιες οι χρονικές τους διακυμάνσεις.

Καίριας σημασίας διαδικασία στην εργασία αποτελεί η εύρεση των εντάσεων SUHI (Surface Urban Heat Island Intensity). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της εντολής “Band Maths” στις νέες εικόνες της πόλης, όπου σε όλες γίνεται η αφαίρεση LST – mean_rural_LST, δηλαδή αφαιρείται από το LST η μέση επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους της αγροτικής περιοχής της αντίστοιχης εικόνας. Από τα στατιστικά (Statistics) βγαίνει η μέση ένταση SUHI του Παρισιού, οι ακραίες τιμές, και ο συντελεστής μεταβλητότητάς (Coefficient of variation). Συμπληρωματικά, οι μέσες εντάσεις SUHI συγκρίθηκαν στο λογισμικό “Excel 2016” μεταξύ τους. Όμως συγκρίθηκαν και με τα mean SUHII που προκύπτουν χειροκίνητα αν υλοποιηθεί η αφαίρεση mean_urban_LST – mean_rural_LST για την κάθε εικόνα, και βρέθηκαν οι διαφορές τους. Στην εικόνα απεικονίζονται οι μπάντες SUHII των τεσσάρων εικόνων κατά την επεξεργασία στο λογισμικό “SNAP Desktop”.



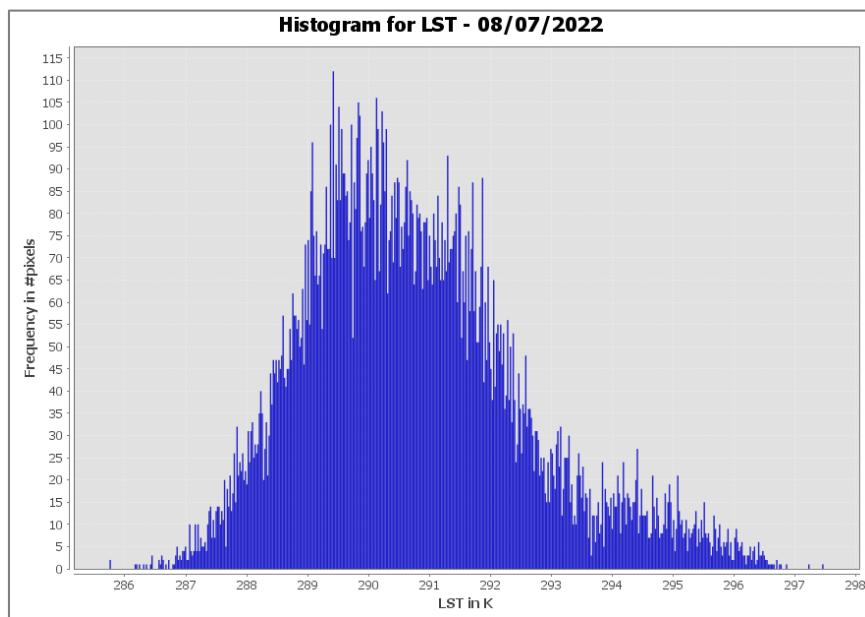
Εικόνα 4: Οι τέσσερεις μπάντες SUHII, μία για κάθε δορυφορική εικόνα

Οι νέες μπάντες SUHII έγιναν export as GeoTIFFs για να είναι δυνατό να προστεθούν σε ένα λογισμικό GIS. Οι ψηφιδωτές εικόνες SUHII εισήχθησαν στο λογισμικό “ArcMap 10.4” μαζί με το διανυσματικό πολυγωνικό επίπεδο της αστικής έκτασης του Παρισιού. Για να απομακρυνθούν τα δεδομένα noData από τις μπάντες, με την εντολή Clip (Spatial Analyst Toolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Clip) και ως Output Extent το shapefile του Παρισιού, κόπηκαν στην έκταση του shapefile. Στη συνέχεια από το Symbology επιλέχθηκε η band 2 και να φαίνονται οι τιμές Stretched. Έπειτα, δημιουργήθηκαν τέσσερεις χάρτες απεικόνισης της έντασης SUHI στο Παρίσι.

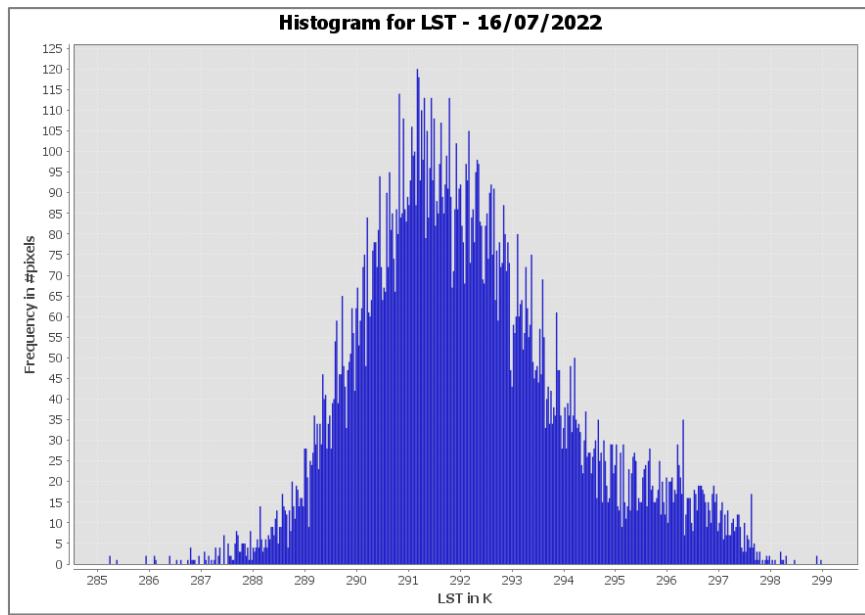
5. Αποτελέσματα

Από τα ιστογράμματα της μπάντας LST προκύπτουν οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές, όπου στον άξονα x απεικονίζεται το LST, ενώ στον άξονα y η συχνότητα (Frequency) σε pixels. Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των τεσσάρων ιστογραμμάτων, όπως προκύπτουν από το λογισμικό “SNAP Desktop” παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα. Όπως παρατηρείται, η χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία καταγράφεται στις 30.07.2022, και η υψηλότερη στις 24.07.2022. Η διαφορά των δύο ακραίων τιμών σε όλες τις δορυφορικές εικόνες φαίνεται στην τελευταία στήλη (Difference), με την υψηλότερη να εντοπίζεται στις 30.07.2022.

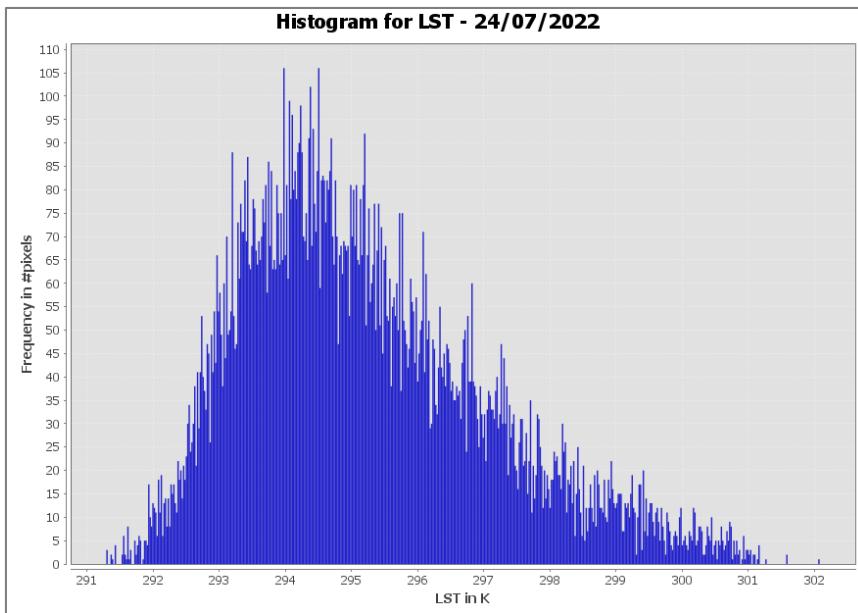
Histogram for LST: min, max			
Date	Min	Max	Difference
08.07.2022	285.748	297.472	11.724
16.07.2022	285.218	298.982	13.764
24.07.2022	291.294	302.078	10.784
30.07.2022	282.106	298.404	16.298



