



[www.aegean.gr](http://www.aegean.gr)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Σχολή Περιβάλλοντος  
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας



## Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση και οργάνωση πληροφορίας

Διάλεξη 5. Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Dr. Κωνσταντίνος Ν. Τοπουζέλης

# Περιεχόμενα μαθήματος

Το μάθημα αποτελείται από τις ακόλουθες ενότητες:

- (1) Εισαγωγή στην Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση
- (2) Τροχιές, δέκτες και δορυφόροι
- (3) Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση
- (4) Ψηφιακή δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση
- (5) Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης
- (6) Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης
- (7) Θαλάσσια τηλεπισκόπηση: από τα δεδομένα στις εφαρμογές
- (8) Εισαγωγή στις μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας
- (9) Εισαγωγή στις δορυφορικές μετρήσεις ωκεάνιου χρώματος
- (10) Εισαγωγή στη μικροκυματική τηλεπισκόπηση
- (11) Φωτοερμηνεία θαλάσσιων και ατμοσφαιρικών φαινομένων
- (12) Ολοκληρωμένες εφαρμογές θαλάσσιας τηλεπισκόπησης

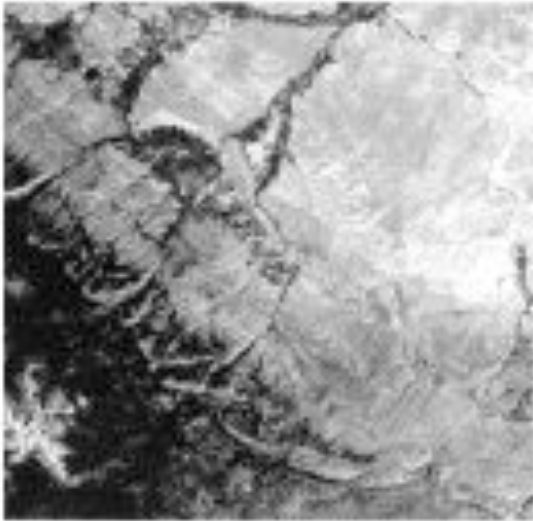
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

- Διαδικασία Ψηφιακής επεξεργασίας Εικόνας
- Ραδιομετρική ενίσχυση εικόνας
  - Τροποποίηση ιστογράμματος
  - Ενίσχυση αντίθεσης (contrast enhancement)
    - Γραμμική
    - Μη Γραμμική
  - Σύμπτωση/Προσαρμογή Ιστογράμματος (Histogram Matching)
  - Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)
- Ραδιομετρική Διόρθωση

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ενίσχυση εικόνας (image enhancement)

Πίνακας μετασχηματισμού (lookup table) και ιστόγραμμα (histogram)



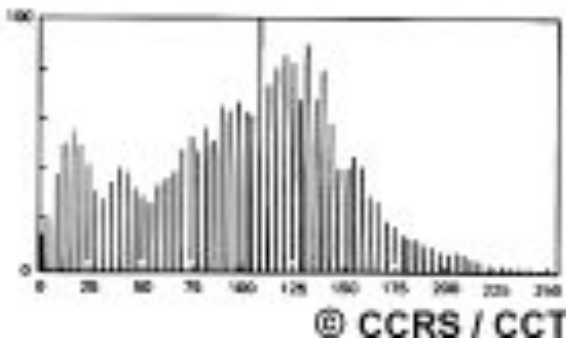
Ιστόγραμμα (histogram): η κατανομή του πλήθους των εικονοστοιχείων για τις διάφορες ψηφιακές τιμές.

Κατακόρυφος άξονας: αριθμός των εικονοστοιχείων  
Οριζόντιος άξονας: ψηφιακές τιμές.

Ερμηνεία ιστογράμματος = αντιπροσώπευση εικονοστοιχείων σε φαινόμενα ή στόχους.

Αντίθεση (contrast): Εύρος των τόνων του γκρι των εικονοστοιχείων της απεικόνισης.

Υψηλή αντίθεση = μεγάλο εύρος επιπέδων του γκρι,  
Χαμηλή αντίθεση = μικρό εύρος επιπέδων του γκρι.

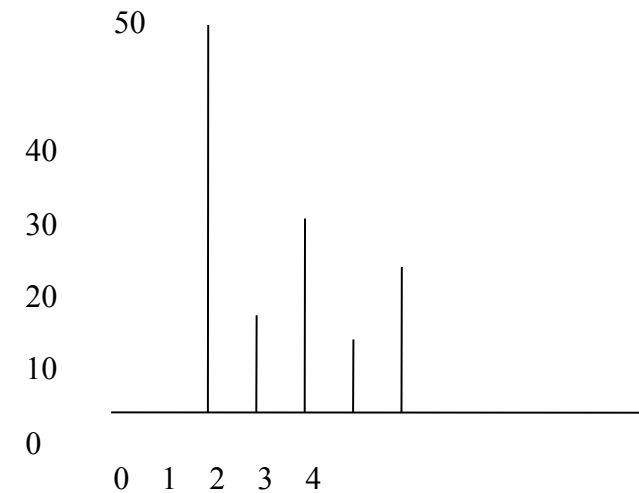


# Ψηφιακή δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση

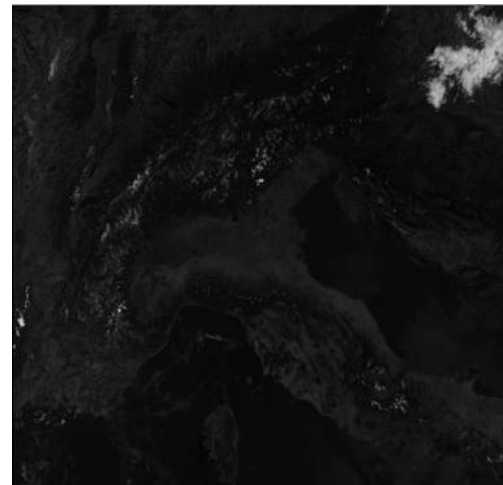
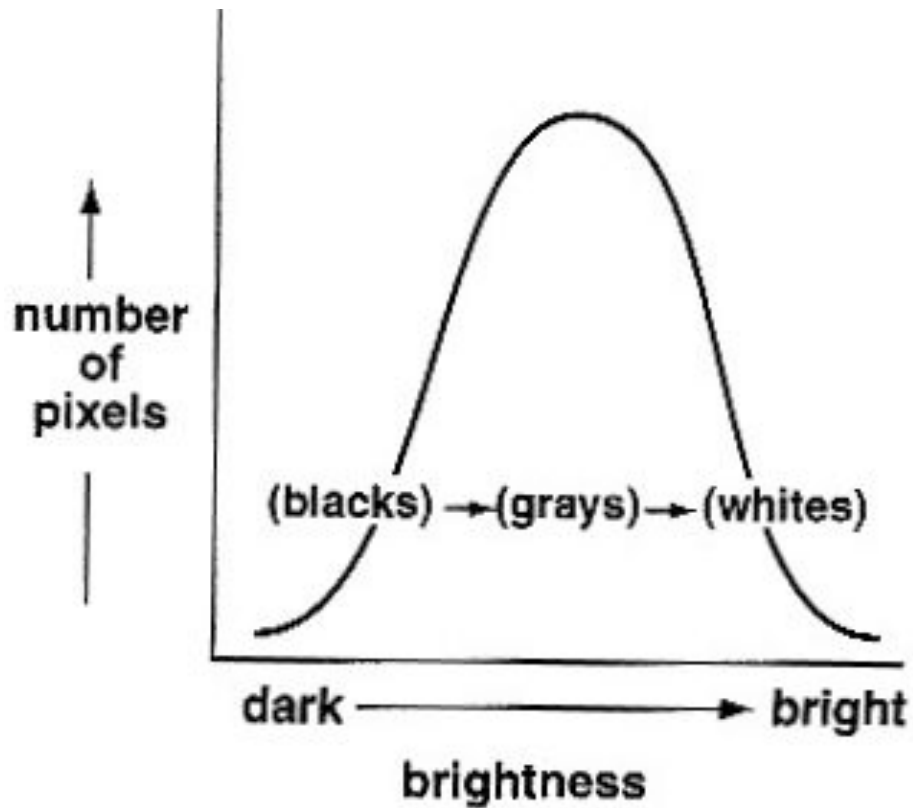
## Ιστόγραμμα (histogram) απεικόνισης

2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
4	4	2	2	1	1	0	0	0	0
4	4	4	2	1	1	1	0	0	0
4	4	4	2	1	1	0	0	0	0
4	4	4	4	1	1	0	0	0	0
3	3	3	3	2	1	0	0	0	0
3	3	3	2	1	0	0	0	0	0
3	3	2	2	0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
2	2	2	0	0	0	0	0	0	0

0: 48 φορές  
1: 11 φορές  
2: 20...  
3: 9...  
4: 16...



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Υπολογιστής  $\leftrightarrow$  Λογισμικό  $\leftrightarrow$  Δεδομένα

Περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες:

- μορφοποίηση και διόρθωση δεδομένων,
- ψηφιακή ενίσχυση προς διευκόλυνση της οπτικής ερμηνείας,
- αυτόματη ταξινόμηση στόχων και χαρακτηριστικών.

Οι περισσότερες από τις λειτουργίες επεξεργασίας μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Προεπεξεργασία (preprocessing),
2. Ενίσχυση εικόνας (image enhancement),
3. Μετασχηματισμός εικόνας (image transformation),
4. Ταξινόμηση εικόνας και ανάλυση (image classification and analysis).

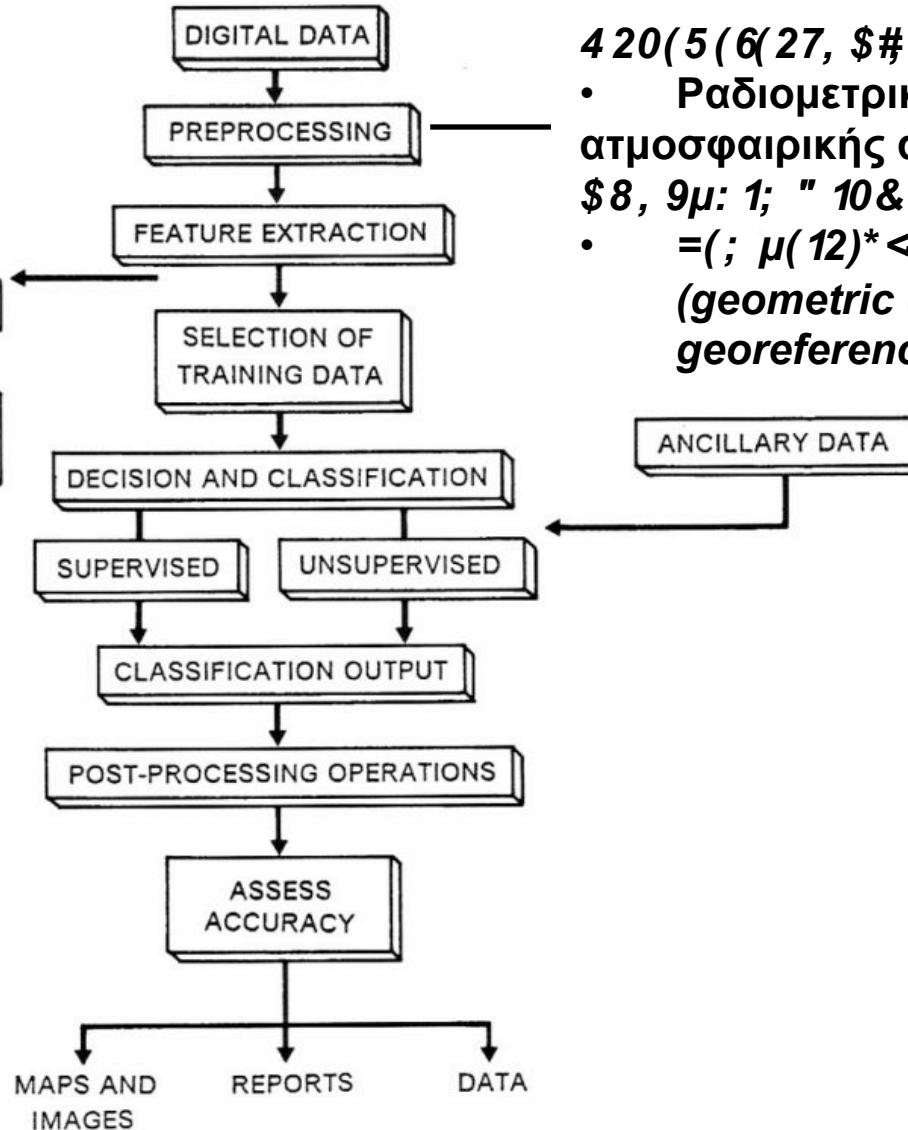
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

! "#%&\$'()\*+,-  
• . , / ) 0 μ( 12)\* 3 ("#%&\$'

4 20(5(6(27, \$# ())\*+", -

- Ραδιομετρική διόρθωση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης, \$8, 9μ: 1; " 10&/ <\*1', \*95.
- =(; μ(12)\* < / )02>? \$()-  
(geometric correction 3 georeferencing)

Μη-αυτοματοποιημένη  
ανάλυση εικόνας από τον  
χρήστη





# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

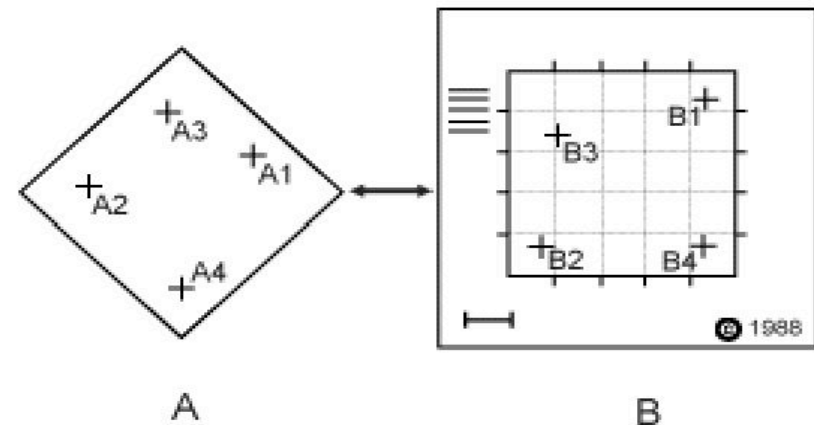
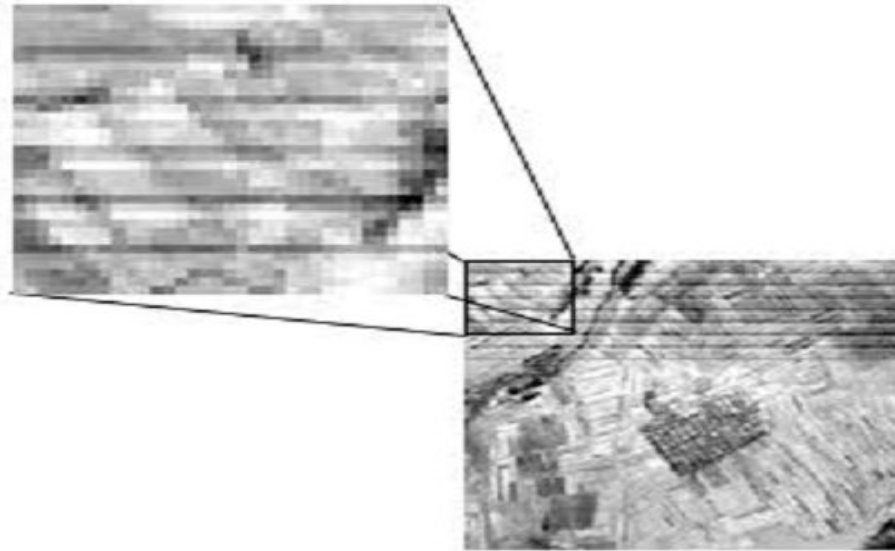
## Προεπεξεργασία (preprocessing)

- **Ενέργειες που απαιτούνται πριν από την κύρια ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή των πληροφοριών:**
  - **ραδιομετρικές και**
  - **γεωμετρικές διορθώσεις.**
- **Ραδιομετρική διόρθωση: διόρθωση παρατυπιών αισθητήρα ή/και ατμοσφαιρικό θόρυβο, μετατροπή των δεδομένων ώστε να αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τις μετρήσεις του αισθητήρα.**
- **Γεωμετρική διόρθωση: διόρθωση των στρεβλώσεων που οφείλονται στις διακυμάνσεις της γεωμετρίας αισθητήρα - γης και μετατροπή των δεδομένων σε πραγματικές συντεταγμένες (πχ γεωγραφικό πλάτος και μήκος) στην επιφάνεια της Γης.**

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Προεπεξεργασία (preprocessing)

- Ενέργειες που απαιτούνται πριν από την κύρια ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή των πληροφοριών:
  - ραδιομετρικές και
  - γεωμετρικές διορθώσεις.

