

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΩΡΙΟΥ ΤΟΥ
ΜΟΡΟ

ΓΙΑΝΝΑΡΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Επιβλέπων : Καθηγητής ΠΡΟΒΙΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΧΑΝΙΑ ,ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	4
2. Ιστορικά στοιχεία για τα Νεώρια	7
3. Operational Modal Analysis (OMA)	9
3.1 Ιστορικά στοιχεία της μεθόδου	9
3.2 Εφαρμογές OMA για ταυτοποίηση των κατασκευών	9
3.3 Τεχνικές ταυτοποίησης	12
3.3.1 Μη παραμετρικές τεχνικές	12
3.3.2 Παραμετρικές τεχνικές	13
4. Διεξαγωγή της μέτρησης και επεξεργασία των δεδομένων	14
4.1 Περιγραφή της μέτρησης	14
4.2 Περιγραφή των συσκευών μέτρησης	15
4.3 Περιγραφή των θέσεων των αισθητήρων	17
4.4 Χρήση του λογισμικού VIEW 2002 και δημιουργία αρχείων ASCII για τις μετρήσεις	20
5. Ιδιομορφική Ανάλυση του Νεωρίου του Μόρο	22
5.1 Χρήση του λογισμικού Artemis Extractor (ARTEMIS – Ambient Response Testing and Modal Identification Software)	22
5.2 Επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική FDD (FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION)	25
5.3 Επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική EFDD (ENHANCED FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION) – εξαγωγή ιδιομορφών	27
5.3.1 Παρουσίαση ιδιομορφών	29
5.3.2 Προσδιορισμός του SDOF Spectral Bell	32
5.3.3 Προσδιορισμός των ιδιομορφικών παραμέτρων	32
6. Συμπεράσματα	69
6.1 Ανάλυση εκτίμησης ιδιομορφικών παραμέτρων	69
6.1.1 Πεδίο συχνότητας (Frequency Domain)	70
6.1.2 Πεδίο χρόνου (Time Domain)	71
6.1.3 Εκτίμηση απόσβεσης (Validate Damping)	72
6.2 Σύνοψη και συμπεράσματα	73
7. Βιβλιογραφία	75

1. Εισαγωγή

Η βελτίωση του λογισμικού ανάλυσης των κατασκευών και η εξέλιξη της ποιότητας των δομικών υλικών μας οδηγούν στη δυνατότητα του σχεδιασμού ανθεκτικότερων και ελαφρύτερων κατασκευών. Μια σημαντική συνέπεια αυτής της εξέλιξης είναι το γεγονός ότι είναι τώρα πλέον απαραίτητο να ελεγχθούν πιο περίπλοκες κατασκευές με τις αντίστοιχες συνέπειες λόγω ισχυρότερων δονήσεων, τα οποία μπορούν συχνά να οδηγήσουν σε προβλήματα κατάρρευσης λόγω κόπωσης. Η ανάλυση ιδιομορφών σε κατάσταση λειτουργίας των κατασκευών (*Operational Modal Analysis*) προκύπτει ως πολύτιμο και ισχυρό εργαλείο για να βοηθήσει τους μηχανικούς να λύσουν αυτά τα είδη προβλημάτων.

Η αντιμετώπιση όλων και πιο δύσκολων περιπτώσεων ανάλυσης κατασκευών μας οδήγησαν επίσης στην ανάγκη συλλογής και ανάλυσης πολλών δεδομένων καναλιών ταυτόχρονα, και με μεγαλύτερη ταχύτητα, που έδωσε στο μηχανικό έναν νέο τρόπο να καταλάβει και να αναλύσει τα δυναμικά προβλήματα. Σήμερα είναι ουσιώδης η χρήση ισχυρών εργαλείων κατά την επεξεργασία των στοιχείων στις μελέτες ανάλυσης κατασκευών. Έτσι, η *Operational Modal Analysis* έχει καταλήξει να είναι μία σημαντική, εάν όχι η καλύτερη απάντηση για αυτά τα προβλήματα, και να παρέχει τη δυνατότητα να γίνουν κατανοητά τα δομικά χαρακτηριστικά των σύνθετων δομικών συστημάτων σε συνθήκες λειτουργίας. Μπορούμε τώρα να αναπτύξουμε τις ακριβείς λύσεις για τα δυναμικά προβλήματα είτε στο στάδιο του σχεδιασμού νέων κατασκευών είτε στην αποκατάσταση των υπαρχόντων.

Με τον όρο ιδιομορφική ανάλυση σε κατάσταση λειτουργίας (*Operational Modal Analysis*) της κατασκευής εννοούμε την ανάλυση και την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής δηλ. τις ιδιοσυχνότητες, τις ιδιοπεριόδους, και τις ιδιομορφές της κατασκευής τα οποία καθορίζονται μονοσήμαντα από τη δομή του συστήματος (γεωμετρία, μάζα, ακαμψία).

Μέχρι σήμερα έχουν τεκμηριωθεί διάφορες μέθοδοι ιδιομορφικής ανάλυσης των κατασκευών των οποίων η εφαρμογή εξασφαλίζει:

- Τη ανάλυση της συμπεριφοράς των κατασκευών υπό διάφορες φορτίσεις σεισμικές και μη
- Τον έλεγχο της ευστάθειας των κατασκευών και της αντοχής τους
- Τον εντοπισμό των σημείων που υφίστανται τη μεγαλύτερη καταπόνηση
- Τον εντοπισμό των θέσεων ευαισθησίας των κατασκευών.

Ανάμεσα στις μεθόδους ιδιομορφικής ανάλυσης που έχουν τεκμηριωθεί κάποιες βασίζονται στην συνδυασμένη χρήση δεδομένων εισόδου (input) και δεδομένων εξόδου (output) ενώ κάποιες χρησιμοποιούν μόνο δεδομένα εξόδου, όπως και η παρούσα εργασία.

Η παρούσα εργασία γίνεται με το στόχο της ιδιομορφικής ανάλυσης ενός ιστορικού κτιρίου στην εσωτερική λιμενολεκάνη του παλιού λιμανιού της πόλης των Χανίων. Μελετάται ένα από τα τρία Νεώρια του Μόρο (γνωστά έτσι από το όνομα του Γενικού Προβλεπτή που πρότεινε την κατασκευή τους το 1607), τα οποία οι Βενετοί χρησιμοποιούσαν για να επισκευάζουν τα πλοία τους στη διάρκεια του χειμώνα, το νοτιότερο από τα τρία που σώζονται στον ανατολικό μυχό του Ενετικού Λιμένα Χανίων, στην Ακτή Ενώσεως, Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Άποψη του λιμανιού από τα ανατολικά. Διακρίνονται σε κύκλο τα τρία Νεώρια του Μόρο (Μ. Ανδριανάκης, *Η Παλιά Πόλη των Χανίων*, εκδ. Αδάμ, Αθήνα 1997, σελ. 82-83).

Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας *Output-Only Modal Analysis* (μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης χρήσης μόνο δεδομένων εξόδου) με την μέθοδο *Frequency Domain Decomposition*. Η *Output-Only Modal Analysis* βασίζεται στην επεξεργασία και ανάλυση και μόνο των καταγραφών των δεδομένων εξόδου του δυναμικού συστήματος που αναλύεται εργαστηριακά που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι δυναμικές αποκρίσεις των κατασκευών (μετακινήσεις, ταχύτητες ή επιταχύνσεις) που καταγράφονται μέσω ειδικού εργαστηριακού εξοπλισμού. Με το δεδομένο ότι το η κατασκευή που μελετάται έχει μεγάλη ιστορική σημασία και αξία είναι ευνόητο ότι είναι

σημαντική η λήψη δεδομένων χωρίς την επέμβαση στο κτίριο, τη δημιουργία δηλαδή ταλάντωσης σε αυτό αλλά από τη διέγερση του κτιρίου από τα φυσικά φορτία όπως π.χ. ο αέρας.

Η μέθοδος Frequency Domain Decomposition (FDD) εξάγει τις ιδιομορφές και τις ιδιοσυχνότητες της κατασκευής. Αναπτύχθηκε από το 1960 και μετά, ενώ οι συστηματικές έρευνες ξεκίνησαν μετά το 1980. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή εξάγει τις ιδιομορφές των κατασκευών και τις ιδιοσυχνότητές τους με εφαρμογή συγκεκριμένης διαδικασίας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εξαγωγή των ιδιομορφών της κατασκευής που μελετάται, και επομένως ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς της υπό την επίδραση των φορτίων που προκαλούν ταλάντωση σε αυτήν. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο εντοπισμός των βλαβών των κατασκευών.

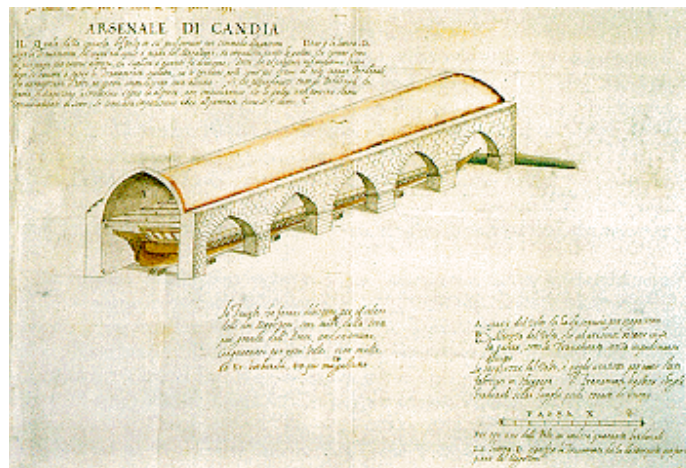
Το λογισμικό ARTeMIS Extractor είναι το εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για την ιδιομορφική ανάλυση στις περιπτώσεις εκείνες όπου μόνο οι αποκρίσεις (τα δεδομένα εξόδου) μιας κατασκευής είναι γνωστές. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει την ιδιομορφική ανάλυση με ακρίβεια υπό τις συνθήκες λειτουργίας και στις καταστάσεις όπου η κατασκευή είναι δύσκολο να διεγερθεί από τις εξωτερικά εφαρμοσμένες δυνάμεις. Η χρήση του βρίσκει εφαρμογή στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Στον ιδιομορφικό προσδιορισμό από τις αποκρίσεις μόνο.
- Στον ιδιομορφικό προσδιορισμό των κατασκευών κάτω από την πραγματική λειτουργία των ή λόγω τυχαίων περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Στην ιδιομορφική ανάλυση χωρίς χρήση της χρήσης δονητών ή σφυριών.
- Στην απεικόνιση ιδιομορφών και σύγκριση των διαφορετικών εκτιμήσεων ιδιομορφών.

Για το σκοπό αυτό, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν επιταχυνσιόμετρα του εργαστηρίου του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης τα οποία κατέγραψαν σε συγκεκριμένες θέσεις την απόκριση της οροφής του νεωρίου όταν η διέγερση του κτιρίου ήταν και μόνο λόγω τυχαίων περιβαντολλογικών παραγόντων όπως ο αέρας ή η κυκλοφορία οχημάτων. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι η λήψη επιταχυνσιογραφημάτων σε αρχεία ASCII και η εν συνεχεία ανάλυσή τους με τη βοήθεια του λογισμικού Artemis Extractor.

2. Ιστορικά στοιχεία για τα Νεώρια

Μέχρι την τελευταία εικοσαετία του 13ου αι. η νότια πλευρά της λεκάνης του λιμανιού οριζόταν από τη βόρεια παρειά του Βυζαντινού τείχους, το οποίο είχε θεμελιωθεί στην οριογραμμή του φυσικού βράχου. Κάτω ακριβώς από το βράχο, υπήρχε μια στενή αμμώδης λωρίδα με μικρά διάσπαρτα βράχια η οποία αποτελούσε το φυσικό όριο της νότιας πλευράς του λιμανιού. Εκεί τραβούσαν τα πλοία της εποχής για να τους κάνουν επισκευές.



Σχέδιο που δείχνει πως έμπαιναν τα πλοία στα νεώρια για να επισκευαστούν.

Λίγο μετά τα μέσα του 13ου αι., η Βενετία αποφασίζει τη δημιουργία ναυστάθμου στο λιμάνι του Χάνδακα και, το 1281, στέλνει τα πρώτα χρήματα για την κατασκευή νεωρίων. Το πρώτο συγκρότημα αρχίζει να κατασκευάζεται απέναντι από την είσοδο του λιμανιού στο νοτιότερο σημείο της λεκάνης του. Αυτή η κατασκευή κατέρρευσε και χτίστηκε νέο συγκρότημα λίγο αργότερα που ονομάστηκε Arsenali Anticchi.

Δυτικά και λίγο βορειότερα από τα Arsenali Anticchi, οι Βενετοί κατασκεύασαν το δεύτερο συγκρότημα που ονομάστηκε Arsenali Vecchi ή Bembo προς τιμήν του κατασκευαστή τους Gian Matteo Bembo. Δυτικά από το συγκρότημα των Arsenali Vecchi κατασκευάστηκε μεγάλη σκάλα που οδηγούσε από την Πύλη των Νεωρίων, που βρισκόταν 6,5 μ. πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε ύψος 1,5 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στην ανατολική πλευρά της λεκάνης του λιμένα διαμορφώθηκε το συγκρότημα των ανατολικών Νεωρίων που ονομάστηκε Arsenali Nuovi-Nuovissimi. Το αποτελούσαν πέντε διπλοί θολοσκεπείς

χώροι. Στη δυτική πλευρά τους κατασκευάστηκε η μεγάλη δεξαμενή νερού που χωρούσε 20.000 βαρέλια και ήταν η μεγαλύτερη του Χάνδακα.

Όλοι οι χώροι των Νεωρίων έκλειναν με μεγάλα ξύλινα θυρόφυλλα. Αυτά δεν ήταν πλήρη, αλλά είχαν κατασκευαστεί από χοντρά καδρόνια που άφηναν κενά διαστήματα μεταξύ τους.

Οι Βενετοί αντιμετώπιζαν πάντοτε πρόβλημα ανεπάρκειας διαθέσιμων χώρων στη ζώνη του λιμανιού. Οι ανάγκες τους σε χώρους φύλαξης, αποθήκευσης υλικών και εξαρτημάτων των πλοίων ήταν πάντα πιεστικές. Έτσι ο Benetto Moro προσπαθώντας να αυξήσει τους ωφέλιμους χώρους των Νεωρίων προτείνει την κατασκευή ξύλινων παταριών στη βάση των θόλων δύο χώρων των Arsenali Nuovi. Τα ξύλινα πατάρια δε θα εμποδίζαν τις γαλέρες να μπαίνουν στους χώρους των Νεωρίων αφού το συνολικό τους ύψος ήταν αρκετά μεγάλο.

Τον 20ο αιώνα για τη διαμόρφωση της νέας παραλιακής λεωφόρου κατεδαφίστηκε το μεγαλύτερο τμήμα των Arsenali Vecchi και Arsenali Nuovi-Nuovissimi. Από το συγκρότημα του Μόρο στο τμήμα των Arsenali Nuovi-Nuovissimi, σώζονται ακέραια τα δύο, στον μυχό του λιμανιού ενώ στο τρίτο, το βορειότερο από αυτά έγιναν πρόσφατα εργασίες αποκατάστασης της στέγης αφού μέχρι πρότινος ήταν ασκεπές. Η εργασία αυτή μελετά το βορειότερο των τριών πλέον γνωστών σαν Νεωρίων του Μορό, προκειμένου να αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά του θόλου του κτιρίου και να διευκολυνθεί το έργο της Αρχαιολογίας για την αποκατάστασή του.



Εικόνα 2. Τα τρία Νεώρια στον ανατολικό μυχό του λιμένα Εικόνα 3. Όψη του νοτιότερου Νεωρίου.

3. Operational Modal Analysis (OMA)

3.1 Ιστορικά στοιχεία της μεθόδου

Η παραδοσιακή ιδιομορφική ανάλυση (*Modal Analysis*) χρησιμοποιήθηκε αρχικά περίπου το 1940 όταν προσπαθούσαν να καταλάβουν οι μηχανικοί τη δυναμική συμπεριφορά ενός πειραματικού αεροπλάνου. Προς το τέλος της δεκαετίας του '70 και εξαιτίας των πρόωρων τεχνικών προόδων της δεκαετίας του '80 που συνδέθηκε με τους προσωπικούς υπολογιστές ο εκσυγχρονισμός ώθησε την ανάλυση ιδιομορφών (*modal analysis*) ως αναλυτικό εργαλείο, που δίνει την ευκαιρία στην ανάλυση ιδιομορφών σε κατάσταση λειτουργίας των κατασκευών (*Operational Modal Analysis*) να αναπτυχθεί. Η *Operational Modal Analysis* έχει γίνει γνωστή επίσης και σαν *Output-Only Modal Analysis* επειδή στην πραγματικότητα, όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, χρησιμοποιεί αποκλειστικά καταγραφές των αποκρίσεων των κατασκευών (δεδομένα εξόδου). Το ενδιαφέρον για την εξέλιξη της ανάλυσης ιδιομορφών (*modal analysis*) έγκειται στο γεγονός ότι οι πειραματικές μετρήσεις εκτελούνται με τις αποκρίσεις της κατασκευής υπό τις συνθήκες λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα διεγείρεται από τα φυσικά ή λειτουργικά φορτία όπως τα φορτία αέρα, τα φορτία κυμάτων, τα φορτία κυκλοφορίας, κ.λπ. Στην *Operational Modal Analysis* οι δυνάμεις (δεδομένα εισόδου – *input*) δεν καταγράφονται. Εντούτοις, οι δυνάμεις που ενεργούν σε μια κατασκευή μπορούν ακόμα να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τις αποκρίσεις σε διάφορα σημεία μαζί με τη *Frequency Response Function* (FRF).

3.2 Εφαρμογές OMA για ταυτοποίηση των κατασκευών

Αρχικά, στην παραδοσιακή ιδιομορφική ανάλυση που χρησιμοποιεί και τα δεδομένα εισόδου, ήταν γνωστή η αξία της εξαναγκασμένης δυναμικής διέγερσης στο δομικό σύστημα. Στη ιδιομορφική ανάλυση (OMA) σε κατάσταση λειτουργίας, πιο συγκεκριμένα στην ιδιομορφική ανάλυση με την χρήση μόνο των αποκρίσεων (δεδομένα εξόδου), μόνο η μεταβλητή εξόδου είναι γνωστή, δηλ. η δυναμική απόκριση. Το πλεονέκτημα της ιδιομορφικής ανάλυσης σε κατάσταση λειτουργίας είναι ότι οι δυναμικές αποκρίσεις λαμβάνονται από τη φυσική διέγερση π.χ. λόγω περιβαλλοντικών δονήσεων που παράγονται όπως λόγω του αέρα, της κυκλοφορίας, των κυμάτων, κ.λπ. Δεν είναι

απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί βαρύς εξοπλισμός διέγερσης για να παραγάγει τις εξαναγκασμένες δονήσεις.

Η ιδιομορφική ανάλυση σε κατάσταση λειτουργίας το όνομα που δίνεται στη διαδικασία όπου οι ιδιομορφικές παράμετροι μιας κατασκευής λαμβάνονται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα δόνησης που καταγράφονται από τις συγκεκριμένες συσκευές μέτρησης που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία της κατασκευής. Με αυτήν την απλή μέθοδο είναι δυνατό να εκτιμηθούν ποσοτικά οι πολύ χρήσιμες πληροφορίες από την κατασκευή για τις φυσικές ιδιότητες της όπως οι μάζες, η ακαμψία και η απόσβεση. Η εκτίμηση ιδιομορφών με παραμετρική ανάλυση ή με εφαρμογή κατάλληλων καμπύλων ακολουθεί την διαδικασία εκτίμησης από τα πειραματικά δεδομένα. Επιπλέον, μπορεί να αποδειχθεί ότι ένα σύνολο ιδιομορφικών παραμέτρων είναι δυνατόν να χαρακτηρίσει απολύτως τις δυναμικές ιδιότητες οποιασδήποτε κατασκευής. Αυτό το σύνολο των παραμέτρων καλείται συχνά *ιδιομορφικό πρότυπο*. Οι σημαντικές ιδιομορφικές παράμετροι που περιγράφουν τις δυναμικές ιδιότητες οποιασδήποτε κατασκευής είναι:

- Η ιδιομορφική συχνότητα, ***fn***
- οι ιδιομορφικοί συσχετισμοί, ***Φn***
- οι συντελεστές λόγου απόσβεσης, ***ξn***

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργική ιδιομορφική ανάλυση μπορεί να καλύψει ένα ευρύ φάσμα των σκοπών και είναι δυνατό να ξεκαθαρίσουν μερικά ζητήματα που ελέγχονται από διαμόρφωση κάποιων γραμμικών συστημάτων. Οι πιο σχετικές εφαρμογές OMA είναι:

- *Βελτιστοποίηση μοντελοποίησης κατασκευών:*

Η χρήση των μοντελοποίησης με πεπερασμένα στοιχεία μπορεί να τεκμηριωθεί καλύτερα τώρα και να βελτιστοποιηθεί πειραματικά. Σε αυτήν την περιοχή είναι σημαντικό να ελεγχθεί η συμβολή των μη-δομικών (ή δευτερογενών) στοιχείων που παρεμβαίνουν συνήθως αρκετά στην ακαμψία της δομής (π.χ. τοίχοι αντιστήριξης, παρακείμενα κτήρια, κ.λ.π.).

- Αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας των κατασκευών:

Η αξιολόγηση και ο έλεγχος της ακεραιότητας των κατασκευών έχουν αναπτυχθεί σε πολύ υψηλό επίπεδο ακρίβειας λόγω των νέων εξελίξεων στο λογισμικό των υπολογιστών, της επεξεργασίας σήματος και της τεχνολογίας εργαστηριακών μετρήσεων. Έτσι γίνεται εφικτή η σωστή επιλογή της ενίσχυσης κρίσιμων δομών των κατασκευών όπως σε περιπτώσεις π.χ. γεφυρών, φραγμάτων, παράκτιων πλατφορμών, εγκαταστάσεων πυρηνικής ενέργειας κλπ.

- Εκτίμηση φορτίων:

Η φόρτιση μιας κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί μέσω του μητρώου μεταφοράς, η οποία λαμβάνεται από τις ιδιομορφικές ιδιότητες που είναι γνωστές μέσω των τεχνικών ιδιομορφικής ανάλυσης. Είναι ένας νέος και καινοτόμος τρόπος εκτίμησης των φορτίων στα διάφορα είδη κατασκευών.

- Αλληλεπιδράσεις εδάφους -κατασκευών:

Η ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ μιας κατασκευής, των θεμελίων της και του περιβάλλοντος εδαφολογικού μέσου έχει βελτιωθεί σημαντικά λόγω της νέας χρήσης των εργαστηριακών τεχνικών προσδιορισμού κατασκευών.

- Εφαρμοσμένη σεισμική μηχανική:

Η ανάπτυξη σε αυτή την περιοχή της μηχανικής είναι αρκετά πρόσφατη εν τούτοις αρχίζει να αναλαμβάνει έναν σημαντικό ρόλο λόγω της ακρίβειας των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων. Η ιδιομορφική ανάλυση (Operational Modal Analysis) σε κατάσταση λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθούν τα ακριβή μοντέλα απόκρισης έτσι ώστε τα δυναμικά χαρακτηριστικά των μεγάλων κατασκευών υπό την επίδραση σεισμικών φορτίων μπορούν να καθοριστούν αξιόπιστα. Δίνει επίσης την δυνατότητα να εκτιμηθεί το επίπεδο ζημίας σε μία κατασκευή μετά από έναν σεισμό. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει και να επικαιροποιήσει πιο αξιόπιστα τις μικροζωνικές μελέτες και τους αντίστοιχους χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας σε μία περιοχή.

3.3 Τεχνικές ταυτοποίησης

Βασικά υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για να εφαρμοστεί η ιδιομορφική ανάλυση (Operational Modal Analysis) σε κατάσταση λειτουργίας σε πραγματικές κατασκευές. Αυτές που είναι γνωστές επειδή χρησιμοποιούν απευθείας τα δεδομένα από τη μέτρηση και αυτές που επίσης χρησιμοποιούν τα δεδομένα από τη μέτρηση αλλά και την συνεισφορά ενός παραμετρικού μοντέλου.

3.3.1 Μη παραμετρικές τεχνικές

Σε αυτόν τον τύπο τεχνικής, οι ιδιομορφικές παράμετροι υπολογίζονται άμεσα από τα δεδομένα μέτρησης. Με αυτές τις πειραματικές τιμές είναι δυνατό να προκύψουν οι καμπύλες (π.χ. καμπύλες συχνότητας), λειτουργικές σχέσεις ή πίνακες. Μόλις γίνει η επεξεργασία σήματος, οι ιδιομορφικές παράμετροι λαμβάνονται εύκολα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ → ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ → ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

$$f_n, \xi_n, \Phi_n$$

Στον τομέα αυτό οι κοινές μέθοδοι ανάλυσης είναι:

- Transient Analysis: συνήθως εφαρμόζεται όταν η απόκριση του συστήματος παράγεται στη βάση της διέγερσης (transient)
- Frequency Analysis: καλύτερη εφαρμογή όταν η διέγερση είναι αιτιοκρατική και είτε περιοδική, είτε ψευδοτυχαία και περιοδική. Η διέγερση είναι μετρημένη στο πεδίο του χρόνου και έπειτα μετασχηματισμένη στο πεδίο συχνότητας, κάνοντας πιθανή τη λήψη της συνάρτησης της απόκρισης συχνότητας που είναι ο λόγος μεταξύ της απόκρισης και της διέγερσης.
- Ανάλυση συσχετισμού: εφαρμόζοντας την σε σταθερά στοχαστικά διεγειρόμενα συστήματα, η συνάρτηση απόκρισης διέγερσης μπορεί να εκτιμηθεί από την απόκριση και από τις συναρτήσεις συσχετισμού της διέγερσης
- Φασματική Ανάλυση: επίσης χρήσιμη όταν πρόκειται για σταθερά στοχαστικά διεγειρόμενα συστήματα.

Σε αυτού του είδους αναγνώρισης συστήματος, για την διαδικασία σήματος χρησιμοποιούνται συνήθως τεχνικές βασισμένες στο μετασχηματισμό αλγορίθμων Fourier. Οι μη-παραμετρικές μέθοδοι είναι παραδοσιακά συσχετισμένες με τον Discrete Fourier Transform. Είναι ευκολότερο να χρησιμοποιούνται παραμετρικές μέθοδοι αλλά επίσης υπάρχουν και οι περιορισμοί σε αυτό. Μία παραδοσιακή μη-παραμετρική μέθοδος είναι η *BFD* (Basic Frequency Domain Technique).

3.3.2 Παραμετρικές τεχνικές

Όταν χρησιμοποιείται μια παραμετρική τεχνική, οι ιδιομορφικές παράμετροι εκτιμώνται χρησιμοποιώντας παρόμοια μέθοδο αλλά αυτήν τη φορά με την προσθήκη ενός παραμετρικού μοντέλου. Αυτό το μοντέλο θα προσαρμοστεί στα διεξαγμένα δεδομένα σήματος (λαμβάνονται από τον προσδιορισμό του συστήματος) προκειμένου να επιτευχθεί σωστή εκτίμηση παραμέτρων και τότε μπορούν να εξαχθούν οι επιθυμητές ιδιομορφικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την δυναμική απόκριση της πραγματικής κατασκευής.

Όταν προσαρμόζονται οι ιδιομορφικές παράμετροι συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές: η Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) σαν μια απλή προσαρμογή ή η Stochastic Subspace Identification (SSI) η οποία συνίσταται σε πιο εξελιγμένη προσαρμογή. Στην πράξη, οι παραμετρικές τεχνικές που χρησιμοποιούν παραμετρικά μοντέλα είναι διαθέσιμες στο πεδίο χρόνου και συχνότητας.

4. Διεξαγωγή της μέτρησης και επεξεργασία των δεδομένων

4.1 Περιγραφή της μέτρησης

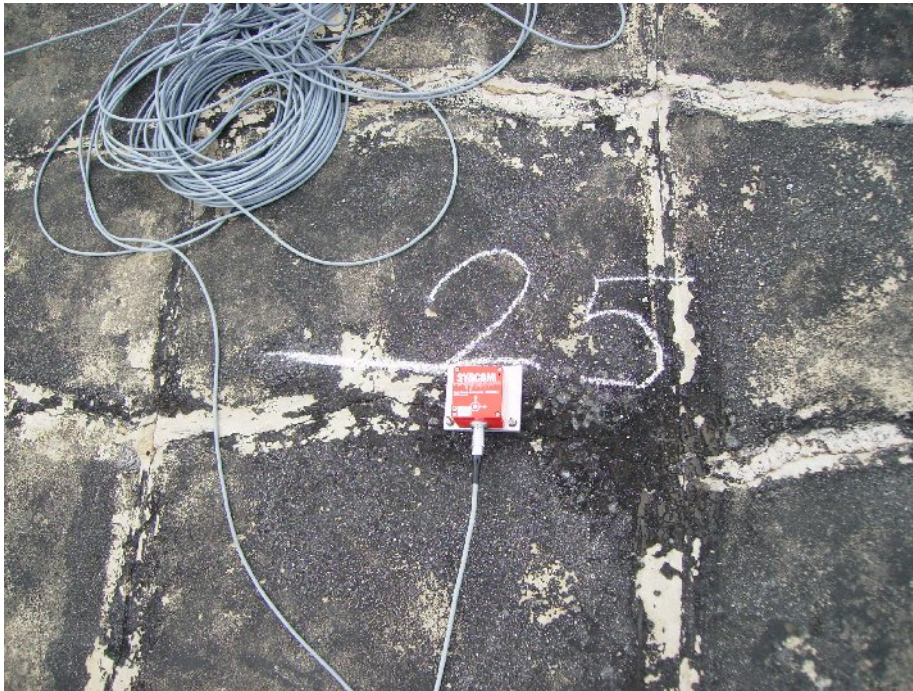
Η διεξαγωγή του πειράματος έγινε στα πλαίσια μελέτης που έχει ανατεθεί από το Ναυτικό Μουσείο Κρήτης στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής με τη συμμετοχή μεταπτυχιακών φοιτητών και του υπεύθυνου καθηγητή κ. Προβιδάκη. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι: ένα καταγραφικό με ρύθμιση στο πεδίο του χρόνου (10 περίοδοι με 60 sec/περίοδο, τέσσερις αισθητήρες MR1, MR2, MR3, MR4 (επιτάχυνση σε τρεις άξονες), ένας φορητός υπολογιστής και μία γεννήτρια ρεύματος.

Αρχικά καθορίστηκε ο αριθμός των σημείων όπου θα ληφθούν δεδομένα και όπου κατά συνέπεια θα τοποθετηθούν αισθητήρες.

Για την μέτρηση του Νεωρίου του Μόρο που αφορά αυτή η εργασία χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αισθητήρες – επιταχυνσιόμετρα για επτά διαφορετικές μετρήσεις. Σε κάθε μία από αυτές τις μετρήσεις ο ένας από τους τέσσερις αισθητήρες παρέμεινε σε σταθερή θέση σαν αισθητήρας αναφοράς και οι υπόλοιποι τρεις μετακινήθηκαν σε θέσεις κατά μήκος του Νεωρίου, για κάθε μέτρηση ο ένας στην κορυφή της στεφάνης του Νεωρίου και οι άλλοι εκατέρωθεν του πρώτου στο μέσον της οριζόντιας επιφάνειας όπως φαίνεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν.



Διάταξη επιταχυνσιογράφων κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων του Νεωρίου.



Η θέση του επιταχυνσιογράφου αναφοράς όπως φαίνεται στην φωτογραφία.

4.2 Περιγραφή των συσκευών μέτρησης

Χρησιμοποιείται το ισχυρό όργανο καταγραφής κινήσεων MR2002 της εταιρείας SYSCOM, που είναι ένας συμπαγής, τριών αξόνων επιταχυνσιογράφος που μπορεί να λειτουργήσει σε αυτόνομη

βάση ή να συνδεθεί σε ένα δίκτυο. Ένας εξωτερικός αισθητήρας (MS200x) συχνότητας 300 Hz συνδέεται με το MR2002, όπως φαίνεται στη φωτογραφία που λήφθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Ο αισθητήρας παίρνει τη δόνηση και την μετασχηματίζει σε ένα ηλεκτρικό σήμα που είναι ανάλογο προς την επιτάχυνση (αισθητήρες MS2002x και MS2004x). Αυτά τα σήματα μεταλλάσσονται συνεχώς και αποθηκεύονται στη μνήμη του MR2002, ενώ ο έλεγχος και ο συγχρονισμός των MR2002 γίνεται από το καταγραφικό NCC (Network Control Center). Με τον τρόπο αυτό, στην διεξαγωγή της μέτρησης του Νεωρίου του Μόρο χρησιμοποιήθηκε ένα καταγραφικό NCC με τέσσερις σταθμούς MR2002 και κατά συνέπεια 12 κανάλια μέτρησης (τρία για κάθε σταθμό: x, y και z).

Τελικός αποδέκτης της μέτρησης είναι ο φορητός υπολογιστής στον οποίο συνδέθηκε το καταγραφικό NCC κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Η λήψη και η επεξεργασία των σημάτων γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού VIEW 2002, όπως θα περιγραφεί παρακάτω.