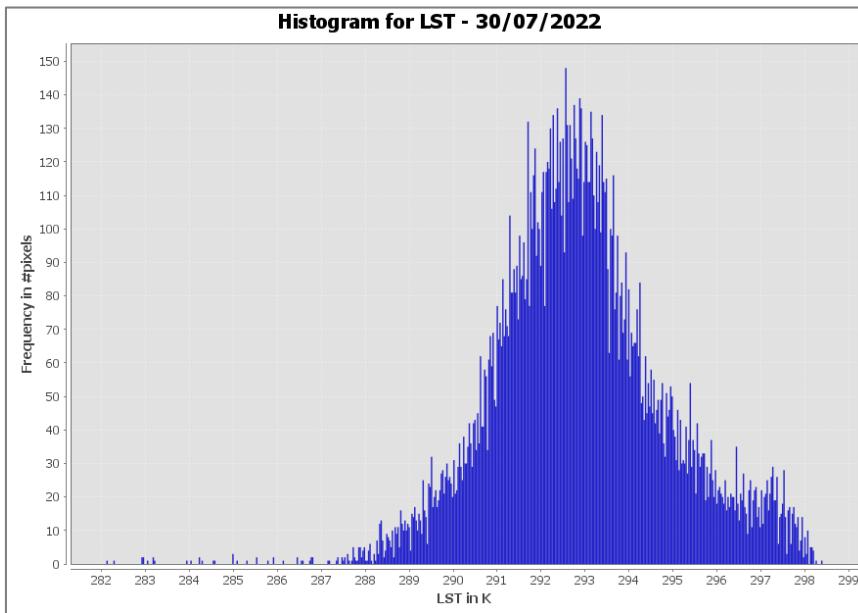
Διάγραμμα 1: Ιστόγραμμα του LST μετά το subset της εικόνας από 08.07.2022



Διάγραμμα 2: Ιστόγραμμα του LST μετά το subset της εικόνας από 16.07.2022



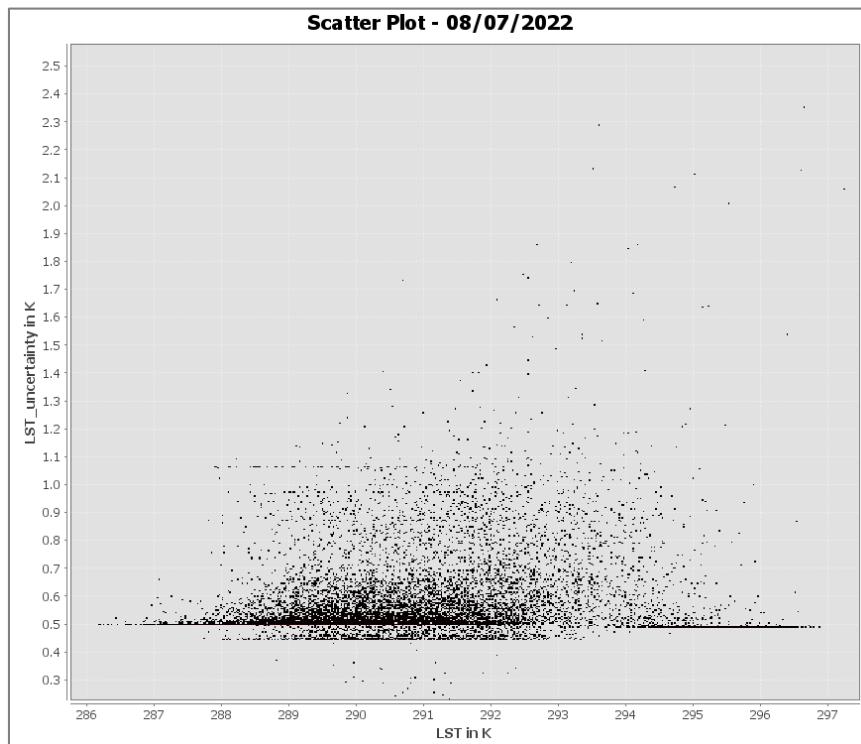
Διάγραμμα 3: Ιστόγραμμα του LST μετά το subset της εικόνας από 24.07.2022



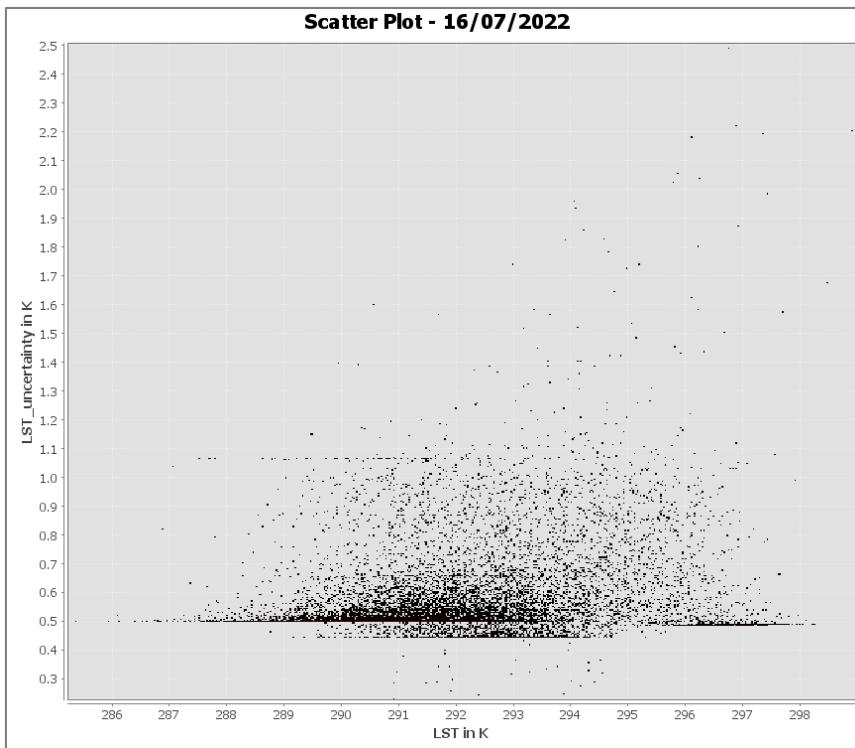
Διάγραμμα 4: Ιστόγραμμα του LST μετά το subset της εικόνας από 30.07.2022

Στα Scatter Plots στο άξονα x παριστάνεται το LST σε Kelvin, και στον άξονα γ το LST_uncertainty σε Kelvin. Και στα τέσσερα scatter plots το νέφος των σημείων είναι οριζόντιο οπότε δεν συσχετίζονται. Τα ελάχιστα και τα μέγιστα των δύο αξόνων, και η διαφορά τους, για κάθε εικόνα σημειώνονται στον παρακάτω πίνακα.

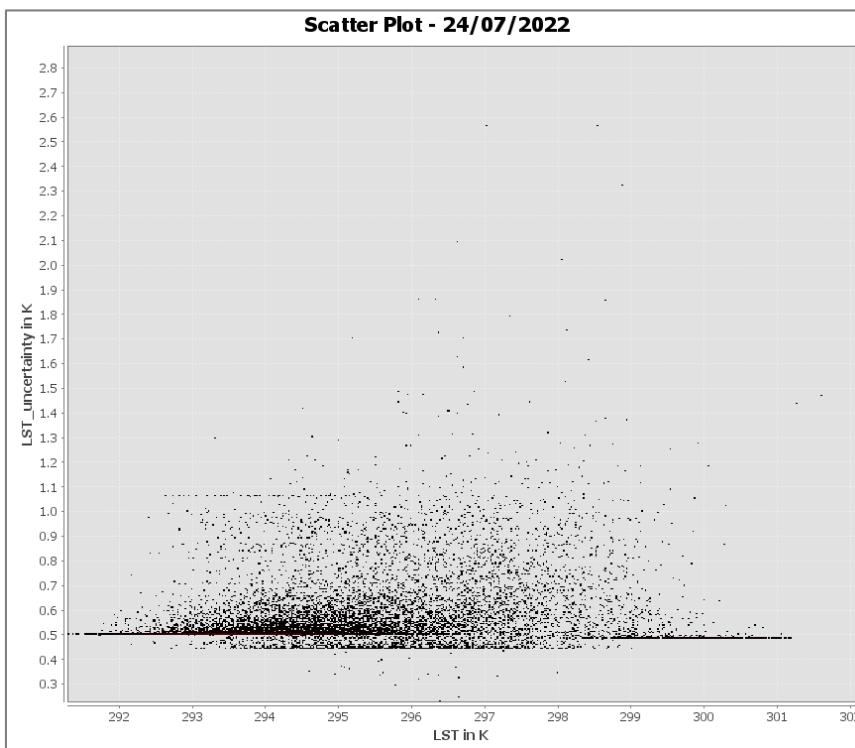
Scatter Plot: min, max						
	LST		LST_uncertainty			
Date	Min	Max	Difference	Min	Max	Difference
08.07.2022	285.75	297.47	11.72	0.23	2.58	2.35
16.07.2022	285.22	298.98	13.76	0.23	2.51	2.28
24.07.2022	291.29	302.08	10.79	0.23	2.89	2.66
30.07.2022	282.11	298.4	16.29	0.23	2.43	2.2