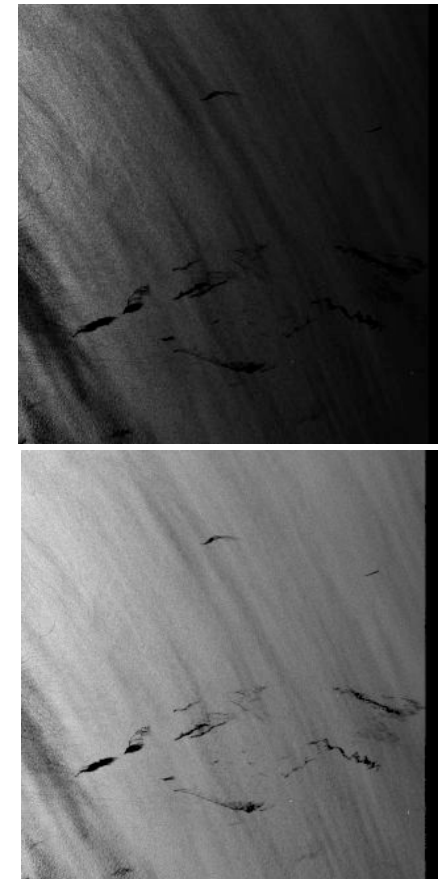


© CCRS / CCT

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ενίσχυση εικόνας (image enhancement)

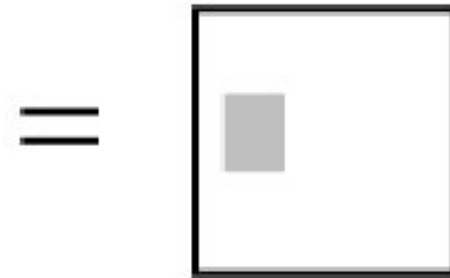
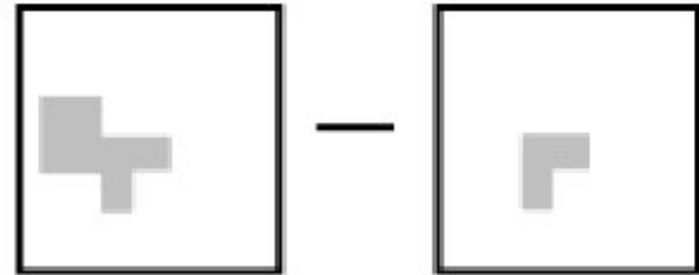
- **Ενέργειες που αποσκοπούν στην βελτίωση της εμφάνισης των απεικονίσεων ώστε να επιτευχθεί καλύτερη οπτική ερμηνεία.**
- **Ενίσχυση της αντίθεσης της απεικόνισης ώστε να αυξηθεί η διάκριση των τόνων του γκρι μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών.**
- **Εφαρμογή φίλτρων, που αποσκοπούν στην ενίσχυση (ή απόκρυψη) ειδικών χωρικών προτύπων.**



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Μετασχηματισμός εικόνας (image transformation)

- Παρόμοια έννοια με την βελτίωση εικόνας.
- Η βελτίωση εφαρμόζεται συνήθως σε ένα κανάλι ενώ ο μετασχηματισμός συνήθως περιλαμβάνει πολλαπλά κανάλια.
- Αριθμητικές πράξεις καναλιών (πχ αφαίρεση, προσθήκη, πολλαπλασιασμό, διαίρεση) ώστε να συνδυαστούν για καλύτερη απεικόνιση ή επισήμανση χαρακτηριστικών.



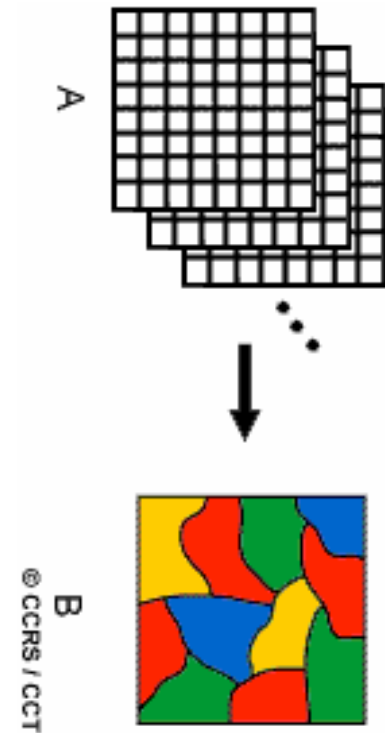
© CCRS / CCT

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ψηφιακή επεξεργασία

Ταξινόμηση εικόνας και ανάλυση (image classification and analysis)

- Ψηφιακός εντοπισμός και ταξινόμηση των εικονοστοιχείων σε κατηγορίες.
- Συνήθως σε πολυκαναλικά δεδομένα (A) και το κάθε εικονοστοιχείο κατανέμεται σε συγκεκριμένη κατηγορία (B) με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά και τις τιμές φωτεινότητάς του.
- Ποικιλία προσεγγίσεων:
  - Επιβλεπόμενη - μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.
  - Νευρωνικά δίκτυα, γενετικοί αλγόριθμοι.

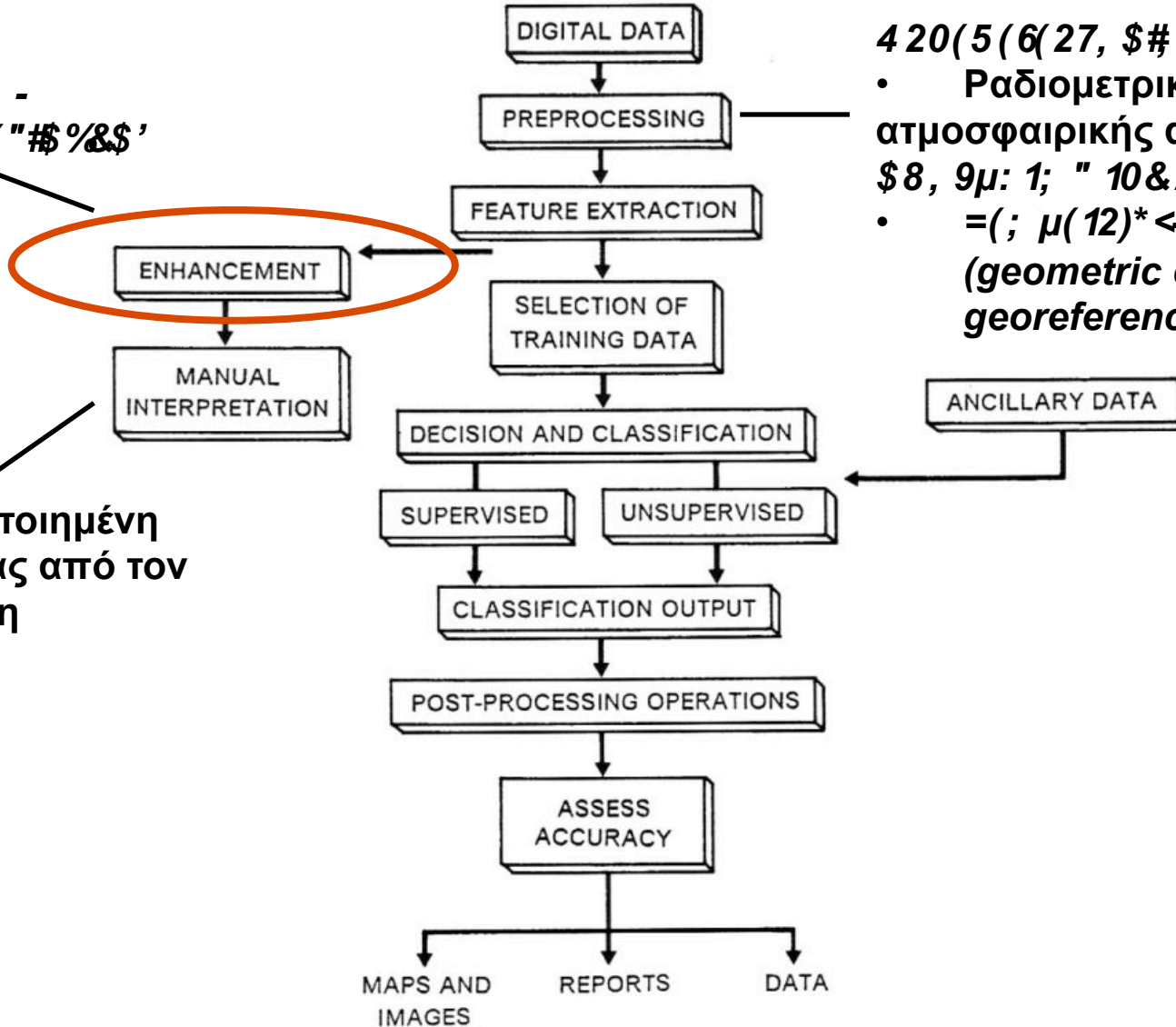


# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

! "#%&\$'()\*+,-  
• . , / ) 0 μ( 12)\* 3 ("#%&\$'

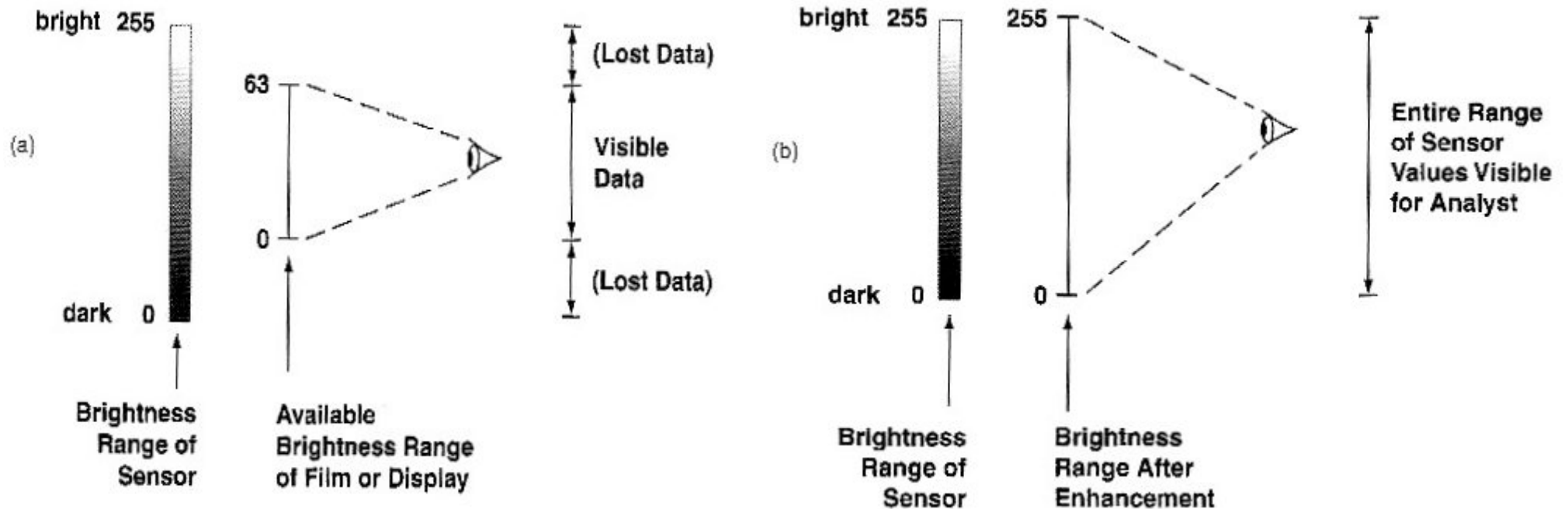
4 20(5(6(27, \$# ())\*+", -

- Ραδιομετρική διόρθωση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης, \$8, 9μ: 1; " 10&/ <\*1', \*95.
- =(; μ(12)\* < / )02>? \$()-  
(geometric correction 3 georeferencing)



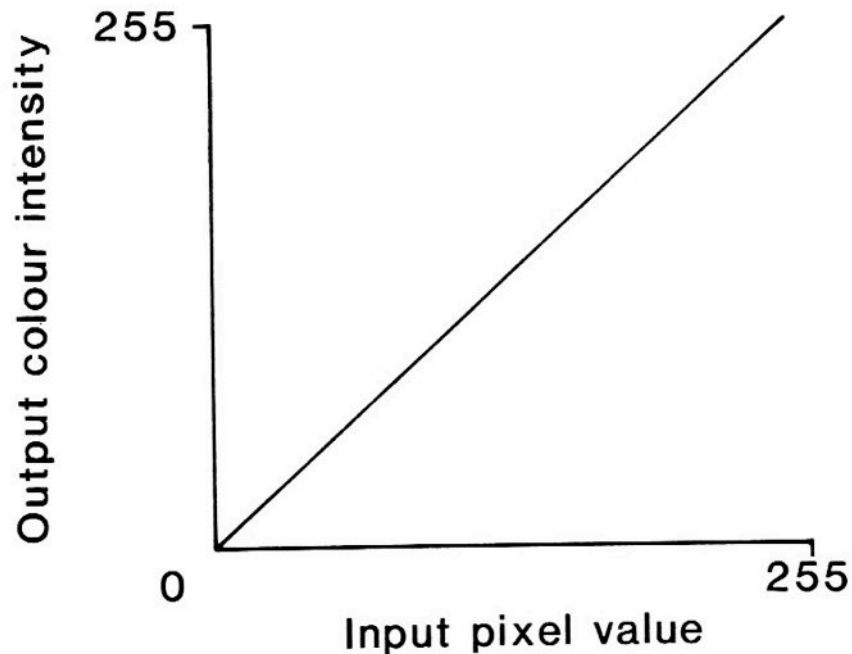
Μη-αυτοματοποιημένη  
ανάλυση εικόνας από τον  
χρήστη

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης Ραδιομετρική Ενίσχυση



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική Ενίσχυση – Τροποποίηση Ιστογράμματος



