

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΤΟΜΙΚΩΝ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΩΝ, ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΟΣΦΥΙΚΗ ΜΟΙΡΑ ΤΗΣ ΣΠΟΝΔΥΛΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΔΥΣΠΛΑΣΙΩΝ (ΣΥΝΔΡΟΜΟ ΒΕΡΤΟΛΟΤΤΙ)

Παππάς Σεραφείμ

ΑΕΜ: 1432

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επικ. Καθ. Αλέξανδρος Τσουκνίδας (Επιβλέπων)

Αναπ. Καθ. Παναγιωτίδου Σοφία (Μέλος)

Επικ. Καθ. Γιαγκόπουλος Δημήτριος (Μέλος)

ΚΟΖΑΝΗ 2020

Περίληψη

Το σύνδρομο Bertolotti χαρακτηρίζεται από μία υπερμεγεθυμένη Ο5 απόφυση που διαρθρώνει ή ενώνεται με τα άκρα του ιερού οστού. Το σύνδρομο εμπλέκεται σε αυξημένο κίνδυνο δισκιακής δυσκαμψίας στο επίπεδο Ο4/5. Σχετίζεται με χρόνια πόνο στην κάτω περιοχή της πλάτης (γνωστό κι ως οσφυαλγία) και χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες. Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα μελετηθεί η επίδραση που έχει στους μεσοσπονδύλιους δίσκους το σύνδρομο όταν αυτοί φορτίζονται από δεδομένη δύναμη.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον κ. Παπαντώνη Χρήστο M Sc για την συμβολή του στη δημιουργία του script. Χάρη στις γνώσεις του, μειώθηκε σημαντικά ο χρόνος συλλογής των δεδομένων. Επίσης, ευχαριστίες αποδίδω και στην Εμμανουέλα Μπαξιοβά M Sc, που αφιέρωσε μέρος του πολύτιμου χρόνου της για διευκρινήσεις και επεξηγήσεις κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

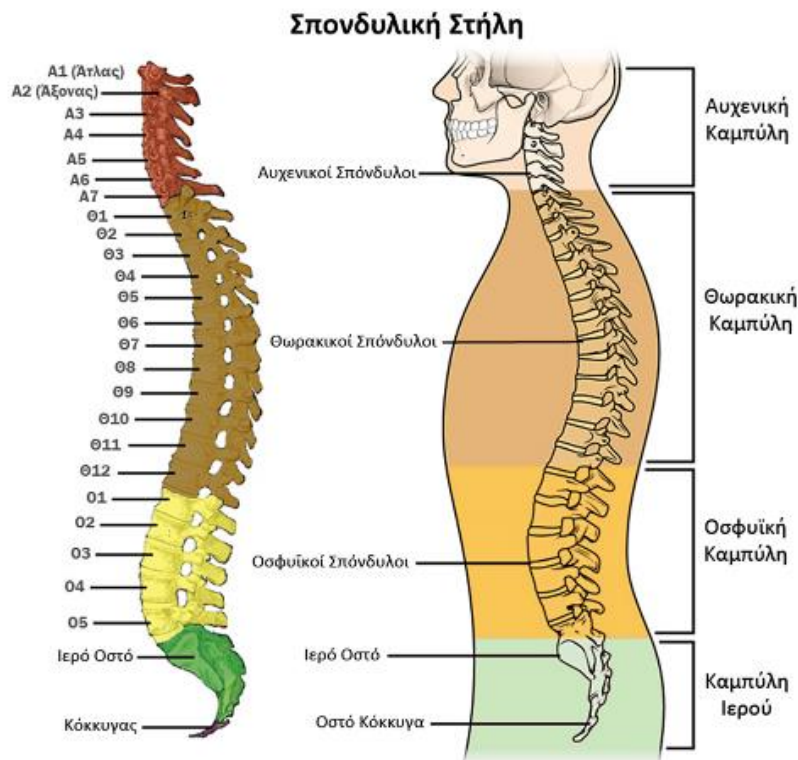
1. Ανατομία της σπονδυλικής στήλης.....	3
1.1 Η σπονδυλική στήλη.....	3
1.1.1 Οι σπόνδυλοι.....	4
1.1.1.1 Οι σπόνδυλοι της οσφυϊκής μοίρας.....	6
1.1.2 Οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι.....	8
1.1.3 Το ιερό οστό.....	10
2. Το σύνδρομο Bertolotti.....	12
2.1 Ορισμός και κατηγορίες συνδρόμου Bertolotti.....	12
2.2 Εμφάνιση στον πληθυσμό.....	14
2.3 Ανατομικές παραλλαγές.....	14
3. Κλινική σημαντικότητα.....	17
4. Μεθοδολογία εκπόνησης διπλωματικής.....	18
4.1 Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.....	18
4.2 Το μοντέλο της σπονδυλικής στήλης.....	19
4.3 Η εύρεση των τιμών πίεσης και συντεταγμένων.....	24
4.4 Στατιστική ανάλυση.....	26
5. Αποτελέσματα.....	30
5.1 Στρέψη.....	30
5.1.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5.....	30
5.1.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4.....	32
5.1.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O3.....	34
5.1.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O2.....	36
5.1.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O1.....	39
5.2 Πρόσθια Κάμψη.....	42
5.2.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5.....	42
5.2.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4.....	44
5.2.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O3.....	46
5.2.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O2.....	48
5.2.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O1.....	50
5.3 Πλάγια Κάμψη.....	53
5.3.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5.....	53
5.3.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4.....	55
5.3.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O3.....	57
5.3.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O2.....	59
5.3.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O1.....	61
6. Συμπεράσματα.....	64
7. Πηγές.....	70
8. Παράρτημα.....	72

1. Ανατομία της σπονδυλικής στήλης

1.1 Η σπονδυλική στήλη

Σπονδυλική στήλη ονομάζεται ένα ανάπτυγμα σπονδύλων, που αρθρώνονται μεταξύ τους και περιβάλλουν τον νωτιαίο μυελό. Κάθε σπόνδυλος περιέχει μια δίοδο, που περιέχει τη νωτιαία χορδή, ένα νευρικό τόξο που καλύπτει τον νωτιαίο μυελό, καθώς επίσης σε αρκετές περιπτώσεις ένα αιμικό τόξο το οποίο περικλείει αιμοφόρα αγγεία. Επίσης, οι σπόνδυλοι φέρουν εγκάρσιες αποφύσεις, στις οποίες αρθρώνονται οι πλευρές (στην περίπτωση των θωρακικών). Όλα τα οστά της σπονδυλικής στήλης μορφολογικά είναι ίδια, εκτός από ένα που ονομάζεται Άτλας (A1). Είναι αυτό που συνδέει την σπονδυλική στήλη με το κρανίο και είναι ο πρώτος σπόνδυλος. Η άρθρωση σπονδυλικής στήλης-πλευρών γίνεται με τους θωρακικούς σπονδύλους. Τέλος, η σπονδυλική στήλη καταλήγει και αρθρώνεται στην πυελική ζώνη με το ιερό οστό.

Η ανθρώπινη σπονδυλική στήλη αποτελείται από 33 συναρθρωμένους σε σειρά σπονδύλους. Κάθε σπόνδυλος περιλαμβάνει ένα ημικυλινδρικό σώμα μεγέθους ανάλογου με το τμήμα στο οποίο ανήκει. Στα πλάγια φέρει δύο εγκάρσιες αποφύσεις και πίσω μια ακανθώδη απόφυση, που χρησιμεύουν για την πρόσφυση μυών και συνδέσμων. Στο κυλινδρικό σώμα επίσης απολήγουν τα σπονδυλικά τόξα που, ενωμένα, σχηματίζουν ένα δακτύλιο. Οι επάλληλοι αυτοί δακτύλιοι δημιουργούν ένα ενιαίο σωλήνα, τον σπονδυλικό σωλήνα, εντός του οποίου φέρεται ο νωτιαίος μυελός. Κάθε σπόνδυλος αρθρώνεται με τον υπερκείμενο και υποκείμενο σπόνδυλο μέσω των αρθρικών αποφύσεων. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη διάταξη των σπονδύλων στη σπονδυλική στήλη.



Εικόνα 1. Η ανθρώπινη σπονδυλική στήλη. Πηγή: www.gethealthier.gr

Οι σπόνδυλοι διακρίνονται επιμέρους ανάλογα της θέσης τους στη σπονδυλική στήλη (εικόνα 1) από άνω προς τα κάτω σε:

Αρθρωτοί σπόνδυλοι

- Επτά αυχενικούς (Α1-Α7), οι εγκάρσιες αποφύσεις των οποίων παρουσιάζουν οπή (εγκάρσιο τρήμα), από την οποία και διέρχονται τα αγγεία των σπονδύλων.
- Δώδεκα θωρακικούς (Θ1-Θ12), στους οποίους αρθρώνονται οι αντίστοιχες πλευρές.
- Πέντε οσφυϊκούς (Ο1-Ο5), που το σώμα τους είναι μεγαλύτερο όλων των προηγουμένων σπονδύλων.

Ενωμένοι σπόνδυλοι

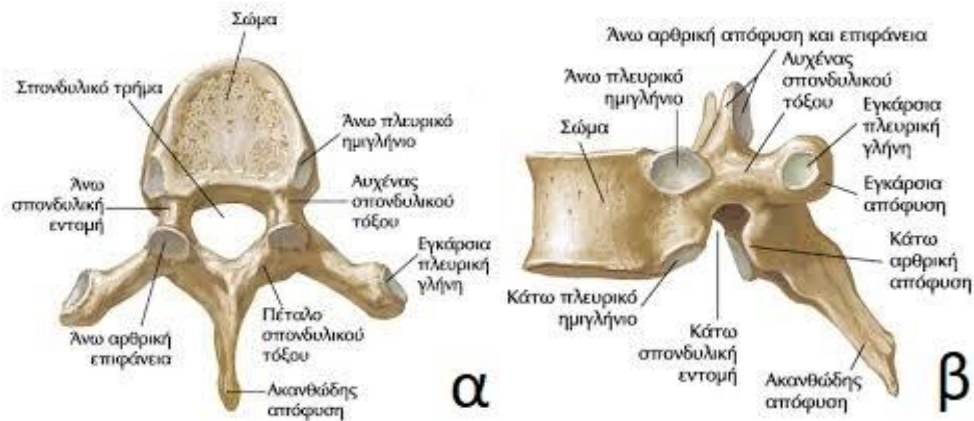
- Πέντε ιερούς, που ενωμένοι αποτελούν το **ιερό οστό**.
- Τέσσερις κοκκυγικούς, που είναι συνενωμένοι και αποτελούν τον κόκκυγα.

1.1.1 Οι σπόνδυλοι

Η βασική διαμόρφωση κάθε σπονδύλου ποικίλλει, ανάλογα με τη θέση του στη στήλη, ούτως ώστε να εκπληρώνει αποτελεσματικά τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του κάθε μέρους. Κάθε σπόνδυλος αποτελείται (εικόνα 2) α) από το πρόσθιο μέρος, που είναι η βασική περιοχή στήριξης του βάρους και εκεί επαφίεται ο μεσοσπονδύλιος δίσκος που διαχωρίζει τους σπονδύλους και β) από το πέταλο του σπονδυλικού τόξου (ή σπονδυλική αψίδα) που καλύπτει το νωτιαίο σωλήνα, δηλαδή την οπή δηλαδή στο κέντρο του σπονδύλου μέσα από την οποία περνά ο νωτιαίος μυελός. Η ακανθώδης απόφυση του σπονδύλου προβάλλεται προς τα πίσω και είναι το εξόγκωμα που αντιλαμβάνεται κανείς κατά την ψηλάφηση της πλάτης. Τα ζεύγη των εγκάρσιων αποφύσεων εκτείνονται παράπλευρα και συνδέονται με τους μυς της πλάτης [1].

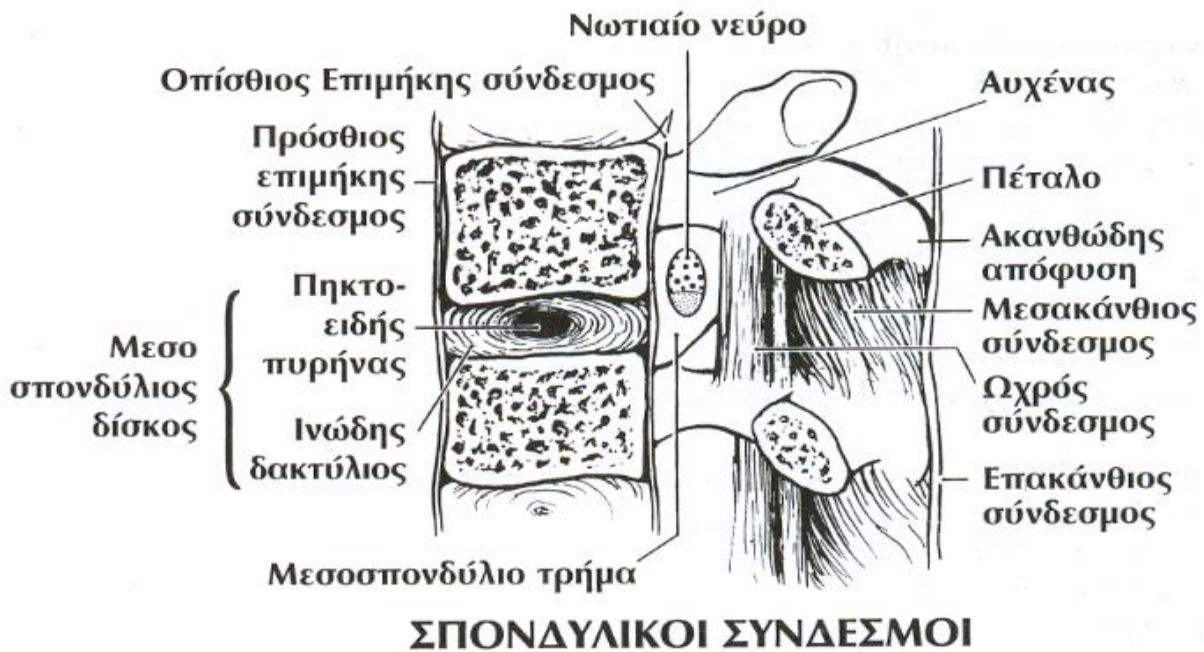
Το πρόσθιο μέρος του σπονδύλου αποτελείται από ένα είδος σπογγώδους οστού που γίνεται πιο συμπαγές καθώς πλησιάζει στο σύνορό του. Εκεί καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα πιο σκληρού και συμπαγούς οστίτη ιστού (εικόνα 2). Οι άνω και κάτω επιφάνειες του σώματος είναι επίπεδες και τραχείς για να προσδένονται οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι. Είναι σχηματισμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να περικλείουν τους μεσοσπονδύλιους δίσκους, να κατανέμουν ομοιόμορφα τα εφαρμοζόμενα φορτία και να παρέχουν αγκύρωση για τις ίνες κολλαγόνου του δίσκου. Παράλληλα λειτουργούν ως ημιδιαπερατή επιφάνεια για την ανταλλαγή νερού και διαλυμένων ουσιών. Τέλος το τόξο και οι αποφύσεις των σπονδύλων έχουν πιο πυκνό στρώμα οστίτη ιστού [2,3].