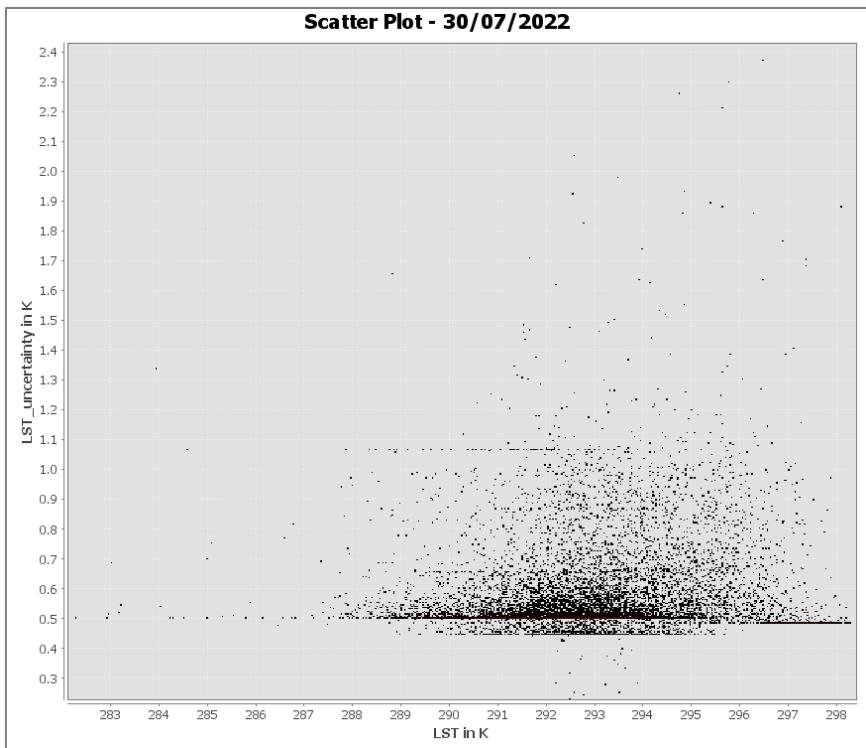
Διάγραμμα 5: Γράφημα Διασποράς των LST και LST_uncertainty μετά το subset της εικόνας από 08.07.2022



Διάγραμμα 6: Γράφημα Διασποράς των LST και LST_uncertainty μετά το subset της εικόνας από 16.07.2022

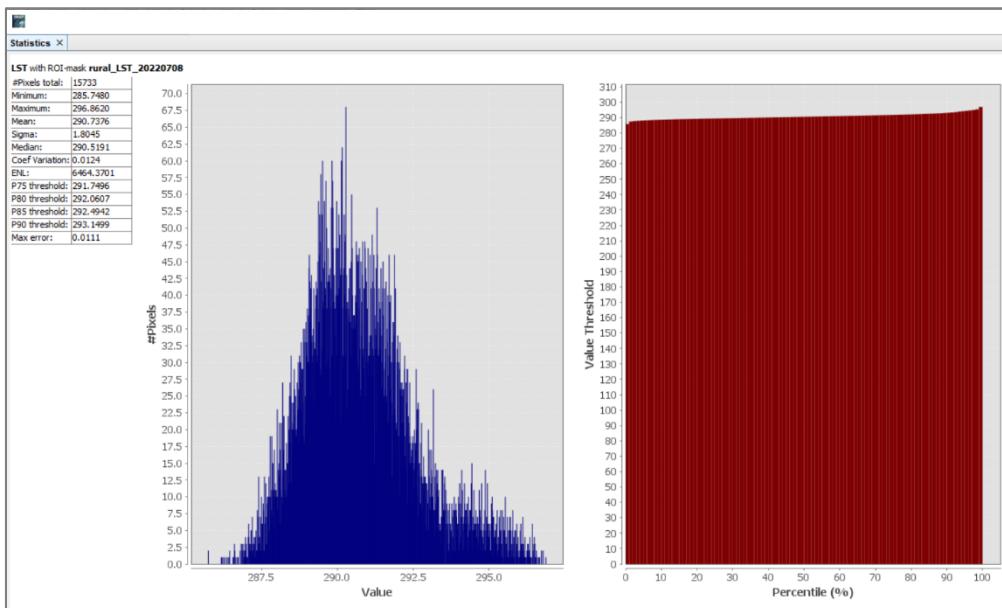


Διάγραμμα 7: Γράφημα Διασποράς των LST και LST_uncertainty μετά το subset της εικόνας από 24.07.2022

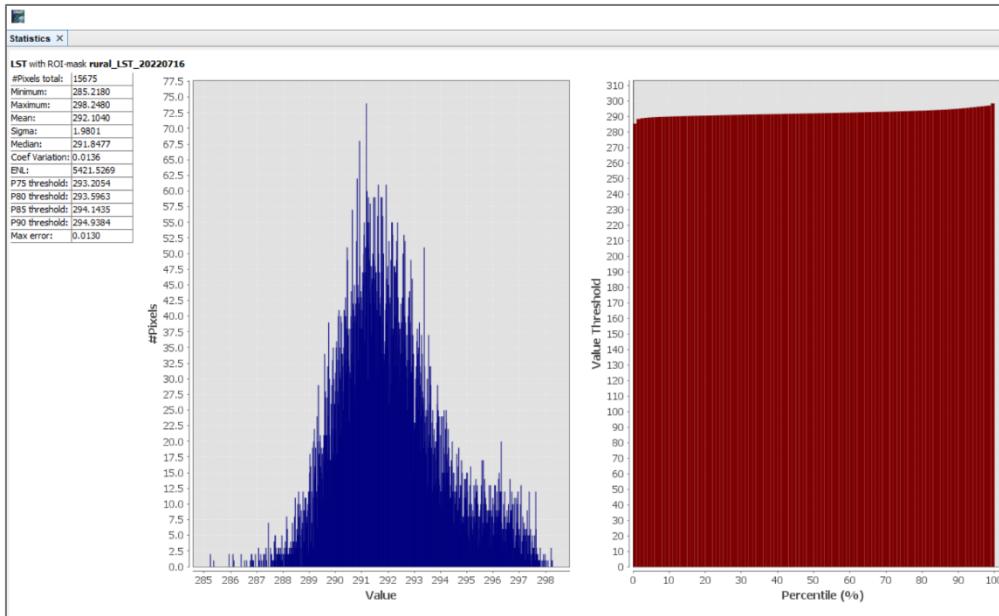


Διάγραμμα 8: Γράφημα Διασποράς των *LST* και *LST_uncertainty* μετά το subset της εικόνας από 30.07.2022

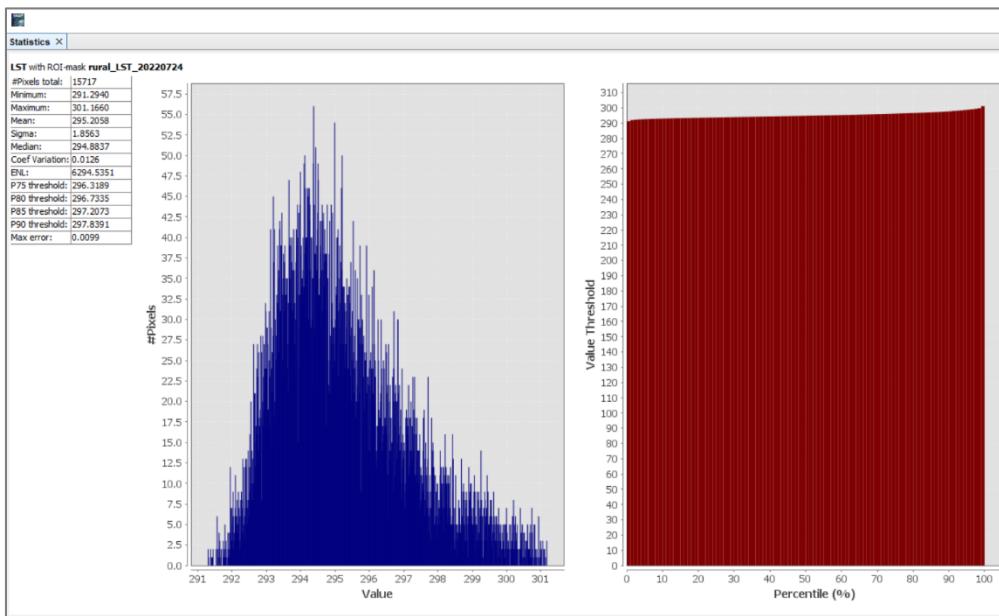
Τα στατιστικά των μασκών με την επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους στις αγροτικές περιοχές (Rural *LST*), για κάθε δορυφορική εικόνα, φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν. Τα στατιστικά προκύπτουν στο λογισμικό “SNAP Desktop”.