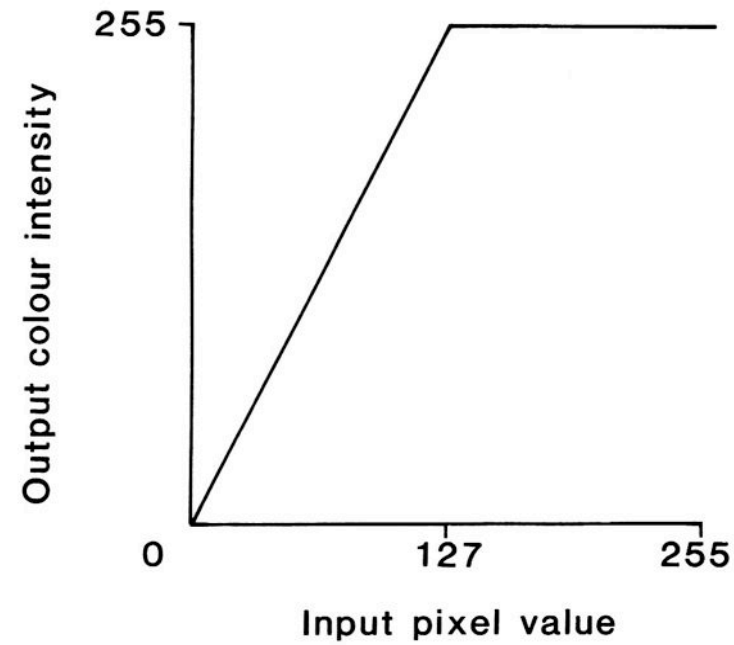
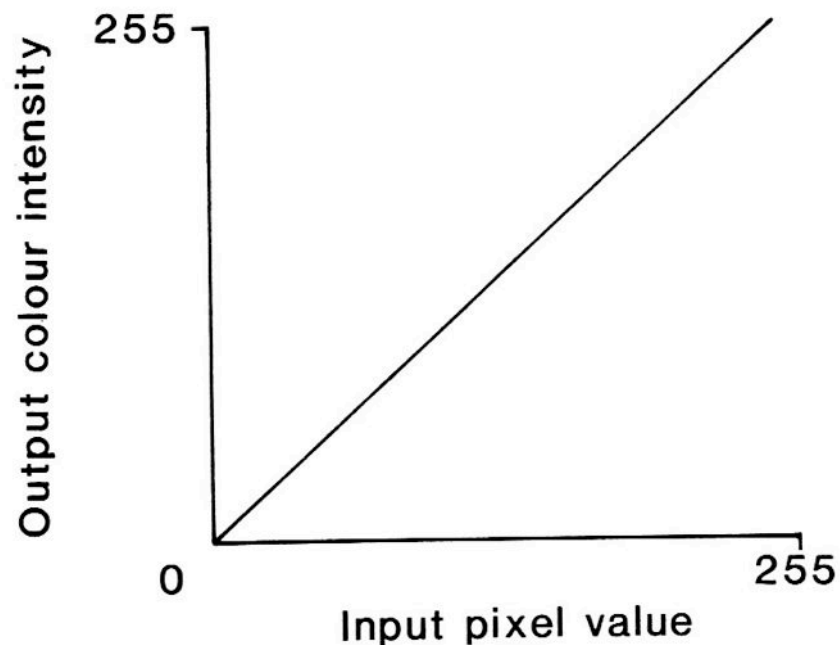
Πίνακας μετασχηματισμού  
(Lookup table LUT)

Element number	0	1	2	3	.....	253	254	255
Contents	0	1	2	3	.	.	.	253 254 255



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική Ενίσχυση – Τροποποίηση Ιστογράμματος

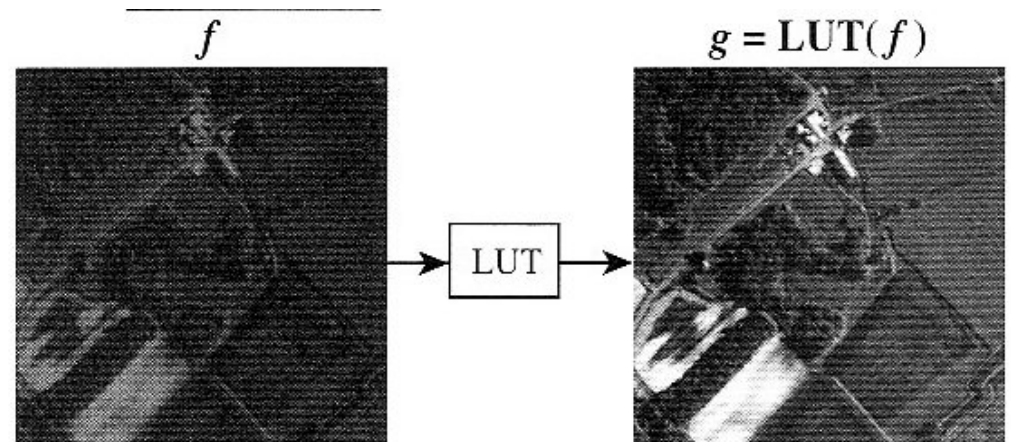
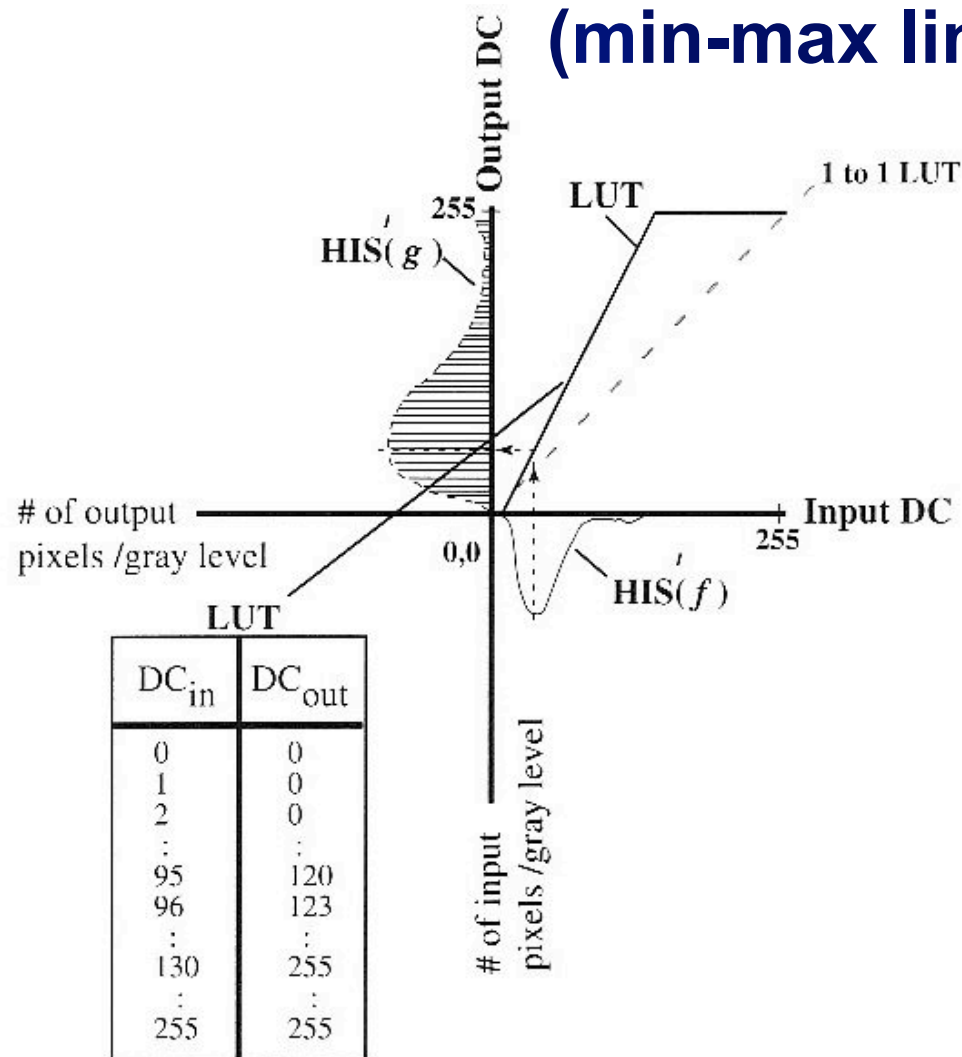


Element number	0	1	2	3	...	125	126	127	.....	253	254	255	
Contents	0	2	4	6	.	250	252	255	.	.	255	255	255

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική Ενίσχυση

Γραμμική ενίσχυση ελάχιστου – μέγιστου  
(min-max linear stretch)



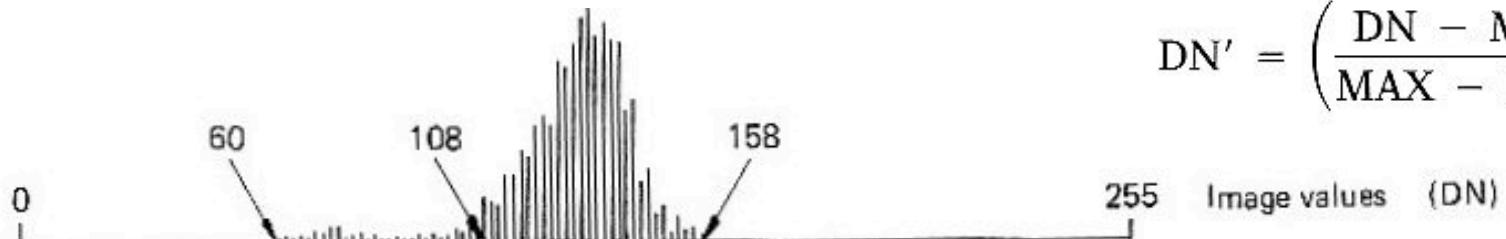
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική Ενίσχυση

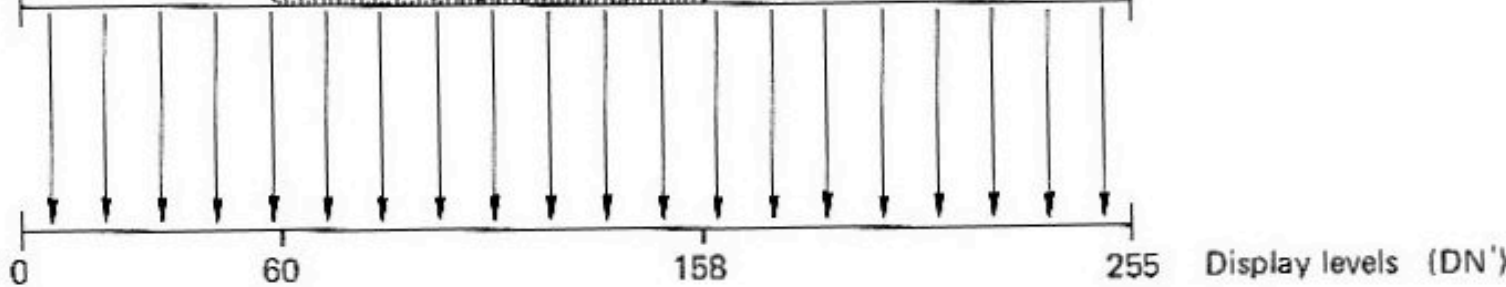
### Γραμμική ενίσχυση ελάχιστου – μέγιστου (min-max linear stretch)

$$DN' = \left( \frac{DN - MIN}{MAX - MIN} \right) 255$$

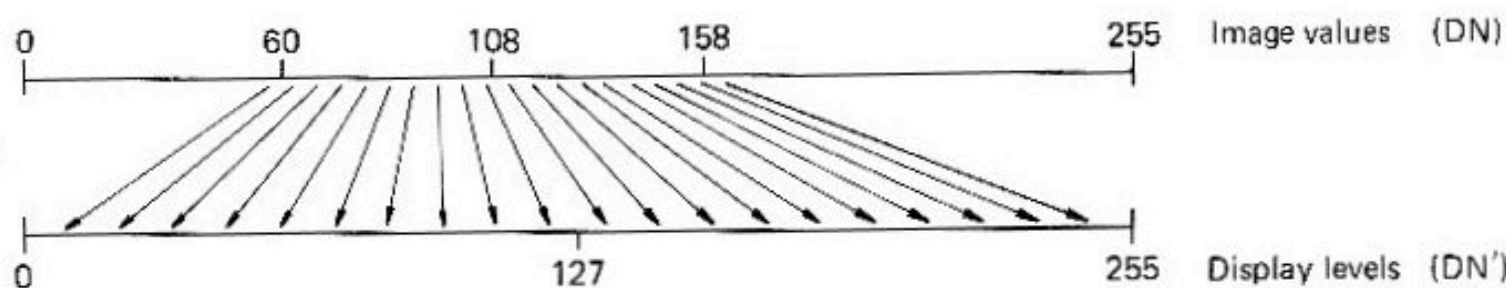
a) Histogram



b) No stretch



c) Linear stretch

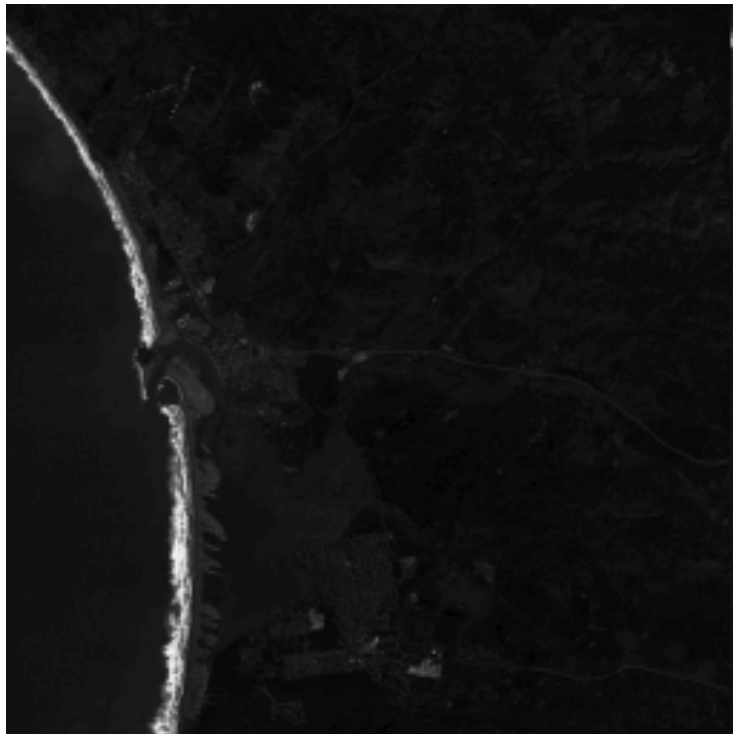


# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ραδιομετρική Ενίσχυση

Γραμμική ενίσχυση ελάχιστου – μέγιστου  
(min-max linear stretch)

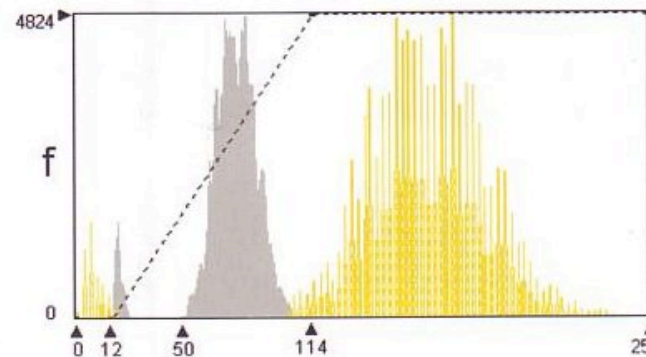
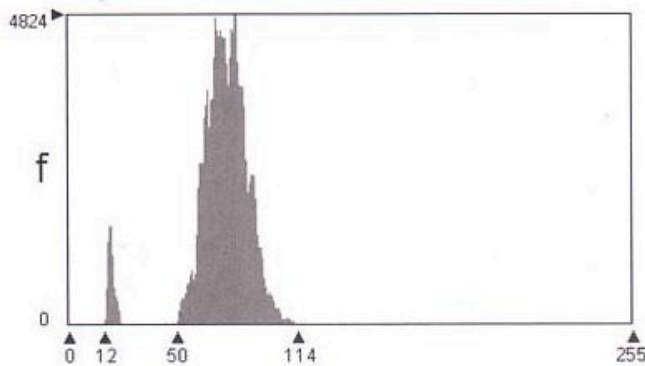
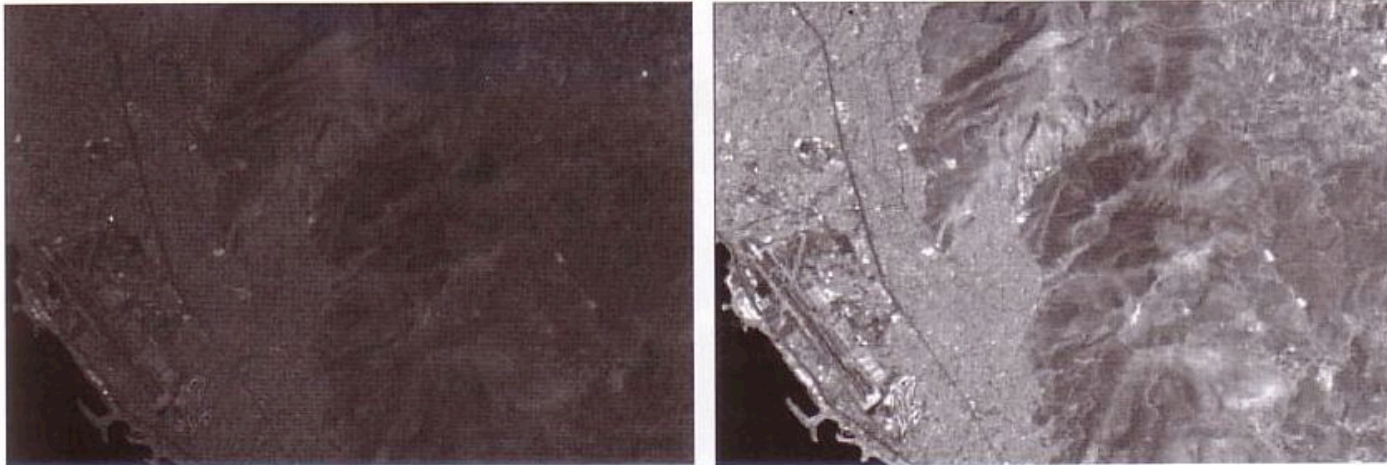
Landsat TM Band 3, αρχική