Το σπονδυλικό τόξο αποτελείται από δύο αυχένες, δύο εγκάρσιες και δύο αρθρικές αποφύσεις και τη ακανθώδη απόφυση. Οι δύο αυχένες, κοντοί και χοντροί, προεκτείνονται προς τα πίσω από τα πλάγια για να ενώσουν το σώμα με το τόξο. Προεξέχουν από τις οπίσθιες πλάγιες πάνω επιφάνειες του κέντρου. Από κάθε αυχένα, η ακανθώδης απόφυση προεξέχει προς τα πίσω από το μέσο του πέταλου ώστε να ενωθούν εκεί οι υπόλοιπες αποφύσεις και να ολοκληρώσουν το σπονδυλικό τόξο, την οπίσθια πλευρά του σπονδύλου και κατά συνέπεια τη κάτω σπονδυλική εντομή (εικόνα 2) [3].



Εικόνα 2. Άνω(α) και αριστερή(β) όψη ενός τυπικού θωρακικού σπονδύλου [3]

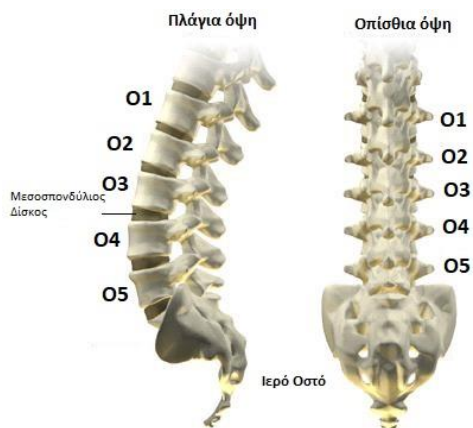
Οι επιφάνειες των αποφύσεων είναι τραχιές, ώστε να συνδέονται οι μύς και με τις αποφύσεις των διπλών σπονδύλων μέσω των συνδετικών ιστών (ωχρός, μεσοκάνθιος και επακάνθιος σύνδεσμος). Αυτοί οι ιστοί υπάρχουν κατά μήκος της στήλης ξεκινώντας από τον δεύτερο σπόνδυλο (Α2 ή άξονας). Άνω και κάτω των αυχένων υπάρχουν ρηχές εσοχές (ημιγλήνια), που όταν ενώνονται με τους παραπλησίους σπονδύλους δημιουργούν τα ανοίγματα από όπου ξεκινούν οι νευρικές απολήξεις του νωτιαίου μυελού μαζί με τα σχετικά αγγεία [3].



Εικόνα 3. Δύο γειτονικοί σπόνδυλοι με τους συνδετικούς ιστούς, τον μεσοσπονδύλιο δίσκο και το νωτιαίο νεύρο. Πηγή: eclass.uoa.gr

1.1.1.1 Οι σπόνδυλοι της οσφυϊκής μοίρας

Οι οσφυϊκοί σπόνδυλοι είναι οι πέντε σπόνδυλοι μεταξύ των θωρακικών και της λεκάνης (εικόνα 4). Ονομάζονται Ο1 έως Ο5 (στην αγγλική βιβλιογραφία ονομάζονται L1 έως L5), ξεκινώντας από την κορυφή, είναι τα μεγαλύτερα τμήματα της σπονδυλικής στήλης και χαρακτηρίζονται από την απουσία πλευρικών γληνών που σχηματίζουν ανοίγματα για κρανιακά αγγεία και νεύρα (καθώς αυτές βρίσκονται μόνο στους αυχενικούς σπονδύλους) και από την απουσία ημιγλήνιων για ένωση με τα πλευρά (που βρίσκονται μόνο στην θωρακική περιοχή) [3].



Εικόνα 4. Ανθρώπινη οσφυϊκή μοίρα με αριθμημένους τους σπονδύλους της [5]

Όπως συμβαίνει και με άλλους σπονδύλους, κάθε οσφυϊκός σπόνδυλος αποτελείται από ένα σπονδυλικό σώμα και ένα σπονδυλικό τόξο. Το σπονδυλικό σώμα κάθε οσφυϊκού σπονδύλου είναι μεγάλο, ευρύτερο από πλευρά σε πλευρά σε σχέση με τη κατεύθυνση μέτωπο προς τα πίσω και μπροστά είναι λίγο παχύτερο από το οπίσθιο μέρος. Είναι επίπεδοι ή ελαφρώς κοίλοι πάνω και κάτω, κοίλοι πίσω και έντονα συσφιγμένοι μπροστά και στα πλάγια. Οι μεσοσπονδύλιες αρθρώσεις έχουν τέτοια κατεύθυνση, ώστε δεν επιτρέπουν στροφή γύρω από τον άξονά τους [3].

Οι αυχένες των οσφυϊκών σπονδύλων είναι πολύ ισχυροί και κατευθύνονται από το άνω μέρος του σπονδυλικού σώματος προς τα πίσω, με συνέπεια, οι κατώτερες σπονδυλικές εγκοπές να έχουν σημαντικό βάθος. Από τον Ο1 και προς τα κάτω οι σπόνδυλοι μεταβάλλονται στη μορφολογία με το πλάτος του τόξου να ξεκινά από 9 mm στον Ο1 και να φτάνει έως και 18 mm στον Ο5. Αυξάνουν την γωνία στο αξονικό επίπεδο από 10 μοίρες σε 20 μοίρες στον Ο5. Οι αποφύσεις είναι ευρείς, μικρές και ισχυρές. Στην άνω οσφυϊκή περιοχή οι αποφύσεις έχουν μεγαλύτερο ύψος παρά πλάτος, ενώ στην κάτω οι αποφύσεις είναι περισσότερο φαρδιές παρά ψηλές. Το σπονδυλικό τόξο είναι εσωτερικά τριγωνικό και μεγαλύτερο από τους θωρακικούς σπονδύλους, αλλά μικρότερο από τους αυχενικούς σπονδύλους [3].

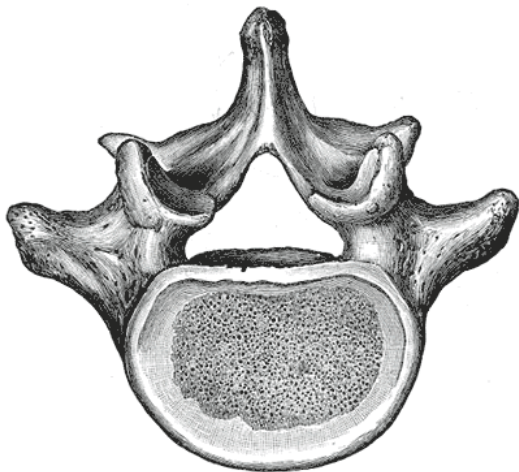
Η ακανθώδης απόφυση είναι παχιά, φαρδιά και κάπως τετράπλευρη. Ξεπροβάλλει προς τα πίσω και τελειώνει σε ένα τραχύ ανομοιόμορφο περιθώριο, παχύτερο στο κάτω μέρος, όπου περιστασιακά διακόπτεται απότομα [3].

Οι ανώτερες και οι κατώτερες αρθρικές υποφύσεις είναι καλά καθορισμένες και προβάλλονται αντίστοιχα προς τα πάνω και προς τα κάτω από τις ενώσεις των αυχένων με το τόξο. Οι πτυχές στις ανώτερες διαδικασίες είναι κοίλες και βλέπουν προς τα πίσω και προς το κέντρο. Αυτές που βρίσκονται

στην κάτω πλευρά είναι κυρτές και κατευθύνονται προς τα εμπρός και προς τα πλάγια. Οι άνω έχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους από τις κάτω, αφού στην αρθρωτή στήλη, οι κατώτερες αρθρικές υποφύσεις αγκαλιάζονται από τις ανώτερες υποφύσεις του υποκείμενου σπονδύλου [3].

Οι εγκάρσιες υποφύσεις είναι μακρόστενες. Είναι επίσης οριζόντιες στους άνω τρεις οσφυϊκούς σπονδύλους και αποκτούν λίγη κλίση προς τα πάνω στους κάτω δύο. Στους άνω τρεις σπονδύλους προκύπτουν από τις διασταυρώσεις των αυχένων και των οπίσθιων προεκτάσεων, αλλά στους χαμηλότερους σπονδύλους βρίσκονται μακρύτερα προς τα εμπρός και ελαττώνουν σε μέγεθος καθώς προσεγγίζουν τους αυχένες και τα οπίσθια μέρη των σπονδυλικών σωμάτων. Βρίσκονται μπροστά από τις αρθρικές υποφύσεις, αντί για πίσω τους, όπως στους θωρακικούς σπονδύλους και είναι ομόλογες με τα πλευρά [3].

Ο πέμπτος οσφυϊκός σπόνδυλος χαρακτηρίζεται από το ότι το σώμα του είναι πολύ πιο βαθύ μπροστά από το πίσω μέρος του, το οποίο ταυτίζεται με την προεξοχή της αρθρώσεως του ιερού οστού. Χαρακτηρίζεται επίσης από το μικρότερο μέγεθος της ακανθώδης υπόφυσής του, από το μεγάλο διάστημα μεταξύ των κατώτερων αρθρικών υποφύσεων και από το πάχος των εγκάρσιων υποφύσεων του, οι οποίες εκτείνονται από το σώμα καθώς και από τους αυχένες [3].



Εικόνα 5. Άνω όψη ενός υγιούς Ο5 σπόνδουλου [3]

Οι σπόνδυλοι αρθρώνονται μεταξύ τους για να δώσουν δύναμη και ευελιξία στην σπονδυλική στήλη με το σχήμα στην οπίσθια και την εμπρόσθια πλευρά τους να καθορίζει το εύρος της κίνησης. Κάθε σπόνδυλος είναι ακανόνιστο οστό με σύνθετη δομή που αποτελείται από οστά και κάποιους υαλώδεις χόνδρους, οι αναλογίες των οποίων ποικίλλουν ανάλογα με το τμήμα της σπονδυλικής στήλης. Τέσσερις σπονδυλικές αρθρώσεις εμπλέκονται στη δομική συγκρότηση κάθε σπονδύλου, ένα ζεύγος στην άνω αρθρική επιφάνεια και ένα ζεύγος στην κάτω αρθρική επιφάνεια. Συμπλέκονται με τους παρακείμενους σπονδύλους παρέχοντας σταθερότητα στη σπονδυλική στήλη. Ανάμεσα στους σπονδύλους παρεμβάλλονται οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι, οι οποίοι λειτουργούν ως μεταξύ των οστών [3].

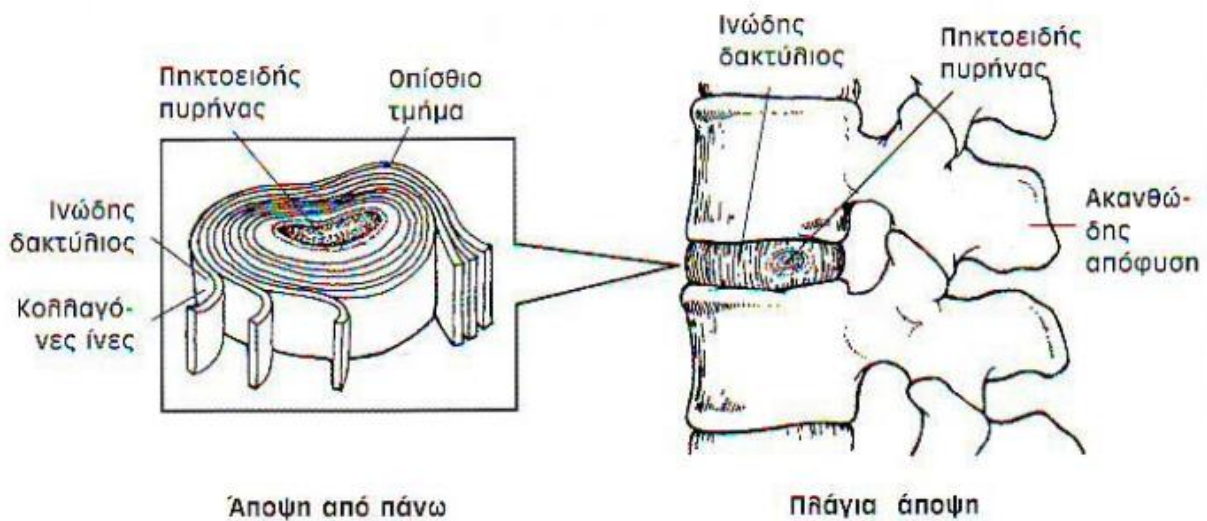
Σε κανένα άτομο είτε πρόκειται για υγιή άνθρωπο είτε για ασθενή οι σπόνδυλοι της στήλης δεν είναι απόλυτα συμμετρικοί. Γενετικοί παράγοντες, κακές συνήθειες και ατυχήματα επηρεάζουν τη μορφή τους σε διαφορετικό βαθμό και οι μηχανισμοί επιρροής δεν είναι πλήρως κατανοητά ακόμα. Αυτή η ασυμμετρία υπάρχει και στο μοντέλο όπως θα εξηγηθεί πιο αναλυτικά στην πορεία.