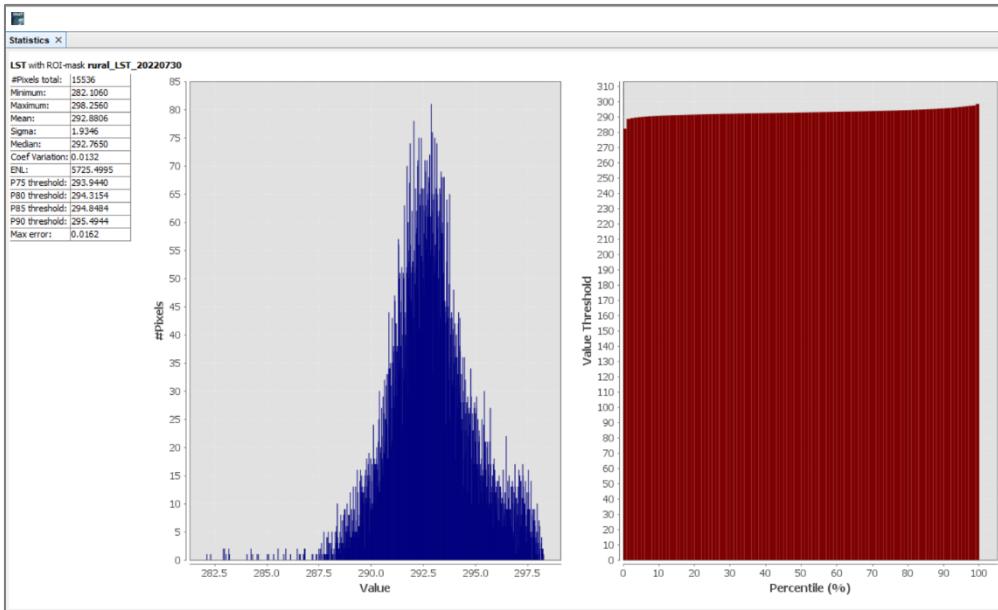
Διάγραμμα 9: Στατιστικά *rural LST* στις 08.07.2022



Διάγραμμα 10: Στατιστικά rural LST στις 16.07.2022



Διάγραμμα 11: Στατιστικά rural LST στις 24.07.2022

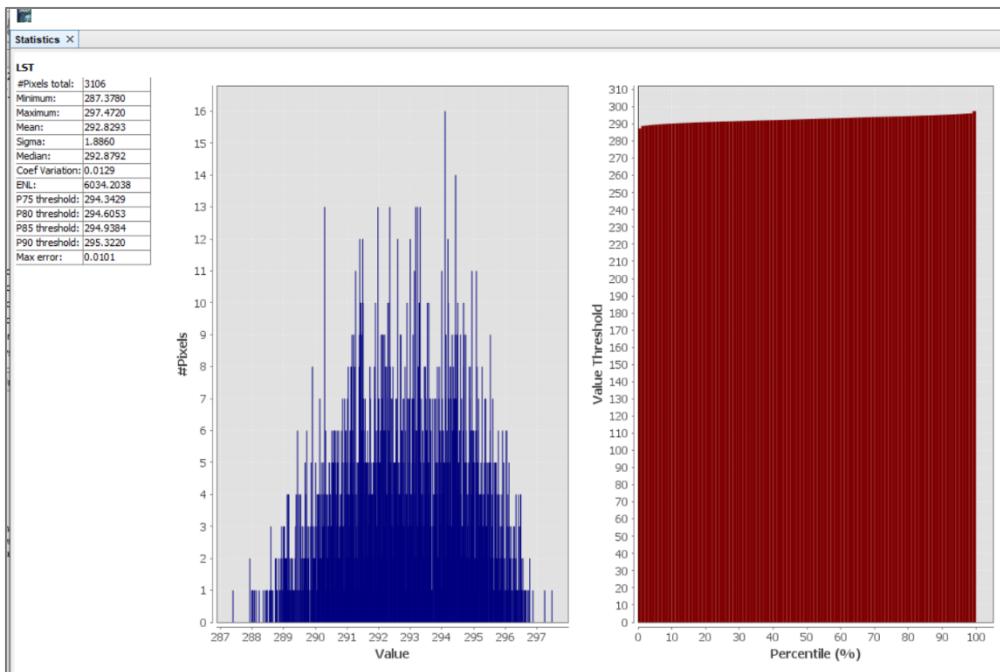


Διάγραμμα 12: Στατιστικά rural LST στις 30.07.2022

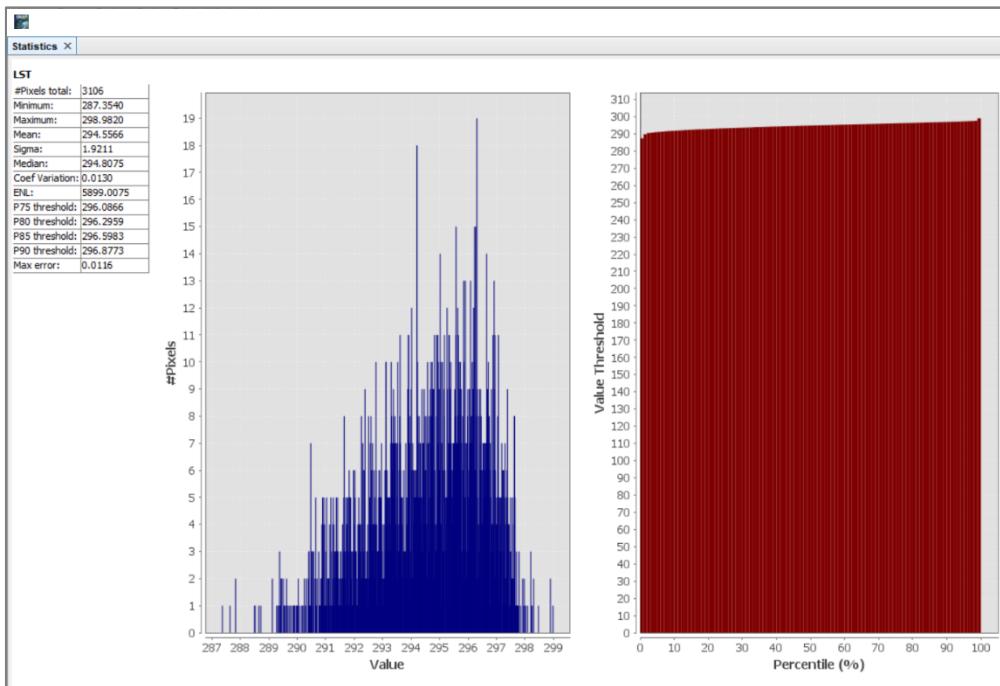
Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους της αγροτικής περιοχής για κάθε δορυφορική εικόνα βάσει ημερομηνίας παρατίθεται στον πίνακα. Η μεγαλύτερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους σε αγροτικές περιοχές παρατηρείται στις 24.07.2022.

