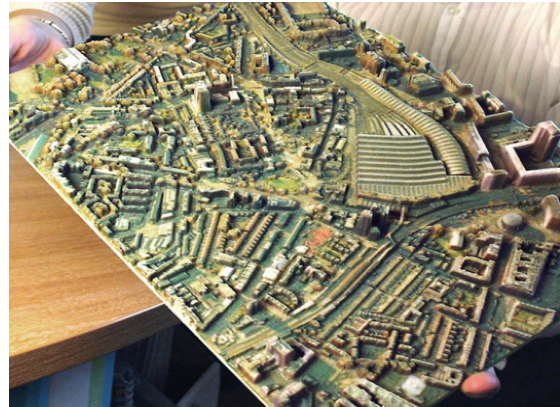
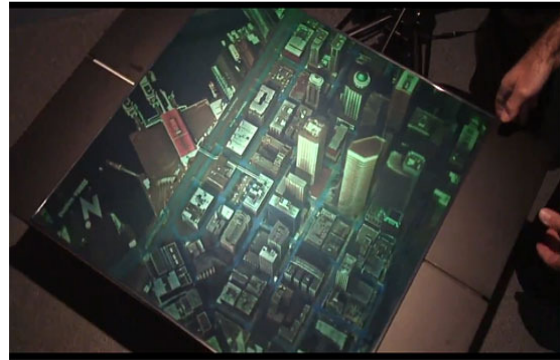
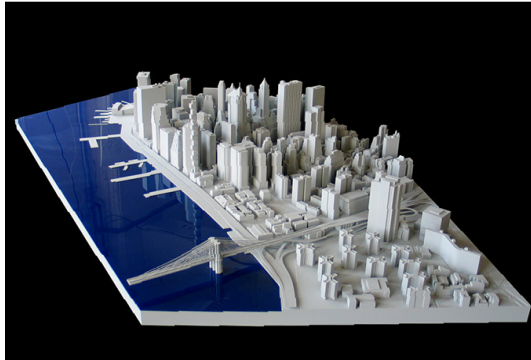




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία:

**«Διερεύνηση Μεθόδων Παραγωγής Τρισδιάστατων Χαρτών
Με την Χρήση της Ολογραφίας και της Τρισδιάστατης
Εκτύπωσης»**



ΓΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
Ακαδημαϊκό έτος 2012-2013

Αθήνα, Νοέμβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

**«Διερεύνηση Μεθόδων Παραγωγής Τρισδιάστατων Χαρτών Με την
Χρήση της Ολογραφίας και της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης»**

Διπλωματική Εργασία

Δημήτριος Γ. Γούλας

Επιβλέπων : Γεωργόπουλος Ανδρέας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
.....

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

.....
Δημήτριος Γ. Γούλας

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Γ. Γούλας, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Ανδρέα Γεωργόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή του σε όλες τις φάσεις της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ξεχωριστή ήταν η συμβολή του Ελληνικού Ινστιτούτου Ολογραφίας με τον διευθυντή του **κο Λεμπέση** να έχει συμβάλλει τόσο συμβουλευτικά όσο και υλικά στην προσπάθεια αυτή.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω για την συνεχή καθοδήγηση μέσα στην Ολογραφική διαδικασία τον επιστημονικό σύμβουλο του Ολογραφικού Ινστιτούτου **κο Σαρακηνό**. Η παροχή των απαραίτητων γνώσεων και η υποβοήθηση, που παρείχε στην επίλυση των τεχνικών ζητημάτων ήταν ιδιαίτερα κρίσιμη στην περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Ολογραφική Απεικόνιση, Τρισδιάστατη Εκτύπωση και Φωτογραμμετρία... 4	4
2. ΟΛΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΛΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ	4
2.1 Τι είναι ολογραφία..... 4	4
2.2 Ιστορική Αναδρομή..... 4	4
2.3 Διαδικασία Ολογραφίας..... 5	5
2.4 Σύγκριση Ολογραφίας και Φωτογραφίας..... 8	8
2.5 Φυσικές Αρχές της Ολογραφίας..... 9	9
2.5.1 Συμβολόμετρο Michelson (Χρόνος Ηρεμίας)..... 9	9
2.5.2 Φράγμα Περίθλασης..... 10	10
2.5.3 Ολογραφική Διαδικασία..... 12	12
2.6 Φυσική Αρχή - Μαθηματικό Μοντέλο Ολογραφίας..... 15	15
2.7 Εργαστηριακή κατασκευή Ολογράμματος..... 16	16
2.8 Κατηγοριοποίηση Ολογραμμάτων..... 18	18
2.8.1.1 Ολογράμματα διαμόρφωσης πλάτους και φάσης..... 18	18
2.8.1.2 Λεπτά Ολογράμματα και Ολογράμματα Όγκου..... 19	19
2.8.1.3 Ολογράμματα Μετάδοσης και Ανάκλασης..... 20	20
2.9 Ολογραφικά Μέσα Καταγραφής..... 21	21
2.10 Ανακατασκευή και Παρατήρηση της Ολογραφικής Εικόνας..... 23	23
2.11 Ψηφιακή Ολογραφία (Computer Generated Holography)..... 23	23
2.11.1 Μέθοδος Ολογραφικής Εκτύπωσης της Εταιρείας Geola..... 25	25
2.11.2 Μέθοδος Ολογραφικής Εκτύπωσης της Εταιρείας Zebra Im. Και η παραγωγή Ολογραφικού Χάρτη Πλήρους Παράλλαξης..... 28	28
2.12 Δημιουργία Ολογραφικού Χάρτη..... 29	29
2.12.1 Στάδια Παραγωγής Ολογραφικού Χάρτη χ-παράλλαξης..... 29	29
2.12.2 Στάδια Παραγωγής Ολογραφικού Χάρτη Πλήρους Παράλλαξης (Full Parallax)36	36
2.13 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Μεθόδων..... 37	37
2.13.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Ολογράμματος Χ παράλλαξης από την εταιρεία Geola..... 37	37
2.13.2 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Ολογράμματος Πλήρους Παράλλαξης από την εταιρεία Zebra Imaging..... 38	38
2.14 Συμπεράσματα-Προτάσεις..... 39	39
3. 3D-ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ	41
3.1 Γενικά περί Τρισδιάστατης Εκτύπωσης..... 41	41
3.2 Εξέλιξη της Τεχνολογίας 3d Prinitng..... 41	41
3.3 Μέθοδοι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης..... 42	42
3.3.1 Συνεχής Εναπόθεση Υλικού (Fused Deposition Modelling)..... 42	42
3.3.2 Κοκκώδης Σύνδεση Υλικού (Granular Material Binding)..... 43	43
3.3.2.1 Επιλεκτική Πυροσυσσωμάτωση με Laser (Selective Laser Sintering (SLS))..... 43	43
3.3.3 Φωτοπολυμερισμός..... 45	45
3.3.4 3D Printing-Inkjet binder-(Z Corp)..... 47	47
3.4 Εφαρμογές Τρισδιάστατης Εκτύπωσης..... 48	48
3.5 Διαδικασία Δημιουργίας 3-d printed Χάρτη..... 49	49
3.5.1 1 ^η Μέθοδος με την χρήση του λογισμικού Arcgis..... 49	49
3.5.2 2 ^η Μέθοδος με την συνδυασμένη χρήση του λογισμικού 3ds studio max και του Zprint..... 53	53
3.5.3 3 ^η Μέθοδος με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max..... 56	56

3.6	Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα Μεθόδου	61
3.6.1	1 ^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού Arcscene	61
3.6.2	2 ^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού 3ds max.....	62
3.6.3	3 ^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού 3ds max.....	63
3.7	Συμπεράσματα -Προτάσεις.....	63
4.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66
5.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	66
5.1	Παράρτημα «Α».....	67
5.2	Παράρτημα «Β».....	77
5.3	Παράρτημα «Γ»	84
5.4	Παράρτημα «Δ».....	87

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της χαρτογραφικής απεικόνισης με την βοήθεια της ολογραφίας και της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Αρχικά δίδεται μια συνοπτική περιγραφή της ολογραφίας, αναλύοντας πτυχές του θέματος όπως το φυσικό υπόβαθρο, οι τεχνικές εργαστηριακής παρασκευής ολογραφικών απεικονίσεων και οι εξελίξεις στον τομέα της συνθετικής κατασκευής ολογραμμάτων, που επιτρέπουν την κατασκευή ολογραμμάτων από τρισδιάστατα ψηφιακά μοντέλα, χωρίς την φυσική παρουσία των αντικειμένων.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η κατασκευή του ολογραφικού χάρτη με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max. Το λογισμικό αποτελεί ουσιαστικά ένα περιβάλλον τρισδιάστατης ψηφιακής σχεδίασης στο οποίο εισάγεται το μοντέλο και λαμβάνονται οι απαραίτητες λήψεις με την βοήθεια εικονικής κάμερας για την δημιουργία του τελικού ολογραφικού μοντέλου. Επίσης παρουσιάζεται η τεχνική κατασκευής ολογραμμάτων πλήρους παράλλαξης σε περιβάλλον γεωγραφικών δεδομένων (Arcgis).

Στο δεύτερο μέρος πραγματοποιείται η παρουσίαση της τεχνικής της τρισδιάστατης εκτύπωσης, και συγκεκριμένα οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με την χρήση διαφορετικών υλικών και τεχνικών. Η παρουσίαση αυτή περιλαμβάνει και την περιγραφή των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα υλικά και τεχνικές.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η κατασκευή τρισδιάστατου εκτυπωμένου χάρτη με την χρήση τριών διαφορετικών τεχνικών, μέχρι το τελικό στάδιο σε εικονικό περιβάλλον και επιλέγεται η προσφορότερη μέθοδος για να εκτυπωθεί ο χάρτης της νήσου Αντίπαρος σε κλίμακα 1:100.000.

Συνοψίζοντας η διπλωματική εργασία αποτελείται από το θεωρητικό και το πρακτικό μέρος. Στο **θεωρητικό μέρος** πραγματοποιείται μια ανάλυση της ολογραφίας ως μεθόδου απεικόνισης, πώς λειτουργεί, πώς υλοποιείται και σε ποια φυσική αρχή στηρίζεται. Επίσης γίνεται ανάλυση της 3-διάστατης εκτύπωσης καθώς και των υπαρχουσών μεθόδων και υλικών που χρησιμοποιούνται. Ενώ στο **πρακτικό μέρος** πραγματοποιείται η δημιουργία ολογραφικού χάρτη μέχρι το τελικό στάδιο και η εκτύπωσή του και σε ένα δεύτερο μέρος η δημιουργία ενός χάρτη σε 3-διάστατη εκτύπωση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ολογραφική Απεικόνιση, Τρισδιάστατη Εκτύπωση και Φωτογραμμετρία.

Η διαδικασία παραγωγής ολογραφικού χάρτη καθώς και η παραγωγή τρισδιάστατου εκτυπωμένου χάρτη (3d-printed map) είναι άρρηκτα δεμένες με την φωτογραμμετρική παραγωγή και διαδικασία. Αποτελούν το επιστέγασμα της φωτογραμμετρικής παραγωγής, αφού η συνδυασμένη χρήση ορθοεικόνων, που προήλθαν από αεροφωτογραφήσεις, και ψηφιακού μοντέλου εδάφους, που είναι συνήθως αποτέλεσμα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας, οδηγεί στην παραγωγή των τελικών προϊόντων. Τόσο ο ολογραφικός χάρτης όσο και η τρισδιάστατη εκτύπωση χάρτη αποτελούν την απεικονιστική τεκμηρίωση της γεωγραφικής πληροφορίας με νέα σύγχρονα μέσα, ώστε να καταστεί περισσότερο εύληπτη στον τελικό χρήστη και με αυτό τον τρόπο να αυξηθούν τις δυνατότητες απεικόνισης και σχεδιασμού με την χρήση των παραπάνω μεθόδων.

2. ΟΛΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΟΛΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

2.1 Τι είναι ολογραφία

Η ολογραφία είναι μια φωτογραφική τεχνική τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένων. Η ονομασία της προέρχεται από την σύνθεση των λέξεων «Όλος» και «Γραφή». Ουσιαστικά η τεχνική αυτή επιτρέπει στο ανακλώμενο, από το αντικείμενο, φως, να καταγράφεται καταλλήλως, ώστε αργότερα να αναδομείται όλη η τρισδιάστατη πληροφορία του αντικειμένου.

Όταν τοποθετηθεί έμπροσθεν της αναδομούμενης δέσμης ένα σύστημα απεικόνισης (είτε μια κάμερα ή το ανθρώπινο μάτι), δημιουργείται μια απεικόνιση του αντικειμένου χωρίς το αντικείμενο να είναι παρόν (Holography Ostrovsky, 1972). Η εικόνα του αντικειμένου αλλάζει καθώς το μάτι του παρατηρητή αλλάζει θέση και προσανατολισμό, με ακριβώς τον ίδιο τρόπο σαν να ήταν το αντικείμενο παρόν, έτσι το αντικείμενο παρουσιάζεται **τρειςδιάστατο**.

Συνοψίζοντας Ολόγραμμα είναι το αποτύπωμα που προκύπτει σε θερμοπλαστικό, σε φωτογραφικό φιλμ ή σε οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υλικό, χωρίς την χρήση φωτογραφικού φακού, από αντικείμενο που φωτίζεται από μονοχρωματική και σύμφωνη ακτινοβολία, όπως π.χ. οι ακτίνες laser.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Η ολογραφία αποτελεί αποτέλεσμα της έρευνας του δευτέρου μισού του 20^{ου} αιώνα. Επιγραμματικά θα μπορούσαν να αναφερθούν οι παρακάτω σταθμοί στην εξέλιξη της:

1948: Ο ουγγρικής καταγωγής Dennis Gabor αναπτύσσει την βασική θεωρία της ολογραφίας. Η μέθοδος του Gabor παρέμεινε ανεκμετάλλευτη για πολλά χρόνια λόγω έλλειψης κατάλληλης μονοχρωματικής φωτεινής πηγής απαραίτητης για την εγγραφή του ολογράμματος.

1962: Οι Emmet Leith και Yuris Upatnieks κατέγραψαν το πρώτο ολόγραμμα τέσσερα χρόνια μετά την εφεύρεση του laser (Ήταν η απαραίτητη πηγή παραγωγής σύμφωνου και μονοχρωματικού φωτός). Η μέθοδος των Leith & Upatnieks είχε το σοβαρό μειονέκτημα, ότι απαιτούσε τη χρήση laser για τον φωτισμό του ολογράμματος για την σωστή αναπαραγωγή του ειδώλου.

1962: Η μεγάλη ώθηση ήρθε από τις εργασίες του Ρώσου Y.N.Denisyuk, ο οποίος ανακάλυψε την ομώνυμη μέθοδο καταγραφής ολογραμμάτων. Τα ολογράμματα Denisyuk αναπαράγουν τα τρισδιάστατα είδωλά τους όταν φωτίζονται από κοινές πηγές σημειακού φωτισμού ή τον ήλιο.

1965: Οι Robert Powell και Carl Stetson ανέπτυξαν την θεωρία της ολογραφικής συμβολομετρίας.

1968: Γίνεται η παρουσίαση του πρώτου διαπερατού ολογράμματος λευκού φωτός από τον Dr. Steven Benton

1971: Ο Denis Gabor τιμάται με το βραβείο νόμπελ για την ανακάλυψη της Ολογραφίας.

1972: Ο Lloyd Cross ήταν ο πρώτος που συνδύασε την ολογραφία με την κινηματογραφία για να παράγει 3D κινούμενες εικόνες (holographic stereogram)

1976: Ο Victor Victor και οι συνάδελφοί του από το All Union Cinema και το Photographic Research Institute (NIFKI) USSR ανέπτυξαν έναν πρωτότυπο προβολέα ολογραφικών ταινιών όπου 2-3 άτομα μπορούσαν να παρακολουθήσουν μια ταινία 47sec χωρίς την χρήση γυαλιών.

1983: Η Mastercard International ήταν η πρώτη που χρησιμοποίησε την ολογραφία για λόγους ασφαλείας στις πιστωτικές κάρτες της.

2010: Η εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων και η ανάπτυξη της ψηφιακής φωτογραφίας και του βίντεο σε υψηλή ανάλυση επιτρέπει πλέον την κατασκευή ψηφιακών συνθετικών ολογραμμάτων που αποτυπώνουν βάθος, λεπτομέρεια και παράλλαξη. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη ειδικών φωτο-ευαίσθητων υλικών δίδει την δυνατότητα πολύχρωμων ολογραμμάτων με πλήρη χρωματική απόδοση του φάσματος της ίριδος.

2.3 Διαδικασία Ολογραφίας

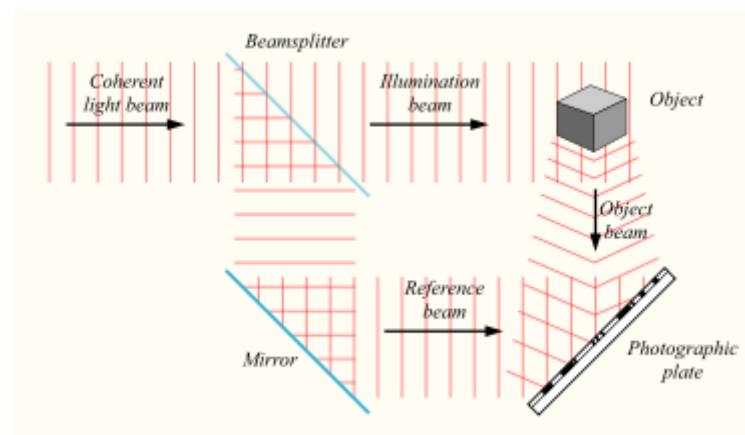
Τα ολογράμματα καταγράφονται χρησιμοποιώντας μια δέσμη φωτός που φωτίζει μια σκηνή και στη συνέχεια, αποτυπώνονται σε ένα μέσο καταγραφής, με τρόπο όμοιο με τον οποίο καταγράφεται μια συνηθισμένη φωτογραφία. Σε αντίθεση όμως με την φωτογραφία, μέρος της φωτεινής δέσμης πρέπει να εκπέμπεται κατευθείαν στο μέσο εγγραφής (η δεύτερη δέσμη φωτός, που είναι γνωστή ως **δέσμη αναφοράς**).

Ένα ολόγραμμα απαιτεί το λέιζερ ως μόνη πηγή φωτός. Το λέιζερ μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια (με εργαστηριακές μεθόδους) και να έχει ένα σταθερό

μήκος κύματος, σε αντίθεση με το φως του ήλιου ή το φως από τις συμβατικές πηγές, που περιέχουν πολλά διαφορετικά μήκη κύματος.

Για να αποφευχθεί η παρέμβαση του εξωτερικού φωτός, τα ολογράμματα συνήθως λαμβάνονται στο σκοτάδι, ή σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού διαφορετικού χρώματος από το φως του λέιζερ που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του ολογράμματος. Επιπροσθέτως η ολογραφία απαιτεί συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης, όπως άλλωστε και η κοινή φωτογραφία, ο οποίος μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφραγμα, ή χρονομετρώντας ηλεκτρονικά το λέιζερ.

Η κύρια μέθοδος για την εγγραφή ενός ολογράμματος (Φυσική Young, 2000) απαιτεί την ακτίνα λέιζερ να στοχεύει μέσα από μια σειρά συστημάτων που θα επιφέρουν μεταβολές στην αρχική δέσμη. Το πρώτο στοιχείο είναι ένας **διαχωριστής δέσμης** (beam splitter), που χωρίζει τη δέσμη σε δύο πανομοιότυπες ακτίνες, και κάθε τμήμα δέσμης κατευθύνεται σε διαφορετικές διευθύνσεις:

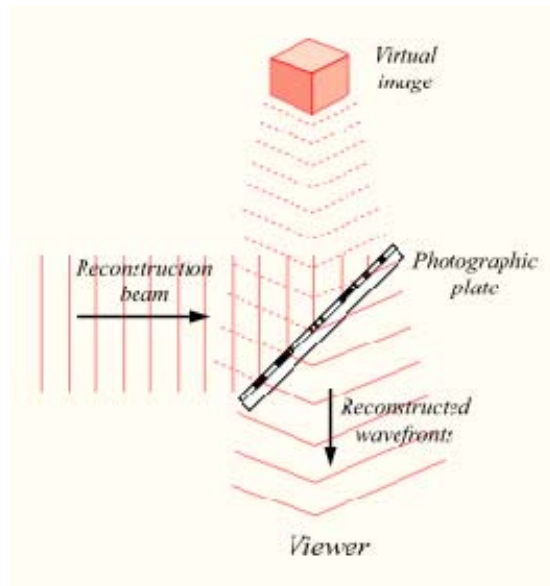


Εικόνα 1: Σχηματική Ολογραφική Διάταξη (Πηγή Φυσική Young, 2000)

Η πρώτη δέσμη (ονομάζεται και αντικειμενική δέσμη) έχει διαχωριστεί χρησιμοποιώντας φακούς και κατευθύνεται επάνω στη σκηνή χρησιμοποιώντας κάτοπτρα. Μέρος του φωτός ανακλάται από το αντικείμενο και πέφτει στη συνέχεια επάνω στο μέσο εγγραφής. (Φυσική Young, 2000)

Η δεύτερη δέσμη (γνωστή και ως δέσμη αναφοράς) μεταδίδεται επίσης με την χρήση οπτικών συστημάτων και κατευθύνεται έτσι ώστε να μην έρχεται σε επαφή με το αντικείμενο, και να προσπίπτει απευθείας επάνω στο μέσο εγγραφής.

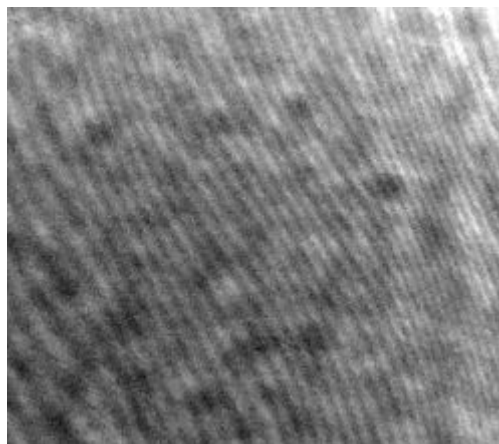
Όταν οι δύο δέσμες λέιζερ φτάσουν στο μέσο εγγραφής, τα κύματα φωτός συμβάλλουν μεταξύ τους. Αυτό το διαμόρφωμα συμβολής, αποτυπώνεται στο μέσο εγγραφής. Το πρότυπο (μοτίβο) είναι φαινομενικά τυχαίο, καθώς αποτελεί τον τρόπο με τον οποίο το φως της σκηνής συνέβαλε με την αρχική πηγή φωτός. Το διαμόρφωμα συμβολής δύναται να λεχθεί ότι είναι μια κωδικοποιημένη αποτύπωση του αντικείμενου, που απαιτεί ένα συγκεκριμένο «κλειδί», την αρχική πηγή φωτός, για να προβληθεί το περιεχόμενό του.



Εικόνα 2: Ανακατασκευάζοντας ένα Ολόγραμμα (Πηγή Φυσική Young,2000)

Αυτή η προβολή πραγματοποιείται αργότερα με την επίδραση μιας ακτίνας λέιζερ, με ίδιες ιδιότητες με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για να καταγραφεί το ολόγραμμα. Όταν αυτή η δέσμη φωτίζει το ολόγραμμα, διαθλάται από την επιφάνεια του ολογραφικού μοτίβου (rattern). Αυτό παράγει ένα πεδίο φωτός το οποίο είναι πανομοιότυπο με εκείνο που παράχθηκε από την αρχική σκηνή. Η εικόνα αυτή παράγει αποτελέσματα στο ανθρώπινο μάτι και είναι γνωστή ως φανταστική εικόνα. (Φυσική Young,2000)

Ως μέσο καταγραφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά διαφορετικά υλικά. Ένα από τα πιο κοινά είναι μια ταινία που μοιάζει πολύ με φωτογραφικό φιλμ (από φωτογραφικό γαλάκτωμα αλογονούχου αργύρου), αλλά με πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση φωτοευαίσθητων κόκκων, γεγονός που καθιστά εφικτή την εκτύπωση με πολύ υψηλότερη ανάλυση, που απαιτούν τα ολογράμματα. Ένα στρώμα από αυτό το μέσο καταγραφής (φιλμ, κλπ.) είναι συνδεδεμένο με ένα διαφανές υπόστρωμα, το οποίο είναι συνήθως κατασκευασμένο από γυαλί, ή και από πλαστικό.



Εικόνα 3: Ολογραφική Καταγραφή

2.4 Σύγκριση Ολογραφίας και Φωτογραφίας.

Ολογραφία μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητή μέσω της εξέτασης των διαφορών της με την φωτογραφία:

1. Ένα ολόγραμμα αποτελεί μια καταγραφή των πληροφοριών σχετικά με το φως που προέρχονται από την αρχική σκηνή ως ανάκλαση σε μια σειρά από κατευθύνσεις και όχι μόνο από μία κατεύθυνση, όπως σε μια φωτογραφία. Αυτό επιτρέπει η σκηνή να είναι ορατή από μια σειρά από διαφορετικές γωνίες, σαν να ήταν ακόμη παρόν το τρισδιάστατο αντικείμενο.

2. Για να καταγραφεί η εικόνα στη φωτογραφία απαιτείται φακός, ενώ στην ολογραφία, το φως από το αντικείμενο ανακλάται και προσπίπτει απευθείας στο μέσο εγγραφής.

3. Η ολογραφική καταγραφή απαιτεί μια δεύτερη δέσμη φωτός (τη δέσμη αναφοράς) που πρέπει να κατευθύνεται και αυτή στο μέσο εγγραφής.

4. Όταν μια φωτογραφία κόβεται σε δύο μέρη, κάθε κομμάτι προβάλλει αντίστοιχο μέρος του αντικειμένου. Αντίθετα, όταν ένα ολόγραμμα κοπεί στη μέση, ολόκληρο το αντικείμενο φαίνεται σε κάθε κομμάτι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, ενώ κάθε σημείο σε μια φωτογραφία αντιπροσωπεύει μόνο το φως που ανακλάται από ένα σημείο στη σκηνή, σε μια ολογραφική καταγραφή περιλαμβάνει πληροφορίες για το φως που διαχέεται από κάθε σημείο της σκηνής. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό, πραγματοποιείται το παρακάτω πείραμα σκέψης. Ένας άνθρωπος κοιτάζει μέσα από ένα παράθυρο δύο επί δύο μια σκηνή, αν αυτό το παράθυρο μειωθεί και γίνει διαστάσεων ένα επί ένα ο άνθρωπος θα βλέπει την ίδια σκηνή σε μικρότερη ανάλυση. Η παραπάνω αναλογία περιγράφει την ιδιότητα της ολογραφικής μεθόδου.

5. Η φωτογραφία είναι μια δισδιάστατη απεικόνιση που μπορεί να αναπαράγει μόνο ένα υποτυπώδες τρισδιάστατο αποτέλεσμα. Αντίθετα, το αναπαραγόμενο εύρος θέασης ενός ολογράμματος προσθέτει πολλές δυνατότητες αντίληψης του βάθους, που ήταν παρόν στην αρχική σκηνή. Αυτή η αντίληψη αναγνωρίζεται από τον ανθρώπινο ως να ήταν το αρχικό αντικείμενο παρόν.

6. Η φωτογραφία απεικονίζει σαφώς το σύνολο των φωτεινών ακτινών, που προήρθαν από την αρχική σκηνή. Η επιφάνεια στην οποία αναπτύχθηκε το ολόγραμμα αποτελείται από ένα φαινομενικά τυχαίο σχέδιο, το οποίο φαίνεται να μην έχει καμία σχέση με τη σκηνή που έχει καταγραφεί και γενικότερα με το σύνολο της πληροφορίας που έχει καταγραφεί.

7. Μια φωτογραφία μπορεί να προβληθεί σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών φωτισμού, ενώ τα ολογράμματα μπορούν να γίνουν αντιληπτά μόνο με πολύ συγκεκριμένες συνθήκες του φωτισμού. (Πηγή: Wikipedia)

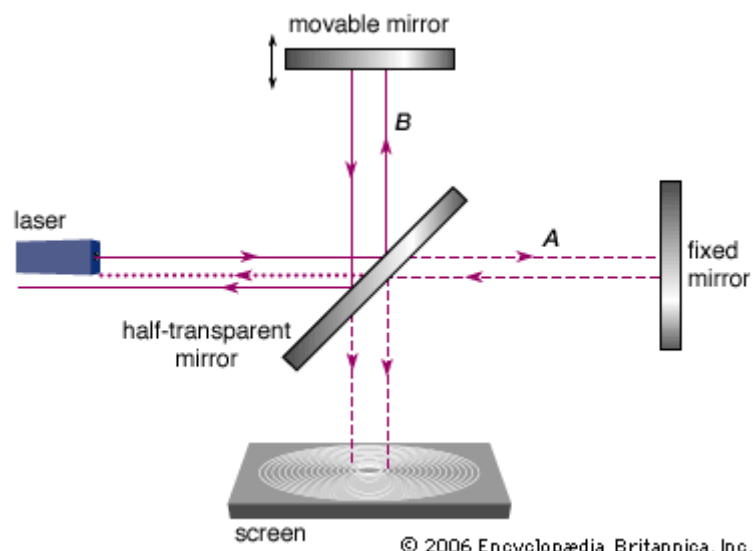
2.5 Φυσικές Αρχές της Ολογραφίας

2.5.1 Συμβολόμετρο Michelson (Χρόνος Ηρεμίας)

Πριν από την διαδικασία κατασκευής ενός ολογράμματος, χρειάζεται να διαπιστωθεί κατά πόσον το σύστημα είναι σταθερό και απαλλαγμένο από δονήσεις καθώς και να υπολογισθεί ο χρόνος ηρεμίας (Relaxation Time).

Η ανίχνευση των οιωνδήποτε δονήσεων που εμφανίζονται σε μια εργαστηριακή τράπεζα ολογραφίας (επίπεδο στήριξης των επιμέρους συστημάτων της ολογραφικής διάταξης) γίνεται με το συμβολόμετρο Michelson (Michelson Interferometer). Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται χαρακτηριστική διάταξη για ένα συμβολόμετρο Michelson.

Το λέιζερ τοποθετείται κεντρικά στην μία πλευρά της οπτικής τράπεζας, σε τέτοιο ύψος που να επιτρέπει στην ακτίνα να είναι περίπου 20 έως 25 εκατοστά επάνω από την επιφάνεια της τράπεζας. Η ακτίνα θα οδηγηθεί σε ένα διαχωριστή δέσμης (beam splitter) όπου θα διαχωριστεί σε δύο ακτίνες. Μια ακτίνα διαβιβάζεται μέσω του διαχωριστή δέσμης (beam splitter) για να ανακλαστεί στο κάτοπτρο και η άλλη ακτίνα αλλάζει πορεία κατά 90 μοίρες για να ανακλαστεί στο άλλο κάτοπτρο. Η απόσταση, ή όπως αλλιώς ονομάζεται το μήκος των πορειών, μεταξύ κάθε κατόπτρου και του beam splitter πρέπει να είναι ίση (με διαφορά 2-3 εκατοστών). Αυτές οι αποστάσεις μπορούν να καθοριστούν με μια μετροταινία και πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερες, πράγμα που εξαρτάται από το μέγεθος της οπτικής τράπεζας.



Εικόνα 4. Συμβολόμετρο Michelson (Πηγή Britannica,2006)

Η συμβολή επιτυγχάνεται με την βοήθεια μικρομετρικών κινήσεων του ενός από τα δύο κάτοπτρα.

Η ακρίβεια του πειράματος αυξάνει ανάλογα με την απόσταση των δύο κατόπτρων από το διαχωριστή δέσμης. Οι δύο ακτίνες που έχουν κατευθυνθεί στα αντίστοιχα κάτοπτρα θα ανακλαστούν με την σειρά τους πίσω στον διαχωριστή δέσμης και θα οδηγηθούν στο πέτασμα s (screen), όπου θα φανούν δύο φωτεινές κηλίδες. Ο επόμενος στόχος είναι να ταυτιστούν αυτές οι δύο κηλίδες. Κατά την

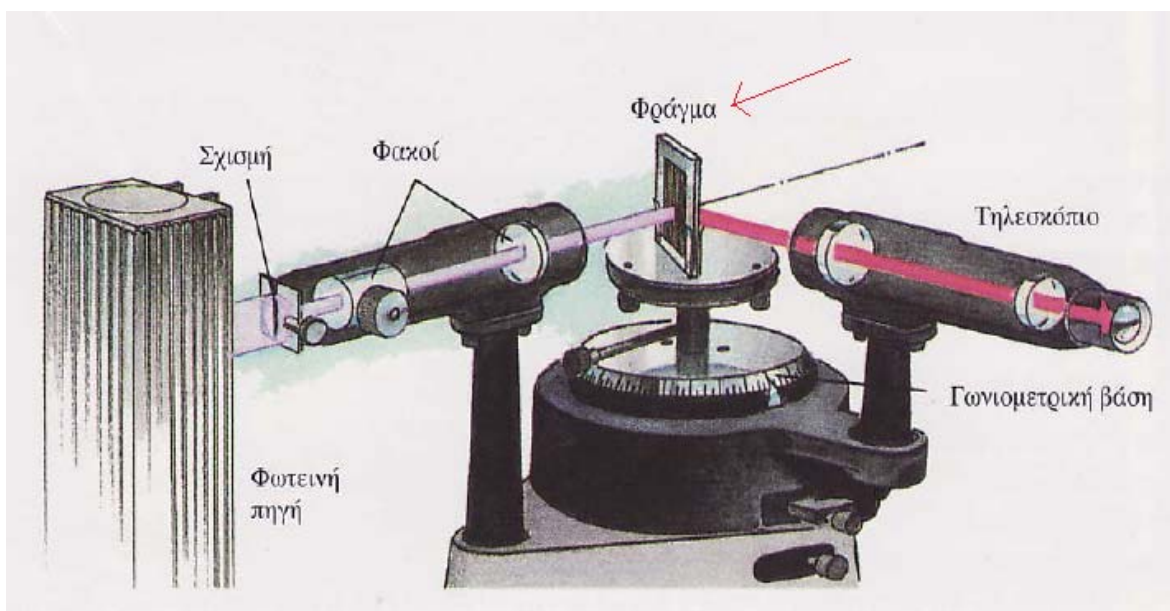
σύμπτωση θα φανούν στο πέτασμα κροσσοί συμβολής (Εικόνα 3). Εάν υπάρξει η παραμικρή δόνηση στο σύστημα, αυτή καταγράφεται με διατάραξη των κροσσών συμβολής. Ο χρόνος που απαιτείται για να ηρεμήσει το σύστημα είναι ο χρόνος ηρεμίας (Relaxation time), ο οποίος λαμβάνεται υπόψη πριν αρχίσει η διαδικασία φωτισμού του αντικειμένου

Για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας, είναι απαραίτητο να κατανοηθούν οι έννοιες της συμβολής και της περίθλασης καθώς και οι ομοιότητες και διαφορές που παρουσιάζουν αυτές.

Όταν δύο ή περισσότερα κύματα αλληλεπιδρούν, η προκύπτουσα μετατόπιση σε οποιοδήποτε σημείο και οποιαδήποτε χρονική στιγμή μπορεί να βρεθεί αν προστεθούν οι στιγμιαίες μετατοπίσεις που θα παράγονταν στο σημείο αυτό από τα κύματα, αν το καθένα από αυτά υφίστατο από μόνο του. Το παραπάνω φαινόμενο αποκαλείται με τον όρο **συμβολή** (Φυσική Young, 2000). Ειδικές καταστάσεις του φαινομένου αυτού αποτελούν η ενισχυτική και η αναιρετική συμβολή. Στην μεν πρώτη τα δύο κύματα, που συμβάλλουν βρίσκονται σε **φάση**, με αποτέλεσμα την πρόσθεση των πλατών των κυμάτων, στη δε δεύτερη τα κύματα βρίσκονται **μισό κύκλο εκτός φάσης**, με αποτέλεσμα το συνολικό πλάτος να προκύπτει από την απόλυτη διαφορά των πλατών.

Αντίθετα περίθλαση ονομάζεται το φαινόμενο που εκδηλώνεται όταν το φως διέρχεται από ένα άνοιγμα ή γύρω από μια ακμή. Συμβαίνει όταν ένα μέτωπο κύματος συναντά ένα αντικείμενο, με αποτέλεσμα την δημιουργία των φαινομένων της ενισχυτικής και της αναιρετικής συμβολής. Η διαδικασία παραγωγής μιας ολογραφικής ανακατασκευής εξηγείται παρακάτω με όρους συμβολής και περίθλασης και συγκεκριμένα με βάση την αρχή λειτουργίας του φράγματος περίθλασης.

2.5.2 Φράγμα Περίθλασης

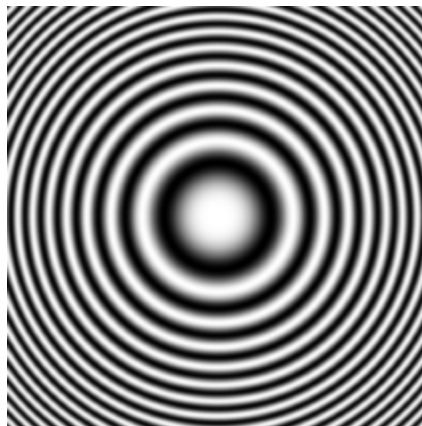


Εικόνα 5 Φράγμα περίθλασης (Κόκκινο Βέλος) (Φυσική Young,2000)

Ένα φράγμα περίθλασης είναι μια δομή με ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο. Ένα απλό παράδειγμα είναι μια μεταλλική πλάκα με σχισμές που κόβονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένα σύμφωνο κύμα φωτός προσπίπτει και χωρίζεται σε διάφορα κύματα. Η κατεύθυνση αυτών των διαθλώμενων κυμάτων καθορίζεται από την απόσταση των σχισμών και το μήκος κύματος του φωτός.

Ένα απλό ολόγραμμα μπορεί να γίνει με υπέρθεση δύο επίπεδων κυμάτων από την ίδια πηγή φωτός σε ένα ολογραφικό μέσο καταγραφής. Τα δύο κύματα συμβάλλουν δίνοντας ένα πρότυπο (μοτίβο) κροσσών συμβολής σε μια ευθεία γραμμή του οποίου η ένταση μεταβάλλεται ημιτονοειδώς στο μέσο. Η απόσταση των κροσσών συμβολής καθορίζεται από την γωνία μεταξύ των δύο κυμάτων και από το μήκος κύματος του φωτός.

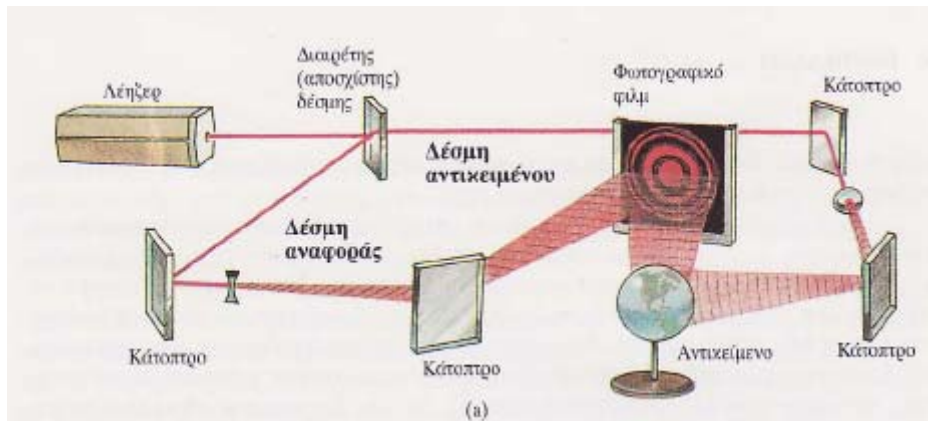
Το καταγεγραμμένο πρότυπο (μοτίβο) φωτός είναι ένα φράγμα περίθλασης. Όταν φωτίζεται από ένα μόνο από τα κύματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του, μπορεί να αποδειχθεί ότι ένα από τα κύματα περίθλασης εμφανίζεται με την ίδια γωνία με εκείνη στην οποία το δεύτερο κύμα ήταν αρχικά παρόν, έτσι ώστε το δεύτερο κύμα να μπορεί να "ανακατασκευαστεί". Μάλιστα το καταγεγραμμένο πρότυπο (μοτίβο) φωτός αποκαλείται και ως ολογραφική αποτύπωση, σύμφωνα με τα παραπάνω.



Εικόνα 6: Ολογραφικό αποτύπωμα ημιτονοειδούς μορφής

Αν το μέσο εγγραφής φωτίζεται με μια σημειακή πηγή και ένα κανονικό σύμφωνο επίπεδο κύμα, το προκύπτον μοτίβο είναι μια ημιτονοειδής ζώνη που λειτουργεί ως αρνητικός (συγκλίνων) φακός Fresnel με εστιακή απόσταση που είναι ίση με το διαχωρισμό της σημειακής πηγής και του επίπεδου καταγραφής. Όταν ένα μέτωπο κύματος φωτίζει ένα αρνητικό φακό, επεκτείνεται σε ένα κύμα που φαίνεται να αποκλίνει από το σημείο εστίασης του φακού. Έτσι, όταν το μοτίβο, που έχει καταγραφεί, φωτίζεται με το αρχικό επίπεδο κύμα, μέρος του φωτός ανακλάται σε αποκλίνουσα δέσμη ισοδύναμη με το αρχικό επίπεδο κύμα. Όταν το επίπεδο κύμα προσπίπτει σε μια μη-κανονική γωνία, το μοτίβο που σχηματίζεται είναι πιο περίπλοκο, αλλά εξακολουθεί να λειτουργεί ως αρνητικός φακός με την προϋπόθεση ότι φωτίζεται στην αρχική γωνία.

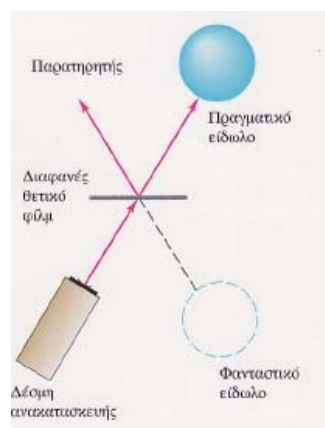
2.5.3 Ολογραφική Διαδικασία



Εικόνα 7 Ολογραφική Καταγραφή (Φυσική Young,2000)

Για να καταγραφεί ένα ολόγραμμα ενός σύνθετου αντικειμένου, μια δέσμη λέιζερ χωρίζεται αρχικά σε δύο ξεχωριστές δέσμες φωτός. Μια δέσμη φωτίζει το αντικείμενο, το οποίο στη συνέχεια ανακλά το φως πάνω στο μέσο εγγραφής. Σύμφωνα με τη θεωρία περίθλασης, κάθε σημείο του αντικειμένου λειτουργεί ως σημειακή πηγή του φωτός, έτσι ώστε το μέσο εγγραφής μπορεί να θεωρηθεί ότι φωτίζεται από μια σειρά από σημειακές πηγές που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις από το μέσο.

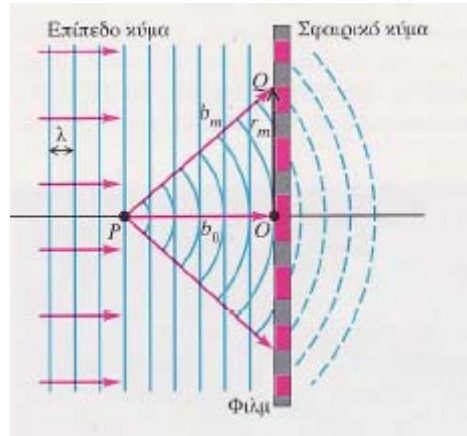
Η δεύτερη δέσμη (αναφοράς) φωτίζει το μέσο εγγραφής άμεσα. Κάθε κύμα από την σημειακή πηγή συμβάλλει με την ακτίνα αναφοράς, δημιουργώντας την δική του ημιτονοειδή περιοχή στο μέσο εγγραφής. Το προκύπτον πρότυπο (μοτίβο) είναι το άθροισμα όλων αυτών των «ζωνών», που συνδυάζονται για να παράγουν το τυχαίο πρότυπο (μοτίβο) όπως στην εικόνα 6.