1.1.2 Οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι

Ο μεσοσπονδύλιος δίσκος διαχωρίζει τους σπονδύλους και λειτουργεί ως αποσβεστήρας, απορροφώντας τους κραδασμούς κατά μήκος της σπονδυλικής στήλης. Ο δίσκος είναι ένα υλικό που μοιάζει με χόνδρο, αποτελείται από τον ηκτοειδή πυρήνα και καλύπτεται από πολυάριθμες ισχυρές, ινώδεις, εξωτερικές επιστρώσεις, τους δακτυλίους. Χρησιμεύει για την κατανομή της πίεσης κατά την έκταση και κάμψη της σπονδυλικής στήλης. Κατά την πρόσθια κάμψη του κορμού ο ηκτοειδής πυρήνας μετακινείται προς τα πίσω, κατά την έκταση μετακινείται προς τα μπροστά, ενώ κατά την πλάγια κάμψη κινείται προς την αντίθετη πλευρά.

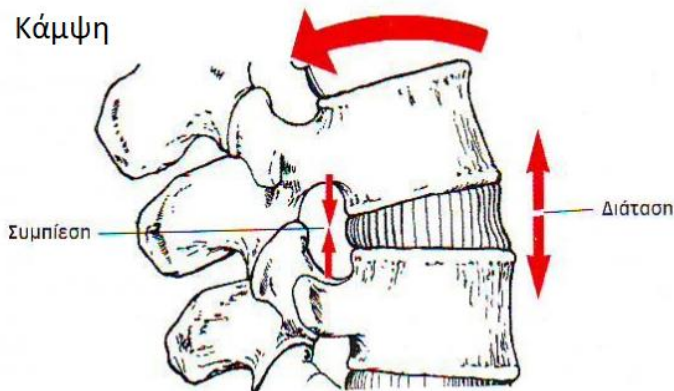
Ένας ανθρώπινος μεσοσπονδύλιος δίσκος αποτελείται από έναν κεντρικό πυρήνα, που είναι μια έντονα ενυδατωμένη ζελατίνη πρωτεογλυκάνης εντός ενός τυχαία κατανεμημένου δικτύου ινών κολλαγόνου και είναι περιορισμένο από τις στρώσεις ινών του δακτυλίου (εικόνα 6). Μέσα στη μήτρα των ινών είναι τα κύτταρα του δίσκου, στρογγυλεμένα όπως των χόνδρων μιας άρθρωσης στον πυρήνα και βελονοειδή ή ινώδη στον δακτύλιο. Ο δίσκος είναι τοποθετημένος ανάμεσα σε θυλακοειδείς πλάκες που σκεπάζουν τους σπονδύλους και αιματώνονται, σε αντίθεση με το κυρίαρχο μέρος του δίσκου. Οι περιφερειακές ίνες του δακτυλίου εφάπτονται απευθείας στην απόφυση του σπονδύλου. Στη πράξη, ένας υγιής, ενυδατωμένος δίσκος που υπόκειται σε συμπίεση και επιμηκύνεται ακτινικά λόγω της φόρτισης, αντιστέκεται στη μεταβολή με την ανάπτυξη τάσεων στις ίνες κολλαγόνου κατά μήκος του εξωτερικού δακτυλίου [4].

Ο ηκτοειδής πυρήνας αποτελεί το κεντρικό τμήμα του δίσκου, περιέχει περίπου 90% νερό και το υπόλοιπο 10% είναι κολλαγόνο και ειδικές ουσίες που έλκουν χημικά το νερό (υδρόφιλες). Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό τον καθιστούν ανθεκτικό στη συμπίεση. Οι ιστοί αυτοί παρουσιάζουν μειωμένη αιμάτωση. Αντίθετα με τους περισσότερους ιστούς του σώματος, οι ιστοί του μεσοσπονδύλιου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό για τη μεταφορά υγρών θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου από τα οστά (το σώμα των σπονδύλων) επάνω και κάτω από αυτούς. Αυτή η μεταφορά υγρών εξαρτάται με τη σειρά της από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού των δίσκων και των γύρω σπονδύλων και αιμοφόρων αγγείων [2].



Εικόνα 6. Ανατομία μεσοσπονδύλιου δίσκου

Η πρόσθια κάμψη, η έκταση και η πλάγια κάμψη της σπονδυλικής στήλης δημιουργούν συμπιεστική καταπόνηση στη μια πλευρά των μεσοσπονδύλιων δίσκων και διατατική επιβάρυνση στην άλλη πλευρά (εικόνα 7) [2].



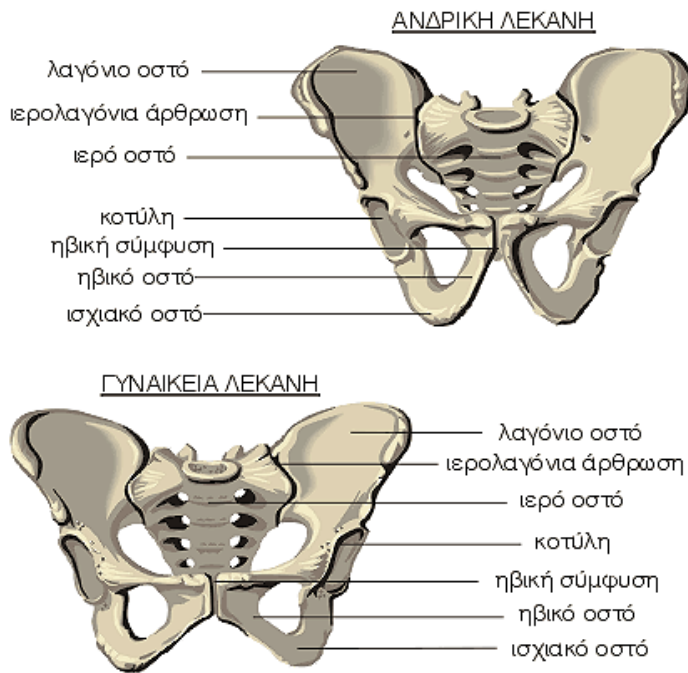
Εικόνα 7. Ποιοτική απεικόνιση φορτίσεων. Πηγή: eclass.uth.gr

Οι τραυματισμοί και η γήρανση μειώνουν σημαντικά την ικανότητα απορρόφησης νερού των δίσκων, με συνέπεια τη μείωση της ικανότητας απορρόφησης των κραδασμών. Οι συνηθέστερες εκφυλιστικές μεταβολές συμβαίνουν στον Ο5–Ι1 δίσκο, που είναι εκτεθειμένος στη μεγαλύτερη μηχανική επιβάρυνση λόγω της θέσης του.

Στην κατανομή των φορτίσεων είναι σημαντική η μορφή της κίνησης που εκτελεί το υποκείμενο (στρέψη, κάμψη ή έκταση), αλλά και η φυσική ασυμμετρία του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Μικρές διαφοροποιήσεις στη γεωμετρία των καμπυλών που περιγράφουν το σώμα οδηγούν σε διαφορετική δυναμική συμπεριφορά μεταξύ των μελετώμενων σπονδύλων. Επιπρόσθετα, η κατεύθυνση της φόρτισης στις διαφορετικές μελετώμενες κινήσεις είναι αναμενόμενο να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα για τον ίδιο δίσκο.

1.1.3 Το ιερό οστό

Το ιερό οστό, είναι το τριγωνικό οστό που βρίσκεται ραχιαία και ουραία από τα δύο λαγόνια οστά μεταξύ του πέμπτου οσφυϊκού σπονδύλου και του κόκκυγα. Σχηματίζεται από πέντε ενοποιημένους σπονδύλους και «σφηνώνεται» μεταξύ των δύο ανωνύμων οστών, με τις αρθρώσεις του να σχηματίζουν τις “ιερολαγόνιες αρθρώσεις”. Είναι η βάση της σπονδυλικής στήλης και μαζί με τον κόκκυγα σχηματίζουν το οπίσθιο όριο της πυέλου (εικόνα 8).



Εικόνα 8. Ανατομία λεκάνης Πηγή: www.healthyliving.gr

Το ιερό οστό είναι μια σύνθετη δομή που παρέχει στήριξη στη σπονδυλική στήλη και προστασία στο νωτιαίο νεύρο. Επίσης, αρθρώνεται με τα οστά του ισχίου. Το ιερό οστό έχει μια βάση, μια κορυφή και τρεις επιφάνειες, μια πυελική, μια ραχιαία και μια πλευρική επιφάνεια. Η βάση του ιερού, που είναι φαρδιά και εκτεταμένη, κατευθύνεται προς τα πάνω και προς τα εμπρός. Από τις δύο πλευρές της βάσης υπάρχει μια μεγάλη προεξοχή γνωστή ως πτερύγιο (ή φτερό) του ιερού και αυτά τα πτερύγια αρθρώνονται με τις ιερολαγονικές ενώσεις. Τα πτερύγια υποστηρίζουν τους μεγάλους μύς ψόας και τον οσφυϊκό κορμό, που συνδέει το οσφυϊκό πλέγμα με το ιερολαγονικό πλέγμα. Στην αρθρωτή λεκάνη τα πτερύγια είναι συνεχόμενα με το λαγονίου οστού. Κάθε πτερύγιο είναι ελαφρώς κοίλο από τη μία πλευρά στην άλλη και κυρτό από πίσω και προσδέεται με μερικές από τις ίνες του λαγονίου μύος. Το οπίσθιο τεταρτημόριο του πτερυγίου αντιπροσωπεύει την εγκάρσια απόφυση και τα εμπρόσθια τρία τεταρτημόριά της, την ακρογωνιαία απόφυση του πρώτου ιερικού τμήματος. Κάθε πτερύγιο αποτελεί τμήμα των ορίων του πυελικού χείλους, όπως επίσης τη βάση του οσφυϊκού τριγώνου. Ο οσφυολαγονικός σύνδεσμος και οι ιερο- οσφυϊκοί σύνδεσμοι είναι συνδεδεμένοι με το πτερύγιο [3].

Στη μέση της βάσης υπάρχει μια μεγάλη ωοειδής αρθρική επιφάνεια, η ανώτερη επιφάνεια του σώματος του πρώτου ιερού σπονδύλου (I1), η οποία συνδέεται με την κάτω επιφάνεια του σώματος του

τελευταίου οσφυϊκού σπονδύλου (Ο5) με ένα μεσοσπονδύλιο χόνδρο. Πίσω από αυτόν είναι το μεγάλο τριγωνικό στόμιο του ιερού καναλιού, το οποίο συμπληρώνεται από το στρώμα και την ακανθώδη απόφυση του πρώτου ιερού σπονδύλου. Οι άνω αρθρικές αποφύσεις εκτείνονται από αυτό σε κάθε πλευρά, είναι ωοειδείς, κοίλες, κατευθυνόμενες προς τα πίσω και προς το κέντρο, όπως οι άνω αρθρικές αποφύσεις ενός οσφυϊκού σπονδύλου. Συνδέονται με το σώμα του πρώτου ιερού σπονδύλου και με κάθε πτερύγιο με κοντούς και χοντρούς αυχένες. Στην άνω επιφάνεια του κάθε αυχένα είναι μια σπονδυλική εγκοπή, η οποία σχηματίζει το κάτω τμήμα του ανοίγματος μεταξύ του τελευταίου οσφυϊκού και πρώτου ιερού σπονδύλου [3].