Date	Mean Rural LST
08-07-22	290.7376
16-07-22	292.1040
24-07-22	295.2058
30-07-22	292.8806
Average Rural LST	292.7320

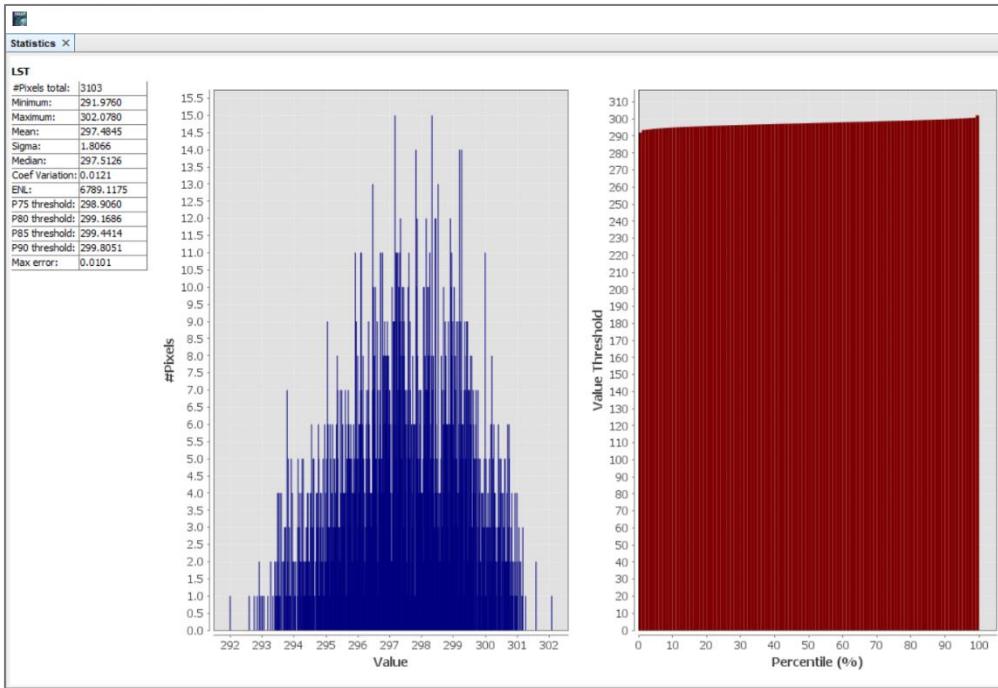
Τα στατιστικά των μασκών με την επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους στην αστική περιοχή, δηλαδή την πόλη του Παρισιού (Urban LST), για κάθε δορυφορική εικόνα, φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν. Τα στατιστικά προκύπτουν στο λογισμικό "SNAP Desktop".



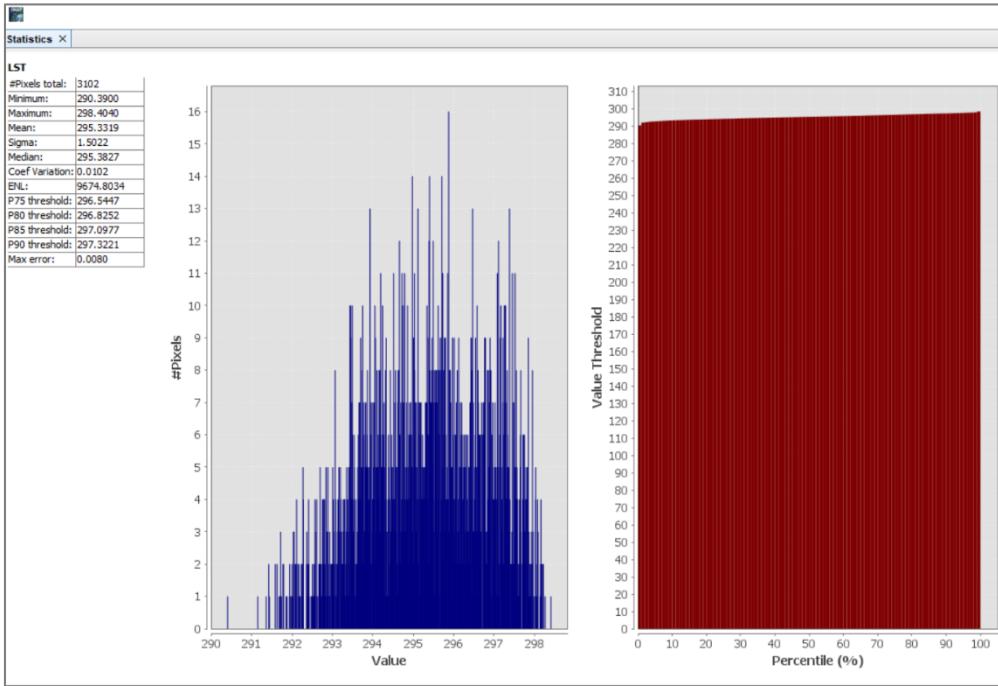
Διάγραμμα 13: Στατιστικά urban LST στις 08.07.2022



Διάγραμμα 14: Στατιστικά urban LST στις 16.07.2022



Διάγραμμα 15: Στατιστικά urban LST στις 24.07.2022



Διάγραμμα 16: Στατιστικά urban LST στις 30.07.2022

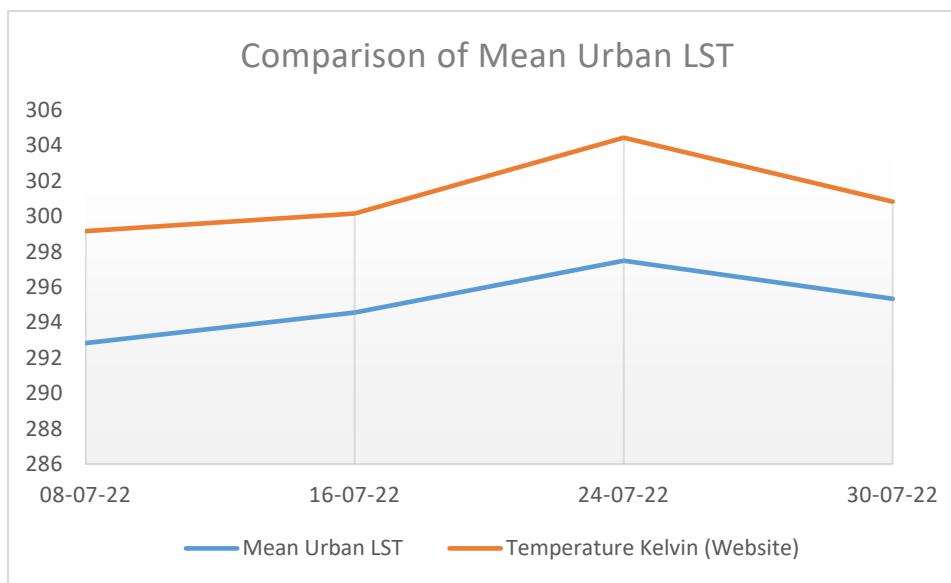
Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους της αστικής περιοχής για κάθε δορυφορική εικόνα βάσει ημερομηνίας παρατίθεται στον πίνακα. Συμπεριλαμβάνεται και σύγκριση με τις πραγματικές

τιμές που μετρήθηκαν από το website:

<https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPARIS18259/graph/2022-07-8/2022-07-8/daily>.

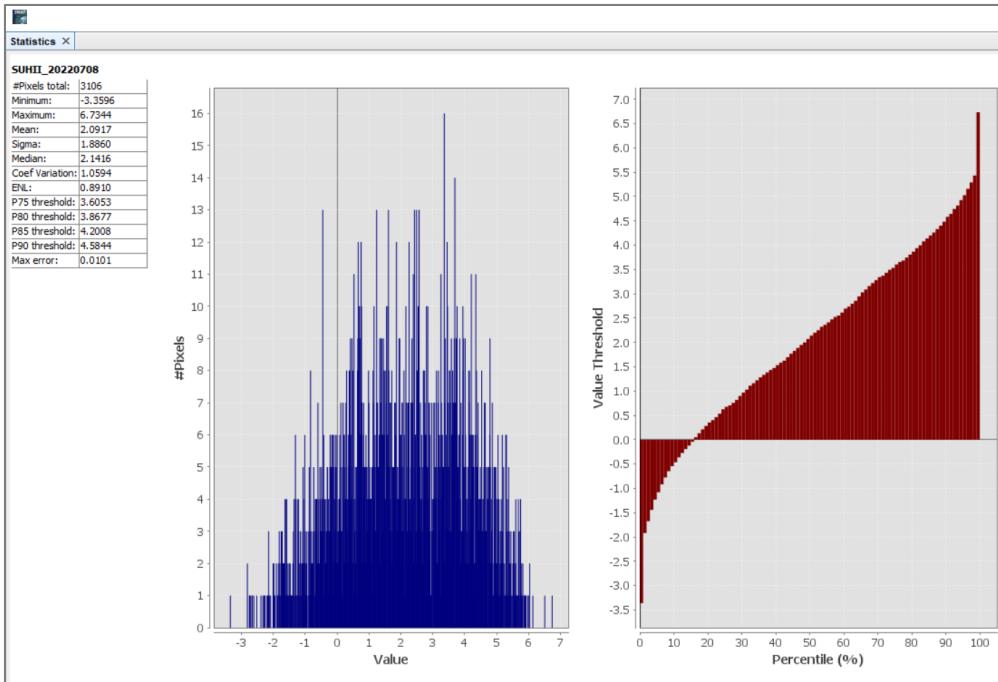
Date	Mean Urban LST	Temperature Fahrenheit (Website)	Temperature Kelvin (Website)	Difference	Average Difference
08-07-22	292.8293	78.8	299.1500	6.3207	6.0855
16-07-22	294.5566	80.6	300.1500	5.5934	
24-07-22	297.4845	88.3	304.4278	6.9433	
30-07-22	295.3319	81.8	300.8167	5.4848	
Average Urban LST	295.0506		301.1361		