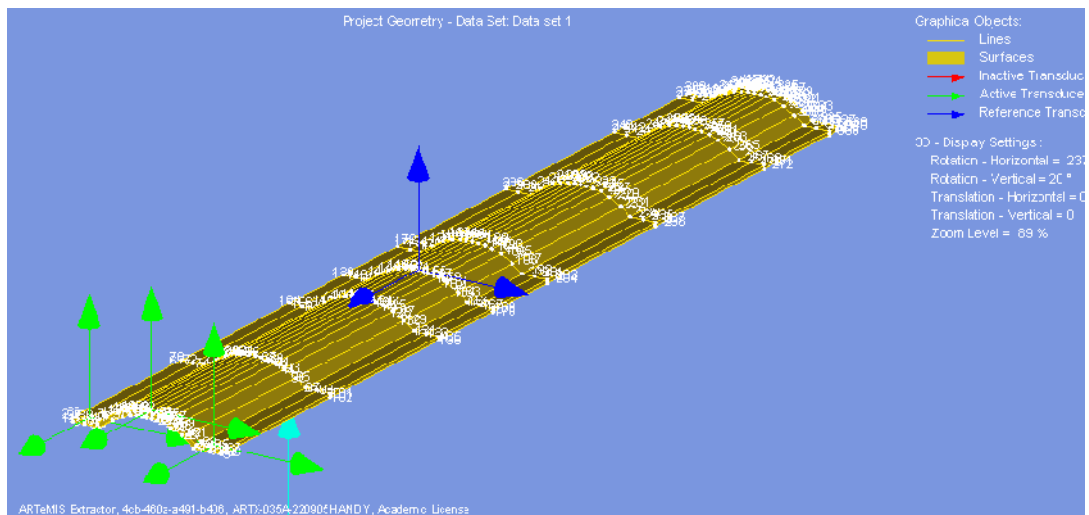
Σύνδεση του εξωτερικού αισθητήρα με το όργανο καταγραφής κινήσεων



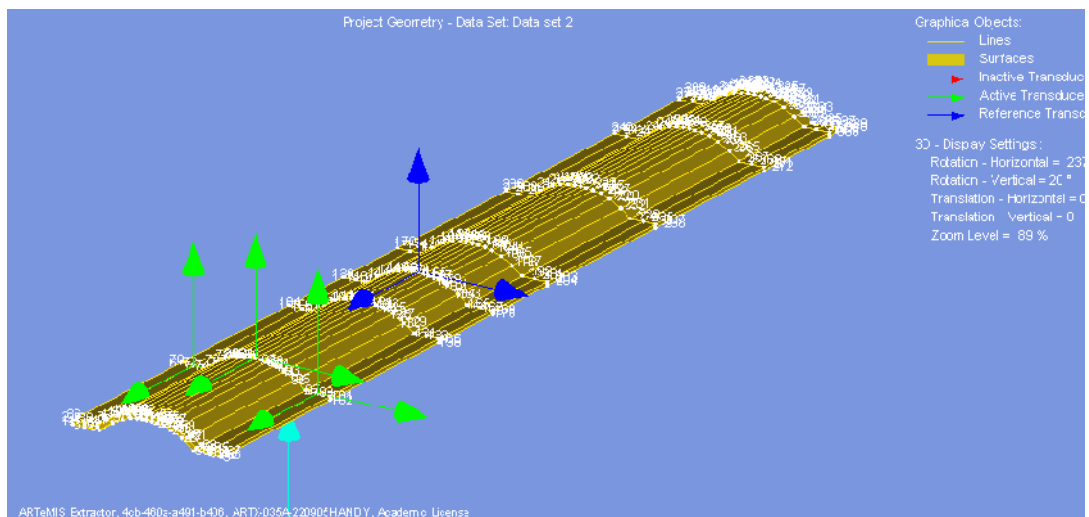
Σύνδεση του καταγραφικού NCC με τον φορητό υπολογιστή

4.3 Περιγραφή των θέσεων των αισθητήρων

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η διάταξη των τεσσάρων αισθητήρων για κάθε μία από τις επτά μετρήσεις που έγιναν στο Νεώριο του Μόρο. Το συνολικό μήκος του Νεωρίου είναι 56,8 m και για κάθε μία από τις μετρήσεις οι τρεις πρώτοι αισθητήρες MR1, MR2, MR3 μετακινούνται κατά μήκος του Νεωρίου, ενώ ο MR4 παραμένει σταθερός στην κορυφή της στεφάνης σε απόσταση 25 m από την μπροστινή όψη του.



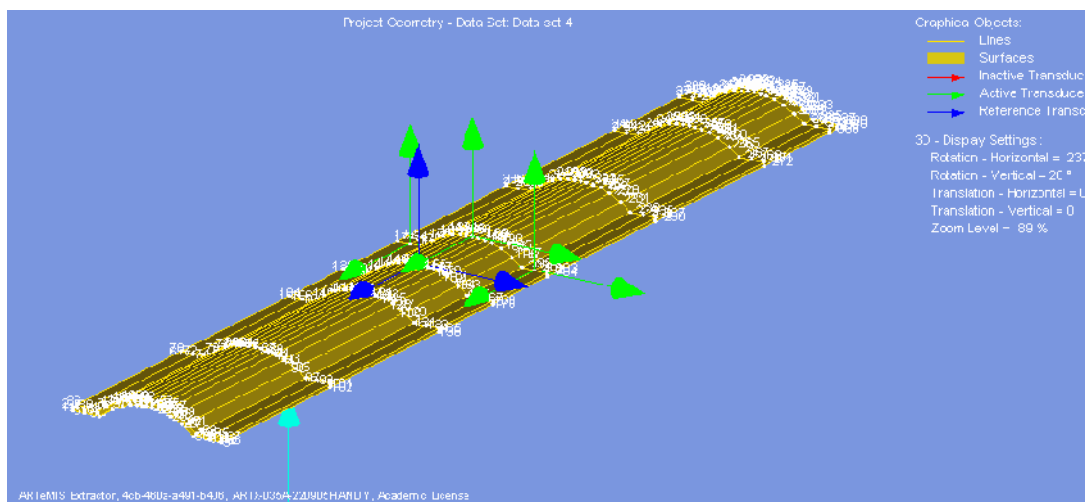
DATA SET 1: Σε απόσταση 0,4 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



DATA SET 2: Σε απόσταση 10 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



DATA SET 3: Σε απόσταση 20 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



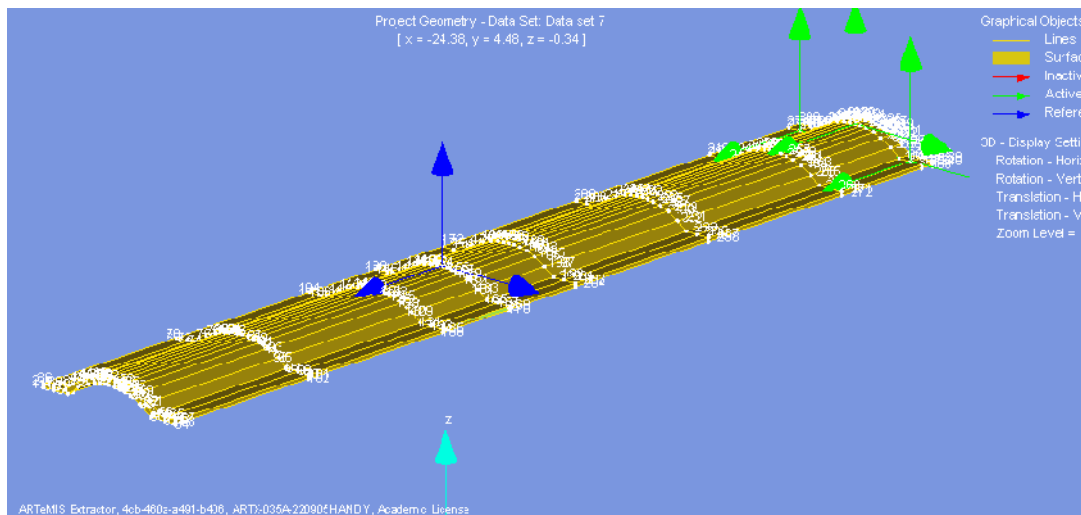
DATA SET 4: Σε απόσταση 30 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



DATA SET 5: Σε απόσταση 40 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



DATA SET 6: Σε απόσταση 50 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά



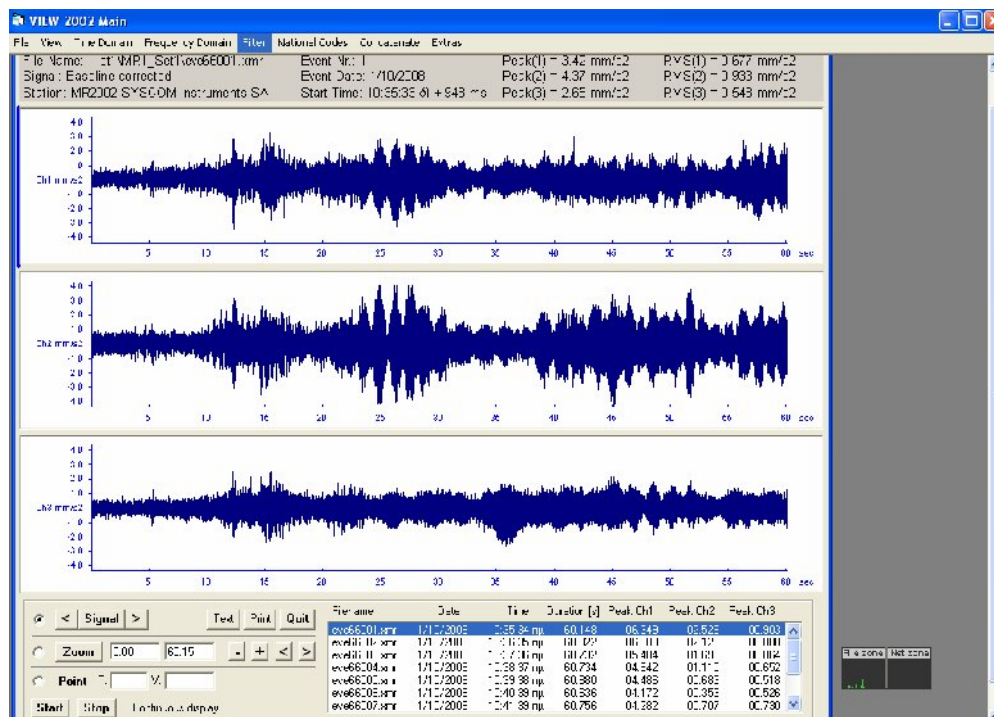
DATA SET 7: Σε απόσταση 56 m και MR1, MR2 , MR3 όπως φαίνονται από δεξιά

4.4 Χρήση του λογισμικού VIEW 2002 και δημιουργία αρχείων ASCII για τις μετρήσεις

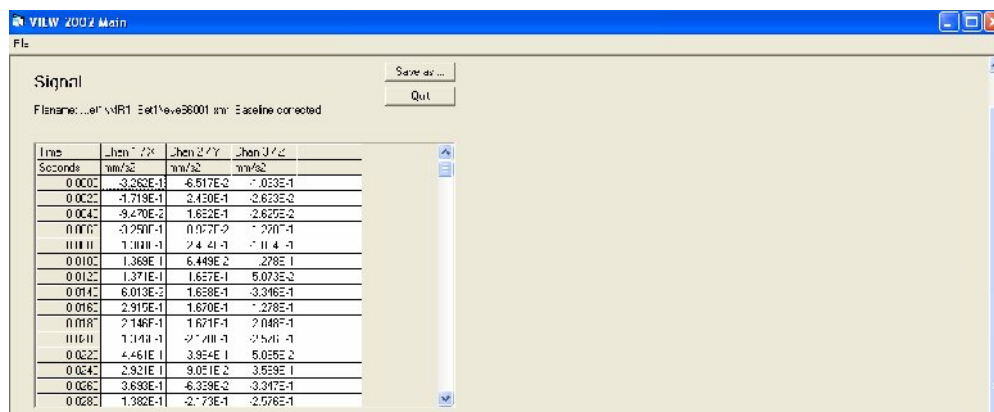
Το VIEW2002 είναι το λογισμικό αξιολόγησης στοιχείων που αναπτύχθηκε για το όργανο καταγραφής δόνησης MR2002.

Τα αρχεία σήματος που λήφθηκαν από τη διαδικασία των επτά σετ μετρήσεων λαμβάνονται από τον υπολογιστή σαν αρχεία .xmr, Εικ.1. Ανοίγοντας όλα τα αρχεία διαδοχικά με το πρόγραμμα VIEW2002 μετατρέπουμε τα αρχεία σήματος σε αρχεία .txt, Εικ.2. Αυτό αφορά τα επιταχυνσιογραφήματα στο πεδίο του χρόνου.

Για κάθε μία μέτρηση υπάρχουν έντεκα επιταχυνσιογραφήματα για κάθε ένα από τα τέσσερα επιταχυνσιόμετρα που αναλύονται με τη σειρά τους στους τρεις άξονες το κάθε ένα. Μετά από την απαραίτητη επεξεργασία προκύπτουν επτά αρχεία ASCII με δώδεκα στήλες δεδομένων το κάθε ένα. Οι τρεις πρώτες στήλες αφορούν το επιταχυνσιόμετρο MR1 στους άξονες χ, ψ, z, και αντίστοιχα οι επόμενες εννέα στήλες τα ακόλουθα τρία επιταχυνσιόμετρα της κάθε μέτρησης.



Εικόνα 1. Αρχείο σήματος του πρώτου επιταχυνσιόμετρου για το Event Nr. 1 που κατάγραψε όπως φαίνεται στο VIEW 2002.



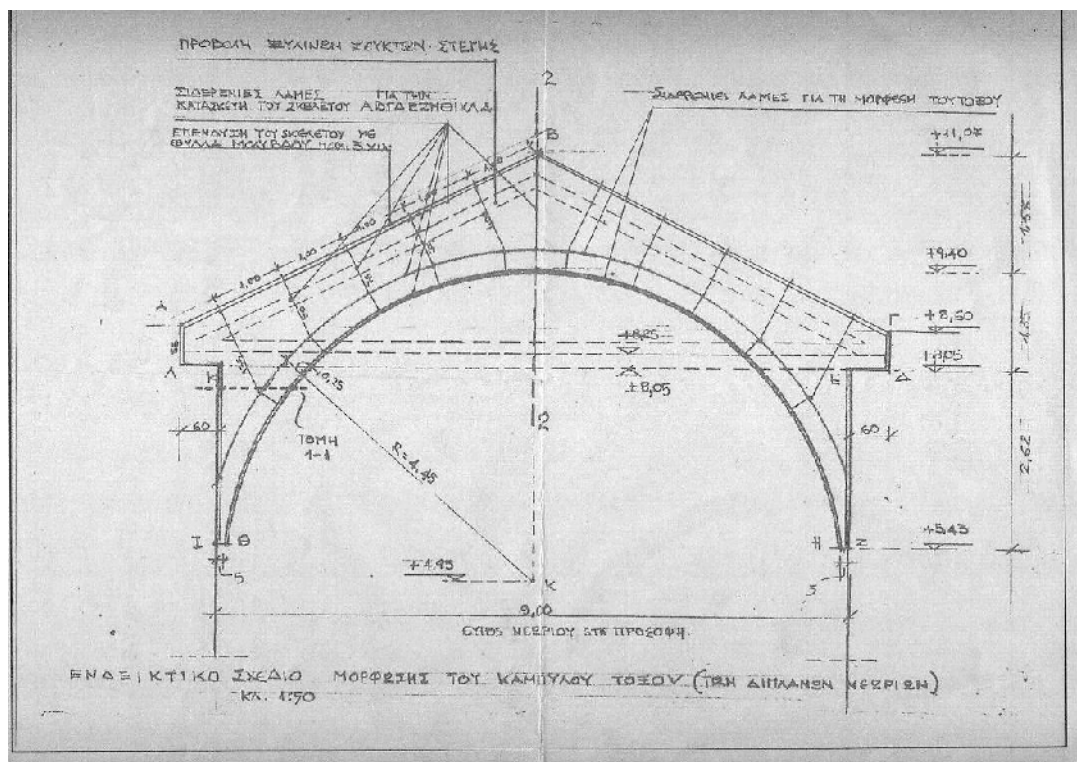
Εικόνα 2. Μετατροπή του αρχείου .xmr σε αρχείο .txt με τη χρήση του προγράμματος VIEW 2002.

5. Ιδιομορφική Ανάλυση του Νεωρίου του Μόρο.

5.1 Χρήση του λογισμικού Artemis Extractor (ARTEMIS – Ambient Response Testing and Modal Identification Software)

Οι ιδιοσυχνότητες, οι ιδιοπεριόδους, και οι ιδιομορφές της κατασκευής καθορίζονται μονοσήμαντα από τη δομή του συστήματος (γεωμετρία, μάζα, ακαμψία). Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας *Output-Only Modal Analysis* (μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης εξαγωγής μόνο αποτελεσμάτων) με την μέθοδο Frequency Domain Decomposition και τη χρήση του λογισμικού Artemis Extractor.

Προκειμένου να γίνει η μοντελοποίηση της κατασκευής χρησιμοποιείται το λογισμικό Artemis Testor. Η σχεδίαση γίνεται με την εισαγωγή κόμβων, γραμμών και επιφανειών στην γεωμετρία και λαμβάνοντας υπόψη ότι τα σημεία στα οποία τοποθετείται αισθητήρας αποτελούν οπωσδήποτε κόμβο. Για τη σχεδίαση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η όψη του Νεωρίου που φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Γεωμετρικά στοιχεία της όψης του Νεωρίου του Μόρο.

Κατόπιν γίνεται εξαγωγή των δεδομένων που καθορίστηκαν στο Testor απευθείας στο Extractor με τη μορφή αρχείου SVS Configuration File Format. Προκύπτει με τον τρόπο αυτό το .cfg αρχείο με

τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (nodes, lines, surfaces) που δόθηκαν στο Testor και το οποίο αρχείο ανοίγοντας το σαν .txt θα συμπληρωθεί με τα εξής στοιχεία: Με τη διάρκεια του χρονικού βήματος σε sec (T) και τα σεν των επτά μετρήσεων που διεξήχθησαν. Παρακάτω δίνεται το αρχείο .txt που προκύπτει στο οποίο όμως φαίνονται ενδεικτικά οι πρώτες πέντε γραμμές για τα γεωμετρικά στοιχεία του κτιρίου για να απλουστευθεί η παρουσίαση (πρόκειται για μεγάλης έκτασης αρχείο).

APXΕΙΟ TXT

Structural Vibration Solutions A/S - www.svibs.com

SVS Configuration File written for PC system
File was generated by ARTeMIS Testor version 3.0

Header
MORO

T
3.333E-03

Nodes (συνολικά δίνονται 340 nodes)
1 0.00000E+00 -4.48000E+00 0.00000E+00
2 0.00000E+00 -4.48000E+00 2.00000E-01
3 0.00000E+00 -3.73000E+00 0.00000E+00
4 0.00000E+00 -3.73000E+00 2.00000E-01
5 0.00000E+00 -2.83000E+00 0.00000E+00

Lines

1 2
1 3
2 4
3 4
3 5

Surfaces

4 1 3
4 2 1
6 4 3
6 3 5
8 6 5

Setups

Data set 1

set1.asc

65	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
65	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
65	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
52	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
52	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
52	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
38	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration

38	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
38	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration

set2.asc

Data set 3

133	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
133	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
133	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
120	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
120	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
120	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
106	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
106	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
106	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration

set4.asc

Data set 5

235	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
235	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
235	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
222	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
222	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
222	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
208	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
208	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
208	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration
154	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s²Acceleration

154	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
Data set 6					
set6.asc					
269	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
269	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
269	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
256	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
256	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
256	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
242	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
242	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
242	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
Data set 7					
set7.asc					
303	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
303	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
303	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
290	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
290	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
290	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
276	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
276	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
276	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	1.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	1.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration
154	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	1.00000E+00	m/s ² Acceleration

Κάθε ένα από τα .asc αρχεία που εμφανίζονται στα setups (set1, set2, set3, set4, set5, set6, set7) είναι τα αρχεία asc που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού VIEW2002 και βρίσκονται στον ίδιο φάκελο με το αρχείο .txt προκειμένου να μπορούν να αναγνωστούν.

5.2 Επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική FDD (FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION)

Ιδιομορφικός προσδιορισμός σημαίνει να καθοριστούν οι ιδιομορφικές (modal) παράμετροι από τα πειραματικά στοιχεία. Οι ιδιομορφικές παράμετροι είναι: ιδιομορφές (mode shapes) (ο τρόπος που η δομή κινείται σε μια ορισμένη συχνότητα συντονισμού), φυσικές συχνότητες (οι συχνότητες συντονισμού) και αναλογίες απόσβεσης (ο βαθμός στον οποίο η ίδια η δομή είναι σε θέση να αποσβέσει τις δονήσεις).

Κατά την ανάλυση των δεδομένων με το λογισμικό ARTeMIS Extractor υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποιώντας τις απλούστερες τεχνικές να διεξαχθούν μία σειρά αναγνωρίσεων και καταλήγει σε μια τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

Η ιδέα της τεχνικής αποσύνθεσης πεδίου συχνότητας (FDD) είναι η εκτέλεση μιας κατά προσέγγιση αποσύνθεσης της απόκρισης συστήματος σε ένα σύστημα ανεξάρτητου μοναδικού βαθμού ελευθερίας συστημάτων (SDOF: Single Degree Of Freedom), ένα για κάθε ιδιομορφή.

Η αποσύνθεση εκτελείται απλά με την αποσύνθεση κάθε ενός από τα εκτιμώμενα φασματικά μητρώα πυκνότητας. Στην ανωτέρω αναφορά αποδεικνύεται ότι οι singular values είναι εκτιμήσεις της αυτόματης φασματικής πυκνότητας των συστημάτων SDOF, και τα singular vectors είναι εκτιμήσεις των ιδιομορφών.

Η τεχνική FDD με την χρήση του ARTeMIS Extractor περιλαμβάνει τα εξής βήματα :

- Εκτίμηση φασματικών μητρώων πυκνότητας από τα δεδομένα χρονικών σειρών.
- Εκτελεί την singular value αποσύνθεση των φασματικών μητρώων πυκνότητας.
- Εάν πολυάριθμες μετρήσεις είναι διαθέσιμες, τότε υπολογίζει τον μέσο όρο της πρώτης singular value όλων των μετρήσεων και υπολογίζει τον μέσο όρο της δεύτερης κ.λπ.
- Μέγιστη επιλογή στις μέσες singular values. Για τις καλά χωρισμένες ιδιομορφές επιλέγεται πάντα στην πρώτη singular value.

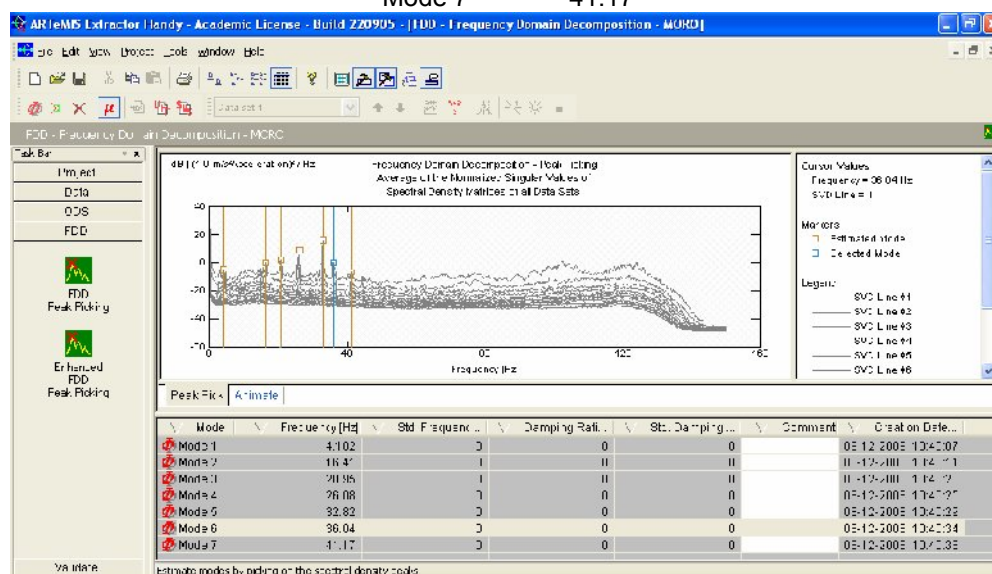
Τα τρία πρώτα βήματα εκτελούνται αυτόματα όταν γίνει επεξεργασία των δεδομένων. Το τελευταίο βήμα απαιτεί τη συμμετοχή του χρήστη για την επιλογή των μέγιστων και την εξαγωγή των ιδιομορφών. Η τεχνική είναι μια απολύτως μη παραμετρική τεχνική όπου οι ιδιομορφές υπολογίζονται καθαρά από την επεξεργασία σήματος.

Για την μελέτη του Νεωρίου του Μόρο η επεξεργασία των δεδομένων που παρουσιάστηκαν πριν με τη χρήση του λογισμικού ARTeMIS Extractor φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή υπάρχουν επτά μετρήσεις κάθε μία από τις οποίες έγινε με δώδεκα επιταχυνσιόμετρα (τέσσερα επιταχυνσιόμετρα με τρεις διευθύνσεις μέτρησης το κάθε ένα : x , y και z). Τέλος, η πρώτη ιδιομορφική καμπύλη και των επτά μετρήσεων είναι υπολογισμένη κατά μέσο

όρο συχνότητα με συχνότητα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τη δεύτερη, τρίτη, τέταρτη κ.λπ. μέχρι δωδέκατη ιδιομορφική καμπύλη.

Παρουσιάζεται η διαδικασία επιλογής των μεγίστων και η εξαγωγή των ιδιομορφών από τις καμπύλες που προκύπτουν.

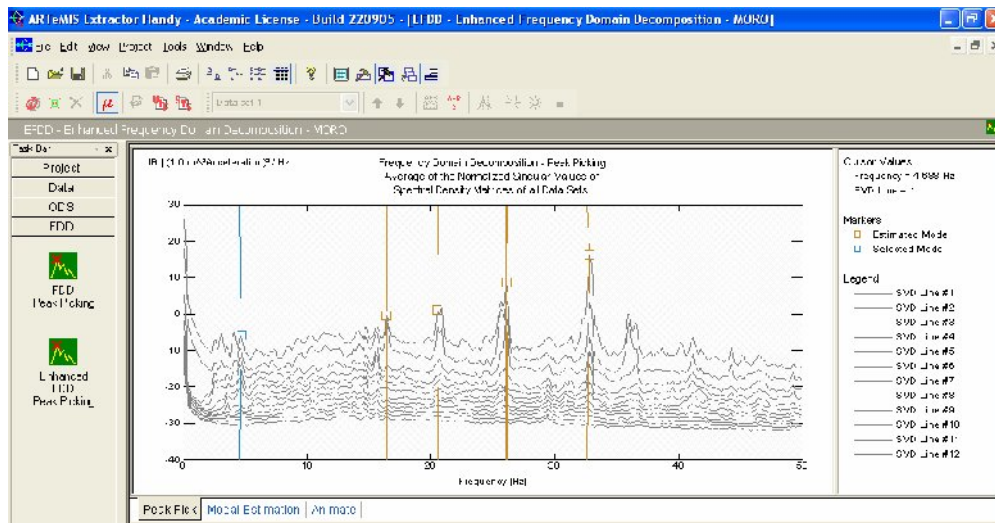
Mode	Frequency [Hz]
Mode 1	4.102
Mode 2	16.41
Mode 3	20.95
Mode 4	26.08
Mode 5	32.82
Mode 6	36.04
Mode 7	41.17



Εικόνα 4. Επιλογή μεγίστων με τη μέθοδο FDD.

5.3 Επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική EFDD (ENHANCED FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION) – εξαγωγή ιδιομορφών.

Η μέθοδος επιλογής μεγίστων EFDD προσθέτει ένα ιδιομορφικό στρώμα εκτίμησης στη μέθοδο FDD. Η ιδιομορφική εκτίμηση διαιρείται επομένως σε δύο βήματα. Το πρώτο βήμα είναι να εκτελεστεί η επιλογή μεγίστων, και το δεύτερο βήμα είναι να χρησιμοποιηθούν οι προσδιορισμένες FDD ιδιομορφές για να προσδιοριστούν οι μοναδικού βαθμού ελευθερίας συναρτήσεις Spectral Bell και από αυτές να υπολογιστούν όλες οι ιδιομορφικές παράμετροι.



Εικόνα 5. Επιλογή μέγιστων με τη μέθοδο EFDD.

Για τη μέτρηση στο Νεώριο του Μόρο η επιλογή μεγίστων φαίνεται στην Εικόνα 5. Για τις τιμές αυτές θα παρουσιαστούν στην συνέχεια οι ιδιομορφές του Νεωρίου και οι εκτιμήσεις των ιδιομορφικών παραμέτρων.

Mode	Frequency [Hz]	Std. Frequency [Hz]	Damping Ratio [%]	Std. Damping Ratio [%]
Mode1	4.533	0.2748	5.705	6.975
Mode2	16.41	0.05314	0.9786	0.6013
Mode3	20.57	0.1768	0.76	0.5071
Mode4	26.13	0.1869	0.969	1.144
Mode5	32.61	0.5717	0.9501	1.645

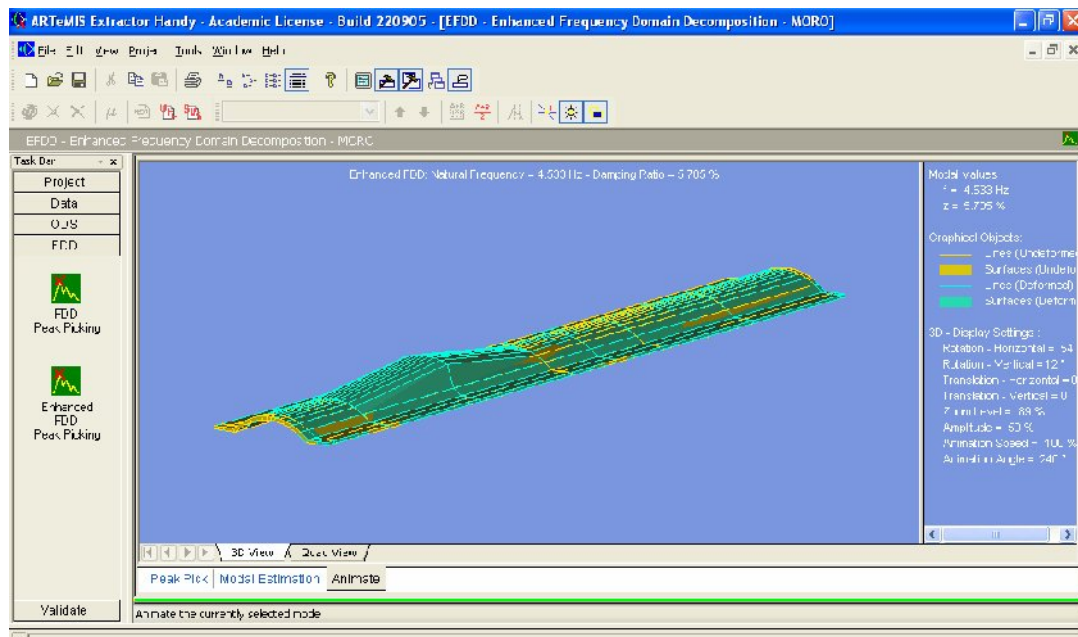
- **Mode:** Ιδιομορφή. Μια σύντομη σειρά πληροφοριών που παρουσιάζει τη φυσική συχνότητα και τον εκτιμητή.
- **Natural frequency (Frequency [Hz]):** Φυσική συχνότητα (συχνότητα [Hz]). Σε περίπτωση πολυάριθμων μετρήσεων, η τιμή αυτή είναι ο μέσος όρος των εκτιμήσεων φυσικών συχνοτήτων των μεμονωμένων δεδομένων μετρήσεων. Σε αυτήν την περίπτωση η σταθερή απόκλιση της προκύπτουσας φυσικής συχνότητας παρουσιάζεται επίσης (**Std. Frequency [Hz]**).
- **Damping ratio (Damping Ratio [%]):** Αναλογία απόσβεσης (αναλογία απόσβεσης [%]). Σε περίπτωση πολυάριθμων μετρήσεων, η τιμή αυτή είναι ο μέσος όρος της αναλογίας

απόσβεσης των εκτιμήσεων των μεμονωμένων δεδομένων μετρήσεων. Σε αυτήν την περίπτωση η σταθερή απόκλιση της προκύπτουσας αναλογίας απόσβεσης παρουσιάζεται επίσης (**Std. Damping Ratio [%]**).

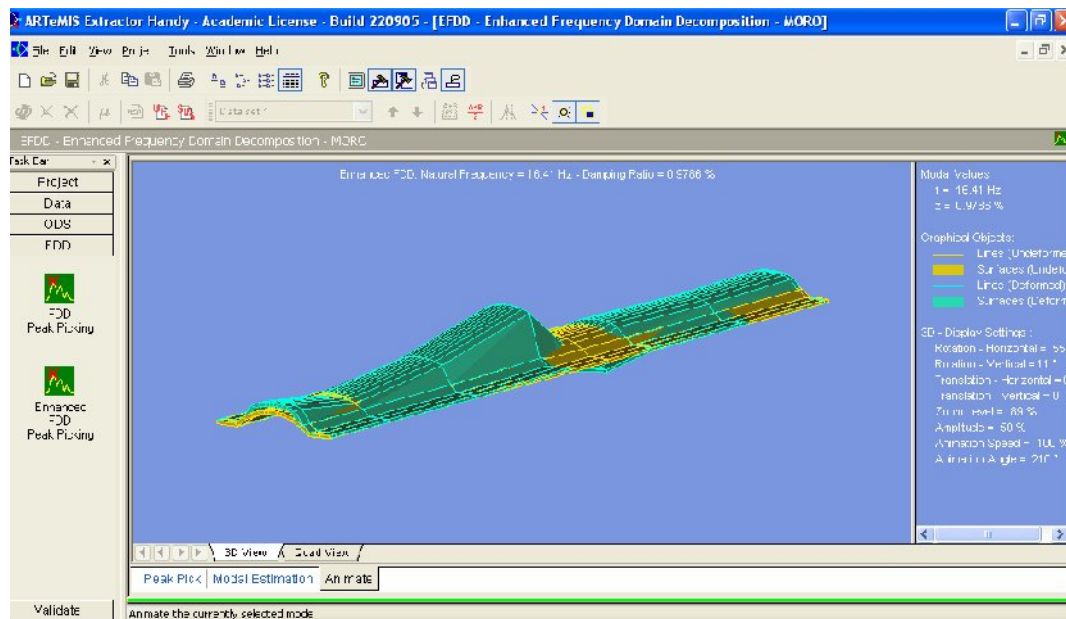
5.3.1 Παρουσίαση ιδιομορφών

Για κάθε μία από τις παραπάνω συχνότητες αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη μορφή ταλάντωσης του κτιρίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά οι ιδιομορφές για κάθε μία από τις παραπάνω συχνότητες.

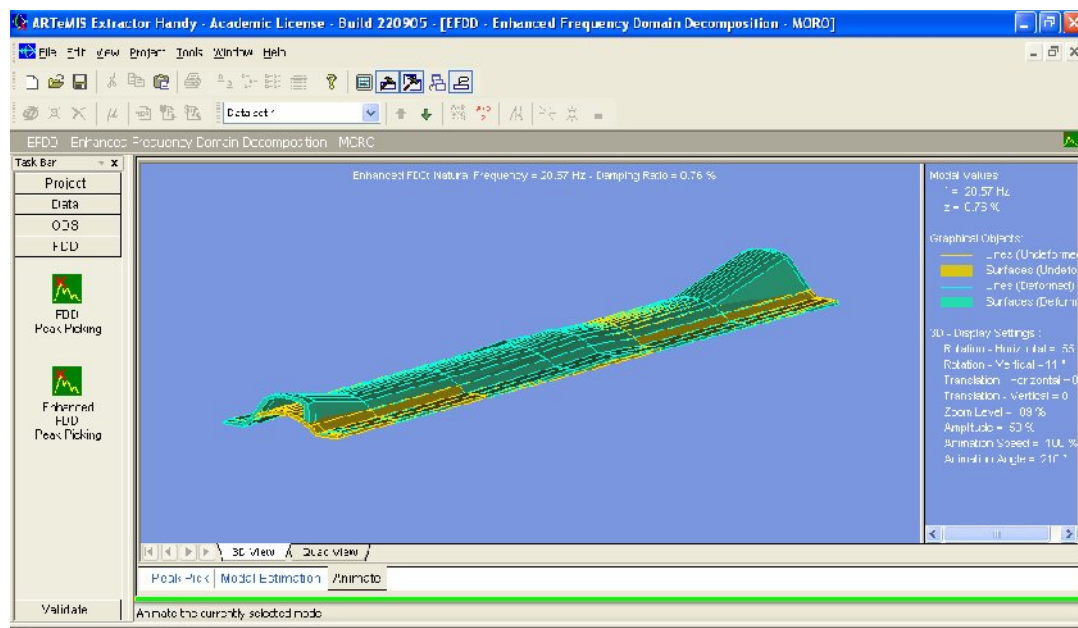
1^η ιδιομορφή κτιρίου (συχνότητα 4.533 Hz).