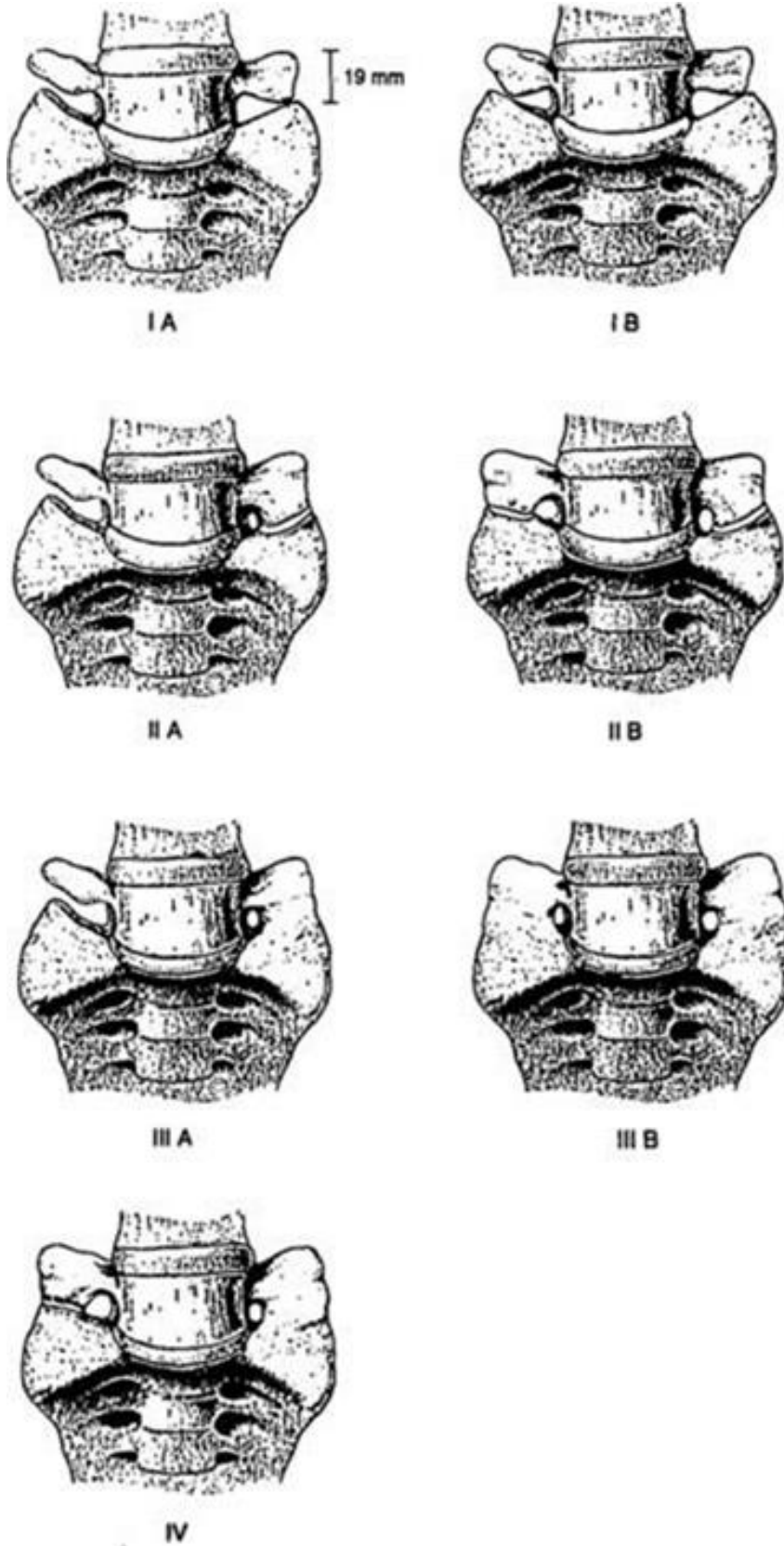
Η κορυφή κατευθύνεται προς τα κάτω και προβάλλει μια ωοειδής επιφάνεια για άρθρωση με τον κόκκυγα. Το ιερό κανάλι, ως συνέχεια του σπονδυλικού καναλιού διέρχεται το μεγαλύτερο μέρος του ιερού οστού. Η "ιερή γωνία" είναι η γωνία που σχηματίζεται από το πραγματικό σύζευγμα με τα δύο κομμάτια του ιερού και συνήθως είναι μεγαλύτερη από 60 μοίρες. Μια μικρότερη ιερή γωνία υποδεικνύει στένωση της λεκάνης [3].

2. Το Σύνδρομο Bertolotti

2.1 Ορισμός και κατηγορίες συνδρόμου Bertolotti

Οι ενώσεις της οσφυϊκής μοίρας με το ιερό οστό (EOMIO) (στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία ο όρος είναι Lumbar Sacral Transitional Vertebrae ή LSTV) είναι μια σειρά από εκ γενετής ανωμαλίες της σπονδυλικής στήλης, στις οποίες δημιουργείται μια σύζευξη ανάμεσα στον τελευταίο δίσκο -σε διαφορετικό βαθμό- με το "πρώτο" τμήμα του ιερού οστού. Οι EOMIO, ως μορφολογικές παραλλαγές, κυμαίνονται σε ένα ευρύ φάσμα, από μερική/πλήρη Ο5 ιεροστοποίηση μέχρι μερική/πλήρη οσφυοποίηση. Οσφυοποίηση του Ι1 είναι η πάθηση κατά την οποία ο πρώτος σπόνδυλος του ιερού οστού δεν έχει ενωθεί πλήρως με τους υπόλοιπους (Ι2-Ι6) και εμφανίζεται σαν τους υπόλοιπους της οσφυϊκής μοίρας. Αυτός ο επονομαζόμενος "επιπλέον" ή "επιπρόσθετος" οσφυϊκός σπόνδυλος ή μεταβατικός σπόνδυλος προκύπτει από την μη ένωση του Ι1 με τον Ι2 ή του Ι2 με τον Ι3 σπόνδυλο. Αυτός ο οσφυοποιημένος Ι1 σπόνδυλος μπορεί να έχει μεσοσπονδύλιο δίσκο όπως τα υπόλοιπα μέλη της μοίρας ή να έχει δισκιακό χώρο που παραμένει υπανάπτυκτος. Όταν ο Ο5 σπόνδυλος ενώνεται πλήρως με το ιερό οστό, τότε υπάρχει οσφυϊκή στήλη, ενώ, όταν ο Ι1 διαχωρίζεται πλήρως από το ιερό οστό, τότε η οσφυϊκή μοίρα υπάρχει και το ισορροπημένο περίγραμμα γίνεται περισσότερο λорδοτύπο. Πολλές ανεκπλήρωτες διαδοχές ενώσεων έχουν παρατηρηθεί και έχουν κατηγοριοποιηθεί ως EOMIO [6].

Οι Castellvi et al (1984) αναφέρονται σε τέσσερις κατηγορίες EOMIO (εικόνα 9). Ο τύπος I περιλαμβάνει μονόπλευρες (Ia) ή δίπλευρες (Ib) ενωτικές μορφολογίες, μετρούμενες τουλάχιστον 19mm σε πάχος (κρανιολιτική διάσταση). Ο τύπος II παρουσιάζει ανεκπλήρωτη μονόπλευρη (IIa) ή δίπλευρη (IIb) ιεροστοποίηση/οσφυοποίηση με μία μεγεθυμένη ένωση να έχει μια μεταβατική απόφυση ανάμεσα σε αυτή και το ιερό οστό. Ο τύπος III περιγράφει μια μονόπλευρη (IIIa) ή δίπλευρη (IIIb) οσφυοποίηση/ιεροστοποίηση με πλήρη οστική ένωση στη μεταβατική απόφυση στο ιερό οστό. Ο τύπος IV περιλαμβάνει μια μονόπλευρη ένωση τύπου II με μια τύπου III στην αντίθετη πλευρά [6,7].



Εικόνα 9. Αναπαραστάσεις κατηγοριών EOMIO [6].

2.2 Εμφάνιση στον πληθυσμό

Οι εκτιμήσεις για την επικράτηση των ΕΟΜΙΟ στον πληθυσμό ποικίλλουν ιδιαίτερα στην βιβλιογραφία, λόγω διαφορετικών ερμηνειών του όρου και των μοντελοποιήσεων, κυμαινόμενες από 4% έως 35.9% με μέση τιμή 12.3%. Σε μια μελέτη με 211 συμμετέχοντες, οι Arazidis et al (2011) συμπεράνανε πως ο τύπος Ia είναι ο πιο κοινός με ποσοστό 14.7%, παρόλα αυτά, ο τύπος I θεωρείται κλινικά ασήμαντος και δεν απαιτεί προσοχή στην κλινική πρακτική. Σε ένα πληθυσμό που δεν εμφανίζει συμπτώματα οι Nardo et al. καταλήξανε πως ο τύπος I και II είναι υπεύθυνοι για παραπάνω από 40% των περιπτώσεων ΕΟΜΙΟ, ενώ ο τύπος III και IV απαριθμούν το 11.5% και 5.25% των περιπτώσεων ΕΟΜΙΟ αντίστοιχα. Στις μονόπλευρες εκδοχές του συνδρόμου οι δυσμορφίες εμφανίζονται με σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα στην αριστερή πλευρά, ένα φαινόμενο που παραμένει ανεξήγητο [6,8,9].

Η εμφάνιση των ΕΟΜΙΟ, είναι συχνότερη στους άντρες (28.1% στους άντρες έναντι 11.1% στις γυναίκες). Η ιεροστοποίηση είναι πιο κοινή στους άνδρες, ενώ οι ενώσεις των Ο5-Ι1 αρθρώσεων και η οσφυοποίηση του Ι1 είναι πιο κοινές στις γυναίκες. Περιπτώσεις με οικογένειες με αυξημένες εμφανίσεις ΕΟΜΙΟ υποδεικνύουν έναν γενετικό παράγοντα. Τα ΗΟΧ10/ΗΟΧ11 γονίδια επηρεάζουν τα ακτινικά μοτίβα οσφυϊκών και ιερών μοιρών. Επίσης, μεταλλάξεις στα γονίδια μπορεί να παίζουν ρόλο στην εμφάνιση ΕΟΜΙΟ [6].

2.3 Ανατομικές παραλλαγές

Η παρουσία μίας ΕΟΜΙΟ περιπλέκει την εμβιομηχανική και την ανατομία της φυσιολογικής σπονδυλικής στήλης. Το ιερό οστό, ευρισκόμενο στη βάση της σπονδυλικής στήλης, βελτιστοποιεί την απορρόφηση του βάρους του πάνω μέρους του σώματος στη ιερολική (Ι1) ένωση, λειτουργώντας ως συγκολλημένη μάζα οστικών σωμάτων. Η ικανότητα του ιερού οστού να απορροφά φορτία εξαρτάται από το μέγεθος και την επιφάνεια με την ένωση Ι1. Παρόλο που τα γονίδια ΗΟΧ ρυθμίζουν τη τμηματοποίηση της σπονδυλικής στήλης σε ξεχωριστούς σπονδύλους, ο σχηματισμός των μεταβατικών θέσεων στην οσφυο-ιερή ένωση μπορεί να επηρεαστεί έντονα από λειτουργικές απαιτήσεις για τη μεταφορά φορτίων στην ένωση Ι1. Σύμφωνα με πτωματικές μελέτες, ιερά οστά που συμπεριλαμβάνουν Ο5 παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερα ύψη από τα υγιή ιερά οστά που δεν περιλαμβάνουν τον συγκολλημένο Ο5 σπόνδυλο στη μέτρηση. Η διαδικασία “πρόσθεσης” και “αφαίρεσης” τμημάτων στο ή από το ιερό οστό, εξαρτάται από την ικανότητα να δέχεται φορτία στο φυσιολογικό (Ι1-Ι5) ιερό οστό σε πρωταρχικό στάδιο μορφοποίησης του. Οπότε, ένα μικρό ιερό οστό με αρκετή επιφάνεια Ο1 άρθρωσης, ίσως συμπεριλάβει τον Ο5 ώστε να αυξήσει την ικανότητα αποδοχής φορτίων, ενώ ένα ιερό οστό με περίσσια ικανότητα μπορεί να απελευθερώσει τον Ι1 [6].

Ανωμαλίες στα κόκαλα που σχετίζονται με ΕΟΜΙΟ επιδρούν σε οποιαδήποτε χειρουργική επέμβαση στην οσφυο-ιερή οστική περιοχή. Στην περίπτωση της ιεροστοποίησης, όλες οι διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένου του στηρίγματος, το αυχενικό ύψος, οι διαμήκεις και εγκάρσιες διαστάσεις και η οσφυϊκή γωνίωση μειώνονται, ενώ η καθοδική κλίση αυξάνεται. Το ύψος του διαρθρωτικού τμήματος (pars interarticularis ή PI) και το πλάτος των επιφανειών στο σπονδυλικό τόξο είναι σημαντικά μικρότερα στο τερματικό οσφυϊκό τμήμα των ιεροποιημένων δειγμάτων. Το μικρό ύψος τόξου μπορεί να προδιαθέσει την σπονδυλόλυση και την σπονδυλολίση σε οσφυο-ιερό συνδέσεις που συνδέονται με τις μεταβατικές παραλλαγές και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή ιατρογενών τραυματισμών. Η οσφυοποίηση του Ι1 καταλήγει σε μικρότερη απόσταση μεταξύ της σπονδυλικής

επιφάνειας και του εξογκώματος του ιερού οστού, πιο αμβλύ στήριγμα στο κάθετο επίπεδο και λιγότερο απότομο μπροστά [6].

Οι ΕΟΜΙΟ παρουσιάζουν μεταβλημένες αρθρικές πλευρές στη διακλάδωση Ο5-Ι1, έτσι ώστε οι όψεις να είναι μικρότερες και προσανατολισμένες περισσότερο προς τη στεφάνη. Η οσφυοποίηση έχει ως αποτέλεσμα τη μικρότερη διαμήκη διάσταση, τη μικρότερη επιφάνεια και τον μέγιστο προσανατολισμό της λεκάνης. Οσφυοποίηση είναι η πάθηση όπου το Ι1 τμήμα του ιερού οστού δεν είναι πλήρως ενωμένο με το Ι2 τμήμα (όπως κανονικά θα επρέπε να συμβαίνει) ή μπορεί να είναι πλήρως ελεύθερο. Τότε θεωρείται επιπλέον, ξεχωριστός σπόνδυλος ή μέλος της οσφυϊκής μοίρας. Μεταξύ του Ι1 και Ι2 μπορεί να εμφανιστεί ένας μεσοσπονδύλιος δίσκος, όπως στην υπόλοιπη οσφυϊκή μοίρα ή η περιοχή να παραμείνει υπανάπτυκτη. Η ιεροστοποίηση επιδεικνύει ασήμαντη μεταβολή στην μορφολογία της προβολής. Η ιεροστοποίηση του Ο5 είναι μια γενετήσια ανωμαλία κατά την οποία ο οσφυϊκός σπόνδυλος, κυρίως μέσω της εγκάρσιας απόφυσης του ενώνεται ή σχεδόν ενώνεται με το ιερό οστό ή το λαγόνιο οστό ή και με τα δύο. Αυτή η ένωση μπορεί να συμβεί στη μια πλευρά ή και στις δύο, με αποτέλεσμα ο μεσοσπονδύλιος δίσκος ανάμεσα να είναι λεπτότερος. Η ασυμμετρία της προβολής συνδέεται κυρίως με τις βοηθητικές αρθρώσεις Ο5-Ι1, αλλά παρατηρείται σε όλες τις υποκατηγορίες ΕΟΜΙΟ. Αυτές οι αλλοιώσεις σχετίζονται πιθανώς με συμπτώματα πόνου χαμηλά στην πλάτη (κάτω οσφυαλγία) [6].