Ακόμη, δημιουργήθηκε γραμμικό διάγραμμα για να συγκριθούν και οπτικά οι αστικές θερμοκρασίες του εδάφους όπως υπολογίστηκαν από τις δορυφορικές εικόνες και από τον σταθμό της ιστοσελίδας. Συμπεραίνεται ότι η υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία εδάφους στην πόλη του Παρισιού μετρήθηκε στις 24.07.2022, και ότι οι το μέσο Urban LST που υπολογίστηκε από τις δορυφορικές εικόνες, είναι μικρότερο από τις τιμές που καταγράφηκαν στην ιστοσελίδα, περίπου κατά 6.09 Kelvin.

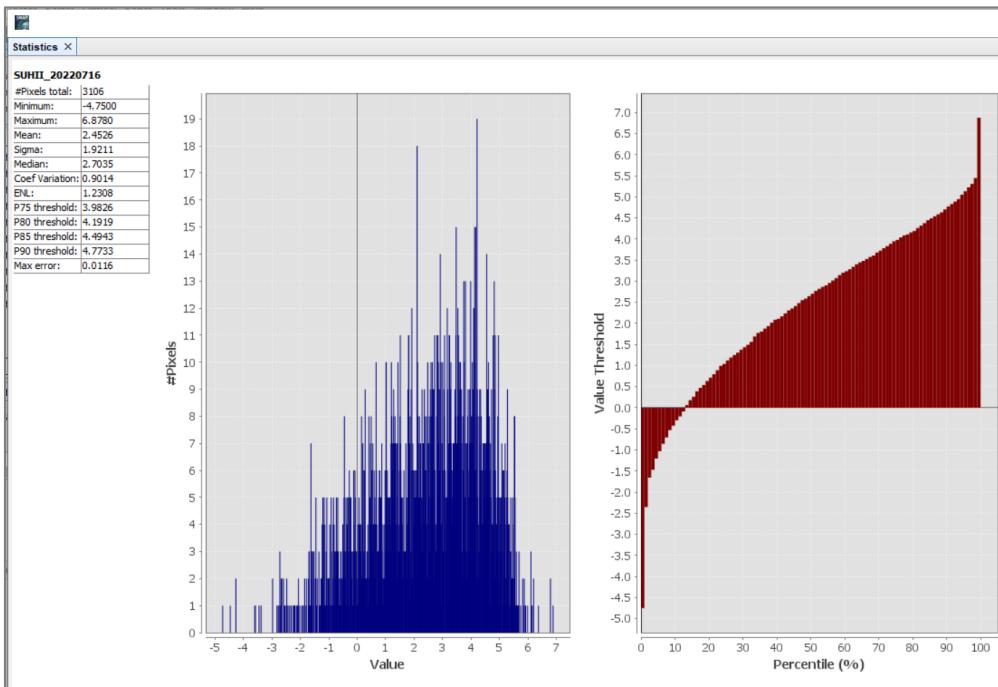


Διάγραμμα 17: Σύγκριση τιμών Mean Urban LST από τις δορυφορικές εικόνες και από τον μετεωρολογικό σταθμό

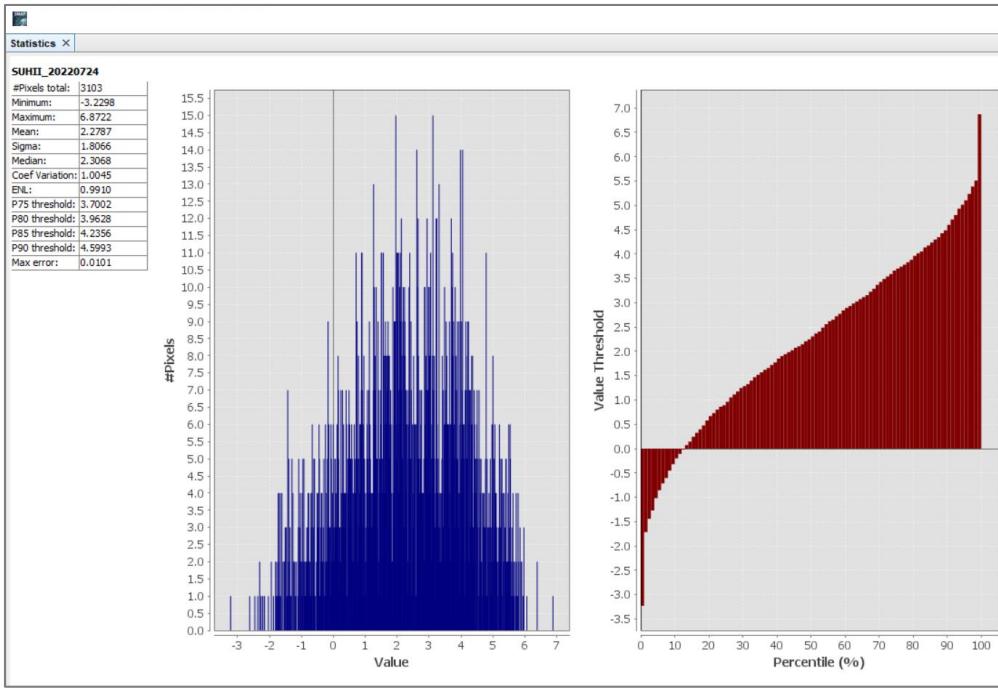
Τα στατιστικά των bands με την ένταση SUHI, για κάθε δορυφορική εικόνα, φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν. Τα στατιστικά προκύπτουν στο λογισμικό “SNAP Desktop”.



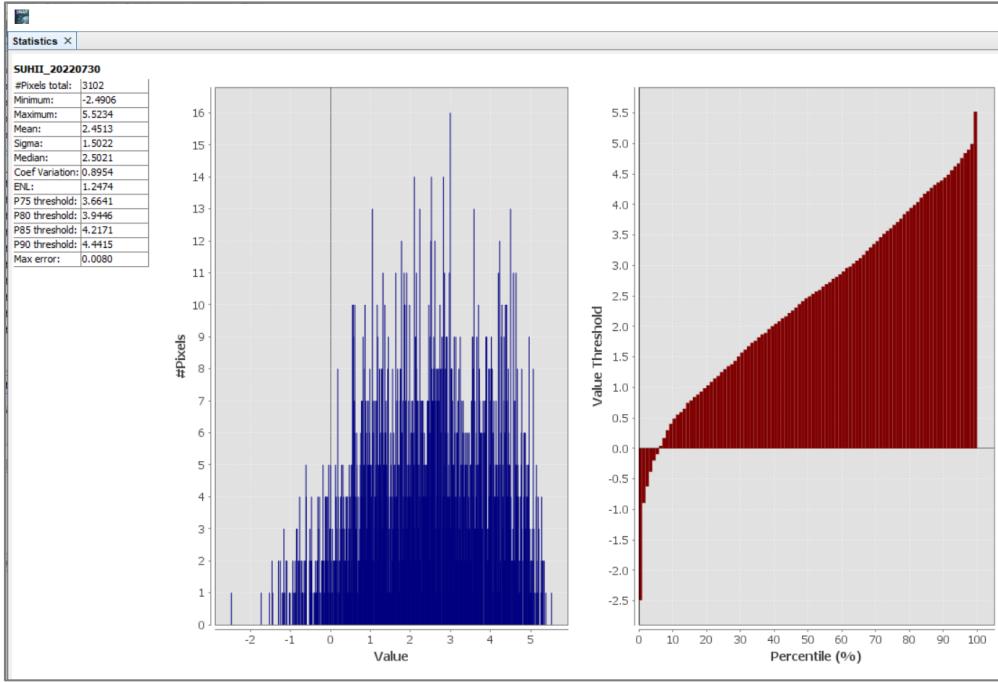
Διάγραμμα 18: Στατιστικά SUHII στις 08.07.2022