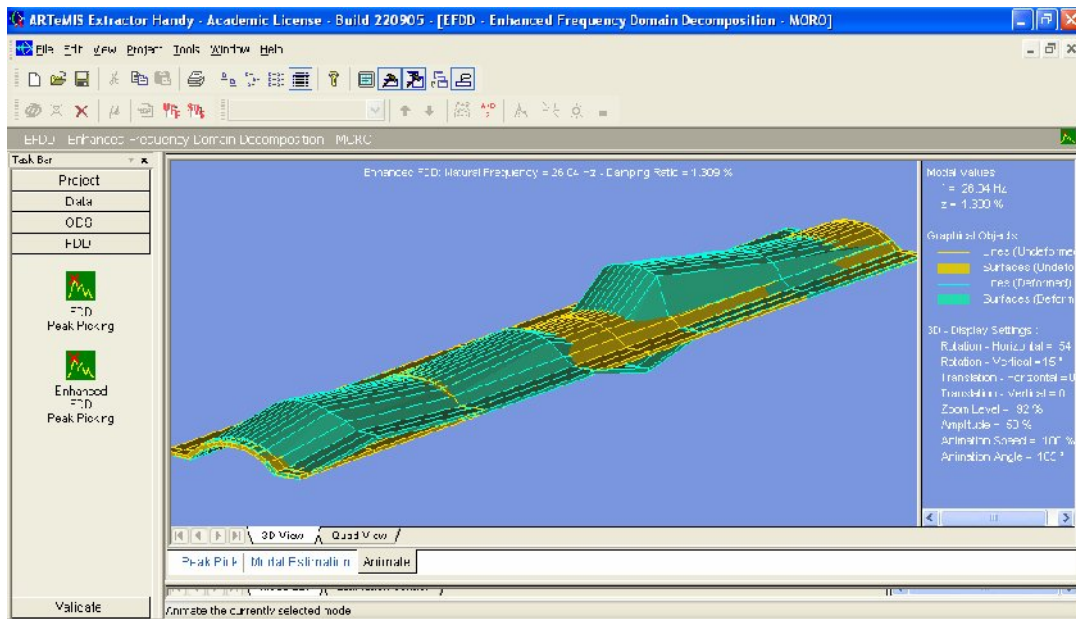
2^η ιδιομορφή κτιρίου (συχνότητα 16.41 Hz).



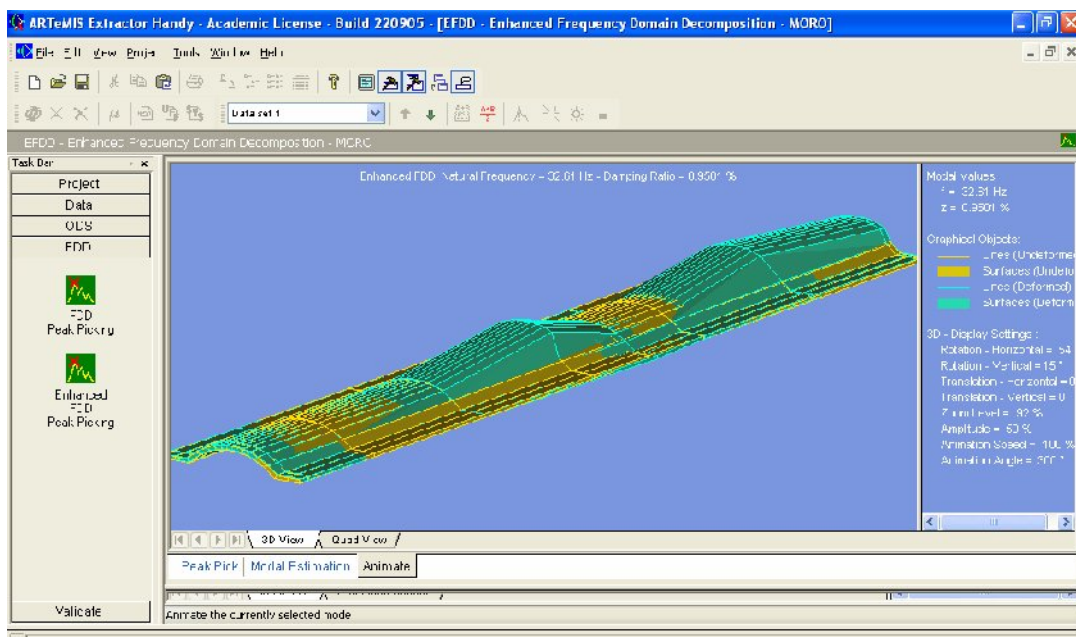
3^η ιδιομορφή κτιρίου (συχνότητα 20.57 Hz).



4^η ιδιομορφή κτιρίου (συχνότητα 26.04 Hz).



5^η ιδιομορφή κτιρίου (συχνότητα 32.61 Hz).



5.3.2 Προσδιορισμός του SDOF Spectral Bell

Ο προσδιορισμός του SDOF Spectral Bell εκτελείται χρησιμοποιώντας την προσδιορισμένη ιδιομορφή ως διάνυσμα αναφοράς σε μια ανάλυση συσχετισμού βασισμένη στο κριτήριο διαβεβαίωσης MAC: Modal Assurance Criterion.

Και στις δύο πλευρές της επιλεγμένης συχνότητας υπολογίζεται ένα διάνυσμα MAC μεταξύ του διανύσματος αναφοράς και των singular διανυσμάτων που αντιστοιχούν σε μια ορισμένη συχνότητα. Εάν η μεγαλύτερη τιμή της MAC αυτού του διανύσματος είναι επάνω από ένα καθορισμένο ως προς τον χρήστη επίπεδο απόρριψης της MAC η αντίστοιχη singular value συμπεριλαμβάνεται στην περιγραφή του SDOF Spectral Bell. Η αναζήτηση και στις δύο πλευρές της συχνότητας αναφοράς συνεχίζεται έως ότου δεν είναι καμία τιμή της MAC επάνω από το επίπεδο απόρριψης. Εκτός των ορίων οι τιμές του SDOF Spectral Bell τίθενται μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι όσο χαμηλότερο το επίπεδο απόρριψης της MAC τόσο περισσότερες μοναδικές τιμές συμπεριλαμβάνεται στο SDOF Spectral Bell. Συγχρόνως όσο χαμηλότερο το επίπεδο απόρριψης της MAC τόσο περισσότερο επιτρέπεται η απόκλιση από το διάνυσμα αναφοράς.

Έτσι ένας καλός συμβιβασμός είναι να χρησιμοποιηθεί ένα αρχικό επίπεδο απόρριψης της MAC στο 0.8, οπότε και εκτελείται η εκτίμηση των ιδιομορφικών παραμέτρων.

5.3.3 Προσδιορισμός των ιδιομορφικών παραμέτρων

Εκτός από την αποθήκευση των singular values που περιγράφουν το SDOF Spectral Bell, τα αντίστοιχα singular διανύσματα υπολογίζονται κατά μέσο όρο μαζί για να λάβουν μια βελτιωμένη εκτίμηση της ιδιομορφής. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο κοντά είναι τα singular διανύσματα στην αιχμή του SDOF Spectral Bell τόσο περισσότερο βάρος έχει στην εκτίμηση της ιδιομορφής.

Η φυσική συχνότητα και η αναλογία απόσβεσης υπολογίζονται με το μετασχηματισμό του SDOF Spectral Bell στο πεδίο του χρόνου. Τι λαμβάνουμε έπειτα είναι μια συνάρτηση συσχετισμού

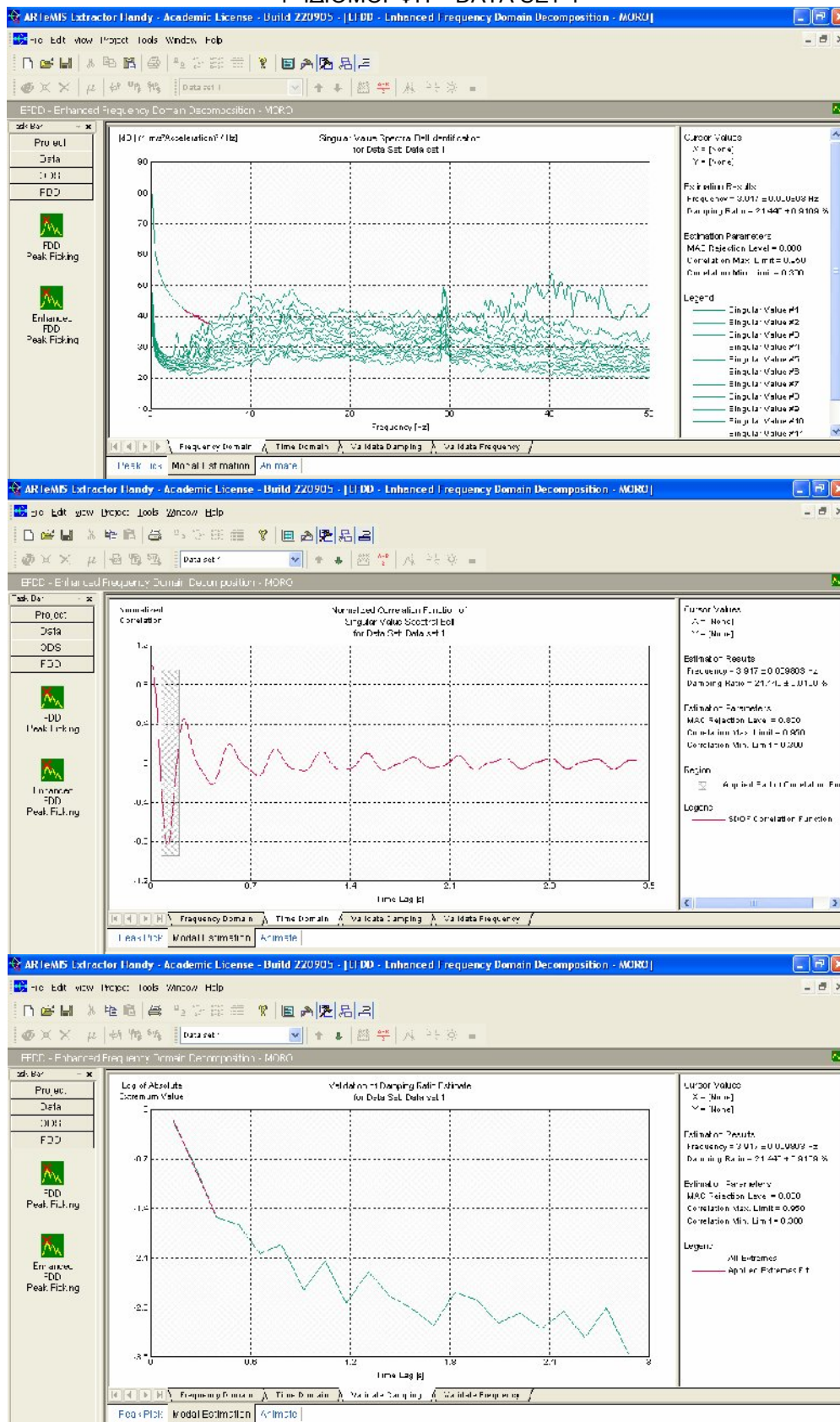
SDOF, και από την απλή ανάλυση απόκλισης; Λαμβάνουμε τις εκτιμήσεις της φυσικής συχνότητας και της αναλογίας απόσβεσης.

Η εκτίμηση της αναλογίας απόσβεσης εκτελείται από τον προσδιορισμό των θετικών και αρνητικών άκρων της συνάρτησης συσχετισμού. Η λήψη του λογαρίθμου αυτής της αποσυντεθειμένου καμπύλης για τα ιξώδη μετριασμένα γραμμικά συστήματα θα οδηγήσει σε μια ευθεία γραμμή στην οποία η αναλογία απόσβεσης μπορεί να υπολογιστεί από τη γραμμική απόκλιση. Εντούτοις, λόγω του ευρύς-ενωμένων θορύβου ή/και των μη γραμμικοτήτων μπορεί η αρχή και το τέλος της καμπύλης να μην είναι ευθεία. Τέτοια μη-ευθύ μέρη δεν πρέπει να περιληφθούν στην απόκλιση.

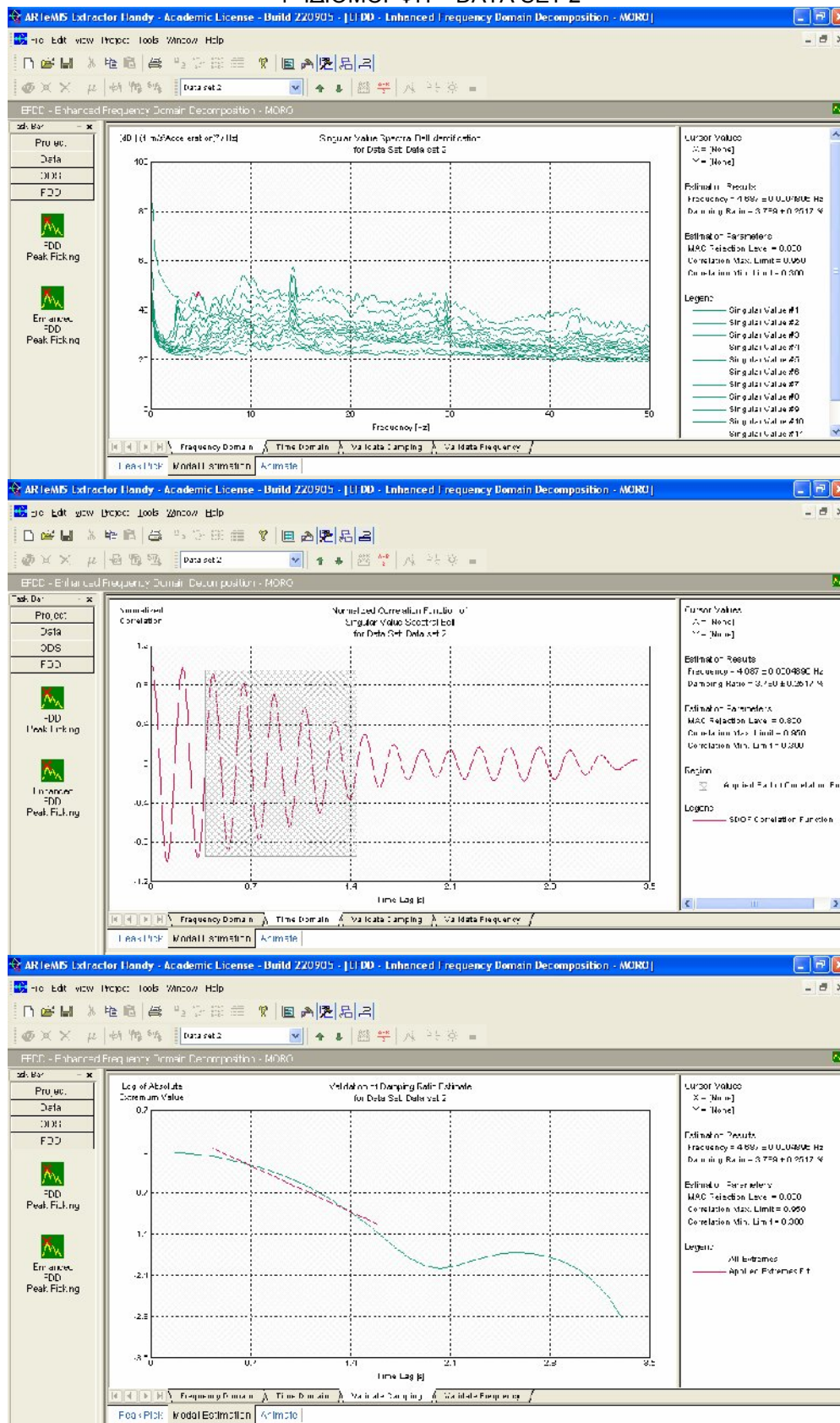
Αυτές οι εκτιμήσεις ιδιομορφών θα είναι καλές εάν η συνάρτηση συσχετισμού αποσυντίθεται σε ένα αρκετά μικρό επίπεδο συσχετισμού. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί από την κατοχή επαρκούς ανάλυσης συχνότητας. Σε αυτήν την περίπτωση η πόλωση της φυσικής συχνότητας και της αναλογίας απόσβεσης θα είναι μικρή.

Για το Νεώριο του Μόρο προκύπτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια για την εκτίμηση των ιδιομορφικών παραμέτρων.

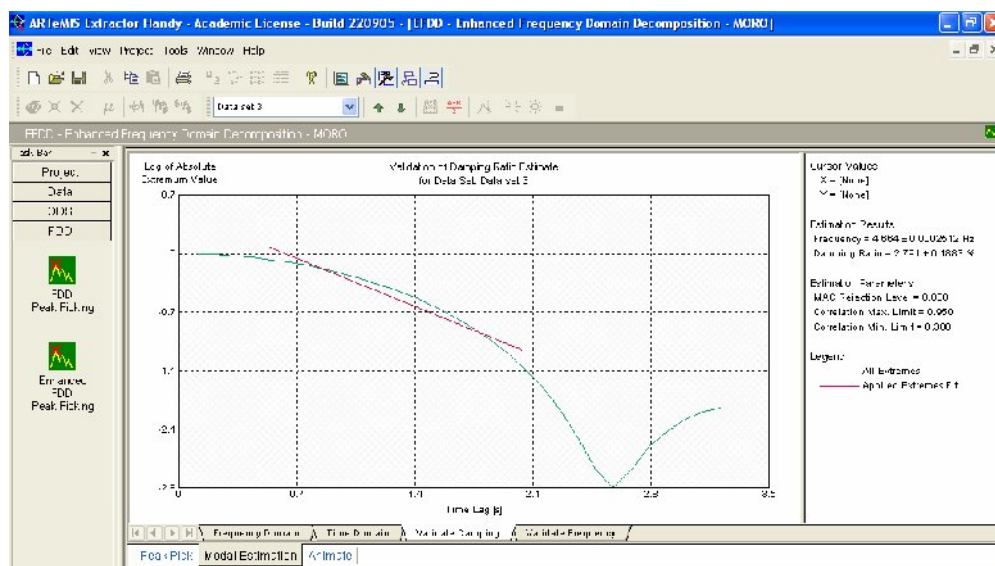
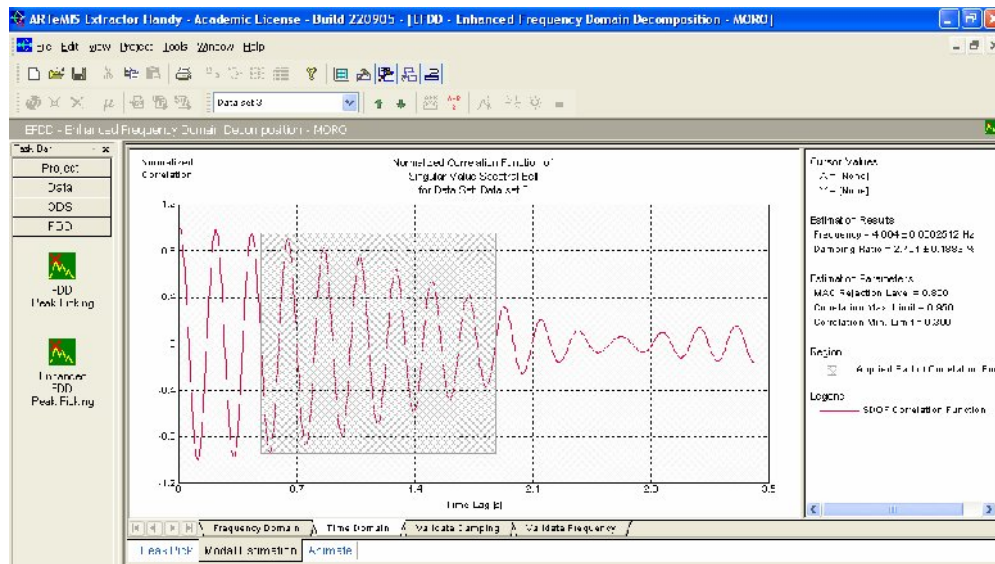
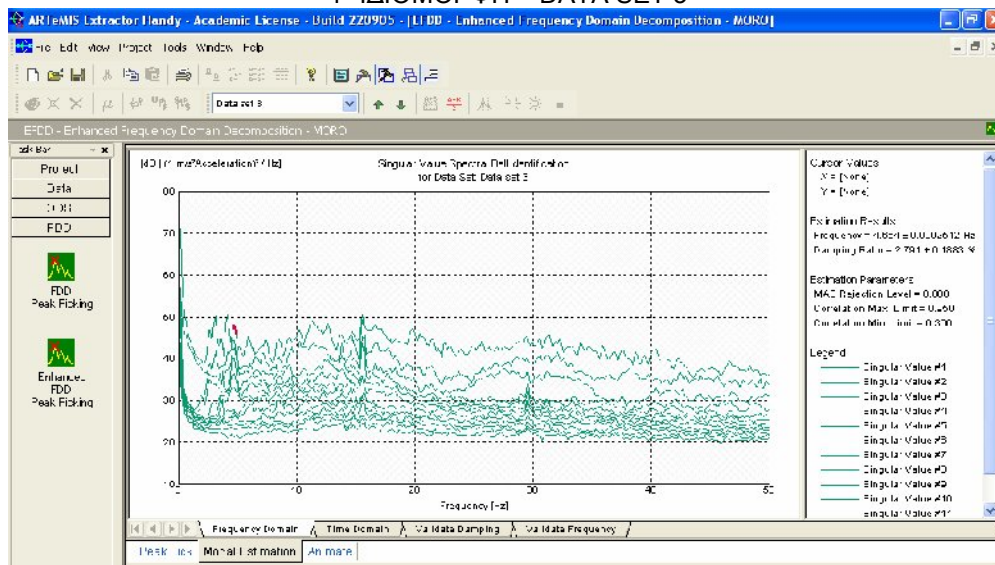
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 1



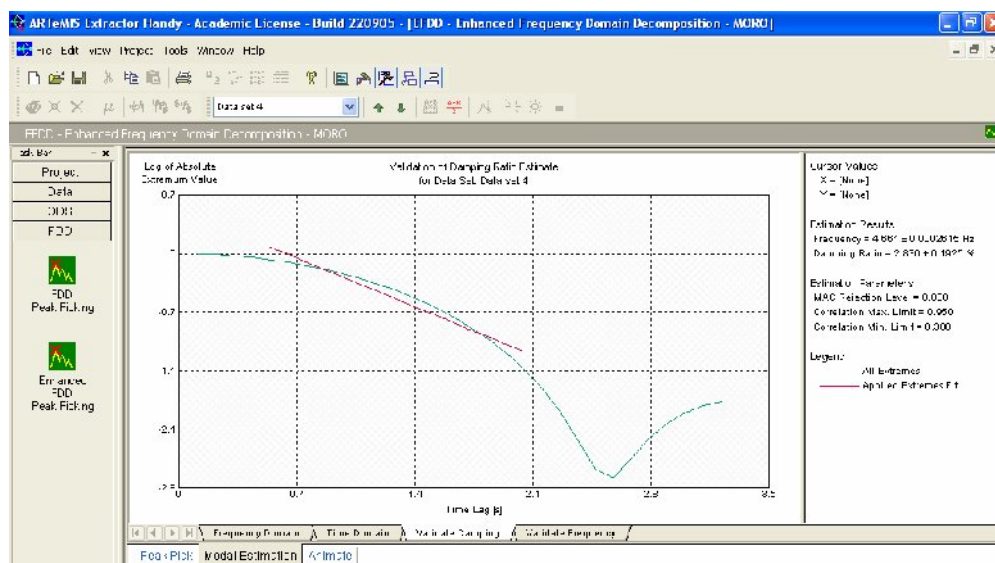
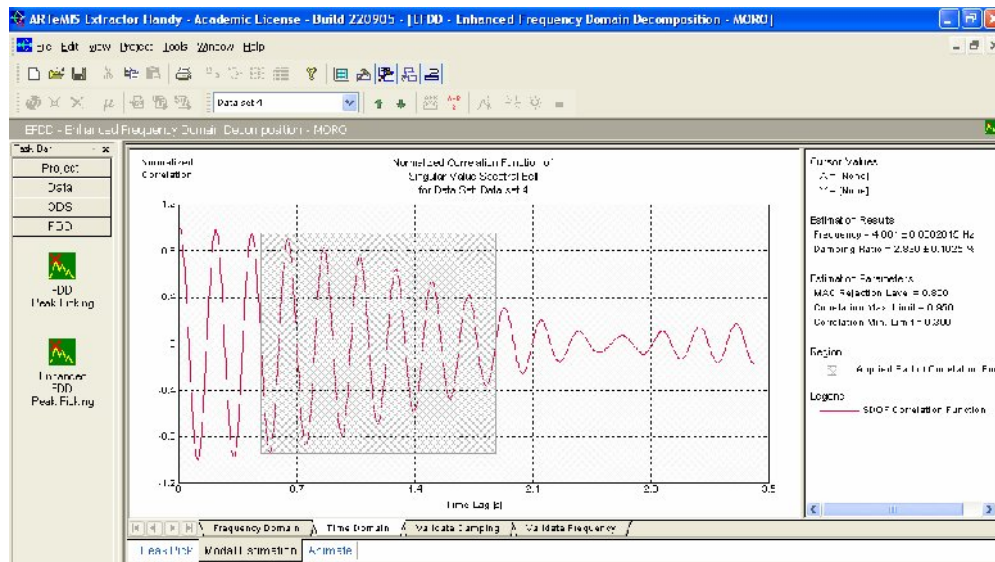
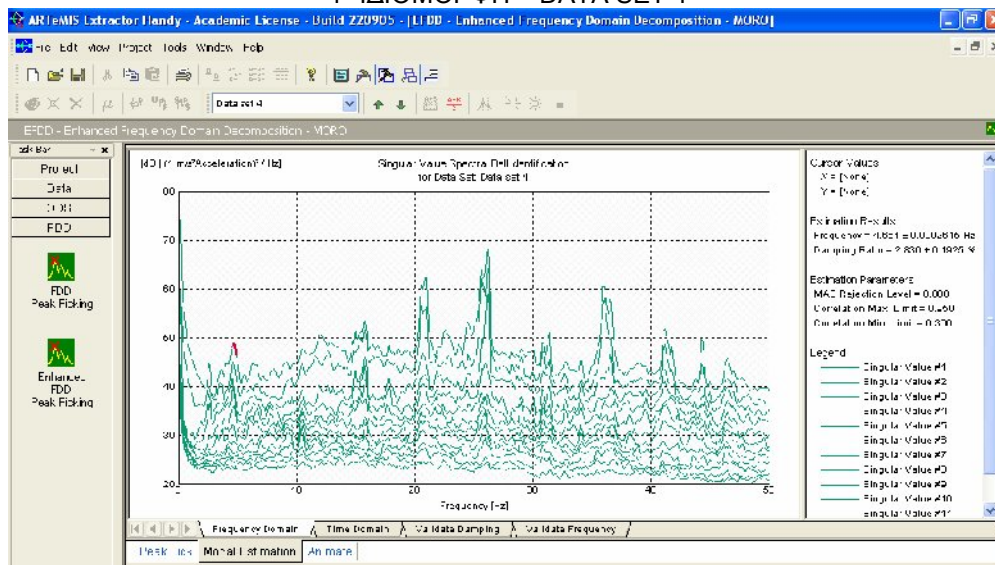
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 2



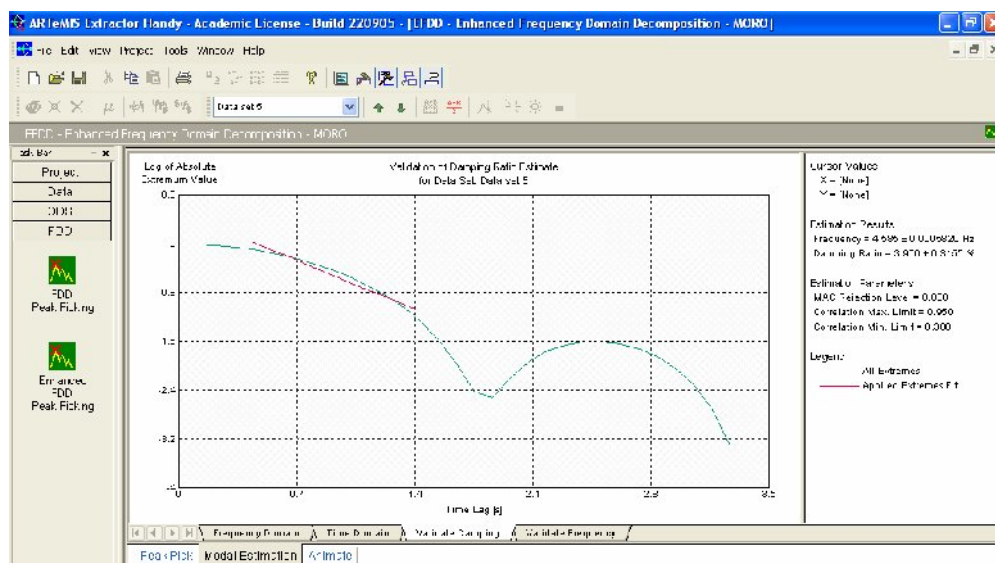
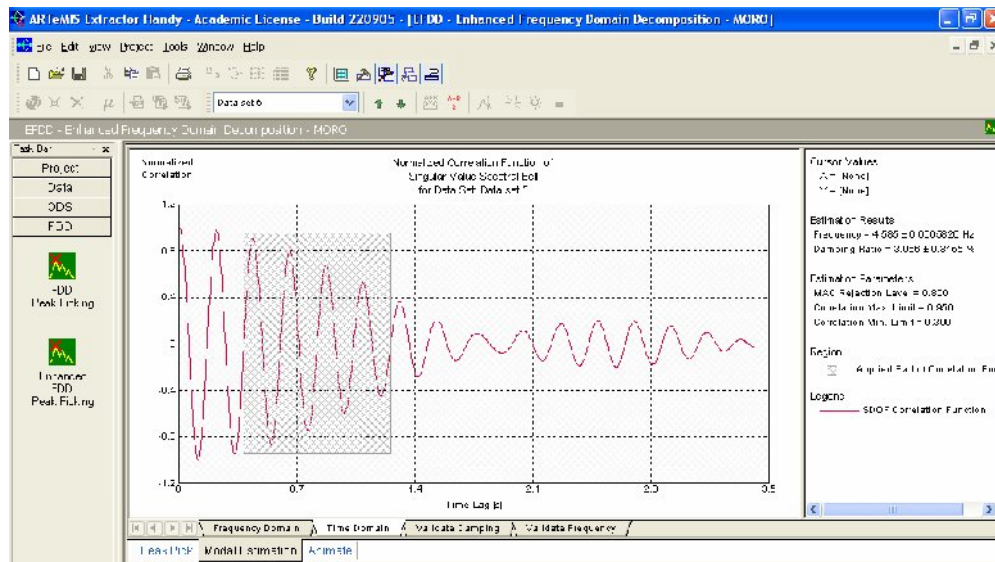
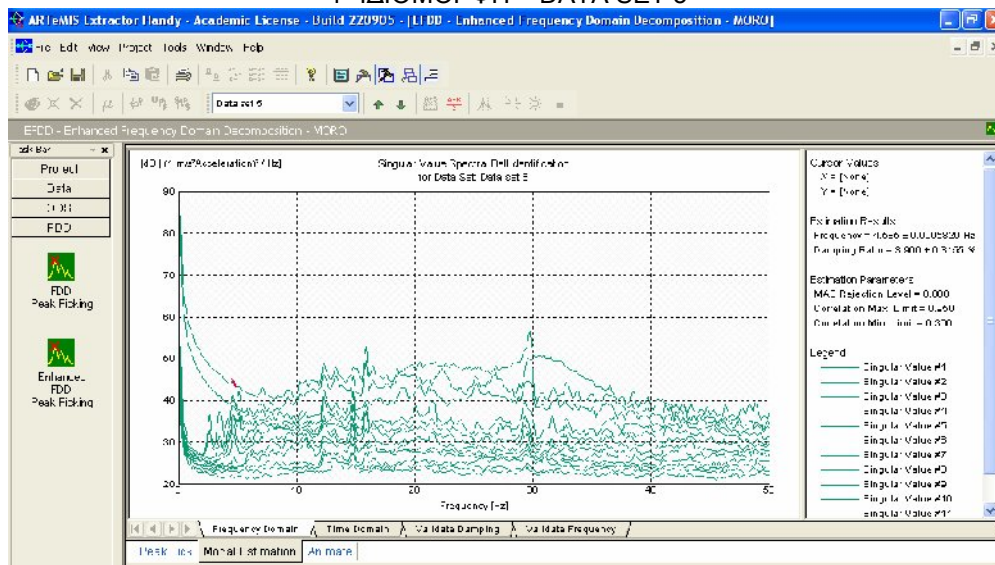
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 3