Εικόνα 8 Είδωλο Ολογράμματος

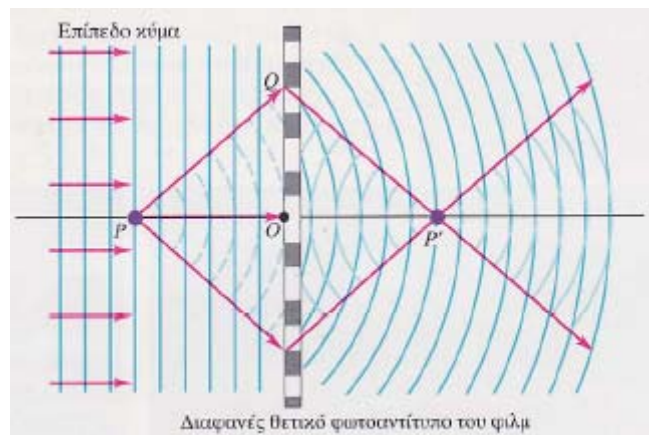
Όταν το ολόγραμμα φωτίζεται από την αρχική δέσμη αναφοράς, κάθε μια από τις ξεχωριστές ζώνες ανασυνθέτει το κύμα του αντικειμένου που την

παρήγαγε, και τα επιμέρους μέτωπα κύματος αθροίζονται και ανακατασκευάζουν το σύνολο της δέσμης του αντικειμένου.



Εικόνα 9 Είδωλο Ολογράμματος

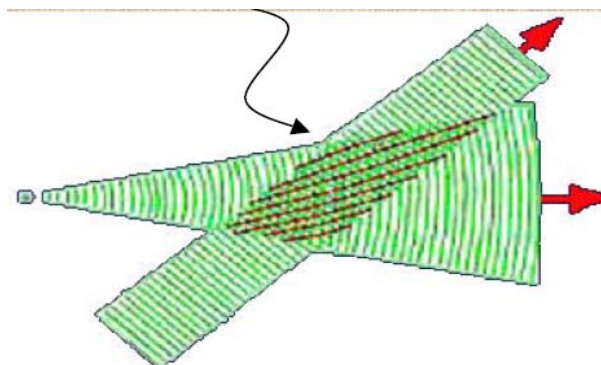
Ο θεατής αντιλαμβάνεται ένα μέτωπο κύματος που είναι πανομοιότυπο με το μέτωπο κύματος που διαχέεται από το αντικείμενο πάνω στο μέσο εγγραφής, έτσι ώστε να φαίνεται ότι το αντικείμενο είναι ακόμα στη θέση του, ακόμη και αν έχει αφαιρεθεί. Αυτή η εικόνα είναι γνωστή ως "φανταστική", δεδομένου ότι παράγεται ακόμη και αν το αντικείμενο δεν είναι πλέον εκεί. (Φυσική Young, 2000)



Εικόνα 10: Είδωλο Ολογράμματος

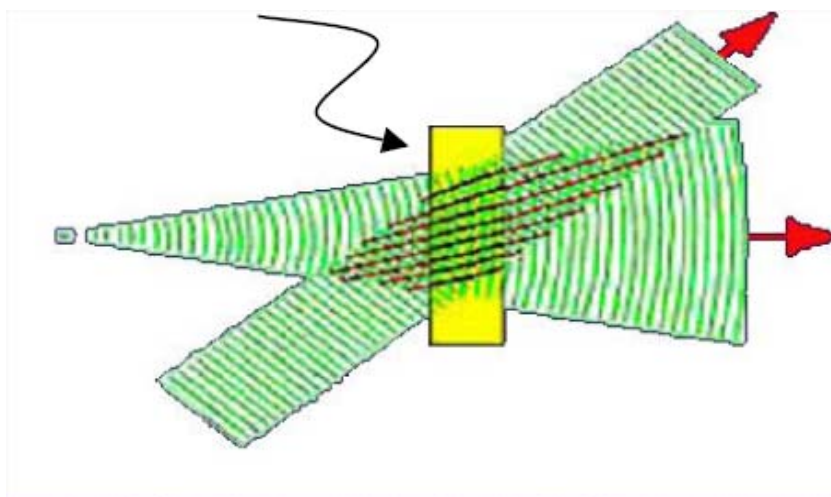
Ανακεφαλαιώνοντας με την βοήθεια οπτικής αναπαράστασης η διαδικασία της ολογραφίας μπορεί να συνοψιστεί στις παρακάτω ενέργειες.

1. Δημιουργία κροσσών συμβολής.



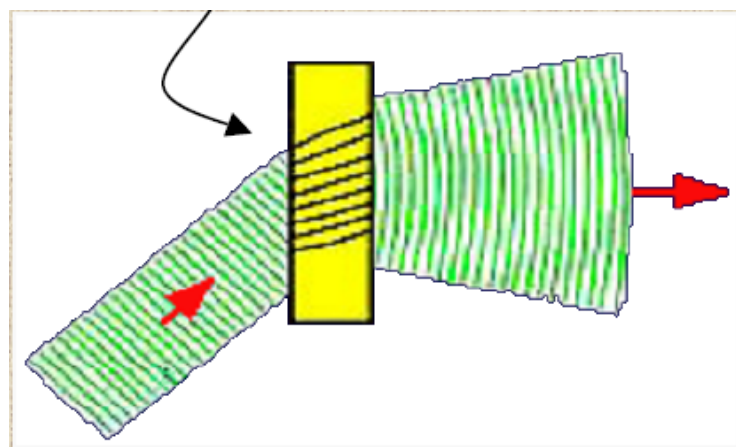
Εικόνα 11: Δημιουργία Κροσσών Συμβολής

2. Τοποθέτηση ολογραφικής πλάκας και καταγραφή του ολογράμματος



Εικόνα 12: Τοποθέτηση Ολογραφικής Πλάκας

3. Αναπαραγωγή του Ολογράμματος

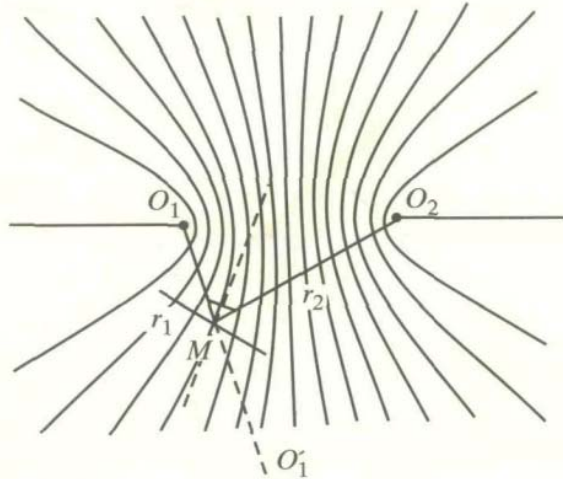


Εικόνα 13: Αναπαραγωγή Ολογράμματος

2.6 Φυσική Αρχή - Μαθηματικό Μοντέλο Ολογραφίας

Το ολόγραμμα δημιουργείται από την συμβολή δύο κυμάτων, ενός βοηθητικού (δέσμη αναφοράς) και του σκεδαζόμενου από το αντικείμενο (αντικειμενική δέσμη). Η εικόνα συμβολής περιέχει όλη την πληροφορία **για το πλάτος και τη φάση της δέσμης** του αντικειμένου. Πιο αναλυτικά, ισχύουν τα παρακάτω:

Έστω δυο κύματα τα οποία προέρχονται από δύο σημειακές μονοχρωματικές πηγές πολωμένα στην ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 14: Εικόνα Συμβολής Μονοχρωματικών Πηγών

Τα πεδία των κυμάτων σε κάποια θέση είναι:

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

και το συνολικό πεδίο στην ίδια θέση είναι

$$x_{\text{ολ}} = x_1 + x_2 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

με

$$\varphi = \arctan\left(\frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}\right)$$

Παρατηρείται ότι το συνιστάμενο πλάτος εξαρτάται από την διαφορά $\varphi_1 - \varphi_2$

και άρα μπορούν να διακριθούν δύο περιπτώσεις:

1. Όταν η διαφορά αυτή, εξαρτάται τυχαία από το t οι δέσμες είναι χωρικά ασύμφωνες.

2. Όταν η διαφορά παραμένει σταθερή με το t , η ένταση φωτός εξαρτάται από τη διαφορά φάσης των δύο κυμάτων, τότε πρόκειται για χωρικά σύμφωνες δέσμες.

Και εάν για παράδειγμα ισχύει

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2N\pi \Rightarrow A = A_1 + A_2 \text{ όπου } N=0,1,2,\dots$$

Τότε θα δημιουργούνται μέγιστα ή αλλιώς η διαφορά του δρόμου θα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του λ . $\Leftrightarrow r_1 - r_2 = N\lambda$

Ενώ εάν ισχύει $\varphi_1 - \varphi_2 = (2N + 1)\pi \Leftrightarrow r_1 - r_2 = (N + \frac{1}{2})\lambda$

θα δημιουργούνται ελάχιστα και τότε $A = |A_1 - A_2|$

Αποτέλεσμα της συμβολής των δύο συμφώνων κυμάτων είναι η δημιουργία στάσιμων κυμάτων στο χώρο με μέγιστο και ελάχιστο πλάτος στις θέσεις που ισχύουν οι πιο πάνω εξισώσεις. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων θα είναι υπερβολοειδείς επιφάνειες με εστίες τις σημειακές πηγές εκπομπής των κυμάτων.

2.7 Εργαστηριακή κατασκευή Ολογράμματος



Εικόνα 15: Εργαστηριακή διάταξη Παραγωγής Ολογράμματος (Πηγή Σημ. Ολογραφίας Αρχιτεκτ. ΕΜΠ, 2004)

Για την κατασκευή ενός ολογράμματος απαιτούνται:

1. Σκοτεινός θάλαμος
2. Οπτική Τράπεζα ή Τράπεζα ολογραφίας όπου μπορούν να στηριχθούν πολύ σταθερά τα διάφορα όργανα,
3. Πηγή μονοχρωματικού φωτός (π.χ. Laser)
4. Συστήματα ανοίγματος της δέσμης (Spatial filter, αποκλίνοντες φακοί μικρής εστιακής απόστασης, σφαιρικά κάτοπτρα).
5. Κάτοπτρα εμπρόσθιας επικάλυψης.
6. Στηρίγματα των φακών, των κατόπτρων του φιλμ ή της ολογραφικής πλάκας και του αντικειμένου.

Οι απαιτήσεις αυτές είναι αλληλένδετες, και είναι σημαντικό να κατανοηθεί η φύση των οπτικών αλληλεπιδράσεων για να γίνει αυτό αντιληπτό. Συμβολή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η διακύμανση στην ένταση που μπορεί να συμβεί όταν τα δύο κύματα φωτός αλληλεπιδρούν. Η ένταση των μεγίστων υπερβαίνει το άθροισμα των επιμέρους εντάσεων των δύο δεσμών και η ένταση στα ελάχιστα είναι μικρότερη από καθεμιά από τις δέσμες και μπορεί να είναι και μηδέν.

Το πρότυπο (μοτίβο) συμβολής χαρτογραφεί τη σχετική φάση μεταξύ των δύο κυμάτων, και οποιαδήποτε αλλαγή στις σχετικές φάσεις μετακινείται σε όλο το πεδίο οράσεως. Εάν η σχετική φάση των δύο κυμάτων αλλάξει κατά ένα κύκλο, τότε το πρότυπο μετατοπίζεται κατά έναν ολόκληρο κροσσό. Ένας κύκλος φάσης αντιστοιχεί σε μια αλλαγή στις σχετικές αποστάσεις που διανύουν οι δυο δέσμες, του ενός μήκους κύματος. Δεδομένου ότι το μήκος κύματος του φωτός είναι της τάξης των 0.5μm, μπορεί να δει κανείς, ότι πολύ μικρές αλλαγές στην οπτική διαδρομή που διανύει μία από τις δέσμες του ολογραφικού συστήματος καταγραφής οδηγούν σε μεταβολή του προτύπου (μοτίβου) συμβολής, που ουσιαστικά είναι η ολογραφική εγγραφή.

Τέτοιες αλλαγές μπορεί να προκληθούν από σχετικές κινήσεις οποιουδήποτε από τα οπτικά στοιχεία και του ίδιου του αντικειμένου, καθώς επίσης και από τις τοπικές αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα. Επομένως είναι σημαντικό όλες αυτές οι αλλαγές να είναι αρκετά μικρότερες από το μήκος κύματος του φωτός, για να μη δημιουργηθεί μια ανεπιθύμητη μεταβολή της συμβολής.

Ο χρόνος έκθεσης που απαιτείται για να καταγράψει το ολόγραμμα εξαρτάται από την ισχύ των λέιζερ που διατίθενται για το συγκεκριμένο μέσο που χρησιμοποιείται και από το μέγεθος και τη φύση του αντικειμένου που καταγράφεται, όπως και στη συμβατική φωτογραφία. Αυτό καθορίζει και τις απαιτήσεις ευστάθειας. Χρόνοι έκθεσης αρκετών λεπτών είναι τυπικοί, όταν χρησιμοποιείται ένα πολύ ισχυρό λέιζερ αερίου και γαλακτώματα αλογονούχου αργύρου.

Όλα τα στοιχεία μέσα στο οπτικό σύστημα πρέπει να είναι σταθερά σε κλάσματα μm κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Είναι βέβαια δυνατόν να γίνουν ολογράμματα με πολύ λιγότερο σταθερά αντικείμενα, με τη χρήση ενός παλμικού λέιζερ (pulsed laser), που παράγει μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (μικροδευτερόλεπτα ή λιγότερο). Τα συστήματα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ολογραμμάτων ζωντανών ανθρώπων. Έτσι, η ισχύς του λέιζερ, η ευαισθησία καταγραφής του μέσου, ο χρόνος καταγραφής και οι μηχανικές και θερμικές απαιτήσεις ευστάθειας των στόχων είναι αλληλένδετοι παράγοντες στην ολογραφική διαδικασία. Γενικά, όσο μικρότερο είναι το αντικείμενο, τόσο πιο συμπαγής η οπτική διάταξη, έτσι ώστε οι απαιτήσεις ευστάθειας είναι σημαντικά λιγότερες από ότι όταν δημιουργούνται ολογράμματα μεγάλων αντικειμένων.

Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος για το λέιζερ είναι η συνοχή της δέσμης. Αυτό θα αντιμετωπίζεται με την χρήση ενός λέιζερ, που παράγει ένα ημιτονοειδές κύμα του οποίου η συχνότητα δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Ως **μήκος της συνοχής** μπορεί να θεωρηθεί η απόσταση στην οποία

διατηρείται μια και μοναδική συχνότητα. Αυτό είναι σημαντικό γιατί δύο κύματα διαφορετικών συχνοτήτων δεν παράγουν ένα σταθερό μοτίβο συμβολής. Το μήκος της συνοχής του λέιζερ καθορίζει το βάθος πεδίου που μπορεί να καταγραφεί στη σκηνή. Ένα καλό λέιζερ ολογραφίας θα έχει κατά κανόνα μήκος συνοχής αρκετών μέτρων, αρκετό για να εξασφαλίσει στο ολόγραμμα το απαραίτητο βάθος πεδίου.

Τα αντικείμενα που αποτελούν την σκηνή θα πρέπει, γενικά, να έχουν οπτικά τραχείες επιφάνειες, έτσι ώστε να διασκορπίζουν το φως σε ένα ευρύ φάσμα γωνιών. Μια λεία επιφάνεια αντανακλά το φως σε μία μόνο κατεύθυνση σε κάθε σημείο στην επιφάνειά του, έτσι σε γενικές γραμμές, το μεγαλύτερο μέρος του φωτός δεν θα συμβάλλει στο μέσο εγγραφής. Τα ολογράμματα τέτοιων αντικειμένων δημιουργούνται με την τοποθέτηση πολύ κοντά στο μέσο εγγραφής.

2.8 Κατηγοριοποίηση Ολογραμμάτων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ολογραμμάτων και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την διαμόρφωση της δέσμης, το πάχος του καταγραφικού μέσου κ.ά.. Όπως π.χ. τα ολογράμματα μετάδοσης, που δημιουργήθηκαν από τους Leith και Upatnieks, τα οποία απεικονίζονται με την ρίψη επί αυτών δέσμης laser και παρατηρώντας μέσα από το ολόγραμμα την ανακατασκευασμένη εικόνα, από την πλευρά του ολογράμματος απέναντι από την πηγή (θετική εικόνα). Μια μετέπειτα βελτίωση είναι τα ολογράμματα μετάδοσης τύπου ουράνιο τόξο (rainbow holograms), τα οποία επιτρέπουν φωτισμό από λευκό φως και όχι από δέσμη laser. Τέτοια ολογράμματα laser συναντώνται σήμερα στις πιστωτικές κάρτες και σε προϊόντα συσκευασίας.

Άλλο ένα είδος κοινού ολογράμματος, είναι τα ολογράμματα ειδώλου του Denisjuk, τα οποία μπορούν να ιδωθούν με την χρήση λαμπτήρα λευκού φωτός στην ίδια πλευρά με τον παρατηρητή. Αποτελούν τα ολογράμματα που συνήθως χρησιμοποιούνται στις ολογραφικές απεικονίσεις και παρουσιάζουν την δυνατότητα της έγχρωμης αναπαραγωγής εικόνας.

2.8.1.1 Ολογράμματα διαμόρφωσης πλάτους και φάσης

Ένα ολόγραμμα διαμόρφωσης πλάτους είναι εκείνο όπου το πλάτος του διαθλώμενου φωτός από το ολόγραμμα είναι ανάλογο με την ένταση του καταγεγραμμένου φωτός. Ένα απλό παράδειγμα είναι αυτό του φωτογραφικού γαλακτώματος σε ένα διαφανές υπόστρωμα. Το γαλάκτωμα εκτίθεται στο μοτίβο συμβολής, και στη συνέχεια εμφανίζεται δίνοντας διαπερατότητα η οποία ποικίλλει ανάλογα με την ένταση του μοτίβου συμβολής, όσο περισσότερο φως, προσέπεσε πάνω στην πλάκα σε ένα δεδομένο σημείο, τόσο πιο σκούρο είναι το ολογραφικό φιλμ σε αυτό το σημείο.

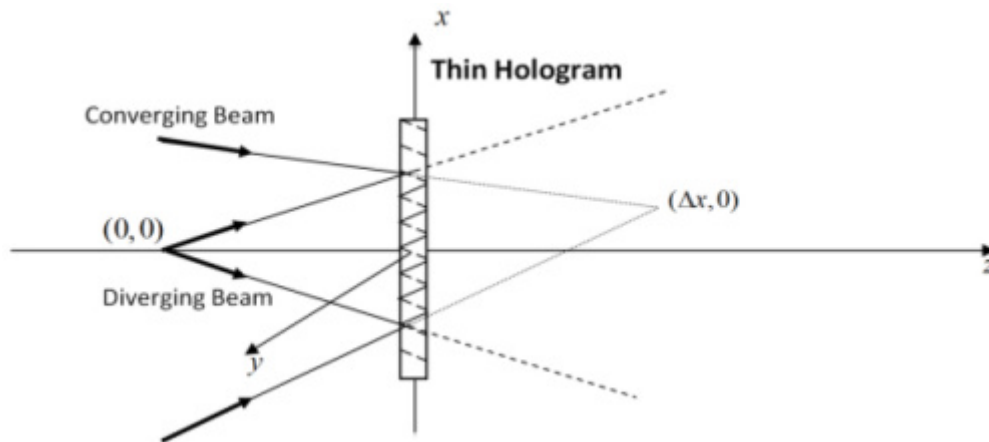
Ένα ολόγραμμα φάσης γίνεται με την αλλαγή είτε του πάχους ή του δείκτη διάθλασης του υλικού ανάλογα με την ένταση του ολογραφικού μοτίβου συμβολής. Ουσιαστικά αποτελεί ένα φράγμα περίθλασης και μπορεί να αποδειχθεί ότι όταν οι

εν λόγω πλάκες φωτίζονται από την αρχική δέσμη αναφοράς, ανασυγκροτείται το αρχικό μέτωπο κύματος του αντικείμενου.

Η απόδοση (δηλαδή το τμήμα της φωτεινής δέσμης το οποίο μετατρέπεται σε ανασχηματισμένη ακτίνα του αντικείμενου) είναι μεγαλύτερη για τα ολογράμματα φάσης απ' ό τι για τα ολογράμματα διαμόρφωσης κατά πλάτος.

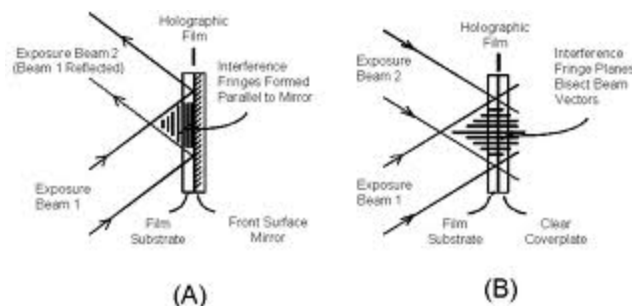
2.8.1.2 Λεπτά Ολογράμματα και Ολογράμματα Όγκου

Λεπτό ολόγραμμα είναι αυτό, όπου το πάχος του μέσου καταγραφής είναι πολύ μικρότερο από την απόσταση των κροσσών συμβολής που συνθέτουν την ολογραφική καταγραφή.

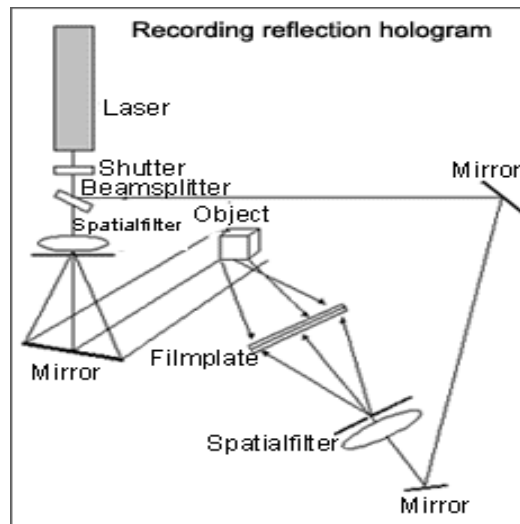


Εικόνα 16: Λεπτό Ολόγραμμα

Ολόγραμμα όγκου είναι αυτό, όπου το πάχος του μέσου καταγραφής είναι μεγαλύτερο από την απόσταση των κροσσών συμβολής. Το ολόγραμμα που καταγράφεται τώρα είναι μια τρισδιάστατη δομή, και μπορεί να αποδειχθεί ότι το φως περιθλάται από ένα φράγμα μόνο σε μια συγκεκριμένη γωνία, γνωστή ως γωνία Bragg. (Young Πανεπ. Φυσική, 2000). Εάν το ολόγραμμα δεν φωτίζεται με μια σύμφωνη πηγή φωτός κατά την αρχική γωνία της δέσμης αναφοράς, αλλά με ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, η αναπαράσταση συμβαίνει μόνο στο μήκος κύματος του λέιζερ που χρησιμοποιήθηκε αρχικά. Εάν η γωνία του φωτισμού έχει αλλάξει, η αναπαράσταση θα συμβεί σε διαφορετικό μήκος κύματος και το χρώμα της αναπαριστάμενης σκηνής αλλάζει. Έτσι ένα ολόγραμμα όγκου λειτουργεί αποτελεσματικά ως φίλτρο χρώματος, αφού αλλάζοντας την γωνία φωτισμού είναι δυνατόν να επιτευχθεί διαφορετική χρωματική απόδοση στο τελικό αποτέλεσμα.



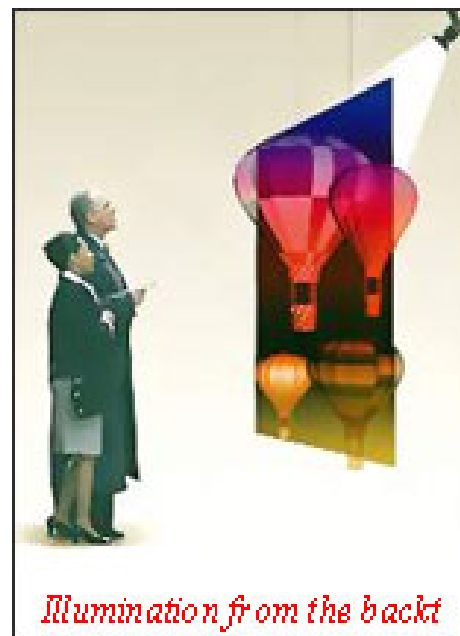
Εικόνα 17: Ολόγραμμα Όγκου



Εικόνα 19: Ολόγραμμα Ανάκλασης



Ολόγραμμα Μετάδοσης



Ολόγραμμα Ανάκλασης

Εικόνα 20: Διαφορές Ολογράμματος Ανάκλασης και Μεταβίβασης

2.9 Ολογραφικά Μέσα Καταγραφής

Στα πρώτα ολογράμματα χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφικά γαλακτώματα από αλογονίδια του αργύρου ως μέσο καταγραφής, τα οποία δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικά. Αυτό συνέβαινε επειδή λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας απορροφούνταν το περισσότερο από το σύμφωνο φως.

Το μέσο εγγραφής θα πρέπει να μετατρέψει το αρχικό μοτίβο συμβολής σε ένα οπτικό στοιχείο που τροποποιεί είτε το πλάτος είτε τη φάση της δέσμης φωτός που προσπίπτει σε αναλογία με την ένταση του αρχικού πεδίου φωτός. Επίσης το ολογραφικό μέσο εγγραφής θα πρέπει να είναι σε θέση να αναλύσει

πλήρως όλους τους κροσσούς συμβολής που προκύπτουν από την συμβολή μεταξύ της δέσμης του αντικειμένου και της δέσμης αναφοράς. Αυτές οι αποστάσεις των κροσσών μπορεί να κυμαίνονται από μερικές δεκάδες μικρά έως και λιγότερο από ένα μικρό, δηλαδή χωρικές συχνότητες που κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες κύκλους ανά χιλιοστό. Ιδανικά, το μέσο εγγραφής θα πρέπει να έχει μια απόκριση η οποία είναι όμοια πάνω από το συγκεκριμένο εύρος.

Εάν η απόκριση του μέσου σε αυτές τις χωρικές συχνότητες είναι χαμηλή, η αποδοτικότητα περίθλασης του ολογράμματος θα είναι κακή, και έτσι θα λαμβάνεται μια αμυδρή εικόνα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το κοινό φωτογραφικό φιλμ έχει πολύ χαμηλή ή και μηδενική, απόκριση στις αναφερόμενες συχνότητες και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει ένα ολόγραμμα (Kozma A & Zelenka JS, 1970).

Εάν η καταγραφή δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των χωρικών συχνοτήτων στο μοτίβο συμβολής, τότε η ανάλυση της ανακατασκευασμένης εικόνας μπορεί επίσης να είναι υποβαθμισμένη. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται για την ολογραφική καταγραφή. Το όριο ανάλυσης δίνεται στον πίνακα 2 που δείχνει τον μέγιστο αριθμό των γραμμών συμβολής / mm από τους κόκκους. Οι σύντομοι χρόνοι έκθεσης (λιγότερο από 1/1000 του δευτερολέπτου, όπως με παλμικό λέιζερ) απαιτούν υψηλότερη έκθεση (Kodak Technical Data, 2004).

Υλικό	Επαναχρησιμοποίηση	Επεξεργασία	Τύπος Ολογράμματος	Απαιτούμενη Έκθεση [mJ/cm ²]	Όριο Ανάλυσης [mm ⁻¹]
Φωτογραφικά γαλακτώματα	Όχι	Υγρή	Πλάτους Φάσης	1.5	5000
Διχρωματικές Ζελατίνες	Όχι	Υγρή	Φάσης	100	10000
Φωτοανθεκτικά	Όχι	Υγρή	Φάσης	100	3000
Φωτοθερμοπλαστικά	Ναι	Πίεση και Θέρμανση	Φάσης	0.1	500–1,200
Φωτοπολυμερή	Όχι	Μετεπεξεργασία	Φάσης	10000	5000
Φωτοδιαθλαστικά	Ναι	Καμιά	Φάσης	10	10000

Πίνακας 1: Πίνακας Υλικών Εκτύπωσης Ολογραμμάτων

Ένα υπάρχον ολόγραμμα μπορεί να αναπαραχθεί, είτε οπτικά, όπως γίνεται με την ολογραφική εγγραφή ή με ανάγλυφη εκτύπωση. Τα ολογράμματα ανάγλυφου επιφάνειας καταγράφονται σε φωτοευαίσθητα υλικά ή φωτοθερμοπλαστικά και επιτρέπουν την φθηνή μαζική αναπαραγωγή. Τέτοια ανάγλυφα ολογράμματα σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως, για παράδειγμα, ως χαρακτηριστικά ασφαλείας για τις πιστωτικές κάρτες ή για τον έλεγχο της ποιότητας των εμπορευμάτων.

2.10 Ανακατασκευή και Παρατήρηση της Ολογραφικής Εικόνας

Όταν η ολογραφική πλάκα ή φιλμ φωτίζεται από μια ακτίνα λέιζερ ταυτόσημη με την δέσμη αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για να καταγραφεί το ολόγραμμα, επιτυγχάνεται μια ακριβής αναπαράσταση της αρχικής κυματομορφής του αντικειμένου. Ένα σύστημα απεικόνισης (ανθρώπινο μάτι ή ακόμα και φωτογραφική μηχανή) που βρίσκεται στην πορεία της ανασυγκροτημένης δέσμης «βλέπει» την ίδια ακριβώς σκηνή, όπως θα έκανε κατά την προβολή της αρχικής σκηνής. Όταν ο φακός κινείται, η εικόνα αλλάζει με τον ίδιο τρόπο που θα γινόταν αν το αντικείμενο ήταν στη θέση του. Εάν διάφορα αντικείμενα ήταν παρόντα όταν καταγραφόταν το ολόγραμμα, τα ανακατασκευασμένα αντικείμενα κινούνται το ένα σε σχέση με ένα άλλο, όπως θα κινούνταν και τα πρωτότυπα αντικείμενα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια σκακιέρα στην οποία με το πέρασμα της ολογραφικής καταγραφής διαφαίνονταν ότι τα διάφορα πιόνια μετακινούνταν σε σχετική θέση για τις διαφορετικές γωνίες θέασης.

Η ολογραφική εικόνα μπορεί επίσης να επιτευχθεί με μια διαφορετική ακτίνα λέιζερ σε σχέση με την αρχική δέσμη του αντικείμενου καταγραφής, αλλά η ανακατασκευασμένη εικόνα δεν θα ταιριάζει ακριβώς με την αρχική.

Το λευκό φως αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Κανονικά, αν ένα ολόγραμμα φωτίζεται από μια λευκή πηγή φωτός, κάθε μήκος κύματος μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγει τη δική του ολογραφική απεικόνιση, η οποία θα διαφέρει σε μέγεθος, γωνία και απόσταση. Όταν αυτές οι δέσμες αλληλεπιδράσουν, τότε η συνολική εικόνα θα εξαλείψει κάθε πληροφορία σχετικά με την αρχική σκηνή, ακριβώς σαν να επικαλύπτονται μια σειρά από φωτογραφίες του ίδιου αντικειμένου σε διάφορα μεγέθη και προσανατολισμούς.

Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί μια ολογραφική εικόνα χρησιμοποιώντας το λευκό φως σε συγκεκριμένες περιστάσεις, π.χ. ολογράμματα όγκου και ολογράμματα τύπου ουράνιου τόξου. Η πηγή λευκού φωτός που χρησιμοποιείται για να παρατηρηθούν αυτά τα ολογράμματα θα πρέπει να είναι πάντα κατά προσέγγιση σαν μια σημειακή πηγή, δηλαδή ένα σημειακό φως ή ο ήλιος. Μια εκτεταμένη πηγή (π.χ. ένας λαμπτήρας φθορισμού) δεν θα ανακατασκευάσει ένα ολόγραμμα, δεδομένου ότι το φως προσπίπτει σε κάθε σημείο σε ένα ευρύ φάσμα των γωνιών, δίνει πολλαπλές αναπαραστάσεις που θα αλληλοαναιρούνται.

2.11 Ψηφιακή Ολογραφία (Computer Generated Holography)

Η ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων με γρήγορους ρυθμούς έδωσε νέες δυνατότητες στην Ολογραφία, με την ανάπτυξη νέων τεχνικών ολογραφίας με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η καινοτομία των ολογραφημάτων CGH (Computer Generated Holograms) είναι η καταγραφή τους, χωρίς την φυσική ύπαρξη του αντικειμένου αλλά με τον μαθηματικό υπολογισμό

του μοτίβου συμβολής που δημιουργεί το διαθλώμενο φως από το αντικείμενο και τη δέσμη αναφοράς.

Η διαδικασία δημιουργίας του ολογραφήματος αποτελείται από τρία στάδια:

1^ο Στάδιο: Ο υπολογισμός του εικονικά ανακλώμενου μετώπου κύματος.

2^ο Στάδιο: Η κωδικοποίηση του μετώπου κύματος, ώστε να προετοιμαστεί για απεικόνιση.

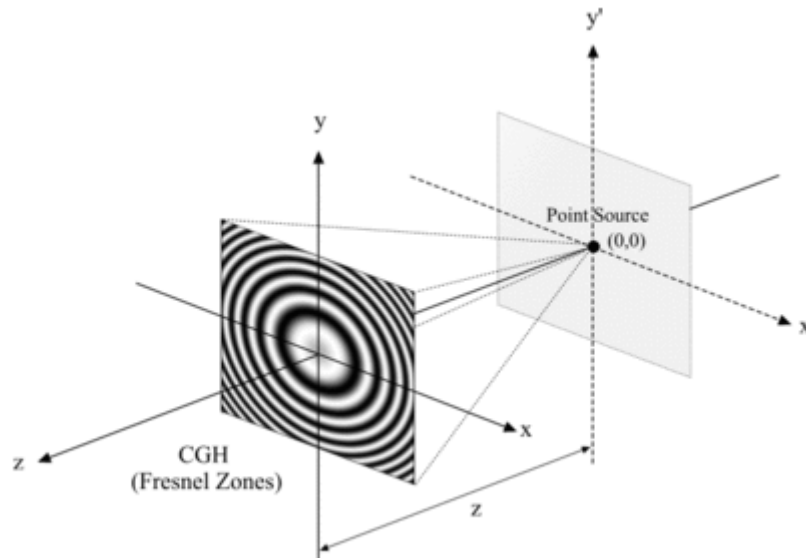
3^ο Στάδιο: Ανακατασκευή του ολογράμματος με την τροποποίηση του μοτίβου συμβολής.

Στο πρώτο στάδιο του υπολογισμού του εικονικά ανακλώμενου κύματος υπάρχουν 2 κύριες τεχνικές. **Η μέθοδος του μετασχηματισμού Fourier και η μέθοδος του Ολογράμματος από σημειακή πηγή**. Στην πρώτη μέθοδο το πρότυπο (μοτίβο) συμβολής που προκύπτει από την συμβολή του ανακλώμενου κύματος και της δέσμης αναφοράς υπολογίζεται μαθηματικά με την χρήση του μετασχηματισμού Fourier. Αρχικά υπολογίζεται το μέτωπο κύματος στο απομακρυσμένο επίπεδο και μετά μετασχηματίζεται με την μέθοδο Fourier στο εγγύς επίπεδο για συγκλίνοντα (θετικό) φακό.

Η άλλη μέθοδος του Ολογράμματος από σημειακή πηγή μπορεί να γίνει αντιληπτή ευκολότερα. Στην μέθοδο αυτή θεωρείται ότι κάθε σώμα αποτελείται από ένα σύνολο σημείων και κάθε σημείο αποτελεί μια σημειακή πηγή φωτός. Έτσι για κάθε σημείο υπολογίζεται το διαμόρφωμα συμβολής του φωτισμού από το σημείο και την δέσμη αναφοράς. Το τελικό ολόγραμμα προκύπτει από την υπέρθεση των διαμορφωμάτων συμβολής που προκύπτουν από κάθε σημείο και έτσι δημιουργείται το τελικό ολόγραμμα.

Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η κωδικοποίηση του μετώπου κύματος για να απεικονιστεί με την χρήση χωρικών διαμορφωτών φωτός (spatial light modulators). Με τον όρο αυτό περιγράφονται όχι μόνο τα ολογραφικά φίλμ αλλά και οθόνες LCD στις οποίες απεικονίζονται τα ολογράμματα.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο πραγματοποιείται η τρισδιάστατη ανακατασκευή του αντικειμένου με την χρήση κατάλληλου φωτισμού. Έτσι ώστε να αναπαραχθούν οι αρχικές συνθήκες καταγραφής του εικονικού αντικειμένου.



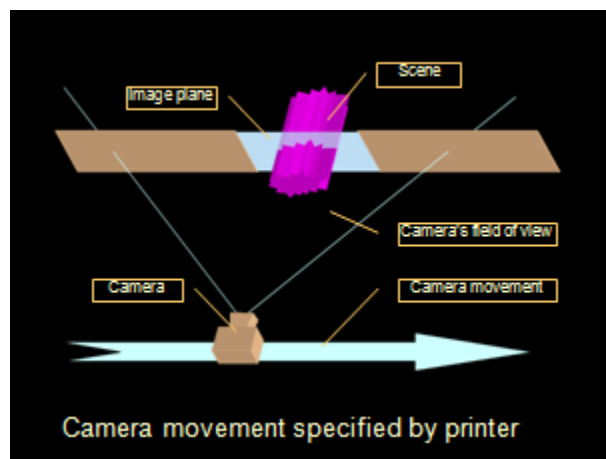
Εικόνα 21: Παραγωγή Ολογράμματος από σημειακή πηγή.

Οι μέθοδοι ολογραφίας που έχουν ήδη αναπτυχθεί παρουσιάζουν διάφορες δυσκολίες όπως ο φωτισμός και η αναπαραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων. Όλες οι παραπάνω δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις σύγχρονες τεχνικές ολογραφίας σε βιομηχανική κλίμακα, με την χρήση νέων μεθόδων. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο από αυτές τις τεχνικές που ανέπτυξαν οι εταιρείες Geola και Zebra Imaging.

2.11.1 Μέθοδος Ολογραφικής Εκτύπωσης της Εταιρείας Geola

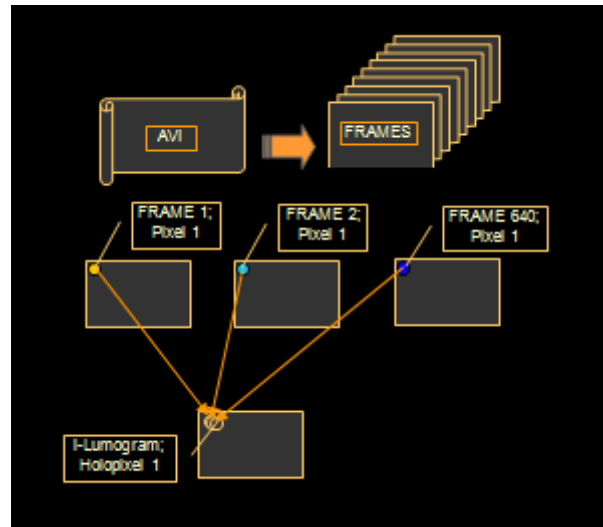
Η μέθοδος που χρησιμοποιείται αναφέρεται ως «έκθεση ανά σημείο» (dot by dot exposure) στην οποία το φωτοευαίσθητο υλικό εκτίθεται στην ολογραφική διαδικασία τμηματικά σε πολύ μικρά κομμάτια. Η διαδικασία που ακολουθείται μπορεί να κωδικοποιηθεί αλγοριθμικά στα παρακάτω βήματα:

Στο πρώτο στάδιο δημιουργείται το αντικείμενο του οποίου το ολογράφημα θέλουμε να κατασκευάσουμε σε ένα περιβάλλον 3d σχεδίασης όπως είναι για παράδειγμα το λογισμικό 3d studio max. Στην συνέχεια τοποθετείται η κάμερα που θα δημιουργήσει το βίντεο ή θα πάρει τις κατάλληλες φωτογραφίες.



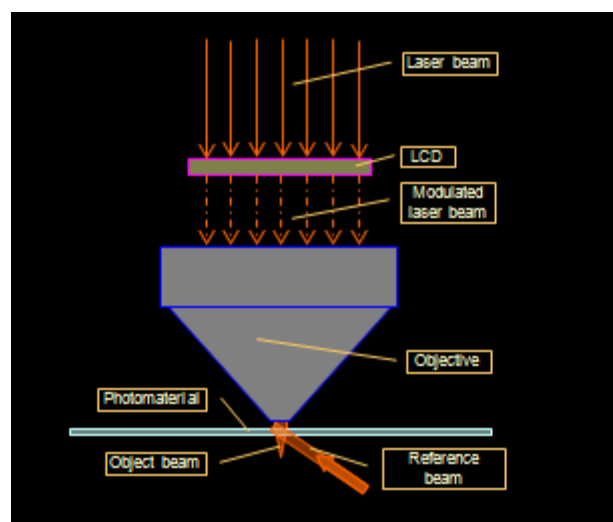
Εικόνα 22: Κίνηση Κάμερας για καταγραφή της Σκηνής

Στο δεύτερο στάδιο, εφόσον το αντικείμενο έχει καταγραφεί σε μορφή βίντεο (π.χ. μορφή .avi), το εν λόγω βίντεο διαιρείται σε πλαίσια (frames), για την δημιουργία του τελικού προϊόντος λαμβάνεται το πρώτο pixel από κάθε εικόνα και υπολογίζεται με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω το πρώτο holopixel του ολογραφήματος. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται για τον υπολογισμό των υπολοίπων pixel του ολογραφήματος. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η **καταγραφή** του ολογράμματος με τα παρακάτω βήματα. (Zacharovas Stanislovas, 2005)



Εικόνα 23: Παραγωγή Holo-pixel από frame της κάμερα

Βήμα 1^ο: Η δέσμη laser διέρχεται μέσα από την lcd οθόνη (στην οποία εισάγεται το διαμόρφωμα περιθλάσης που υπολογίστηκε για μια κουκίδα του αντικειμένου) και μετατρέπεται σε αντικειμενική δέσμη (object beam)

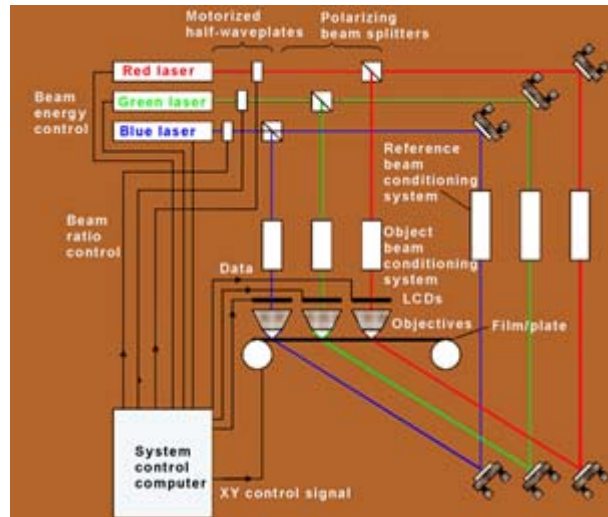


Εικόνα 24: Εκτύπωση Holo-pixel στο Πολυμερές

Βήμα 2^ο: Η αντικειμενική δέσμη (object beam) εστιάζεται σε κουκίδα με μέγεθος 0,8x0,8 mm και αλληλεπιδρά με το φωτοπολυμερές.