Η συσχέτιση ΕΟΜΙΟ με μορφολογικές μεταβολές στοιχείων νευρικής καμάρας και ωσειδίων επιφανειών είναι καλά εδραιωμένη. Λαμβάνοντας υπόψη τη εμβιομηχανική σημασία αυτών των μορφολογικών μεταβολών στη διατήρηση της σταθερότητας της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, οι Mahato et al. προτείνουν να επαναπροσδιοριστεί και να τροποποιηθεί η τρέχουσα ταξινόμηση των ΕΟΜΙΟ. Η συμπερίληψη της μορφής της προβολής και τα αποτελέσματα του υπέρηχου της επιφάνειας θα επέτρεπε στους κλινικούς ιατρούς να οριοθετούν με σαφήνεια ολόκληρο το φάσμα των πληροφοριών που απαιτούνται για την οπτική απεικόνιση και την κλινική ερμηνεία οποιασδήποτε υποκατηγορίας πάθησης ΕΟΜΙΟ [6].

Το ύψος του δίσκου κάτω από ένα οσφυϊκό τμήμα είναι σημαντικά μειωμένο στους τύπους ΙΙ, ΙΙΙ και ΙV. Η παρουσία μιας αμφίπλευρης ένωσης οστών μειώνει το ύψος του δίσκου πιο σοβαρά σε σύγκριση με τμήματα με δυνατότητα κίνησης (μονόπλευρη ένωση). Στο κοινό εύρημα ενός στενού μεσοσπονδύλιου δίσκου Ο5-Ι1 που σχετίζεται με ΕΟΜΙΟ δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο εκφυλισμός ή η μετατόπιση του δίσκου. Επιπλέον, η διαμήκης ευθυγράμμιση είναι συνήθως ουδέτερη, σε αντίθεση με τον τυπικό λорδωτό δίσκο Ο5-Ι1 [6].

Σε μια ανατομική μελέτη 70 πτωμάτων, οι Aihara et al. (2005) διαπίστωσαν ότι οι ινοσωματιδιακοί σύνδεσμοι στο επίπεδο αμέσως πάνω από τους μεταβατικούς σπονδύλους είναι λεπτότεροι και ασθενέστεροι από εκείνους στα πτώματα χωρίς ΕΟΜΙΟ. Οι αδύναμοι οσφυολαγόνιοι σύνδεσμοι καταλήγουν σε αστάθεια σπονδυλικού τμήματος και θα μπορούσαν στη συνέχεια να οδηγήσουν σε πρόωρο εκφυλισμό του δίσκου. Ο σχηματισμός μιας αρθρώσεως ή οστικής συνδέσεως μεταξύ του σπονδύλου και του ιερού οστού μέσω της εγκάρσιας απόφυσης μπορεί να αντιπροσωπεύει έναν προσαρμοστικό μηχανισμό για να αντισταθμίσει έναν ασθενή οσφυολαγόνιο σύνδεσμο και να διατηρήσει τη σταθερότητά του [6,10].

Η ΕΟΜΙΟ επηρεάζει, επίσης, την ιππουρίδα ή αλλιώς λεγόμενο τον μυελικό κώνο (conus medullaris ή T1CM). Ο μυελικός κώνος είναι το κατώτερο τμήμα του νωτιαίου μυελού και συνήθως βρίσκεται στο επίπεδο του 1ου-2ου οσφυϊκού σπονδύλου. Οι νευρικές ρίζες (5 οσφυϊκές και 5 ιερές) μετά τον μυελικό

κώνο πορεύονται σαν θύσανος (σαν ουρά αλόγου, εξ ου και το υποκοριστικό ιππουρίδα). Σε σύγκριση με τους ελέγχους, το TlCM έχει σημαντικά υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης ενός ιεροποιημένου O5 και σημαντικά χαμηλότερη ενός οσφυοποιημένου I1. Αυτό το εύρημα μπορεί να βοηθήσει τους κλινικούς γιατρούς να αναγνωρίσουν τις νευρολογικές διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των νευρολογικών τραυμάτων στην θωρακο-οσφυϊκή ένωση [6].

Οι περιορισμοί στην ευκαμψία της σπονδυλικής στήλης που επιβάλλουν οι διάφορες παραλλαγές EOMIO οδηγούν σε όξυνση των φορτίσεων που εφαρμόζονται στις επιφάνειες των μεσοσπονδύλιων δίσκων της οσφυϊκής μοίρας. Κάθε μορφή EOMIO έχει διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας αλλά όλοι τους οδηγούν σε ασύμμετρα φορτία. Το μελετώμενο μοντέλο, που θα περιγραφεί στην συνέχεια περιορίζει τη κίνηση του O5 σπονδύλου από τη μία πλευρά μόνο, την αριστερή. Είναι λοιπόν αναμενόμενο να παρουσιαστούν εντονότερες φορτίσεις σε μία πλευρά αυτών των δίσκων με την ασυμετρία αυτή να οδηγεί σε διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων από την υγιή εκδοχή του μοντέλου με εντονότερες μεταβολές στην πάσχουσα εκδοχή.

3. Κλινική σημαντικότητα

Πόνος στην κάτω περιοχή της πλάτης (ή χαμηλή οσφυαλγία) στην παρουσία ενός EOMIO αρχικά παρατηρήθηκε από τον Mario Bertolotti το 1917 και ορίστηκε ως “Bertolotti Syndrome”. Σύμφωνα με τους Quinlan et al., η παρουσία του συνδρόμου Bertolotti ανέρχεται στο 4.6% του γενικού πληθυσμού και το 11.4% αφορά ασθενείς κάτω των 30. Από τους 8280 ασθενείς που ζητούσαν ανακούφιση σε πόνο κάτω πλάτης, οι Paik et al. (1992) βρήκαν πως το 10.6% είχαν EOMIO κατηγορίας II, III ή IV με την οστεοποίηση στο ιερό οστό να αφορά το 5.3% και την οσφυοποίηση το 5.3%. Στη βιβλιογραφία, η επικράτηση των EOMIO ασθενών που αναζητούν γιατρεία κυμαίνεται μεταξύ 4.6% και 35.6%. Λόγω της μεγάλης αυτής επικράτησης, οι Quinlan et al. συνιστούν στους ιατρούς να σκέφτονται το σύνδρομο Bertolotti στη διαφορική διάγνωση για κάτω οσφυαλγία, ειδικά για νεότερους ασθενείς [6,11,12].

Η πιθανή συσχέτιση μεταξύ παρουσίας EOMIO και πόνου χαμηλά στην πλάτη συζητιέται από τότε που πρωτοαναφέρθηκε από τον Bertolotti, πριν από ένα αιώνα και πλέον. Ανάμεσα στους 4636 ασθενείς από την μονάδα «Πρωτοβουλία Οστεοαρθρίτιδας» (OAI), οι Nardo et al. βρήκανε πως το 53.9% των ασθενών χωρίς EOMIO δήλωσαν χαμηλή οσφυαλγία. 46% των ασθενών με τύπο I και 40% με τύπο III EOMIO δήλωσαν, επίσης, πόνο στην κάτω πλάτη, υποδεικνύοντας πως αυτές οι ανωμαλίες μπορεί να είναι ένας συντελεστής προστασίας. 73% ασθενών με τύπο II και 66% με τύπο IV EOMIO δήλωσαν πόνο χαμηλά στην πλάτη. Ο τύπος II και IV EOMIO έχουν θετική συσχέτιση με αυξημένη εμφάνιση και πιο έντονο πόνο στην χαμηλή πλάτη και στους γλουτούς σε χαμηλής δραστηριότητας επίπεδα. Η έρευνα των Tang et al. πάνω σε 928 άτομα με EOMIO υποστηρίζει τη σχέση μεταξύ τύπου II EOMIO με κάτω οσφυαλγία και πόνο στους γλουτούς, με αναλογίες (πασχόντων με άλγος στην οσφυϊκή μοίρα και στην γλουτιαία περιοχή) 2.56 και 5.38 αντίστοιχα. Η πιθανότητες σχέσης μεταξύ πόνου στην κάτω πλάτη και την γλουτιαία περιοχή και την ύπαρξη IV EOMIO είναι 4.28 και 6.82 αντίστοιχα. Αντίθετα, πολλοί συγγραφείς πιστεύουν πως όσφυο-ιερό μεταβατικά τμήματα είναι πολύ συχνά στον γενικό πληθυσμό και μπορεί να μην εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα σε ασθενείς με πόνο στην κάτω πλάτη [6,9,13].

Το 1977 οι Tini et al. βρήκαν μια ασήμαντη διαφορά μεταξύ εμφάνισης EOMIO σε ασθενείς με πόνο στη κάτω ραχιαία περιοχή (6.7%, n=4000) και στον γενικό πληθυσμό (5%, n=1873). Διάφορες άλλες έρευνες κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα, συμπεραίνοντας ότι δεν υπάρχει καμία διαφορά στον πόνο, τη δυσκινησία ή τα νευρολογικά ίχνη μεταξύ ατόμων με ή χωρίς EOMIO [6,14].

Μια τρίτη άποψη υποστηρίζει πως παράπονα για πόνο στην κάτω πλάτη μπορεί να είναι εντονότερα αλλά όχι συχνότερα στην παρουσία EOMIO. Ο εντονότερος πόνος μπορεί να αιτιολογείται από την συγκέντρωση εξωτερικών φορτίσεων σε διπλανούς σπονδύλους. Από τους 881 νεαρούς αρρένες ασθενείς, οι Taskaynatan et al. αναφέρουν πως η παρουσία ενός EOMIO εντείνει τη σημασία της κλινικής εικόνας του ασθενή και την ένταση του πόνου. Σύμφωνα με τα υποκείμενα των Yavuz et al. με πόνο στην κάτω πλάτη χωρίς δυσμορφίες, αναφέρονται μέτρια επίπεδα πόνου στην οπτική αναλογική κλίμακα για τον πόνο (VAS) με 2.2 ενάντι του 4.8 των ασθενών με κάτω οσφυαλγία και μεταβατικό σπόνδυλο [6,15,16].

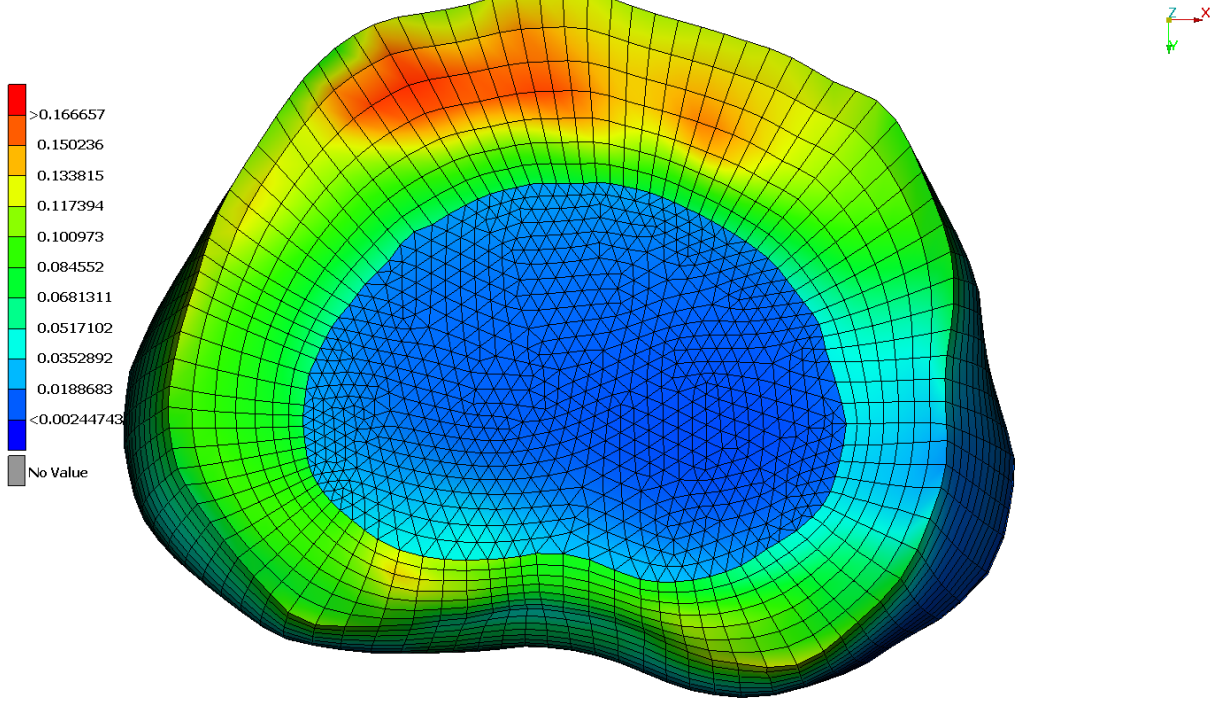
4. Μεθοδολογία εκπόνησης μελέτης

4.1 Ανάλυση Πεπερασμένων στοιχείων

Η Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Element Analysis ή FEA) είναι η προσομοίωση οποιουδήποτε φυσικού φαινομένου χρησιμοποιώντας την αριθμητική τεχνική που ονομάζεται μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method ή FEM)[17].

Είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν τα μαθηματικά για την πλήρη κατανόηση και ποσοτικοποίηση οποιωνδήποτε φυσικών φαινομένων, όπως η συμπεριφορά ρευστών ή δομικών στοιχείων, η μεταφορά θερμότητας, η διάδοση κυμάτων, η ανάπτυξη βιολογικών κυττάρων κλπ. Οι περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες περιγράφονται με τη χρήση μερικών διαφορικών εξισώσεων (ΜΔΕ). Για την επίλυση αυτών των ΜΔΕ με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, έχουν αναπτυχθεί αριθμητικές τεχνικές τις τελευταίες δεκαετίες και μία από τους σημαντικότερες, αλλά σήμερα μια από τις σημαντικότερες είναι η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων [17].