Landsat TM Band 3, βελτιωμένη (stretched)



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης Ραδιομετρική Ενίσχυση

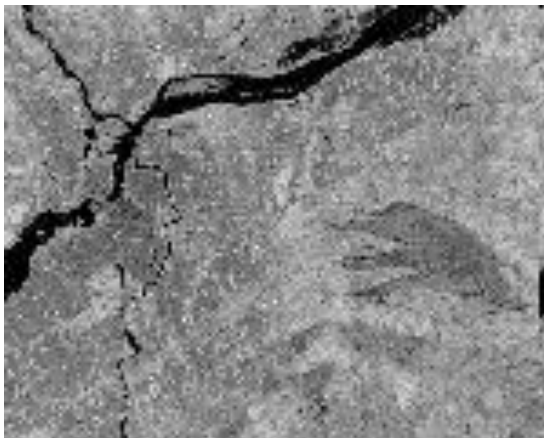


Πηγή: Καρτάλης κ Φείδας, 2006

**Γραμμική ενίσχυση ελαχίστου – μέγιστου**

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ενίσχυση εικόνας (image enhancement)

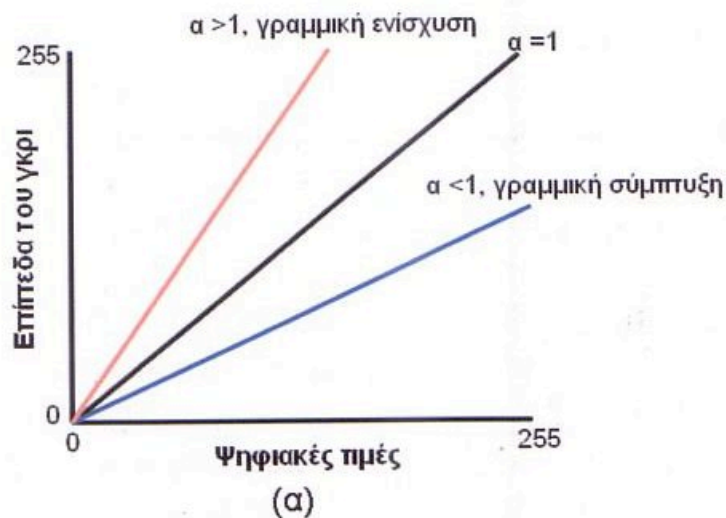


Μέθοδοι ενίσχυσης της αντίθεσης:  
Γραμμικός μετασχηματισμός

$$GL=aDN+b$$

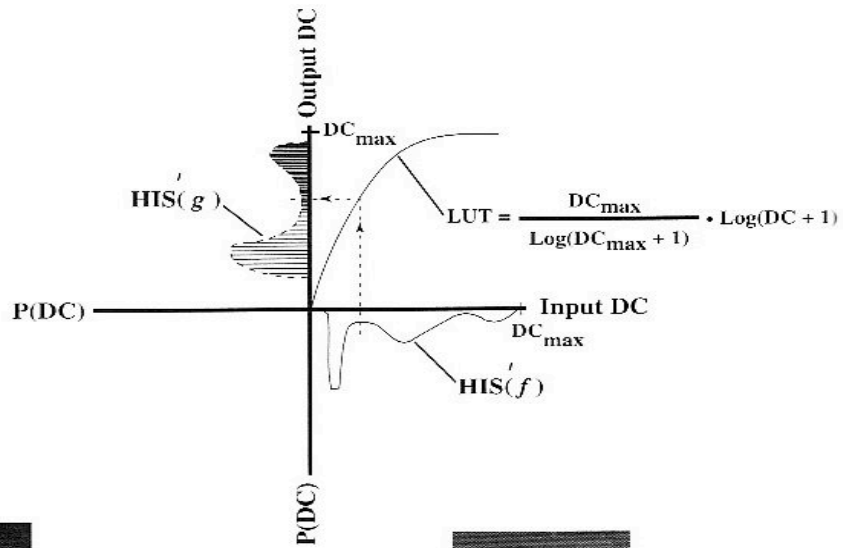
Μη γραμμικός (εκθετικός κλπ)

$$GL=DN^a$$

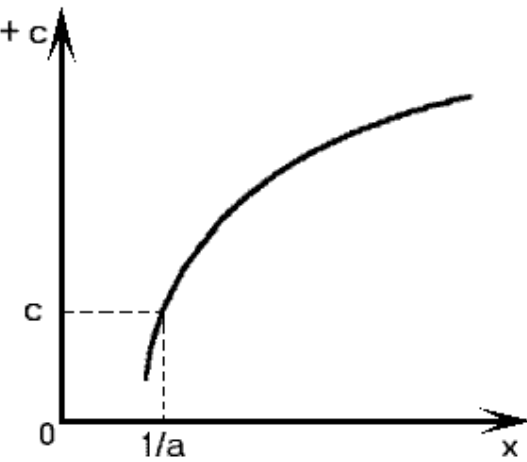


Πηγή: Καρτάλης κ Φείδας, 2006

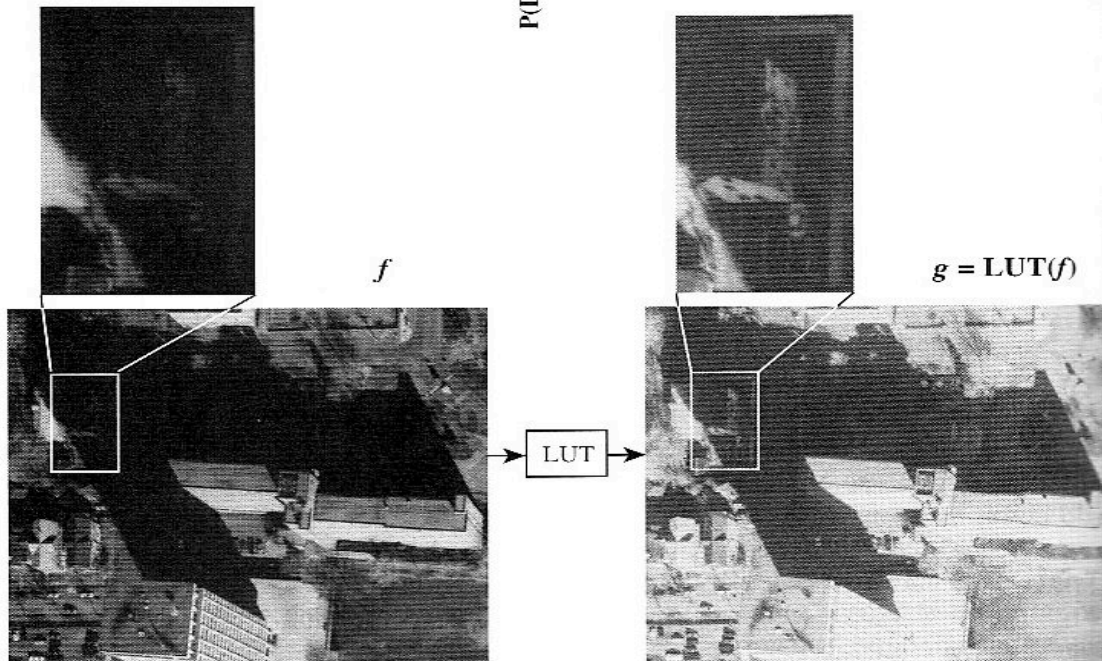
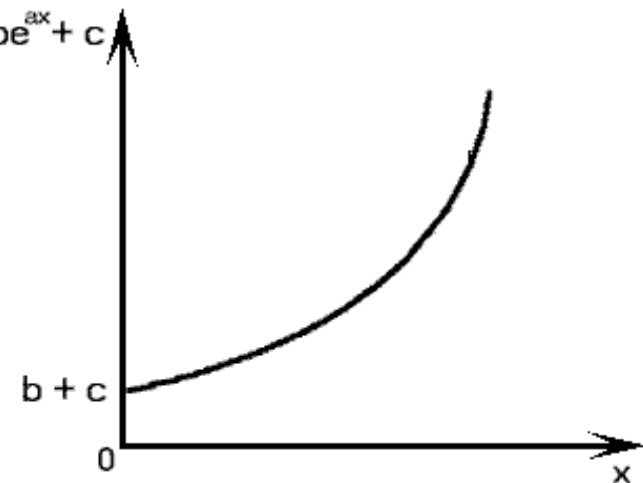
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



$$y = b \log(ax) + c$$



$$y = be^{ax} + c$$



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Μέση τιμή (mean –  $m$ ) του ιστογράμματος  $\rightarrow$  κατάσταση της φωτεινότητας της εικόνας.

Τυπική απόκλιση από την μέση τιμή (standard deviation –  $\sigma$ )  $\rightarrow$  αντίθεση (contrast) της εικόνας.

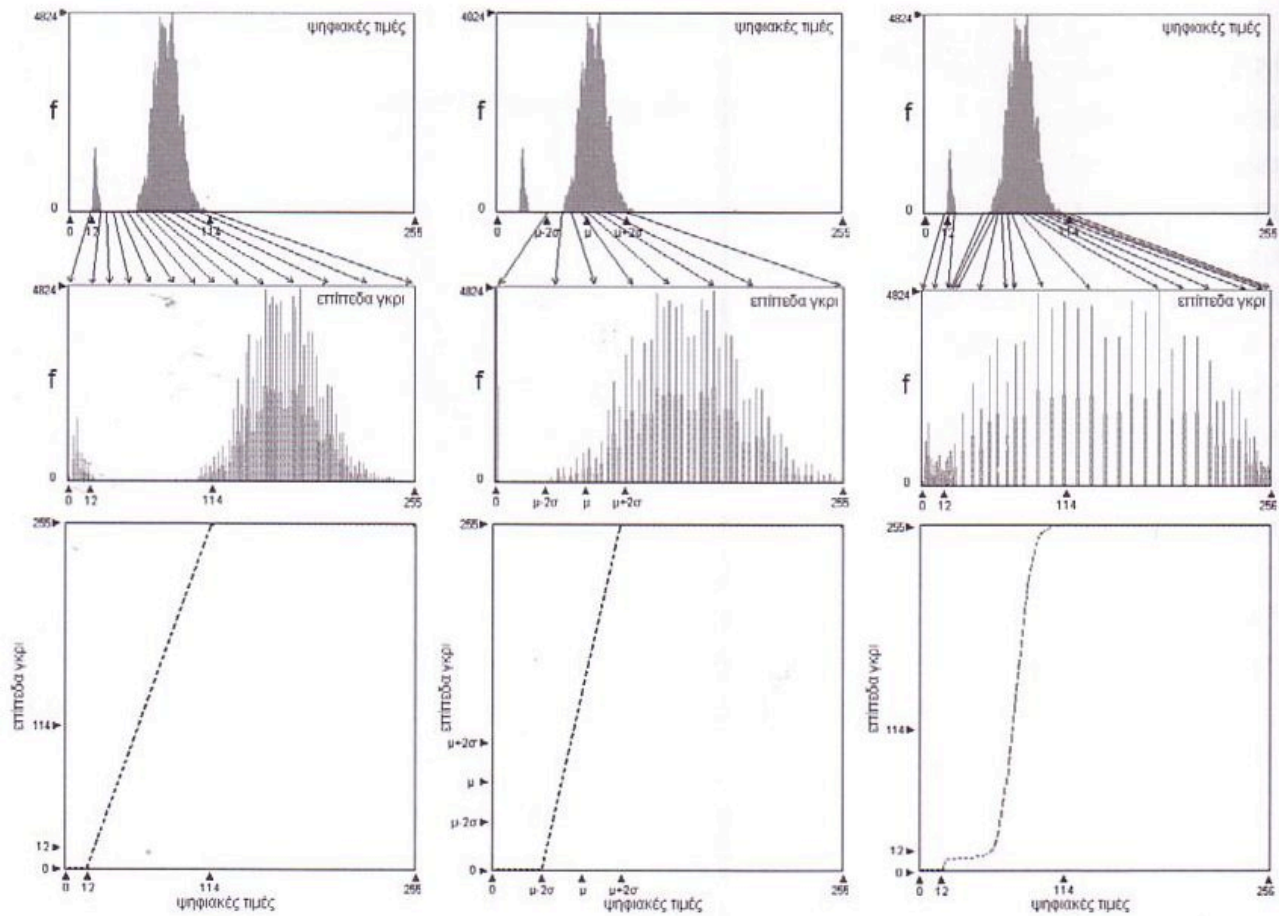




# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

- Γραμμική ενίσχυση **ελάχιστου-μέγιστου** (min-max linear stretch)
  - Δεν λαμβάνεται υπόψη η διασπορά των τιμών γύρω από την μέση τιμή,
  - Στα άκρα του ιστογράμματος συνήθως κατανέμεται ένας μικρός αριθμός εικονοστοιχείων με αποτέλεσμα στις κεντρικές και πολυπληθείς περιοχές του ιστογράμματος να αποδίδεται μικρό εύρος τόνων του γκρι,
  - Αντίθεση δεν είναι ικανοποιητική.
- Λύση: γραμμικός μετασχηματισμός σε ένα εύρος τιμών που καλύπτει 1 με 2  $\sigma$  πάνω και κάτω από τη  $\mu$ : **ενίσχυση 1 (ή 2) τυπικών αποκλίσεων**
  - ενισχύεται η αντίθεση στο μεγάλο πλήθος των εικονοστοιχείων που κατανέμονται γύρω από τη μέση τιμή,
  - μηδενίζεται η αντίθεση στα λίγα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στα άκρα.