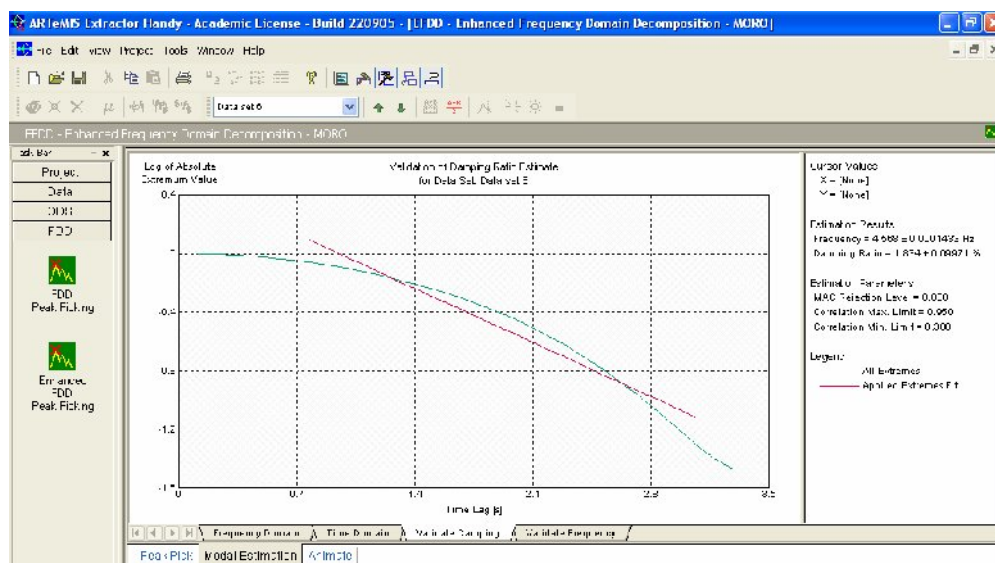
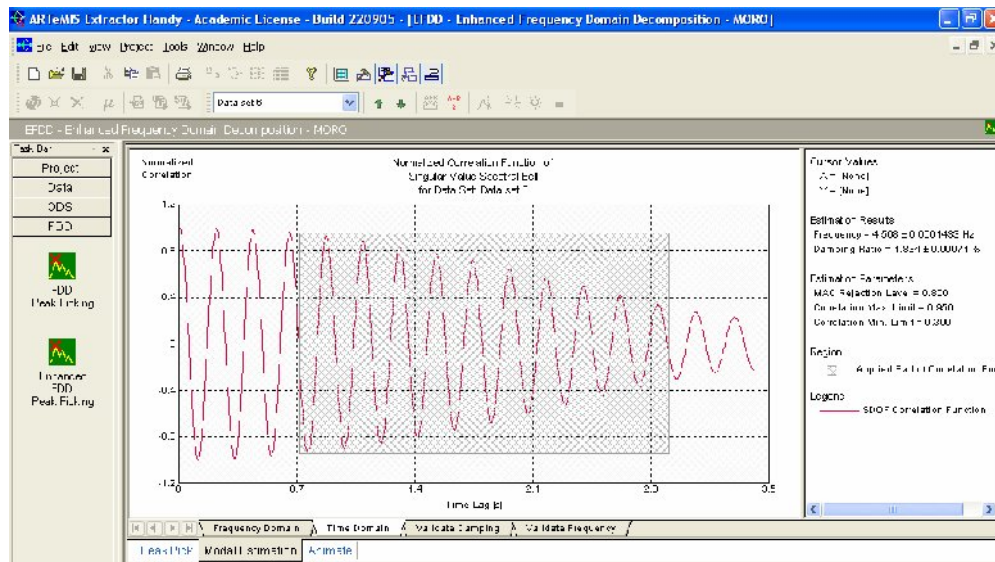
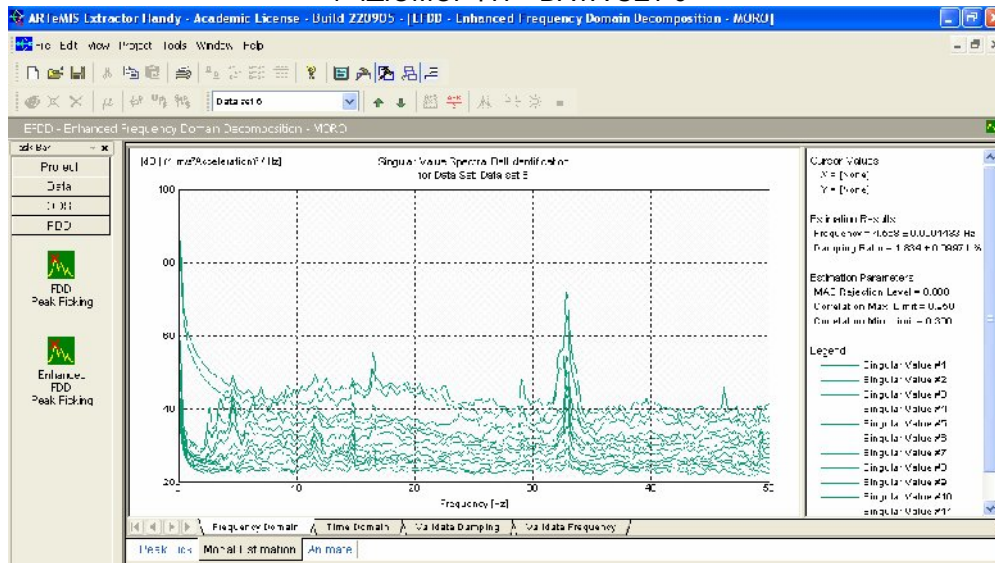
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 4



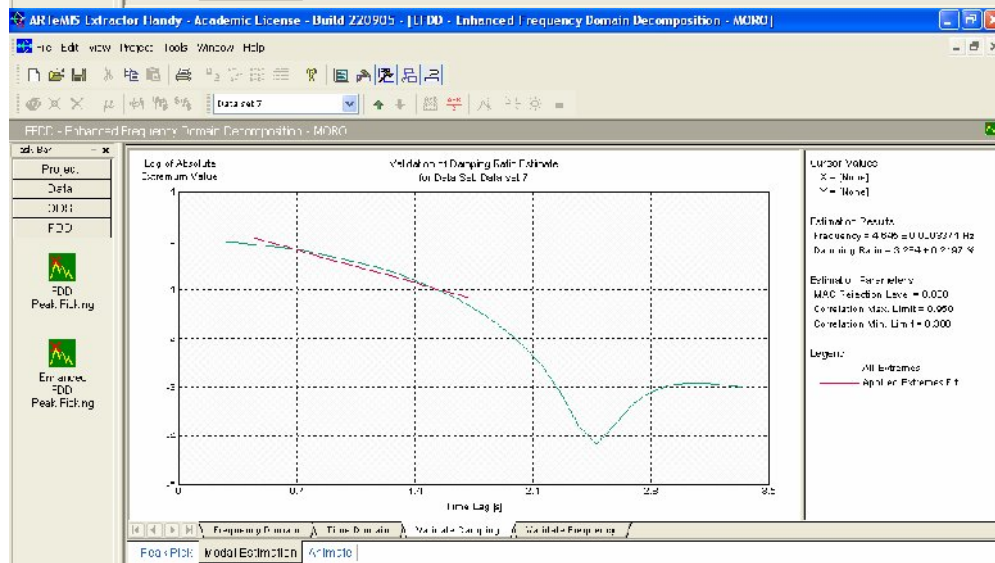
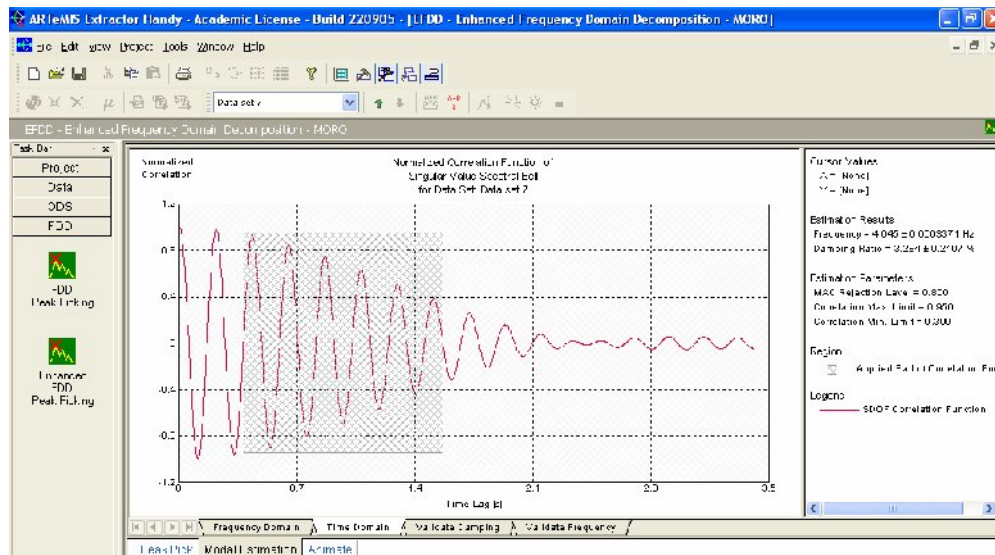
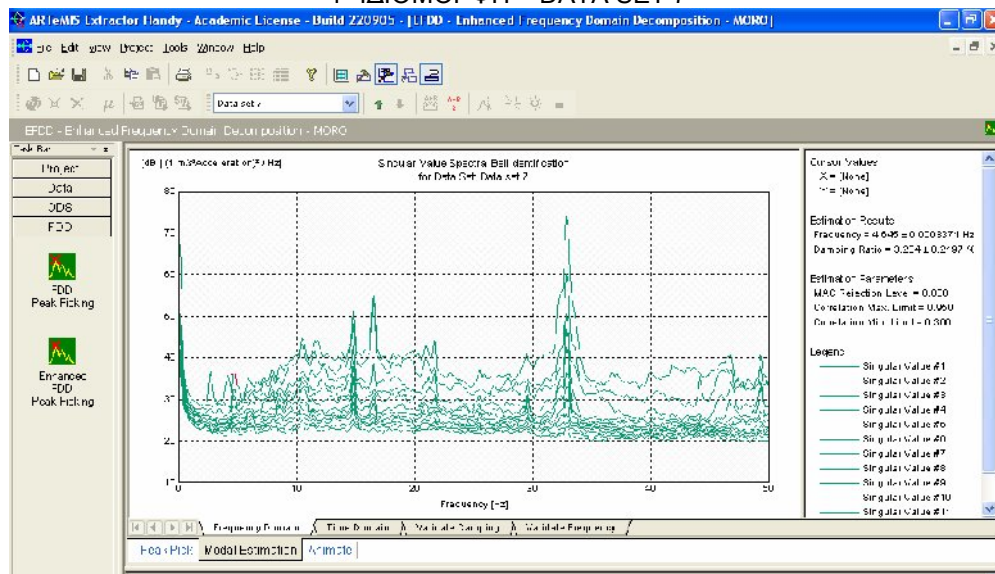
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 5



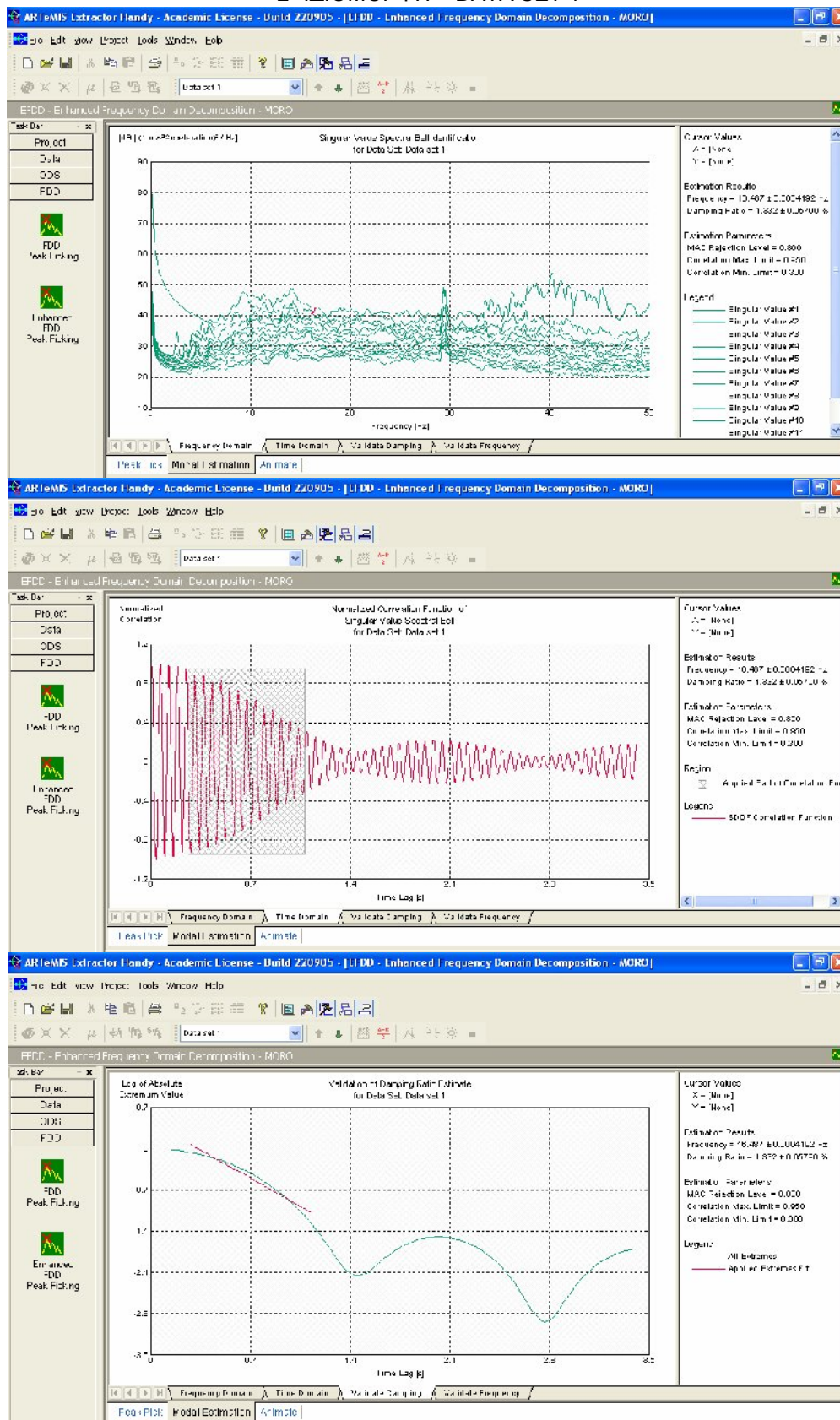
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 6



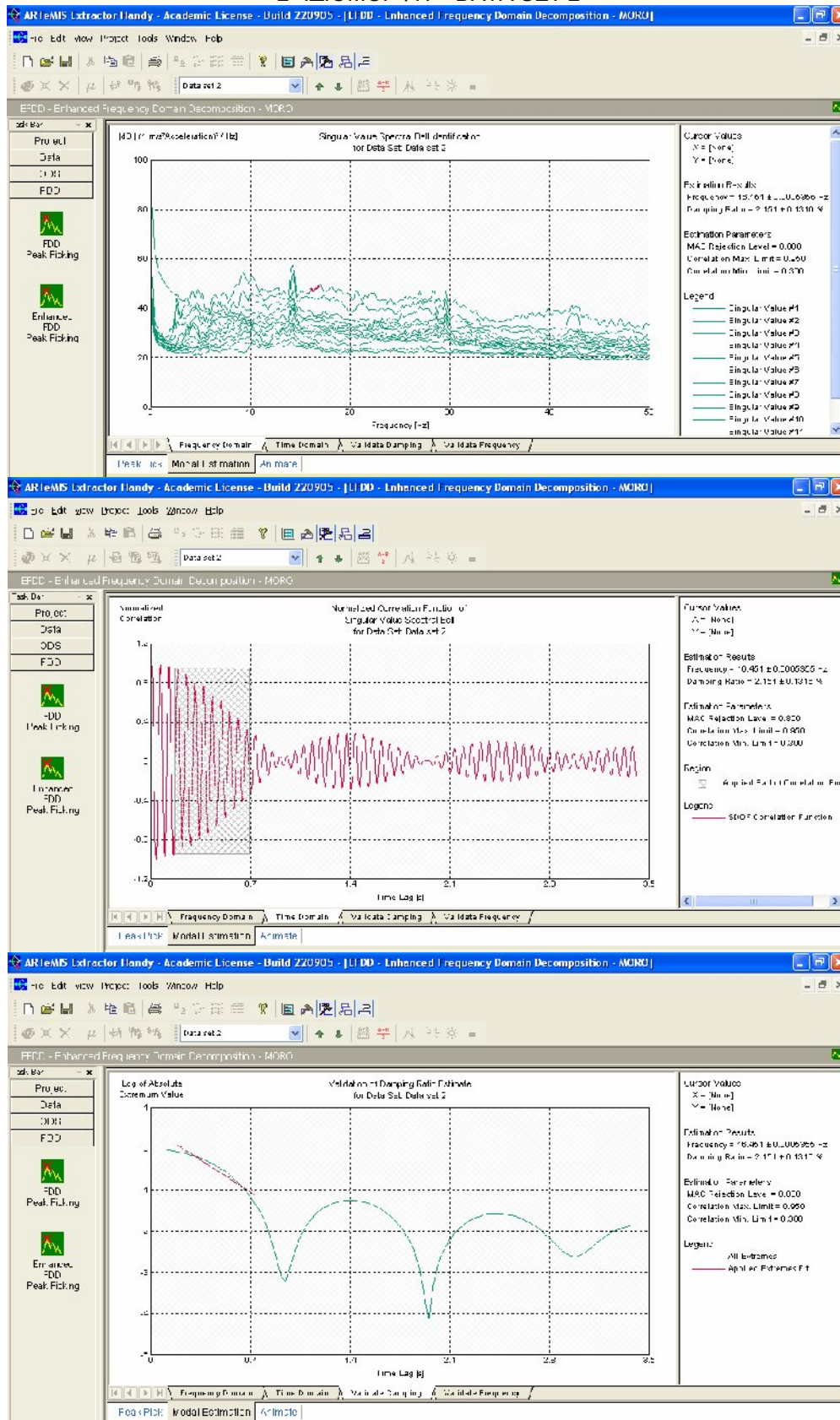
1^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 7



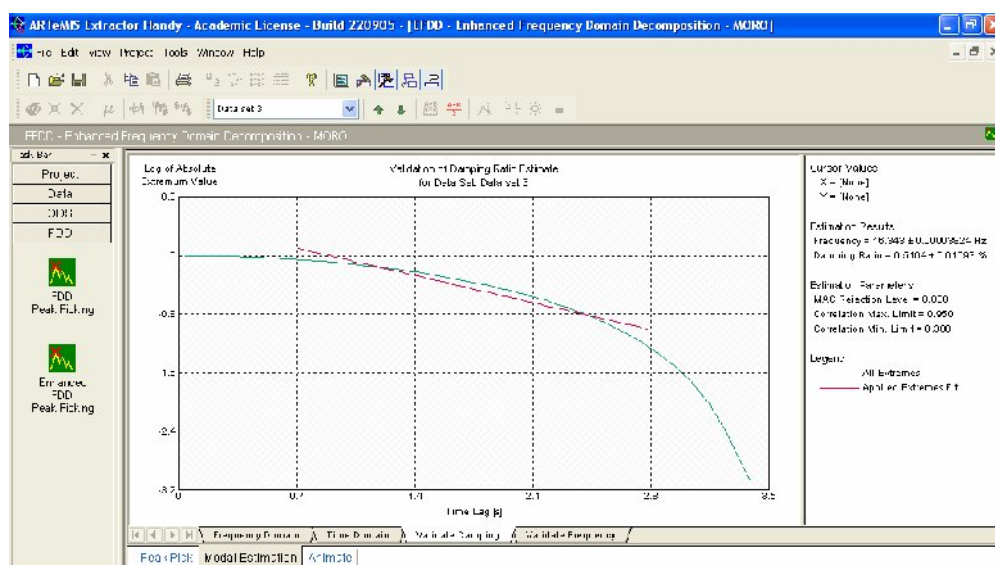
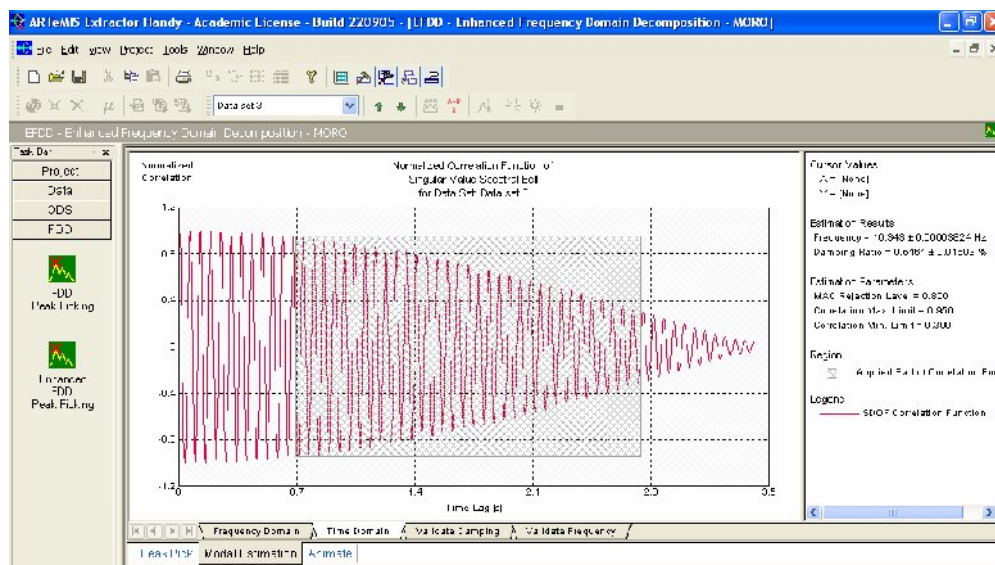
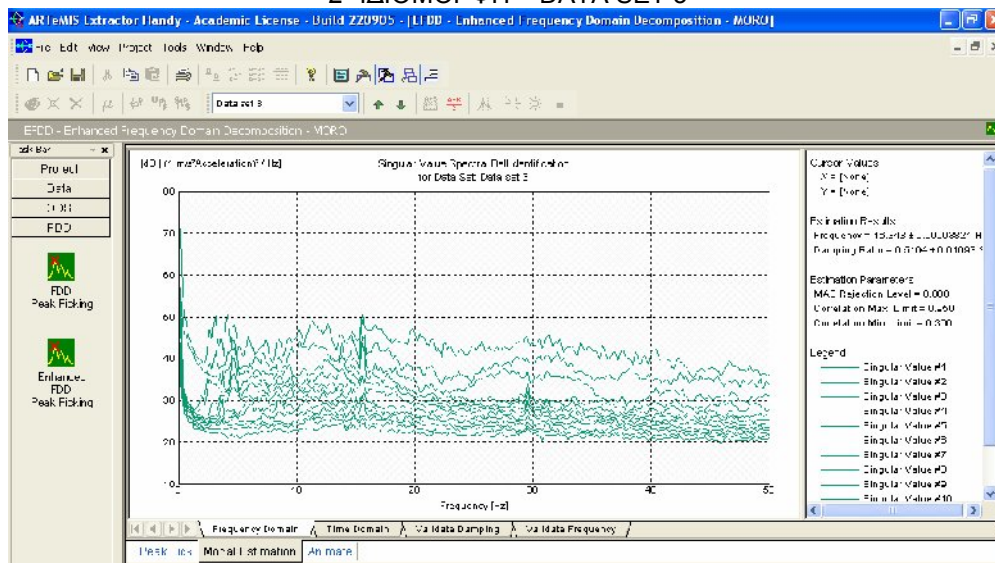
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 1



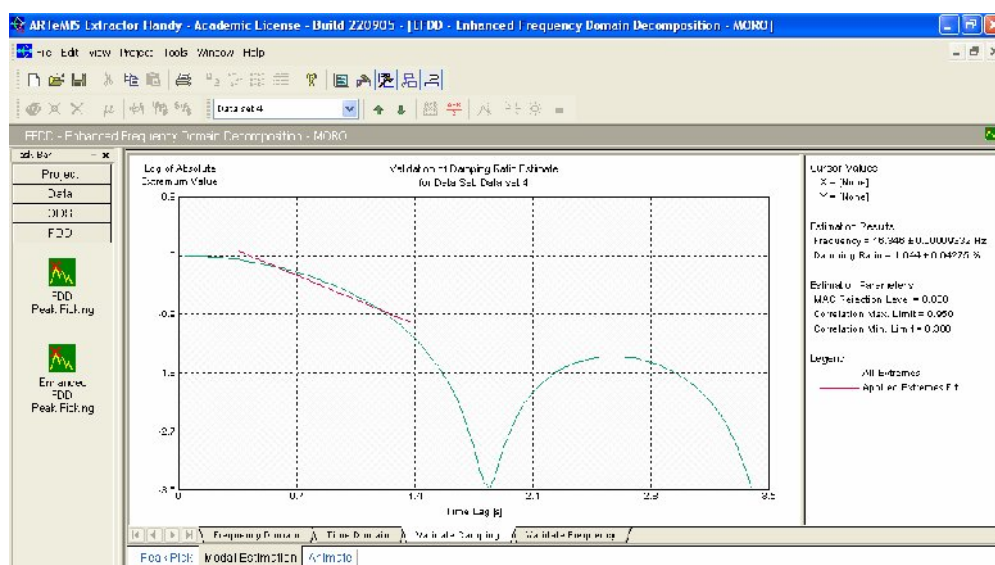
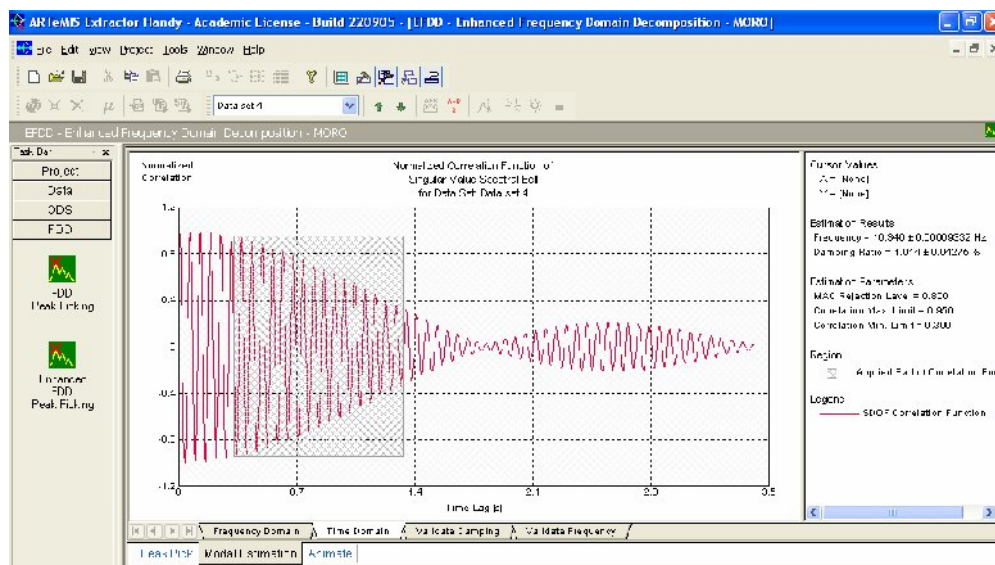
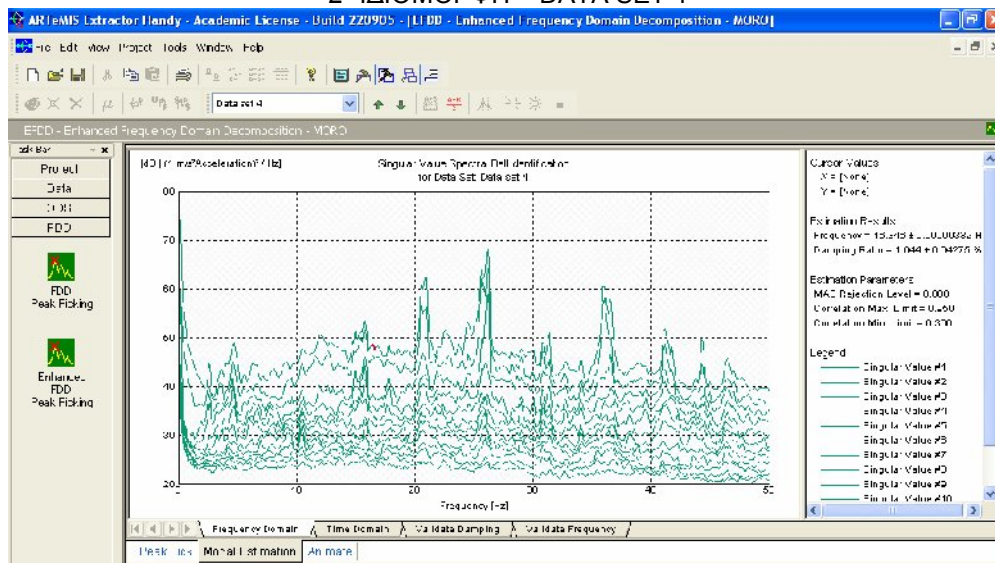
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 2



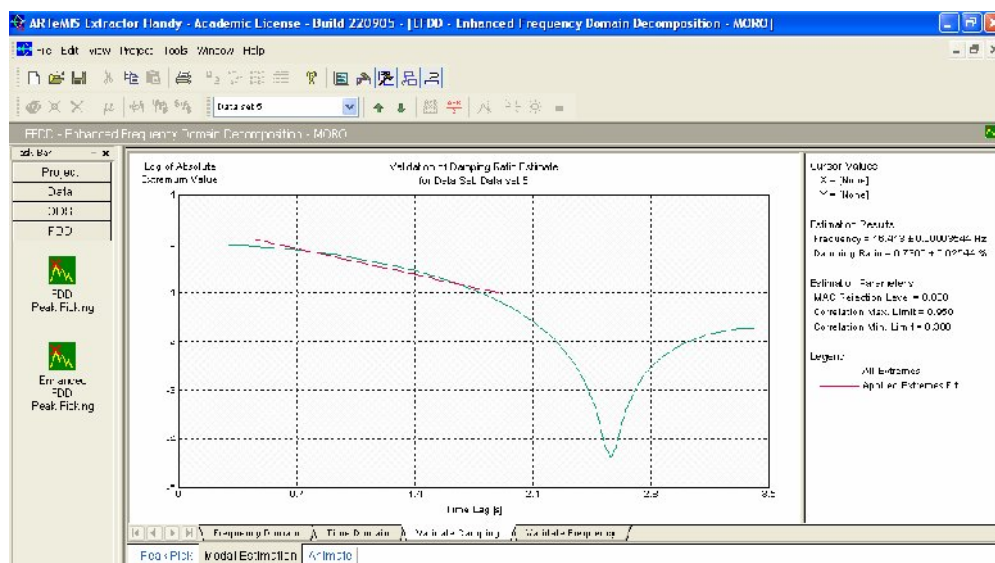
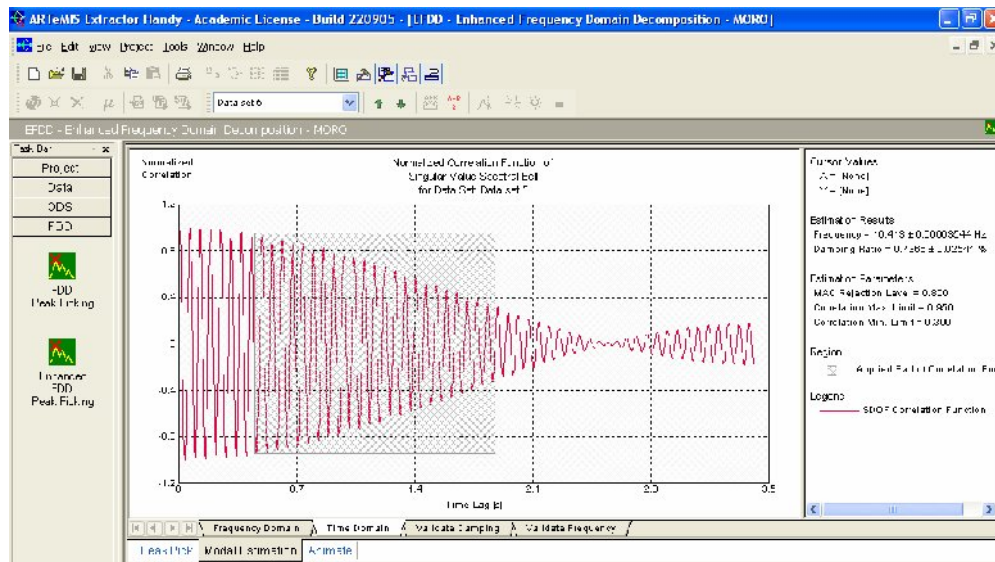
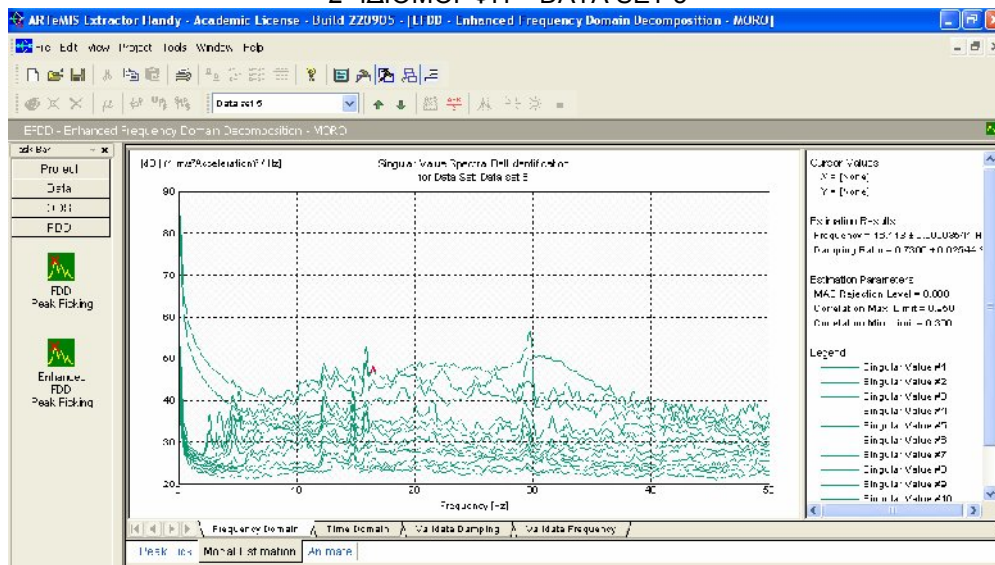
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 3