Οι ΜΔΕ είναι περίπλοκες εξισώσεις που πρέπει να λυθούν για να υπολογιστούν οι ποσότητες, όπως φορτίσεις, τάσεις, κλπ., προκειμένου να εκτιμηθεί μια συγκεκριμένη συμπεριφορά του εξεταζόμενου εξαρτήματος με δεδομένο φορτίο. Είναι άξιο αναφοράς ότι η FEA δίνει μόνο μια κατά προσέγγιση λύση του προβλήματος και είναι μια αριθμητική προσέγγιση για να πάρει το πραγματικό αποτέλεσμα αυτών των μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η FEA είναι μια αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του τρόπου συμπεριφοράς ενός εξαρτήματος ή ενός συνόλου εξαρτημάτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης με βάση τη μέθοδο FEA απεικονίζονται συνήθως μέσω μιας κλίμακας χρώματος, που δείχνει, για παράδειγμα, την κατανομή πίεσης πάνω στο αντικείμενο (εικόνα 8)[17].



Εικόνα 10. Κάτω όψη μεσοσπονδύλιου δίσκου με χρωματισμό των πιέσεων για οπτική αποσαφήνιση των φαινομένων που πραγματοποιούνται στις διάφορες κινήσεις που εκτελεί το μοντέλο.

4.2 Το μοντέλο της σπονδυλικής στήλης

Για να παραχθεί το μοντέλο των προσομοιώσεων μια οσφυϊκή μοίρα σαρώθηκε με αξονικό τομογράφο υψηλής ευκρίνειας. Με την τμηματοποίηση και ανακατασκευή των σπονδύλων, οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι που παρεμβάλλονται δημιουργήθηκαν με αντίστροφη μηχανική, βασισμένη στις άνω και κάτω επιφάνειες των ανάλογων σωμάτων [18].

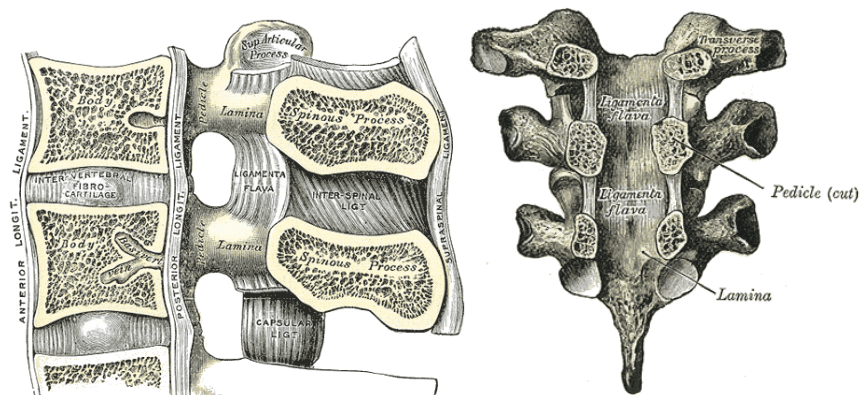
Το mesh παράχθηκε στο ANSA (της BETA CAE Systems S.A.) με σκοπό την απλοποίηση των διάφορων ανατομικών χαρακτηριστικών, π.χ. το συνδυασμό της στεφάνης ιών κολλαγόνου. Η χρήση pre-processor για τη δημιουργία του mesh επέτρεψε την πλήρη επαφή μεταξύ σκληρού και μαλακού ιστού. Η ανεμπόδιστη ένωση εξάεδρων και τετράεδρων στοιχείων εξασφαλίστηκε μέσω της διαμετρικής τοποθέτησης δύο τριγώνων (η βάση των τετράεδρων στοιχείων) πάνω σε κάθε εξάεδρο στοιχείο, ούτως ώστε να παραμένει ο ίδιος αριθμός κόμβων σε όλα τα συνοριακά σώματα. Αυτό επέτρεψε ικανοποιητική υπολογιστική απόδοση και ομαλή μεταφορά φορτίσεων μέσα στο δυναμικό μοντέλο [18].

Οι ανισότροπες ιδιότητες των οστών και ο ενισχυτικός ιστός παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Οι ιδιότητες του εξωτερικού κελύφους των σπονδύλων θεωρήθηκαν ισότροπες, με την εξάρτηση της μηχανικής αντοχής τους στην κατεύθυνση να περιορίζονται από τις διαστάσεις του κελύφους τους [18].

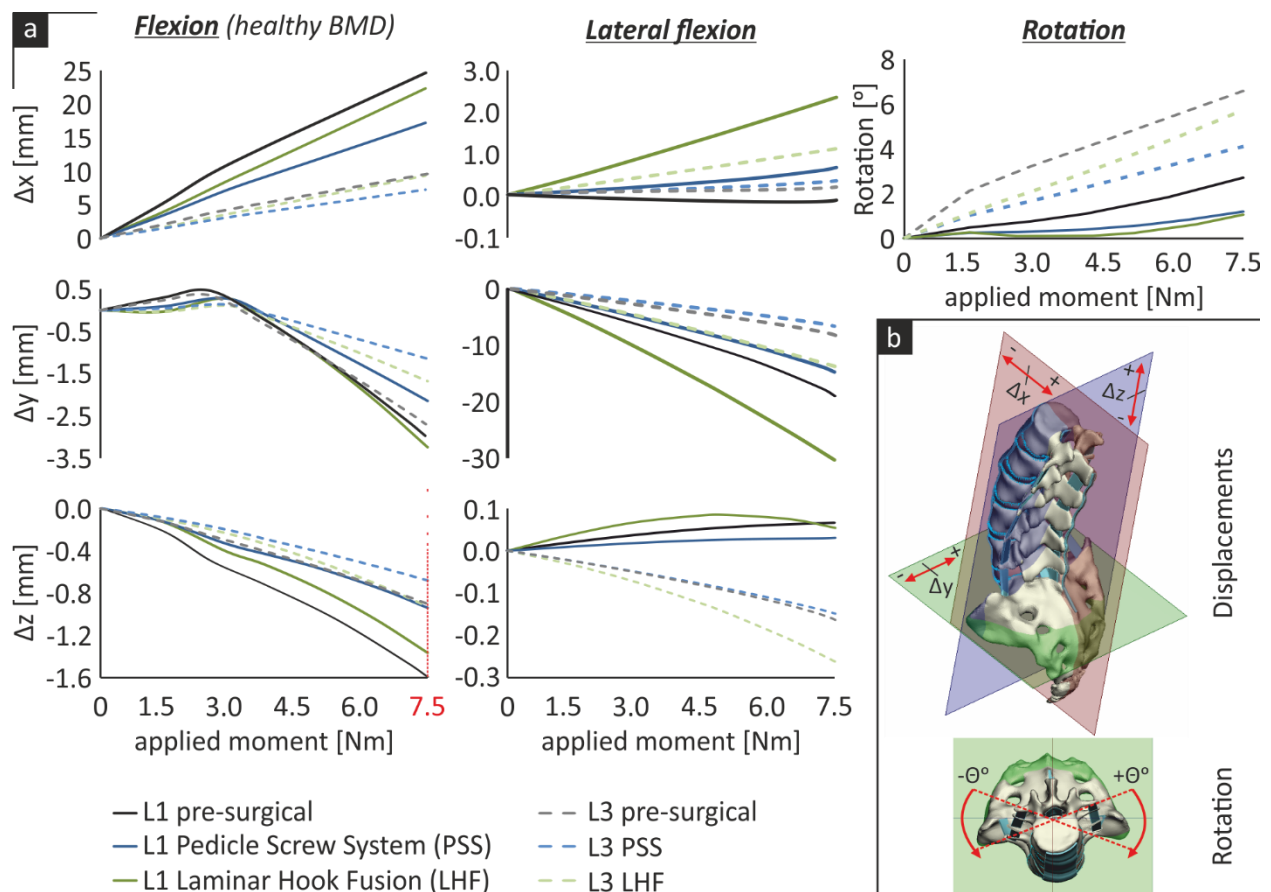
Τύπος υλικού	Young Modulus [Μpa]	Λόγος Poisson
Φλοιός οστού	$E_{xx}=11.300$	$\nu_{xy}=0.484$
	$E_{yy}=11.300$	$\nu_{yz}=0.203$
	$E_{zz}=22.000$	$\nu_{xz}=0.203$
	$G_{xy}=3.800$	
	$G_{yz}=5.400$	
	$G_{xz}=5.400$	
Πορώδες οστό	$E_{xx}=140$	$\nu_{xy}=0.45$
	$E_{yy}=140$	$\nu_{yz}=0.315$
	$E_{zz}=200$	$\nu_{xz}=0.315$
	$G_{xy}=48.3$	
	$G_{yz}=48.3$	
	$G_{xz}=48.3$	
Κέλυφος	1000	0,4
PMMA	2,944	0,375

Πίνακας 1. Ιδιότητες υλικών μοντέλου

Μη γραμμικές ιδιότητες υποτέθηκαν για τους πρόσθιους επιμηκούς (anterior longitudinal (ALL)), οπίσθιους διαμήκεις (posterior longitudinal (PLL)), μεσεγκάρσιους (intertransverse (ITL)), επακάνθιους (supraspinous (SSL)), ωχρούς συνδέσμους (ligament flavum (LF)) και μεσεκάνθιους συνδέσμους (interspinous ligament (ISL)) (εικόνα 3,11), όπως φαίνονται στις καμπύλες φορτίσεων (Sharma et al., 1995) (Πίνακας 2) [18].



Εικόνα 11. Συνδετικοί ιστοί σπονδύλων οσφυϊκής μοίρας [6]

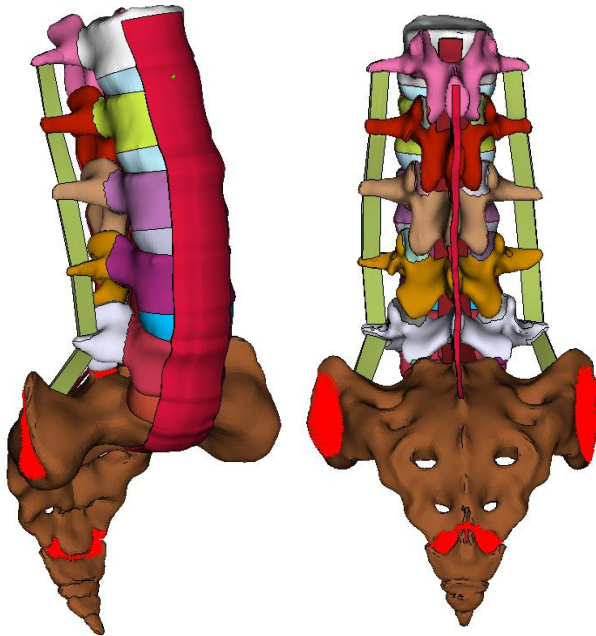


Εικόνα 1.2 Μη γραμμικές ιδιότητες τμημάτων της μελετώμενης οσφυϊκής μοίρας [18]

Οι όψεις των ενώσεων προσομοιώθηκαν μέσω 0.5mm κενών στοιχείων και για την ολίσθηση μεταξύ των επιφανειών ορίστηκε συντελεστής τριβής 0,1 (McCutchen, 1962) [18,19].

Οι ινώδεις επιστρώσεις του δακτυλίου αποφασίστηκε να παρουσιάζουν συμπεριφορά όμοια με αυτή ενός ασυμπίεστου υγρού, με σκοπό να μιμηθούν την συνήθη υπερελαστική αντίδραση σε φορτίσεις, εφαρμόζοντας Mooney–Rivlin strain density εξίσωση από Xiao et al. (2011) [18,20].

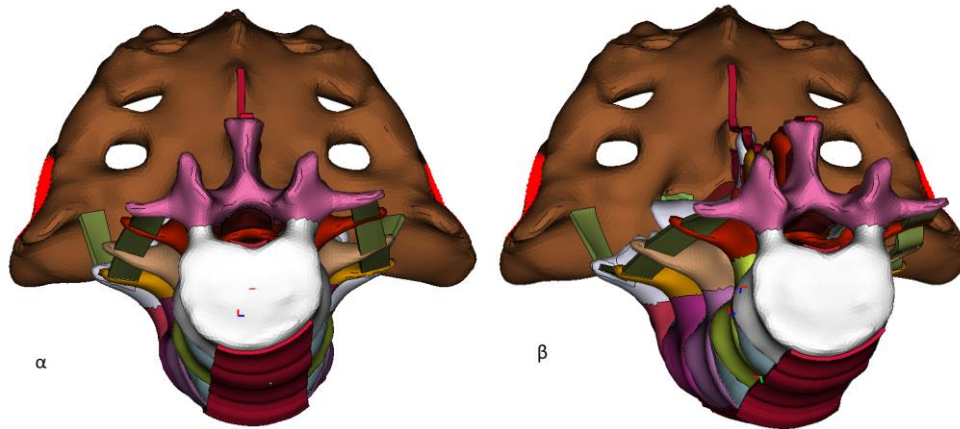
Για την εξακρίβωση της αξιοπιστίας του μοντέλου, οι σπόνδυλοι, οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι και τα υπόλοιπα σώματα χωρίστηκαν σε υποκατηγορίες ανάλογα με την εμβιομηχανική τους συμπεριφορά και να συγκρίνονται με τιμές που τέθηκαν από εμπειρικά σημεία αναφοράς (συμπύεση, επέκταση, στρέψη και κάμψη) που παρουσιάζονται αλλού (Tsouknidas et al., 2012). Η συμπεριφορά του μοντέλου αξιολογήθηκε με βάση σε in vivo μελέτες (Ranjabi et al., 1994) αναφορικά με υποδείξεις τάσεων σε διάφορα σενάρια φόρτισης. Παρά τους περιορισμούς που θέτει η μέθοδος μοντελοποίησης, το μοντέλο παρέχει αποτελέσματα με ικανοποιητική αξιοπιστία [18,21,22].