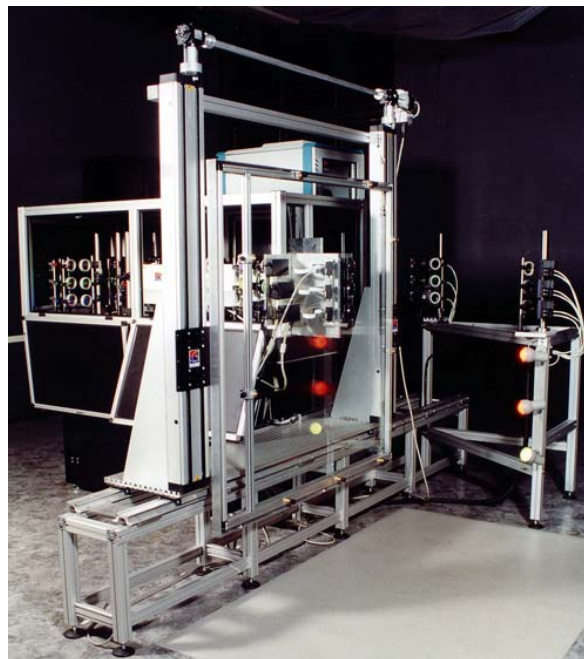
Βήμα 3^ο: Η δέσμη αναφοράς αλληλεπιδρά ταυτόχρονα με το φωτοπολυμερές και σχηματίζεται το μοτίβο συμβολής. Ενώ το φωτοευαίσθητο υλικό μετακινείται για την δημιουργία της επόμενης κουκίδας.

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται σε συγκεντρωτική σχηματική διάταξη στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 25: Βιομηχανική Κατασκευή Εγχρωμου Ολογράμματος

Τελικά η διαδικασία υλοποιείται με την χρήση του ολογραφικού εκτυπωτή της εικόνας.

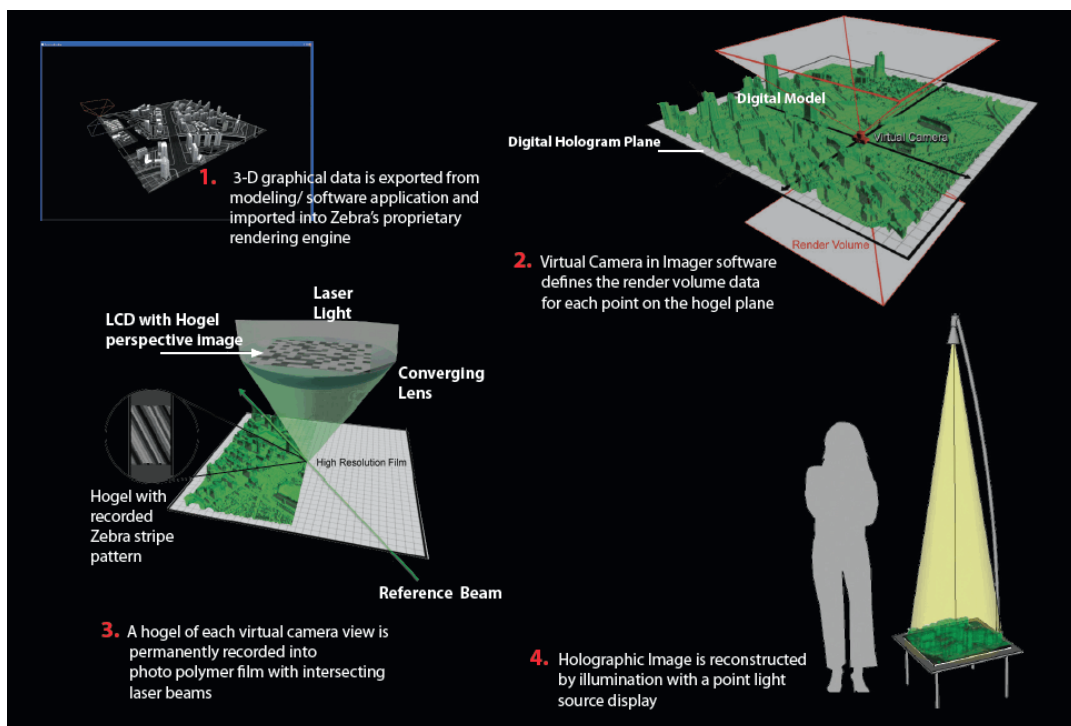


Εικόνα 26: Βιομηχανικός Ολογραφικός Εκτυπωτής

2.11.2 Μέθοδος Ολογραφικής Εκτύπωσης της Εταιρείας Zebra Im. Και η παραγωγή Ολογραφικού Χάρτη Πλήρους Παράλλαξης

Η μέθοδος αυτή σε αντίθεση με αυτή της εταιρείας geola είναι λιγότερο παρεμβατική για τον χρήστη, αφού δεν απαιτεί την τοποθέτηση των καμερών και την επεξεργασία (rendering) να την κάνει ο χρήστης, αλλά διαθέτει η εταιρεία μια μηχανή επεξεργασίας (rendering engine) που προβαίνει στις απαραίτητες ενέργειες σύμφωνα με τις οδηγίες του χρήστη.

Κάθε ολόγραμμα αποτελείται από χιλιάδες rixel που ονομάζονται hogels (holographic elements) και τα οποία περιέχουν την ολογραφική απεικόνιση μέρους του αντικειμένου, τέτοιου που καθορίζεται από τον καταγραμμένο όγκο στο δεδομένο hogel.



Εικόνα 27: Διαδικασία Κατασκευής Ολογράμματος από Zebra Imaging

Το ολόγραμμα και εδώ δημιουργείται με την συμβολή της αντικειμενικής δέσμης και της δέσμης αναφοράς πάνω στο μέσο καταγραφής. Η αντικειμενική δέσμη περιέχει τα δεδομένα σε μια οθόνη LCD. Κάθε σημείο του αντικειμένου δρα σαν σημειακή πηγή φωτός και καθένα από αυτά αλληλεπιδρά με την δέσμη αναφοράς, δημιουργώντας τους κροσσούς συμβολής. Το διαμόρφωμα αυτό καταγράφεται στο φωτοπολυμερές για κάθε hogel και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Τελικά μετά την εκτύπωση και την χρήση του κατάλληλου φωτισμού επιτυγχάνεται το επιθυμητό ολογράφημα.

2.12 Δημιουργία Ολογραφικού Χάρτη

2.12.1 Στάδια Παραγωγής Ολογραφικού Χάρτη χ-παράλλαξης

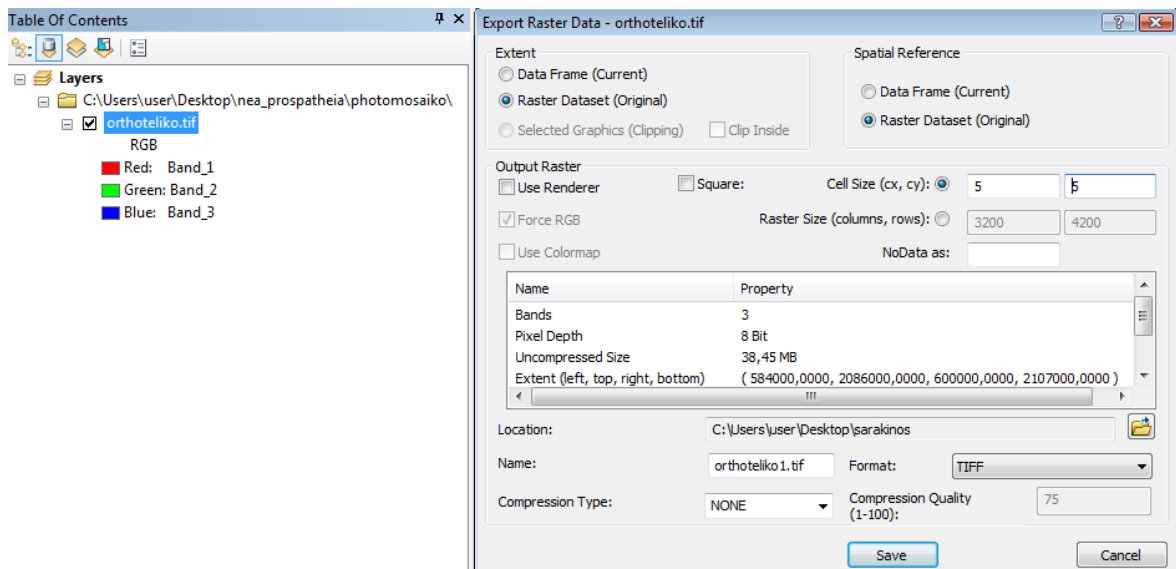
Για την δημιουργία του ολογραφικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του τρισδιάστατου εκτυπωμένου χάρτη (3d printed χάρτη). Δηλαδή τα παρακάτω:

- ✓ 18 πινακίδες ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dtm) σε μορφή.adf με βήμα 5 m της νήσου Αντίπαρος
- ✓ 18 πινακίδες ορθοαναηγμένων αεροφωτογραφιών σε μορφή.jp2 με βήμα 50 cm της νήσου Αντίπαρος.

Τα παραπάνω δεδομένα θα υποστούν όμοια διαδικασία με εκείνη της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3d printing).

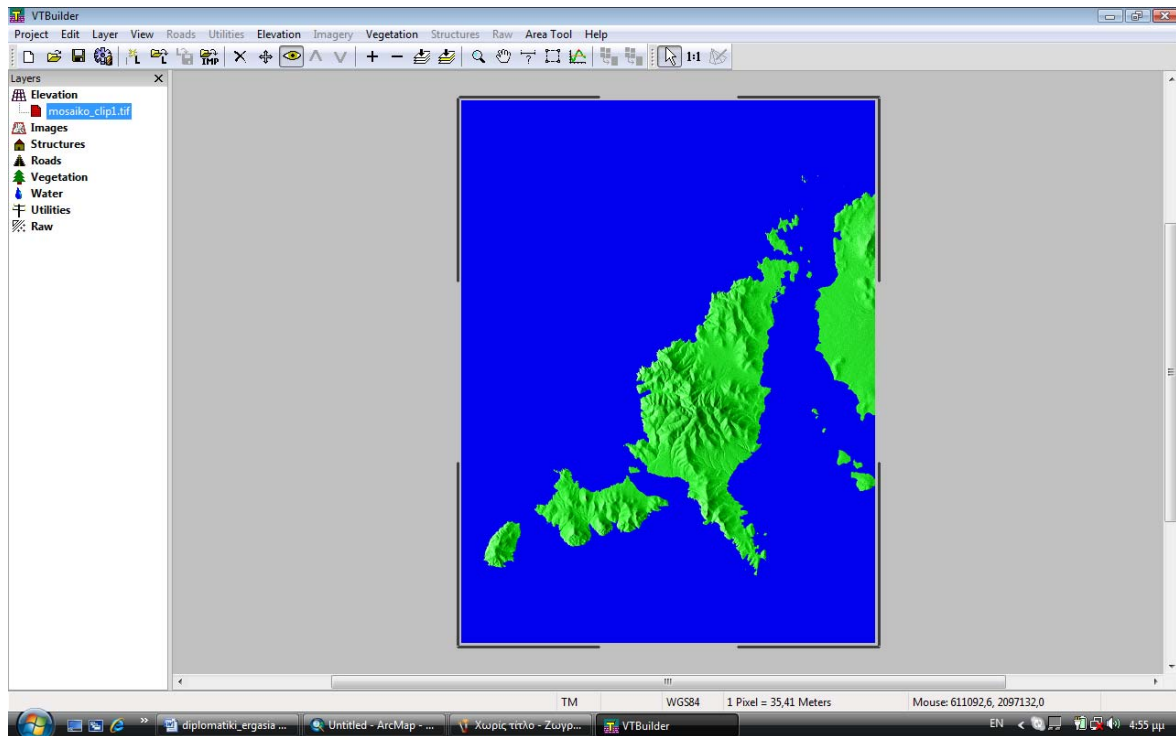
Συνολικά η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Τα δεδομένα αφού εισήχθησαν στο λογισμικό arcmap με την εντολή mosaic to new raster μετατράπηκαν σε ενιαίο μωσαϊκό
2. Έπειτα με την εντολή clip κόπηκε στις διαστάσεις των ορθοφωτογραφιών το ψηφιακό μοντέλο εδάφους
3. Στην συνέχεια έγινε επαναδειγματοληψία (resampling) των ορθοεικόνων από τα 0.5 m στα 5 m, ώστε το μέγεθος του εικονοστοιχείου της ορθοεικόνας να ταιριάζει με το μέγεθος του εικονοστοιχείου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, όπως παρακάτω.

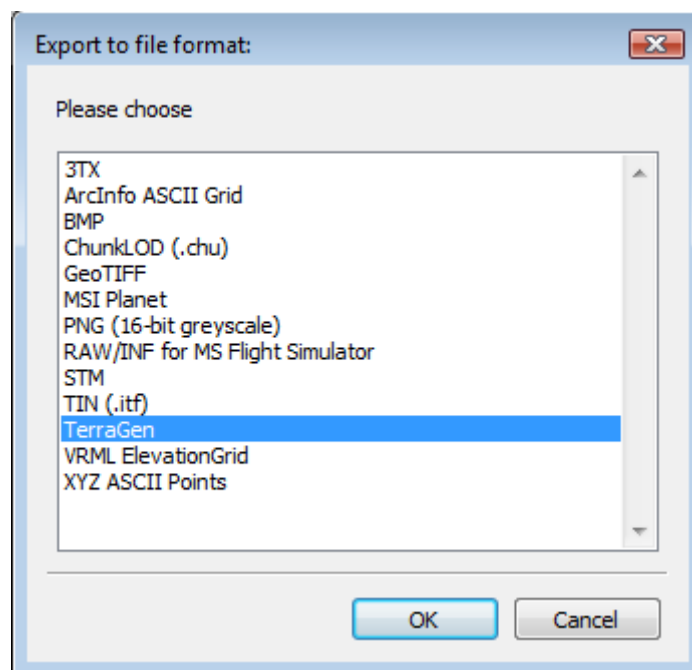


Εικόνα 28: Resample pixel size στα 5 μ.

4. Κατόπιν έγινε μετατροπή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από τον μορφότυπο (format) geotiff σε terragen με την χρήση του λογισμικού VtBuild και εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό 3ds studio max.

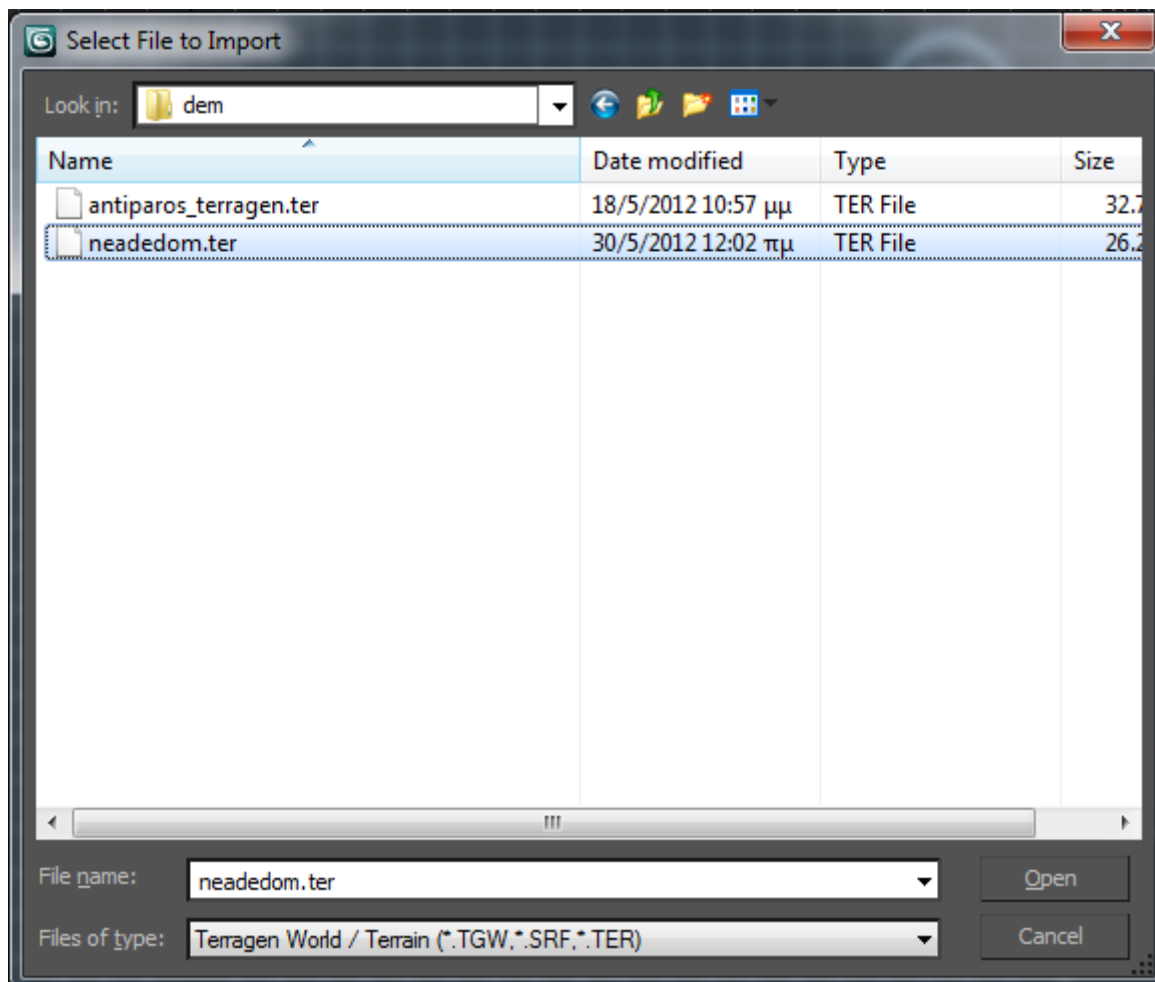


Εικόνα 29: Εισαγωγή Δεδομένων στο λογισμικό VTBuild

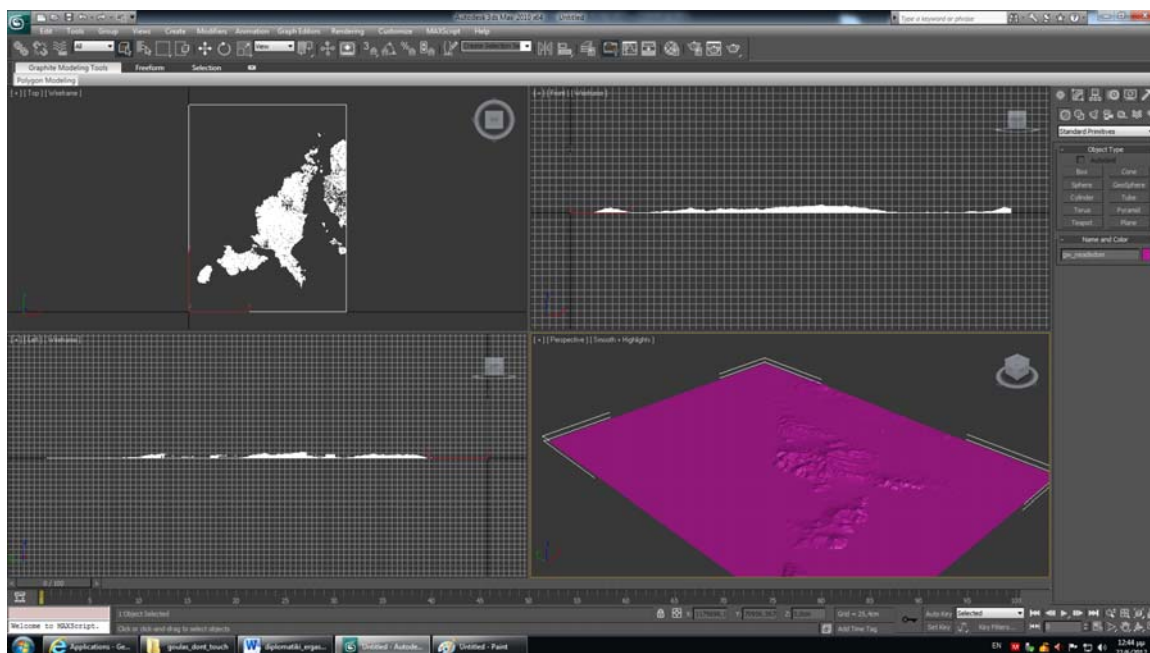


Εικόνα 30: Επιλογή format εξαγωγής

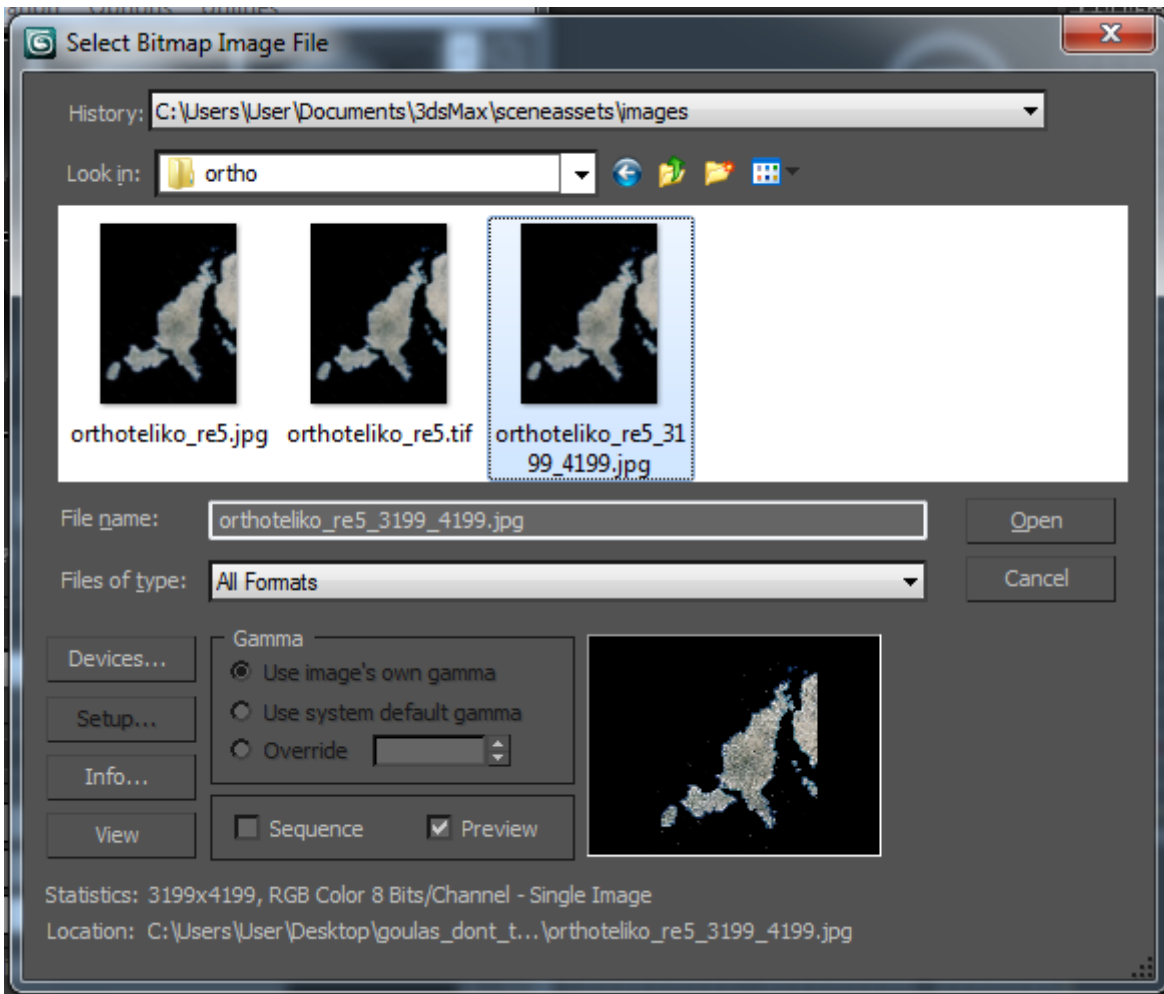
5. Με την εισαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και την εφαρμογή κατάλληλων εντολών (unwrapping, χρήση του material editor), επιτεύχθει η εισαγωγή της ορθοεικόνας και η πλήρη συνταύτιση του με το ψηφιακό υπόβαθρο, όπως φαίνεται παρακάτω.



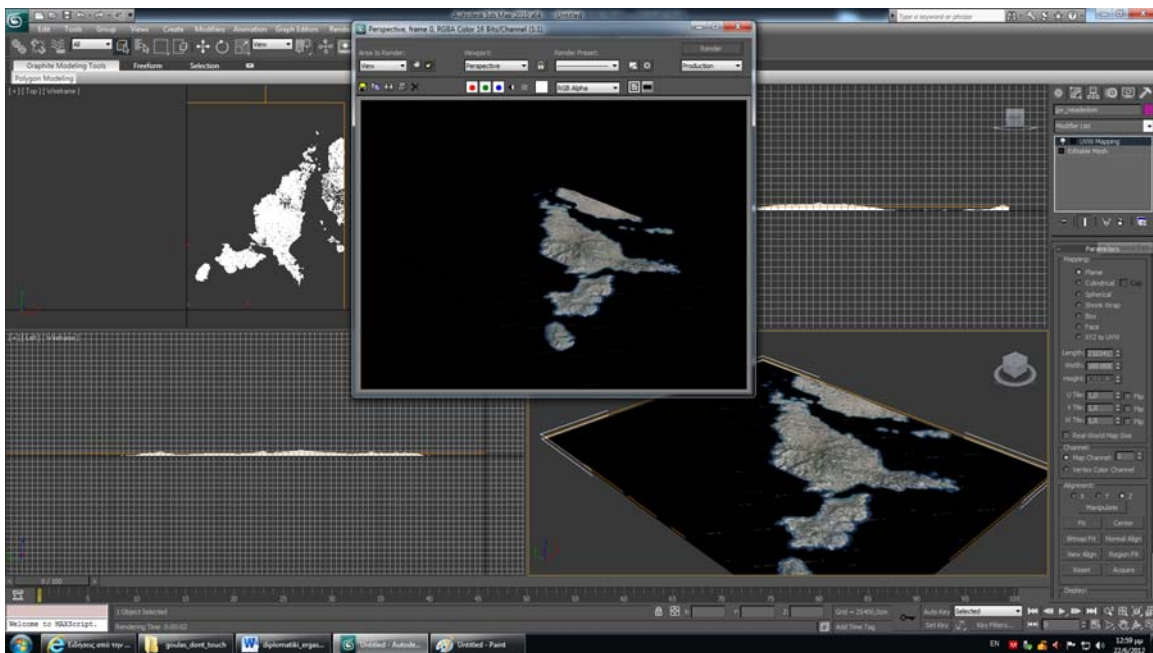
Εικόνα 31: Εισαγωγή δεδομένων στο 3ds studio max



Εικόνα 32: Εικόνα στο 3ds studio max



Εικόνα 33: Χαρακτηριστικά του texture

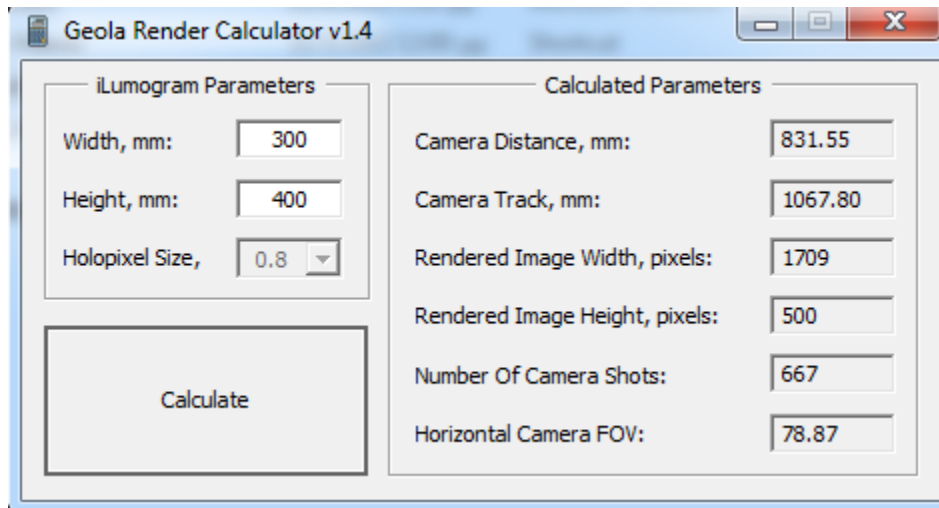


Εικόνα 34: Αποτέλεσμα Δημιουργίας 3d μοντέλου

6. Στη συνέχεια μετακινήθηκε το τρισδιάστατο αντικείμενο, ώστε να έρθει στις επιθυμητές διαστάσεις και το κέντρο της σκηνής να ταυτιστεί με το κέντρο του

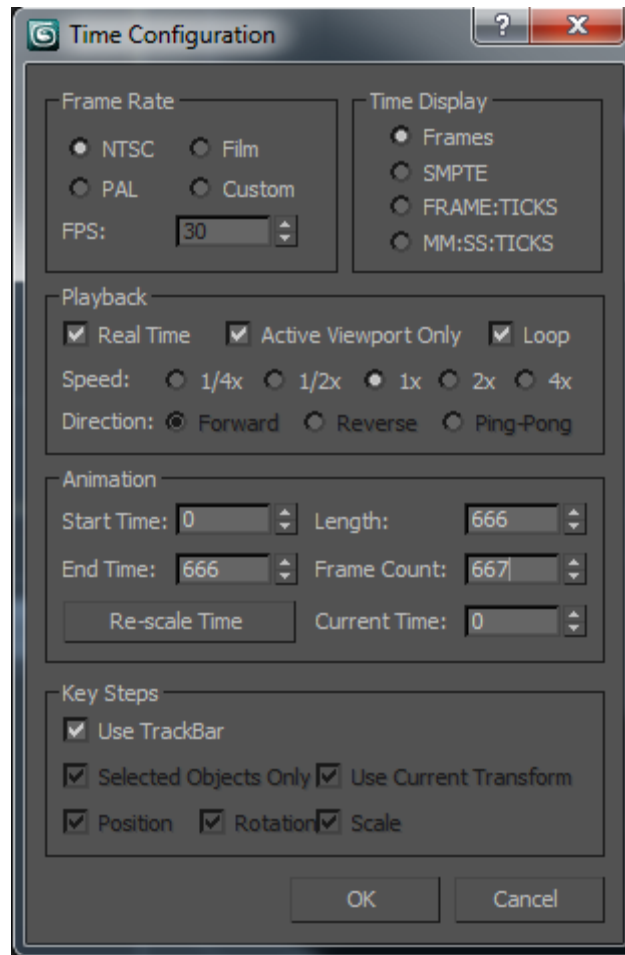
αντικειμένου. Αυτό γίνεται με την εντολή scale και έπειτα με την εντολή move. Με αποτέλεσμα ο χάρτης να πάρει τις τελικές διαστάσεις για την ολογραφική εκτύπωση.

7. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των ενεργειών είναι να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο με διαστάσεις 30x40 (Όσο και το επιθυμητό τελικό ολογράφημα) και με το κέντρο του στην αρχή των αξόνων. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ο υπολογιστής επεξεργασίας (render calculator) της εταιρείας Geola.com και εξάγονται οι παράμετροι επεξεργασίας (rendering) που θα χρησιμοποιηθούν όπως παρακάτω:

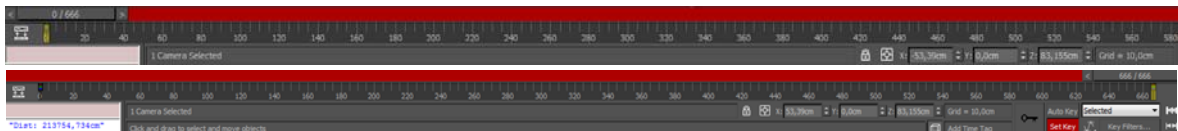


Εικόνα 35: Ο υπολογιστής Παραμέτρων για το rendering της σκηνής.

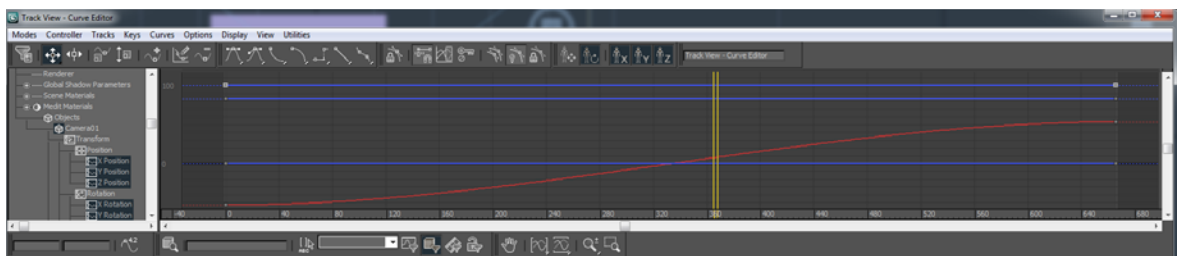
8. Άρα με βάση τις παραπάνω παραμέτρους θα πρέπει η κάμερα να τοποθετηθεί σε απόσταση 83,155 cm από τον χάρτη στο κατακόρυφο επίπεδο (Στον άξονα Z δηλαδή) και η κάμερα να κινηθεί από αριστερά προς τα δεξιά και με συντεταγμένες από $-1067,8/2$ έως $1067,8/2$. Επομένως με βάση τις παραπάνω παραμέτρους δημιουργείται μια εικονική κάμερα στο λογισμικό, η οποία ρυθμίζεται όχι μόνο για τις αποστάσεις λήψεις και για το εύρος πεδίου, αλλά και για τον αριθμό των λήψεων και την ταχύτητα λήψης αυτών.



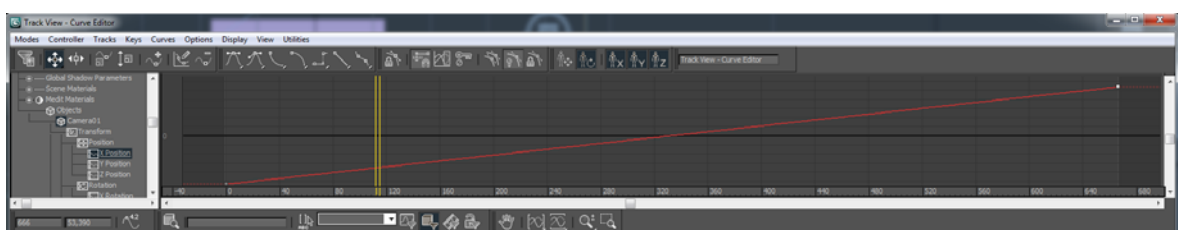
Εικόνα 36: Διαμόρφωση του χρόνου λήψεως



Εικόνα 37: Ρυθμίζοντας την Κάμερα

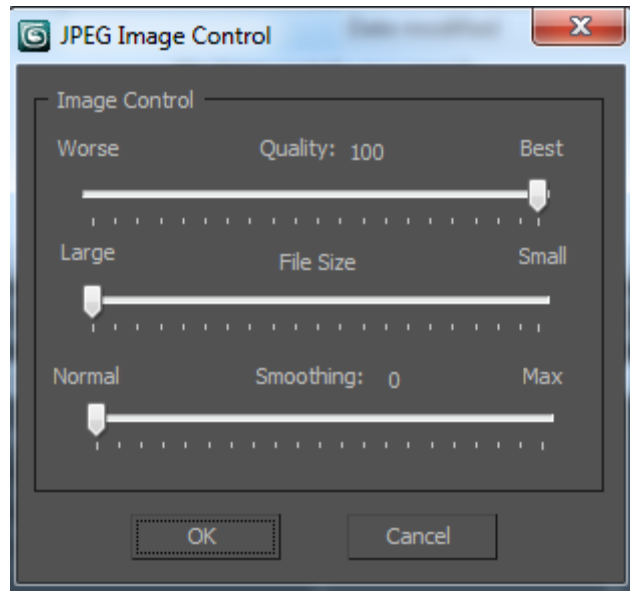


Εικόνα 38: Curve Editor



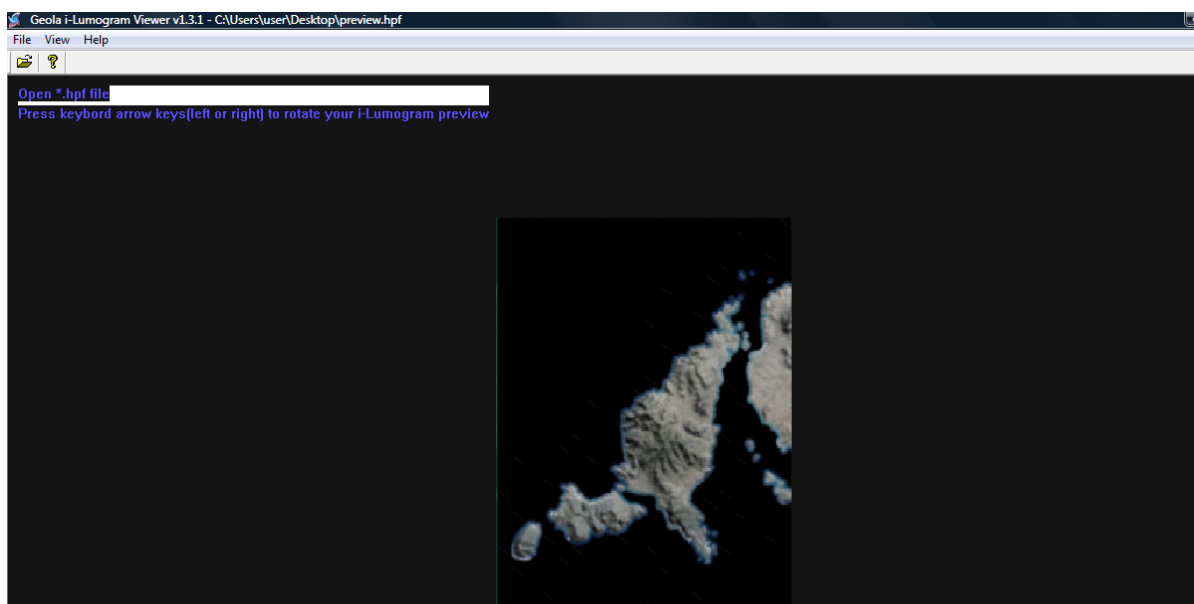
Εικόνα 39: Γραμμική λήψη των frames

9. Στη συνέχεια τα δεδομένα είναι έτοιμα για την τελική επεξεργασία (rendering), αφού επιλεγούν ως παράμετροι στο τελικό προϊόν οι εμφανιζόμενοι στην εικόνα 45. Το λογισμικό εκκινεί την διαδικασία λήψης των εικόνων (667 στο σύνολο) και αποθήκευσης τους σε κατάλληλο φάκελο.



Εικόνα 40: Ποιότητα Εικόνας

10. Το αποτέλεσμα του rendering αποστέλλεται στον ειδικό ολογραφικό εκτυπωτή (στην Λιθουανία) και το preview του ολογραφήματος έχει ως εξής.



Εικόνα 41: Ποιότητα Εικόνας

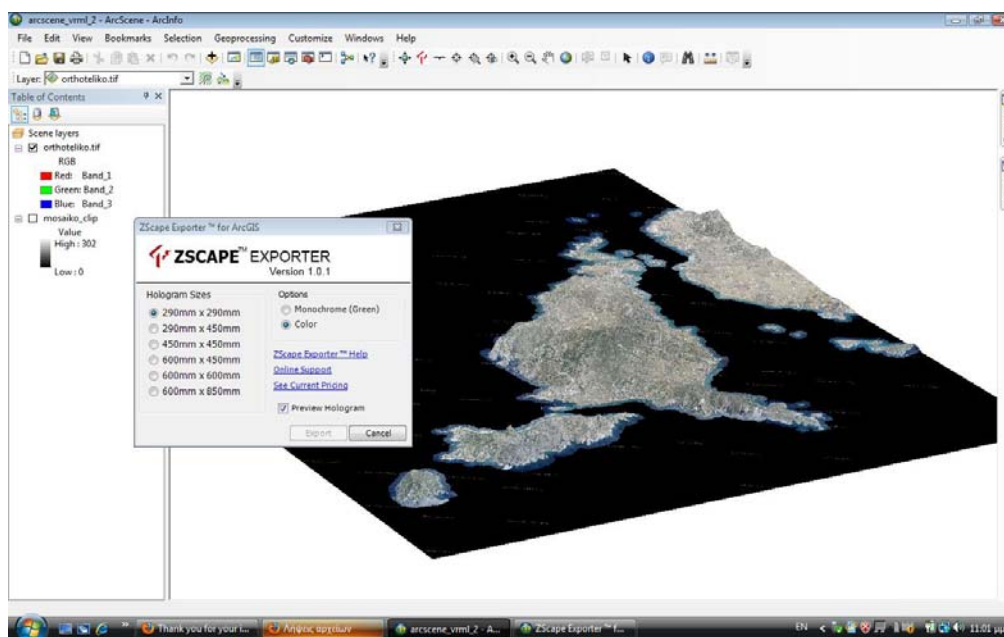
Αναλυτικότερα η παραπάνω διαδικασία με πλήρη στοιχεία για την διαδικασία που ακολουθήθηκε, περιγράφεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α»**

2.12.2 Στάδια Παραγωγής Ολογραφικού Χάρτη Πλήρους Παράλλαξης (Full Parallax)

Η παραγωγή ολογραφικού χάρτη πλήρους παράλλαξης, πραγματοποιείται με την χρήση του λογισμικού Zscape preview της εταιρείας Zebra. Το εν λόγω λογισμικό εγκαθίσταται τόσο σε GIS λογισμικά (Όπως το arcgis) όσο και σε προγράμματα 3-διάστατης σχεδίασης όπως το 3ds studio max και το autodesk maya.

Η χρήση του λογισμικού για την παραγωγή των δεδομένων για τον ολογραφικό εκτυπωτή μετατρέπει της ολογραφική παραγωγή σε τετριμμένη διαδικασία. Έτσι εισάγεται το 3D μοντέλο, που δημιουργήθηκε είτε με το λογισμικό arcscene είτε με το λογισμικό 3ds studio max στο αντίστοιχο περιβάλλον και έπειτα σύμφωνα με τις οδηγίες του λογισμικού επιλέγεται η περιοχή, ο τύπος του ολογράμματος, το μέγεθος του και με την εκτέλεση του λογισμικού δημιουργούνται τα δεδομένα τα οποία θα αποσταλούν στον εκτυπωτή για την ολογραφική εκτύπωση.

Αναλυτικότερα με την εισαγωγή του 3D μοντέλου στο λογισμικό και με την προϋπόθεση ότι έχει εγκατασταθεί το αντίστοιχο πρόσθετο (plug-in), επιλέγεται η εκτέλεση του και εμφανίζεται η αντίστοιχη εικόνα στο λογισμικό.



Εικόνα 41: Εξαγωγή Ολογράμματος Πλήρους Παράλλαξης

Στην συνέχεια επιλέγεται ο τύπος του ολογράμματος (έγχρωμο ή μονόχρωμο), το μέγεθός του (από συγκεκριμένα επιλεγμένα μεγέθη) καθώς και η περιοχή που θα αποτελέσει το ολόγραμμα. Με τον καθορισμό των παραπάνω μεγεθών πραγματοποιείται μια προεπισκόπηση του τελικού αποτελέσματος και στην συνέχεια με την εντολή export, το λογισμικό λειτουργεί ως μηχανή επεξεργασίας (rendering engine) λαμβάνοντας από κατάλληλες θέσεις προοπτικές απεικονίσεις και αποθηκεύοντας τα τελικά δεδομένα σε συμπιεσμένη μορφή για την αποστολή τους στον ολογραφικό εκτυπωτή και την παραγωγή του τελικού ολογράμματος.

2.13 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Μεθόδων

2.13.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Χ-παράλλαξης Ολογράμματος από την εταιρεία Geola.

Πλεονεκτήματα

- ✓ **Κατασκευή Ολογραφικού χάρτη από ψηφιακά δεδομένα**

Μέχρι τώρα η ολογραφική διαδικασία ήταν αποτέλεσμα εργαστηριακής εγγραφής, η οποία απαιτούσε ειδικό εξοπλισμό. Πλέον με τις δυνατότητες παρέχονται από την ψηφιακή ολογραφία, δίνεται η δυνατότητα να καταγραφούν ολογραφικά, δεδομένα που βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή και δεν θα μπορούσαν να επεξεργαστούν σε διαφορετική περίπτωση.