Διάγραμμα 19: Στατιστικά SUHII στις 16.07.2022



Διάγραμμα 20: Στατιστικά SUHII στις 24.07.2022

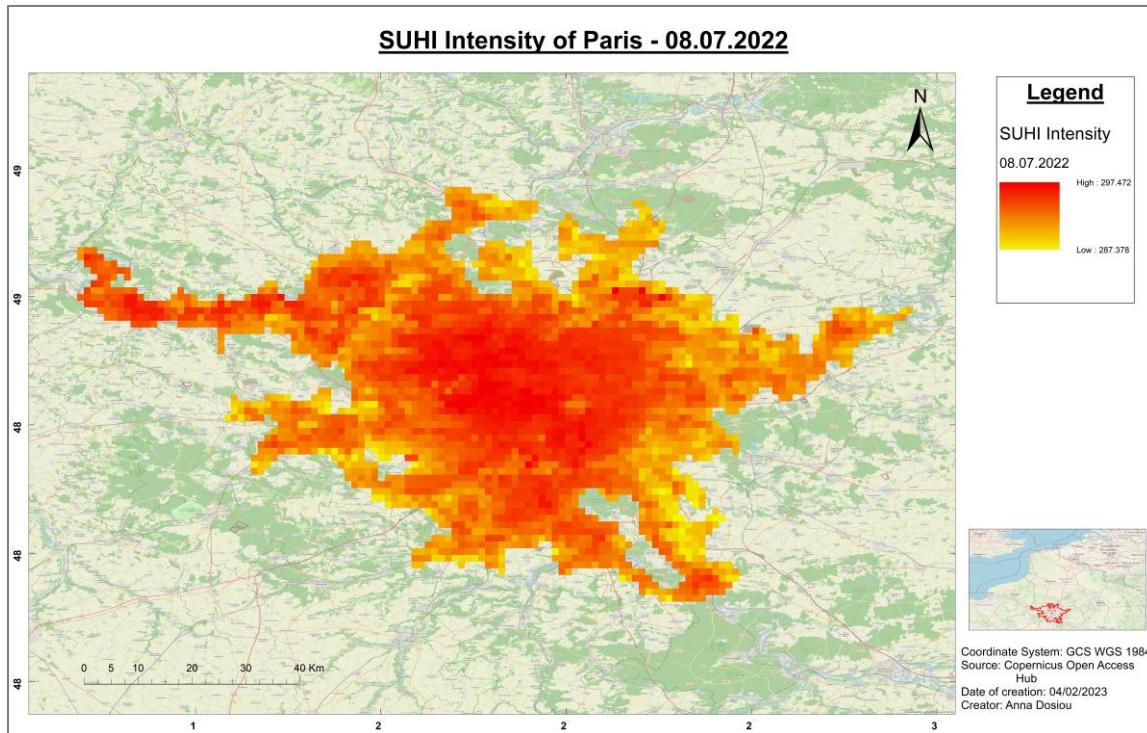


Διάγραμμα 21: Στατιστικά SUHII στις 30.07.2022

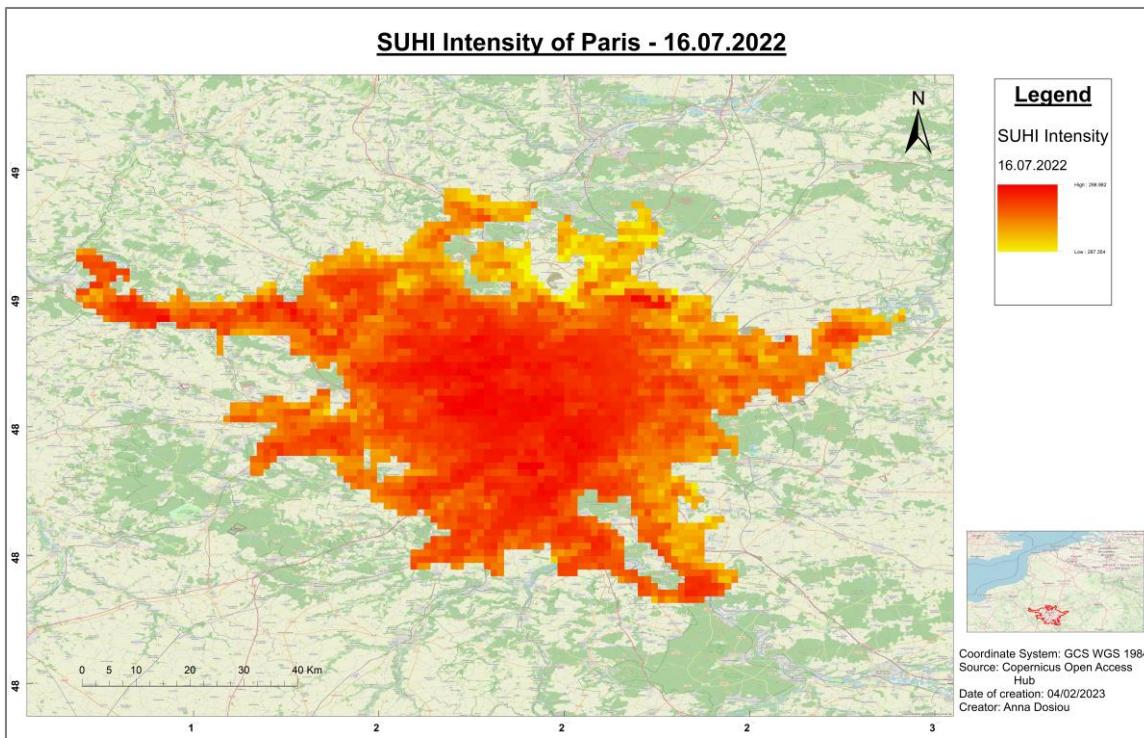
Η μέση τιμή της έντασης SUHI, για κάθε ημερομηνία λήψης εικόνας, παρατίθεται στον ακόλουθο πίνακα. Παρατηρείται ότι η υψηλότερη μέση ένταση SUHI για το Παρίσι παρατηρήθηκε στις 24.07.2022.

Date	Mean SUHII - Statistics	Mean SUHII - Manually (urban-rural)	Difference
08-07-22	2.0917	2.0917	0.0000
16-07-22	2.4526	2.4526	0.0000
24-07-22	2.2787	2.2787	0.0000
30-07-22	2.4513	2.4513	0.0000
Average SUHII	2.3186	2.3186	