Εικόνα 13. Το μοντέλο οσφυϊκής μοίρας

Το μοντέλο (εικόνα 13) αποτελείται 26 τμήματα, τα οποία χωρίζονται σε 1076459 στοιχεία (elements) τα οποία ορίζονται από 405992 κόμβους (nodes) και στη συνέχεια υπόκεινται σε μια ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (Finite element analysis ή FEA). Η κίνηση της σπονδυλικής στήλης αποτέλεσε μια κάπως ολιστική προσέγγιση λόγω της πολυπλοκότητας των αδρανειακών φαινομένων. Για να επιτραπεί αυτή η προσέγγιση, η κινηματική της οσφυϊκής μοίρας και οι ασκούμενες εξωτερικές δυνάμεις αποτυπώθηκαν μέσω ανάλυσης Gait, με τη βοήθεια του Anybody (λογισμικό αντίστροφης δυναμικής για ανάλυση οστών και μυών) και το τελικό μοντέλο προσομοιώθηκε σε ABAQUS (λογισμικό ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων της Dassault Systems) [18].

Αφότου ορίστηκε η γεωμετρία, τα υλικά και ο βαθμός κατακερματισμού (το Mesh) και επιλύθηκε στον ABAQUS, προσομοιώθηκε σε τρεις διαφορετικές συνθήκες με αποτέλεσμα να προκύψουν τρία μοντέλα. Ένα υγιές και δύο στα οποία η απόφυση του Ο5 σπονδύλου ενώνεται με τον Ι1 στην αριστερή πλευρά της μοίρας σαν να έπασχαν από σύνδρομο Bertolotti. Κάθε μοντέλο εκτελεί μια πρόσθια κάμψη, μια πλάγια αριστερή κάμψη και μια αριστερόστροφη στρέψη.



Εικόνα 14. Μοντέλο σπονδυλικής στήλης που κάμπτεται πλάγια στον άξονα x, στην αρχική του θέση (α) και στην τελική (β).

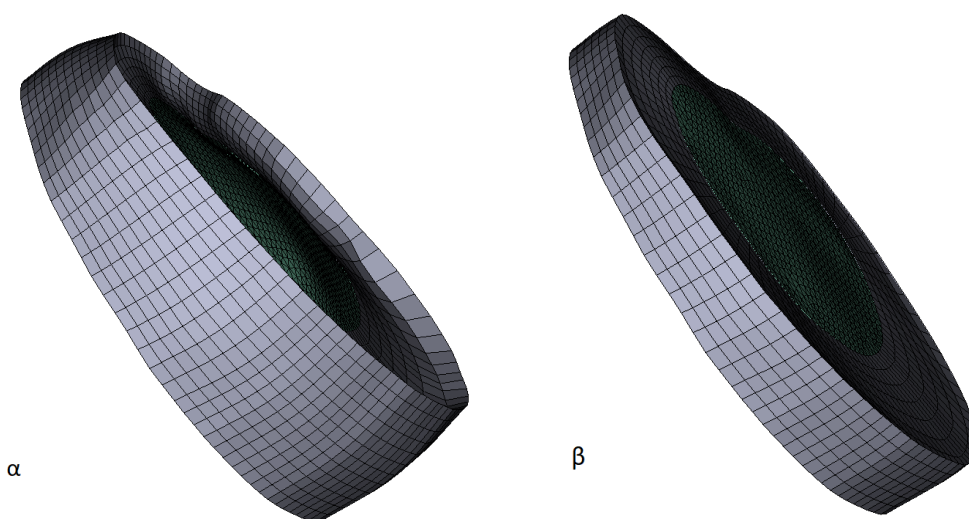
Από τα δύο EOMIO μοντέλα, το ένα μοντέλο βιώνει τις ίδιες δυνάμεις που βιώνει και το υγιές, με αποτέλεσμα όμως μικρότερη μετατόπιση λόγω της δυσπλασίας του και το δεύτερο μοντέλο Bertolotti αναγκάζεται να αποκτήσει την ίδια μετατόπιση με το υγιές. Συνεπώς, έχουμε τρία μοντέλα για κάθε φόρτιση:

- Μοντέλο 1
Είναι το υγιές. Αναφέρεται επίσης ως υγιής κατάσταση ή απλά υγιής σπονδυλική στήλη/οσφυϊκή μοίρα.
- Μοντέλο 2
Πρόκειται για το μοντέλο που πάσχει από σύνδρομο Bertolotti. Αναφέρεται επίσης ως EOMIO στήλη ή πάσχουσα κατάσταση. Υπόκειται στην ίδια ροπή στρέψης ή δύναμη κάμψης με το υγιές, αλλά λόγω της δυσκαμψίας του εκτελεί μικρότερο εύρος κινήσεων.
- Μοντέλο 3
Είναι το ίδιο με το πάσχον μοντέλο, με τη διαφορά ότι εφαρμόζεται αρκετή ροπή, ούτως ώστε να εκτελέσει το ίδιο εύρος κίνησης με το υγιές, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αναπτυσσόμενες πιέσεις στους μεσοσπονδύλιους δίσκους.

Η προσομοίωση του μοντέλου 3 πραγματοποιήθηκε διαφορετικά με τα υπόλοιπα, επειδή η ελαστικότητα των τμημάτων αλλάζει. Στο ANSA δημιουργούνται κάποιες παράμετροι οι οποίες αλλάζουν τη δύναμη η οποία ασκείται στο άνω μέρος του σπονδύλου I1. Ο βελτιστοποιητής modeFRONTIER (προϊόν της Esteco) είναι αυτός που ορίζει κάθε φορά τη δύναμη που θα ασκηθεί, τροφοδοτεί το ANSA με αυτό το δεδομένο, όπου η αντίστοιχη παράμετρος αλλάζει ανάλογα, δημιουργείται το μοντέλο και το επιστρέφει στο βελτιστοποιητή. Ο βελτιστοποιητής στη συνέχεια το στέλνει προς επίλυση στον ABAQUS και μόλις επιλυθεί, στέλνει τα αποτελέσματα στο META. Εκεί τρέχει ένας κώδικας, όπου λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις και αυτή η πληροφορία επιστρέφει στο modeFRONTIER. Λαμβάνοντας αυτές τις τιμές υπόψιν, σχεδιάζει το επόμενο μοντέλο προς βελτιστοποίηση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η απόκλιση της τελικής θέσης του EOMIO προτεταμένου μοντέλου από την τελική θέση της υγιούς είναι η ελάχιστη. Το μοντέλο έγινε από τρίτο άτομο με άδεια χρήσης.

4.3 Η εύρεση των τιμών πίεσης και συντεταγμένων

Τα αποτελέσματα ελήφθησαν από τον post processor META (προϊόν της BETA CAE Systems S.A.) με τη χρήση script (εικόνα 14), όπου παρείχε ως output τις τάσεις, τις αρχικές συντεταγμένες και τις τελικές θέσεις των σημείων. Το πρόγραμμα ρυθμίστηκε ώστε να παρουσιάζει τιμές που υπολογίστηκαν με παρεμβολή (interpolation), με περιορισμό των υπολογισμών σε σώματα με τις ίδιες φυσικές ιδιότητες (properties cut off) και ,τέλος, για Von Misses φορτίσεις. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα εισήχθησαν σε περιβάλλον excel και υπολογίστηκαν η λοξότητα και η κυρτότητα ως άξονα x και y για κάθε επιφάνεια ξεχωριστά. Ως επιφάνειες επιλέχθηκαν η άνω και κάτω επιφάνεια κάθε μεσοσπονδύλιου δίσκου, καθώς και η μεσαία επιφάνεια κάνοντας μια τομή στο ψηφιακό σώμα (εικόνα 15). Σε περίπτωση που ο αριθμός των στρώσεων ήταν μονός επιλεγόταν η μεσαία επιφάνεια που κοιτούσε προς τη λεκάνη.



Εικόνα 15. Μοντέλο O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου ολόκληρου (α) και με φανερωμένη τη μεσαία επιφάνειά του (β)

Από κάθε επιφάνεια επιλέχθηκαν όλοι οι κόμβοι (nodes) με κάθε επιφάνεια να έχει διαφορετικό αριθμό αλλά ικανοποιητικά μεγάλο για τους υπολογισμούς.

Συγκριμένα, στην κάτω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου επιλέχθηκαν 1624 κόμβοι, στη μεσαία 1623 και στην άνω 1623. Στον O4 μεσοσπονδύλιο δίσκο στην κάτω επιφάνεια του επιλέχθηκαν 1836, στη μεσαία 1765 και στην άνω επιφάνεια 1838. Στον O3 μεσοσπονδύλιο δίσκο επιλέχθηκαν 1340 κόμβοι στην κάτω, μεσαία και άνω επιφάνεια. Στον O2 επιλέχθηκαν στην κάτω, μεσαία και άνω επιφάνεια 1505. Τέλος, στον O1 μεσοσπονδύλιο δίσκο επιλέχθηκαν 1129 κόμβοι στην κάτω επιφάνεια, 1088 στην μεσαία και 1183 στην άνω.

```

1 # PYTHON script
2 import os
3 import datetime
4 from meta import nodes
5 from meta import results
6
7 def main():
8     print('Starting + ', datetime.datetime.now())
9     print()
10
11     nid = []
12     model_id = 0
13
14     all_resultsets = results.Resultsets(model_id)
15     result = all_resultsets[1]
16     layer = 'bottom'
17
18     print('NID', 'PosX (X1)', 'PosY (X2)', 'PosZ (X3)', 'DisX', 'DisY', 'DisZ', 'ScalarTop',)
19     for node_id in nid:
20         n = nodes.NodeById(model_id, node_id)
21         all_nodal = nodes.NodalScalarOfNode(result, node_id, layer)
22         nl = nodes.CoordinatesOfNode(result, node_id)
23         #print(n.x, n.y, n.z, nl.x, nl.y, nl.z, all_nodal[0].value)
24         print(n.id, str(n.x).replace('.', ','),
25             str(n.y).replace('.', ','),
26             str(n.z).replace('.', ','), str(nl.x).replace('.', ','),
27             str(nl.y).replace('.', ','), str(nl.z).replace('.', ','),
28             str(all_nodal[0].value).replace('.', ','))
29
30 if __name__ == '__main__':
31     main()

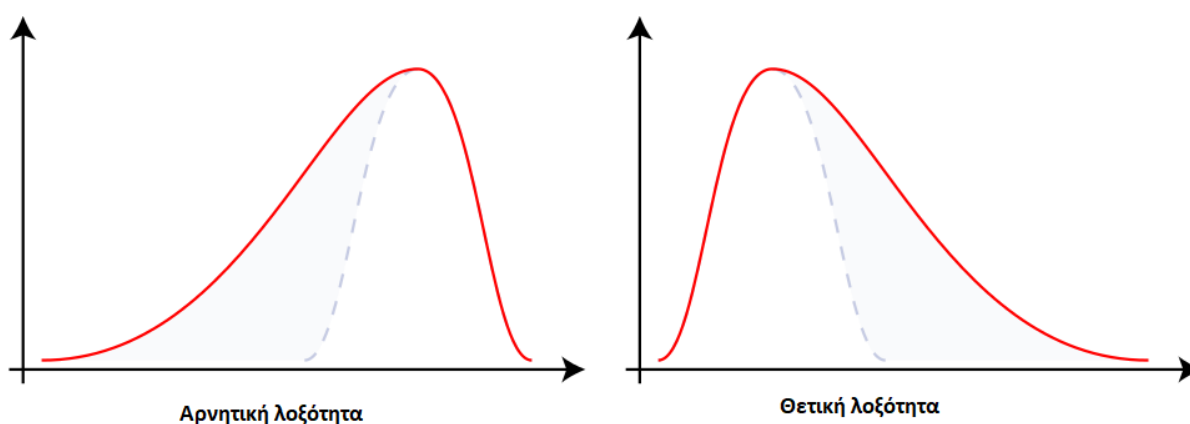
```

Εικόνα 16. Κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δεδομένων από το μοντέλο. Το πρόγραμμα δέχεται ως είσοδο (input) τις ταυτότητες των κόμβων και βγάζει έξοδο (output) τις αρχικές συντεταγμένες, τις τελικές (στο τέλος της προσομοίωσης) και τις φορτίσεις που δέχονται. Στη συνέχεια, εισάγονται σε περιβάλλον excel όπου γίνεται και στατιστική ανάλυση.

4.4 Στατιστική ανάλυση

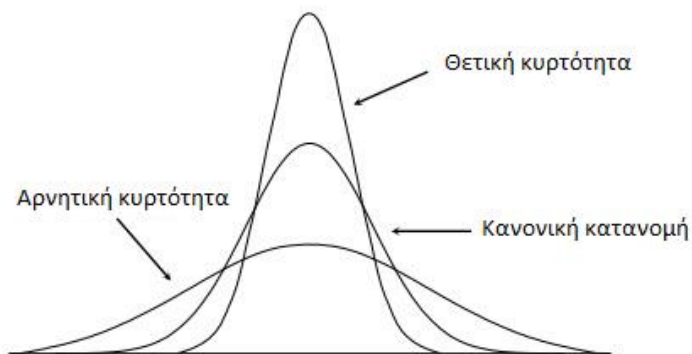
Για την κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα εντός των μεσοσπονδύλιων δίσκων και την κατάληξη σε κάποιο συμπέρασμα, ζητούμενη είναι η εύρεση της λοξότητας και της κύρτωσης (ή εναλλακτικά τρίτη και τέταρτη ροπή αντίστοιχα) του συνόλου των κόμβων μιας μελετώμενης κατανομής.