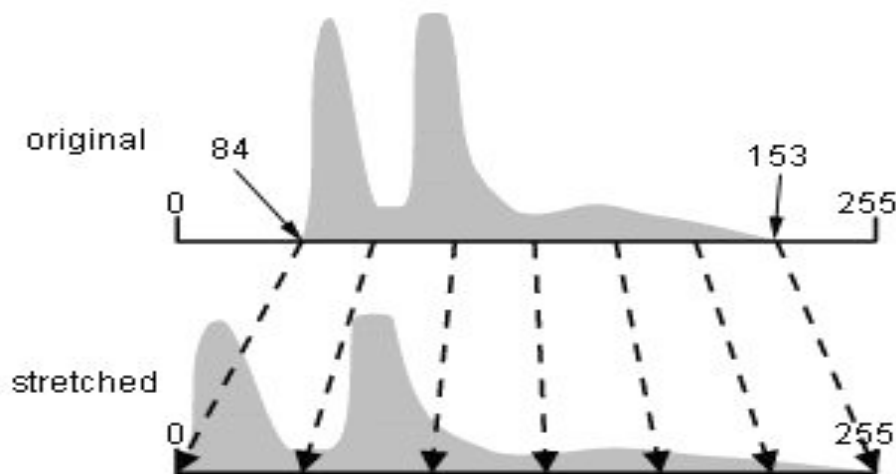
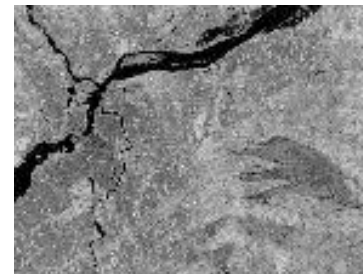
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



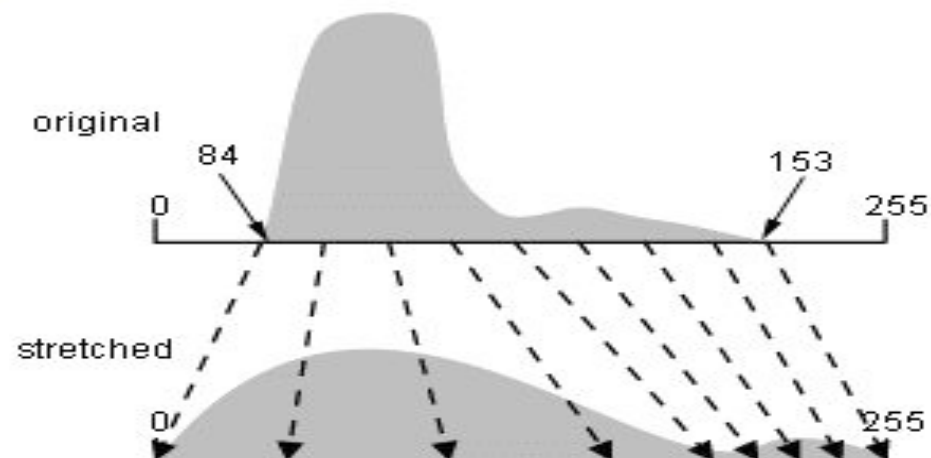
Γραμμική ενίσχυση ελαχίστου – μέγιστου      Γραμμική ενίσχυση δύο τυπικών αποκλίσεων      Εξισορρόπηση ιστογράμματος

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ενίσχυση εικόνας (image enhancement)

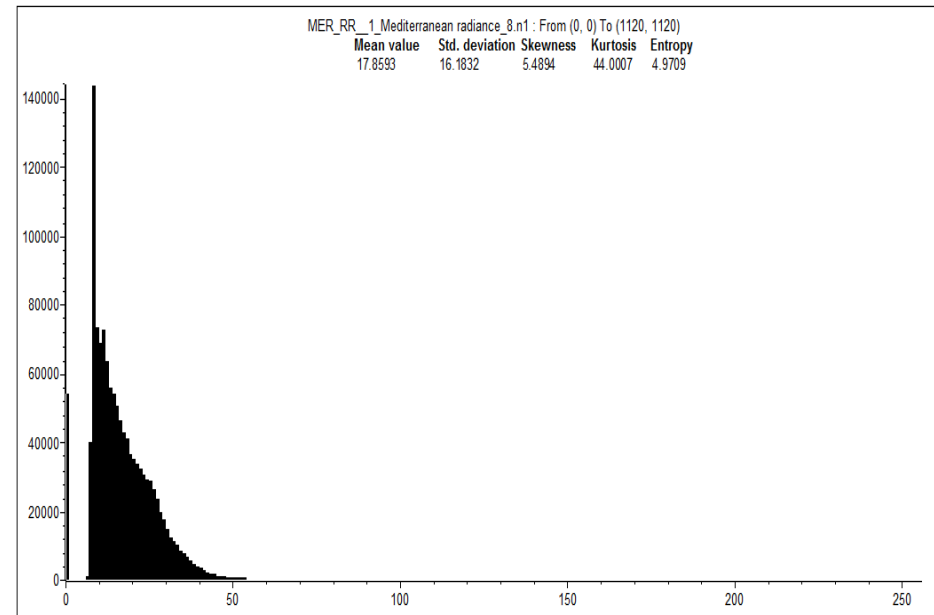


© CCRS / CCT  
Γραμμική ενίσχυση  
(linear stretch)



© CCRS / CCT  
Εξισορρόπηση ιστογράμματος  
(histogram equalization)

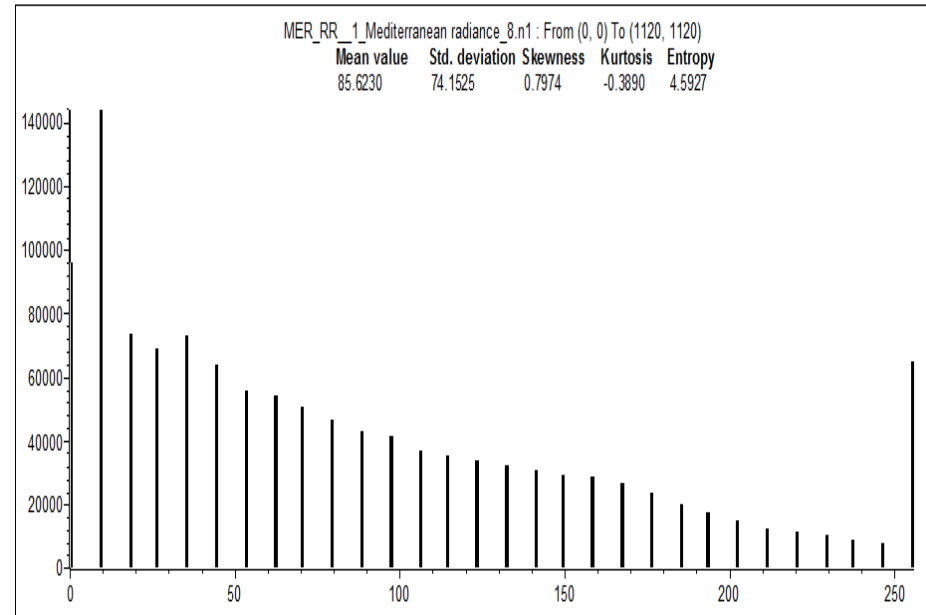
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



Αρχική δορυφορική  
τηλεπισκοπική απεικόνιση MERIS

Ιστόγραμμα απεικόνισης

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



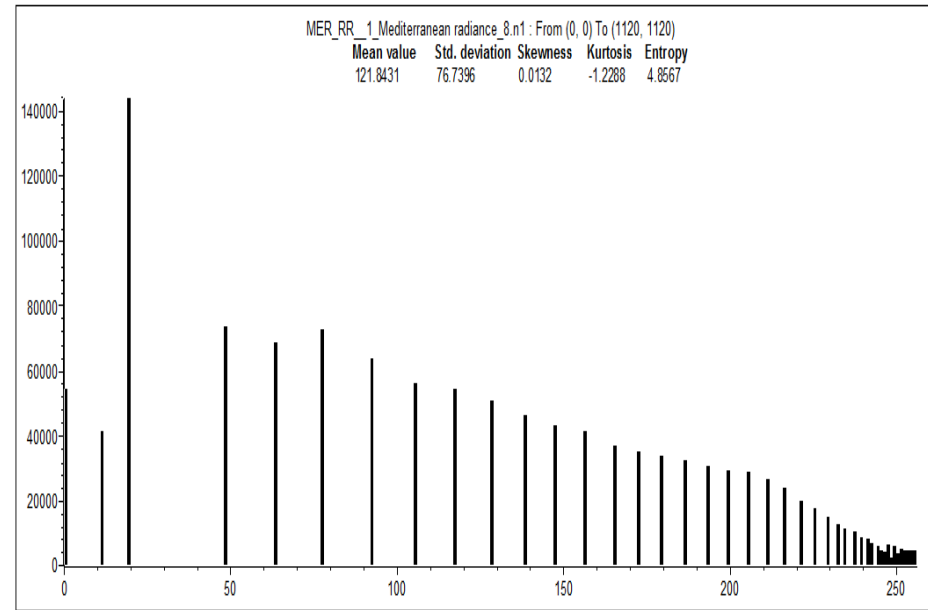
**Απεικόνιση MERIS με  
αυτοματοποιημένο γραμμικό  
μετασχηματισμό (auto-linear stretch)**

**Ιστόγραμμα απεικόνισης**

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



**Απεικόνιση MERIS με  
ισοσταθμισμένο μετασχηματισμό  
(equalize stretch)**

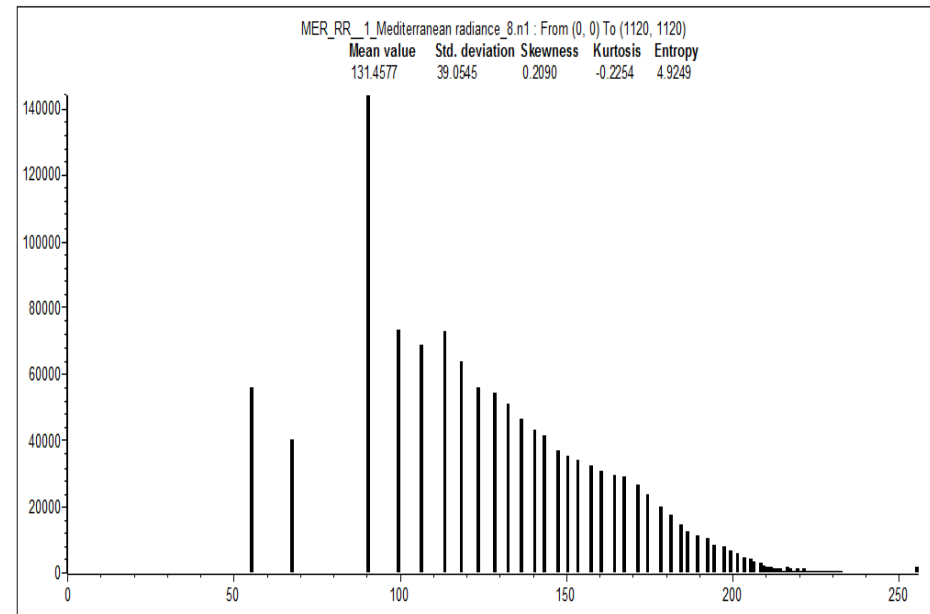


**Ιστόγραμμα απεικόνισης**

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης



**Απεικόνιση MERIS με κανονικό  
μετασχηματισμό (Gaussian stretch)**



**Ιστόγραμμα απεικόνισης**

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)

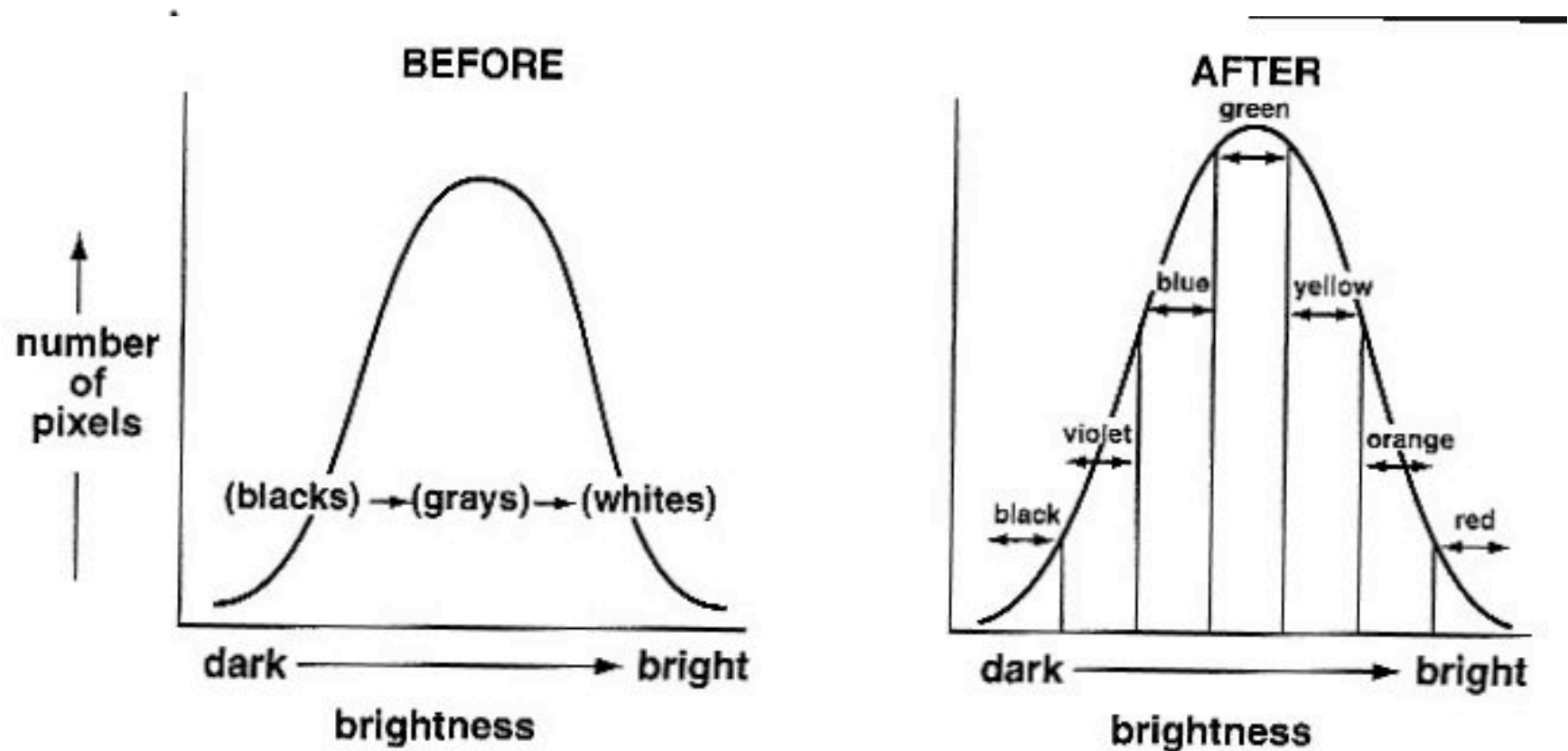
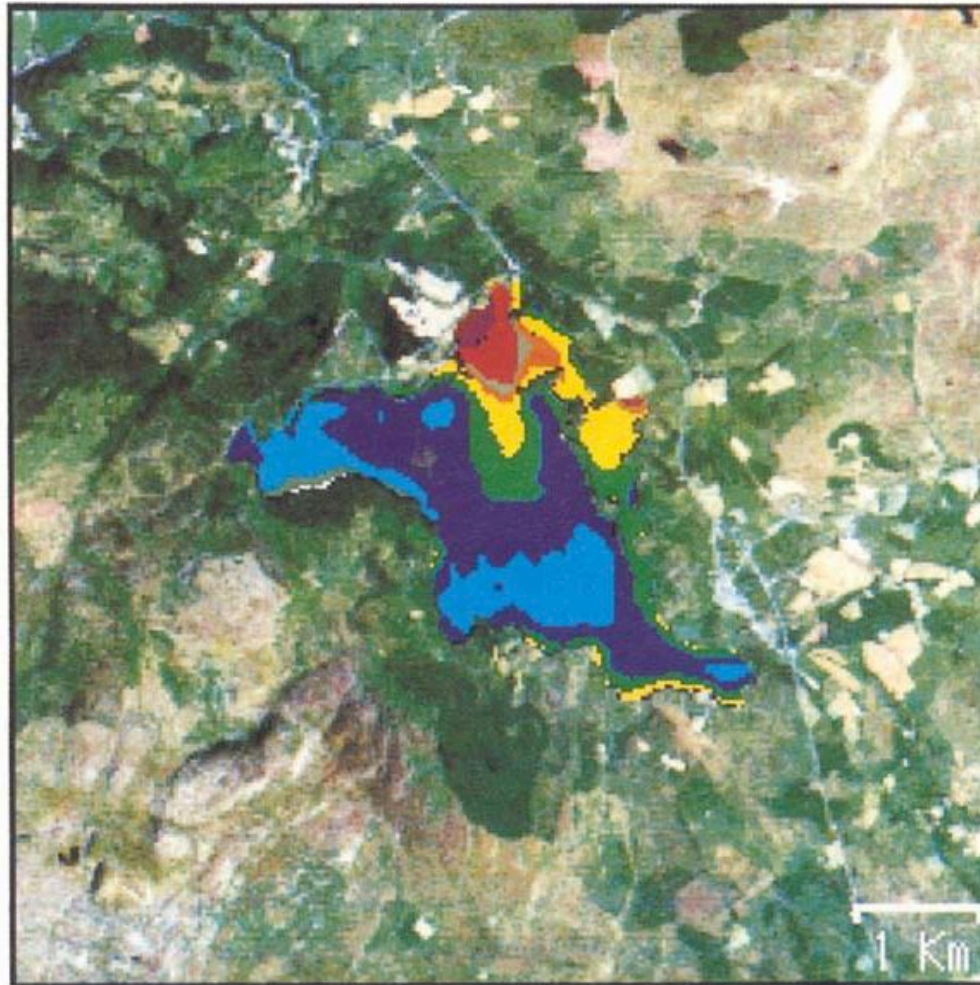


FIGURE 5.23. Density slicing.