Έτσι είναι δυνατή η απεικόνιση σχεδίων και μακετών πριν γίνουν πραγματικότητα αλλά και η απεικόνιση των εδαφών, όπως σε μια τρισδιάστατη χαρτογραφική σύνθεση.

- ✓ **Λεπτομερής και εύληπτη απεικόνιση των εδαφών**

Η ολογραφία ανοίγει νέους ορίζοντες στην χαρτογραφική απεικόνιση. Πλέον δεν έχουμε την απεικόνιση του τρισδιάστατου κόσμου σε μια κατάλληλη δισδιάστατη προβολή αλλά την απεικόνιση υπό κλίμακα του τρισδιάστατου κόσμου που μας περιβάλλει. Με αποτέλεσμα το άνοιγμα της γεω-πληροφορίας και σε λιγότερο εξειδικευμένους χρήστες.

- ✓ **Η ύπαρξη render calculator**

Η ύπαρξη του υπολογιστή της εταιρείας geola παρέχει όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες ώστε να πραγματοποιηθεί η ολογραφική καταγραφή, όπως είναι η απόσταση της κάμερας από το αντικείμενο, το εύρος μετακίνησης και ο αριθμός λήψεων.

Μειονεκτήματα

- ✓ **Δημιουργία ολογραμμάτων μόνο Χ-Παράλλαξης.**

Με την μέθοδο αυτή και την κίνηση της κάμερας κατά την μια διεύθυνση επιτυγχάνεται η δημιουργία ολογραμμάτων μόνο χ παράλλαξης, με αποτέλεσμα το τρισδιάστατο αποτέλεσμα να είναι λιγότερο εμφανές σε σχέση με τα ολογράμματα πλήρους παράλλαξης (full parallax holograms).

Για την επίτευξη ολογραμμάτων πλήρους παράλλαξης θα έπρεπε να κινηθεί η κάμερα σε 2 διευθύνσεις.

✓ **Δεν υφίσταται rendering engine.**

Η δημιουργία του ολογράμματος πραγματοποιείται μέσα στο λογισμικό του 3ds studio max με την χρήση της κάμερας από τον χρήστη και με τον προγραμματισμό των λήψεων από τον ίδιο. Το παραπάνω ενώ δίνει την ευκαιρία στο χρήστη για παραμετροποίηση του αποτελέσματος σύμφωνα με τα επιθυμητά, εντούτοις απαιτεί εξειδικευμένη γνώση από τον χρήστη.

✓ **Δυσκολία Χειρισμού Γεωγραφικών Δεδομένων**

Η κατασκευή ολογραφικού χάρτη με την χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού, παρουσίασε δυσκολίες αφού το 3ds studio max δεν είναι κατασκευασμένο για τον χειρισμό γεωγραφικών δεδομένων. Έτσι απαιτήθηκε η μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε διαφορετικά format, ώστε να καταστεί δυνατή η επεξεργασία και η παρουσίαση των δεδομένων αυτών.

2.13.2 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Ολογράμματος Πλήρους Παράλλαξης από την εταιρεία Zebra Imaging.

Πλεονεκτήματα

✓ **Πλήρη Απεικονιστική Δυνατότητα**

Η εκτύπωση ολογραμμάτων πλήρους παράλλαξης δημιουργεί ένα τελικό προϊόν που παρέχει πλήρη απεικονιστική δυνατότητα στον θεατή, δίνοντας την εικόνα του αντικειμένου σε δύο διευθύνσεις σαν να ήταν παρόν στη σκηνή.

✓ **Ύπαρξη Λογισμικού Επεξεργασίας (rendering engine)**

Το εν λόγω λογισμικό μπορεί να αποτελέσει τόσο πλεονέκτημα όσο και μειονέκτημα στην ολογραφική διαδικασία. Είναι πλεονέκτημα διότι αυτοματοποιεί τις διαδικασίες παραγωγής του ολογράμματος, αλλά ταυτόχρονα και μειονέκτημα διότι εμποδίζει τον πιο έμπειρο χρήστη να παραμετροποιήσει το τελικό ολόγραμμα όπως εκείνος επιθυμεί.

✓ **Ευκολία Χειρισμού Γεωγραφικών Δεδομένων**

Το πρόσθετο λογισμικό (plug in) που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων ουσιαστικά δίνει την δυνατότητα της παραγωγής ολογραμμάτων σε περιβάλλον επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων.

Μειονεκτήματα

✓ **Ύπαρξη Λογισμικού Επεξεργασίας (rendering engine)**

Το εν λόγω λογισμικό μπορεί να αποτελέσει τόσο πλεονέκτημα όσο και μειονέκτημα στην ολογραφική διαδικασία, όπως προαναφέρθηκε. Έτσι χαρακτηρίζεται ως μειονέκτημα διότι εμποδίζει τον πιο έμπειρο χρήστη να μεταβάλλει τις παραμέτρους του τελικού ολογράμματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του.

✓ **Παραγωγή ολογραμμάτων σε συγκεκριμένα μεγέθη μόνο**

Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα παραγωγής ολογραμμάτων σε συγκεκριμένα μεγέθη μόνο. Έτσι περιορίζει την δυνατότητα για τον σχεδιασμό και την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

2.14 Προβλήματα-Συμπεράσματα

Η κατασκευή ενός ολογραφικού χάρτη αποτέλεσε μια απαιτητική διαδικασία στην οποία εμφανίστηκαν μια σειρά προβλημάτων, τα οποία επιλύθηκαν διαδοχικά, ώστε να επιτευχθεί η αναμενόμενη ολογραφική χαρτοσύνθεση.

Αρχικά το 3ds studio max δεν μπορούσε να «διαβάσει» (αναγνωρίσει) το μορφότυπο (format) geotiff του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, όπως επίσης τον μορφότυπο tiff με γεωαναφορά (.tfw) της ορθοεικόνας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την μετατροπή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε μορφή terragen. Έτσι ώστε με την χρησιμοποίηση κατάλληλου προσθέτου (plug in) να είναι δυνατή η ανάγνωση και η παρουσίαση του στο περιβάλλον του λογισμικού. Επίσης πριν την εισαγωγή των ορθοεικόνων αυτές μετατράπηκαν, έτσι ώστε να έχουν το ίδιο βήμα (pixel size), τις ίδιες διαστάσεις και έγινε και μια κατάλληλη αποκοπή (clip) πριν από αυτό έτσι ώστε να συνταυτιστούν απόλυτα το υπόβαθρο με τις εικόνες.

Στην συνέχεια αφού εισήχθη το μοντέλο ακολουθήθηκε η διαδικασία της συνθετικής ψηφιακής ολογραφίας και μετά από μια σειρά αποτυχημένων προσπαθειών, επετεύχθει το τελικό αποτέλεσμα.

Παρά πολλά προβλήματα στην προσπάθεια αυτή εμφανίστηκαν στις παραμέτρους λήψης των εικόνων για τον χάρτη. Παράμετροι όπως η απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα το εύρος λήψης, η θέση της κάμερας στον χώρο καθώς ο τρόπος και η ταχύτητα κίνησης. Παρόλο που κάποιοι εξ αυτών δίνονταν από το render calculator, εντούτοις όταν οι προεπισκοπήσεις (preview) των ολογραμμάτων στέλνονταν για εκτύπωση, επέστρεφαν ως μη ορθά. Έτσι μετά από μια σειρά διορθώσεων δημιουργήθηκε το preview, που παρουσιάζεται παραπάνω.

Με το πέρας της κατασκευής του 3D μοντέλου για την δημιουργία του ολογράμματος πλήρους παράλλαξης, η διαδικασία ήταν σαφώς ευκολότερη αφού με την χρήση του εν λόγω λογισμικού η διαδικασία ήταν πλήρως αυτοματοποιημένη.

3. 3D-Τρισδιάστατη Εκτύπωση

3.1 Γενικά περί Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Η **3D εκτύπωση** είναι μια διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων από ένα ψηφιακό αρχείο χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή υλικών, με τρόπο παρόμοιο με την εκτύπωση εικόνων σε χαρτί. Ο όρος είναι περισσότερο συνδεδεμένος με την τεχνολογία προσθετικής παραγωγής (additive manufacturing), όπου ένα αντικείμενο δημιουργείται από την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων του υλικού. Όλο και περισσότερο ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλους τους τύπους των διαδικασιών προσθετικής παραγωγής (Heynick & Stoltz, 2010).

Η τεχνολογία αυτή βρίσκει χρήση σε πάρα πολλούς τομείς, όπως η κατασκευή πρότυπων κοσμημάτων, υποδημάτων, σε εφαρμογές βιομηχανικού σχεδιασμού, αρχιτεκτονικής, μηχανικής όπως επίσης στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την οδοντιατρική, την ιατρική, την εκπαίδευση, και στα **συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και την χαρτογραφία**.

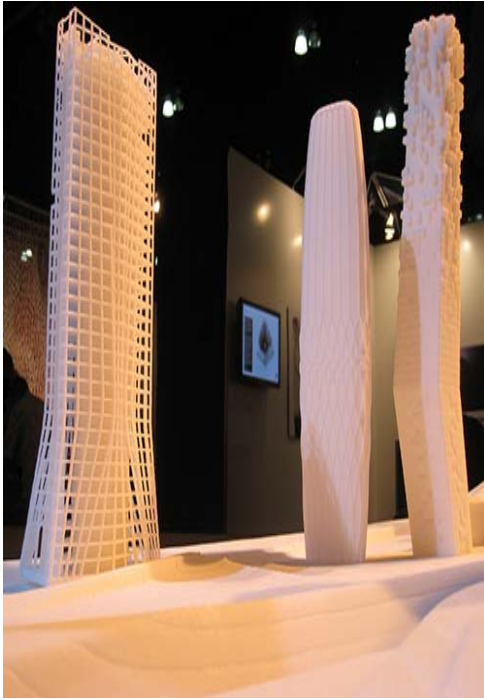
3.2 Εξέλιξη της Τεχνολογίας 3d Printing

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν διάφορες τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι κύριες διαφορές τους βρίσκονται στον τρόπο με τον οποίο τα επιμέρους στρώματα έχουν κατασκευαστεί για να δημιουργήσουν τα διάφορα εξαρτήματα. Μερικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τήξη της ύλης για την παραγωγή των στρωμάτων, π.χ. επιλεκτικό λέιζερ πυροσυσσωμάτωσης (Selective Laser Sintering SLS) ή εναπόθεσης τηγμένης ύλης (Fused Deposition Modeling FDM), ενώ άλλες μέθοδοι απαιτούν υγρά υλικά που χρησιμοποιούνται με διαφορετικές τεχνολογίες, όπως η στερεολιθογραφία (SLA). Στην περίπτωση της κατασκευής πλαστικοποιημένου αντικειμένου (LOM), κόβονται λεπτές στρώσεις κομμένες σε σχήματα και ενώνονται (π.χ. χαρτί, πολυμερή, μέταλλα).

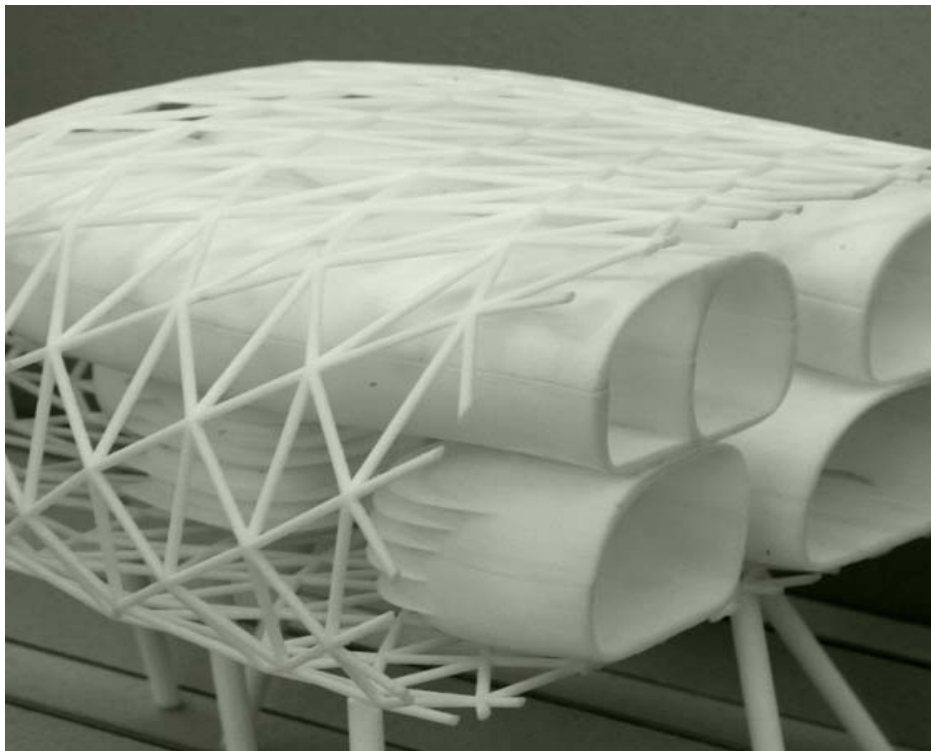
Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, και κατά συνέπεια, ορισμένες εταιρείες προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διάφορους τύπους υλικών (π.χ. γύψο, πολυμερές υλικό κ.α.), από τα οποία προκύπτει το αντικείμενο. Σε γενικές γραμμές, τα κύρια ζητήματα, που πρέπει να αναλυθούν είναι η **ταχύτητα, το κόστος του προτύπου, το κόστος του 3D εκτυπωτή, η επιλογή και το κόστος των υλικών και οι δυνατότητες χρωματικών απεικονίσεων των συστημάτων**.

3.3 Μέθοδοι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

3.3.1 Συνεχής Εναπόθεση Υλικού (Fused Deposition Modelling)



Εικόνα 42: Αποτελέσματα Μεθόδου FDM



Εικόνα 43: Αποτελέσματα Μεθόδου με διάφορα Υλικά

Αποτελεί μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τη Stratasys και χρησιμοποιείται στην παραδοσιακή ταχεία προτυποποίηση (rapid prototyping),

χρησιμοποιεί ένα ακροφύσιο για να τοποθετεί λειωμένο πολυμερές σε μια δομή υποστήριξης, σε διάφορα στρώματα .

Στην μέθοδο αυτή το πλαστικό λιώνει σε μια κεφαλή εξώθησης και έπειτα εναποτίθεται σε λεπτά νημάτια δημιουργώντας την στρώση. Η κεφαλή εκτύπωσης μετακινείται τόσο κατά την x όσο και κατά την y διεύθυνση, εξασφαλίζοντας ότι το υλικό θα τοποθετηθεί στην σωστή θέση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την κατασκευή του τελικού προϊόντος. (3D CAD, CAM Rapid prototyping, Heynick & Stotz 2008)

Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής είναι η χαμηλή ακρίβεια εκτύπωσης, οι μεγάλοι χρόνοι εκτύπωσης και η ανθεκτικότητα των μελών της. Με το κόστος εκτύπωσης και απόκτησης του 3D εκτυπωτή να κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα, αποτελεί μια επιλογή που ισορροπεί ανάμεσα στην ακρίβεια εκτύπωσης και στο μειωμένο κόστος παραγωγής.

3.3.2 Κοκκώδης Σύνδεση Υλικού (Granular Material Binding)

Μια άλλη προσέγγιση είναι η επιλεκτική τήξη των μέσων εκτύπωσης σε ένα κοκκώδες υπόστρωμα. Σε αυτή την παραλλαγή, τα ασύνδετα μέσα χρησιμεύουν για να υποστηρίξουν προεξοχές και λεπτά τοίχια στα παραγόμενα τμήματα, μειώνοντας την ανάγκη για προσωρινά βοηθητικά υποστηρίγματα για το αντικείμενο εργασίας. Συνήθως ένα λέιζερ χρησιμοποιείται για την τήξη του μέσου και την δημιουργία του στερεού.

3.3.2.1 Επιλεκτική Πυροσυσσωμάτωση με Laser (Selective Laser Sintering (SLS))

Χαρακτηριστικό παραδείγματα είναι η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (Selective Laser Sintering SLS), που χρησιμοποιεί μέταλλα καθώς και πολυμερή, με την επενέργεια λέιζερ άμεσης τήξης μετάλλων. Στην μέθοδο αυτή μια δέσμη laser ενώνει σωματίδια (σκόνη) ώστε να σχηματίσει ένα στερεό στρώμα. Μετά την δημιουργία του στρώματος τοποθετείται ένα νέο στρώμα από το υλικό και το laser λιώνει και δημιουργεί την επόμενη στρώση του υλικού. Το υλικό ενώ βρίσκεται στο θάλαμο διαμόρφωσης θερμαίνεται και η ενέργεια που υπολείπεται για το λιώσιμο και την συσσωμάτωση δίνεται από το λέιζερ σε εκείνα τα σημεία που θα αποτελέσουν το τρισδιάστατο αντικείμενο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μια στρώση κάθε φορά μέχρι να ολοκληρωθεί το προϊόν. (3D CAD, CAM Rapid prototyping, Heynick & Stotz 2008).

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει υψηλή ακρίβεια, με κύριο όμως χαρακτηριστικό την υψηλή τιμή των υλικών αλλά και του εκτυπωτή.



Εικόνα 44: Αποτελέσματα της Μεθόδου SLS



Εικόνα 45: Αποτελέσματα Μεθόδου EBM

Η δέσμη ηλεκτρονίων τήξης (Electron Beam Melting EBM) είναι ένας παρόμοιος τύπος της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής για τα **μεταλλικά μέρη** (π.χ. κράματα τιτανίου). Η μεθοδος EBM κατασκευάζει εξαρτήματα με την τήξη σκόνης μετάλλου σε στρώματα με την χρήση δέσμης ηλεκτρονίων σε υψηλό κενό. Σε αντίθεση με τις τεχνικές συσσωμάτωσης μετάλλου που λειτουργούν κάτω από το σημείο τήξης, τα μέρη είναι πλήρως πυκνά, χωρίς κενό, και πολύ ισχυρά, με αποτέλεσμα την χρήση τους σε απαιτητικά πεδία όπως οι μεταλλικοί σύνδεσμοι αντικατάστασης οστών στο ανθρώπινο σώμα.

3.3.3 Φωτοπολυμερισμός

Η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιεί τον φωτοπολυμερισμό, για να παραχθεί ένα συμπαγές τμήμα από ένα υγρό, είναι η στερεολιθογραφία (SLA). Στην μέθοδο αυτή μια δέσμη laser αλληλεπιδρά με την επιφάνεια ενός δοχείου που περιέχει υγρό πολυμερές, εκεί που συναντώνται η δέσμη laser με το πολυμερές, αυτό στερεοποιείται και σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα από το αντικείμενο στην συνέχεια το στρώμα αυτό βυθίζεται στο διάλυμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν. Το υγρό πολυμερές στη συνέχεια αποστραγγίζεται από την δεξαμενή, αφήνοντας το στερεό μοντέλο. (3D CAD, CAM Rapid prototyping, Heynick & Stotz 2008)



Εικόνα 46: Αποτελέσματα Μεθόδου Φωτοπολυμερισμού

Η διαδικασία αυτή καλείται ψηφιακή επεξεργασία φως (DLP Digital light processing). Το σύστημα ZBuilder Ultra είναι ένα τέτοιο παράδειγμα συστήματος ταχείας προτυποποίησης DLP .



Εικόνα 47: Αποτέλεσμα Μεθόδου DLP

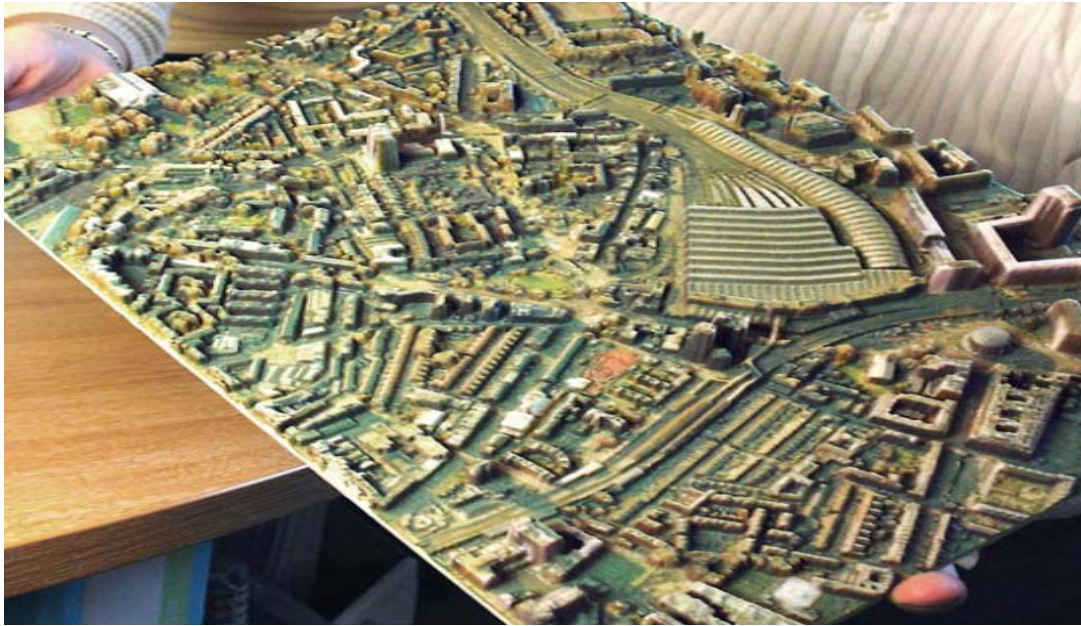


Εικόνα 48: Αποτελέσματα Μεθόδου DLP

Το σύστημα Objet PolyJet χρησιμοποιεί μια τελείως διαφορετική τεχνική. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ένας inkjet εκτυπωτής ψεκάζει υγρό φωτοπολυμερές σε εξαιρετικά λεπτές στρώσεις (16 μm), ένα στρώμα κάθε φορά πάνω σε ένα δίσκο κατασκευής. Κάθε στρώμα φωτοπολυμερούς φωτίζεται με υπεριώδες φως στα σημεία εκείνα που απαιτείται για να δημιουργηθεί η συγκεκριμένη στρώση του 3D μοντέλου. Έτσι παράγονται τρισδιάστατα υλικά τα οποία είναι έτοιμα για χρήση με το πέρας της εκτύπωσης τους στον 3D εκτυπωτή. Το υλικό υποστήριξης με υφή gel, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει πολύπλοκες γεωμετρίες, αφαιρείται είτε με το χέρι είτε με υδροβολή. Το παραπάνω σύστημα είναι κατάλληλο τόσο για πλαστικά όσο και για ελαστομερή υλικά.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της παραπάνω μεθόδου είναι η υψηλή ακρίβεια, το υψηλό κόστος κτήσης, και τα αναλώσιμα μετρίου κόστους.

3.3.4 3D Printing-Inkjet binder-(Z Corp)



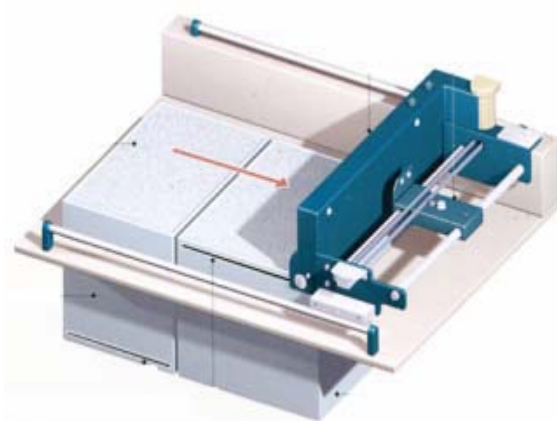
Εικόνα 49: Αποτελέσματα Μεθόδου Inkjet Binder

Στην μέθοδο αυτή ένας εκτυπωτής «μελάνης» εκτυπώνει μια μορφή κόλλας (ένα συνδετικό υλικό) πάνω σε σκόνη έτσι ώστε να δημιουργήσει ένα στερεοποιημένο στρώμα. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται με χρήση υλικών όπως γύψος, τα κεραμικά και η κόλλα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της παραπάνω μεθόδου είναι η μέτρια ακρίβεια του τελικού προϊόντος, η ταχύτατη εκτύπωση και το εύθραυστο των υλικών. Από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος των υλικών και το μέτριο κόστος απόκτησης του εκτυπωτή (3dp MIT Zcorp, 1993).

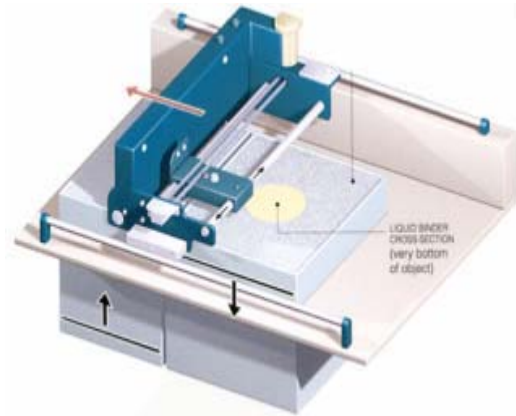
Αναλυτικότερα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τυπική τεχνολογία εκτυπωτών μελάνης για την δημιουργία αποτελεσμάτων με την μέθοδο της διαδοχικής δημιουργίας στρωμάτων, με την εναπόθεση ενός συνδετικού υγρού πάνω σε λεπτά στρώματα σκόνης. Αντί να τροφοδοτείται η κεφαλή του εκτυπωτή με χαρτί, όπως συμβαίνει με έναν διδιάστατο εκτυπωτή, ο 3-διάστατος εκτυπωτής κινεί τις κεφαλές εκτύπωσης πάνω από ένα στρώμα σκόνης, επί του οποίου τυπώνει τα δεδομένα, που στάλθηκαν από το λογισμικό (3dp MIT Zcorp, 1993). Η σκόνη πρέπει να διανέμεται στην πλατφόρμα επεξεργασίας ομοιόμορφα και με ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός εμβόλου τροφοδοσίας και μιας πλατφόρμας η οποία ανυψώνεται για κάθε στρώμα. Ένα μηχανισμός κύλισης διασπείρει την σκόνη που τροφοδοτείται από το έμβολο πάνω στην πλατφόρμα. Ο εκτυπωτής διασπείρει 30% επιπλέον σκόνη από την αναγκαία, ανά στρώμα, ώστε να εξασφαλιστεί ένα πλήρες και πυκνό στρώμα σκόνης επί της πλατφόρμας. Η επιπλέον σκόνη πέφτει σε ένα αύλακα υπερχείλισης, σε ένα δοχείο για να επαναχρησιμοποιηθεί.

Όταν το στρώμα σκόνης απλωθεί, η κεφαλή του εκτυπωτή τυπώνει στην περιοχή την πρώτη φορά το χαμηλότερο επίπεδο στο πρώτο στρώμα σκόνης, ενώνοντας τα επιμέρους στοιχεία. Το έμβολο έπειτα κατεβάζει την πλατφόρμα κατά 0,1016mm και ψεκάζεται ένα νέο στρώμα σκόνης. Η εκτυπωτική κεφαλή

εφαρμόζει τα δεδομένα για το επόμενο πέρασμα σε ένα νέο στρώμα, το οποίο ενώνεται με το προηγούμενο. Έτσι επαναλαμβανόμενη η διαδικασία δημιουργείται ένα ακριβές φυσικό μοντέλο των 3-διάστατων. Ο χρόνος επεξεργασίας εξαρτάται από το ύψος των αντικειμένων που δημιουργούνται. Όταν ολοκληρωθεί η τρισδιάστατη εκτύπωση, με πεπιεσμένο αέρα αφαιρούνται τα υπολείμματα. (3dp MIT Zcorp, 1993)



Εικόνα 50: Ψεκασμός Στρώματος Σκόνης



Εικόνα 51: Εκτύπωση Στρώματος Σκόνης



Εικόνα 53: Αποτελέσματα Μεθόδου Inkjet Binder

3.4 Εφαρμογές Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Συνήθεις εφαρμογές περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό, την κατασκευή προτύπων, την χύτευση μετάλλων, την αρχιτεκτονική, και την εκπαίδευση. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανακατασκευή απολιθωμάτων στην παλαιοντολογία, την αντιγραφή αρχαίων και ανεκτίμητων έργων τέχνης στην αρχαιολογία, την ανακατασκευή των οστών του σώματος στην ιατροδικαστική παθολογία και την ανάκτηση στοιχείων που συγκεντρώθηκαν από τις έρευνες σε

τόπους εγκλήματος. Η 3D εκτύπωση παρουσιάζει πλέον τέτοιες δυνατότητες, ώστε να μπορεί να παράγει ένα εξατομικευμένο αντίγραφο ισχίου, με την άρθρωση μόνιμα μέσα στην υποδοχή. Με αποτέλεσμα ακόμη και σε τρέχουσες αναλύσεις εκτύπωσης τα αποτελέσματα δεν απαιτούν λείανση.

Η χρήση των τεχνολογιών 3D εκτύπωσης επιτρέπουν την αναπαραγωγή των πραγματικών αντικειμένων, χωρίς τη χρήση τεχνικών διαμόρφωσης (όπως στις μηχανές CNC), όπου σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι πιο ακριβές, πιο δύσκολες ή πολύ επεμβατικές για να πραγματοποιηθούν. Ιδιαίτερα σε πολύτιμα ή ευαίσθητα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς, η άμεση επαφή των ουσιών αυτών θα μπορούσε να βλάψει την διαμόρφωση της επιφάνειας του αρχικού αντικειμένου.

Βιομηχανικοί 3D εκτυπωτές έχουν υπάρξει από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, και έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ταχεία προτυποποίηση και για ερευνητικούς σκοπούς, αλλά με την πτώση των τιμών και την εύρεση νέων τεχνικών παρατηρείται μια άνθηση στον τομέα αυτό. Οι βιομηχανικοί 3D εκτυπωτές δημιουργούνται κατά κύριο λόγο από εταιρίες όπως η Objet Geometries, η Stratasys, η 3D Systems, η EOS GmbH, και η Z Corporation.

3.5 Διαδικασία Δημιουργίας 3-d printed Χάρτη

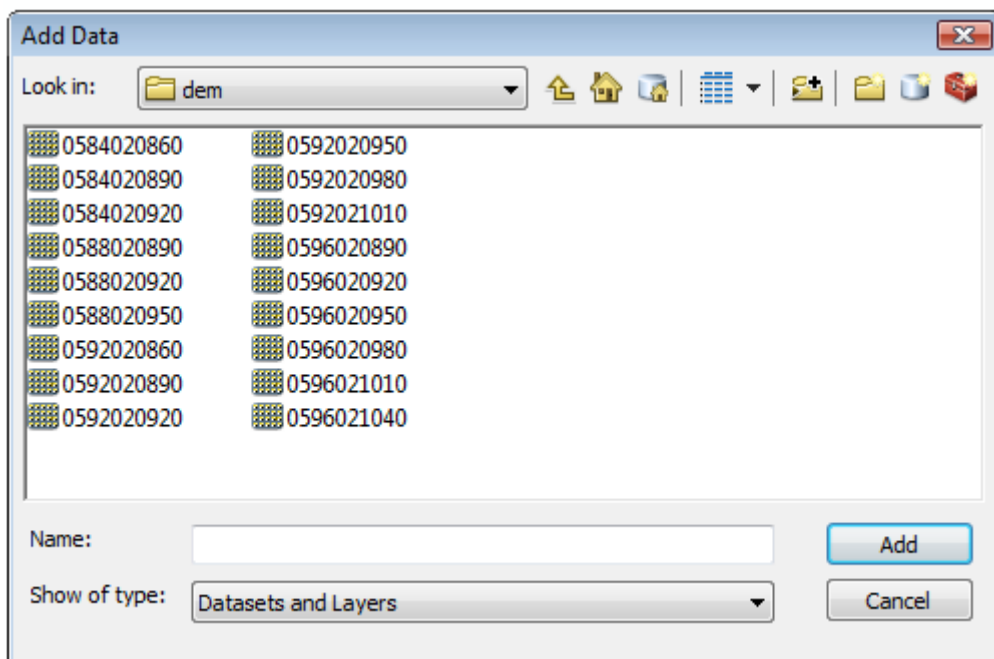
3.5.1 1^η Μέθοδος με την χρήση του λογισμικού Arcgis

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην χρήση του πρόσθετου λογισμικού (module) Arcscene (Phyllis T., 2003) και την δυνατότητα που δίνει για εξαγωγή τρισδιάστατων μοντέλων σε μορφή vml (.wrl). Τα αρχικά δεδομένα αποτελούνται από τα παρακάτω:

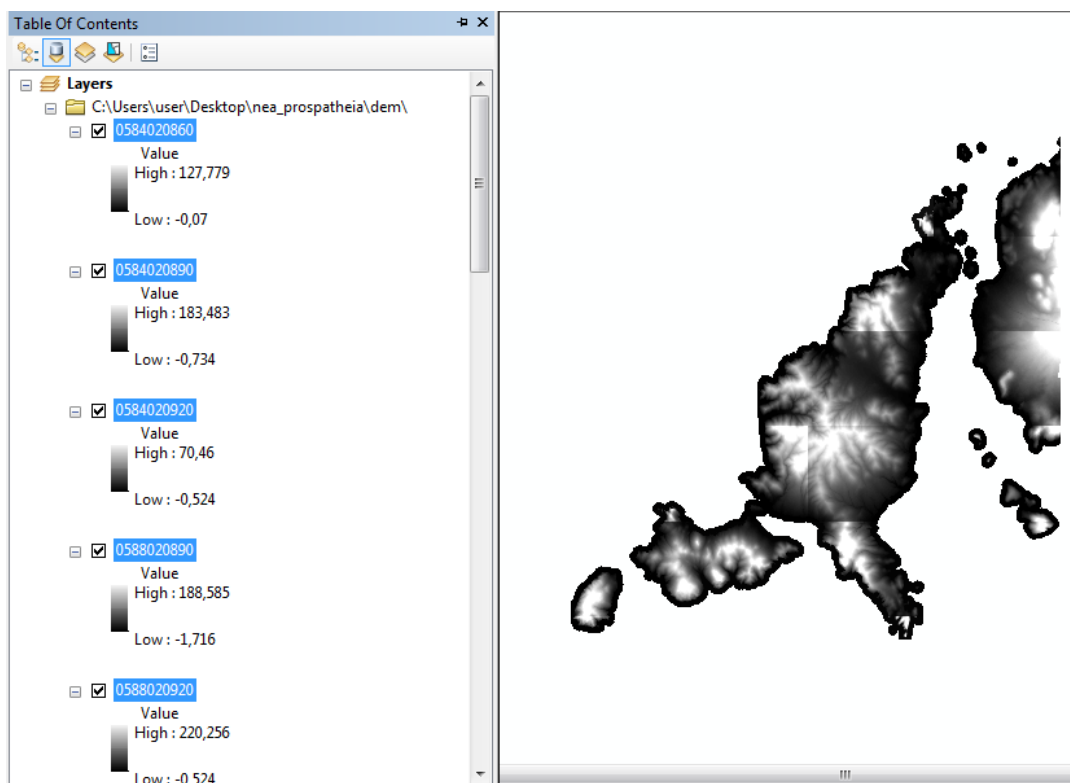
- ✓ 18 πινακίδες ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dtm) σε μορφή .adf με βήμα 5 m της νήσου αντίπαρος
- ✓ 18 πινακίδες ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών σε μορφή .jp2 με βήμα (pixel size) 50 cm της νήσου αντίπαρος.

Ακολουθούνται αλγοριθμικά τα παρακάτω βήματα:

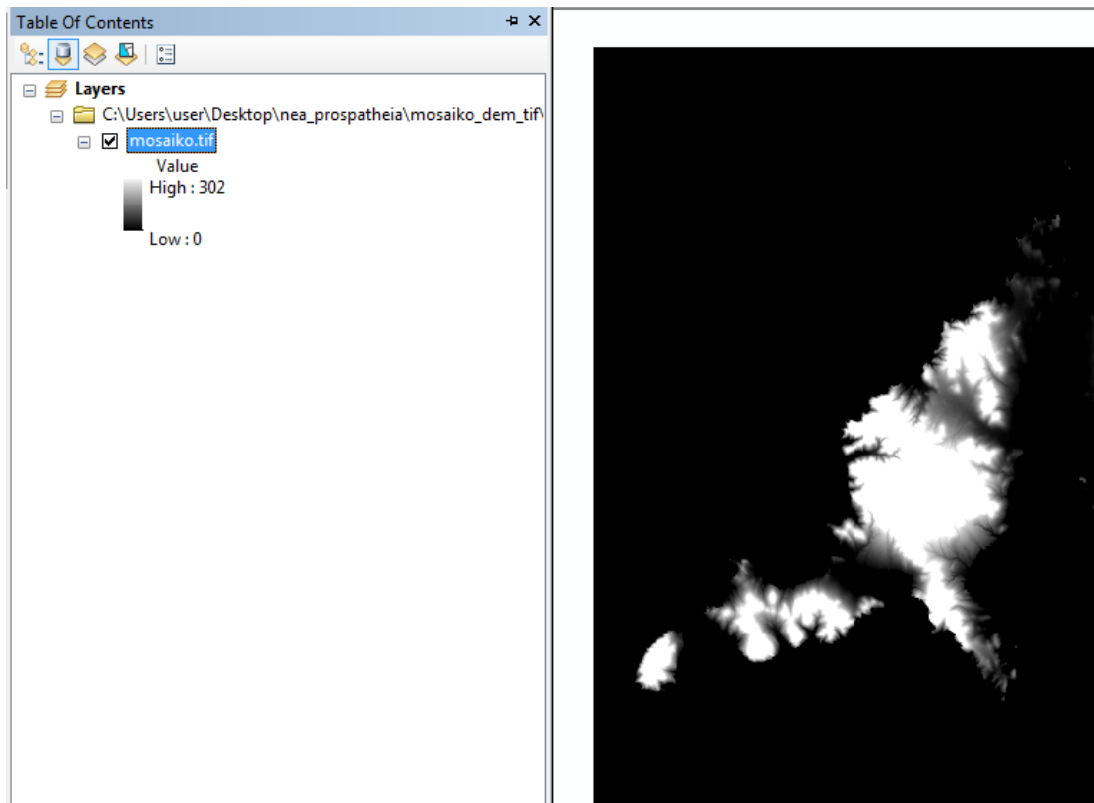
1. Εισάγονται στο λογισμικό arcmap οι πινακίδες του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dtm) και μετατρέπονται σε μωσαϊκό, όπως παρακάτω:



Εικόνα 54: Εισαγωγή Πινακίδων DEM

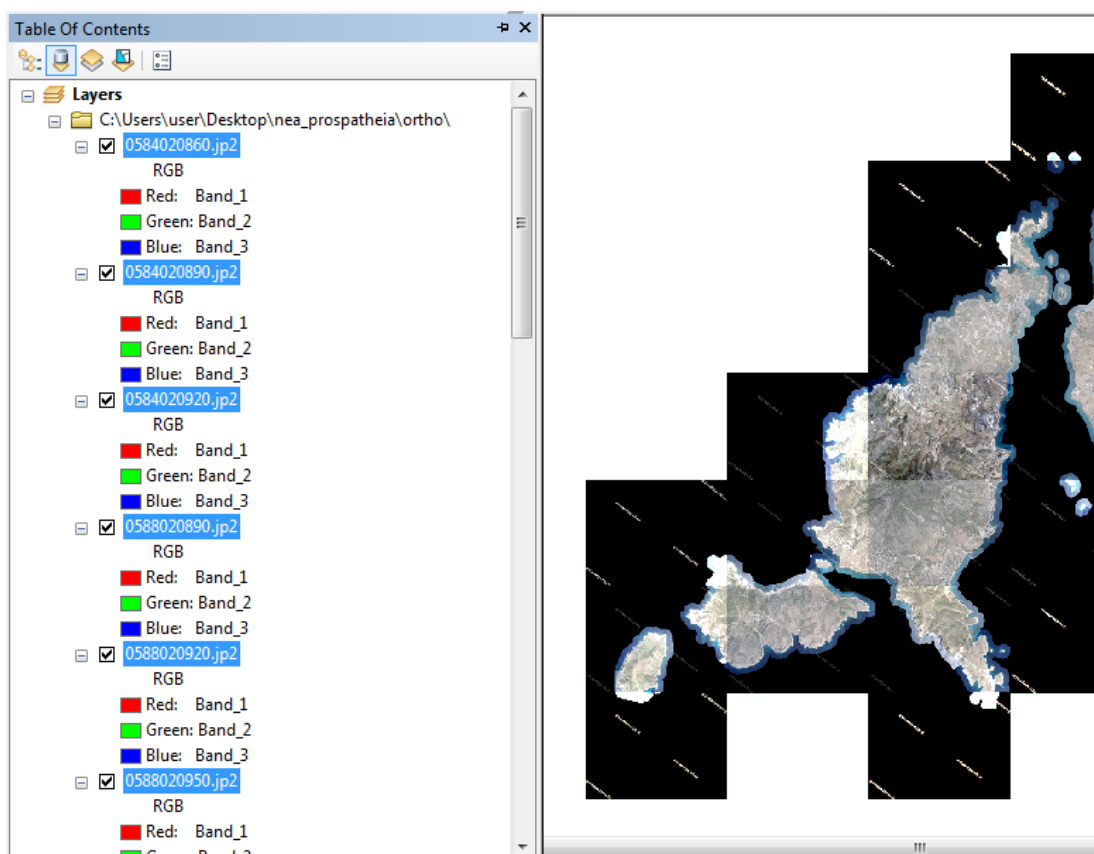


Εικόνα 55: Το σύνολο των Πινακίδων DEM στο Arcgis

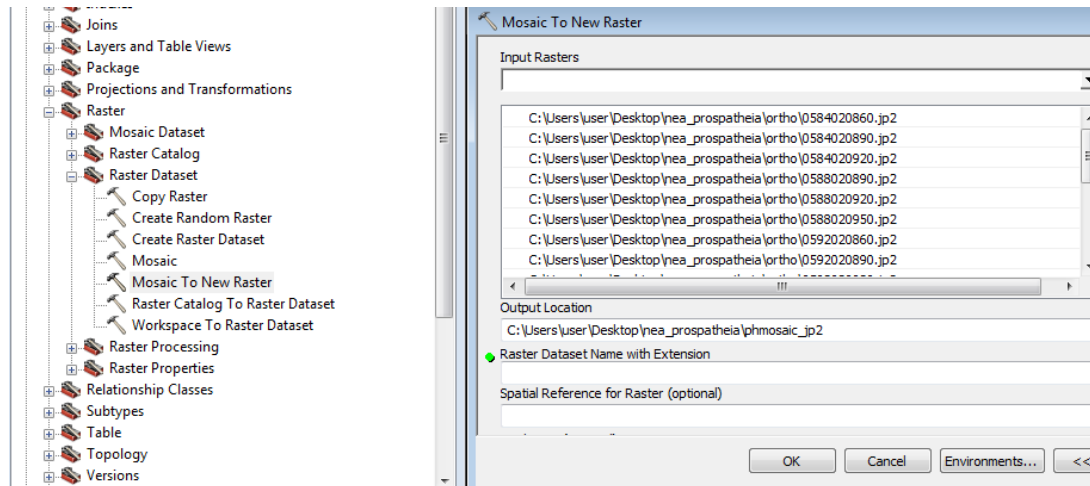


Εικόνα 56: Το αποτέλεσμα του ενιαίου Μωσαϊκού

2. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία για τις πινακίδες των ορθοφωτογραφιών.