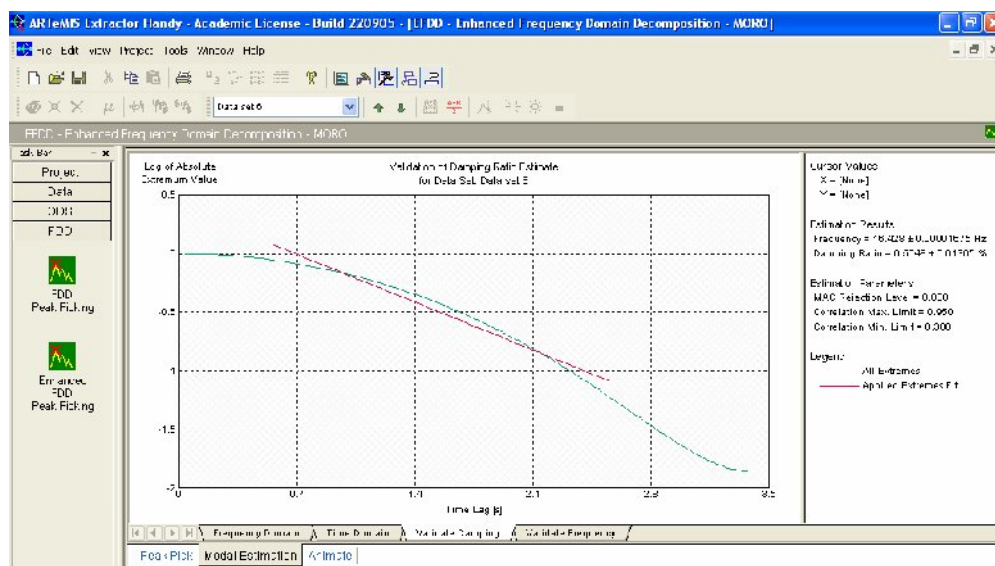
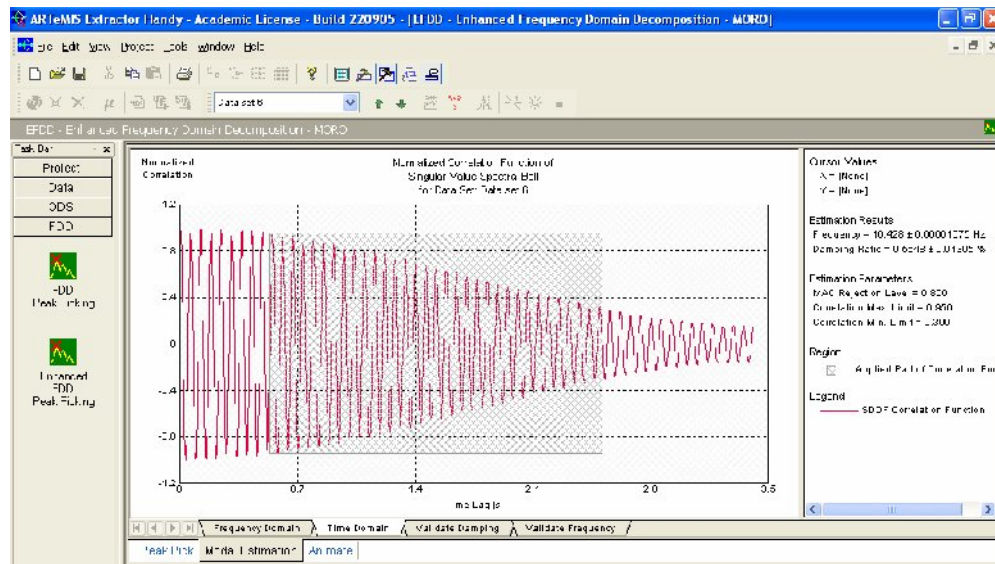
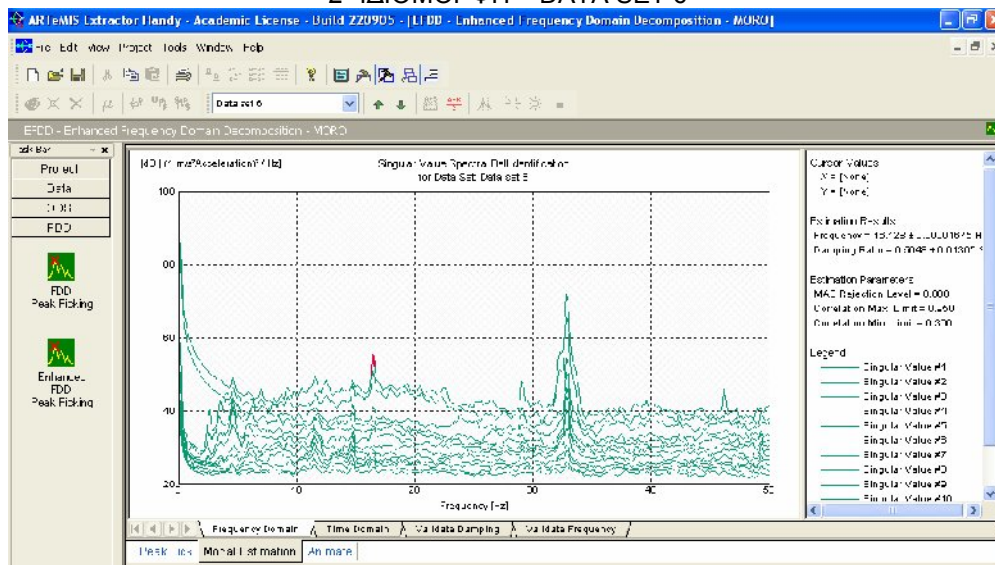
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 4



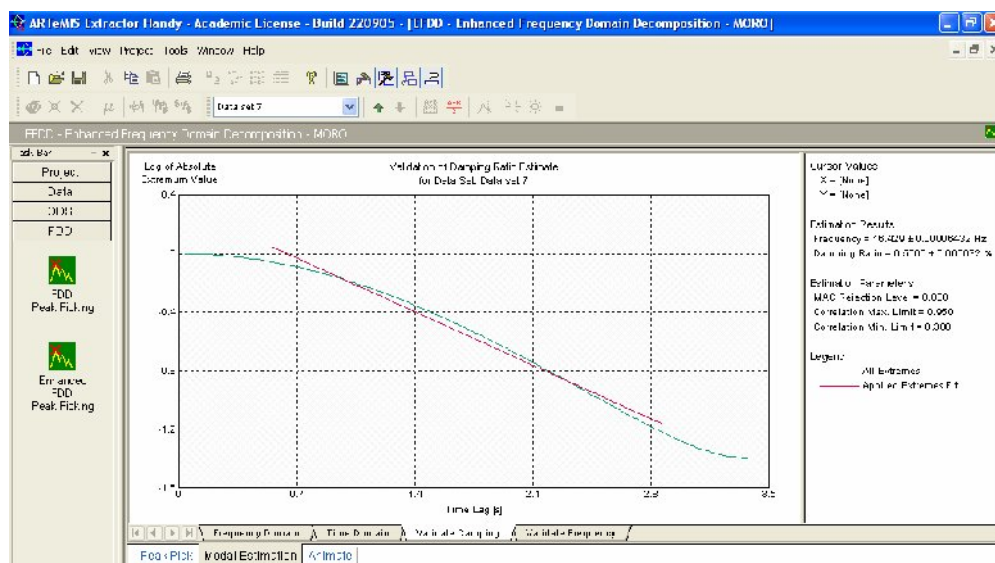
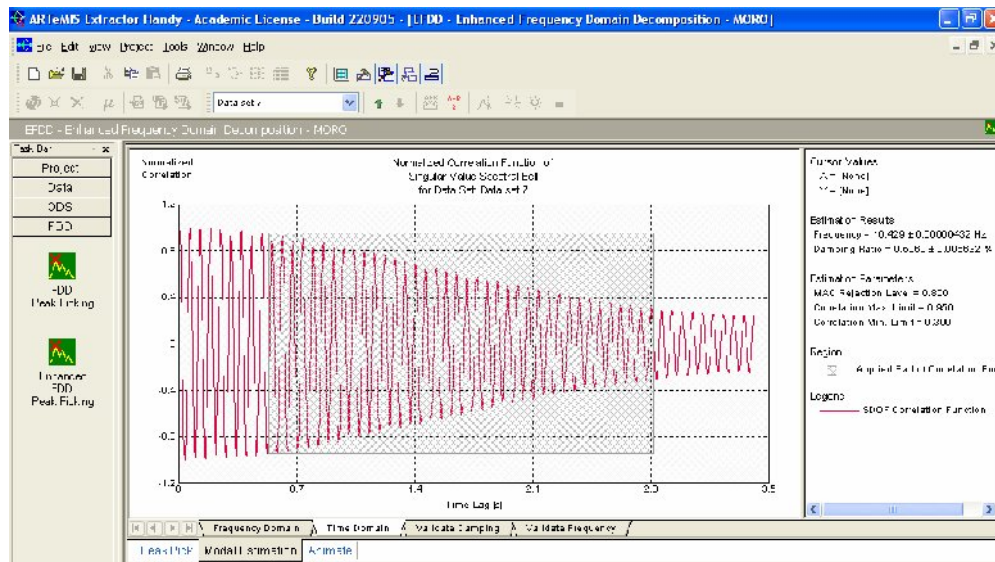
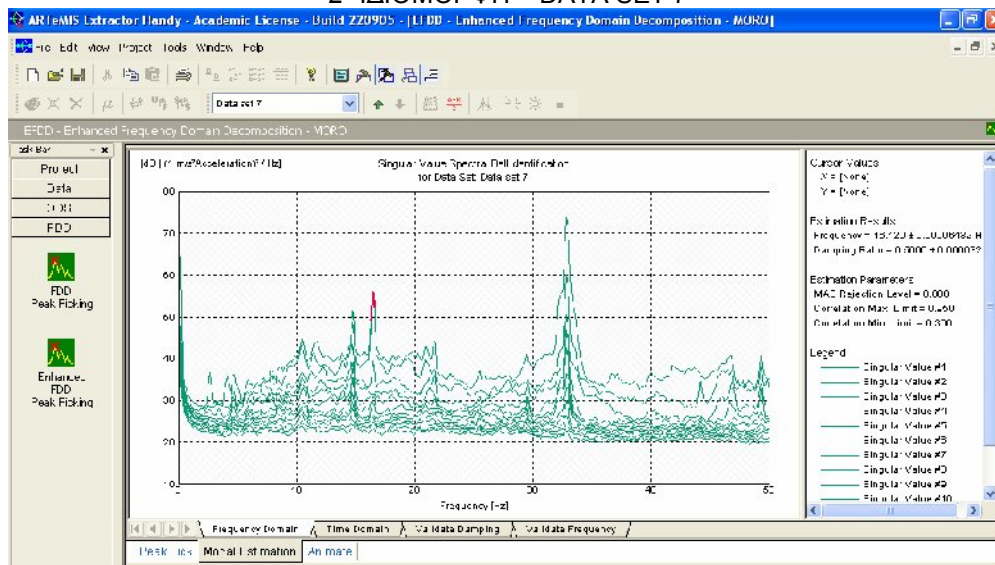
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 5



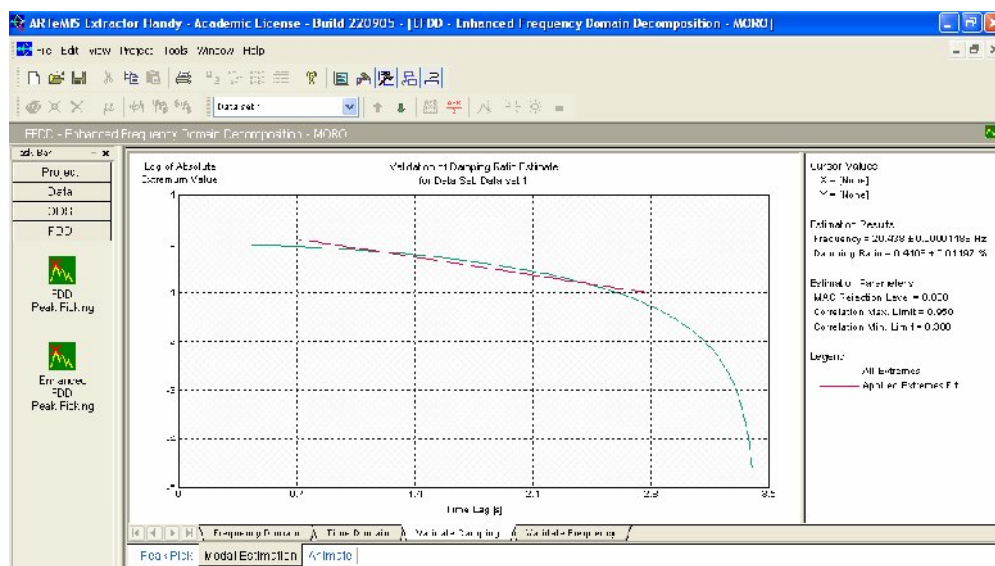
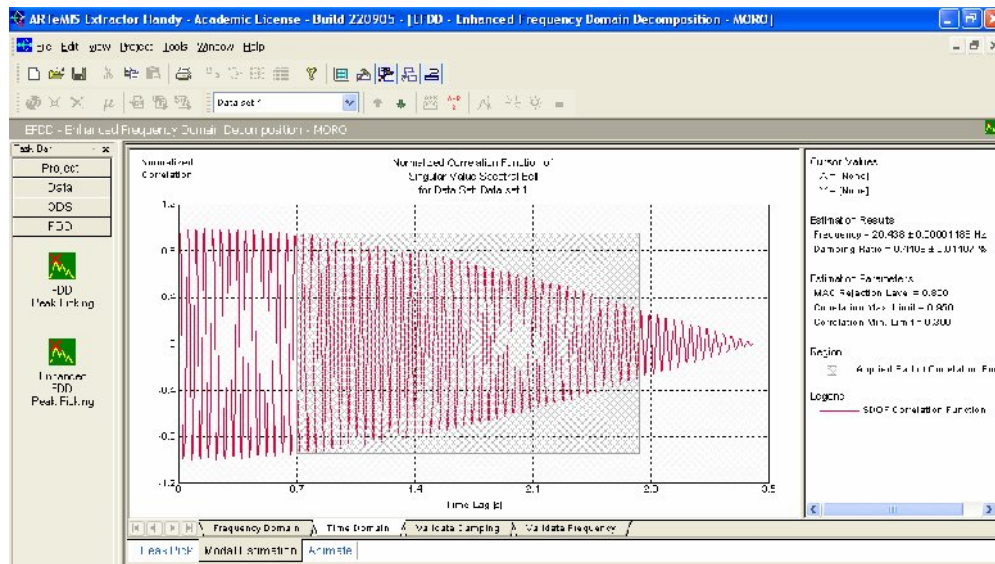
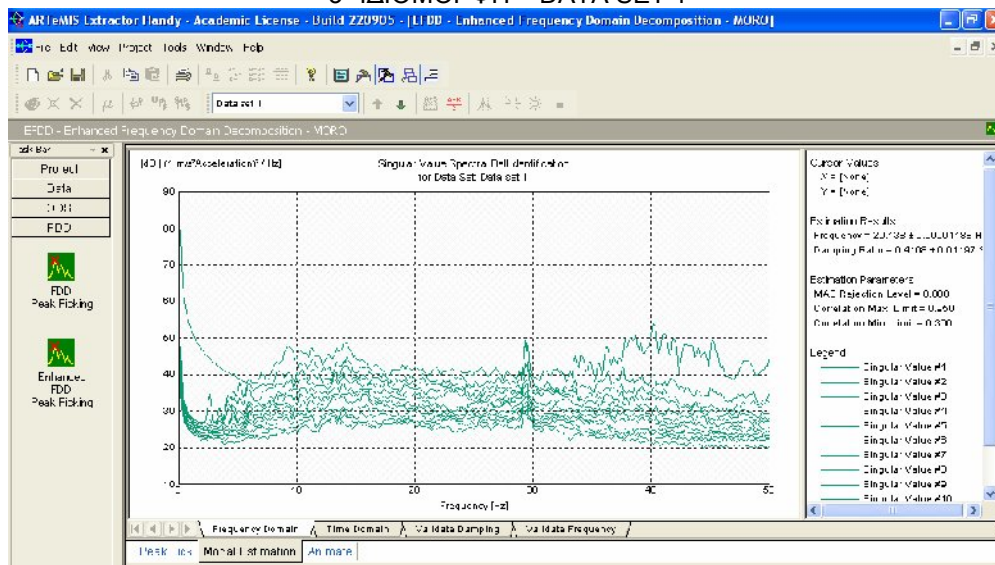
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 6



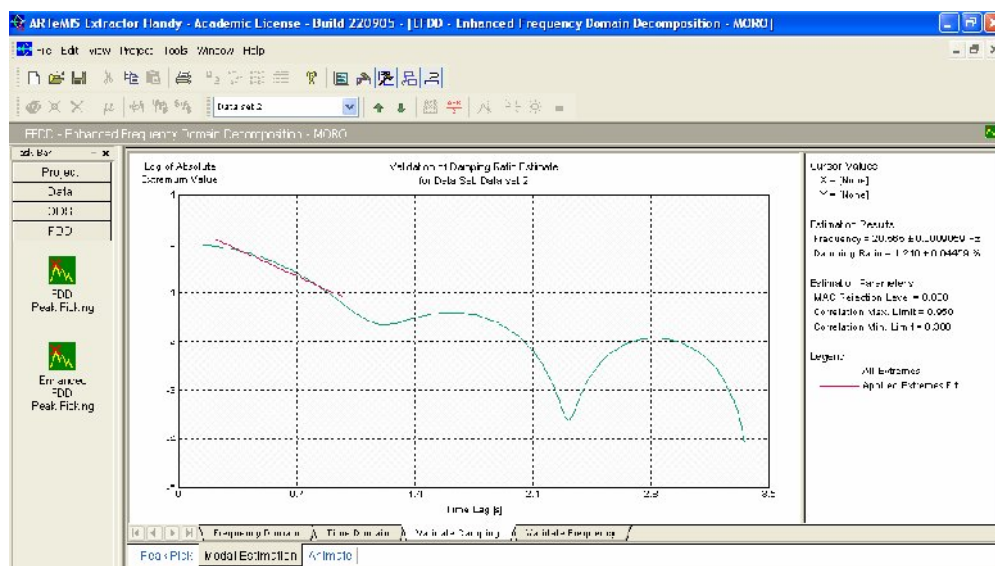
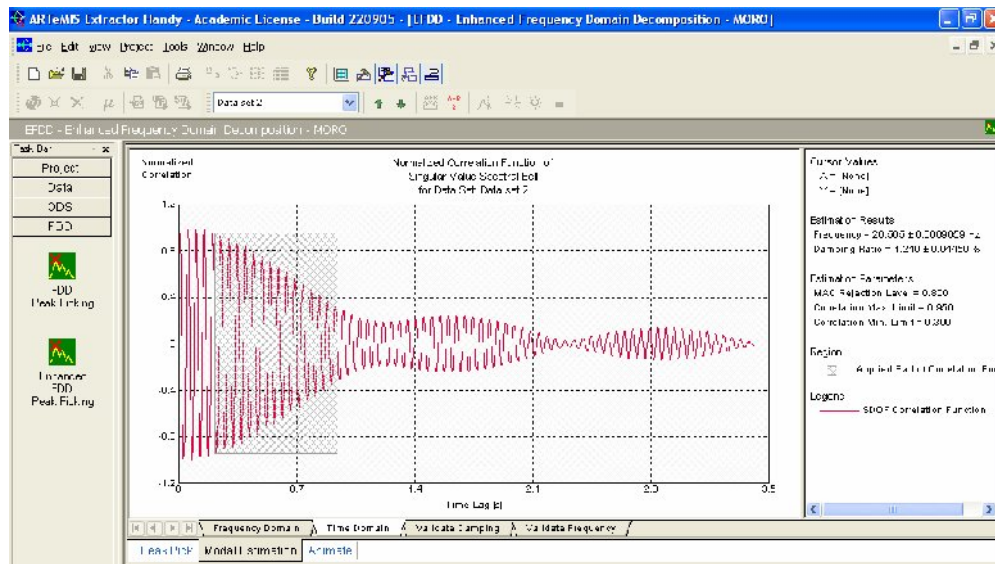
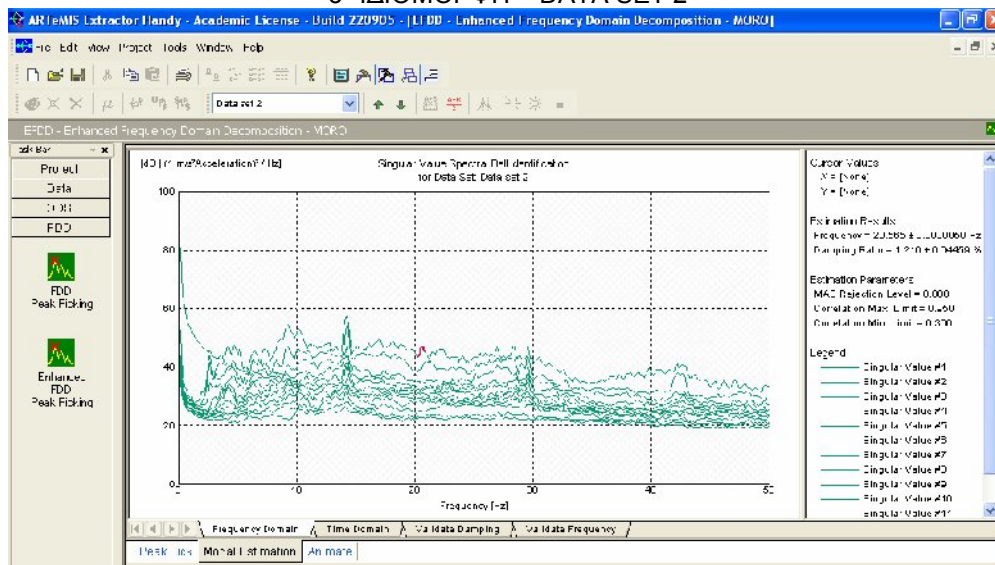
2^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 7



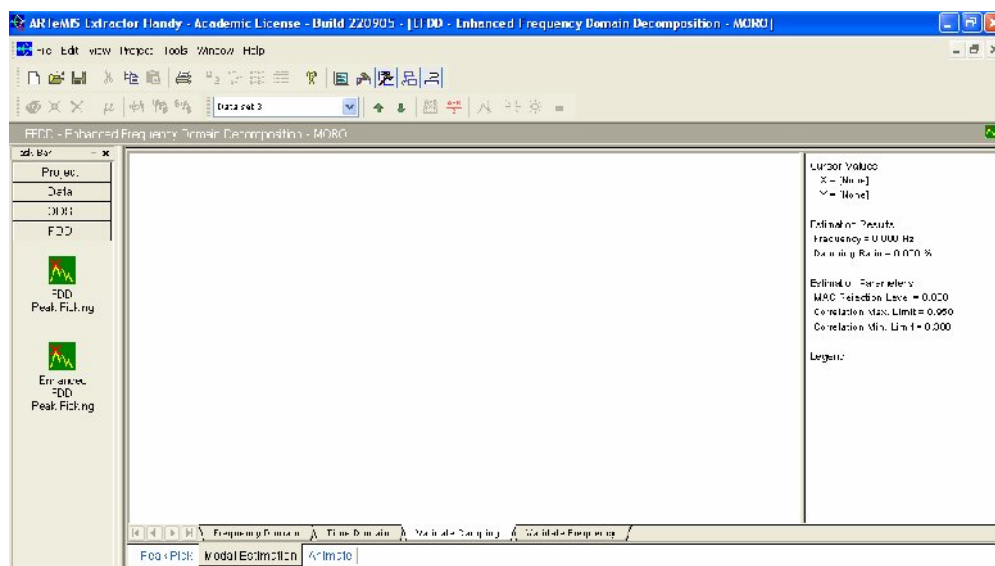
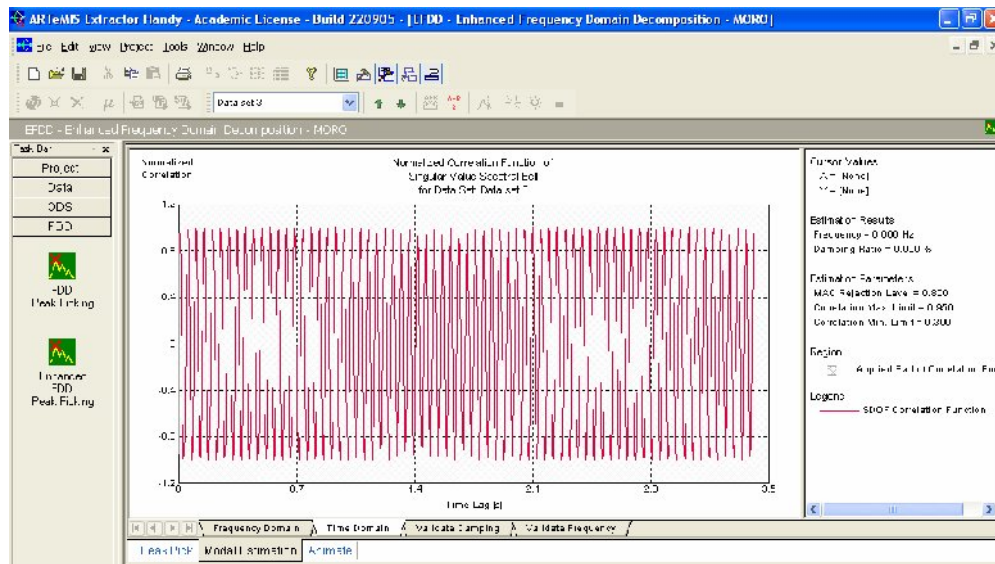
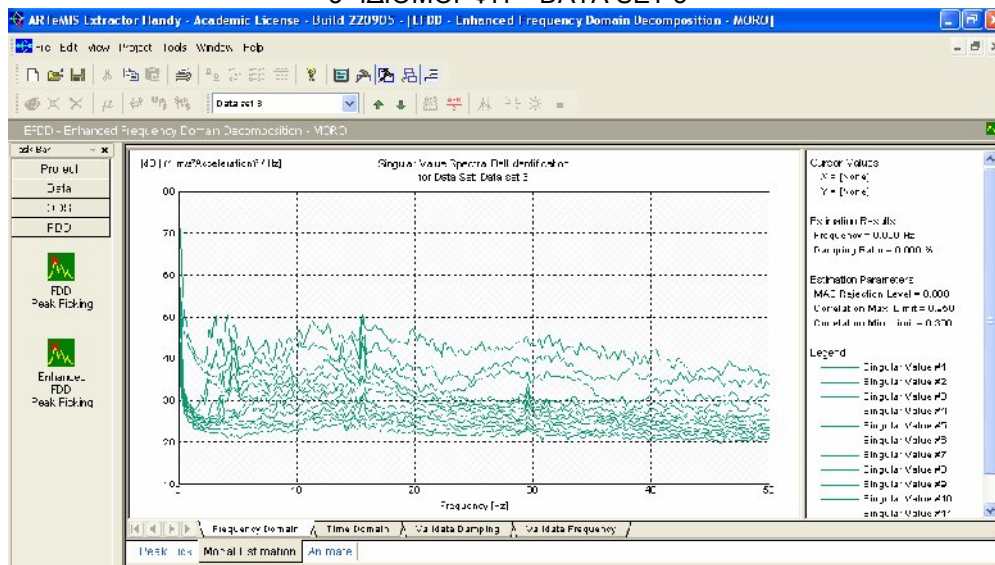
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 1



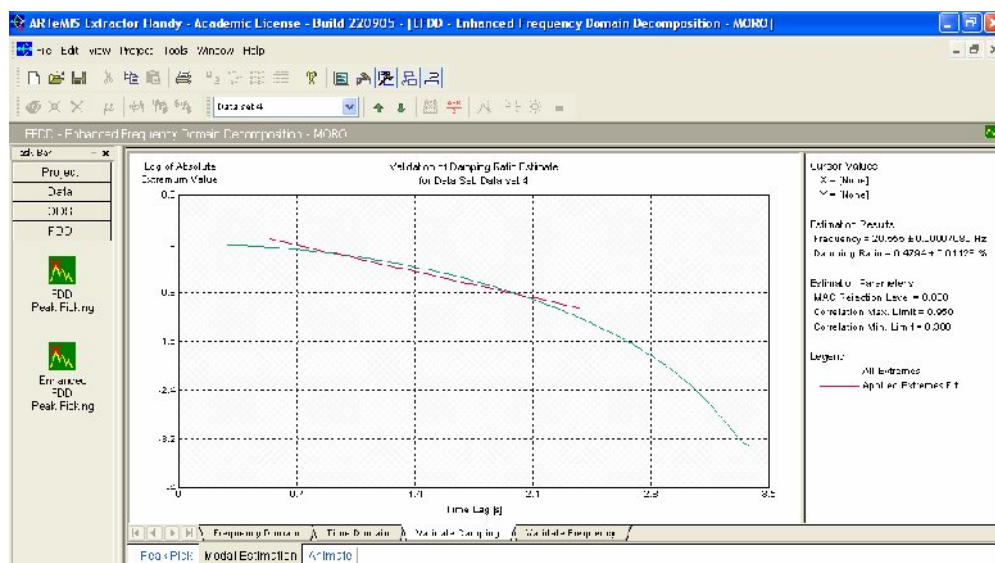
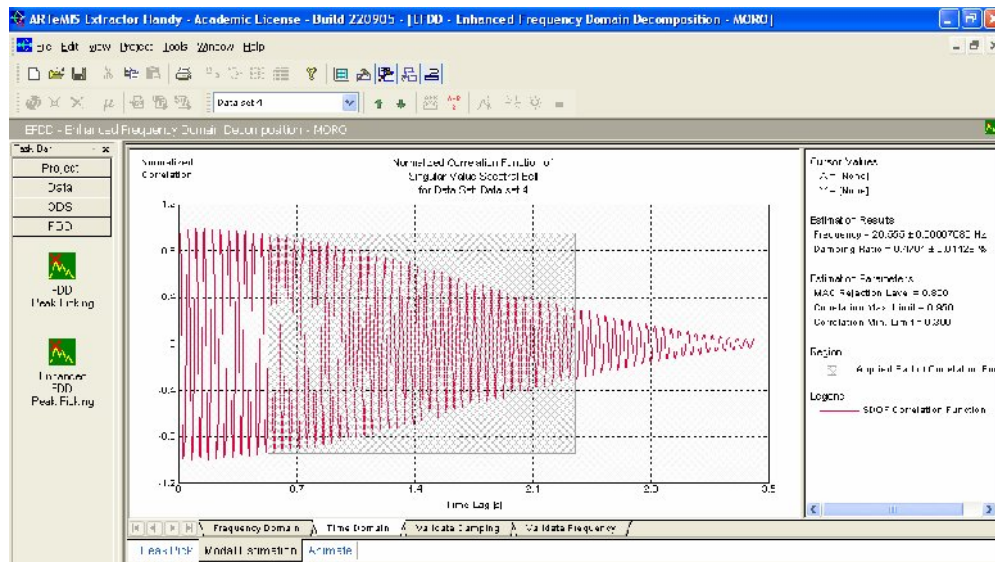
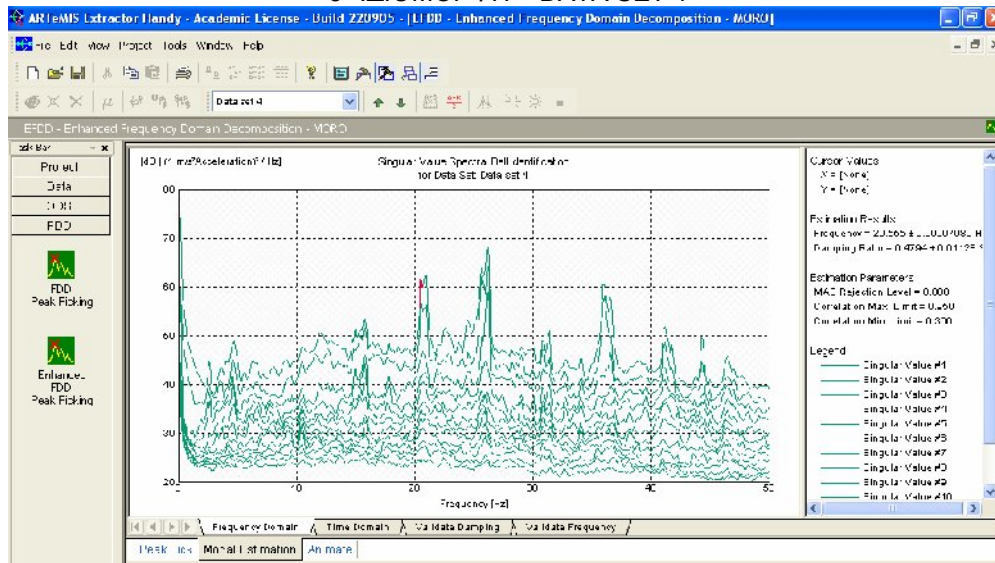
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 2



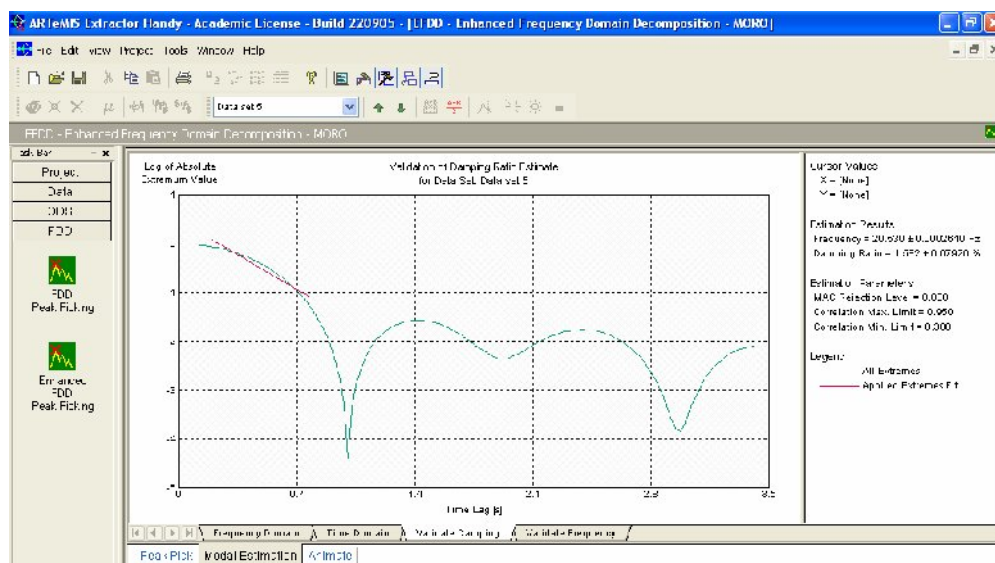
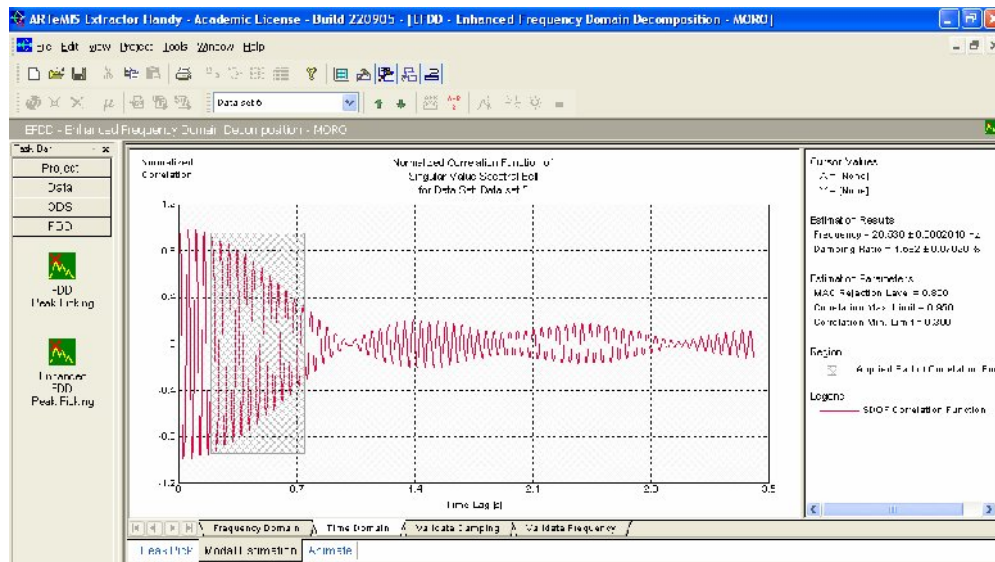
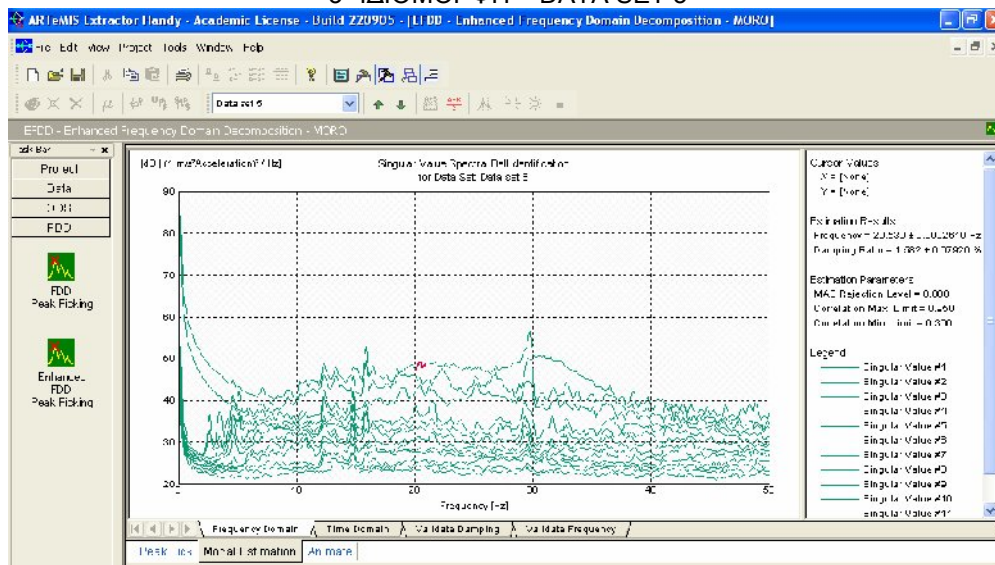
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 3