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)



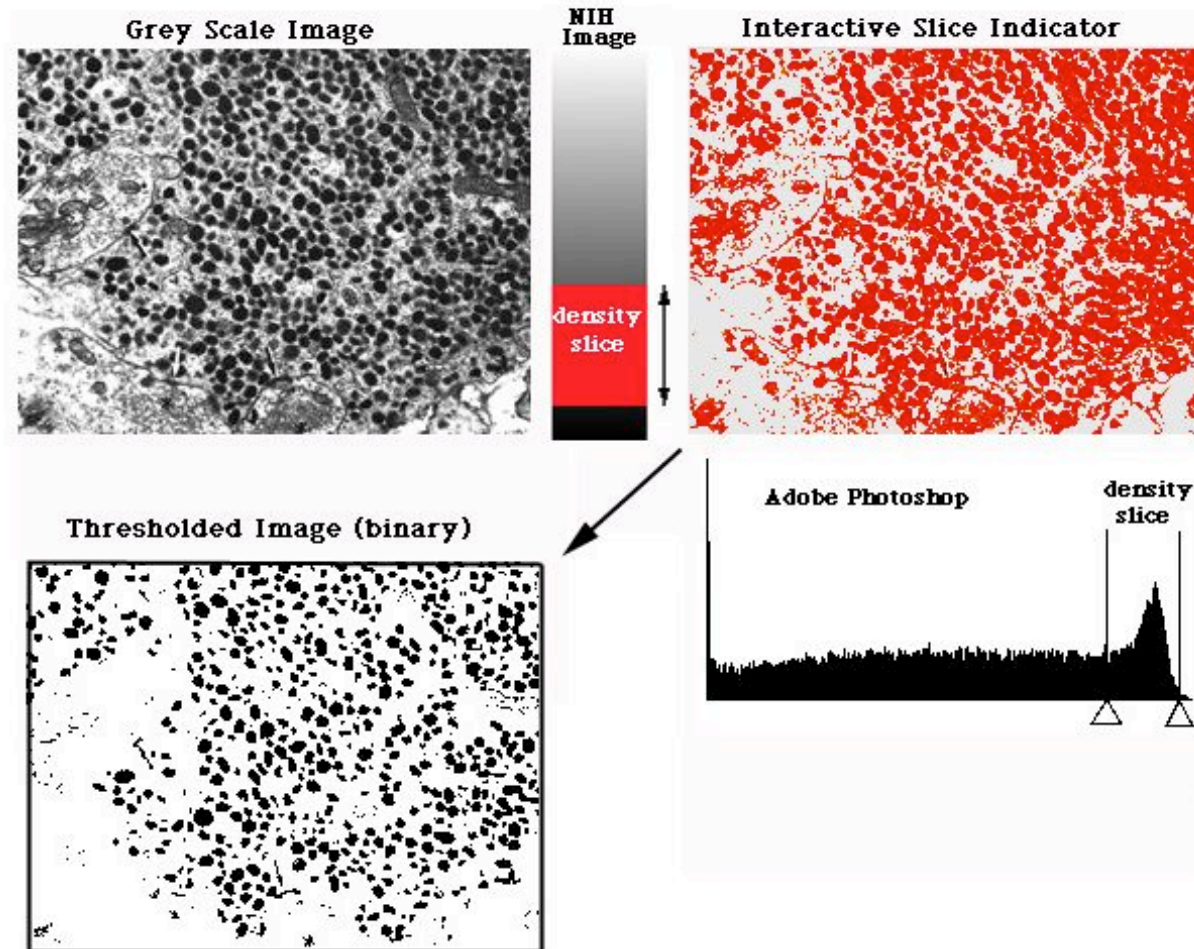
Landsat TM image of Lake Trawsfynydd. The Lake is density sliced according to temperatures. The colours displayed show approximately 1°C differences. The warmest water is red, the coldest pale blue.

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)

### DENSITY SLICING

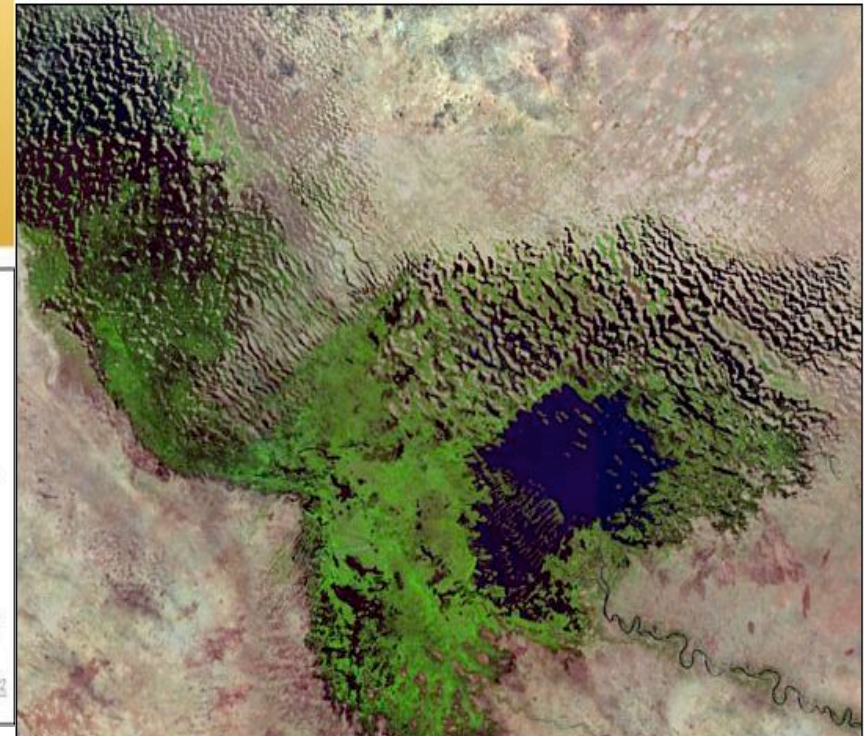
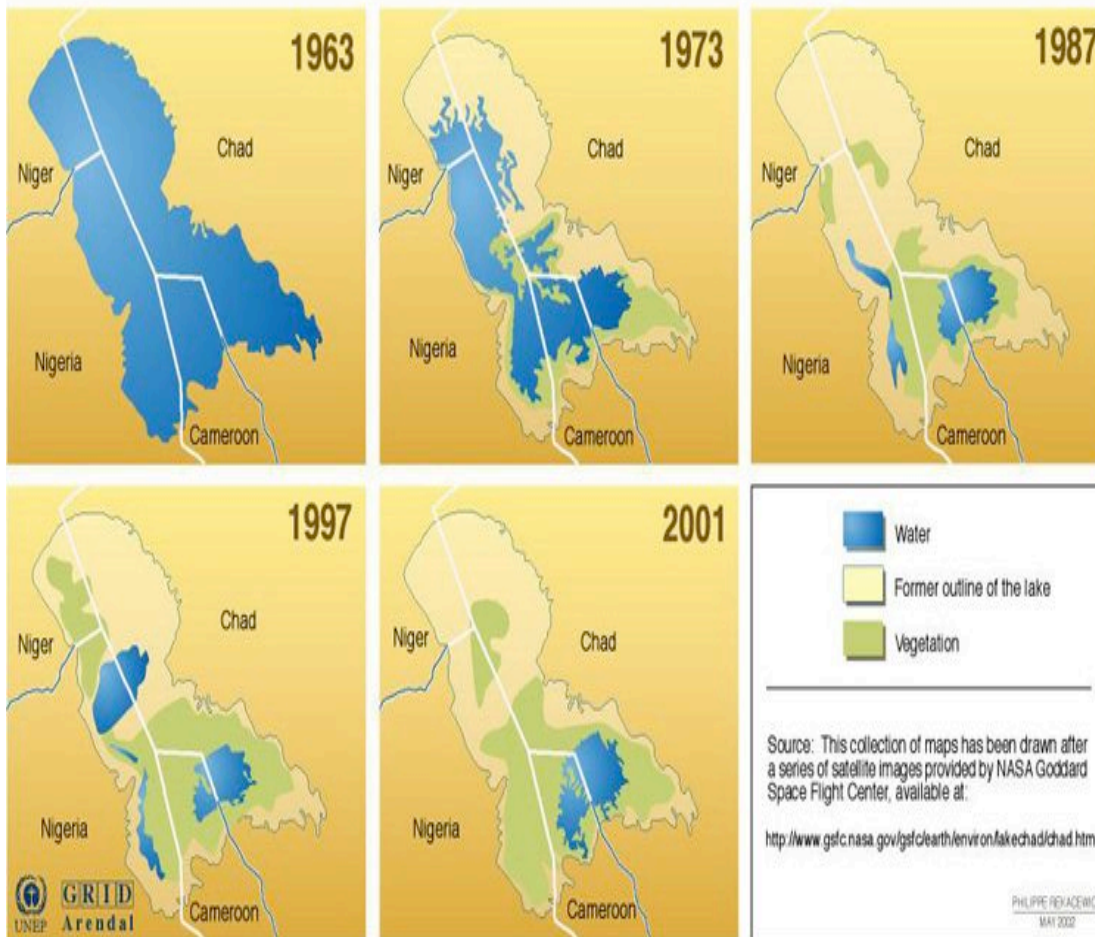
Two threshold levels are established interactively while observing the results in the binary image (red pixels). All pixels whose values lie between the thresholds are considered parts of objects of interest and converted to black pixels.



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)

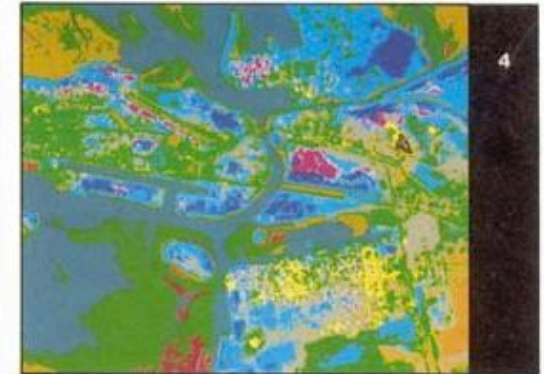
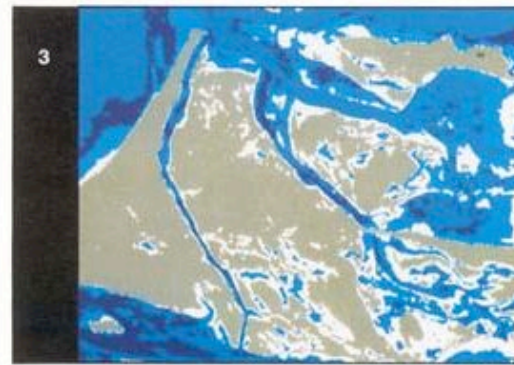
The Disappearance of Lake Chad in Africa



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

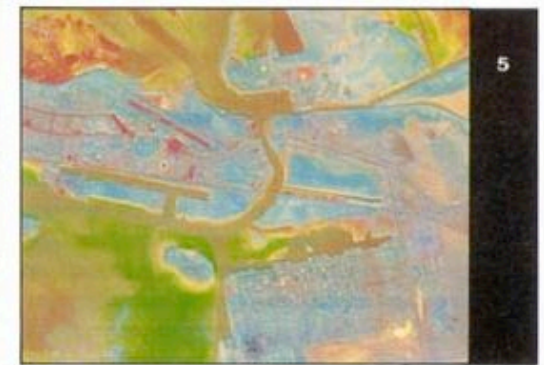
Παράδειγμα:

1. Αρχική εικόνα (raw data)
2. Βελτίωση Αντίθεσης (Contrast Stretch) και ενίσχυση ακμών (edge enhancement)
3. Κατάτμηση Ιστογράμματος (Density Slicing)
4. Καθοδηγούμενη Ταξινόμηση (Maximum Likelihood Classification)
5. Μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis)



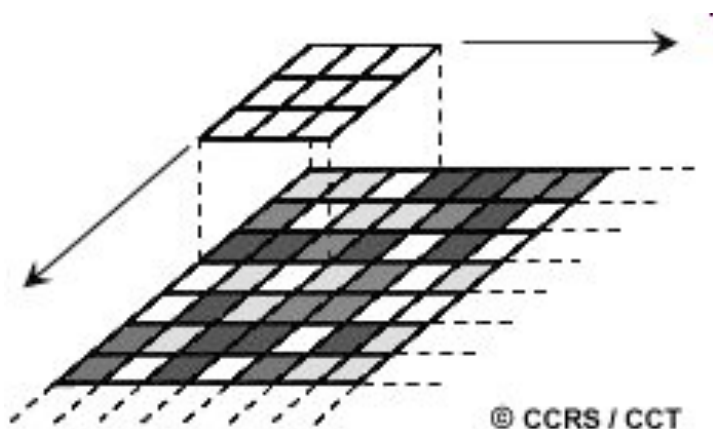
Extracts from a Landsat 5 Thematic Mapper image of Abu Dhabi, U.A.E. recorded on 21 April 1984.

1. raw data - colour composite of bands 2, 3 and 4
2. contrast stretched and edge enhanced
3. density sliced and smoothed
4. maximum likelihood classification of all 7 bands resulting in 16 land cover classes
5. principal components image



# Ερμηνεία και επεξεργασία τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

**Φιλτράρισμα απεικονίσεων:** Χωρικά φίλτρα που επιδιώκουν την προβολή ή την καταστολή ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας απεικόνισης.



**Διαδικασία φιλτραρίσματος:**

- πέρασμα παραθύρου (πχ 3x3, 5x5, 7x7) σε κάθε εικονοστοιχείο,
- εφαρμογή μαθηματικού υπολογισμού χρησιμοποιώντας τις τιμές του παραθύρου,
- αντικατάσταση του κεντρικού εικονοστοιχείου με νέα τιμή.

# Ερμηνεία και επεξεργασία τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

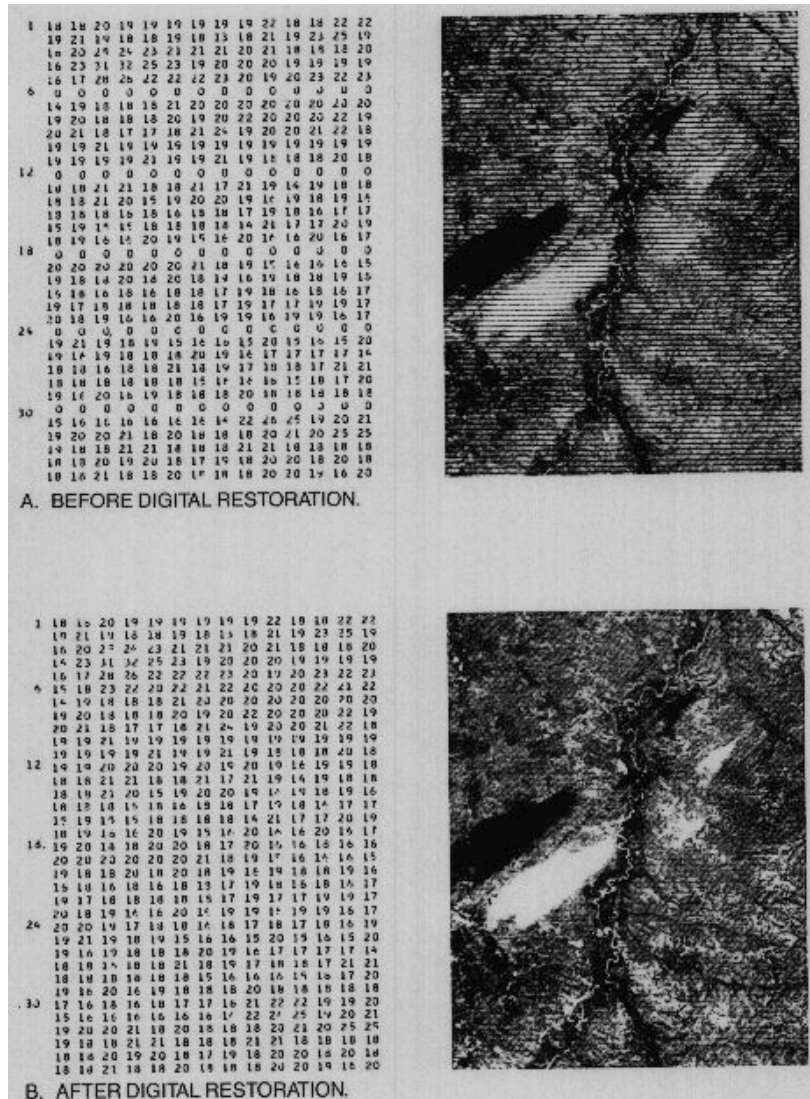


FIGURE 7.7 Restoration of periodic line dropouts on an MSS image of an area in southeast Montana. The arrays of DN's represent a portion of each image. Image processed at Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