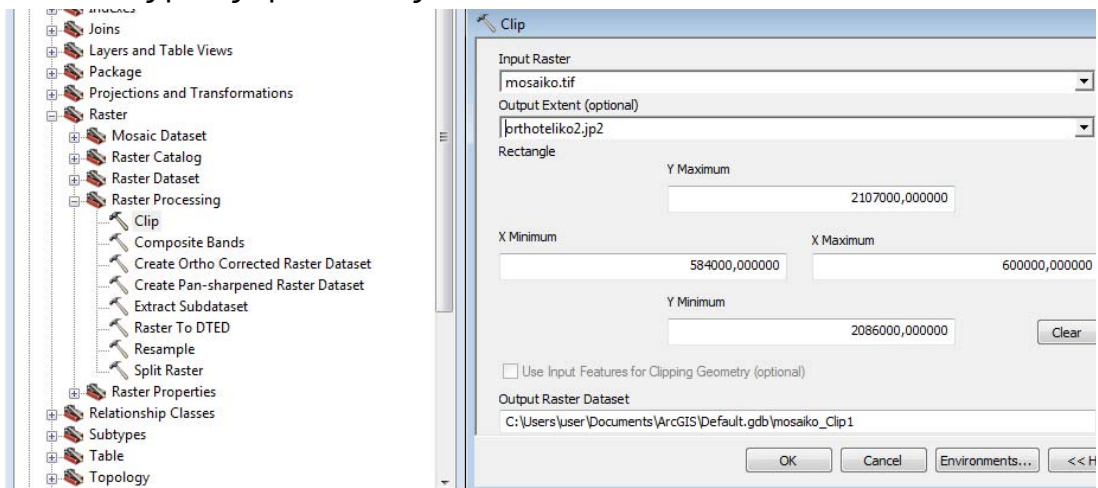


Εικόνα 57: Εισαγωγή Πινακίδων Ορθοεικόνων



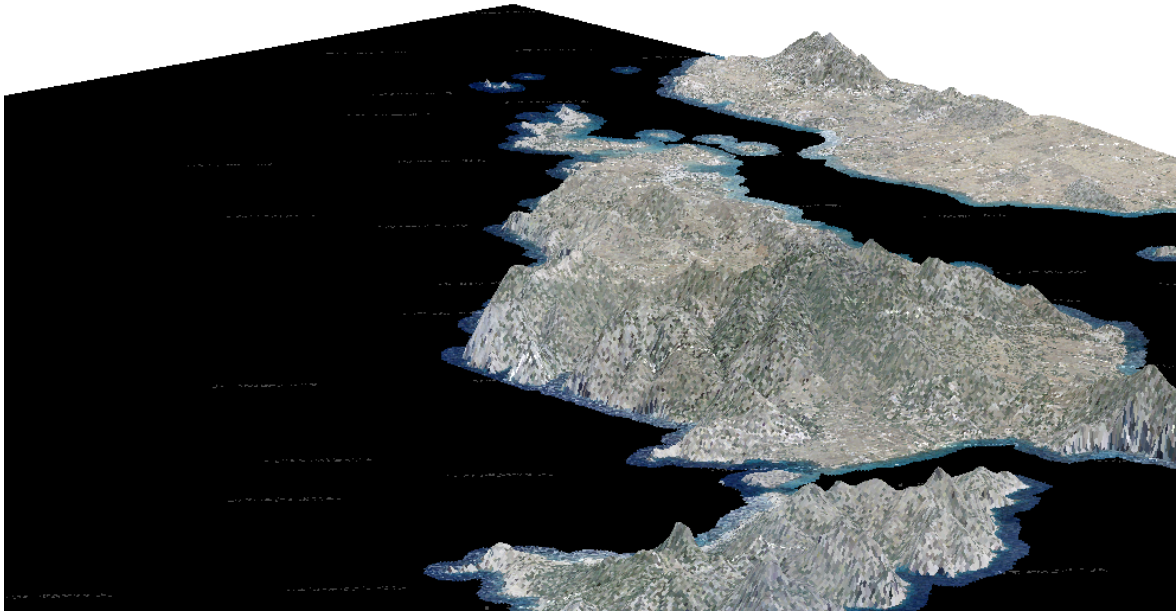
Εικόνα 58: Εφαρμογή του εργαλείου Mosaic to New Raster

3. Στη συνέχεια περιορίζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (dtm) στις ίδιες διαστάσεις με τις ορθοεικόνες .



Εικόνα 59: Εφαρμογή Εργαλείου Clip

4. Έπειτα τα επεξεργασμένα δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό arcscene για την δημιουργία του 3-διάστατου μοντέλου. Αφού εισαχθούν τα δεδομένα στο λογισμικό, επεξεργάζονται οι παράμετροι οπτικοποίησης της σκηνής. Με το πέρας αυτών των ενεργειών αφαιρείται το dtm από την σκηνή και έχουμε το τελικό τρισδιάστατο προϊόν, με την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 60: Αποτελέσματα Μεθόδου

5. Το οποίο εξάγεται σε μορφή .wrl, με την εντολή `export scene->3d`. Το τελικό αποτέλεσμα αν εισαχθεί σε ένα πρόγραμμα 3-διάστατης απεικόνισης (3d viewer), όπως είναι ο cortona 3d viewer προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα.



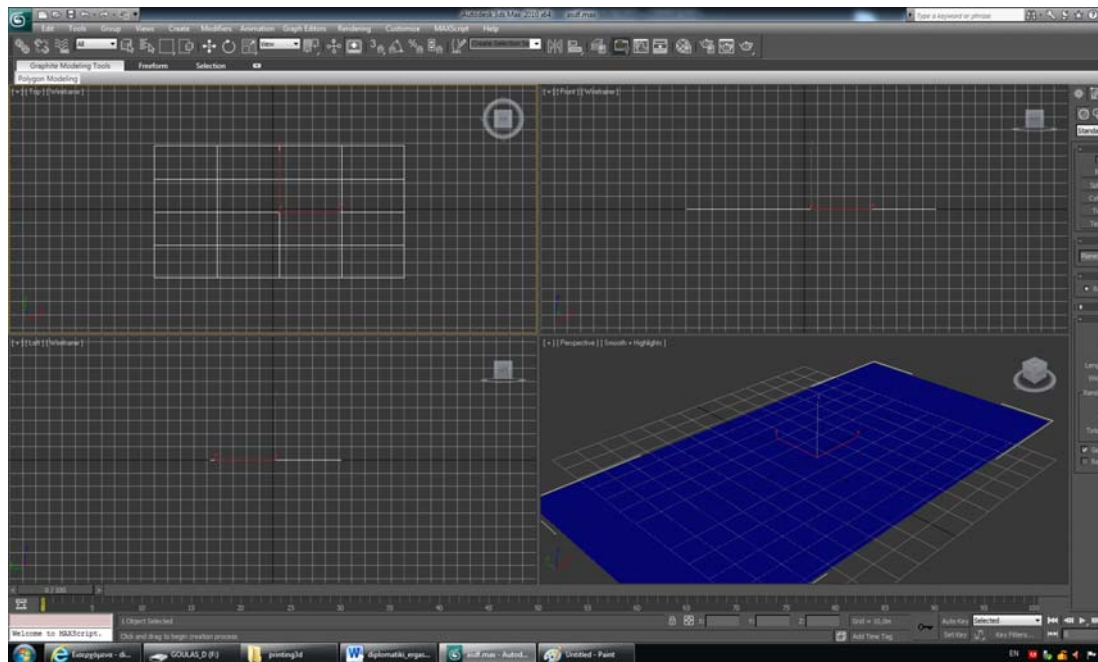
Εικόνα 61: Η εξαγόμενη Σκηνή

Αναλυτικά η διαδικασία παραγωγής του τρισδιάστατου χάρτη περιγράφεται στο παράρτημα «B»

3.5.2 2^η Μέθοδος με την συνδυασμένη χρήση του λογισμικού 3ds

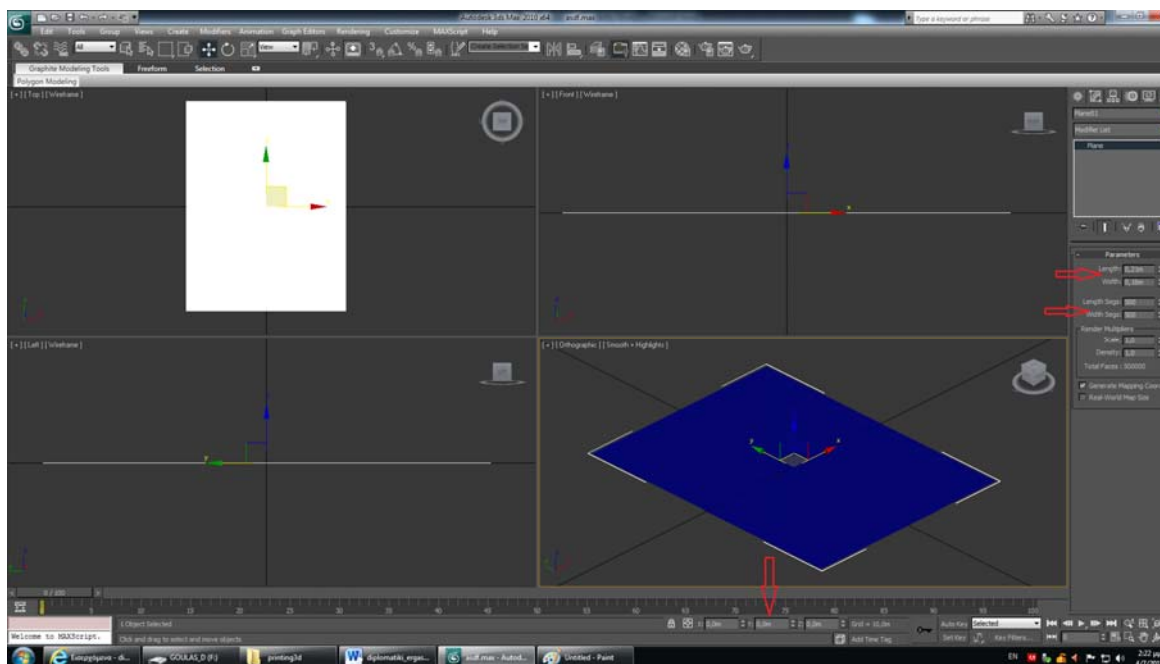
studio max και του Zprint

1. Αρχικά εκτελείται η εφαρμογή 3ds studio max και δημιουργείτε ένα επίπεδο (plane) όπως παρακάτω:



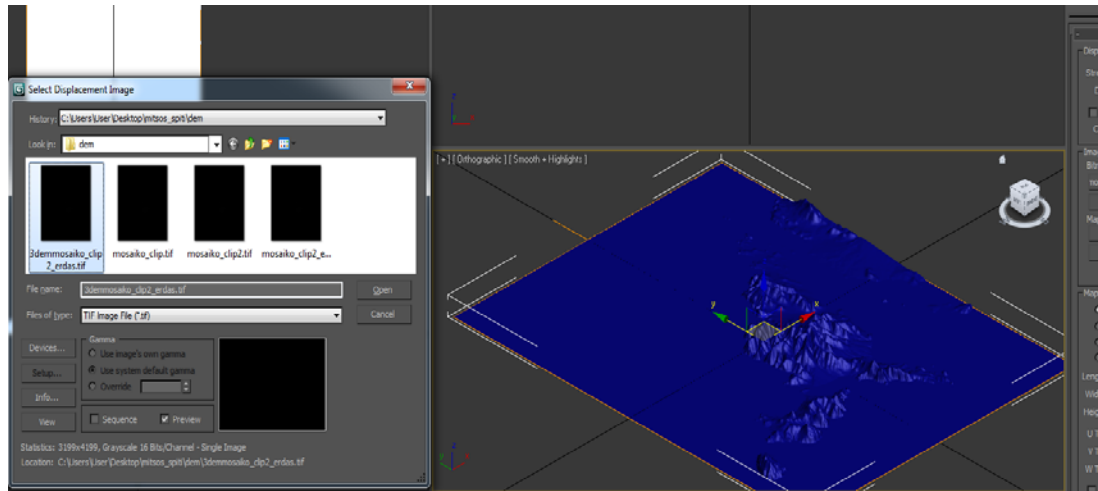
Εικόνα 62: Δημιουργία plane

2. Στη συνέχεια και εφόσον έχει εξασφαλίσει ότι οι μονάδες της σκηνής είναι σε μέτρα, δίνονται οι διαστάσεις του τελικού εκτυπωμένου χάρτη, στο επίπεδο xy, καθώς επίσης εξασφαλίζεται η τοποθέτηση του μοντέλου στο κέντρο της σκηνής (κόκκινα βέλη). Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

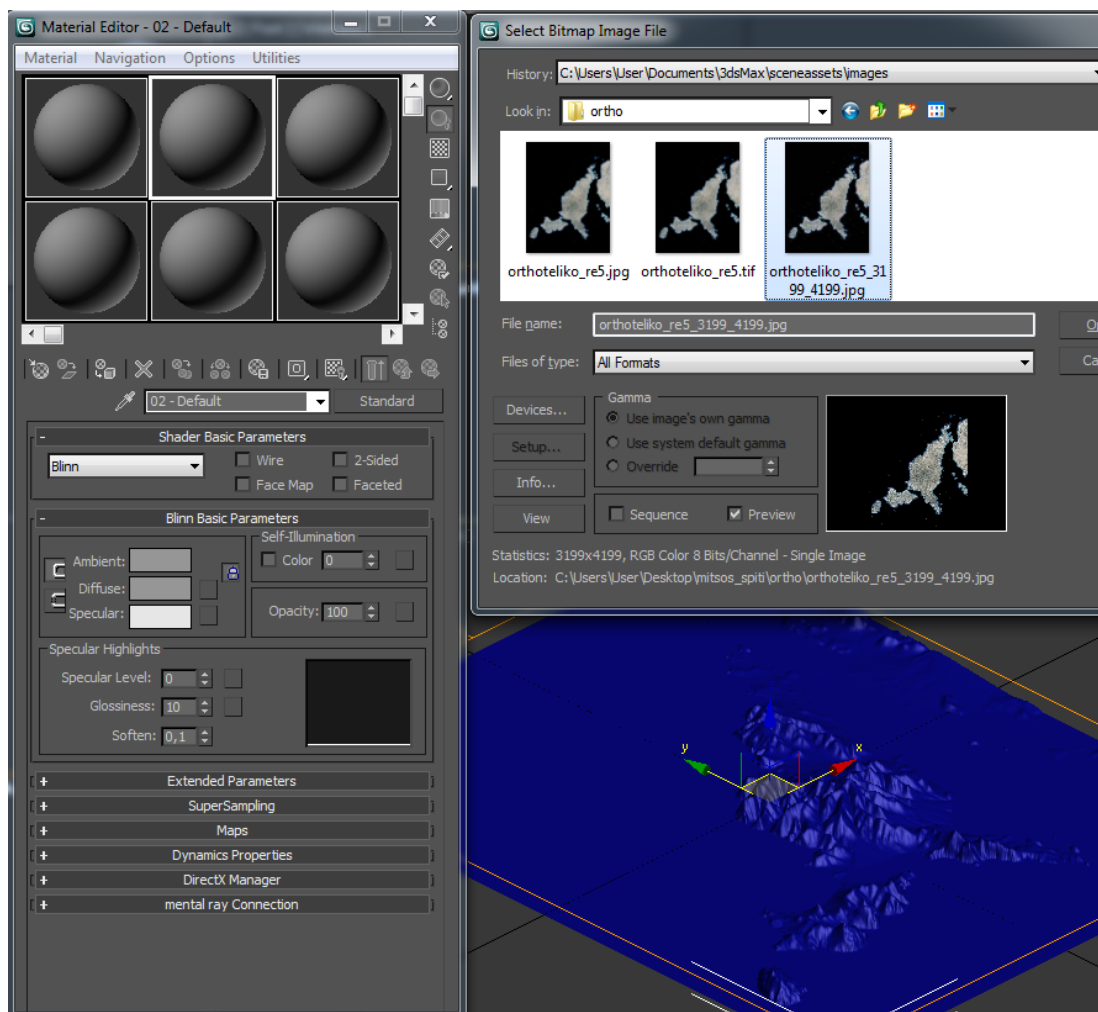


Εικόνα 63: Μετατόπιση του plane

3. Στην συνέχεια με την χρήση κατάλληλων εντολών εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο στο λογισμικό και εξασφαλίζεται η ακριβής συνταύτιση του με την ορθοεικόνα που τοποθετείται ως επικάλυψη (texture).

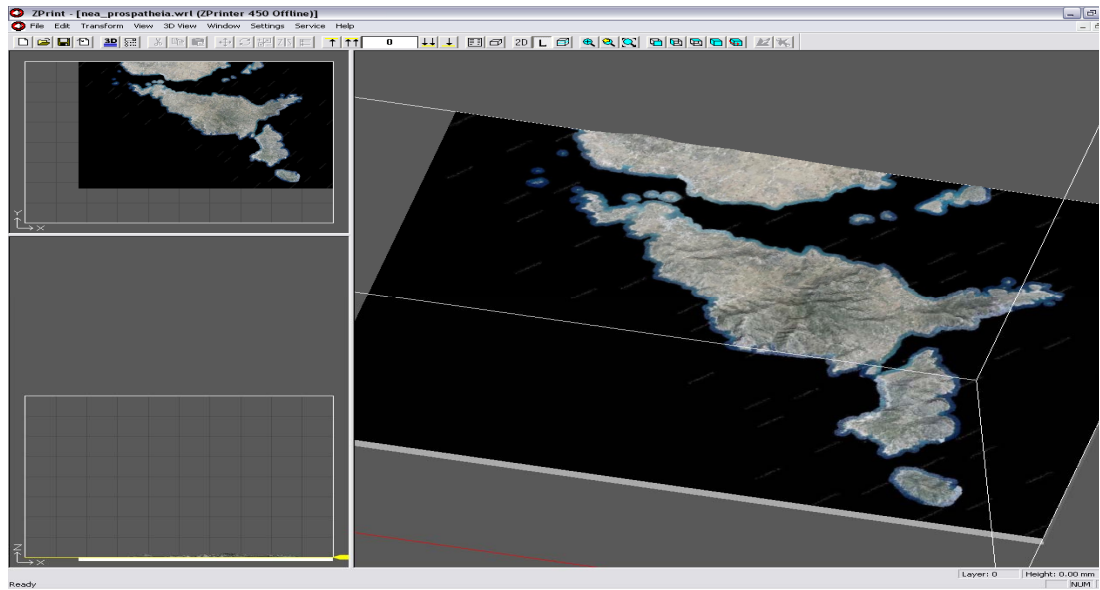


Εικόνα 64: Εντολή displacement



Εικόνα 65: Αποτελέσματα Μεθόδου

4. Την τελική μας εικόνα την εξαγωγήμε σε vml και εισάγουμε το αποτέλεσμα στο λογισμικό zprint.

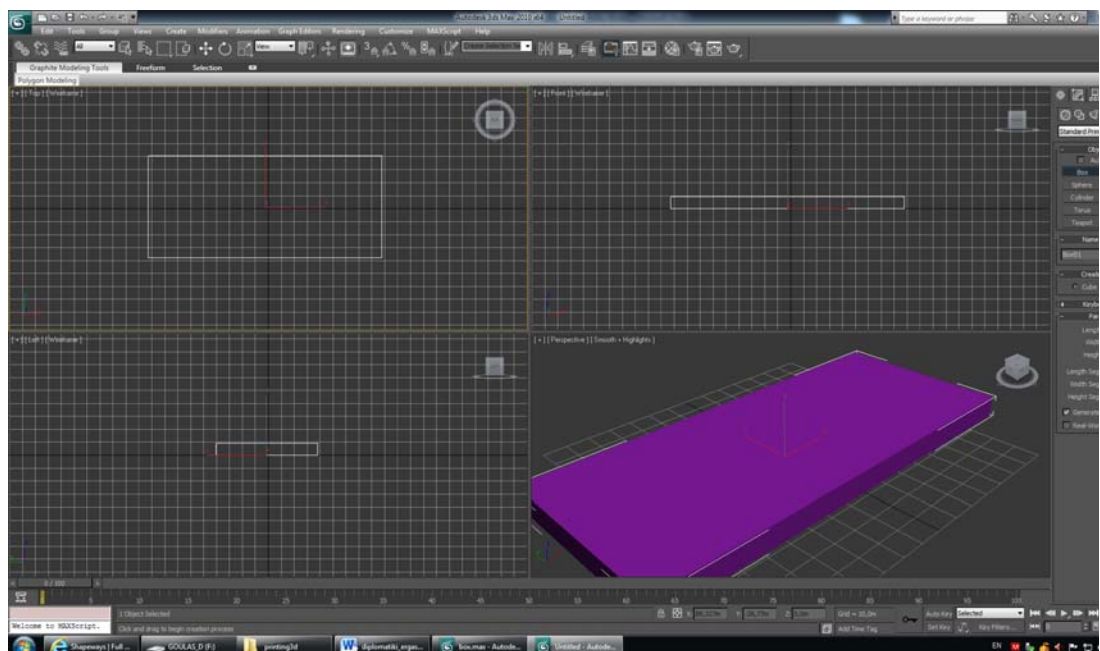


Εικόνα 66: Εισαγωγή στο λογισμικό Zprint

Αναλυτικότερα η μέθοδος αυτή περιγράφεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Γ»

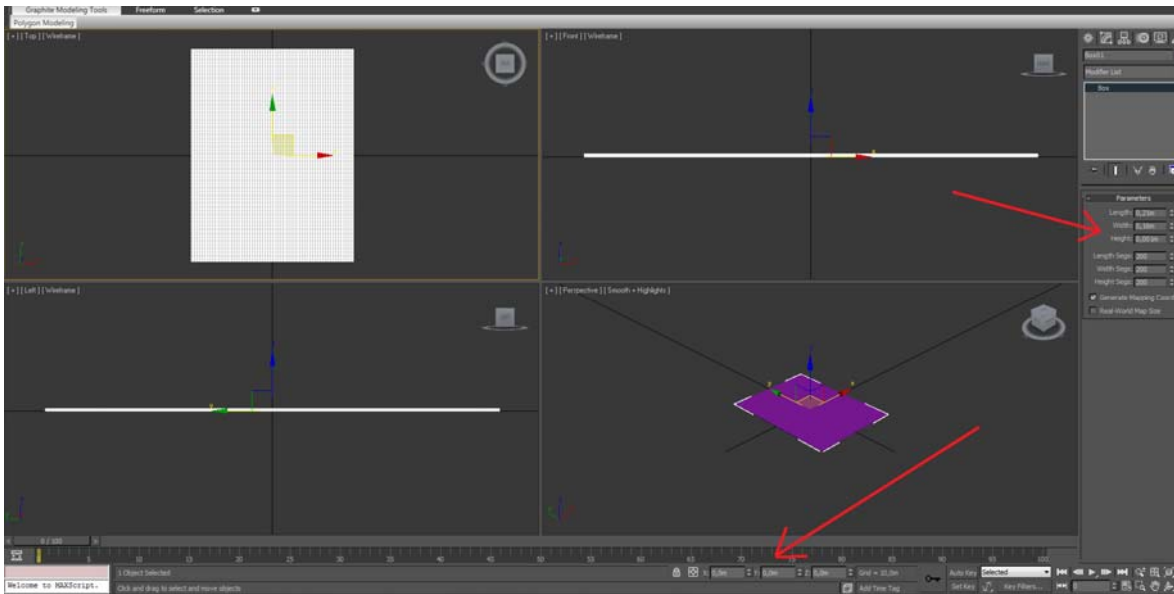
3.5.3 3^η Μέθοδος με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max

1. Αρχικά εκτελείται η εφαρμογή 3ds studio max και δημιουργείται ένα κουτί (Box) όπως παρακάτω:



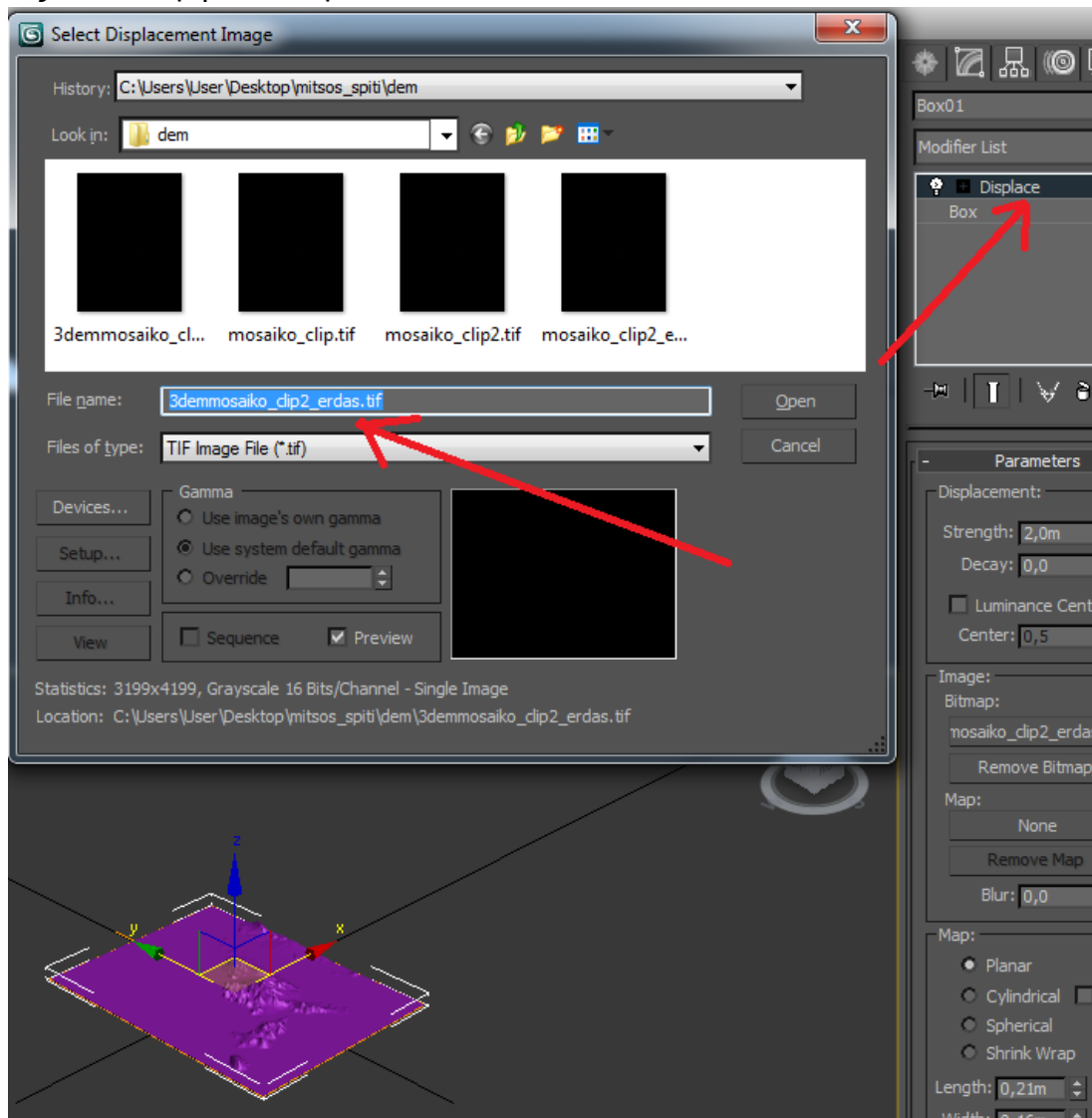
Εικόνα 67: Δημιουργία box

2. Στη συνέχεια και εφόσον έχει εξασφαλίσει ότι οι μονάδες είναι σε μέτρα, δίνονται οι διαστάσεις του τελικού εκτυπωμένου χάρτη, στο επίπεδο xy και δίνεται επίσης ένα μικρό ύψος στο κουτί (box) 1mm. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

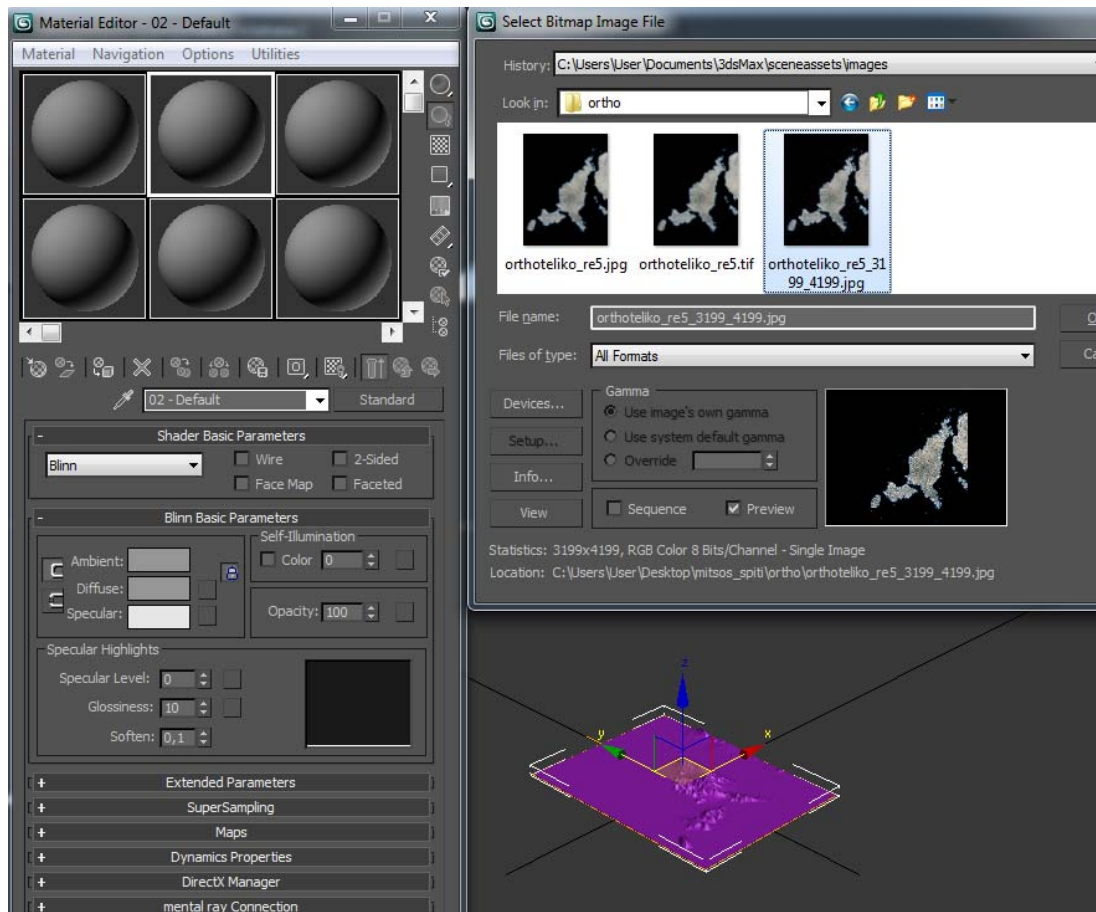


Εικόνα 68: Μεταβολές Μεγέθους στο box

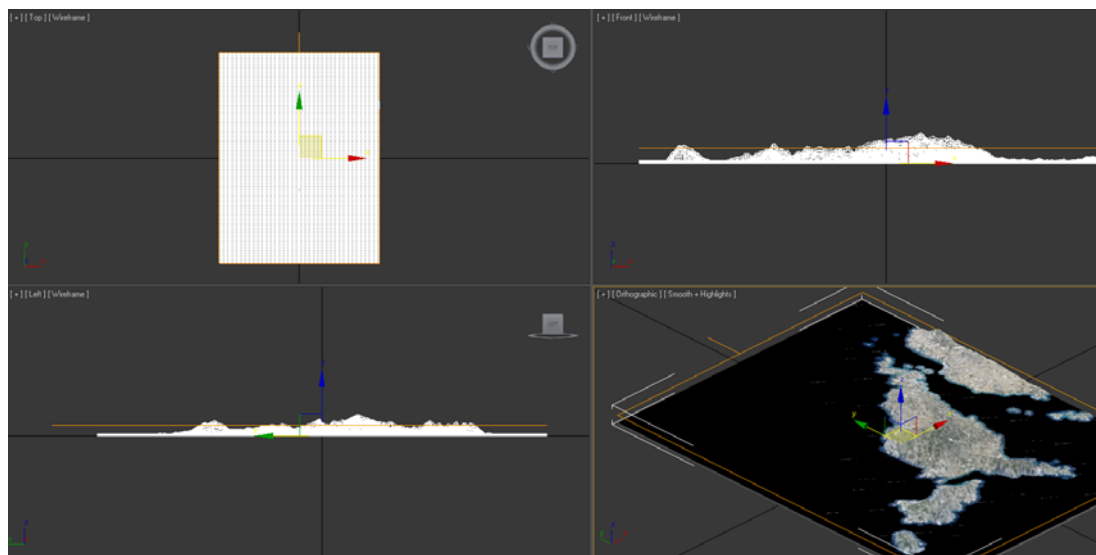
3. Έπειτα με μια σειρά εντολών στο λογισμικό εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και η απόλυτα συνταυτισμένη ορθοεικόνα, που θα χρησιμοποιηθεί ως επικάλυψη του 3D μοντέλου.



Εικόνα 69: Εφαρμογή Εντολής displacement

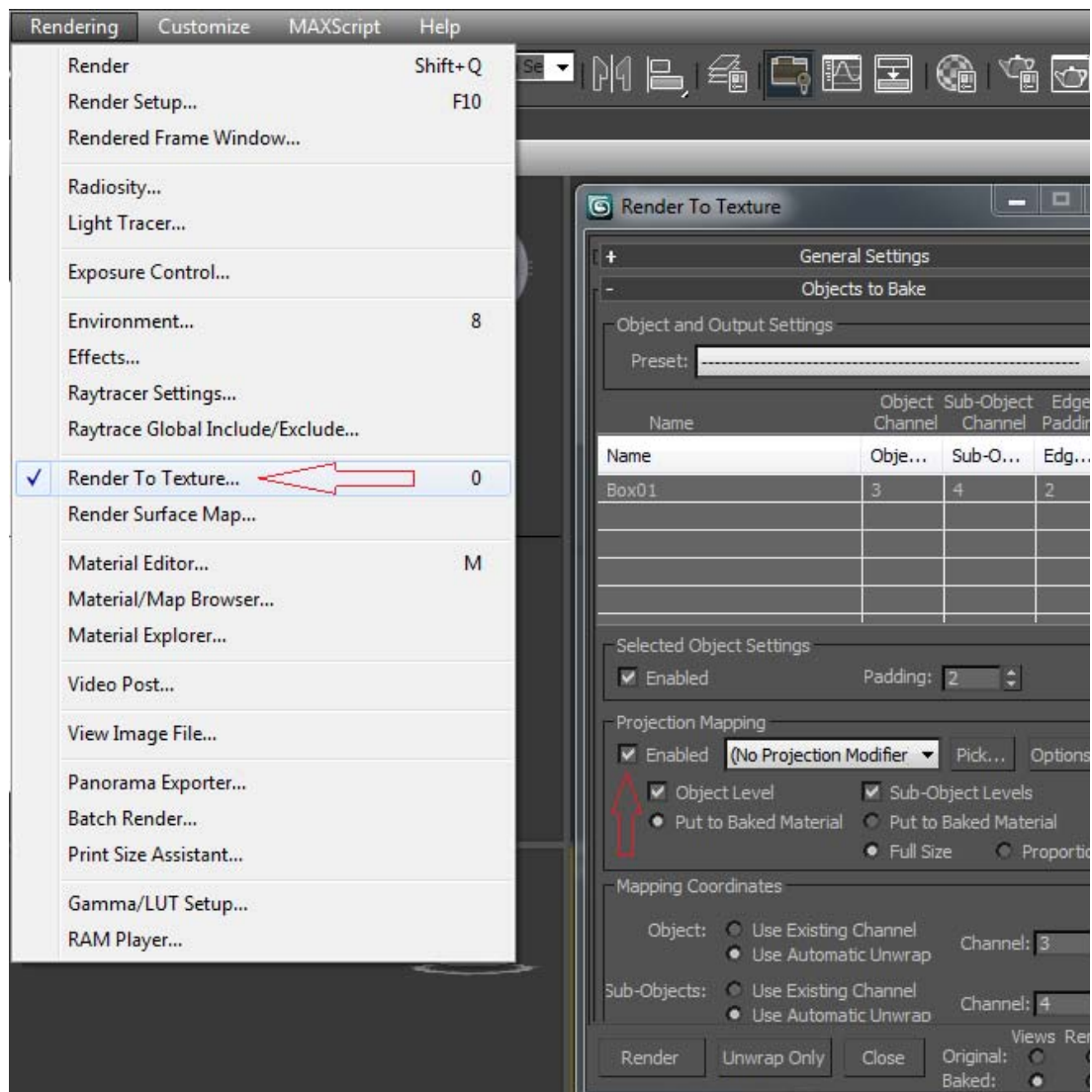


Εικόνα 70: Επιλογή Texture



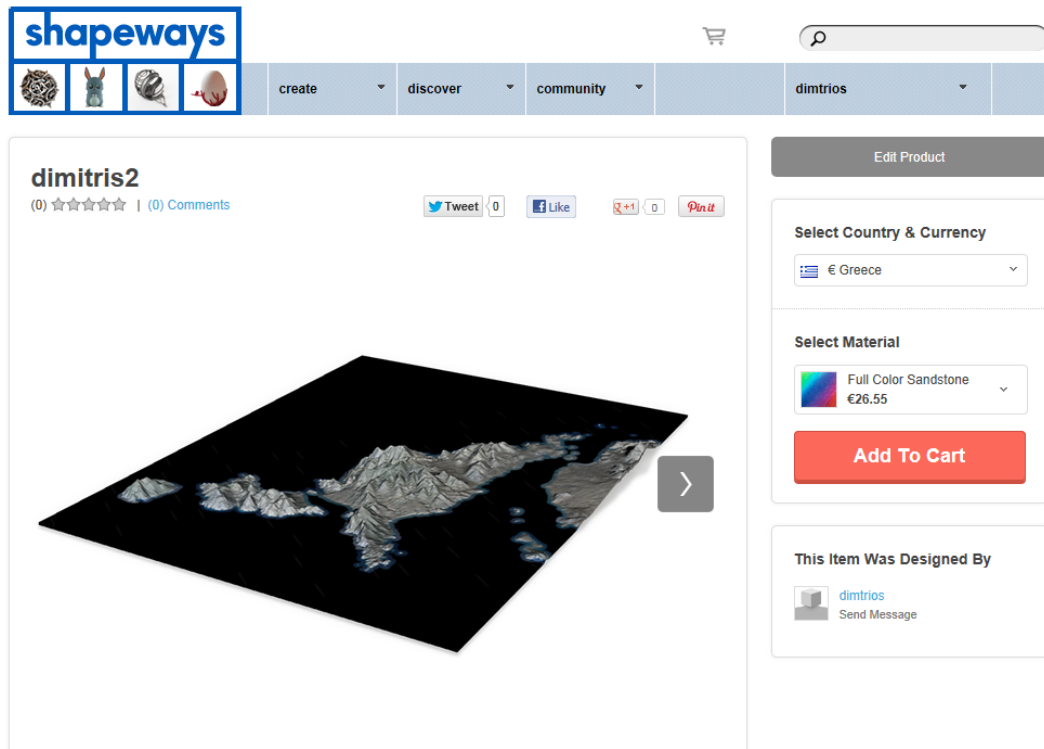
Εικόνα 71: Τελικό Αποτέλεσμα

4. Στην συνέχεια για να συνταυτιστεί το μοντέλο με την εικόνα εκτελείται η εντολή render to texture και το αποτέλεσμα εξάγεται σε μορφή Vmfl.



Εικόνα 72: Εντολή Render to Texture

5. Το τελικό προϊόν αποστέλλεται στην εταιρεία εκτύπωσης και έχει την παρακάτω μορφή σε preview.



Εικόνα 73: Το τελικό προϊόν

Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασία είναι αυτό, που φαίνεται παρακάτω. Αναλυτικότερα η διαδικασία περιγράφεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Δ»**



Εικόνα 74: Το τελικό Προϊόν

3.6 Πλεονεκτήματα –Μειονεκτήματα Μεθόδου

3.6.1 1^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού Arcscene

Πλεονεκτήματα:

✓ **Ευκολία χειρισμού Γεωγραφικών Δεδομένων**

Η χρήση του λογισμικού arcgis, επιτρέπει τον χειρισμό και την επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων σε ένα μόνο λογισμικό, δίνοντας στον χρήστη απεριόριστες δυνατότητες επεξεργασίας και μορφοποίησης του τελικού χάρτη.

✓ **Ταχύτατη δημιουργία 3d μοντέλων.**

Το λογισμικό (module) Arcscene παρέχει την δυνατότητα συνδυασμένης χρήσης ψηφιακού μοντέλου εδάφους και ορθοεικόνων, και την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων ταχύτατα χωρίς την αλλαγή περιβάλλοντος εργασίας. Το μοντέλο δύναται να εξαχθεί σε μορφή Vrmf 97 και να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε πρόγραμμα 3-διάστατης απεικόνισης, όπως π.χ. το Cortona 3d Viewer

✓ **Εύληπτη Οπτική Αναπαράσταση**

Από το αποτέλεσμα είναι εμφανής η εξαιρετική δυνατότητα να παρίσταται οπτικά το έδαφος αποτελεσματικά και εύληπτα ακόμη και για τον μη εκπαιδευμένο χρήστη.

Μειονεκτήματα:

✓ **Κακή ποιότητα γραφικών των αρχείων Vrmf**

Τα αρχεία Vrmf παρουσιάζουν εγγενείς αδυναμίες στην ποιότητα των γραφικών τους, αφού συνήθως είναι χαμηλής ποιότητας ανεξάρτητα από την ανάλυση του διατιθέμενου texture. Έτσι ανεξάρτητα από την ποιότητα της ορθοεικόνας, ο παραγόμενος χάρτης δεν παρουσιάζει την αναμενόμενη ποιότητα απεικόνισης.

✓ **Κακή Ανάλυση του 3-διάστατου υποβάθρου**

Το εξαγόμενο 3-διάστατο μοντέλο όταν έγινε προσπάθεια να εισαχθεί σε έναν 3-διάστατο εκτυπωτή για εκτύπωση, τότε το αποτέλεσμα ήταν υποδεέστερο του αναμενόμενου, αφού υπήρχαν εμφανή τρίγωνα από το υπόβαθρο.

✓ **Περιορισμένη δυνατότητα χειρισμών του 3d μοντέλου**

Το module Arcscene δεν δίνει πλήρεις δυνατότητες χειρισμού 3-διάστατων μοντέλων με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή μια αλληλουχία

χειρισμών για τις αλλαγές του μοντέλου, αλλά μόνο περιορισμένες δυνατότητες εξαγωγής.

3.6.2 2^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού 3ds max

Πλεονεκτήματα:

- ✓ **Πλήρη δυνατότητα σχεδιασμού σε 3d περιβάλλον**

Το λογισμικό 3ds Studio max παρουσιάζει πλήρη δυνατότητα χειρισμού του μοντέλου, επηρεάζοντας παραμέτρους, όπως ο αριθμός των κορυφών και ο αριθμός των ακμών. Αλλά και η τελική εξαγόμενη μορφή όπως είναι οι μορφές .3ds .obj ή .stl κ.α..

- ✓ **Πλούσιο περιβάλλον απεικόνισης και γραφικών.**

Η σουίτα 3ds studio max αποτελεί το κατεξοχήν περιβάλλον χειρισμού τρισδιάστατων δεδομένων, με πλούσιο γραφικό περιβάλλον και δυνατότητα εύκολης επικοινωνίας χρήστη και λογισμικού.

- ✓ **Δυνατότητα Περισσότερων Χειρισμών του 3d Μοντέλου**

Το λογισμικό διαθέτει μια πλήρη γκάμα εργαλείων χειρισμού των μοντέλων, δίνοντας στον χειριστή την δυνατότητα να μεταβάλλει το μοντέλο σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις, αλλάζοντας τις διαστάσεις, την θέση την τελική μορφή και γενικά οποιαδήποτε παράμετρος ζητηθεί να μεταβληθεί.

Μειονεκτήματα:

- ✓ **Αποτελεί περισσότερο χρονοβόρα διαδικασία.**

Η διαδικασία δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου για εκτύπωση, αποτελεί μια αρκετά χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία, πάντα συγκρινόμενη με την προηγούμενη διαδικασία σε περιβάλλον arcscene.