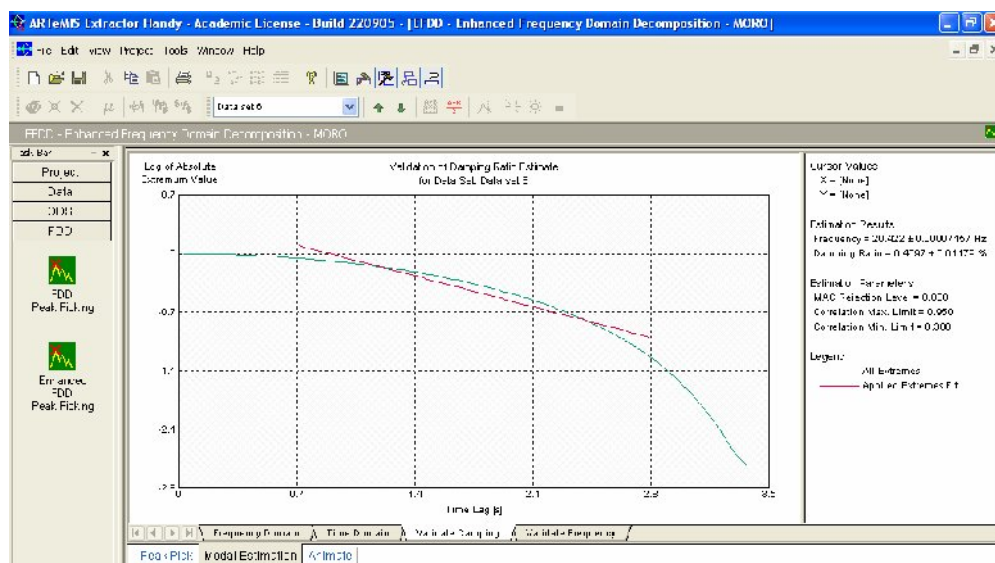
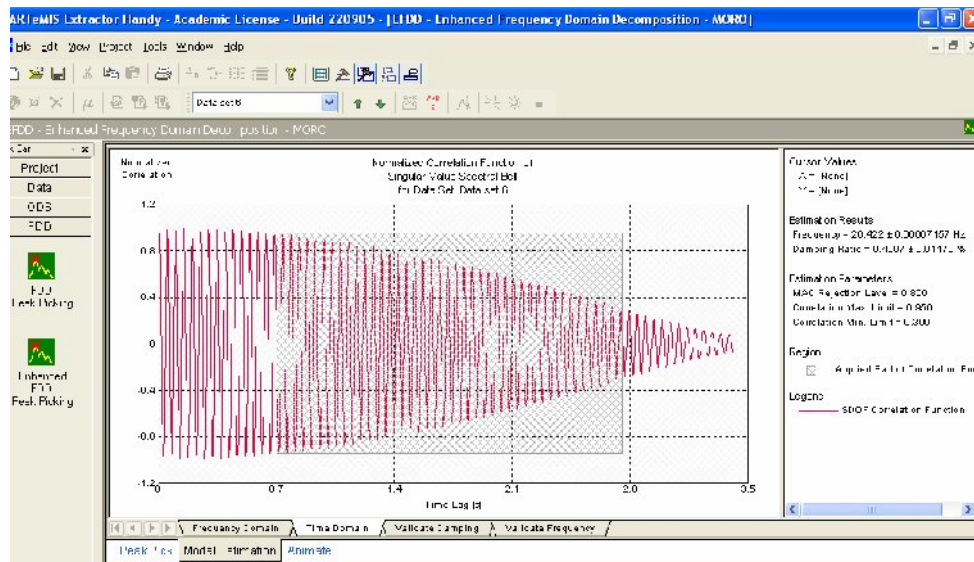
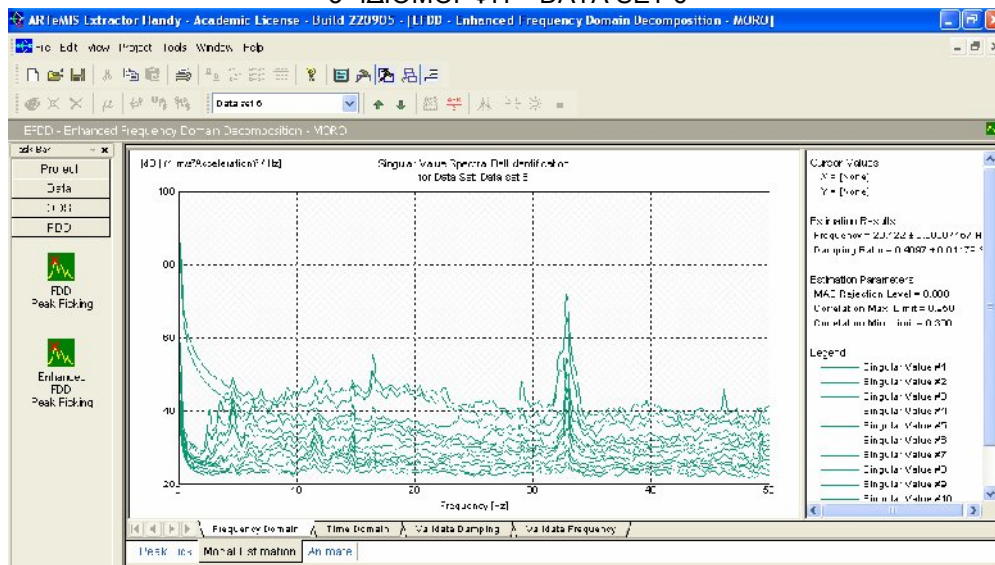
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 4



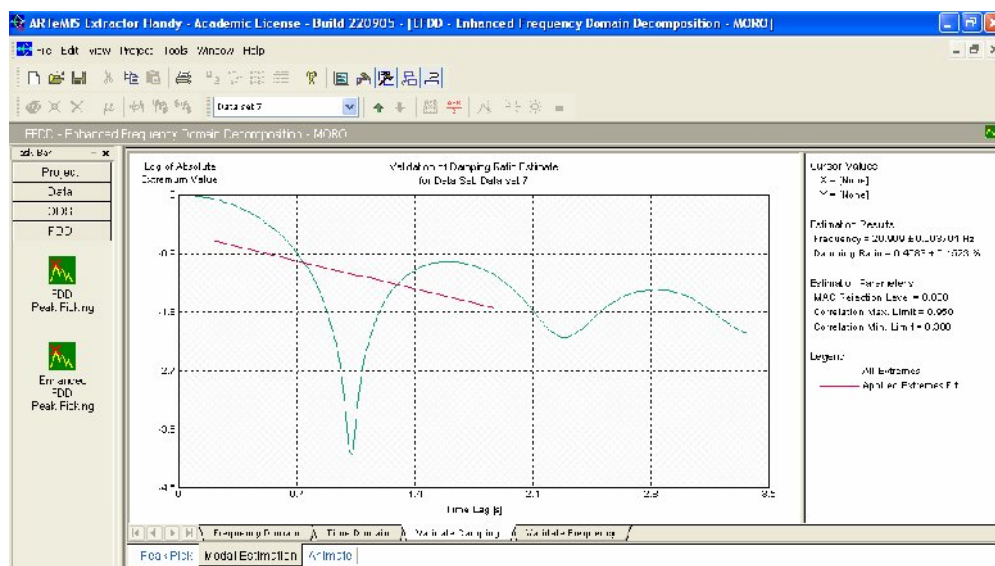
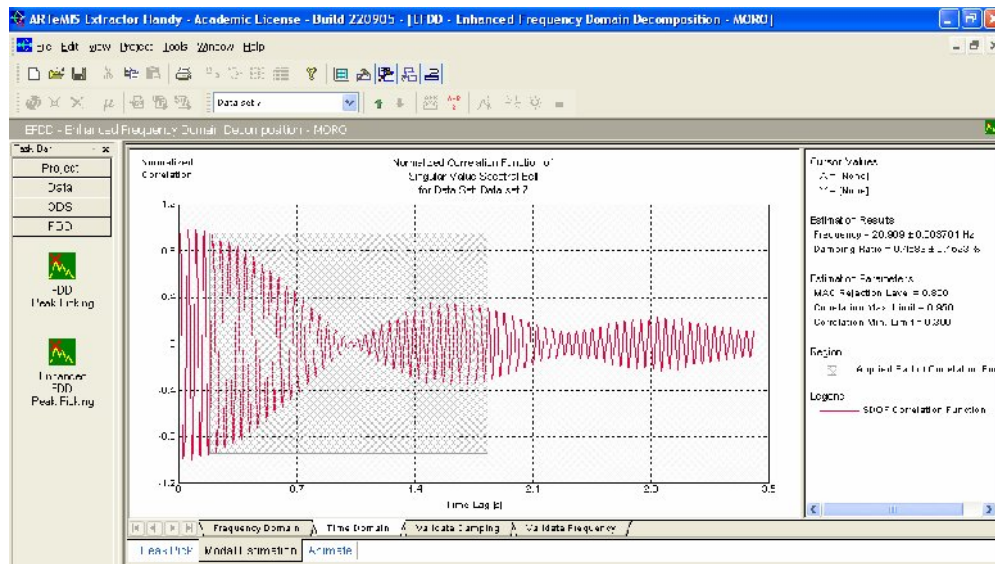
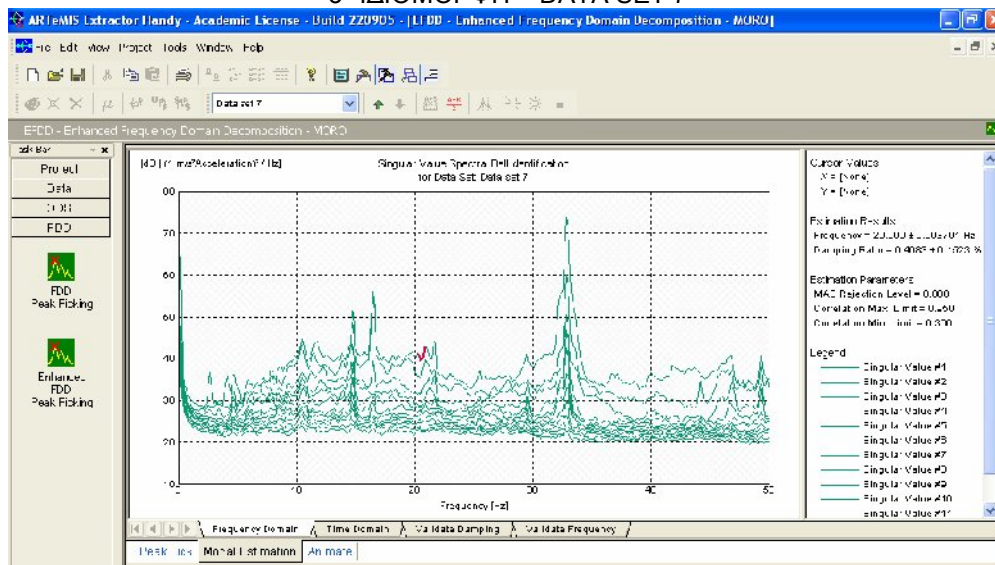
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 5



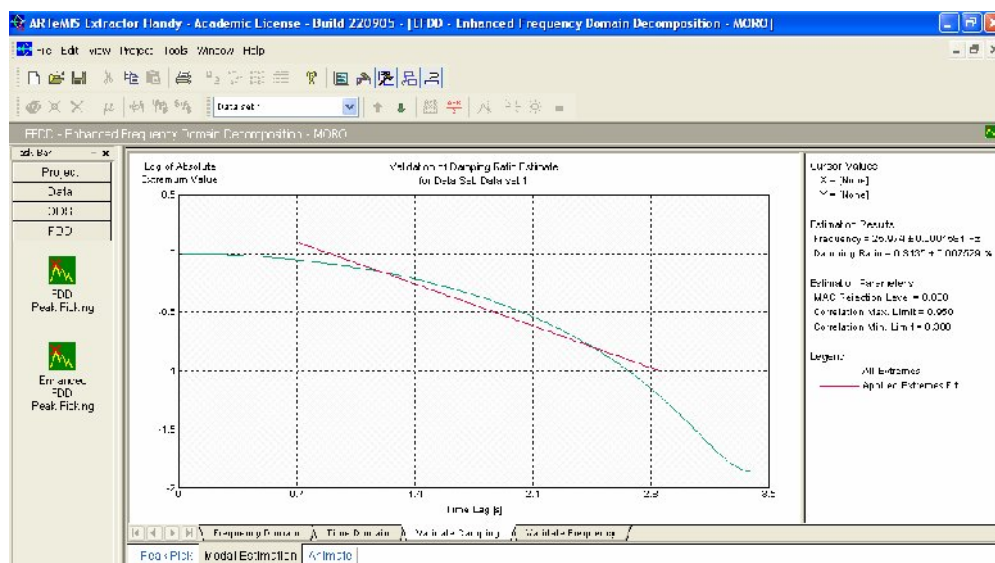
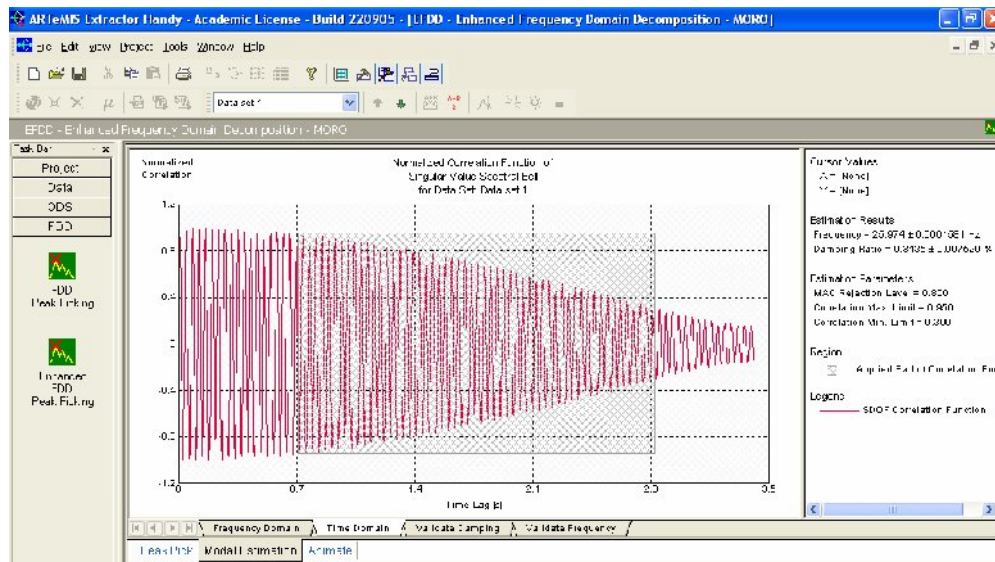
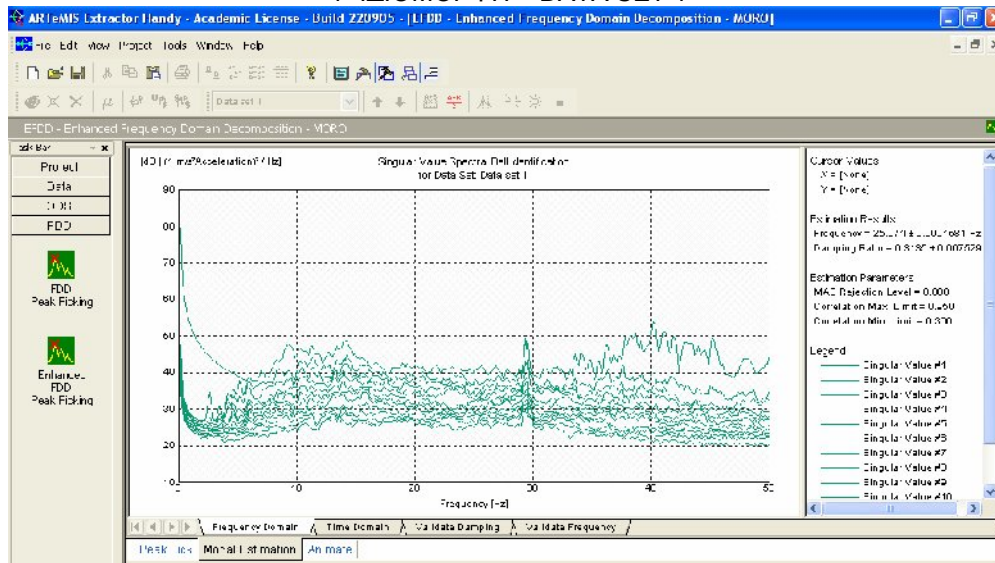
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 6



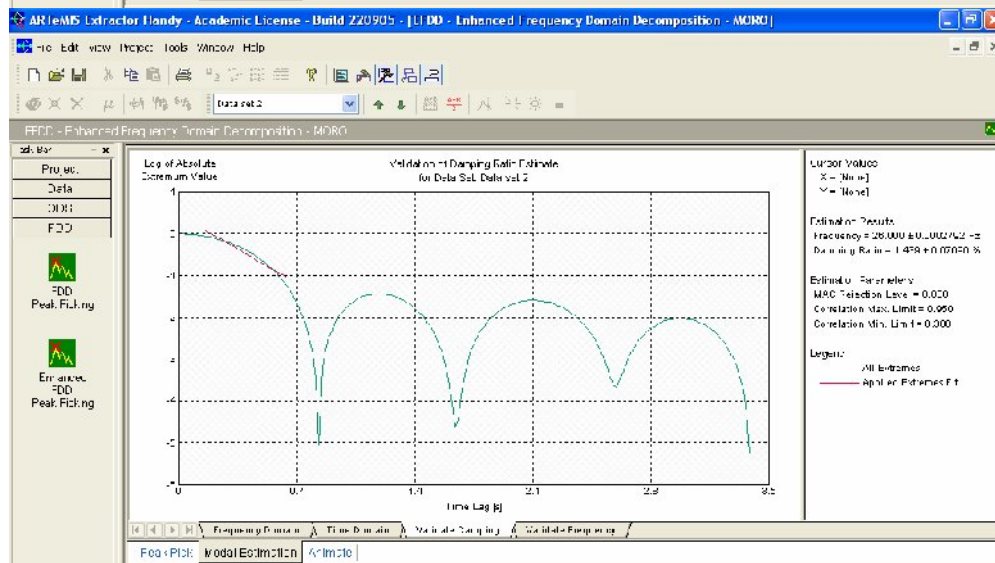
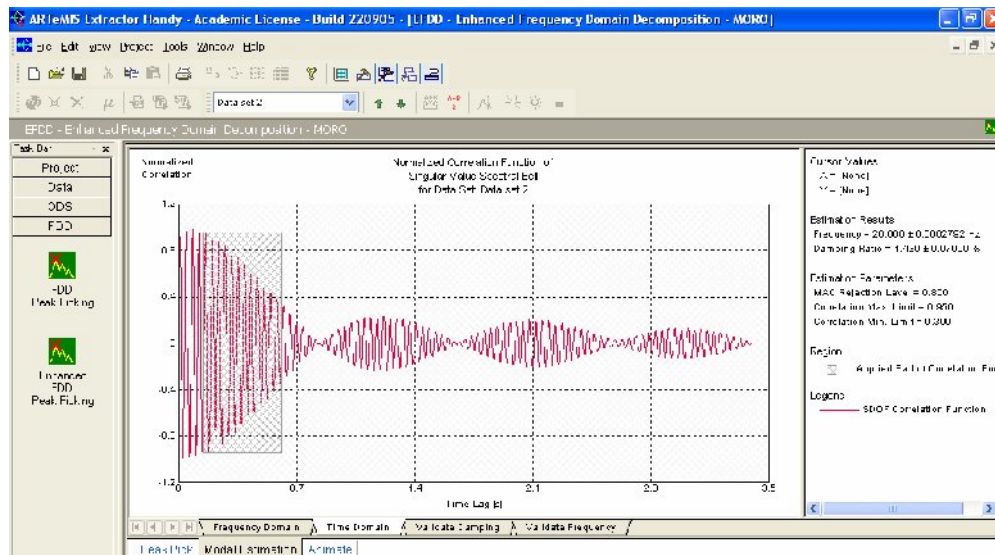
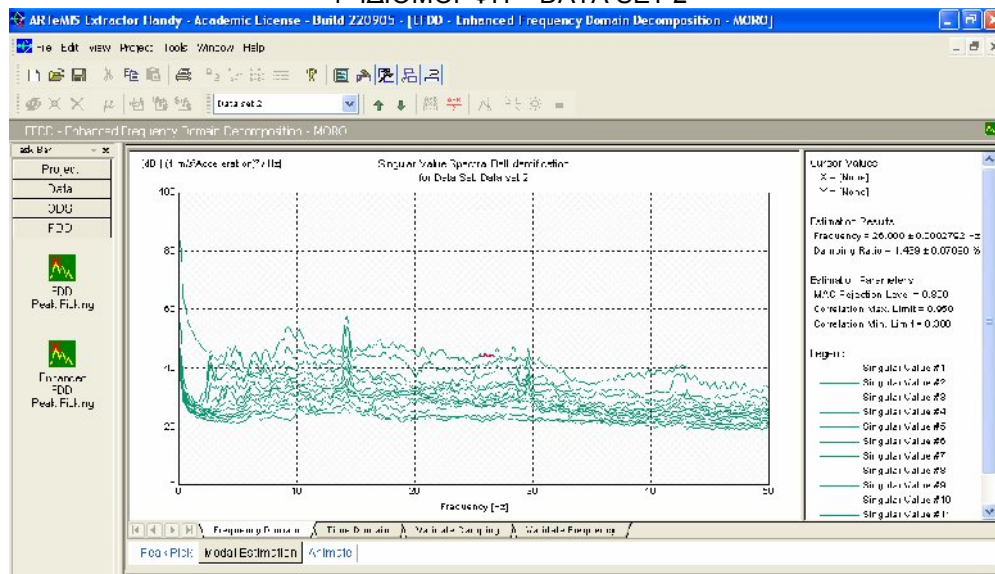
3^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 7



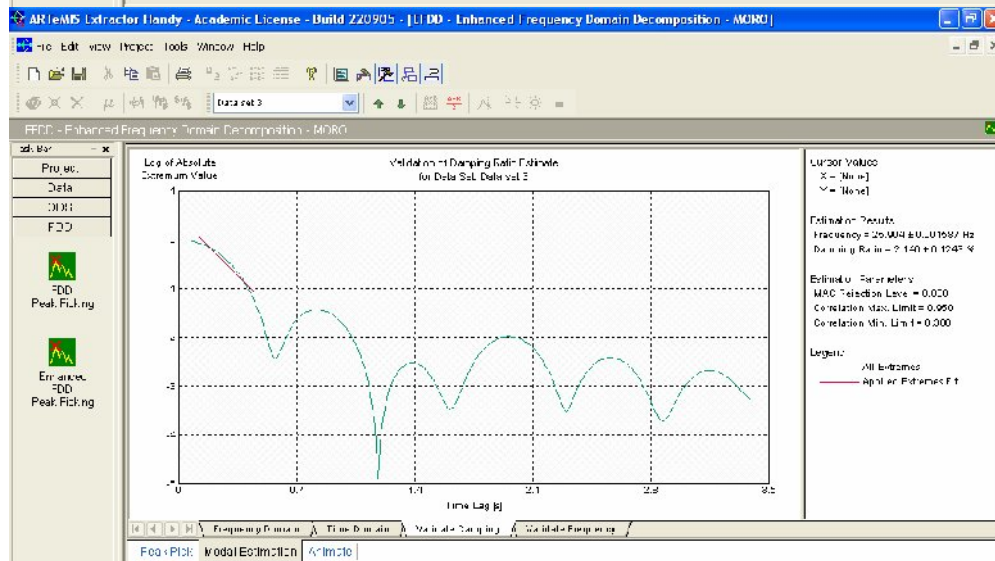
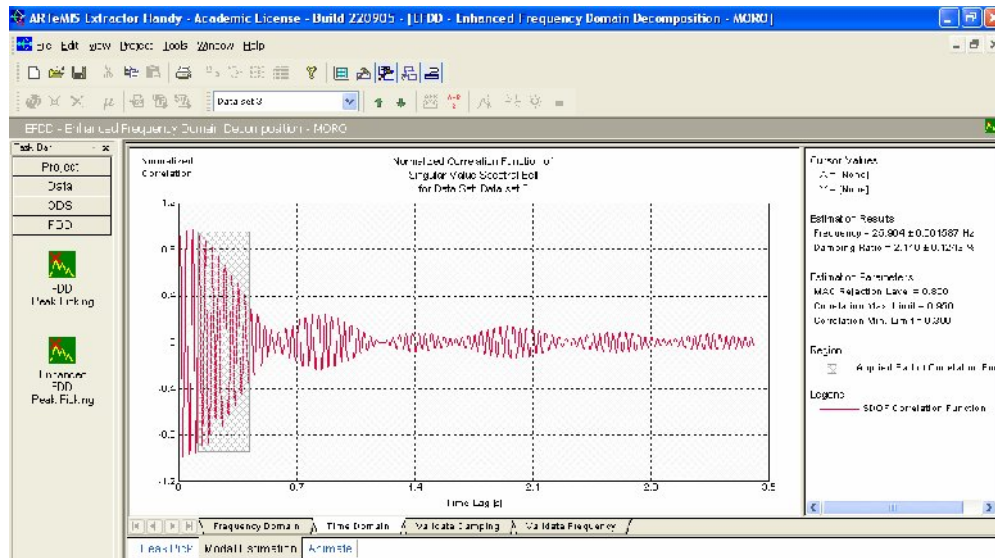
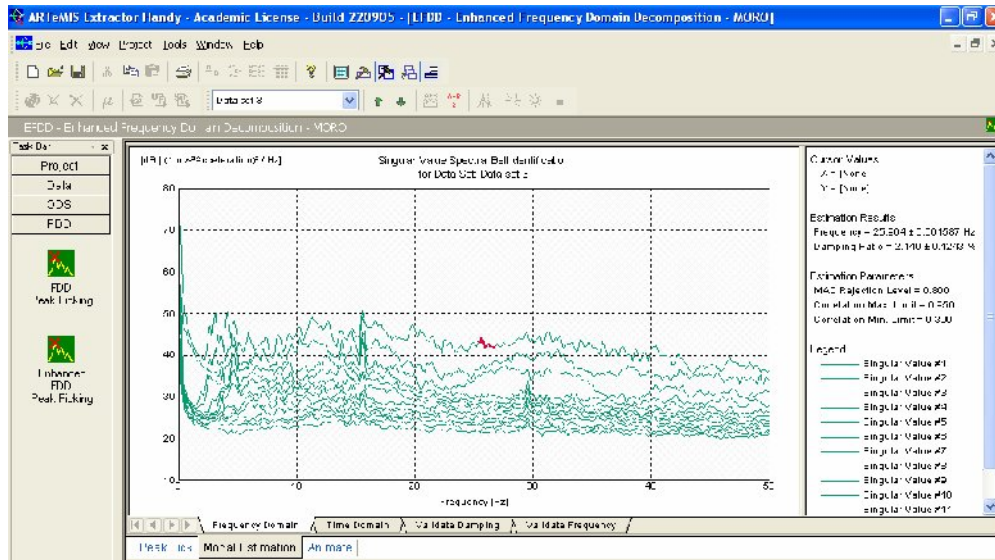
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 1



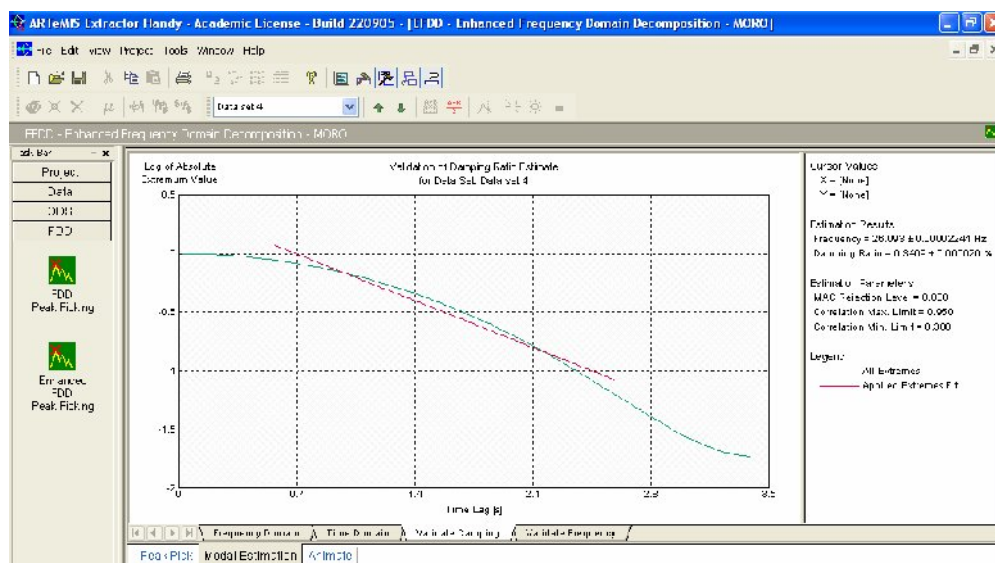
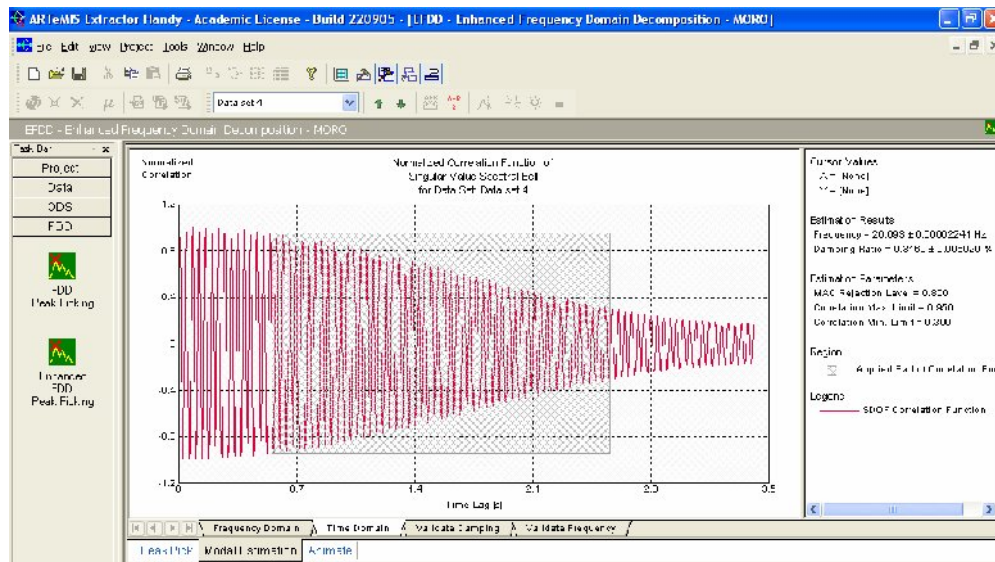
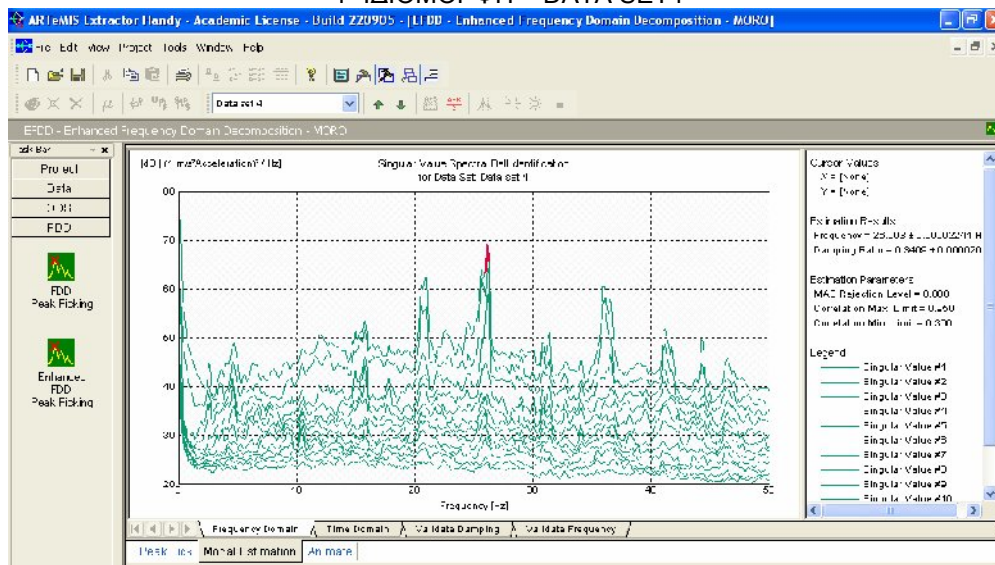
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET 2