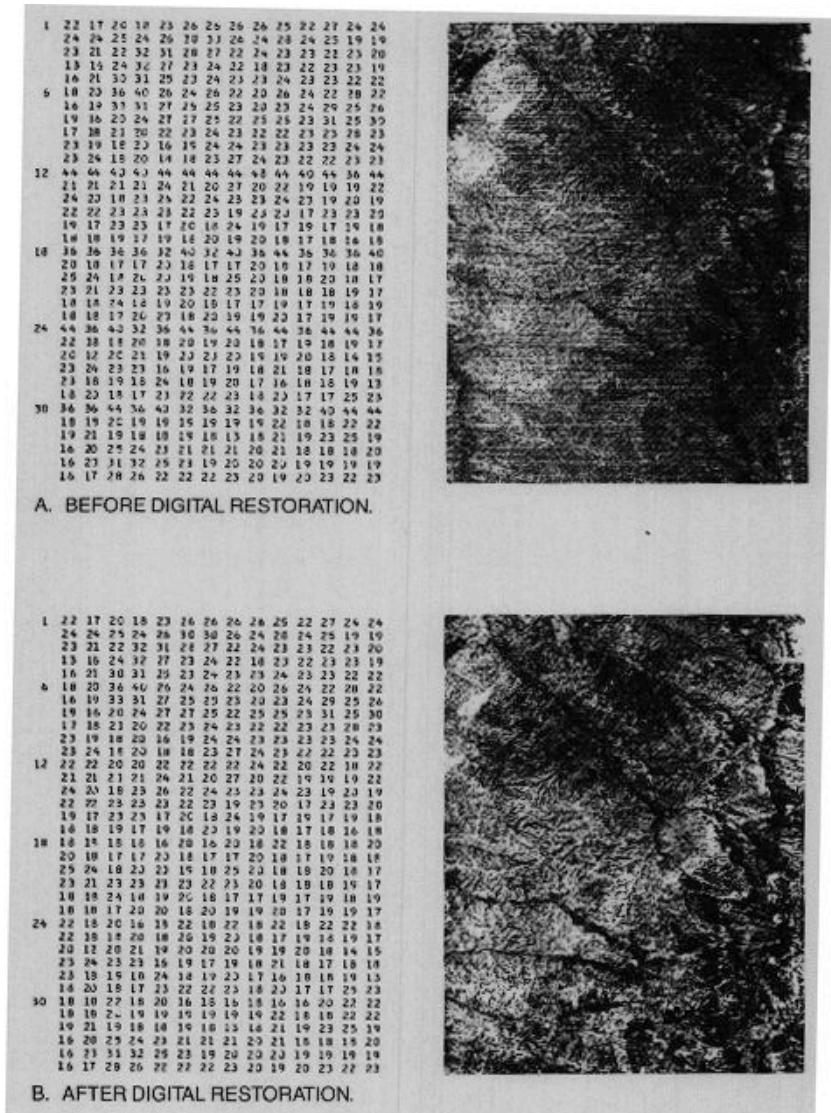
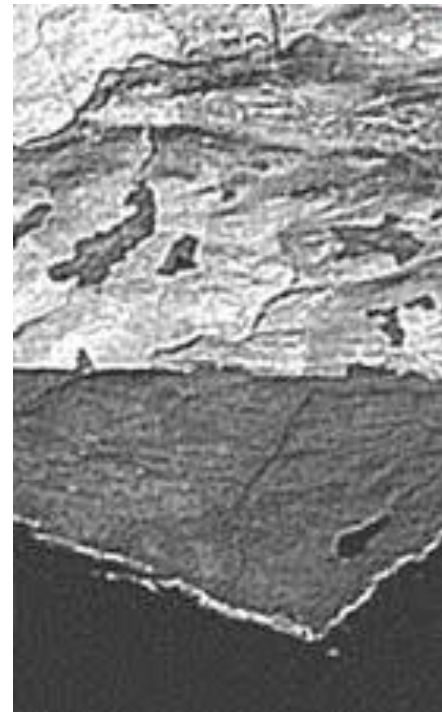
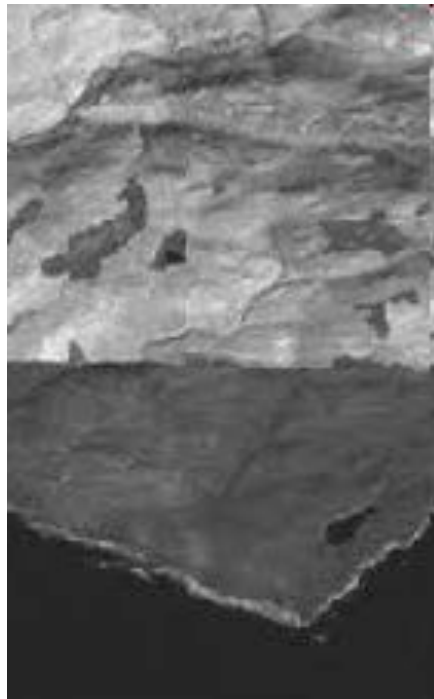


FIGURE 7.8 Restoration of periodic striping on an MSS image of an area in southeast Montana. The arrays of DN's represent only a portion of the image. Image processed at Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

# Ερμηνεία και επεξεργασία τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

Φιλτράρισμα απεικονίσεων: Χωρικά φίλτρα που επιδιώκουν την προβολή ή την καταστολή ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας απεικόνισης.

Φίλτρο  
διέλευσης  
χαμηλών  
συχνοτήτων  
(Low-pass  
filter)

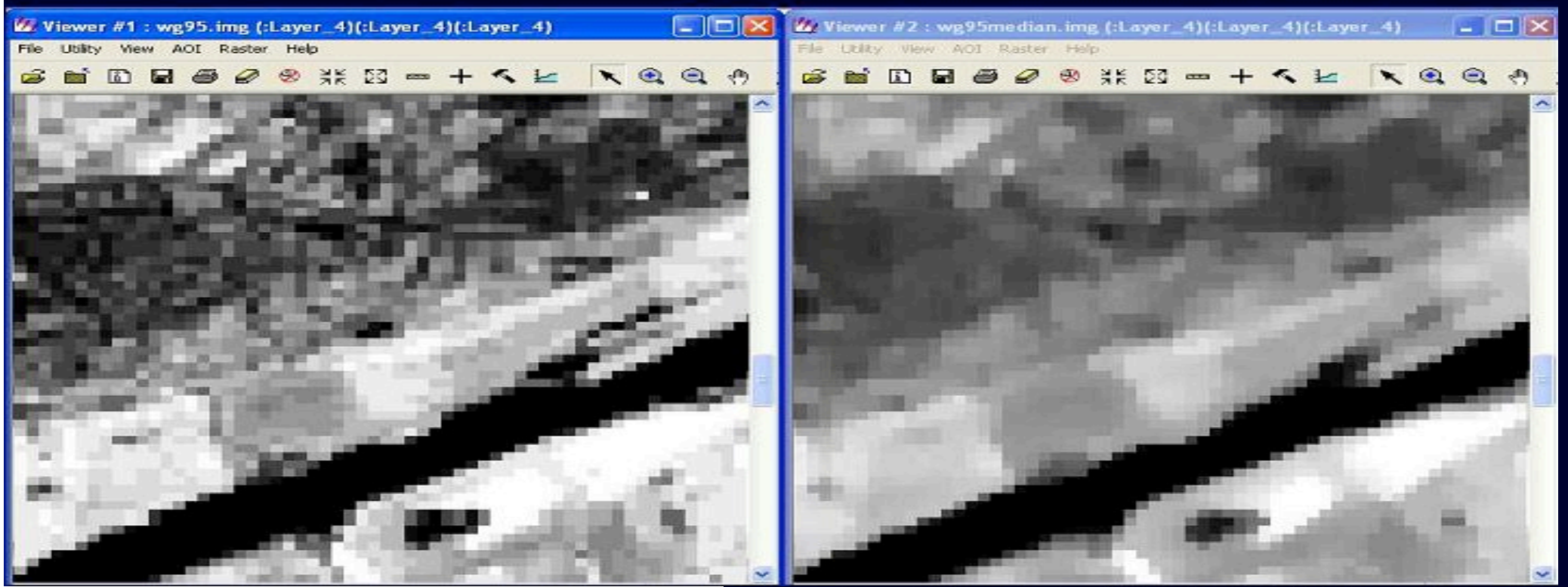


Φίλτρο διέλευσης  
υψηλών  
συχνοτήτων  
High-pass filter

# Ερμηνεία και επεξεργασία τηλεπισκοπικών απεικονίσεων

Φιλτράρισμα απεικονίσεων: Χωρικά φίλτρα που επιδιώκουν την προβολή ή την καταστολή ιδιαίτερων χαρακτηριστικών μιας απεικόνισης.

## Example Median filtering





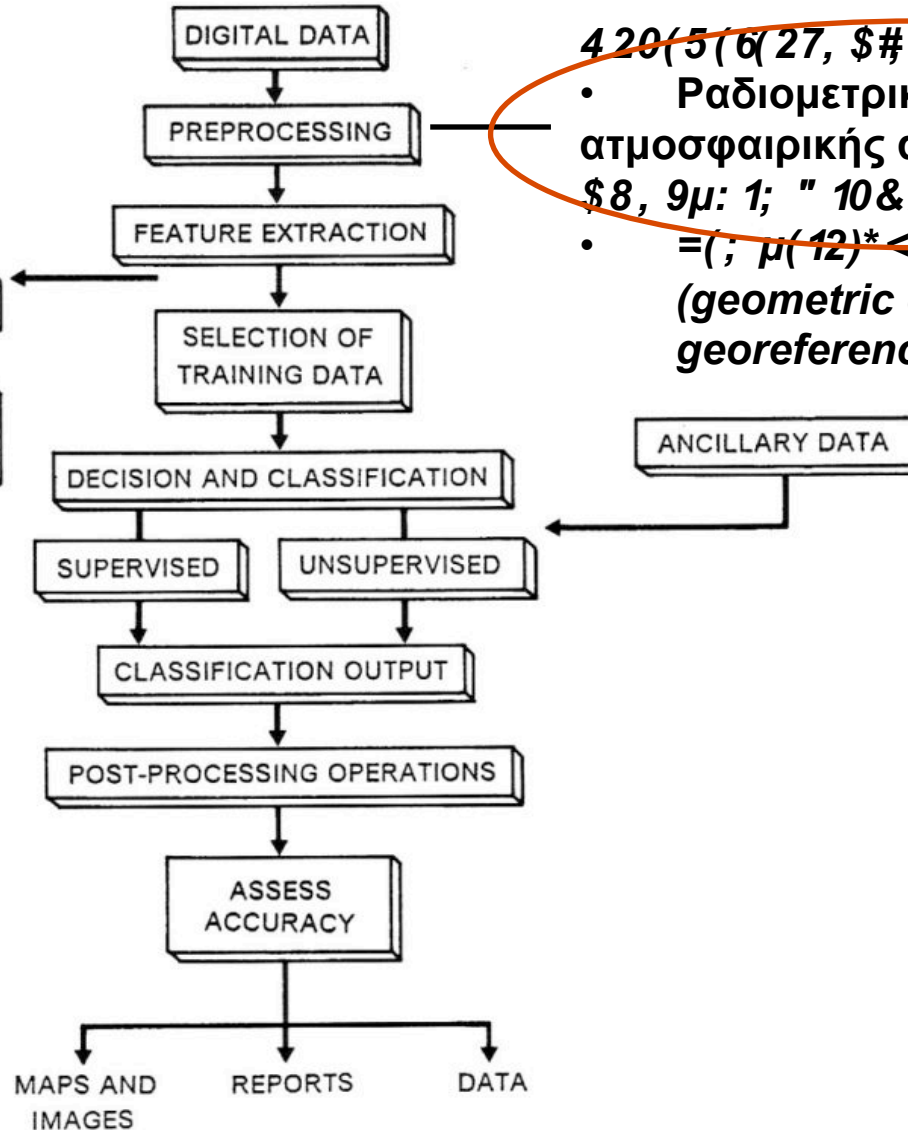
# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

! "#%&\$'()\*+,-  
• . , / ) 0 μ ( 1 2 ) \* 3 ( "#%&\$'

4 2 0 ( 5 ( 6 ( 2 7 , \$ # ( ) \* + " , -

- Ραδιομετρική διόρθωση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης, \$ 8 , 9 μ : 1 ; " 1 0 & / < \* 1 ' , \* 9 5 .
- = ( ; μ ( 1 2 ) \* < / ) 0 2 > ? \$ ( ) -  
(geometric correction 3 georeferencing)

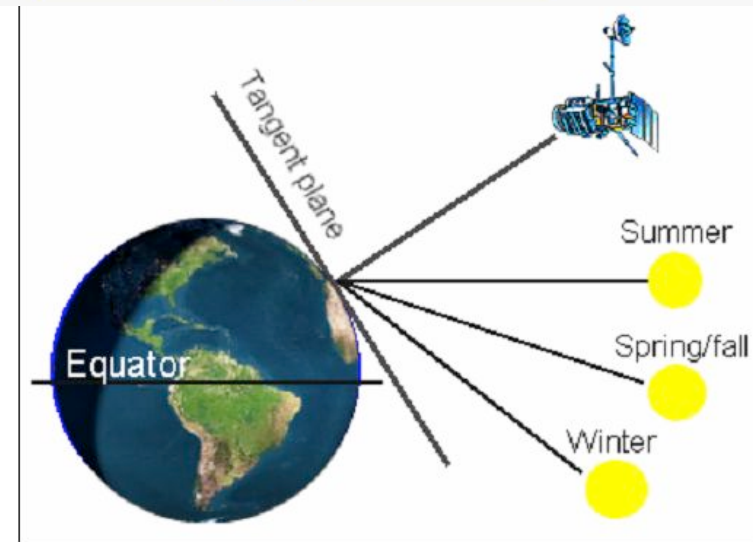
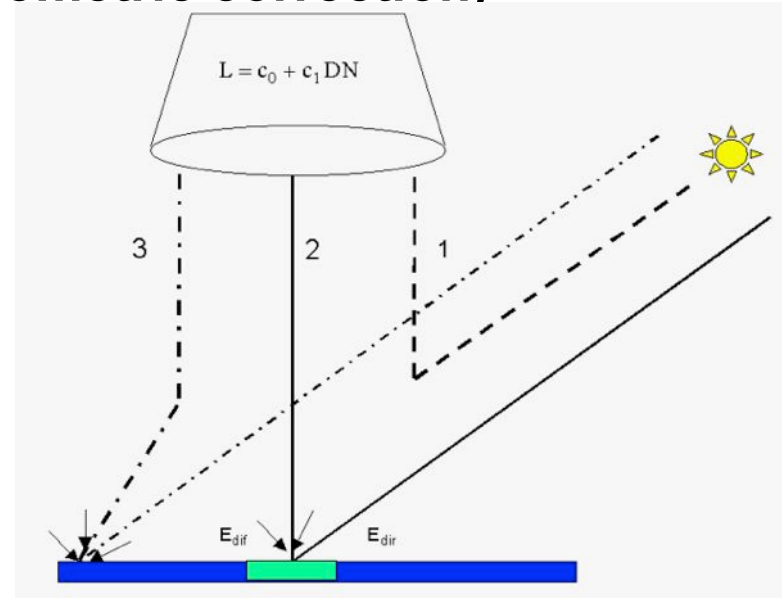
Μη-αυτοματοποιημένη  
ανάλυση εικόνας από τον  
χρήστη