- ✓ **Δεν είναι λογισμικό σχεδιασμένο για επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων.**

Το λογισμικό 3ds studio max δεν είναι σχεδιασμένο για την επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η μετατροπή των αρχείων σε μορφές που να υποστηρίζονται από το λογισμικό. Το παραπάνω σε συνδυασμό με τις εγγενή προβλήματα των διαφόρων μορφών 3-διάστατων αρχείων, δημιουργεί δυσκολίες στον χειρισμό τους.

- ✓ **Κακή ποιότητα γραφικών των αρχείων Vrmf**

Το 3ds εξαγεί τρισδιάστατα μοντέλα σε διάφορους μορφότυπους (format), ο καθένας παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Έτσι τα αρχεία vrmf

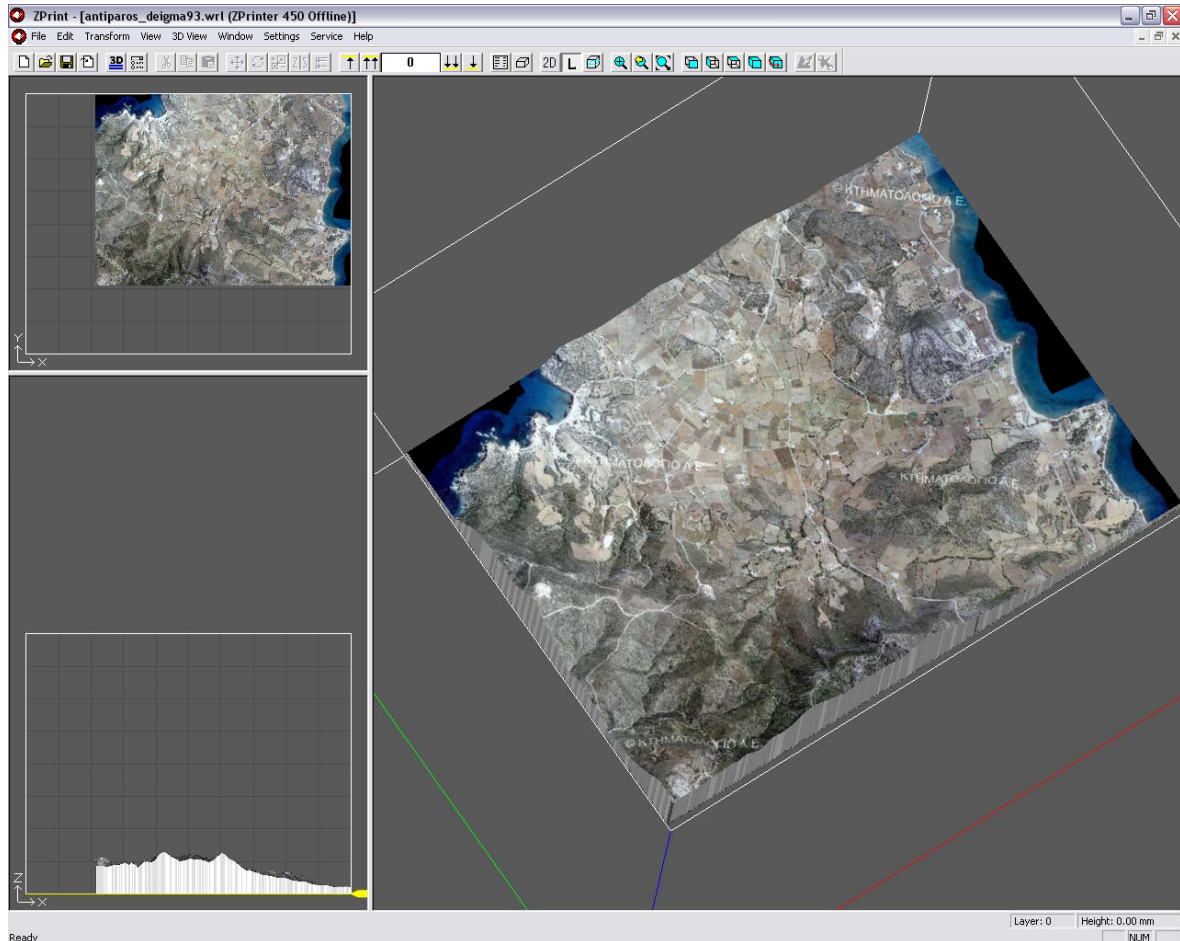
παρουσιάζουν κακή ποιότητα γραφικών, ενώ τα αρχεία .3ds δεν μπορούν να εξάγουν μοντέλα με περισσότερες από 64000 ακμές, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλα για απεικόνιση επιφανειών, όπως είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο.

3.6.3 3^η Μέθοδος με χρήση του λογισμικού 3ds max

Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά αποτελεί μια παραλλαγή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω και αναφέρεται ως 2^η μέθοδος. Κύρια χαρακτηριστική διαφορά είναι η χρήση κιβωτίου (box) αντί για επιπέδου (plane) στον σχεδιασμό και την δημιουργία του χάρτη. Επίσης γίνεται η συσσωμάτωση του μοντέλου με την επιφάνεια της ορθοεικόνας (texture) με την χρήση της εντολής που παρέχει το λογισμικό render to texture, δημιουργώντας ένα συμπαγές τρισδιάστατο μοντέλο.

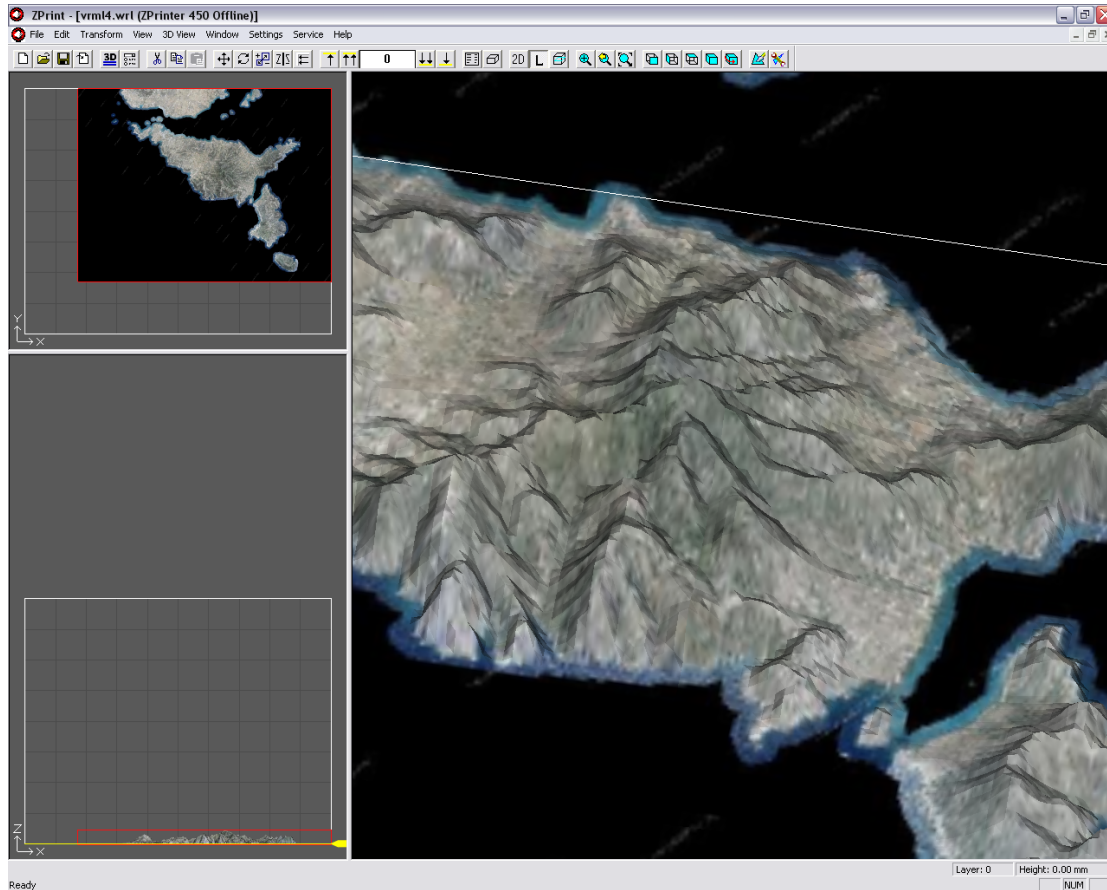
3.7 Συμπεράσματα -Προτάσεις

Αρχικά για την δημιουργία του τρισδιάστατου χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό arcgis και συγκεκριμένα το module arcscene. Ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στην πρώτη μέθοδος. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά όταν η διαδικασία έγινε για μια μόνο πινακίδα ορθοφωτοχάρτη (Διαστάσεων 4 km x 3 km) . Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα από το λογισμικό του εκτυπωτή zprint.



Εικόνα 75: Το τελικό Προϊόν

Όταν η διαδικασία έγινε για το σύνολο της περιοχής, τα αποτελέσματα ήταν τελείως διαφορετικά αφού το προκύπτον μοντέλο ήταν πολύ χαμηλής ποιότητας γραφικών και η εκτύπωση θα οδηγούσε σε 3d μοντέλο στο οποίο θα φαινόταν τα σχηματιζόμενα τρίγωνα (αρχείο vml με σύνολο ακμών μη παραμετροποιήσιμο).



Εικόνα 76: Το τελικό Προϊόν για το σύνολο της περιοχής

Πραγματοποιήθηκαν πολλές προσπάθειες παραμετροποίησης του μοντέλου αλλά δεν κατέστη δυνατό, να επιτευχθεί ευκρινέστερο αποτέλεσμα. Μεταξύ των παραμέτρων που μεταβλήθηκαν ήταν η ευκρίνεια της επικάλυψης (texture) σε 300,400,600 και 800 dpi. Το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό, αφού το κυριότερο πρόβλημα εντοπιζόταν στην κακή ποιότητα του ψηφιακού υποβάθρου, που εξήχθη από την τρισδιάστατη σκηνή.

Έτσι εφαρμόστηκε η δεύτερη μέθοδος με την βοήθεια του λογισμικού 3ds studio max. Στην δεύτερη περίπτωση τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα, αφού αν και εξήχθη το μοντέλο, πάλι σε format vnmI εν εντούτοις παρουσίαζε καλύτερα χαρακτηριστικά και υψηλότερη ποιότητα από την αρχική προσπάθεια (Όπως προαναφέρθηκε στο εν λόγω λογισμικό είναι δυνατή η αύξηση των εμφανιζόμενων ακμών του ψηφιακού υποβάθρου). Το 3ds studio max προσφέρει μια μεγάλη γκάμα μορφότυπων (format), στα οποία μπορεί να εξαχθεί το 3d μοντέλο, με διαφορετικά χαρακτηριστικά το καθένα. Έτσι ο μορφότυπος (format) .3ds δεν μπορεί να εξαγάγει αντικείμενα με πάνω από 64000 ακμές, ενώ τα αρχεία .stl δεν δημιουργούν έγχρωμα τρισδιάστατα αντικείμενα κ.α. Έτσι οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στην κατασκευή του μοντέλου με την χρήση του μορφότυπου vnmI (.wrl).

Τελικά με την αλγοριθμική επεξεργασία της 3^{ης} μεθόδου και την αποστολή του μοντέλου σε εταιρεία του εξωτερικού κατέστη δυνατή η εκτύπωση αυτή, σε κλίμακα χάρτη 1:100.000 σε έγχρωμο υλικό, που καλείται full color sandstone (Το υλικό αυτό ομοιάζει τον έγχρωμο γύψο), με την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

4. Βιβλιογραφία

1. Holography, by Yu. I. Ostrovsky, NASA Technical Translation ,Leningrad 1970.
2. Advances In Digital Holography, Zacharovas Stanislovas, Lithuania. 2005
3. Σημειώσεις Ολογραφίας Εργαστήριο Ολογραφίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
4. A digital printing System for the commercial production of high resolution true color reflection holograms, by Zacharovas Stanislovas and David Brotherton-Ratcliffe.
5. Ολογραφία και Γεωμετρία, Εργαστήριο Γεωμετρικών Απεικονίσεων, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, 2006.
6. Kodak Technical Data, 2004
7. Holographic Relief Map Production by using Topographic Line Maps, Dalkiran H.P., Ozagac S., Buyukbarak H., 2010
8. Z corporation 3d printing Technology, White paper, 2005
9. Computer Generated Holography, by Canh Ngoc Cao, sponsored Professor William Ames.
10. Πανεπιστημιακή Φυσική Young Τόμος Β, Κεφ. 38 Περίθλαση, 2000.
11. Creating 3d models using Arcgis, by Phyllis T. Uy, Z corporation, 2003.
12. Η 3^η βιομηχανική επανάσταση, Ειδικές εκδόσεις καθημερινής-Economist, Μάιος 2012.
13. Holography, Wikipedia May 2012.
14. Computer Generated Holography, Wikipedia May 2012
15. 3d CAD, CAM and Rapid Prototyping, by Mitch Heynick and Ivo Stoltz, 2010
16. Kozma A & Zelenka JS, (1970), Effect of film resolution and size in holography

5. Παραρτήματα

Ακολουθούν στο παράρτημα, οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την παραγωγή του ολογραφικού χάρτη, καθώς και του τρισδιάστατου εκτυπωμένου χάρτη, αναλυτικά με την χρήση των λογισμικών και των διαθέσιμων δεδομένων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α»: Μέθοδος Παραγωγής Ολογραφικού Χάρτη με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Β»: Μέθοδος Παραγωγής Τρισδιάστατου Εκτυπωμένου Χάρτη με την χρήση του λογισμικού Arcscene του Arcgis.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Γ»: Μέθοδος Παραγωγής Τρισδιάστατου Εκτυπωμένου Χάρτη με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Δ»: Εναλλακτική Μέθοδος Παραγωγής Τρισδιάστατου Εκτυπωμένου Χάρτη με την χρήση του λογισμικού 3ds studio max.

5.1 Παράρτημα «Α»

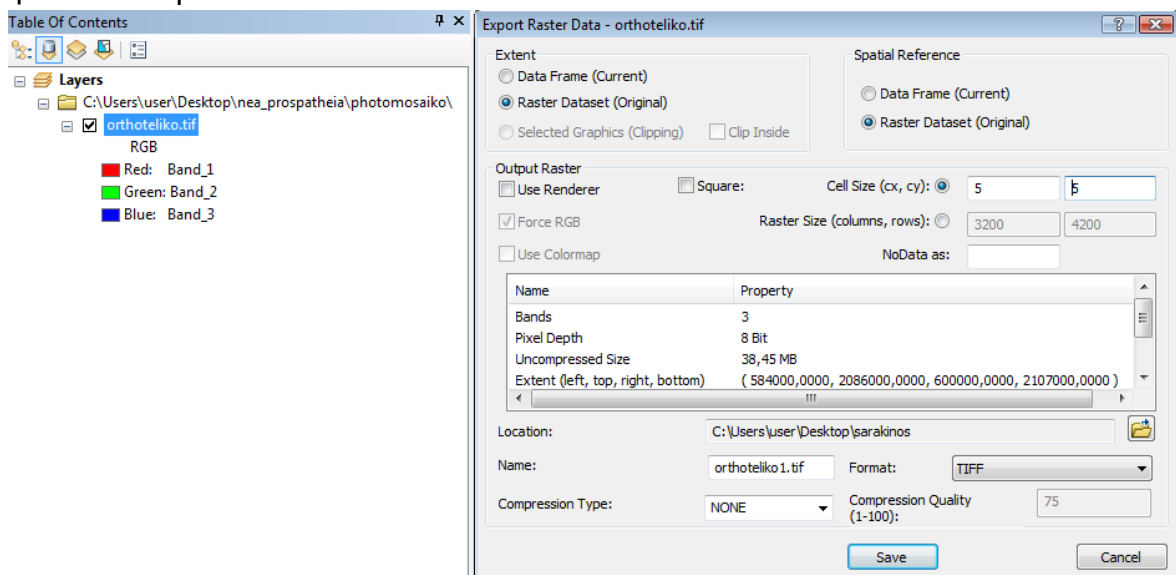
Για την δημιουργία του ολογραφικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- ✓ 18 πινακίδες ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dtm) σε μορφή .adf με βήμα 5 m της νήσου Αντίπαρος
- ✓ 18 πινακίδες ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών σε μορφή .jp2 με βήμα 50 cm της νήσου Αντίπαρος.

Τα παραπάνω δεδομένα υπέστησαν όμοια διαδικασία με εκείνη του τρισδιάστατου εκτυπωμένου χάρτη.

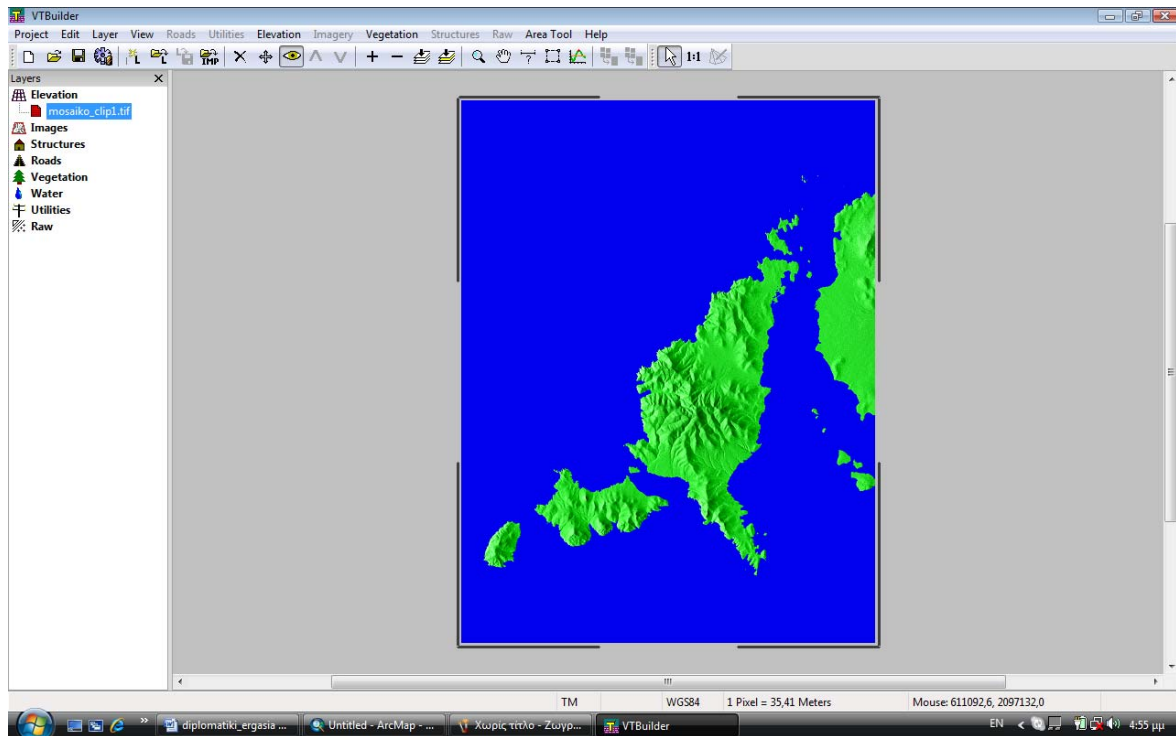
Συνολικά η διαδικασία είχε ως εξής:

1. Τα δεδομένα αφού εισήχθησαν στο λογισμικό arcmap με την εντολή mosaic to new raster μετατράπηκαν σε ενιαίο μωσαϊκό.
2. Έπειτα με την εντολή clip αποκόπηκε στις διαστάσεις των ορθοφωτογραφιών το ψηφιακό μοντέλο εδάφους
3. Έγινε επαναδειγματοληψία (resampling) των ορθοεικόνων από τα 0.5 m στα 5 m, ώστε το μέγεθος του εικονοστοιχείου της ορθοεικόνας να ταιριάζει με το μέγεθος του εικονοστοιχείου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, όπως φαίνεται στην εικόνα.



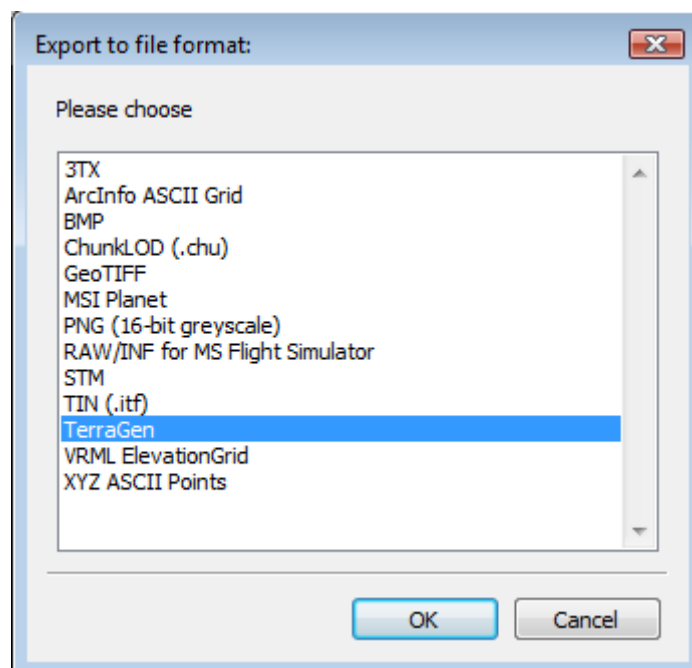
Εικόνα 77: Resample pixel size στα 5 μ.

4. Η σύμπτωση των 2 layer εξασφαλίστηκε τόσο από το ίδιο βήμα (pixel size), όσο και από το ίδιο μέγεθος (3200x4200 pixel) των πινακίδων και την ύπαρξη γεωγραφικής αναφοράς. Για την εισαγωγή των δεδομένων στο 3ds studio max το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ήταν σε μορφότυπο geotiff και για να εισαχθεί έπρεπε να μετατραπεί σε μορφή terragen. Αυτό γίνεται με την χρήση του λογισμικού VTBUILDER στο οποίο εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε geotiff όπως παρακάτω.



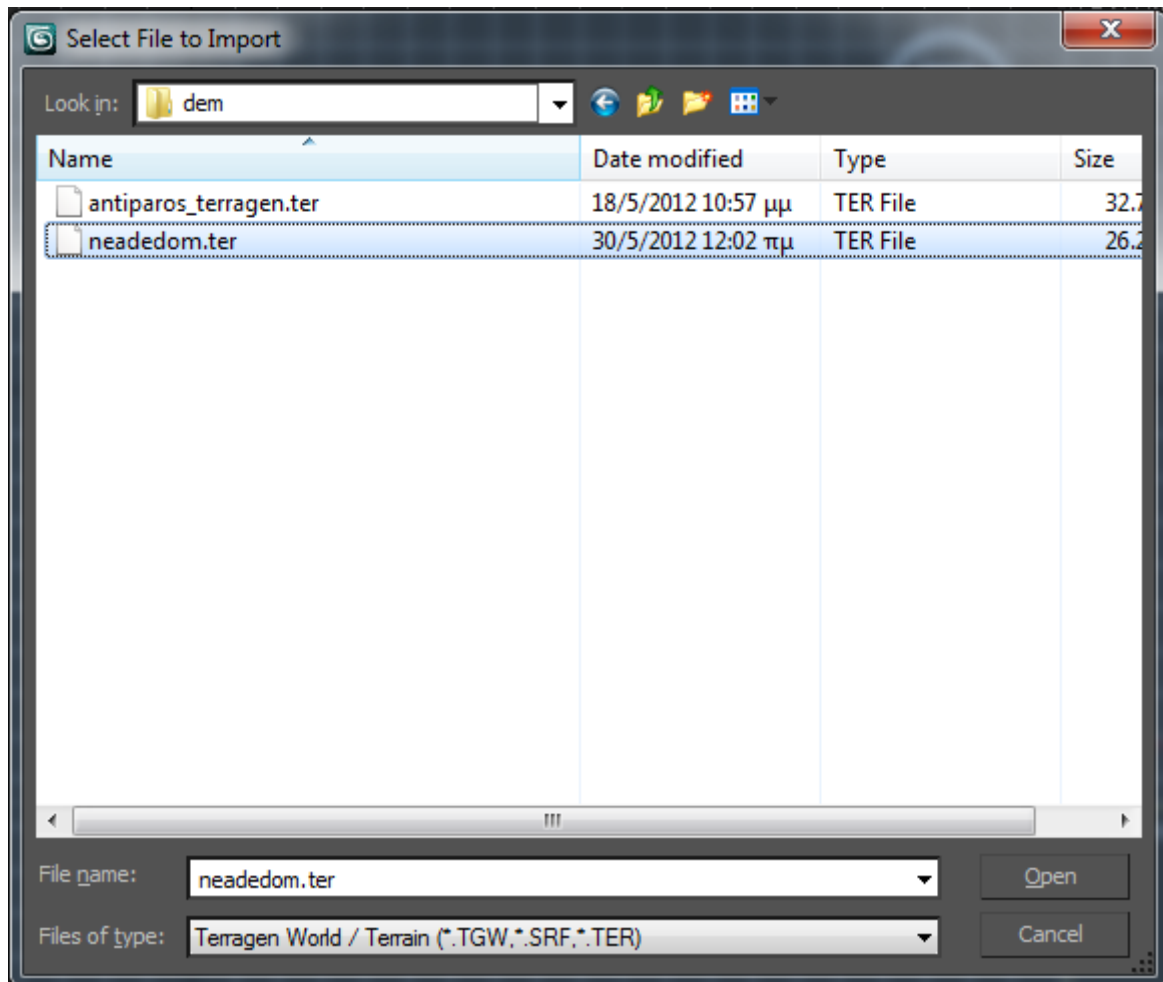
Εικόνα 78: Εισαγωγή Δεδομένων στο λογισμικό VTBuild

5. Στη συνέχεια εξάγεται το DTM σε μορφή terragen (.ter). Όπως αυτό φαίνεται παρακάτω.



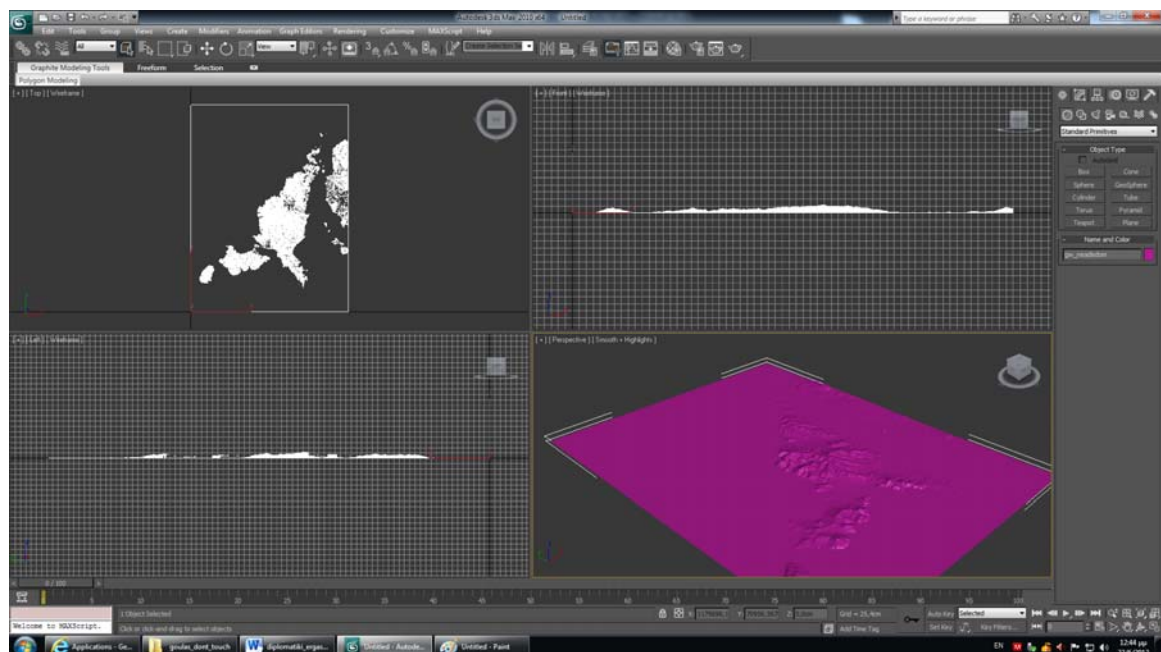
Εικόνα 79: Επιλογή format εξαγωγής

6. Πριν την εισαγωγή του DTM σε μορφή terragen (.ter) στο 3ds studio max, και επειδή αυτή η μορφή δεν είναι εγγενής μορφή του προγράμματος πρέπει αρχικά να τοποθετηθεί το κατάλληλο πρόσθετο (plug-in) για να είναι δυνατή η εισαγωγή των δεδομένων.



Εικόνα 80: Εισαγωγή δεδομένων στο 3ds studio max

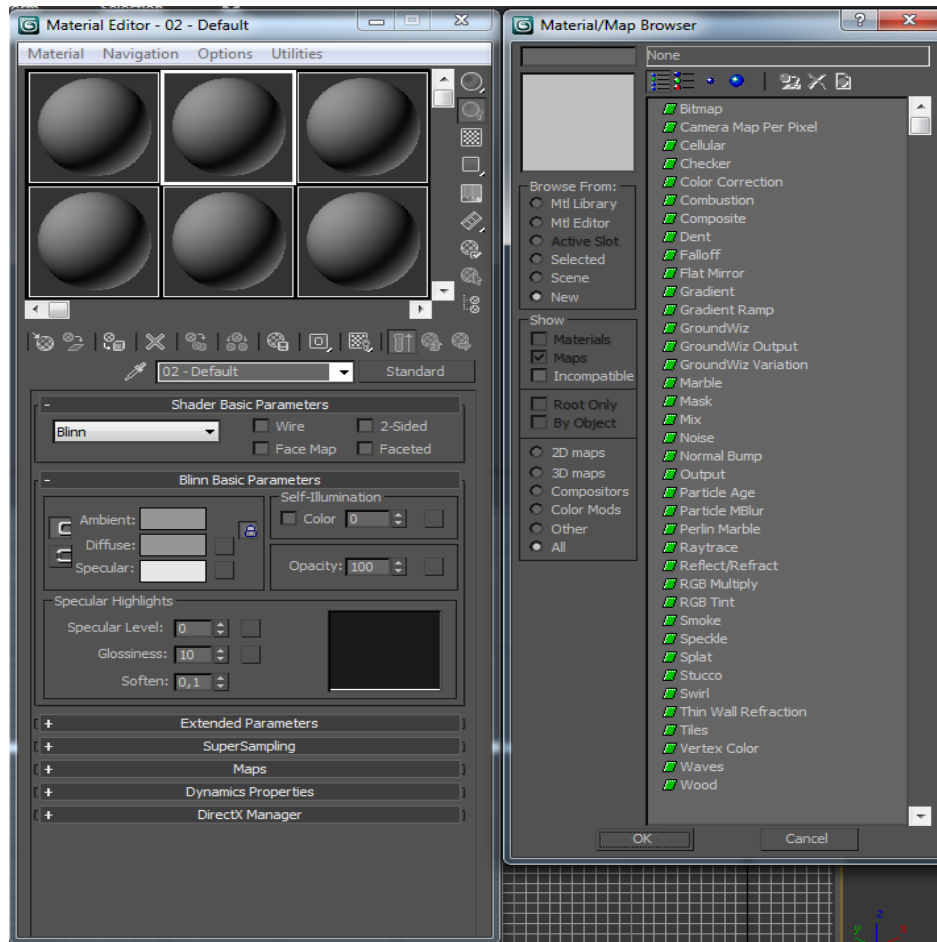
7. Με την εισαγωγή των δεδομένων παρουσιάζεται η παρακάτω εικόνα στο 3ds studio max.



Εικόνα 81: Εικόνα στο 3ds studio max

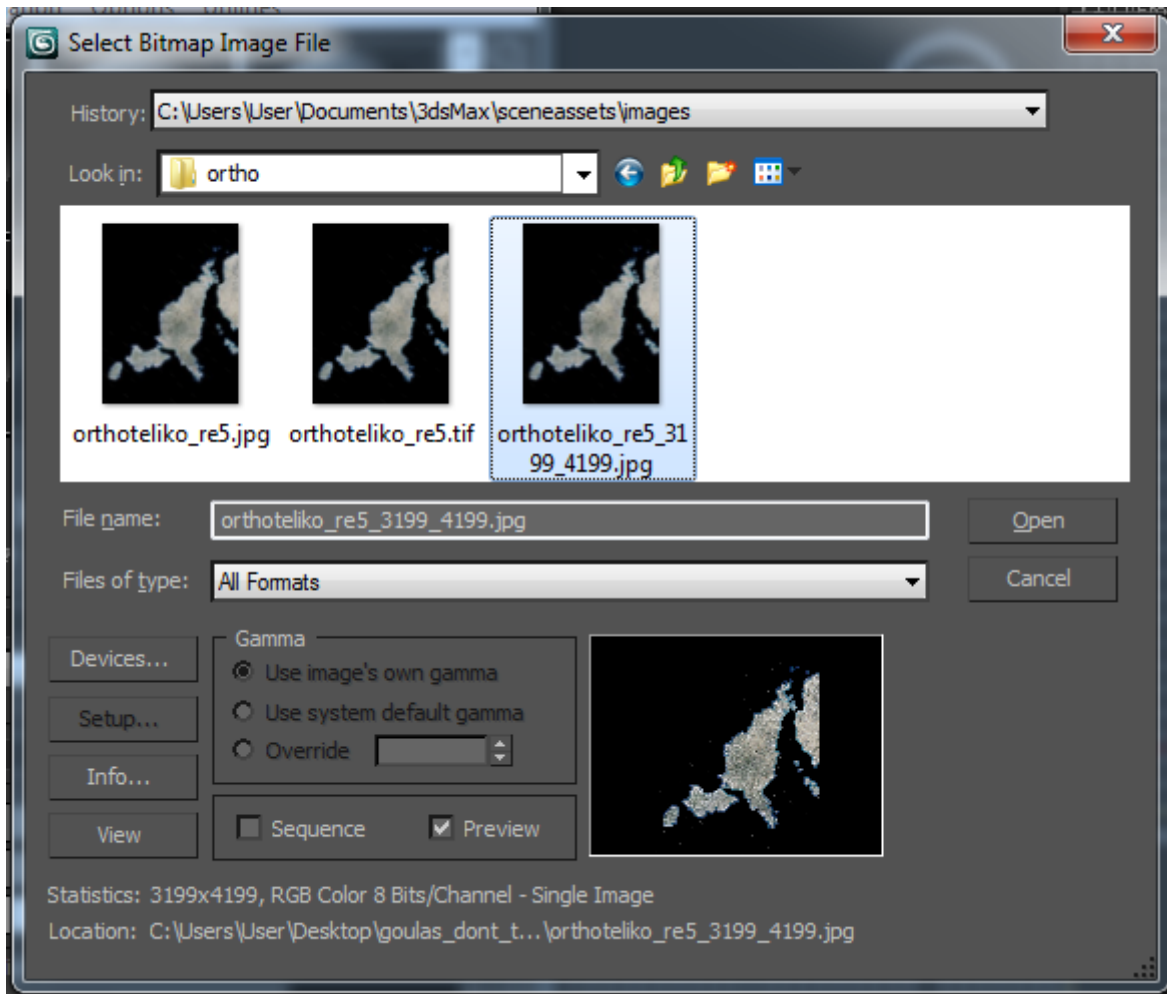
8. Από το modifier list επιλέγεται unv mapping, ώστε να καταστεί δυνατή η κατάλληλη συνταύτιση του υποβάθρου με την επικάλυψη (texture).

9. Έπειτα ανοίγεται το material editor και επιλέγοντας diffuse, το λογισμικό μεταβαίνει στο map/material browser όπου επιλέγεται από τον χρήστη bitmap και τοποθετείται ως επικάλυψη (texture) η ορθοεικόνα.



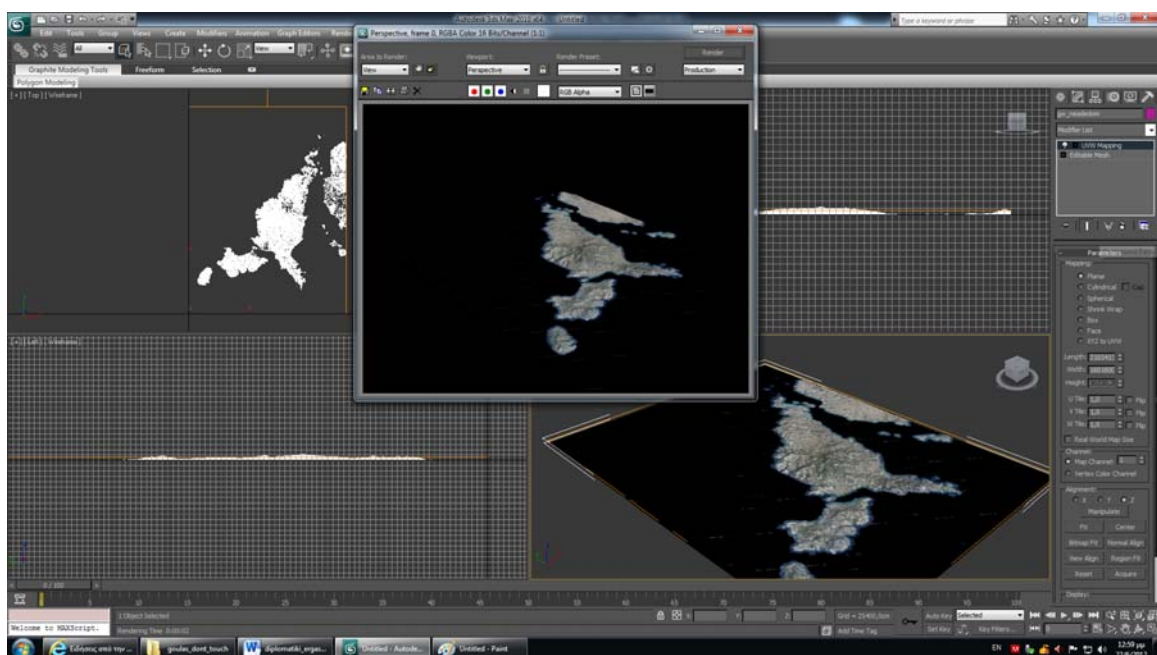
Εικόνα 82: Επιλογή texture για το 3d μοντέλο

10. Η εικόνα αυτή όπως έχει ήδη αναφερθεί έχει το ίδιο pixel size, την ίδια γεωγραφική αναφορά και τις ίδιες διαστάσεις με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.



Εικόνα 83: Χαρακτηριστικά του texture

11. Έπειτα επιλέγοντας assign material to selection και μετά show standard map in viewport λαμβάνεται το ακόλουθο αποτέλεσμα.

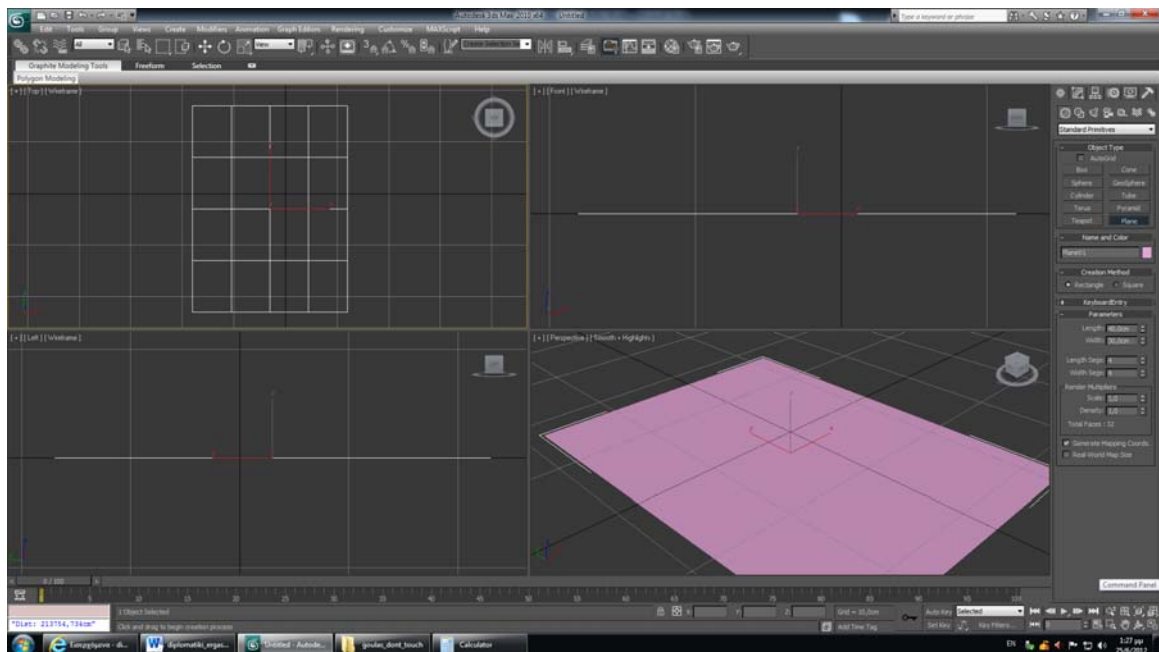


Εικόνα 84: Αποτέλεσμα Δημιουργίας 3d μοντέλου

12. Στη συνέχεια θα πρέπει το τρισδιάστατο αντικείμενο να έρθει στις επιθυμητές διαστάσεις και το κέντρο της σκηνής να ταυτιστεί με το κέντρο του αντικειμένου. Αυτό γίνεται με την εντολή scale και έπειτα με την εντολή move. Με αποτέλεσμα ο χάρτης να πάρει τις τελικές διαστάσεις για την ολογραφική εκτύπωση.

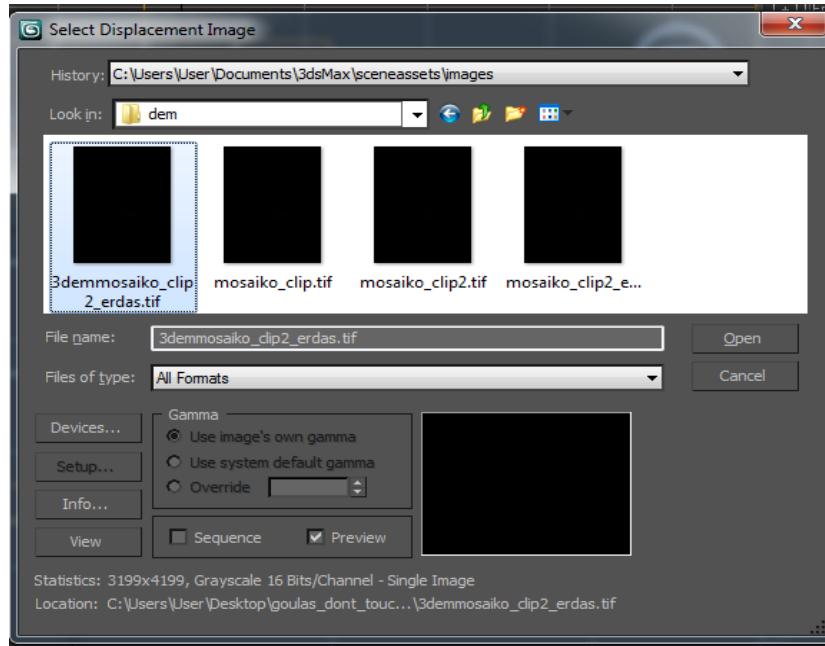
13. Εναλλακτικά υπάρχει η δυνατότητα να μην δημιουργηθεί από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ένα terrain αρχείο, αλλά να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα ως εξής:

14. Αρχικά δημιουργείται ένα επίπεδο (plane) στις επιθυμητές διαστάσεις (Στην δεδομένη περίπτωση 30x40cm).