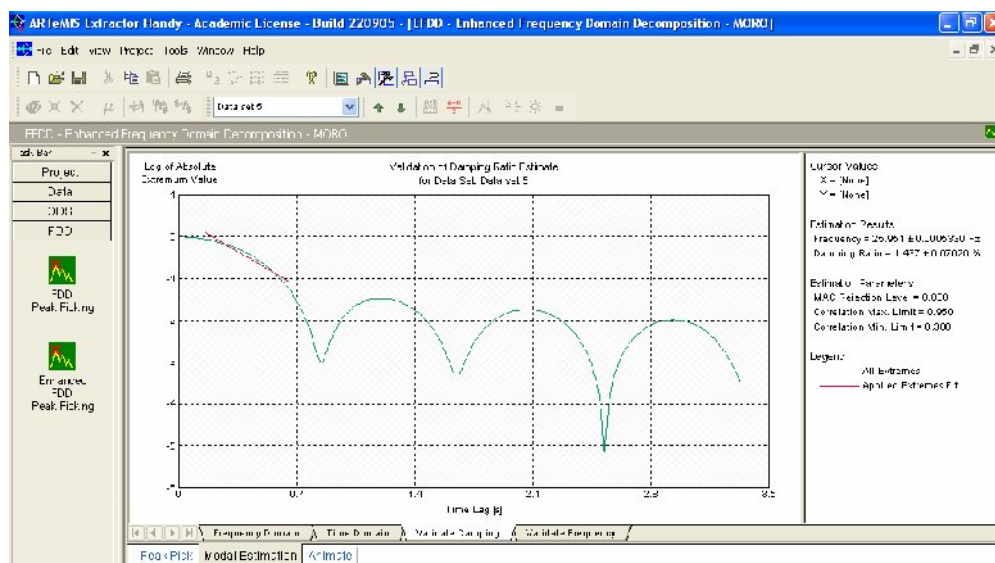
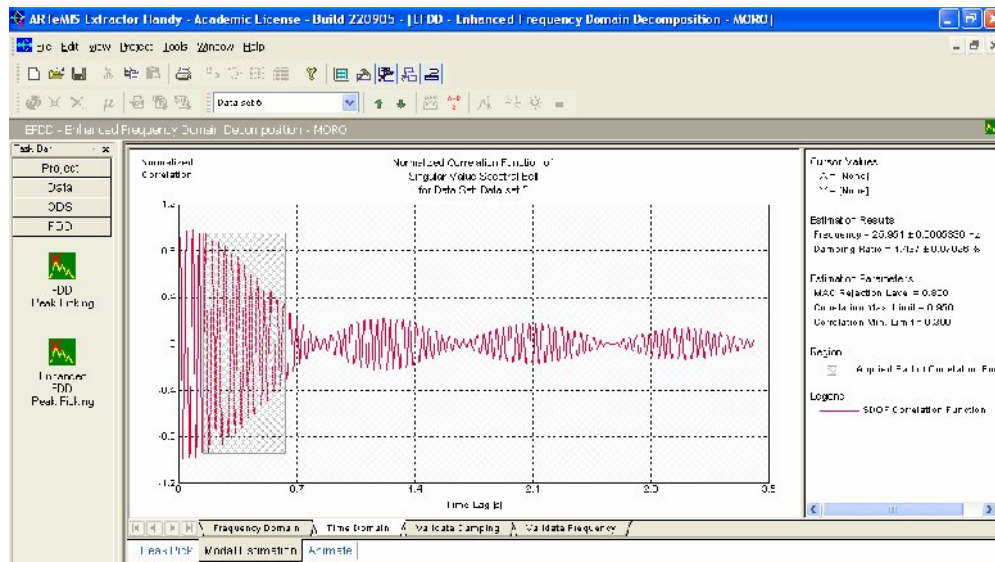
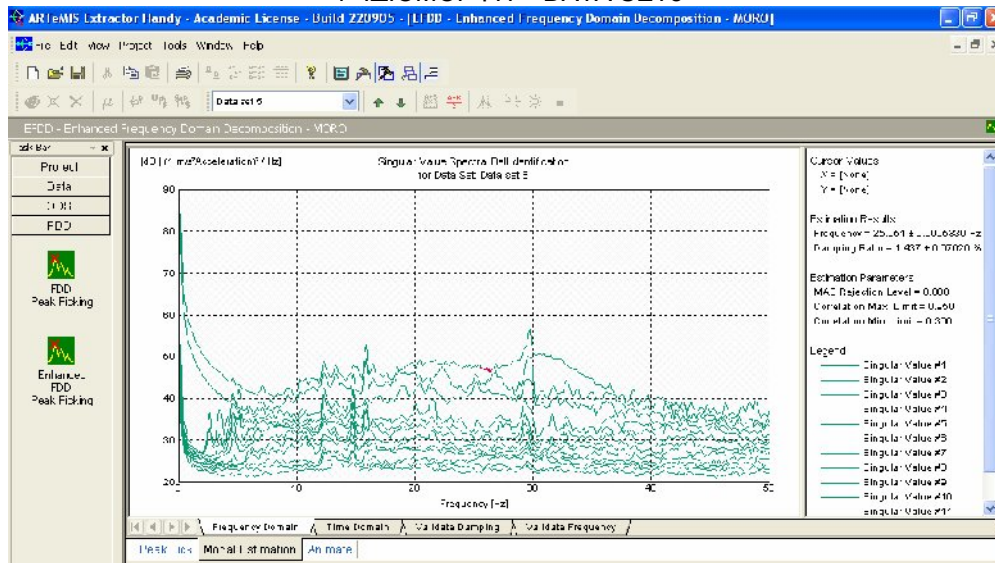
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET3



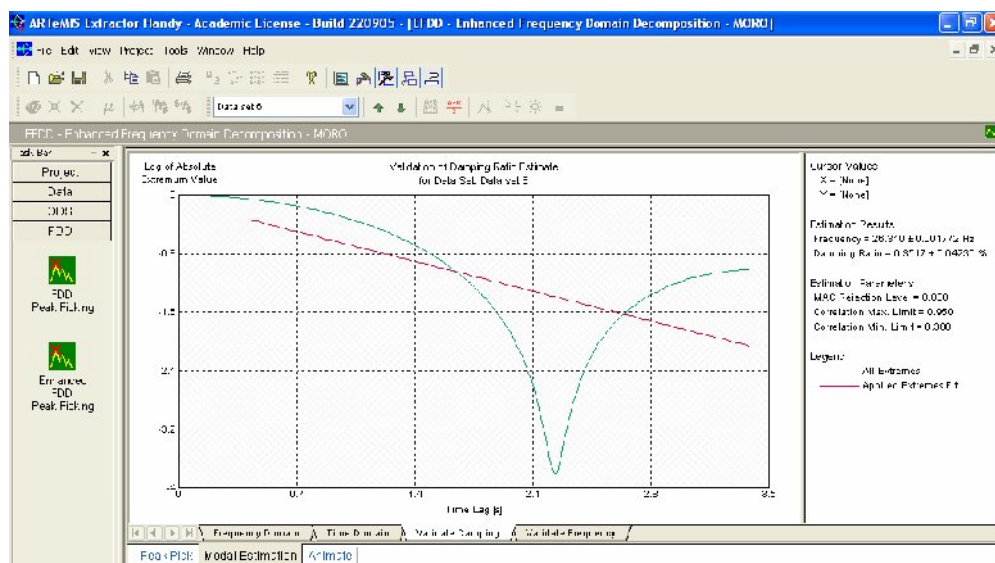
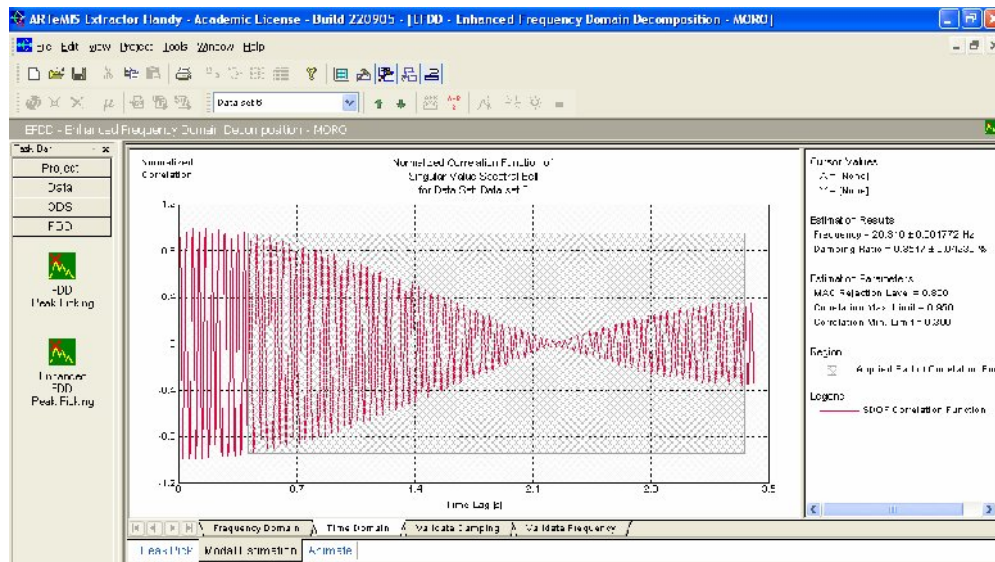
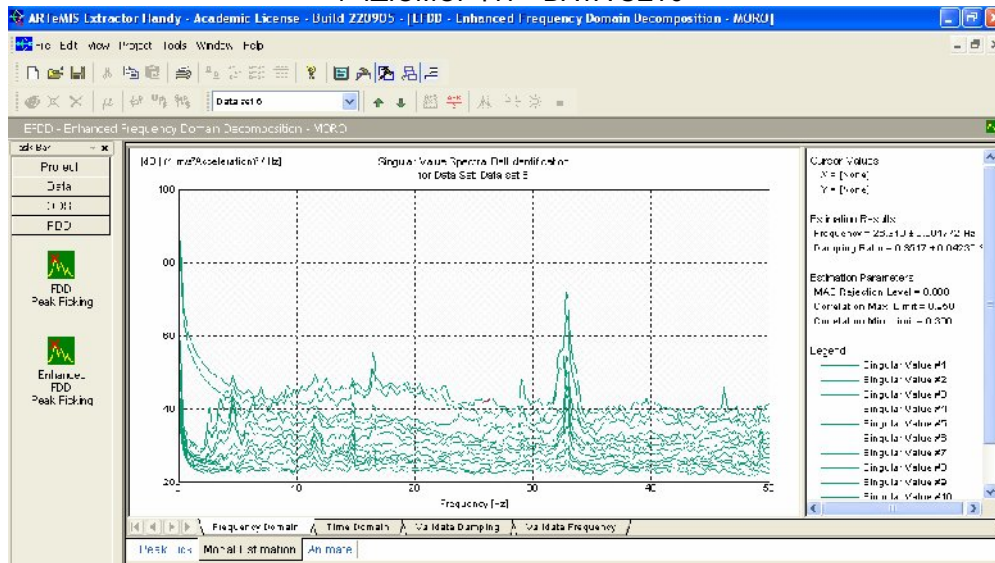
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET4



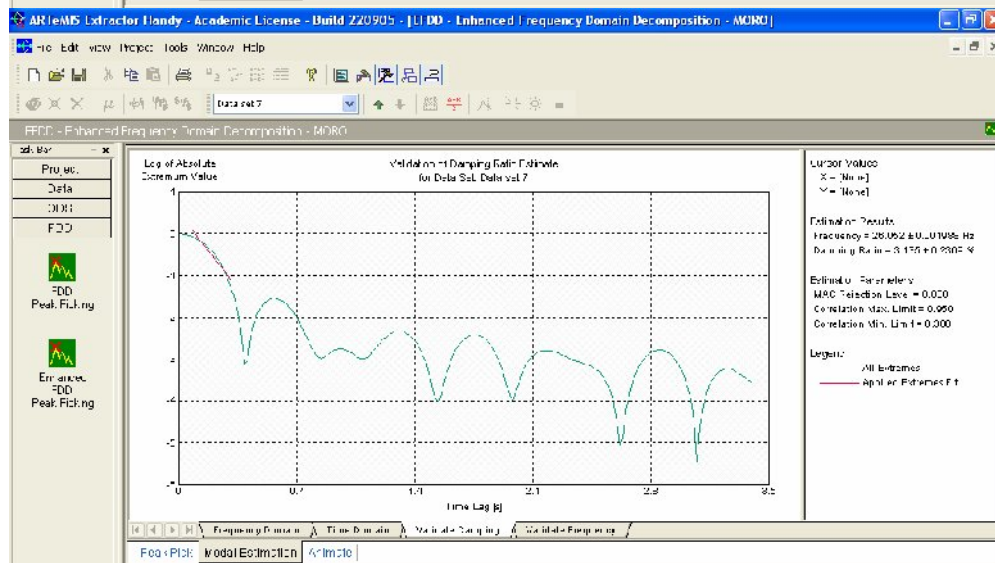
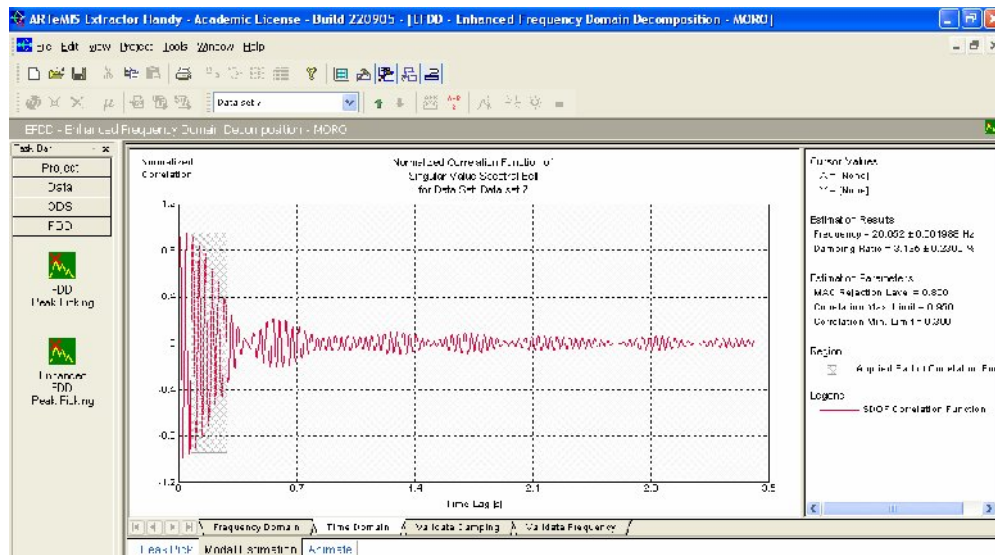
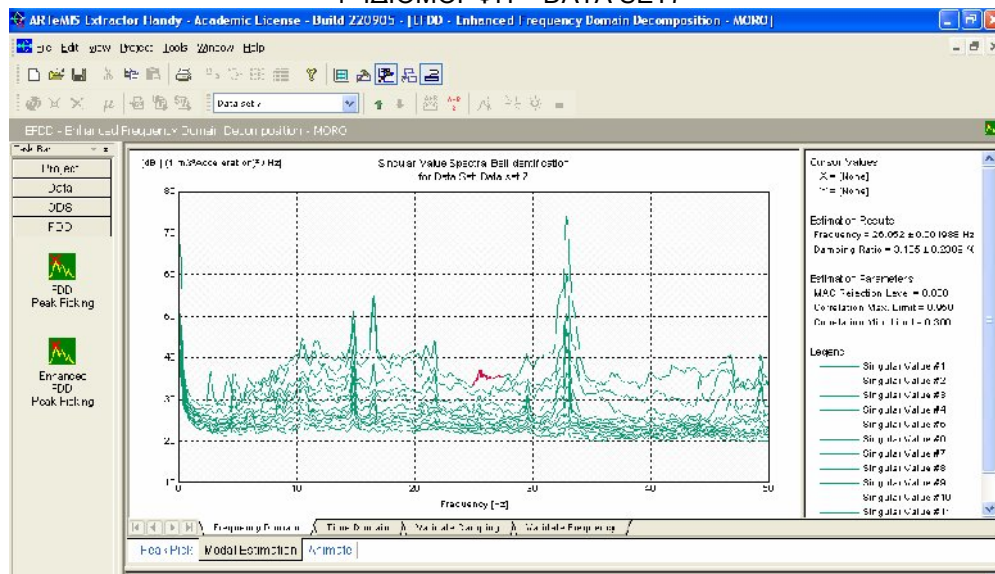
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET5



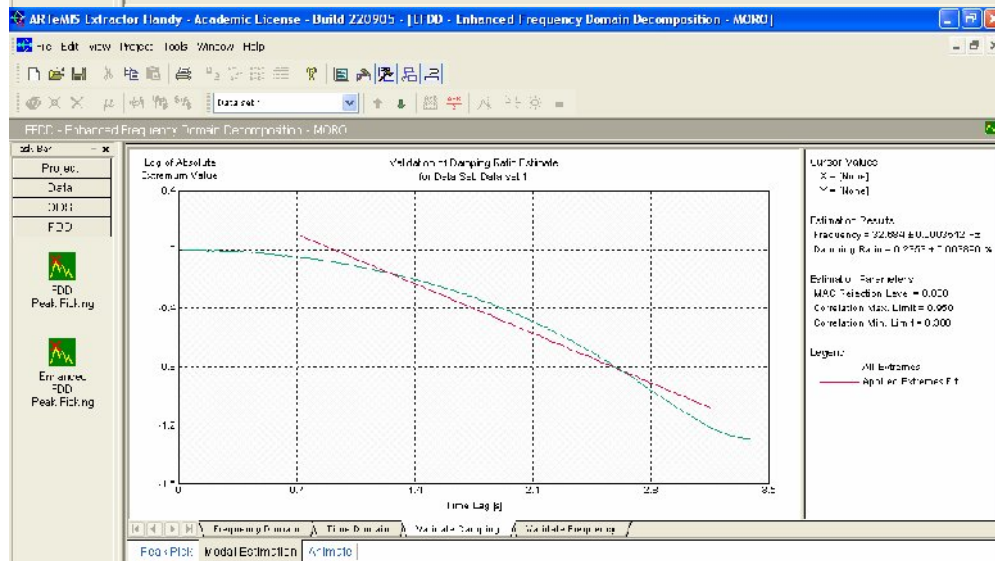
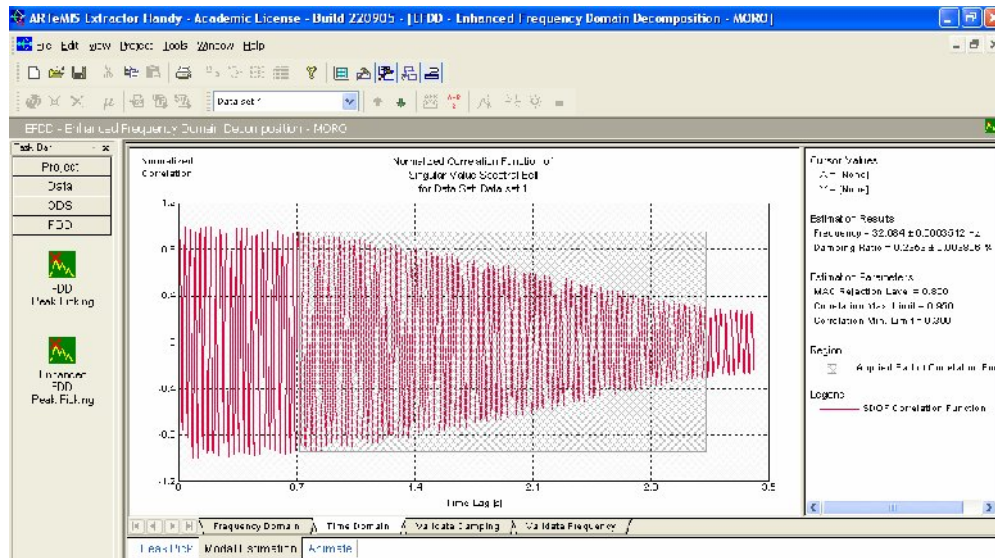
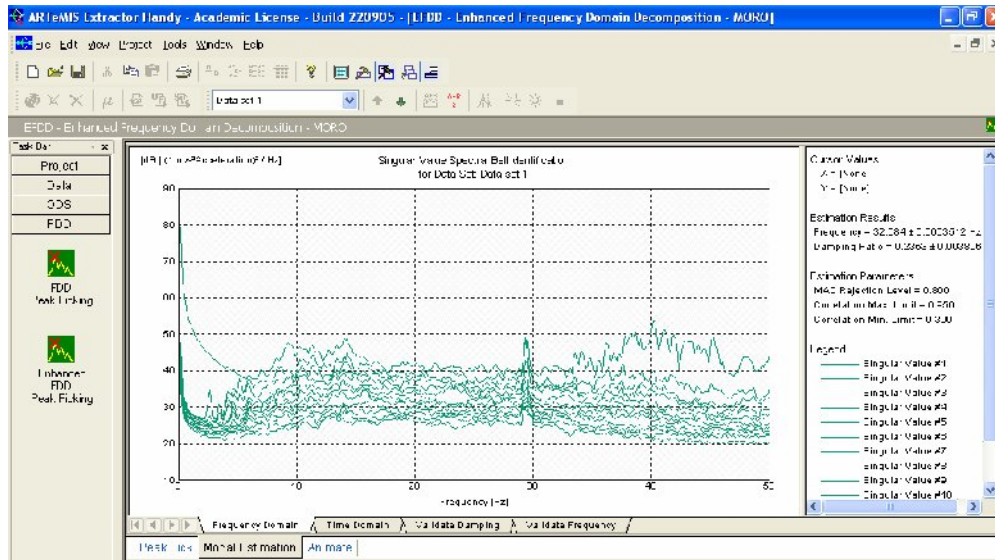
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET6



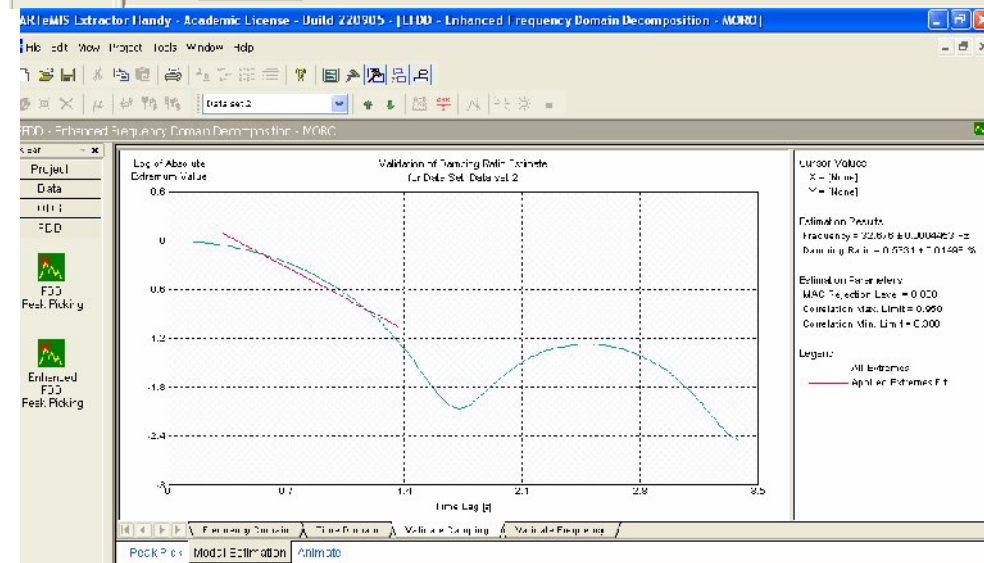
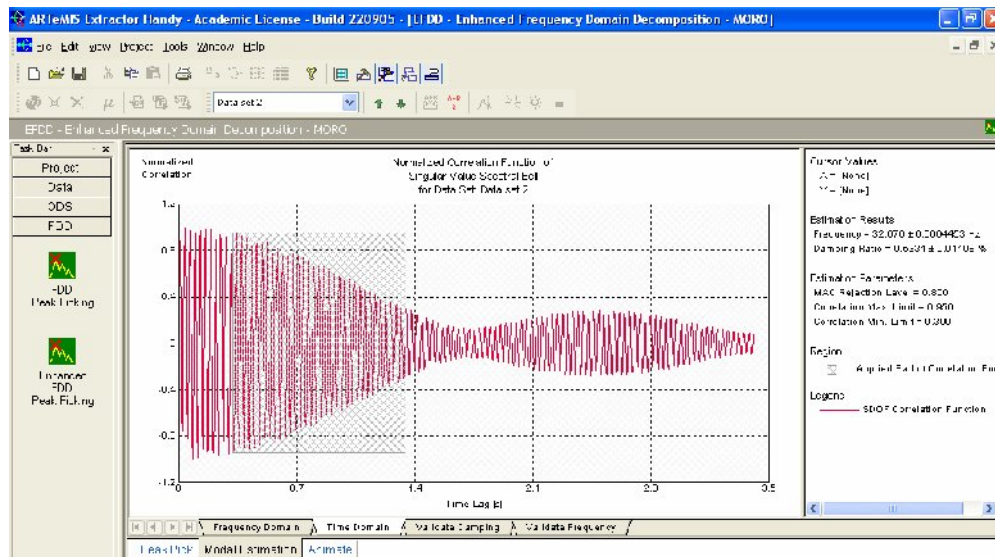
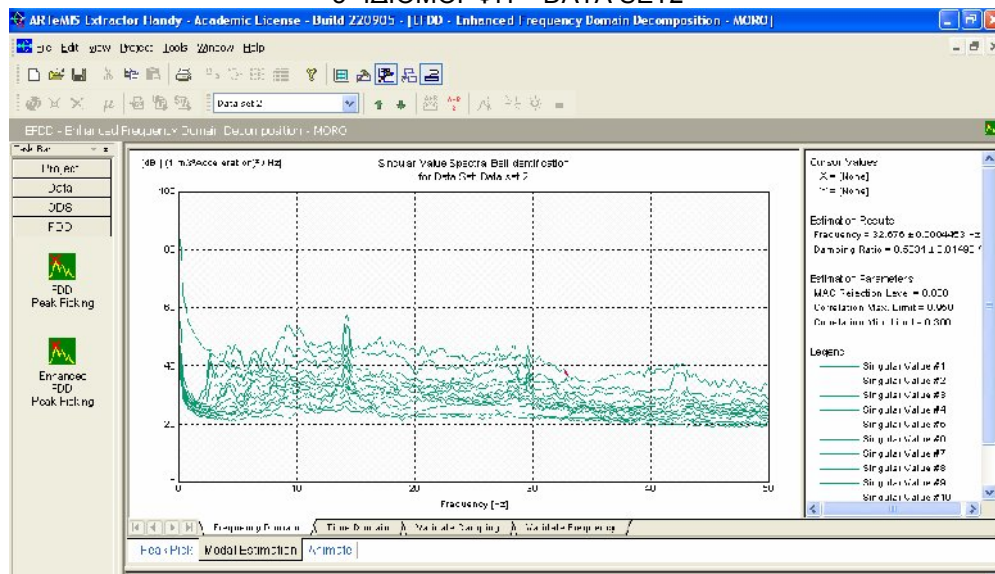
4^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET7



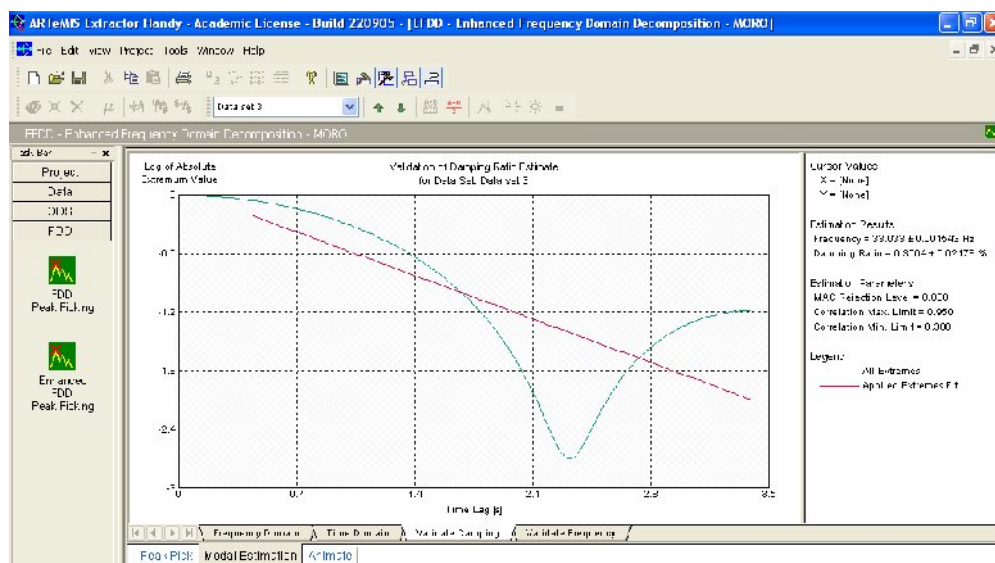
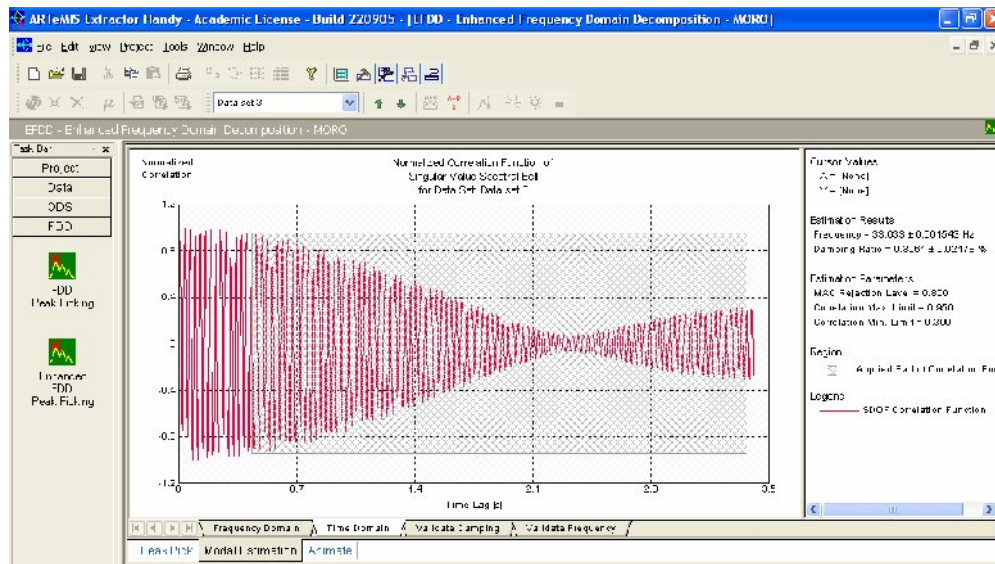
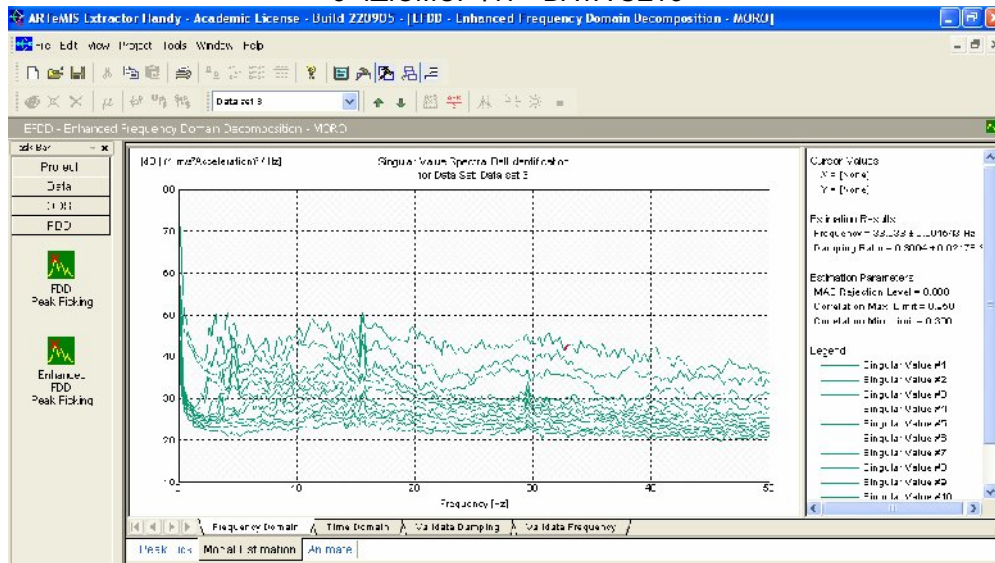
5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET1