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

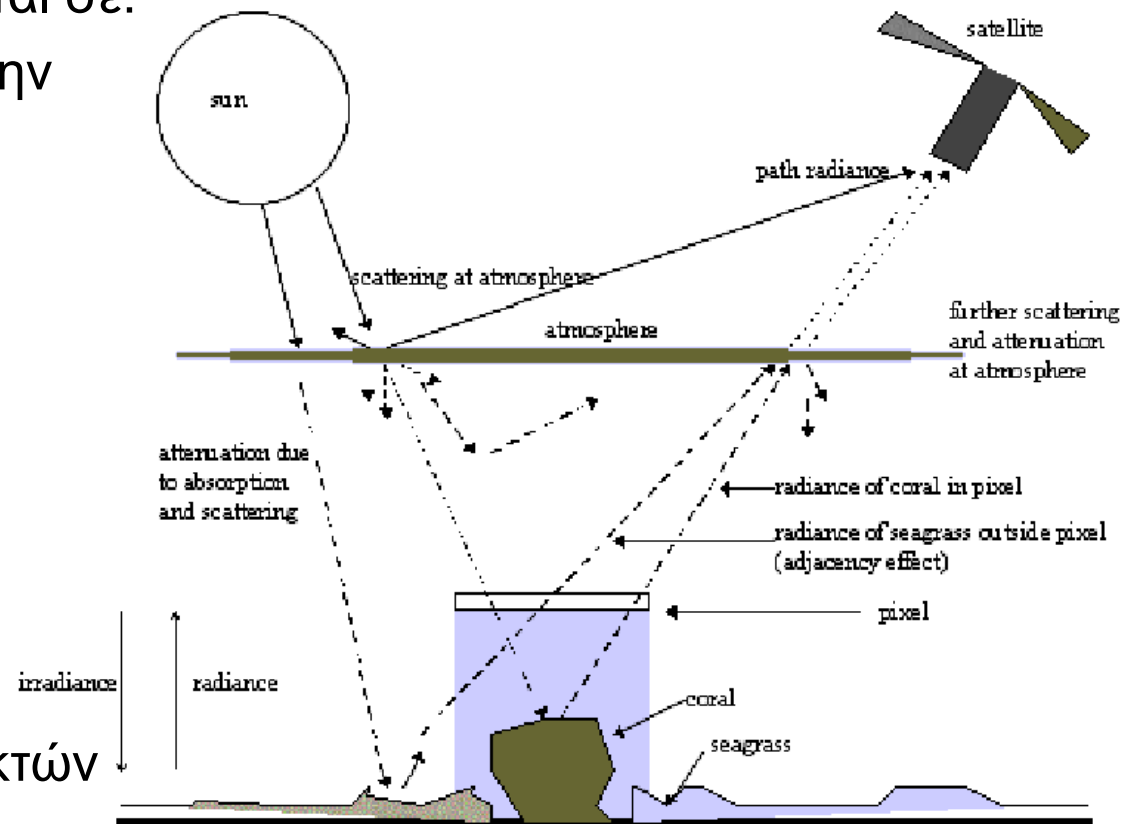
- Ραδιομετρικά Σφάλματα έχουμε όταν:
  - Η καταγραφή της ακτινοβολίας από τους ανιχνευτές είναι διαφορετική από αυτή που εκπέμπεται από το στόχο,
  - Η σχετική φωτεινότητα μιας ψηφίδας παραμορφώνεται από διάυλο σε διάυλο (ή και δέκτη σε δέκτη).



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

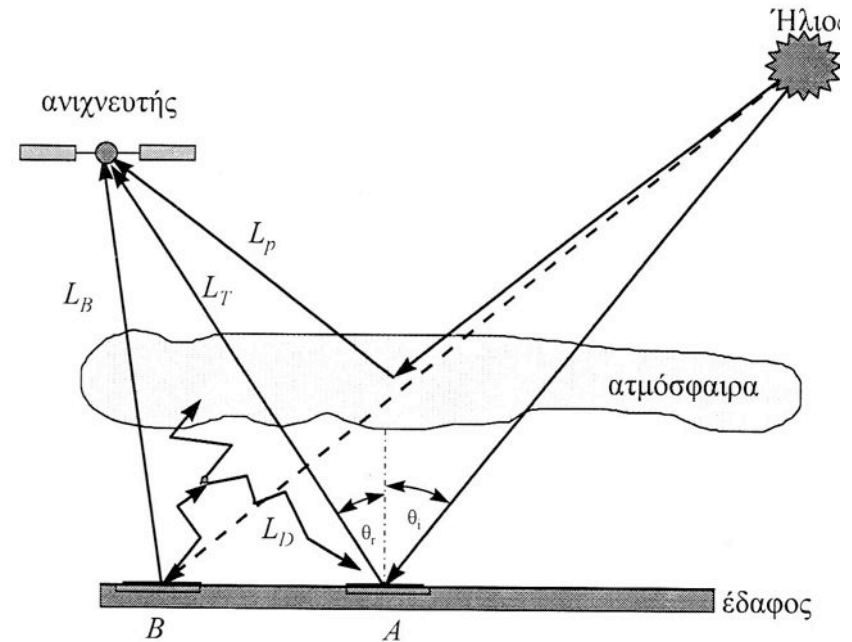
- Τα ραδιομετρικά σφάλματα οφείλονται σε:
  - Επιδράσεις της ατμόσφαιρας στην ΗΜΑ
  - Σε ελαττωματική λειτουργία των δεκτών
- Οι ραδιομετρικές διορθώσεις αποσκοπούν στην:
  - Ελάττωση ή απαλοιφή της ασυμβατότητας μεταξύ των ανιχνευτών
  - Διόρθωση λαθών από τυχόν ελαττωματική λειτουργία των δεκτών
  - Διόρθωση ατμοσφαιρικών επιδράσεων



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

- Μέθοδοι για ατμοσφαιρική διόρθωση:
  - Μοντέλα διάδοσης HMA μέσα από την ατμόσφαιρα
  - Καθολική ατμοσφαιρική διόρθωση
  - Με μετασχηματισμό από ψηφιακούς αριθμούς (DN) σε τιμές ανακλαστικότητας



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

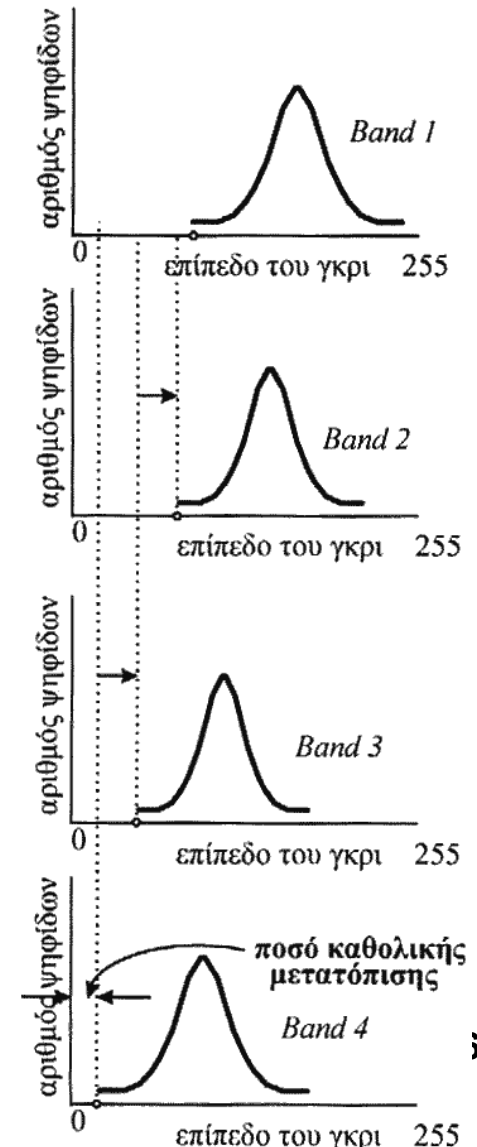
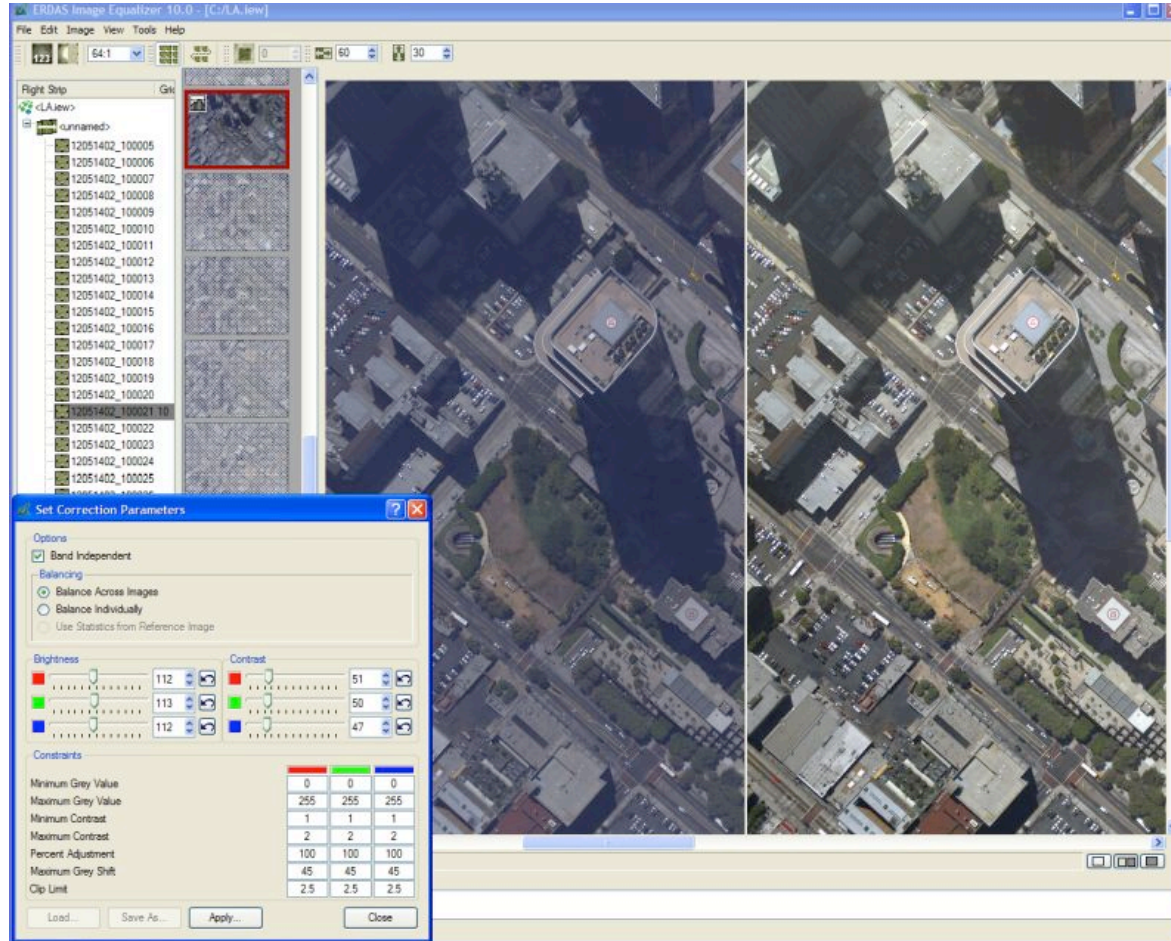
## Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

- Μοντέλα διάδοσης HMA μέσα από την ατμόσφαιρα
  - Προσπάθεια για μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της ακτινοβολίας καθώς διαπερνά την ατμόσφαιρα. Η εφαρμογή τέτοιων μοντέλων μας επιτρέπει να προσαρμόσουμε τις παρατηρούμενες τιμές ανακλαστικότητας στα πραγματικά τους επίπεδα εάν δεν υπήρχε η επιρροή της ατμόσφαιρας.
  - Τα φυσικά μοντέλα υπερέχουν των άλλων μεθόδων σε ακρίβεια και εφαρμοσιμότητα. Απαιτούν όμως ισχυρή υπολογιστική ισχύ, πολύπλοκες διαδικασίες και λεπτομερή μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία συνήθως δεν είναι διαθέσιμα. Αν είναι, αναφέρονται σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι σε ολόκληρη τη σκηνή.
  - Τα μοντέλα αυτά στους υπολογισμούς τους συνεκτιμούν παράγοντες σχετικούς με εποχικές/γεωγραφικές διαφοροποιήσεις, ποσοστό κάλυψης από σύννεφα, βροχή, ομίχλη, κλπ.

# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

## Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

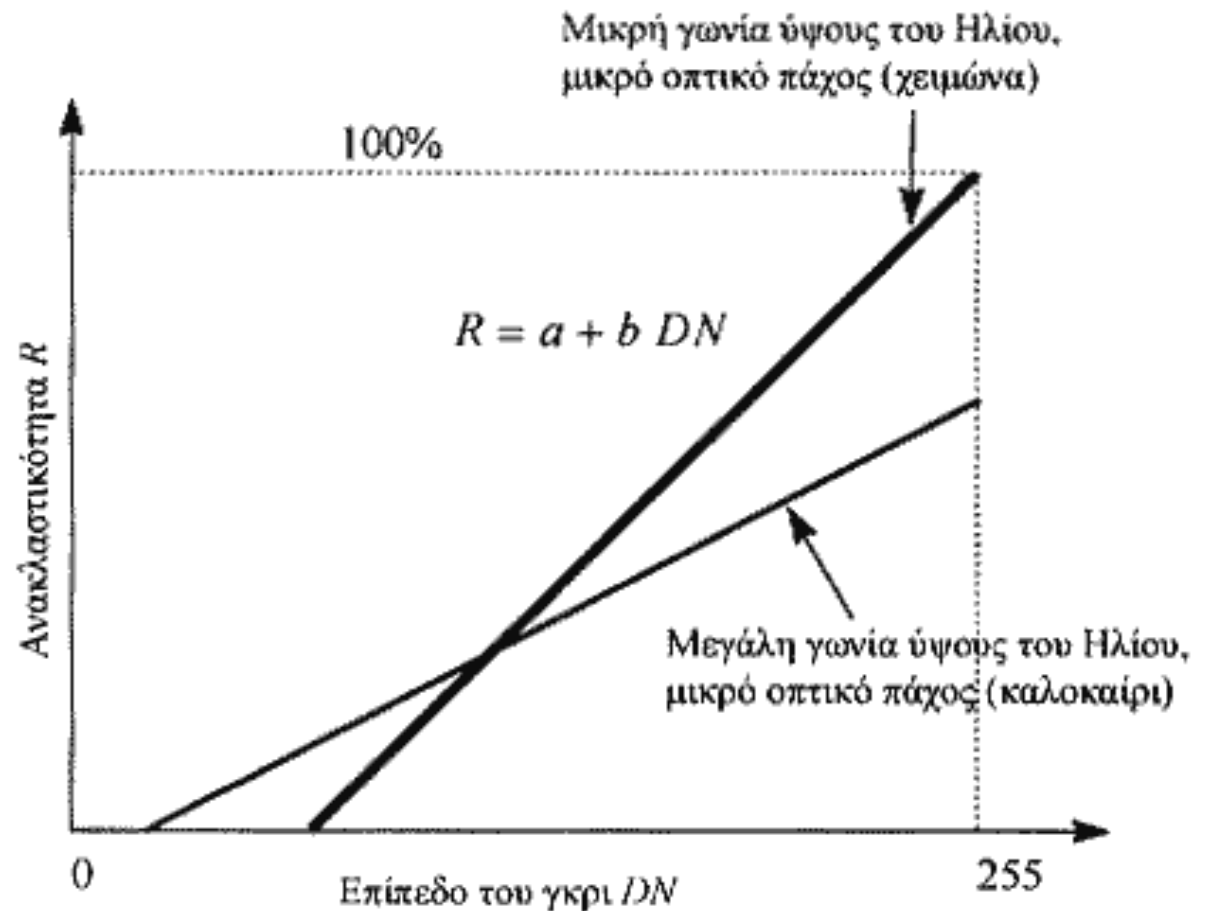
- Καθολική ατμοσφαιρική διόρθωση (ή μέθοδος των σκοτεινών στόχων)



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

- Διόρθωση από μετασχηματισμένους ψηφιακούς αριθμούς (DN) σε τιμές ανακλαστικότητα



# Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ραδιομετρική διόρθωση (radiometric correction)