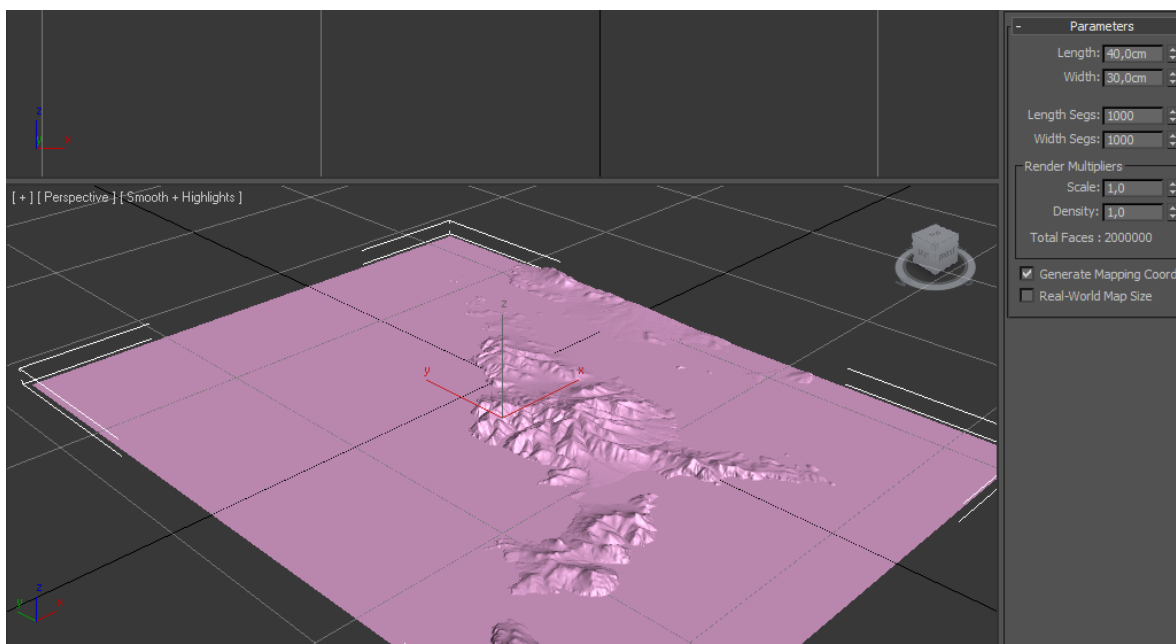
Εικόνα 85: Δημιουργία Επιπέδου επιθυμητών Διαστάσεων

15. Στην συνέχεια από το modifier list επιλέγεται η εντολή displace και επιλέγεται ως αρχείο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους



Εικόνα 86: Ανακατασκευάζοντας ένα Ολόγραμμα

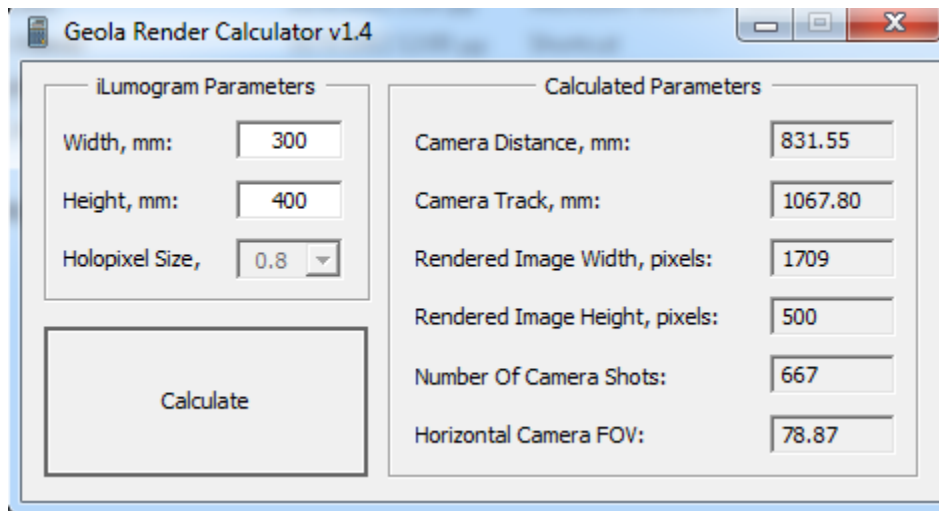
16. Αυξάνεται η ισχύς των γραφικών (strength) σε κατάλληλο βαθμό ώστε να εμφανιστεί το έδαφος και αυξάνονται και οι ακμές (segments) του μοντέλου ώστε να αυξηθεί ο βαθμός λεπτομέρειάς του.



Εικόνα 87: Παραγωγή εδάφους με την χρήση της εντολής displace.

17. Κατόπιν κατά τα γνωστά ανοίγεται το material editor και τοποθετείται η ορθοεικόνα (texture) επί του μοντέλου όπως αυτό περιγράφει προηγουμένως. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των ενεργειών είναι να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο με διαστάσεις 30x40 (Όσο και το επιθυμητό τελικό ολογράφημα) και με το κέντρο του στην αρχή των αξόνων. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ο υπολογιστής

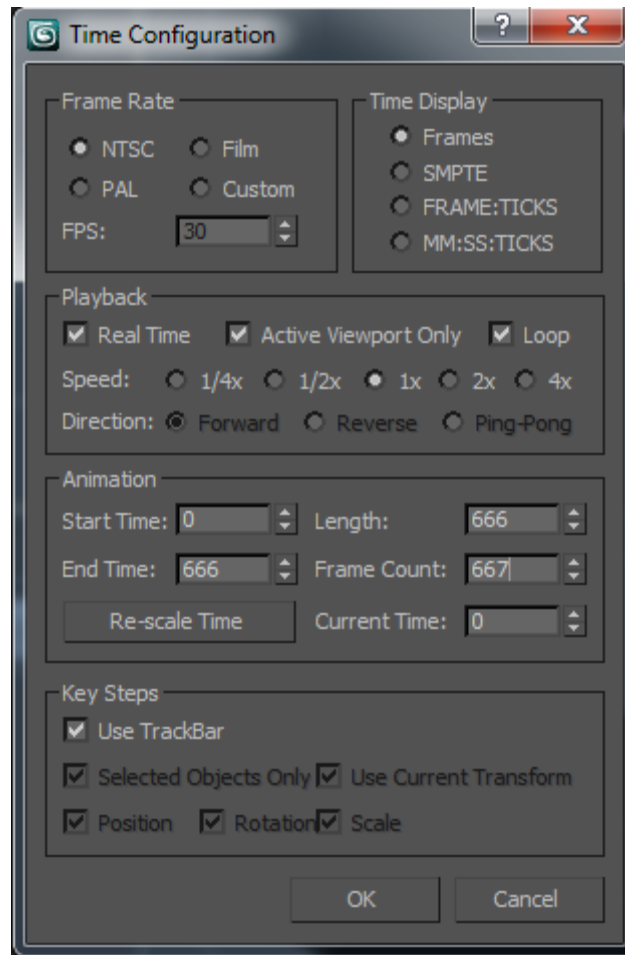
επεξεργασίας (render calculator) της εταιρείας Geola.com και εξάγονται οι παράμετροι επεξεργασίας (rendering) που θα χρησιμοποιηθούν όπως παρακάτω:



Εικόνα 88: Ο υπολογιστής Παραμέτρων για το rendering της σκηνής.

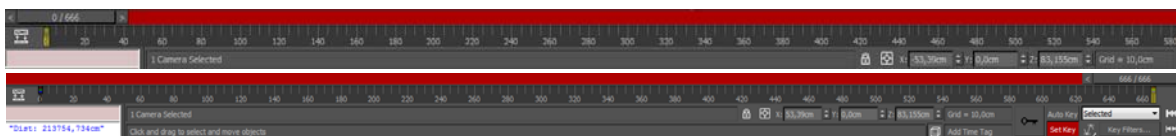
18. Άρα με βάση τις παραπάνω παραμέτρους θα πρέπει η κάμερα να τοποθετηθεί σε απόσταση 83,155 cm από τον χάρτη στο κατακόρυφο επίπεδο (Στον άξονα Z δηλαδή) και να κινηθεί από αριστερά προς τα δεξιά με συντεταγμένες από $-1067,8/2$ έως $1067,8/2$. Επομένως με την εντολή create επιλέγοντας free camera τοποθετείται η κάμερα και έπειτα με την εντολή move στο 0 0 0, μετακινείται η κάμερα στο κέντρο της σκηνής. Έπειτα ανοίγεται το modifier list της κάμερας και μεταβάλλεται το εύρος πεδίου (field of view) FoV σε 78,87 σύμφωνα με το render calculator της εταιρείας geola.

19. Επιλέγεται το παράθυρο χρονικής διαμόρφωσης (time configuration window) και τοποθετείται ο απαραίτητος αριθμός λήψεων (Στην δεδομένη περίπτωση 667 εικόνες) στο πεδίο αριθμός πλαισίων (Frame Count).



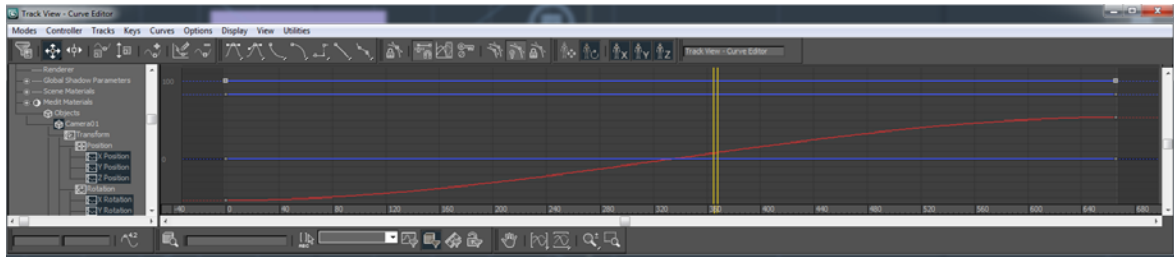
Εικόνα 89: Διαμόρφωση του χρόνου λήψεως

20. Στην συνέχεια ρυθμίζεται η κάμερα πιέζοντας το Set K. Τοποθετούνται οι συντεταγμένες της πρώτης λήψης της κάμερας και μετά «κλειδώνονται» (αποθηκεύονται). Με όμοιο τρόπο τοποθετούνται οι συντεταγμένες της τελευταίας κάμερας και «κλειδώνονται» (αποθηκεύονται).



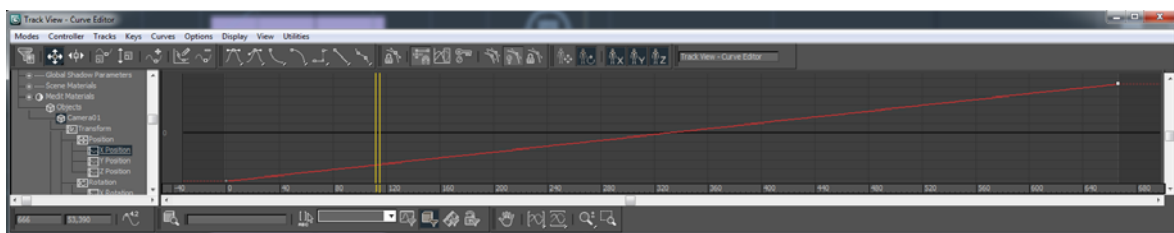
Εικόνα 90: Ρυθμίζοντας την Κάμερα

21. Στη συνέχεια με δεξί κλικ στην κάμερα επιλέγεται ο τροποποιητής των καμπυλών (curve editor) .



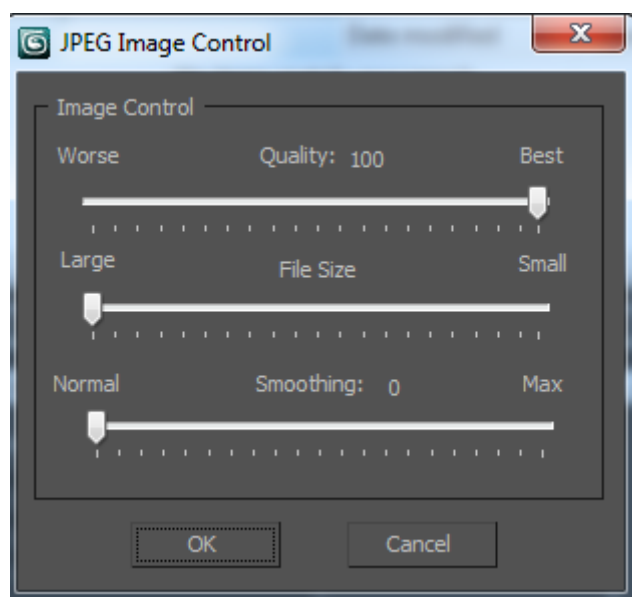
Εικόνα 91: Curve Editor

22. Με την μετάβαση στο μενού x position και κάνοντας κλικ στο κάτω αριστερό άκρο, επιλέγεται το set tangents to linear (Μετατροπή των εφαπτομένων σε γραμμικές), όμοια πράττεται για το πάνω δεξιά άκρο και προκύπτει η παρακάτω κατάσταση.



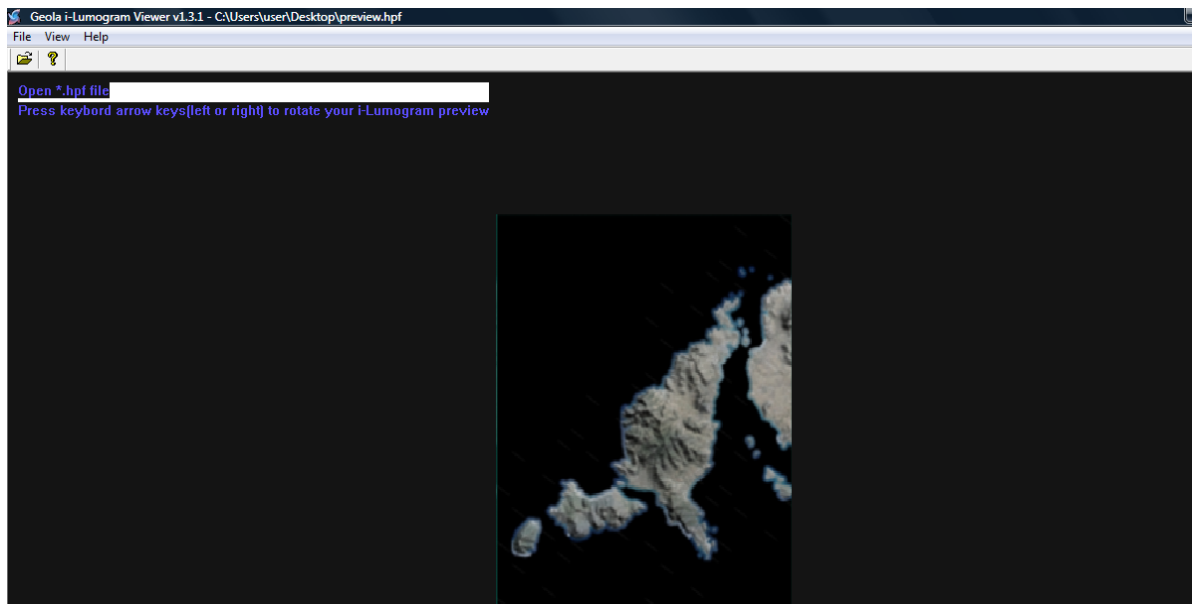
Εικόνα 92: Γραμμική λήψη των frames

Στη συνέχεια τα δεδομένα είναι έτοιμα για την τελική επεξεργασία (rendering), αφού επιλεγεί active time segment και ως παράμετροι στο τελικό προϊόν οι παρακάτω:



Εικόνα 93: Ποιότητα Εικόνας

Το αποτέλεσμα του rendering αποστέλλεται στον ειδικό ολογραφικό εκτυπωτή και το preview του ολογραφήματος έχει ως εξής.



Εικόνα 94: Τελικό Αποτέλεσμα

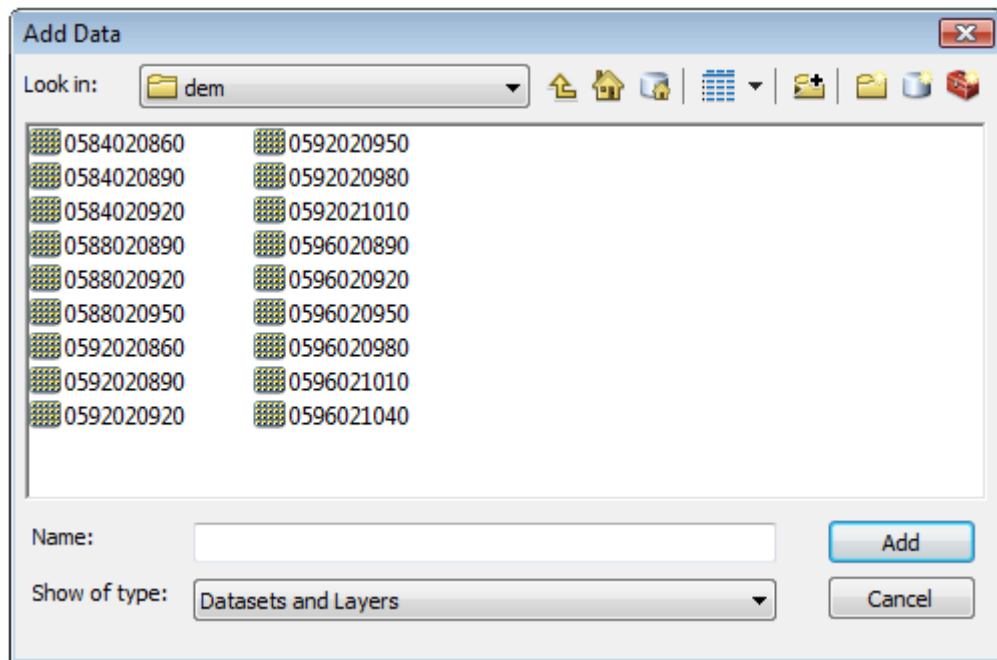
5.2 Παράρτημα «B»

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην χρήση του module Arcscene και στην δυνατότητα που δίνει για εξαγωγή τρισδιάστατων μοντέλων σε μορφή vntml (.wrl). Τα αρχικά δεδομένα αποτελούνται από τα παρακάτω:

- ✓ 18 πινακίδες ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dtm) σε μορφή .adf με βήμα 5 m της νήσου αντίπαρος
- ✓ 18 πινακίδες ορθοανηγμένων αεροφωτογραφιών σε μορφή .jp2 με βήμα 50 cm της νήσου αντίπαρος.
- ✓

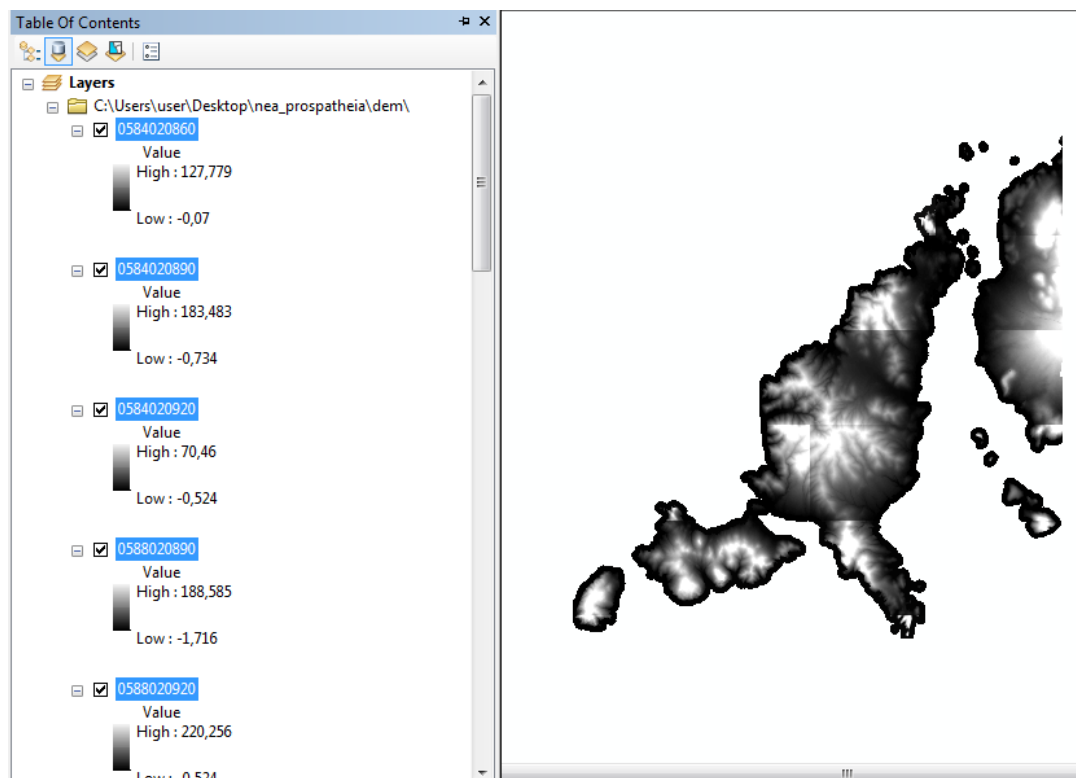
Ακολουθούνται αλγοριθμικά τα παρακάτω βήματα:

1. Εισάγεται στο λογισμικό arcmap οι πινακίδες του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dem), όπως παρακάτω:



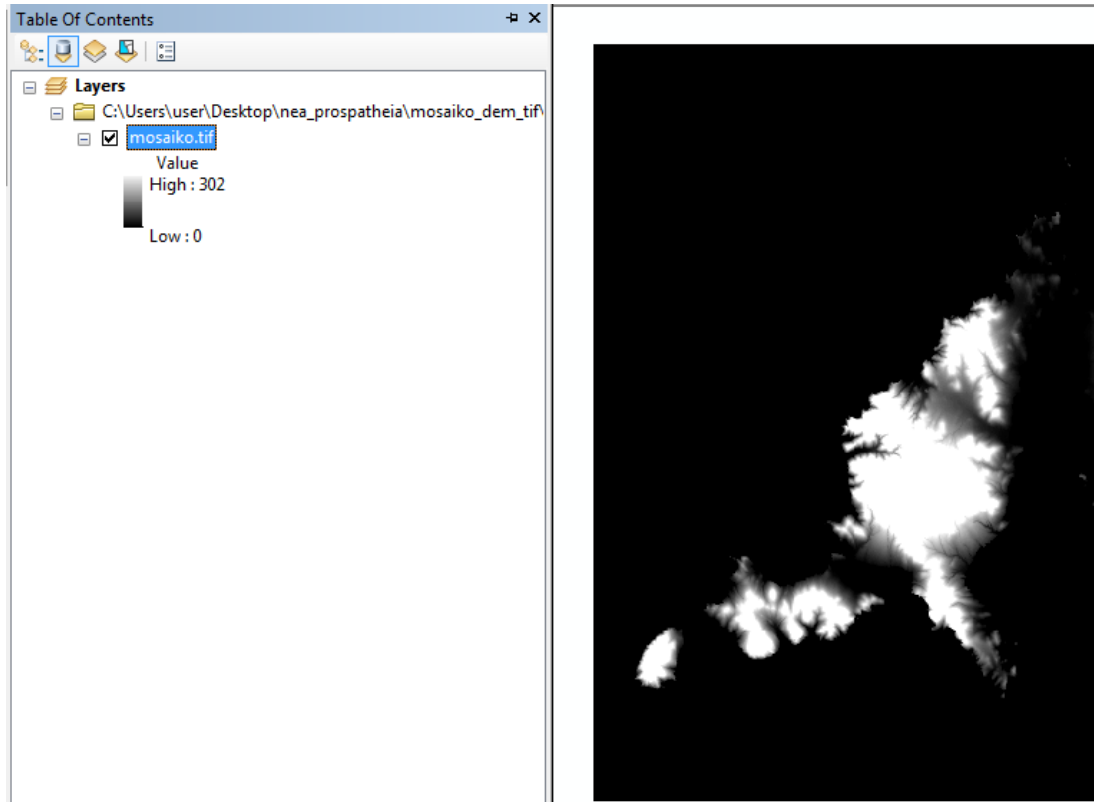
Εικόνα 95: Εισαγωγή Πινακίδων DEM

2. Και μετατρέπονται οι εισαχθείσες πινακίδες σε μωσαϊκό.



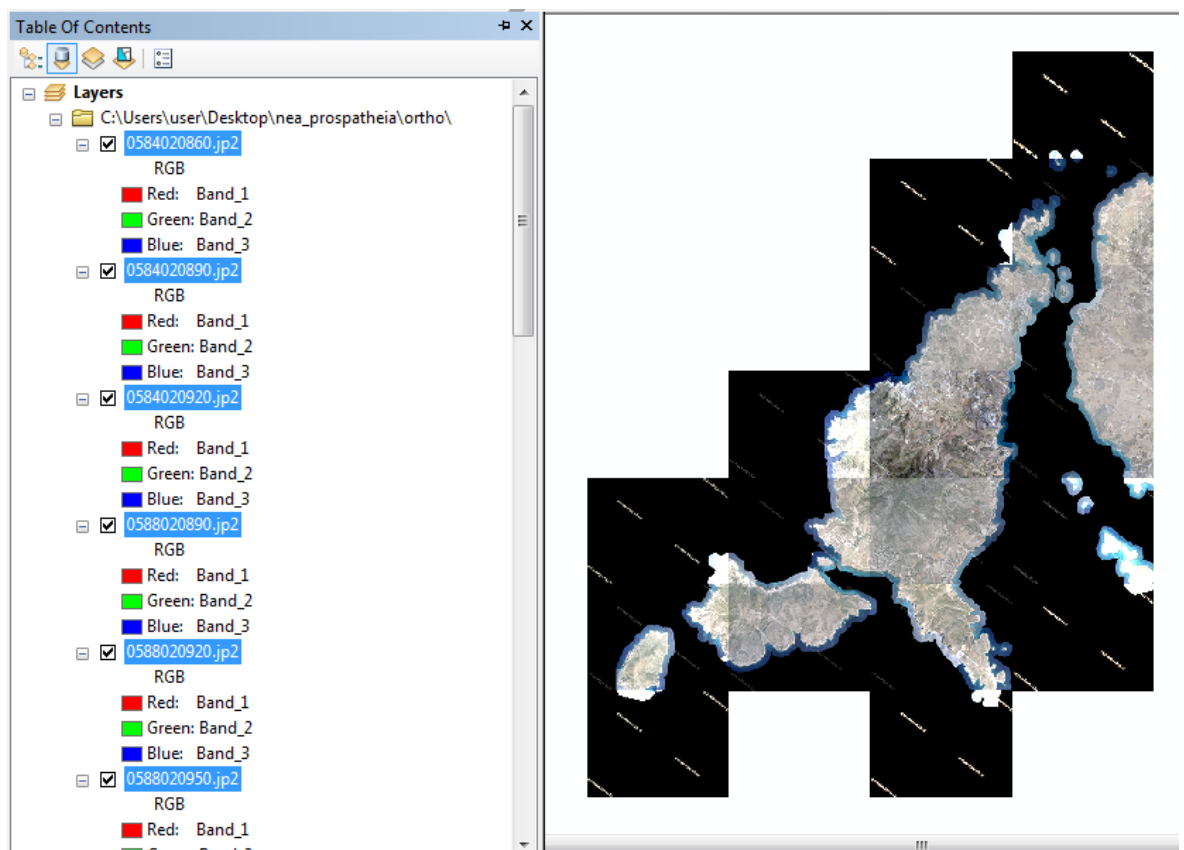
Εικόνα 96: Το σύνολο των Πινακίδων DEM στο Arcgis

Με την χρήση του arctoolbox και συγκεκριμένα του εργαλείου mosaic to new raster μετατρέπονται σε ένα ενιαίο ψηφιακό μοντέλο εδάφους τα αρχικά δεδομένα.

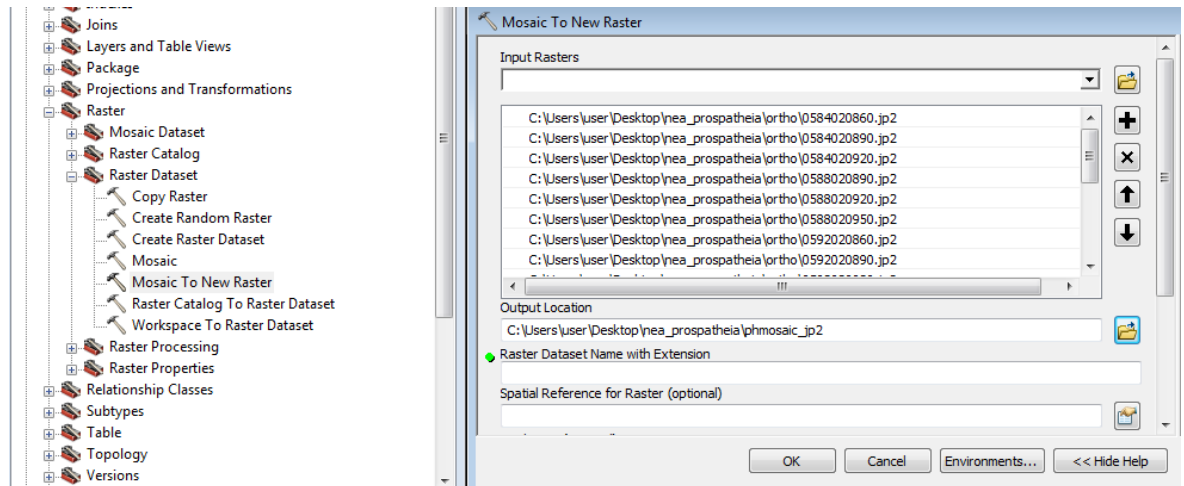


Εικόνα 97: Το αποτέλεσμα του ενιαίου Μωσαϊκού

3. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία για τις πινακίδες των ορθοφωτογραφιών.

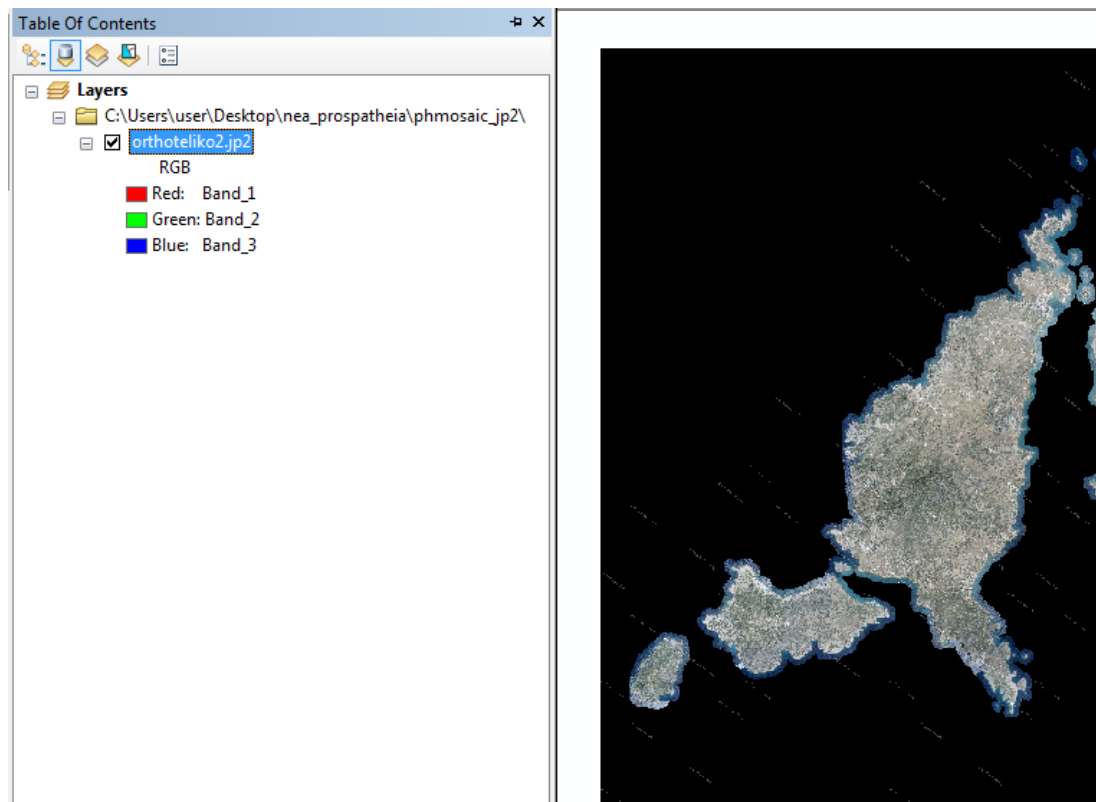


Εικόνα 98: Εισαγωγή Πινακίδων Ορθοεικόνων



Εικόνα 99: Εφαρμογή του εργαλείου Mosaic to New Raster

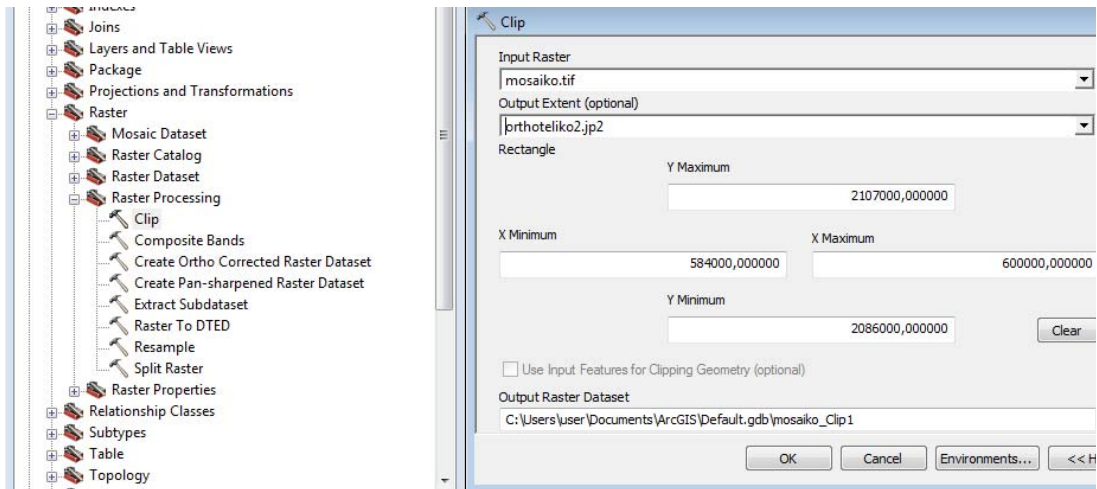
4. Όποτε προκύπτει το παρακάτω ορθομωσαϊκό.



Εικόνα 100: Αποτελέσματα Mosaic to New Raster

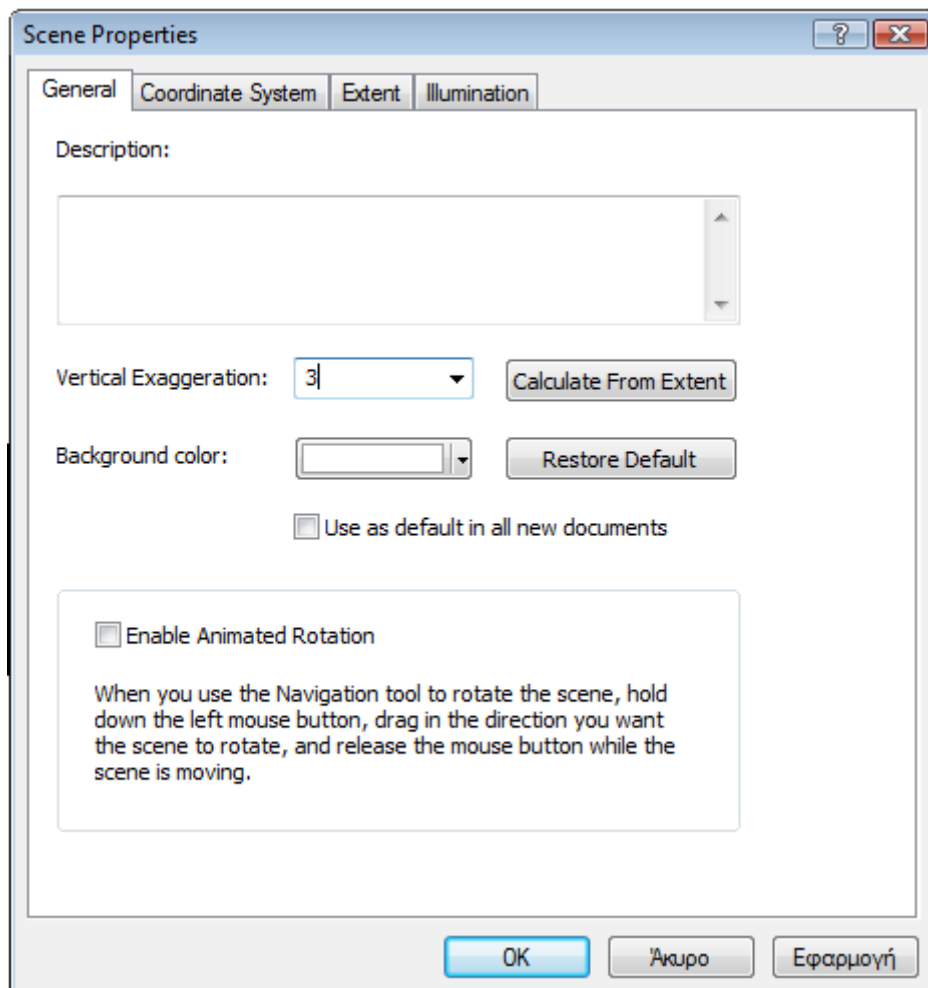
5. Στη συνέχεια αποκόπτεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (dtm) στις ίδιες διαστάσεις με τις ορθοεικόνες. Με την χρήση του arctoolbox εκτελούνται οι παρακάτω εντολές.

Data Management Tools -> Raster -> Raster Processing -> Clip



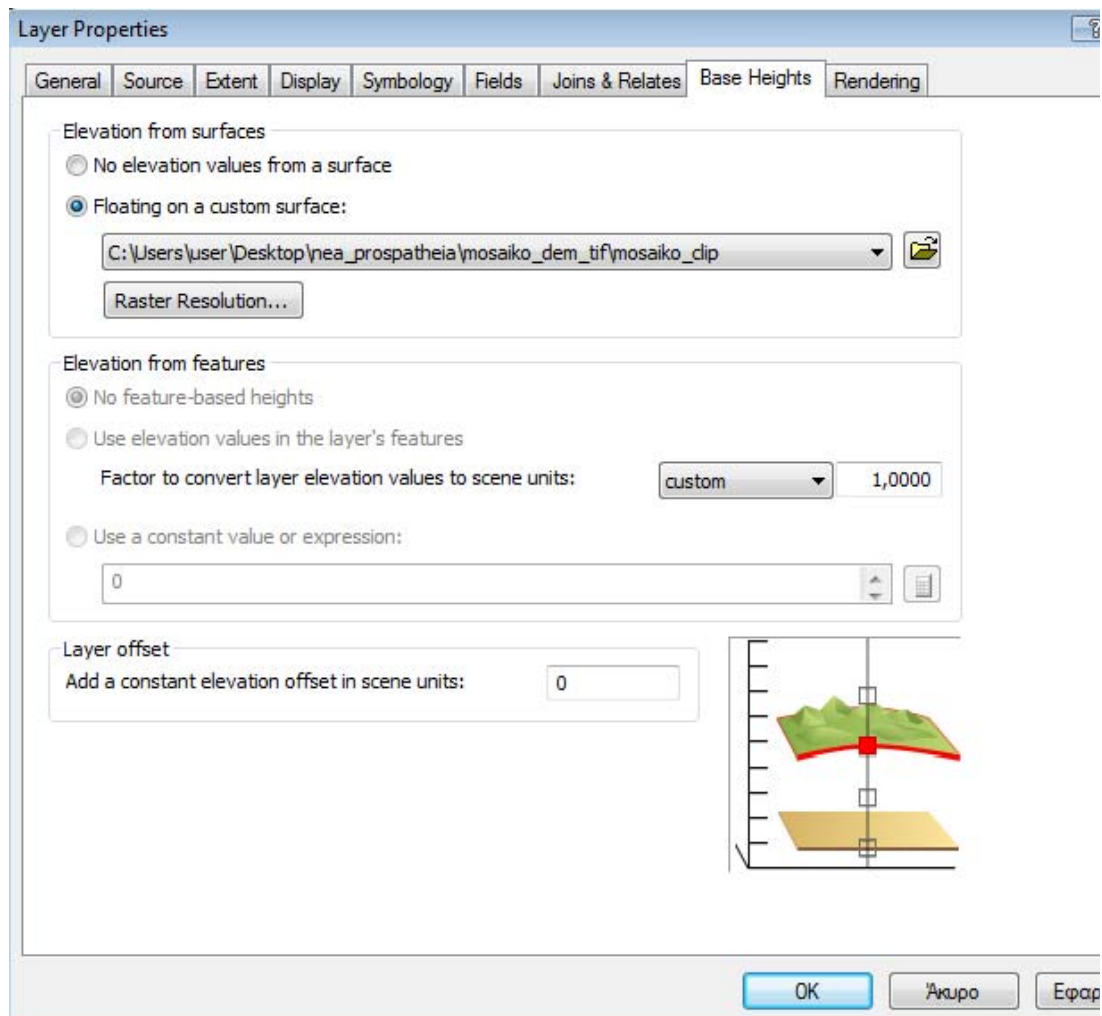
Εικόνα 101: Εφαρμογή Εργαλείου Clip

6. Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα δεδομένα εισάγονται στο λογισμικό arcscene για την δημιουργία του 3-διάστατου μοντέλου. Αφού εισαχθούν τα δεδομένα στις ιδιότητες της σκηνής (scene properties) μεταβάλλεται η κατακόρυφη μεταβολή (vertical exaggeration) σε 2 ή 3, ώστε να είναι το τρισδιάστατο αποτέλεσμα πιο εύληπτο.



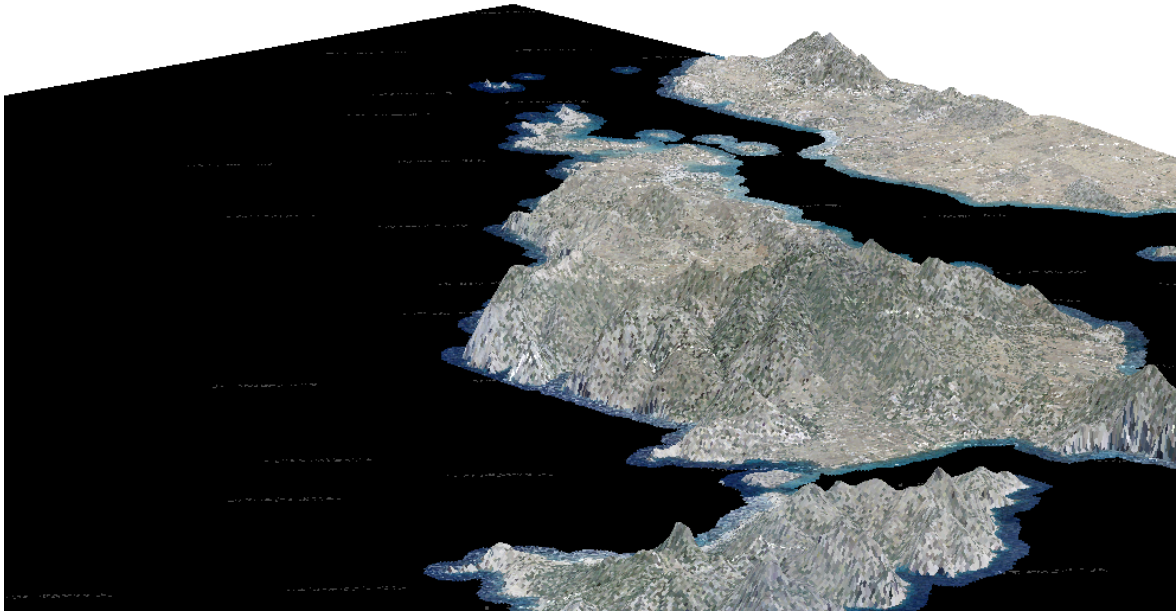
Εικόνα 102: Scene Properties

7. Στη συνέχεια στο επίπεδο (layer) `mosaiko_clip` στην επιλογή (tab) `Base Heights` επιλέγεται `floating on a custom surface`.