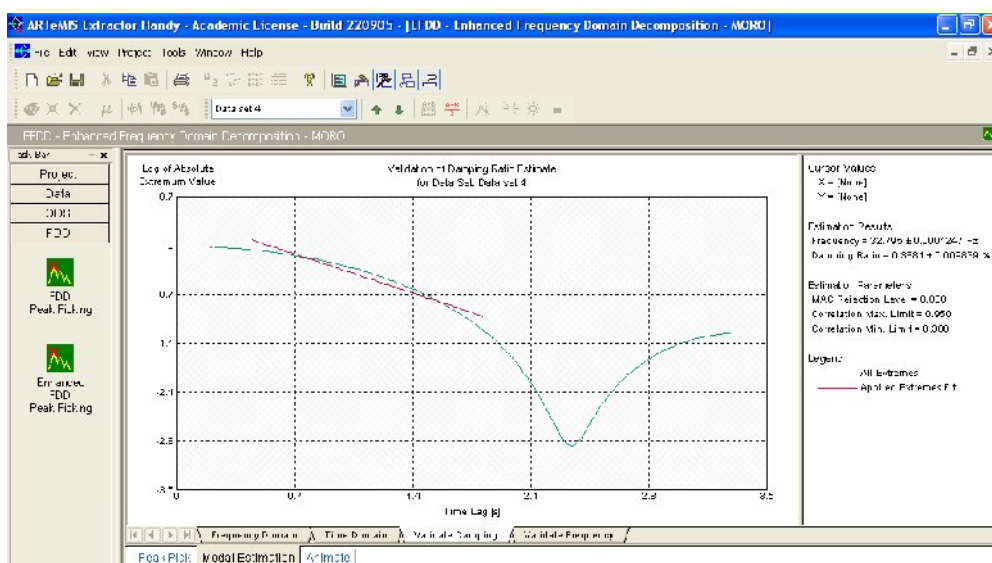
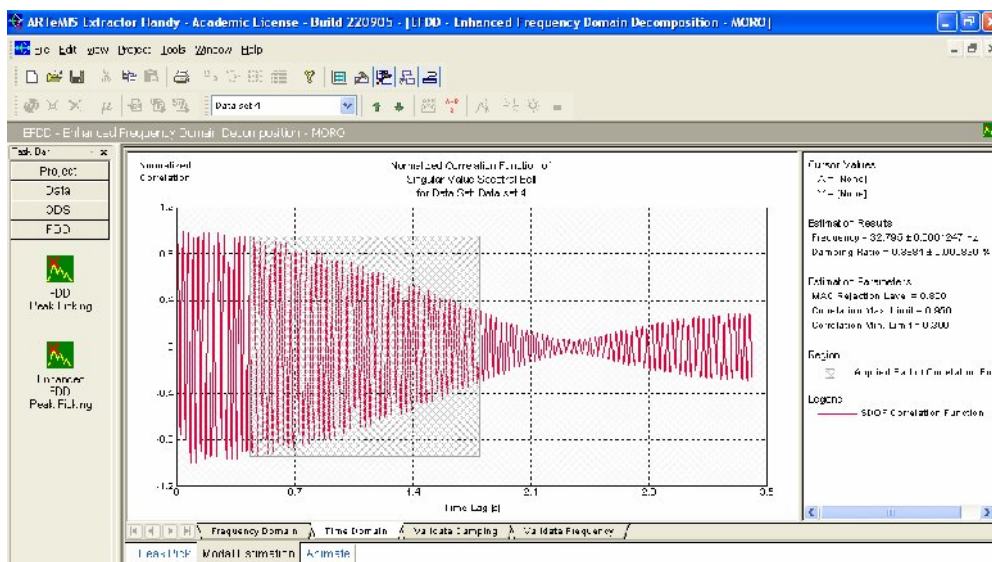


5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET2

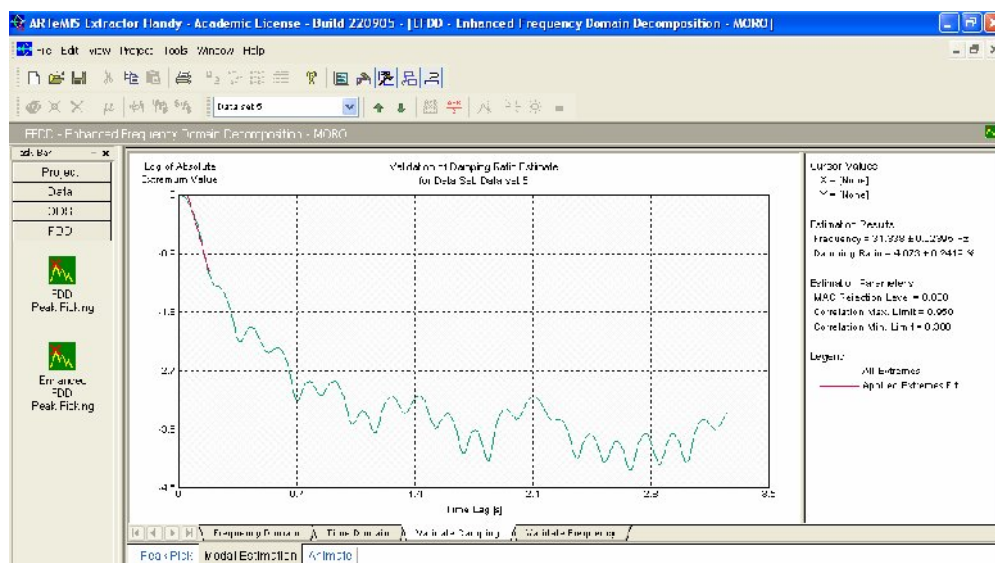
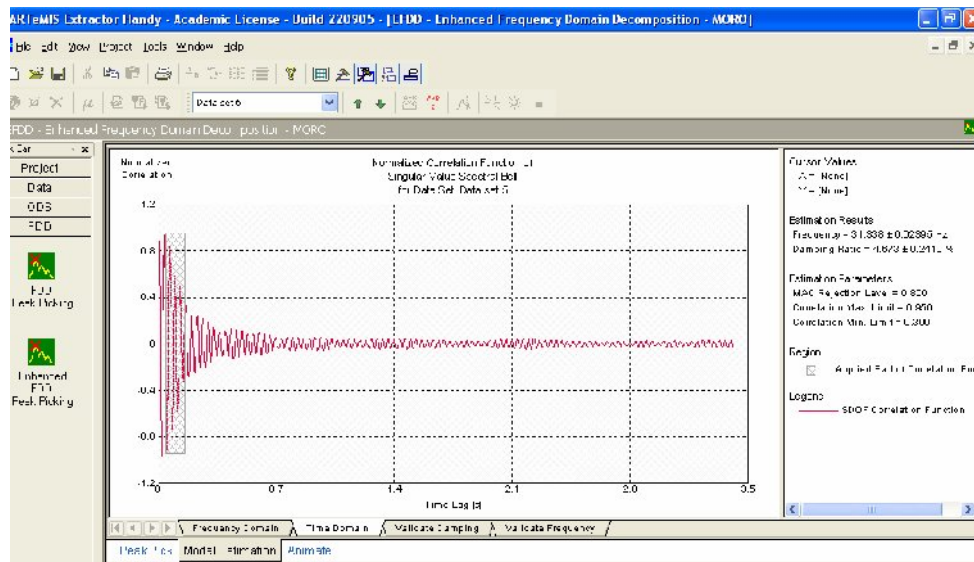
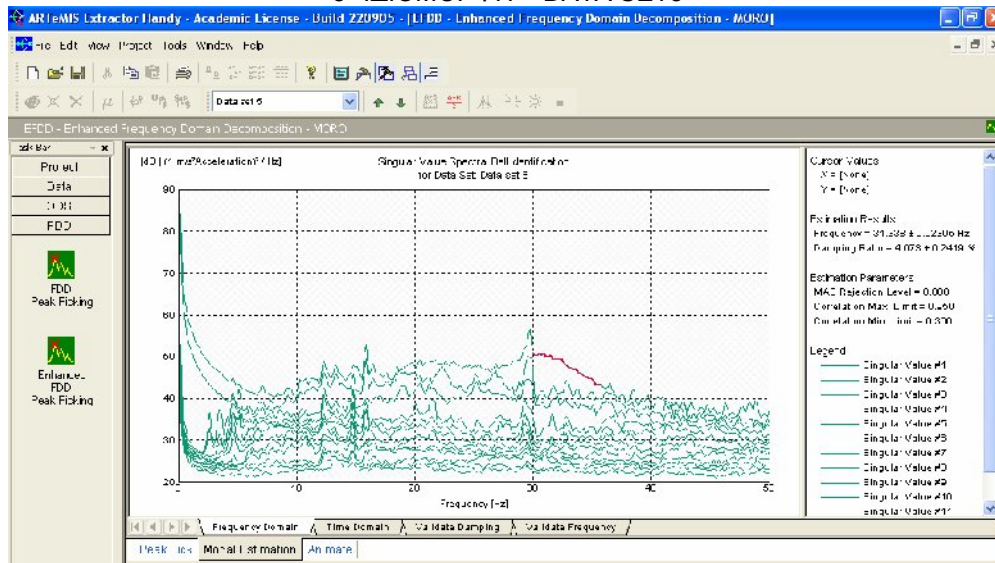


5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET3

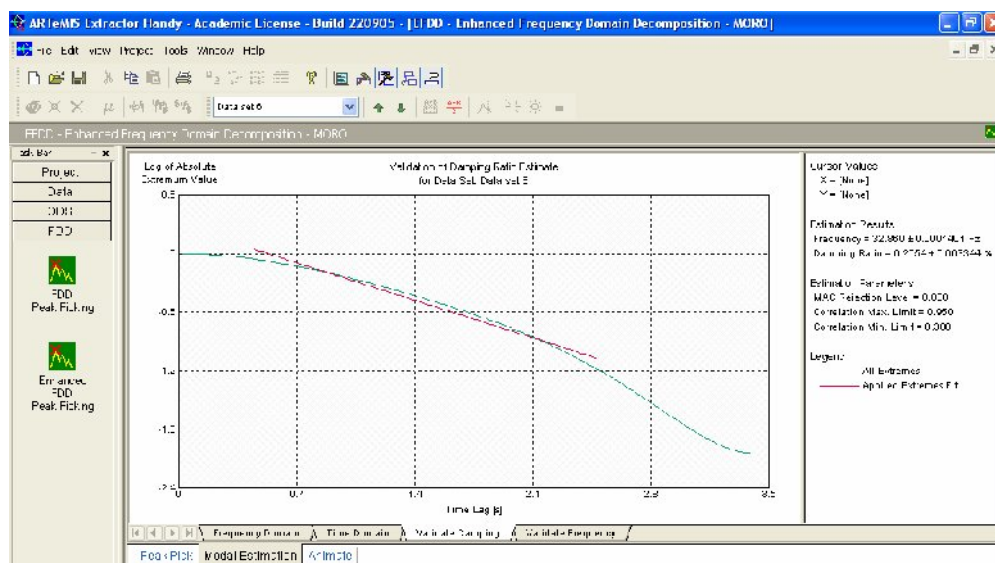
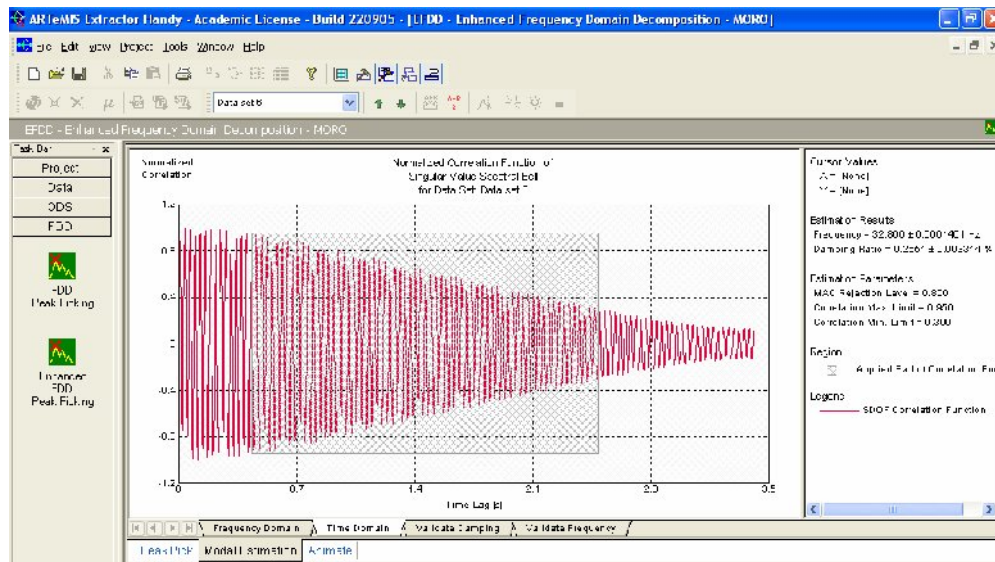
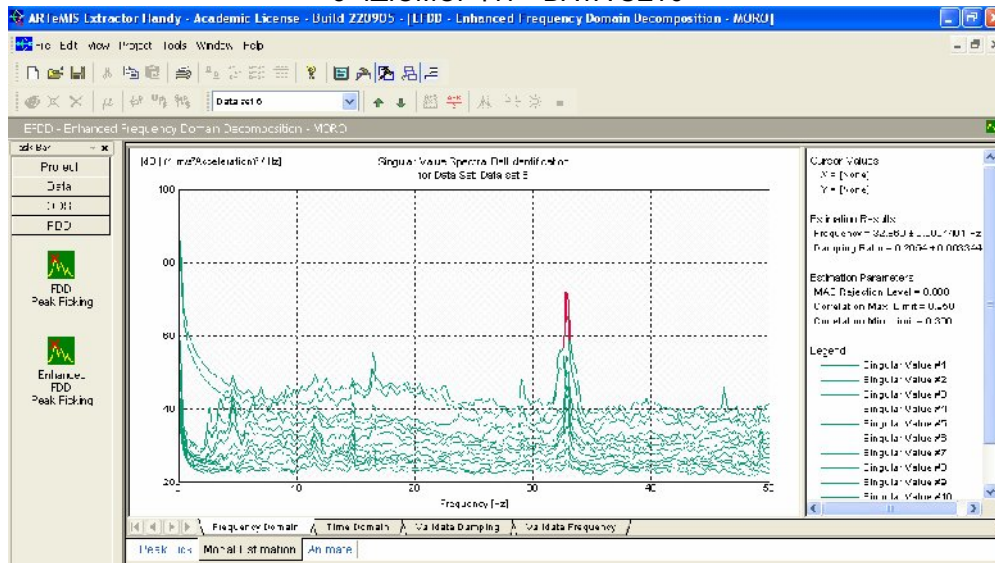


[illegible]

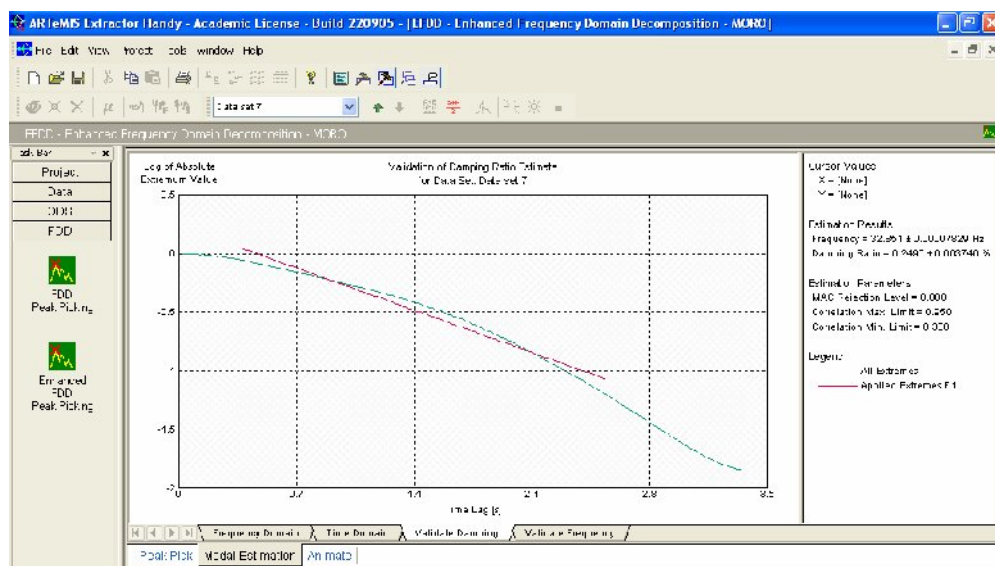
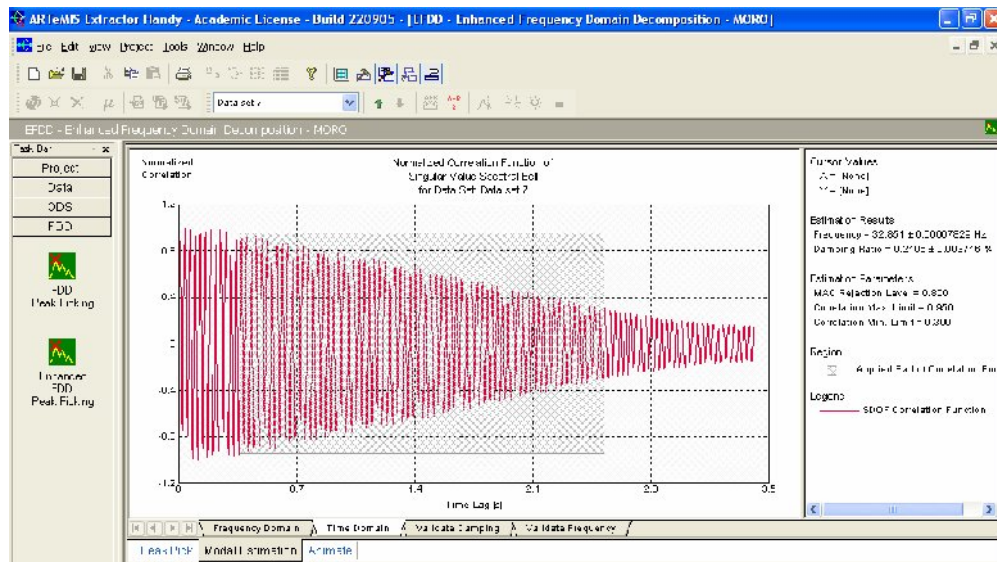
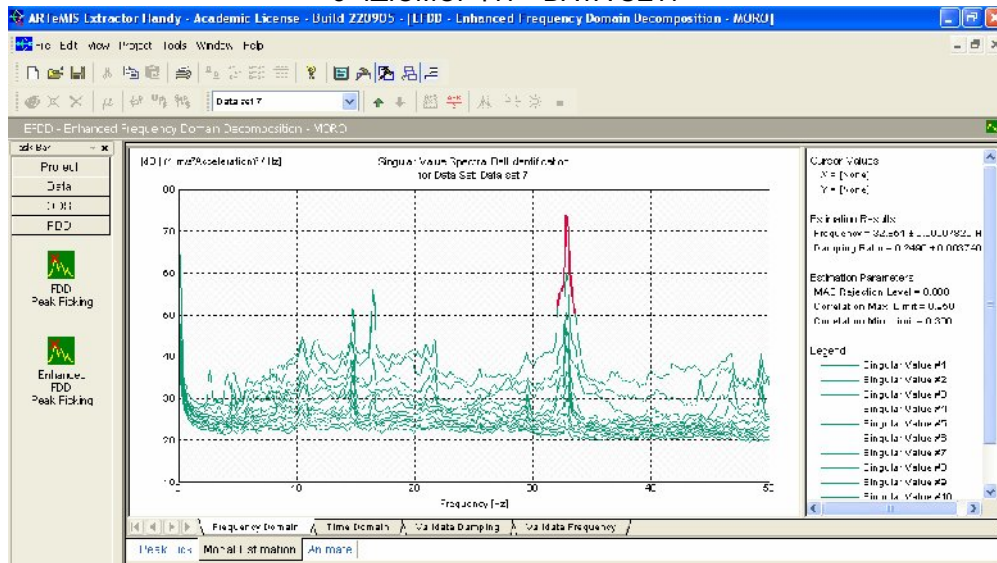
5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET5



5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET6



5^η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ – DATA SET7



6. Συμπεράσματα

6.1 Ανάλυση εκτίμησης ιδιομορφικών παραμέτρων

1η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ: 4,533 Hz		
data set	frequency	damping ratio
data set1	3,917±0,009803	21,440±0,9109
data set2	4,687±0,0004896	3,789±0,2517
data set3	4,664±0,0002512	2,791±0,1883
data set4	4,661±0,0002615	2,830±0,1925
data set5	4,585±0,0005820	3,966±0,3155
data set6	4,568±0,0001433	1,834±0,09971
data set7	4,645±0,0003371	3,284±0,2197
2η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ: 16,41 Hz		
data set	frequency	damping ratio
data set1	16,487±0,0004192	1,332±0,05790
data set2	16,451±0,0005355	2,151±0,1316
data set3	16,343±0,00003824	0,5164±0,01693
data set4	16,346±0,00009332	1,044±0,04275
data set5	16,413±0,00003544	0,7366±0,025441
data set6	16,428±0,00001675	0,5648±0,01305
data set7	16,429±0,00006432	0,5060±0,006632
3η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ: 20,57 Hz		
data set	frequency	damping ratio
data set1	20,438±0,00001188	0,4108±0,01197
data set2	20,565±0,0009059	1,210±0,04459
data set3	0	0
data set4	20,555±0,00007080	0,4794±0,01128
data set5	20,530±0,0002610	1,582±0,07920
data set6	20,422±0,00007157	0,4097±0,01179
data set7	20,909±0,003701	0,4683±0,1523
4η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ: 26,13 Hz		
data set	frequency	damping ratio
data set1	25,974±0,0001581	0,3135±0,007529
data set2	26,000±0,0002792	1,439±0,07090
data set3	25,904±0,001587	2,140±0,1243
data set4	26,093±0,00002241	0,3469±0,006020
data set5	25,951±0,0005330	1,437±0,07026
data set6	26,310±0,001772	0,3517±0,04230
data set7	26,052±0,001988	3,135±0,2309
5η ΙΔΙΟΜΟΡΦΗ: 32,61 Hz		
data set	frequency	damping ratio
data set1	32,684±0,0003512	0,2353±0,003896
data set2	32,676±0,0004453	0,5331±0,01498
data set3	33,033±0,001543	0,3064±0,02178
data set4	32,795±0,0001247	0,3881±0,009839
data set5	31,338±0,02395	4,673±0,2419
data set6	32,860±0,0001401	0,2654±0,003344
data set7	32,851±0,00007829	0,2496±0,003746

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται για κάθε μία από τις πέντε πρώτες ιδιομορφές του κτιρίου οι εκτιμήσεις των ιδιοσυχνοτήτων για κάθε μία από τις επτά μετρήσεις.

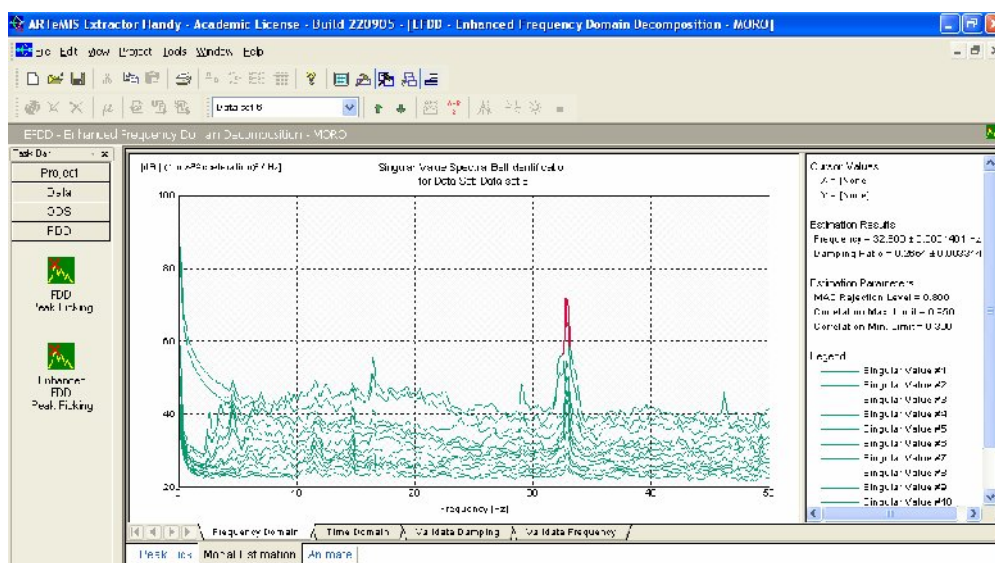
Για τη μέτρηση 5 από ότι φαίνεται στον πίνακα υπάρχει απόλυτη συμφωνία τις τιμές της εκτίμησης της ιδιοσυχνότητας της μέτρησης με την τιμή της δεύτερης ιδιομορφής που προκύπτει τόσο με την μέθοδο FDD όσο με τη μέθοδο EFDD.

Για τις υπόλοιπες μετρήσεις υπάρχει μικρή απόκλιση των τιμών το οποίο είναι αναμενόμενο αφού κατά την επιλογή μέγιστων (Peak Picking) για την εξαγωγή ιδιομορφών εκτελείται μέγιστη επιλογή στις μέσες τιμές.

6.1.1 Πεδίο συχνότητας (Frequency Domain)

Αυτό το παράθυρο είναι όπου ελέγχεται ο προσδιορισμός του SDOF Spectral Bell. Αυτό που πρέπει να ελεγχθεί εδώ είναι ότι υπάρχει μια καλή αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell γύρω από την αιχμή.

Για το Νεώριο του Μόρο για τη μέτρηση 6 και τη συχνότητα 32.61 Hz το αντίστοιχο παράθυρο φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα.



Σε αυτήν την περίπτωση η αντιπροσώπευση είναι καλή επειδή η αιχμή έχει προσδιοριστεί εντελώς κάτω από την οποία ο θόρυβος αρχίζει να έχει επιπτώσεις σε αυτήν.

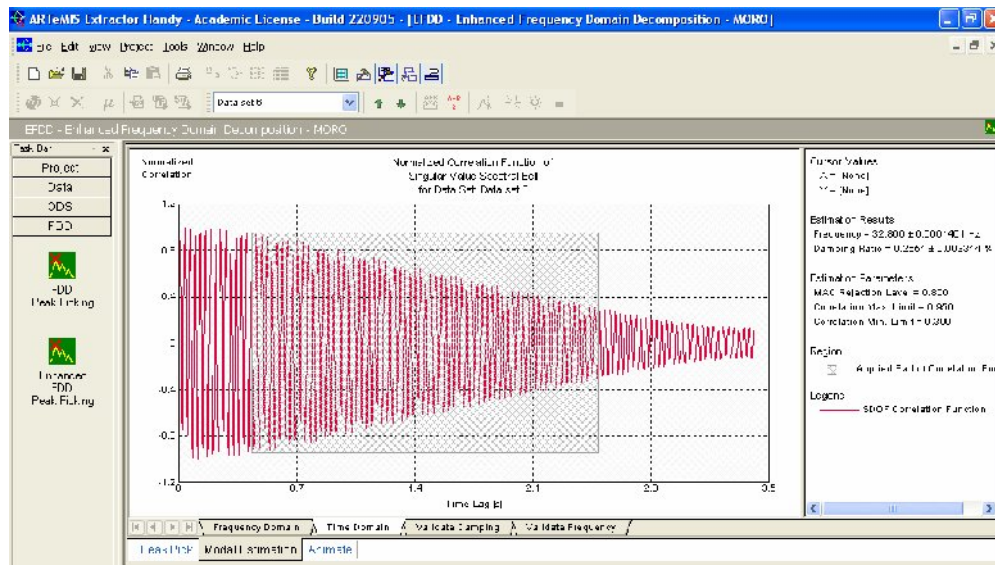
Από τα διαγράμματα λοιπόν που παρουσιάστηκαν πριν μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Για την πρώτη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην συχνότητα 4,533 Hz καλύτερη αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell έχει γίνει στις μετρήσεις (data set) 2,3 και 4.
- Για την δεύτερη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην συχνότητα 16,41 Hz καλύτερη αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell έχει γίνει στις μετρήσεις (data set) 5,6 και 7.
- Για την τρίτη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην συχνότητα 20,57 Hz καλύτερη αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell έχει γίνει στην μέτρηση (data set) 2.
- Για την τέταρτη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην συχνότητα 26,13 Hz καλύτερη αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell έχει γίνει στην μέτρηση (data set) 4.
- Για την πέμπτη ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην συχνότητα 32,61 Hz καλύτερη αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell έχει γίνει στις μετρήσεις (data set) 6 και 7.

6.1.2 Πεδίο χρόνου (Time Domain)

Το SDOF Spectral Bell μετασχηματίζεται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο βασισμένο στο μετασχηματισμό Fast Fourier για να λάβει την συνάρτηση συσχετισμού SDOF που είναι ομαλοποιημένη έτσι ώστε αυτό αρχίζει πάντα με το συσχετισμό 1.

Για το Νεώριο του Μόρο για τη μέτρηση 6 και τη συχνότητα 32.61 Hz (όπου υπάρχει και καλή αντιπροσώπευση του SDOF Spectral Bell όπως αναφέρθηκε πριν) το αντίστοιχο παράθυρο φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα.

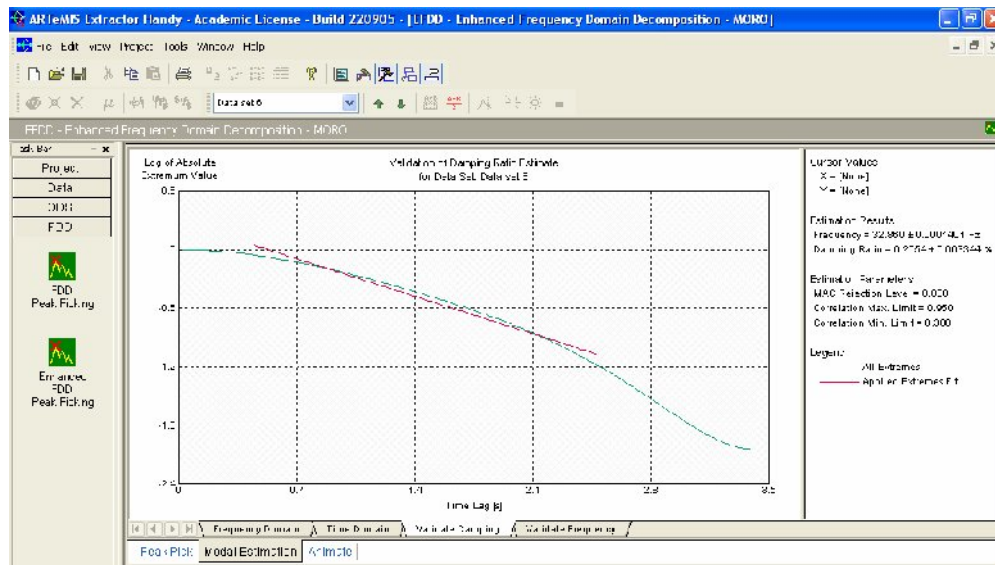


Η επιλεγμένη περιοχή δείχνει το μέρος της συνάρτησης συσχετισμού που από προεπιλογή χρησιμοποιείται από τον αλγόριθμο εκτίμησης. Σαν προεπιλογή χρησιμοποιεί έναν μέγιστο ίσο σε 0.95. Τώρα δεδομένου ότι ο μέγιστος συσχετισμός είναι 1 αυτό σημαίνει ότι οι πρώτες τιμές της λειτουργίας συσχετισμού αποκλείονται εξ ορισμού. Αυτό είναι επειδή αυτό το μέρος της λειτουργίας συσχετισμού μερικές φορές μολύνεται από έναν ενωμένο θόρυβο. Συγχρόνως το ελάχιστο όριο συσχετισμού εξ ορισμού σε 0.3 επειδή οι μεγάλες αποκλίσεις χαρακτηριστικά υπολογίζονται με την αυξανόμενη αβεβαιότητα.

6.1.3 Εκτίμηση απόσβεσης (Validate Damping)

Με βάση τη συνάρτηση συσχετισμού SDOF που παρουσιάστηκε στο παράθυρο του πεδίου του χρόνου καθώς επίσης και τα μέγιστα και ελάχιστα όρια συσχετισμού εκτιμάται η αναλογία απόσβεσης.

Για το Νεώριο του Μόρο για τη μέτρηση 6 και τη συχνότητα 32.61 Hz το αντίστοιχο παράθυρο φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα.



Η πράσινη καμπύλη παρουσιάζει το λογάριθμο της απόλυτης τιμής όλων των θετικών και αρνητικών άκρων. Η κόκκινη ευθεία γραμμή είναι το αποτέλεσμα του προβλήματος γραμμικής συμμεταβολής. Η αναλογία απόσβεσης μπορεί να βρεθεί άμεσα από την κλίση αυτής της ευθείας γραμμής.

6.2 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία διεξάγοντας τον εργαστηριακό έλεγχο στο Νεώριο του Μόρο και χρησιμοποιώντας το λογισμικό Artemis Extractor για την ιδιομορφική ανάλυση γίνεται διαπίστωση των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής : οι ιδιοσυχνότητες, οι ιδιομορφές της κατασκευής καθώς και η εκτιμώμενη απόσβεση.

Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας *Output-Only Modal Analysis* (μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης χρήσης μόνο δεδομένων εξόδου) με την μέθοδο Frequency Domain Decomposition και την επιλογή μέγιστων.

Η μέθοδος επιλογής μεγίστων για την συγκεκριμένη εφαρμογή κρίνεται αξιόπιστη αφού πρόκειται για επιλογή ιδιομορφών καλά διαχωρισμένων στο σχετικό διάγραμμα που παρουσιάστηκε πριν. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι απλή και γρήγορη μέθοδος για την αναγνώριση των χαρακτηριστικών της κατασκευής και με δεδομένο ότι η κατασκευή που μελετάται έχει μεγάλη ιστορική σημασία και αξία είναι ευνόητο ότι είναι σημαντική η λήψη δεδομένων χωρίς την

επέμβαση στο κτίριο, τη δημιουργία δηλαδή ταλάντωσης σε αυτό αλλά από τη διέγερση του κτιρίου από τα φυσικά φορτία όπως π.χ. ο αέρας.

Κατά την εκτίμηση της απόσβεσης με τη χρήση της μεθόδου EFDD αξιόπιστα αποτελέσματα λαμβάνονται για κάθε μία από τις πέντε ιδιομορφές που αναγνωρίστηκαν για κάποιες και όχι όλες τις μετρήσεις που έγιναν. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μη-γραμμικότητα της κατασκευής λόγω ρωγμών που έχει σε κάποια σημεία.

Αντικείμενο μελλοντικής μελέτης της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να είναι επανάληψη του ίδιου πειράματος για διαπίστωση πιθανής μεταβολής των χαρακτηριστικών της κατασκευής καθώς και η χρήση συμπληρωματικής τεχνικής προσδιορισμού προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

7. Βιβλιογραφία

1. Artemis Extractor's Manual (Ambient Response Testing and Modal Identification Software).
2. View 2002 Users Manual.
3. Κανετάκης Ιωάννης, Κανετάκη Ελένη «Τεύχος φωτογραφικής τεκμηρίωσης – Περιγραφή της σημερινής κατάστασης» από τη Μελέτη Αποκατάστασης – Επανάχρηση Ασκεπούς Νεωρίου του Μόρο για τη Δημιουργία Κέντρου Ιστιοπλοΐας.
4. www.clab.edc.uoc.gr/seminar/xandakas/Neoria.htm «NEΩPIA».
5. Wei-Xin Ren, Zhou-Hong Zong «Output-only modal parameter identification of civil engineering structures»Structural Engineering and Mechanics, Vol. 17, No. 3-4 (2004).
6. Huriye Sezer Atamturktur «STRUCTURAL ASSESSMENT OF GUASTAVINO DOMES: A Thesis in Architectural Engineering
7. Luis F. Ramos, Alfredo Campos Costa, Paulo B. Lourenço « Operational Modal Analysis for detection of a masonry construction».
8. Filipe Duarte Matias Ângelo «Seismic Vulnerability Assessment of Structures using Operational Modal Analysis. Taking the Guesswork Out of Future Earthquakes».