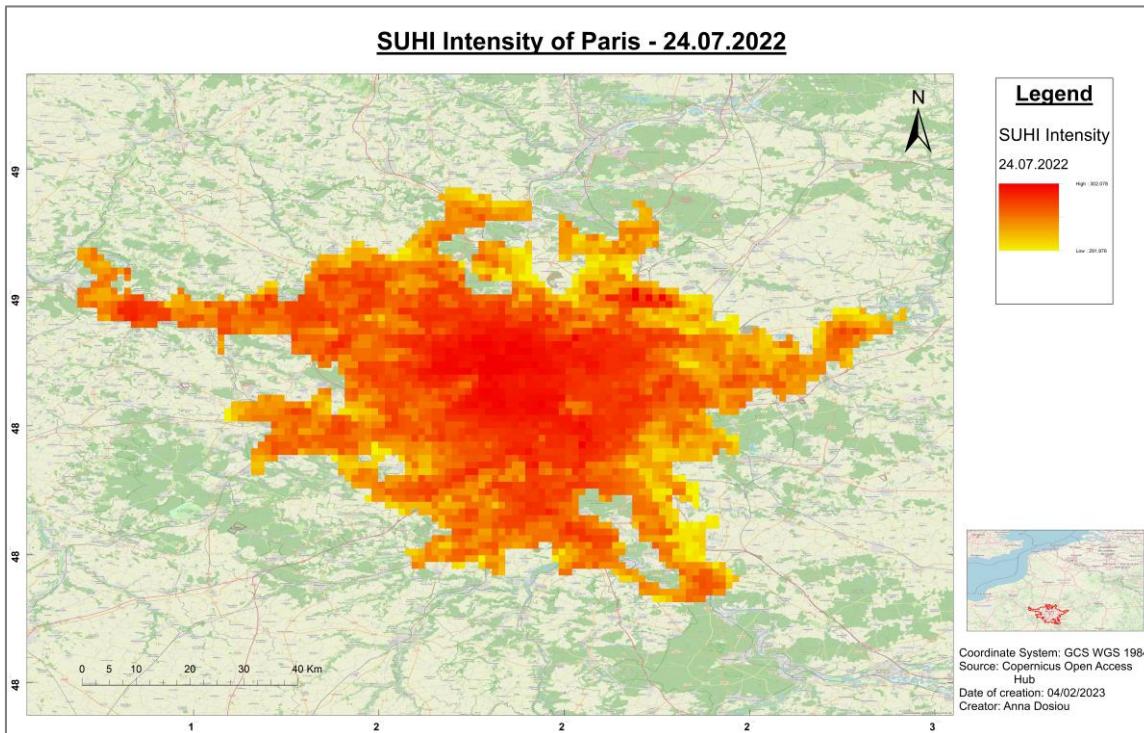
Οι χάρτες που ακολουθούν απεικονίζουν το SUHII στο Παρίσι ανά ημερομηνία. Ως basemap χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης OpenStreetMap. Από την αξιολόγηση των χαρτών συμπεραίνεται ότι η ένταση SUHI είναι μειωμένη σε σημεία που έχουν πάρκα, λίμνες, ποτάμια, και δάση, συγκριτικά με τα υπόλοιπα σημεία που περιέχουν αστικές επιφάνειες όπου εκεί είναι αυξημένη η SUHII.



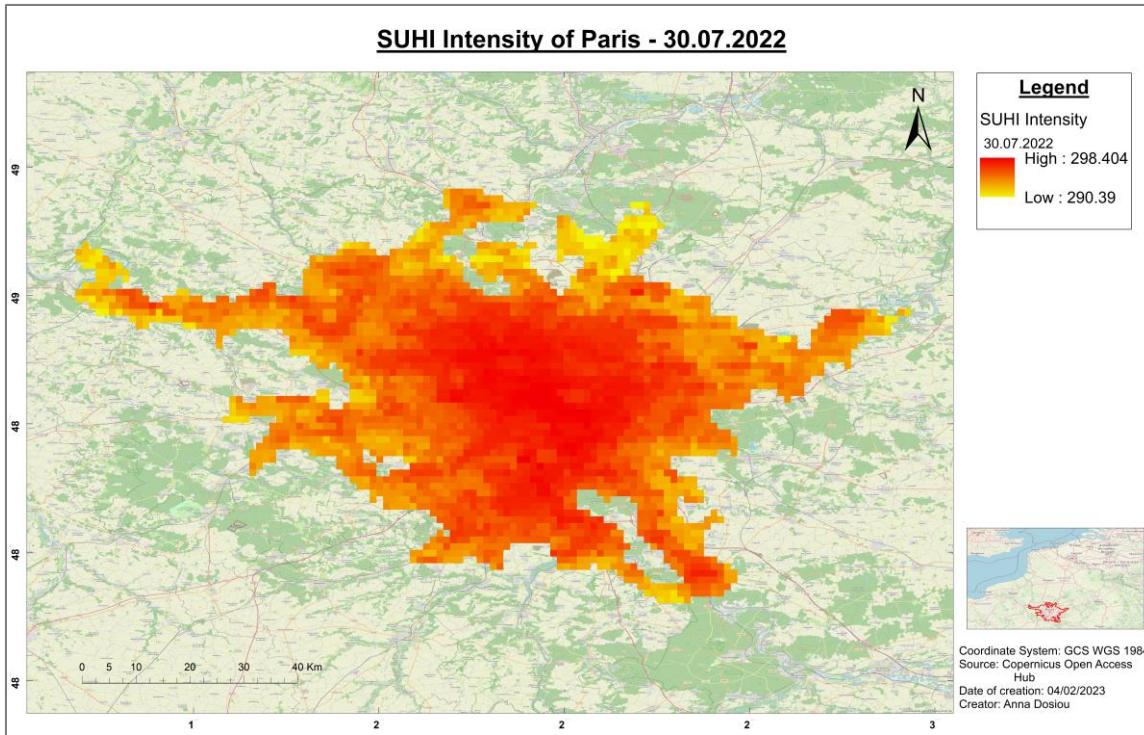
Χάρτης 2: Χάρτης Έντασης SUHI στο Παρίσι στις 08.07.2022



Χάρτης 3: Χάρτης Έντασης SUHI στο Παρίσι στις 16.07.2022



Χάρτης 4: Χάρτης Έντασης SUHI στο Παρίσι στις 24.07.2022



Χάρτης 5: Χάρτης Έντασης SUHI στο Παρίσι στις 30.07.2022

6. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Οι μετρήσεις των επιφανειακών θερμοκρασιών του εδάφους στις αστικές και μη αστικές περιοχές, καθώς και της διαφοράς τους συντελούν στην συνειδητοποίηση της επίδρασης και σύνδεσης αυτών με το κλίμα της περιοχής. Το Παρίσι είναι από τις μεγαλύτερες και σημαντικότερες πόλεις του κόσμου, και η τιμές του Urban LST, Rural LST, και SUHII κρίνεται απαραίτητο να μελετώνται και να αναλύονται. Αυτά αποσκοπούν στην εμπειριστατωμένη με μετρήσεις παρουσίαση του μικροκλίματος της περιοχής, και στην λήψη αποφάσεων για τον περιορισμό και αντιμετώπιση του φαινόμενου της αύξησης της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές.

Από τα συγκεκριμένα δεδομένα παρατηρήθηκε ότι η μέση διαφορά στις θερμοκρασίες αστικών και αγροτικών περιοχών, άρα και το SUHII, είναι 2.3186 Kelvin. Επίσης, τον Ιούλιο του 2022 οι υψηλότερες θερμοκρασίες εδάφους, σε σχέση με τις άλλες τρεις ημερομηνίες που μελετήθηκαν, παρατηρήθηκαν στις 24.07.2022. Επίσης, από την σύγκριση των δεδομένων Urban LST από τις δορυφορικές εικόνες και από τον μετεωρολογικό σταθμό, παρατηρήθηκε ότι η μέση διαφορά των θερμοκρασιών είναι 6.0855 Kelvin, με τις τιμές του μετεωρολογικού σταθμού να είναι υψηλότερες. Επιπρόσθετα, από την χαρτογράφηση των εντάσεων SUHI όλων των ημερομηνιών συμπεραίνεται ότι σε σημεία με κτήρια και γενικώς αστικές επιφάνειες η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη σε σύγκριση με σημεία που βρίσκονται πάρκα, δάση, ποτάμια, και λίμνες. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα βοηθήσουν στην αξιολόγηση της μεταβολής του μικροκλίματος του Παρισιού και στην ορθή λήψη αποφάσεων περιορισμού του φαινομένου.

Βιβλιογραφία

- Ardagh, J., Daul, K., & Ehrlich, B. (2023, February 2). *Paris*. Retrieved from Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/place/Paris>
- BRGM. (2022, May 11). *A geological map of the Paris region for the general public*. Retrieved from French Geological Survey: <https://www.brgm.fr/en/news/press-release/geological-map-paris-region-general-public>
- Clerc, S., Donlon, C., Borde, F., Lamquin, N., Hunt, S. E., Smith, D., . . . Guérout, A. (2020). Benefits and Lessons Learned from the Sentinel-3 Tandem Phase. *Remote Sensing - MDPI*, 12(17), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12172668>
- Polehampton, E., Cox, C., Smith, D., Ghent, D., Wooster, M., Xu, W., . . . Dransfeld, S. (2022). *Copernicus Sentinel-3 SLSTR Land User Handbook*. European Union: ESA.
- Quartly, G. D., Nencioli, F., Raynal, M., Bonnefond, P., Garcia , P. N., Garcia-Mondéjar, A., . . . Lucas, B. (2020). The Roles of the S3MPC: Monitoring, Validation and Evolution of Sentinel-3 Altimetry Observations. *Remote Sensing - MDPI*, 12(11), 1-57. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12111763>
- Wikipedia, I. (2023, February 5). *Paris*. Retrieved from Wikipedia The Free Encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Paris&oldid=1137652017>
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., . . . Sobrino, J. (2018). Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. *Remote Sensing - MDPI*, 11(1), 1-36. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11010048>