Εικόνα 103: Παραμετροποίηση Υψομέτρων

8. Όμοια πράττεται και με την ορθοεικόνα, αλλά ως `floating custom surface` θεωρείται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (`dtm`). Με το πέρας αυτών των ενεργειών αφαιρείται το `dtm` από την σκηνή και έτσι προκύπτει το τελικό τρισδιάστατο προϊόν, με την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 104: Αποτελέσματα Μεθόδου

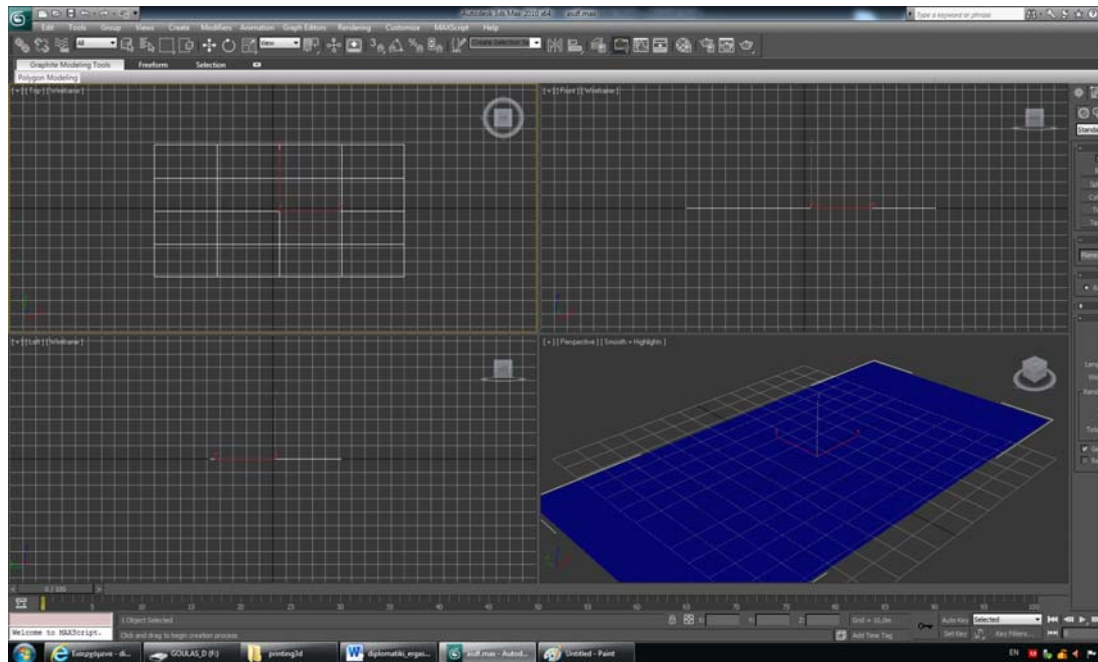
9. Το οποίο εξάγεται σε μορφή .wrl, από το export scene->3d. Επιλέγοντας την μέγιστη ανάλυση των σχηματιζόμενων .jpeg αρχείων. Το τελικό αποτέλεσμα, αν εισαχθεί σε μια εφαρμογή τρισδιάστατης απεικόνισης (3d viewer), όπως είναι ο cortona 3d viewer, είναι το παρακάτω.



Εικόνα 105: Η εξαγόμενη Σκηνή

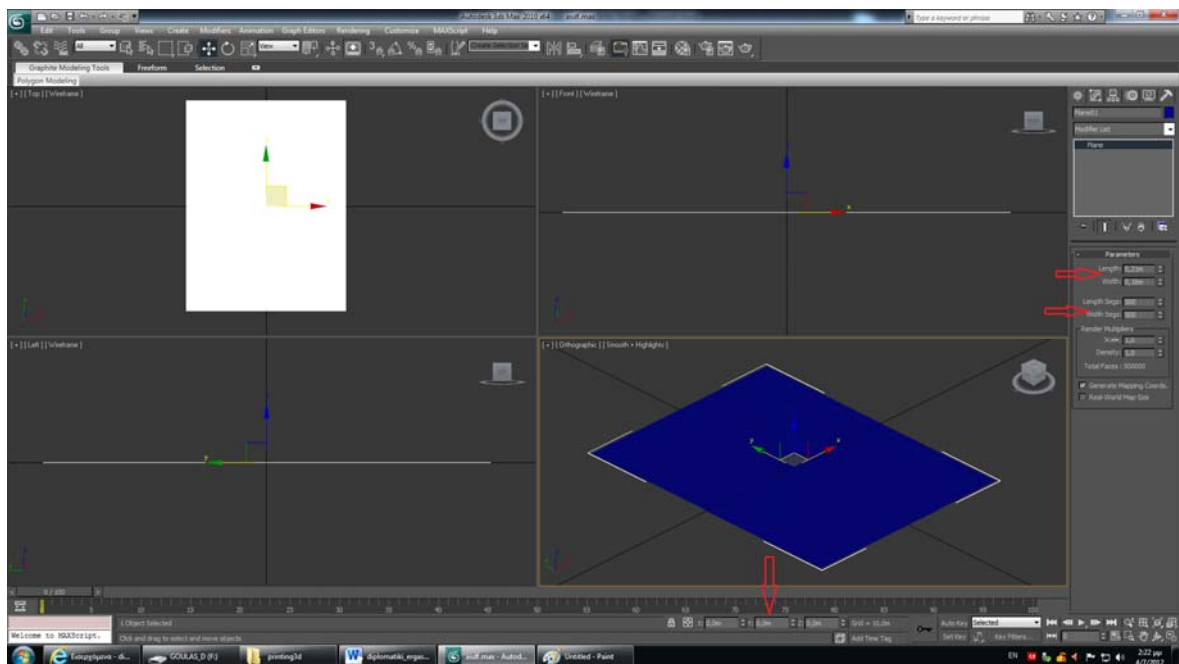
5.3 Παράρτημα «Γ»

1. Αρχικά εκτελείται η εφαρμογή 3ds studio max και δημιουργείται ένα επίπεδο (plane), όπως παρακάτω:



Εικόνα 106: Δημιουργία plane

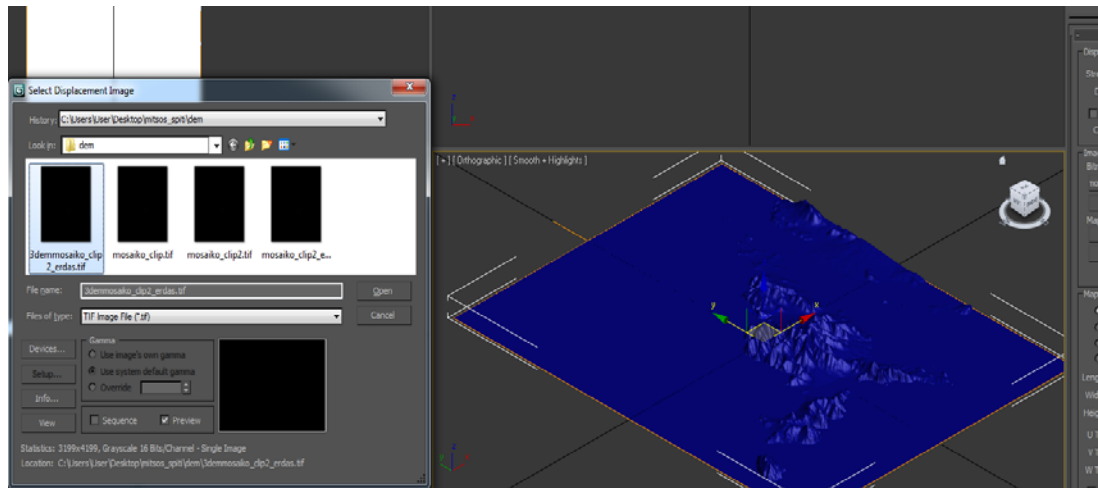
2. Στη συνέχεια και εφόσον έχει εξασφαλιστεί ότι οι μονάδες είναι σε μέτρα, δίνονται οι διαστάσεις του τελικού εκτυπωμένου χάρτη, στο επίπεδο xy καθώς επίσης εξασφαλίζεται η τοποθέτηση του μοντέλου στο κέντρο της σκηνής (από τα κόκκινα βέλη). Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 107: Μετατόπιση του plane

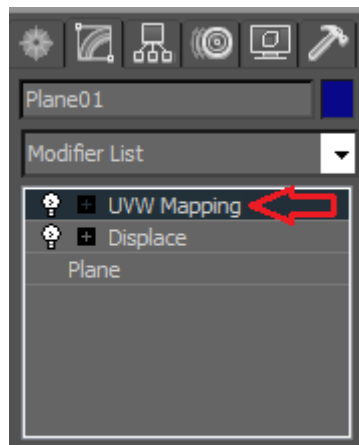
3. Στην συνέχεια από τις επιλογές του modifier list επιλέγεται η εντολή displacement, ώστε με την εισαγωγή της εικόνας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους να δημιουργηθεί το ανάγλυφο που περιγράφεται από αυτήν. Είναι

δεδομένο ότι αυξάνοντας τις ακμές (segments), είναι δυνατή η ομαλή απεικόνιση του ανάγλυφου.



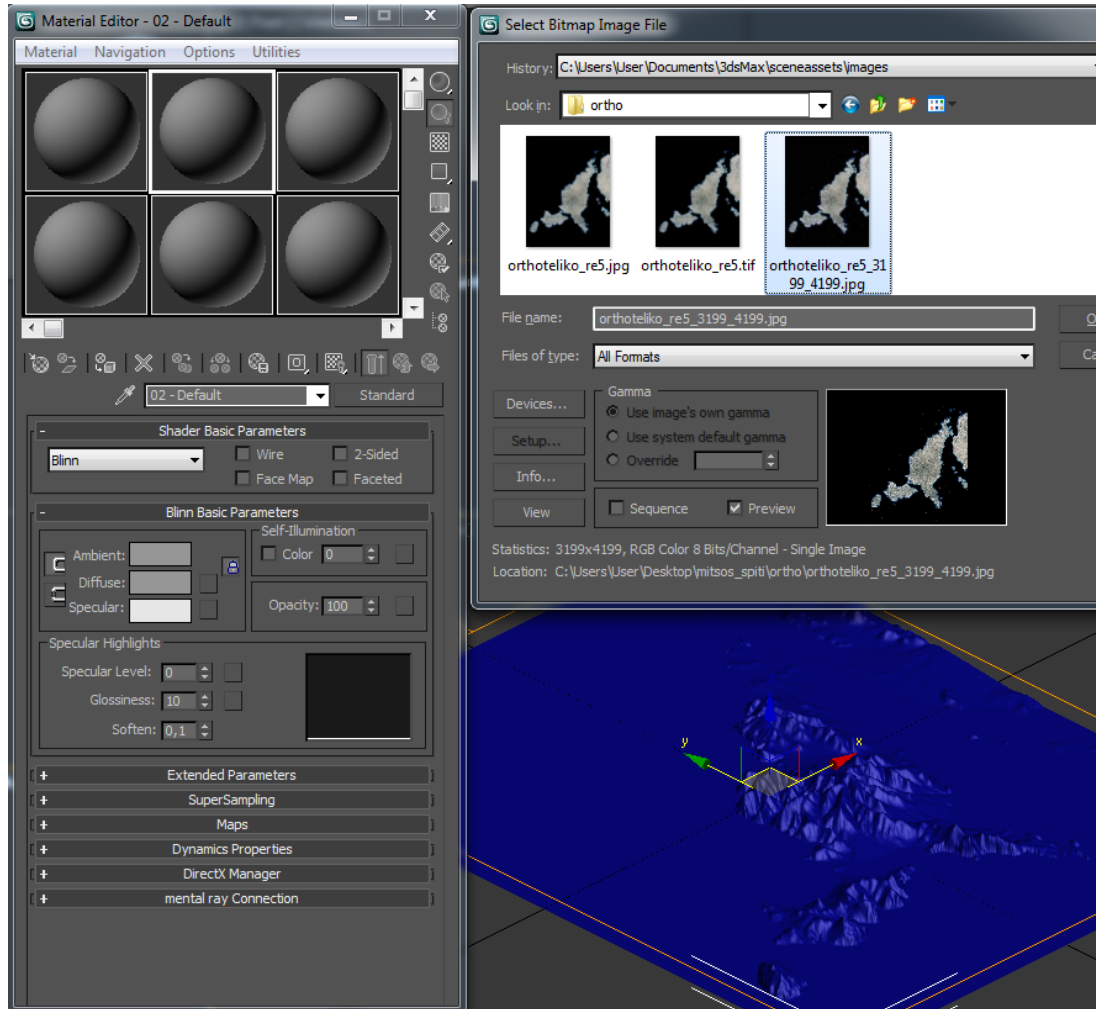
Εικόνα 108: Εντολή displacement

4. Έπειτα εφαρμόζεται ο τροποποιητής (modifier) UVW map ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη συνταύτιση της εικόνας με το υπόβαθρο.



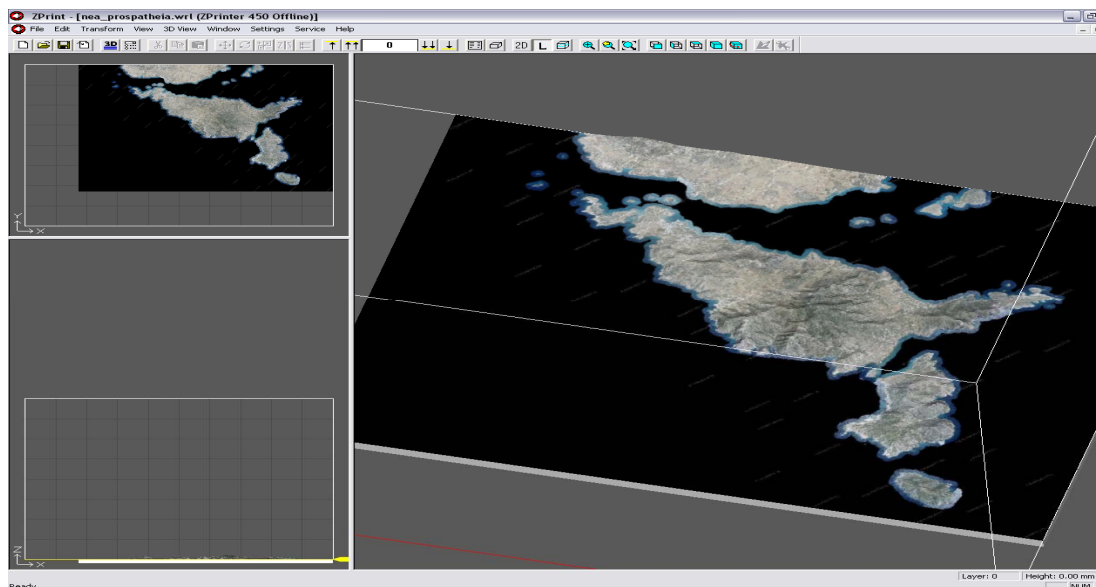
Εικόνα 109: UVW Mapping

5. Στη συνέχεια τοποθετείται η επικάλυψη (texture) επί του ανάγλυφου κάνοντας χρήση του material editor. Ακολουθώντας την σειρά εντολών **Material Editor>Maps>Diffuse Color>Bitmap**. Επιλέγεται η ορθοεικόνα που θα αποτελέσει την επικάλυψη (texture) στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 110: Αποτελέσματα Μεθόδου

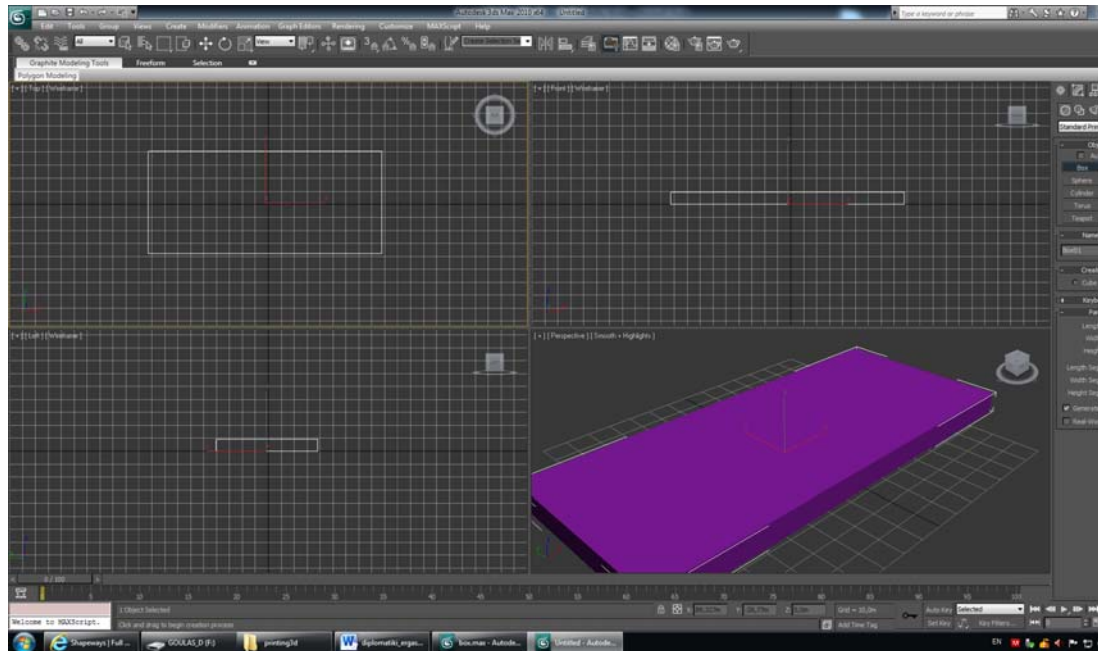
6. Η τελική εικόνα εξάγεται σε νηml και εισάγονται το αποτέλεσμα στο λογισμικό zprint.



Εικόνα 111:Εισαγωγή στο λογισμικό Zprint

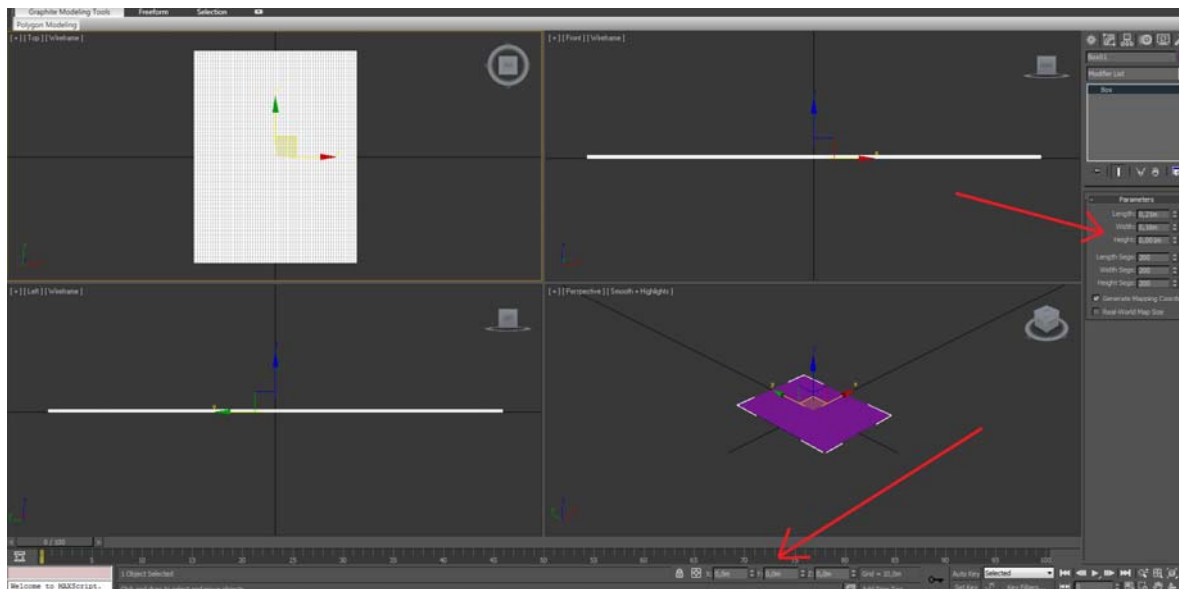
5.4 Παράρτημα «Δ»

1. Αρχικά εκτελείται η εφαρμογή 3ds studio max και δημιουργείται ένα κουτί (Box) όπως παρακάτω:



Εικόνα 112: Δημιουργία box

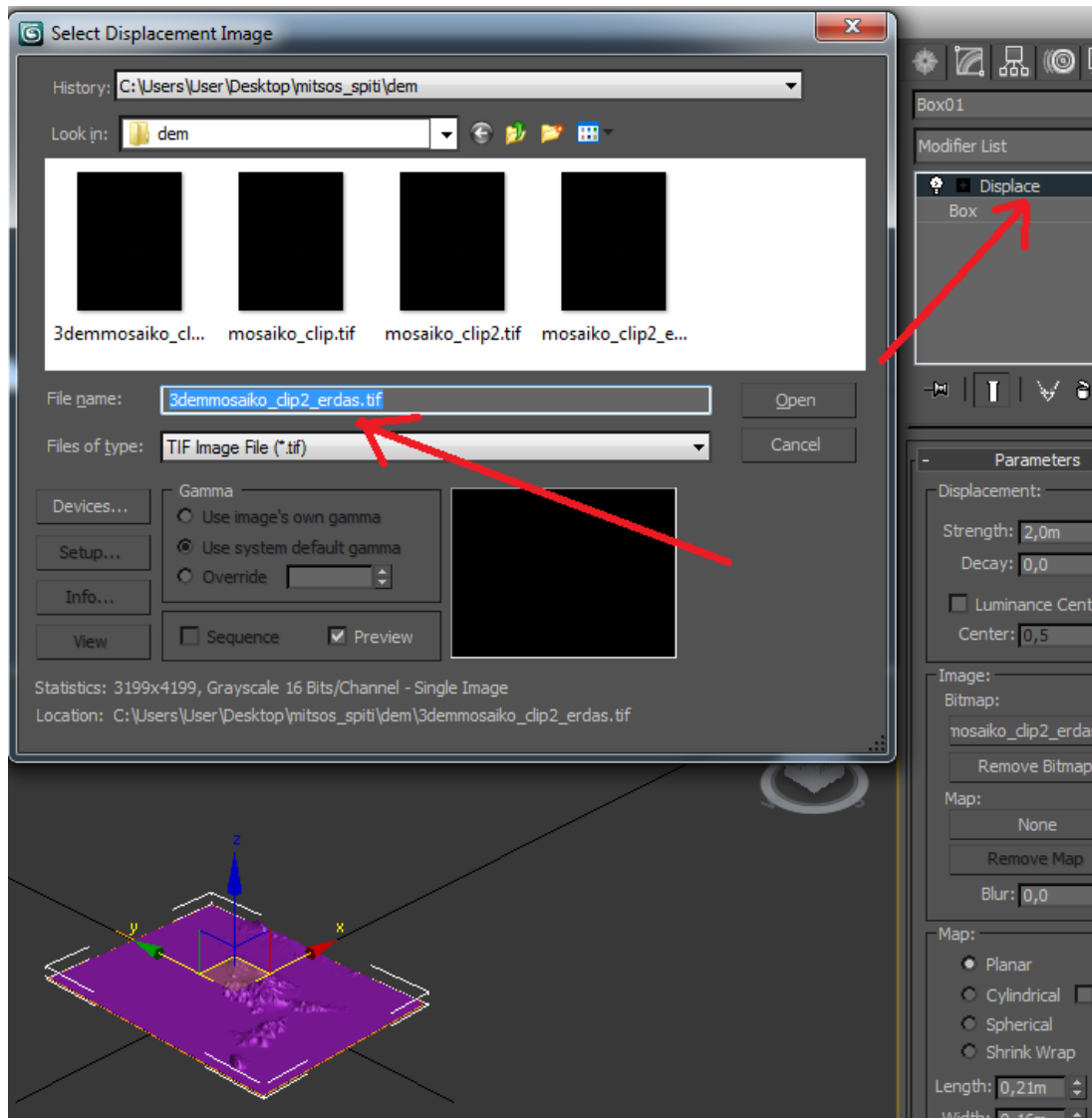
2. Στη συνέχεια και εφόσον έχει εξασφαλίσει ότι οι μονάδες είναι σε μέτρα, δίνονται οι διαστάσεις του τελικού εκτυπωμένου χάρτη, στο επίπεδο xy και δίνεται ένα μικρό ύψος στο box 1mm. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 113: Μεταβολές Μεγέθους στο box

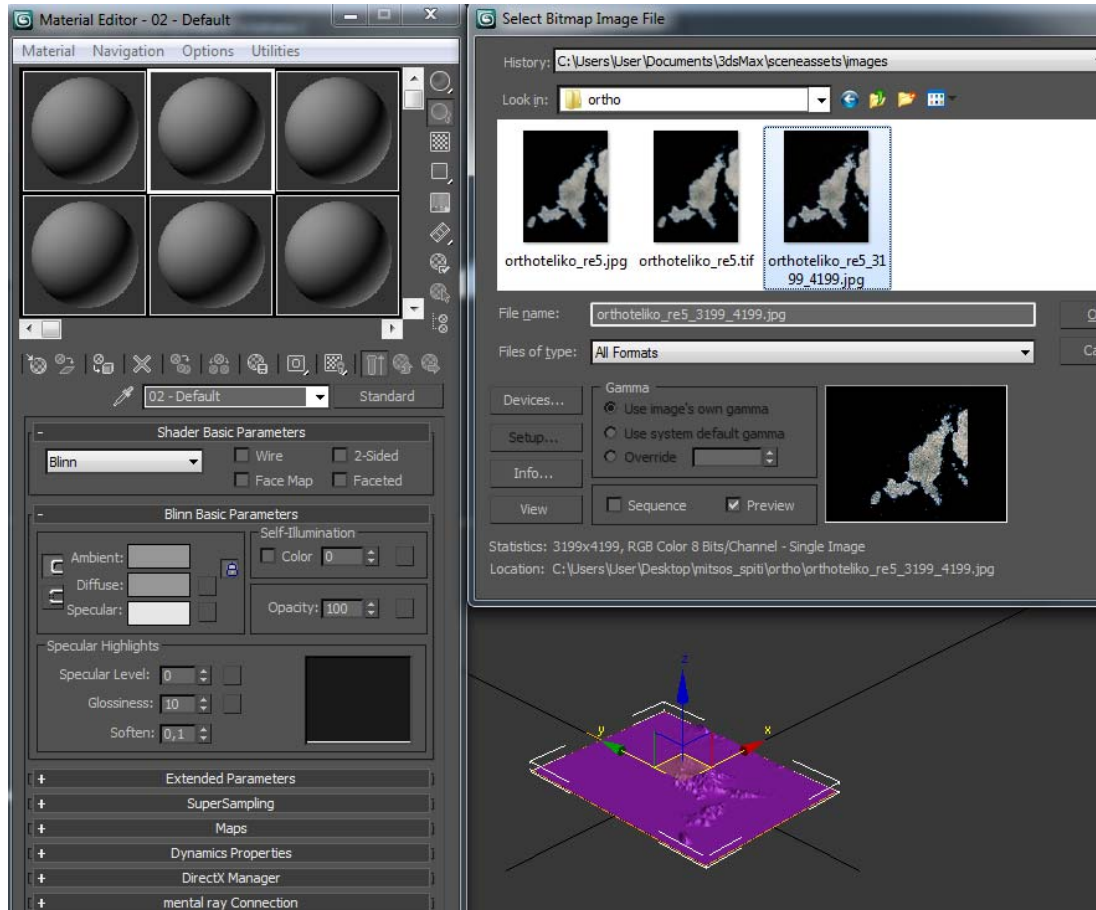
Με τα κόκκινα βέλη καταδεικνύονται πρώτον οι διαστάσεις του κουτιού (box), καθώς και η τοποθέτηση του στο κέντρο της σκηνής.

3. Έπειτα από τις επιλογές του modifier list για το κουτί (box) επιλέγεται displacement, ώστε με την εισαγωγή της εικόνας του ψηφιακού μοντέλου εδάφους να δημιουργηθεί το ανάγλυφο που περιγράφεται από αυτήν. Είναι δεδομένο ότι αυξάνοντας τις ακμές (segments) και στους τρεις άξονες, είναι δυνατή η ομαλή απεικόνιση του τοπογραφικού ανάγλυφου.



Εικόνα 114: Εφαρμογή Εντολής displacement

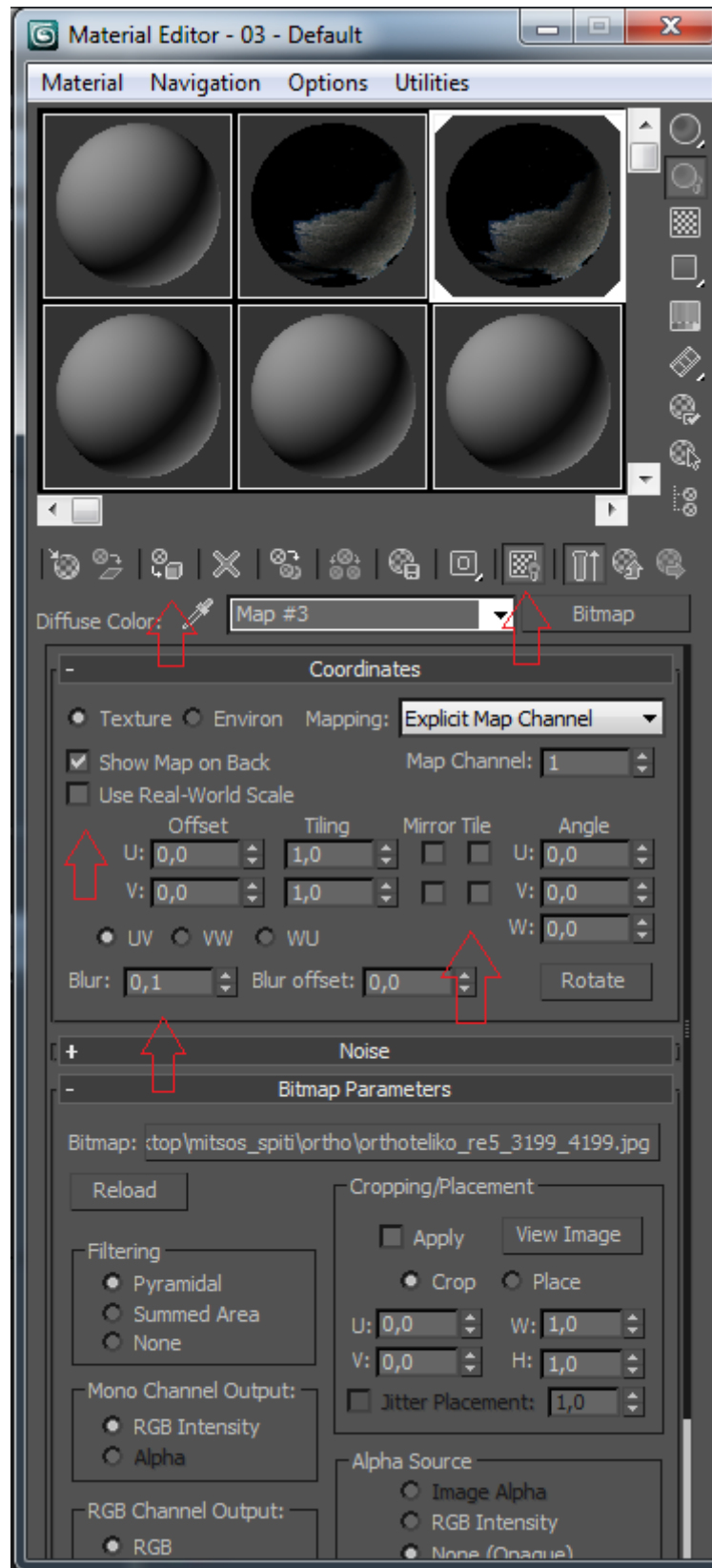
4. Στη συνέχεια τοποθετείται η επικάλυψη (texture) επί του ανάγλυφου κάνοντας χρήση του material editor. Ακολουθώντας το path **Material Editor>Maps>Diffuse Color>Bitmap**. Επιλέγεται η ορθοεικόνα που θα αποτελέσει την επικάλυψη (texture) στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 115: Επιλογή Texture

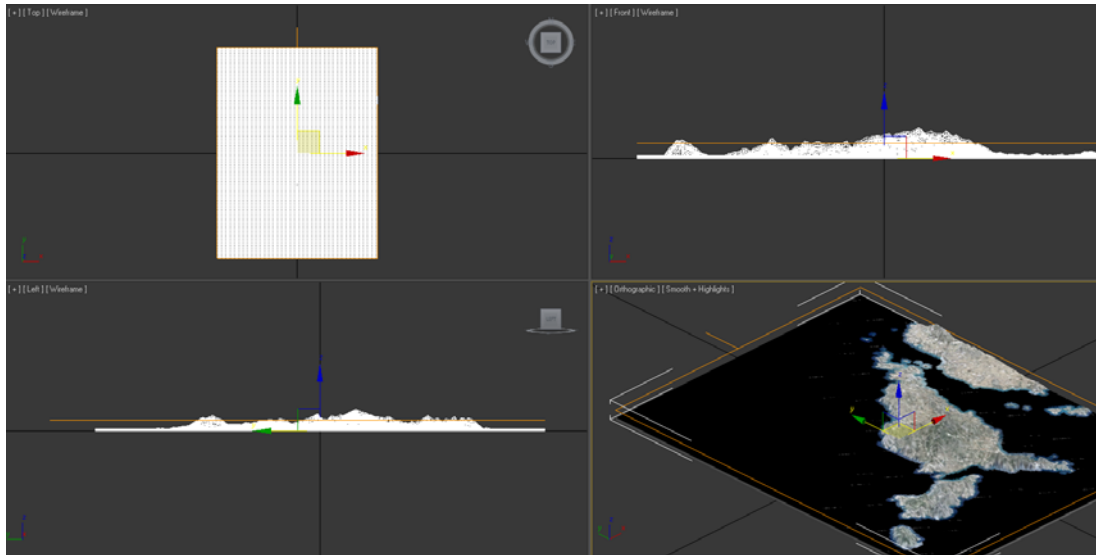
Η εικόνα έχει ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις σε pixel με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

5. Για να εξασφαλιστεί η ορθή εφαρμογή της ορθοεικόνας επί του μοντέλου εφαρμόζεται το modifier UVW Map, επιλέγοντας το από την λίστα που βρίσκεται στα δεξιά. Στην συνέχεια εφαρμόζεται στην εικόνα επί του μοντέλου έχοντας αποεπιλέγει οι δυνατότητες mirror, tile και real world map size και τοποθετώντας τιμή blur 0.1 όπως φαίνεται παρακάτω.



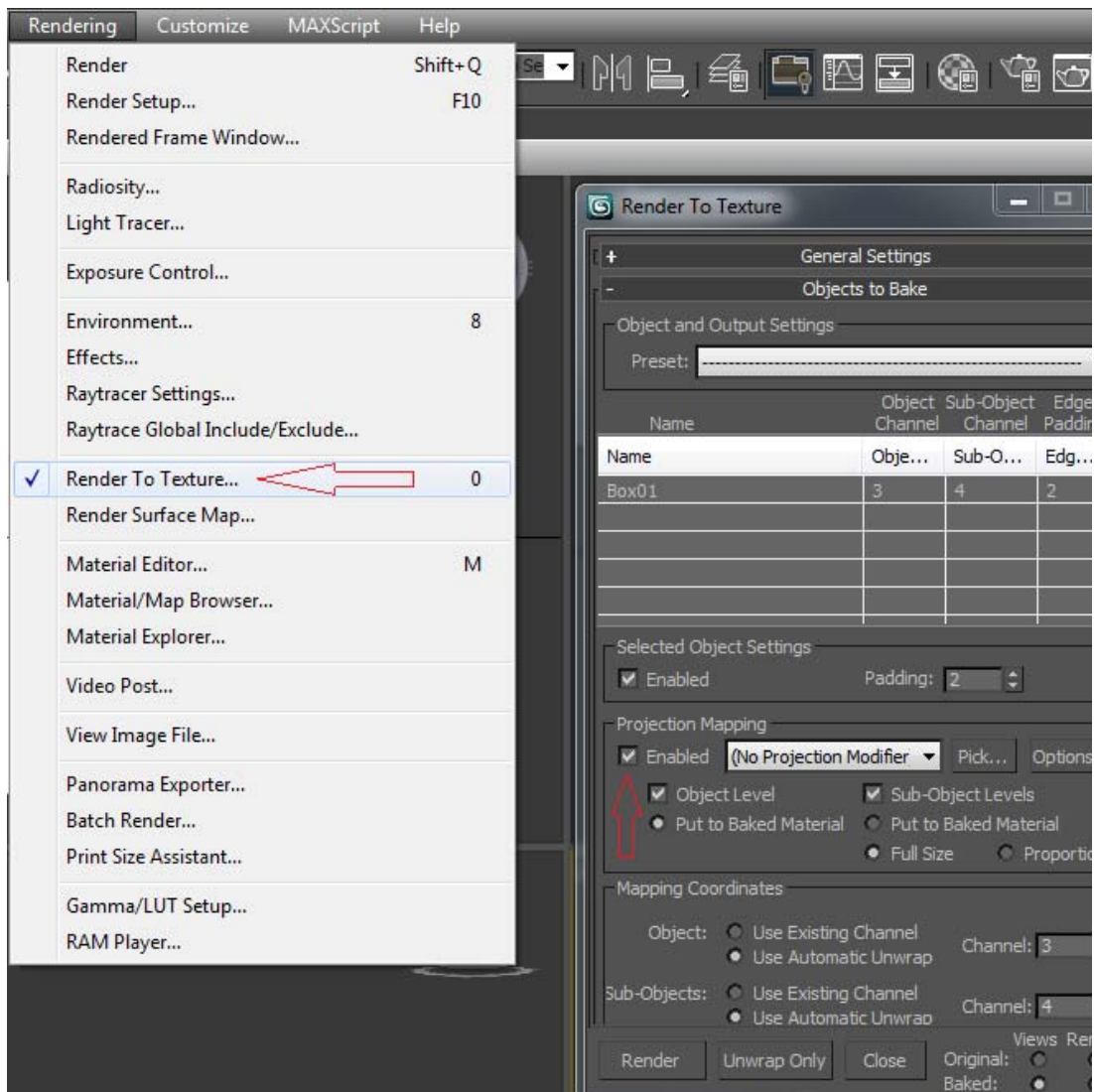
Εικόνα 116: Επιλογή παραμέτρων στον Material Editor

6. Κατόπιν επιλέγεται assign material to selection και Show standard map in viewport με αποτέλεσμα να δημιουργείτε το τελικό 3d μοντέλο και να εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα στο λογισμικό.



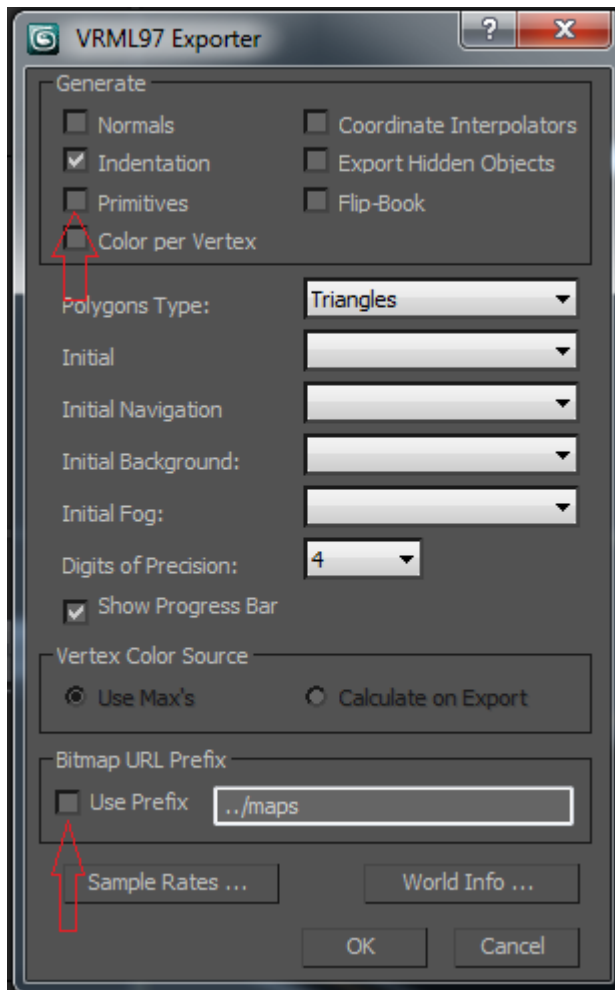
Εικόνα 117: Τελικό Αποτέλεσμα

7. Στην συνέχεια για να συνταυτιστεί το μοντέλο με την εικόνα εκτελείται η εντολή render to texture, φροντίζοντας η επιλογή projection mapping να είναι ενεργοποιημένη (enabled).



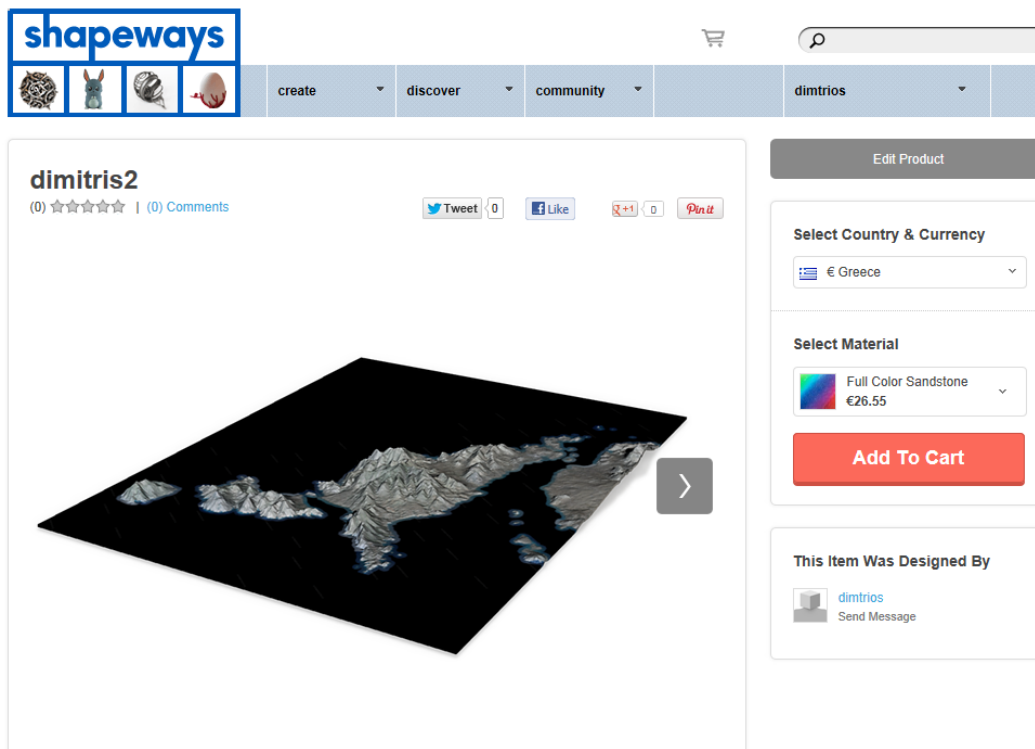
Εικόνα 118: Εντολή Render to Texture

8. Τελικά εξάγεται το προϊόν σε μορφή vrml και στο τελικό παράθυρο επιλογών, αποεπιλέγονται οι επιλογές primitives και use prefix όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 119: Επιλογή Vrml Exporter

Στο τελικό μοντέλο το οποίο θα οδηγηθεί για εκτύπωση, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης εκτύπωσης, αφού έχει δημιουργηθεί η σκηνή σε μέτρα. Το τελικό προϊόν αποστέλλεται στην εταιρεία εκτύπωσης και έχει την παρακάτω μορφή σε preview.



Εικόνα 120: Το τελικό προϊόν