Λοξότητα, στην θεωρία των πιθανοτήτων, είναι το μέτρο της ασυμμετρίας μιας κατανομής σχετικά με τον μέσο όρο της. Η τιμή της λοξότητας μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ή απροσδιόριστη. Για μια κατανομή, η αρνητική λοξότητα δείχνει συνήθως ότι η ουρά βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της κατανομής ενώ η θετική λοξότητα δείχνει ότι η ουρά είναι στα δεξιά (εικόνα 10).



Εικόνα 17. Ποιοτική αναπαράσταση θετικής και αρνητικής λοξότητας

Η κυρτότητα, στην θεωρία των πιθανοτήτων και στα στατιστικά στοιχεία, είναι ένα μέτρο της "ουράς" της κατανομής πιθανότητας μιας πραγματικής αξίας μιας τυχαίας μεταβλητής. Όπως και η λοξότητα, έτσι και η κυρτότητα περιγράφει το σχήμα μιας κατανομής πιθανοτήτων. Τα διαφορετικά μέτρα της κύρτωσης μπορεί να έχουν διαφορετικές ερμηνείες. Το πρότυπο μέτρο της κύρτωσης της κατανομής, που προέρχεται από τον Karl Pearson (1905), είναι ο αριθμός που σχετίζεται με τις ουρές της κατανομής και όχι με την κορυφή του. Για το μέτρο αυτό, η υψηλότερη κύρτωση αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη προέκταση των αποκλίσεων (ή των ακραίων τιμών) και δεν αφορά τη διαμόρφωση των δεδομένων κοντά στον μέσο όρο [23].



Εικόνα 18. Ποιοτική απεικόνιση θετικής, αρνητικής και κανονικής κυρτότητας μιας συνεχούς κατανομής

Η κύρτωση οποιασδήποτε τυχαίας κανονικής κατανομής είναι 3. Είναι σύνηθες να συγκρίνεται η κύρτωση μιας κατανομής με αυτή την τιμή. Οι κατανομές με κύρτωση μικρότερη από 3 λέγεται ότι είναι πλατύκυρτες (platykurtic), διαφορετικά σημαίνει ότι η διανομή των τιμών παράγει λιγότερες και λιγότερο ακραίες αποκλίσεις από την κανονική κατανομή. Ένα παράδειγμα κατανομής της πλατύκυρτης είναι η ομοιόμορφη κατανομή, η οποία δεν παράγει κατάλοιπα. Σε αυτή την μελέτη όμως στο τελικό αποτέλεσμα αφαιρείται το 3 οπότε θεωρούνται πλατύκυρτες όσες κατανομές έχουν τιμή μεγαλύτερη από 3 και λεπτόκυρτες αυτές που παρουσιάζουν τιμή μικρότερη του -3 [23].

Προτού γίνει εφικτός ο υπολογισμός τους, είναι απαραίτητος πρώτα ο υπολογισμός κάποιων μεγεθών όπως η απόκλιση και οι πρώτες δύο ροπές. Τα στάδια της στατιστικής ανάλυσης ακολουθούν την παρακάτω πορεία:

1. Πρώτα συντάσσονται οι τιμές της πίεσης που εφαρμόζεται στους κόμβους σε μια λίστα. Οι τιμές της λίστας αφορούν μια μελετώμενη επιφάνεια, αφού σε κάθε δίσκο μελετώνται τρεις επιφάνειες (κάτω, μεσαία και άνω). Αφού η οσφυϊκή μοίρα έχει πέντε μεσοσπονδύλιους δίσκους πρόκειται, τελικά, για 15 λίστες ανά μοίρα. Η παρούσα εργασία μελέτα τρεις διαφορετικές κινήσεις που εκτελούν οι τρεις διαφορετικές εκδοχές της μοίρας (υγιής, EOMIO κι EOMIO προτεταμένη) δηλαδή, δημιουργήθηκαν 135 λίστες.

Στη συνέχεια βρίσκεται ο λόγος " v_n " της τιμής κάθε κόμβου προς το άθροισμα των τιμών αυτών, για τη κάθε λίστα. Όπου " N ", ο συνολικός αριθμός των κόμβων της λίστας στην μελετώμενη επιφάνεια και " n ", ο αριθμός του κόμβου στη λίστα.

$$V_n = \frac{p_n}{\sum_{n=1}^N (p_n)}$$

2. Έπειτα βρίσκεται η μέση τιμή του γινομένου στον άξονα x και y συναρτήσε του λόγου (του πρώτου βήματος) στην αντίστοιχη επιφάνεια και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αθροίζονται. Επειδή οι υπολογισμοί έγιναν σε περιβάλλον excel χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση "sumproduct" που επιτρέπει το άθροισμα των προϊόντων των αντίστοιχων πινάκων. Όπου x_n και y_n είναι οι συντεταγμένες του κόμβου " n " στον άξονα x και y αντίστοιχα.

$$Sum_{x,y,v} = \sum_{n=1}^N (x_n * y_n * V_n)$$

3. Στην πορεία για τους άξονες x και y ξεχωριστά, υπολογίζεται η μέση τιμή πολλαπλασιάζοντας τον λόγο v_n του κόμβου με την αντίστοιχη συντεταγμένη του και στη συνέχεια αθροίζονται τα αποτελέσματα για τους κόμβους της επιφάνειας.

$$x_{mean} = \sum_{n=1}^N (x_n * V_n)$$

$$y_{mean} = \sum_{n=1}^N (y_n * V_n)$$

4. Μετά, βρίσκουμε τη διακύμανση των τιμών στον άξονα x και y ξεχωριστά, που από τον ορισμό είναι το τετράγωνο της διαφοράς της συντεταγμένης του κόμβου από τη μέση τιμή για τον αντίστοιχο άξονα για τη συγκεκριμένη επιφάνεια που βρέθηκε στο προηγούμενο βήμα.

$$Var(x)_n = (x_n - x_{mean})^2$$

$$Var(y)_n = (y_n - y_{mean})^2$$

5. Στην πορεία, βρίσκεται η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος του λόγου v_n πολλαπλασιασμένο με τη διακύμανση του κόμβου "n" στον αντίστοιχο άξονα.

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{n=1}^N (V_n * Var(x)_n)}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{n=1}^N (V_n * Var(y)_n)}$$

6. Στη συνέχεια δημιουργούνται λίστες για τους κόμβους με τιμές που είναι τα αποτελέσματα των εξισώσεων για τους άξονες x και y ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές στη συνέχεια αξιοποιούνται για την εύρεση της λοξότητας.

$$N_n = ((x_n - x_{mean})/\sigma_x)^3$$

$$M_n = ((y_n - y_{mean})/\sigma_y)^3$$

7. Ακολούθως, υπολογίζεται η τρίτη ροπή, δηλαδή η λοξότητα για τον άξονα x και y αντίστοιχα.

$$\widetilde{\mu}^3(x) = \sum_{n=1}^N (V_n * N_n)$$

$$\widetilde{\mu}^3(y) = \sum_{n=1}^N (V_n * M_n)$$

8. Όσον αφορά την κύρτωση θα χρειαστούν τα παρακάτω μεγέθη για κάθε κόμβο της λίστας. Όπου T, αφορά τον άξονα x και όπου I τον άξονα y.

$$T_n = (x_n - x_{\text{mean}})^4$$

$$I_n = (y_n - y_{\text{mean}})^4$$

9. Κύρτωση είναι η τέταρτη ροπή μιας τυχαίας κατανομής. Αρχικά, υπολογίζεται το άθροισμα των πολλαπλασιασμών του λόγου ενός κόμβου του βήματος 1 με την τιμή του T_n, αν αφορά την κύρτωση στον άξονα x και I_n αν αφορά τον άξονα y από το βήμα 7. Στη συνέχεια διαιρείται με σ_x ή σ_y αντίστοιχα του βήματος 5 το οποίο είναι υψωμένο στην τέταρτη δύναμη και από το αποτέλεσμα αφαιρείται το 3.

$$\text{Kurt}(x) = \frac{\sum_{n=1}^N (V_n * T_n)}{\sigma_x^4} - 3$$

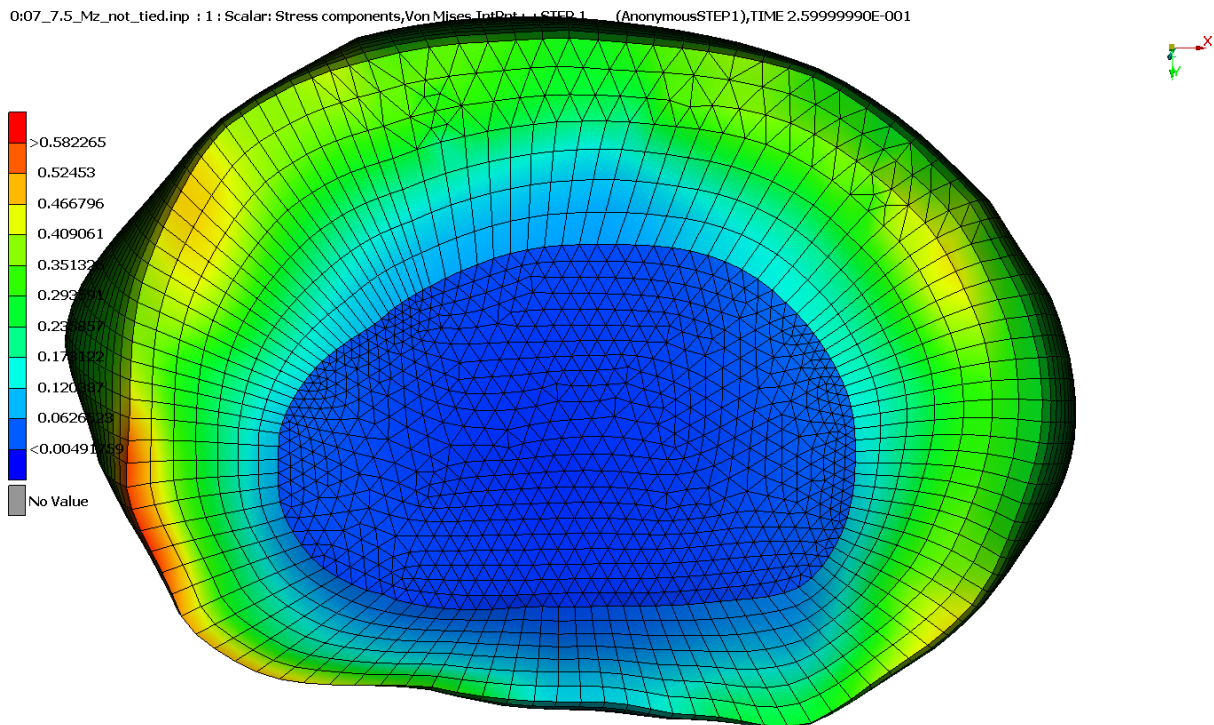
$$\text{Kurt}(y) = \frac{\sum_{n=1}^N (V_n * I_n)}{\sigma_y^4} - 3$$

5. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία υποδεικνύουν πως, λόγω του συνδρόμου, υπάρχει έντονη επίδραση στην στατιστική συμπεριφορά των φορτίσεων που εμφανίζονται στους μεσοσπονδύλιους δίσκους. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα και στο παράρτημα είναι τα διαγράμματα με τις τάσεις ως προς x και y .

5.1 Στρέψη

5.1.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5



Εικόνα 19. Άνω επιφάνεια υγιούς O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 151,46%, από 0,0572 σε 0,144. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 76,75%, παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,101. Η λοξότητα ως προς άξονα y , από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 221,5%, από 0,0246 σε 0,0792. Μεγαλύτερη είναι η αύξηση στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y 0,114, δηλαδή μια αύξηση 363,64% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x μεταβάλλεται από -1,584 στην υγιή κατάσταση σε -1,533, στην EOMIO μια αύξηση 3,25% δηλαδή και -1,507 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 4,84%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του

μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,218 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται και σε -1,139 στην EOMIO, μια αύξηση 6,44% και -1,125 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 7,63%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0049 MPa μέχρι 0,582 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,396 MPa το 67,76% της μέγιστης της υγιούς κατάστασης, ενώ η ελάχιστη 0,0095 MPa, μια αύξηση 92,77% επί της υγιούς. Η EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια μείωση στην μέγιστη τιμή 64,65% από την υγιή ενώ η ελάχιστη μια αύξηση 180,33%.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 36,4%, από 0,183 σε 0,25. Η αλλαγή από την υγιή στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση 9,92% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,202. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 33,69%, από 0,0387 σε 0,0257. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0715, δηλαδή μια αύξηση 84,61% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,353 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,188, μια αύξηση 12,17% στην EOMIO και -1,187 στην EOMIO προτεταμένη, μια αύξηση 12,24%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,0163 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,974 στην EOMIO, μια αύξηση 4,12% και σε -0,945 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 7,02%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00986 MPa μέχρι 0,407 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,25 MPa το 61.5% της μέγιστης της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη 0,03 MPa, μια αύξηση 205,3% επί της υγιούς. Η EOMIO προτεταμένη στην μέγιστη τιμή εμφανίζει μια μείωση 26.41% από την υγιή ενώ η ελάχιστη τιμή τάσης μια αύξηση 374% από την υγιή.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 19,92%, από 0,194 σε 0,233. Η αλλαγή από την υγιή στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 37,26% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,266. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 13,37%, από 0,228 σε 0,259. Στην EOMIO προτεταμένη στήλη εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,242, δηλαδή μια αύξηση 6,12% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,267 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,035, μια αύξηση 18,28% στην EOMIO και -1,006 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 20,58%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,987 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,942 στην EOMIO, μια αύξηση 4,52% και -0,971 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 1,62%.

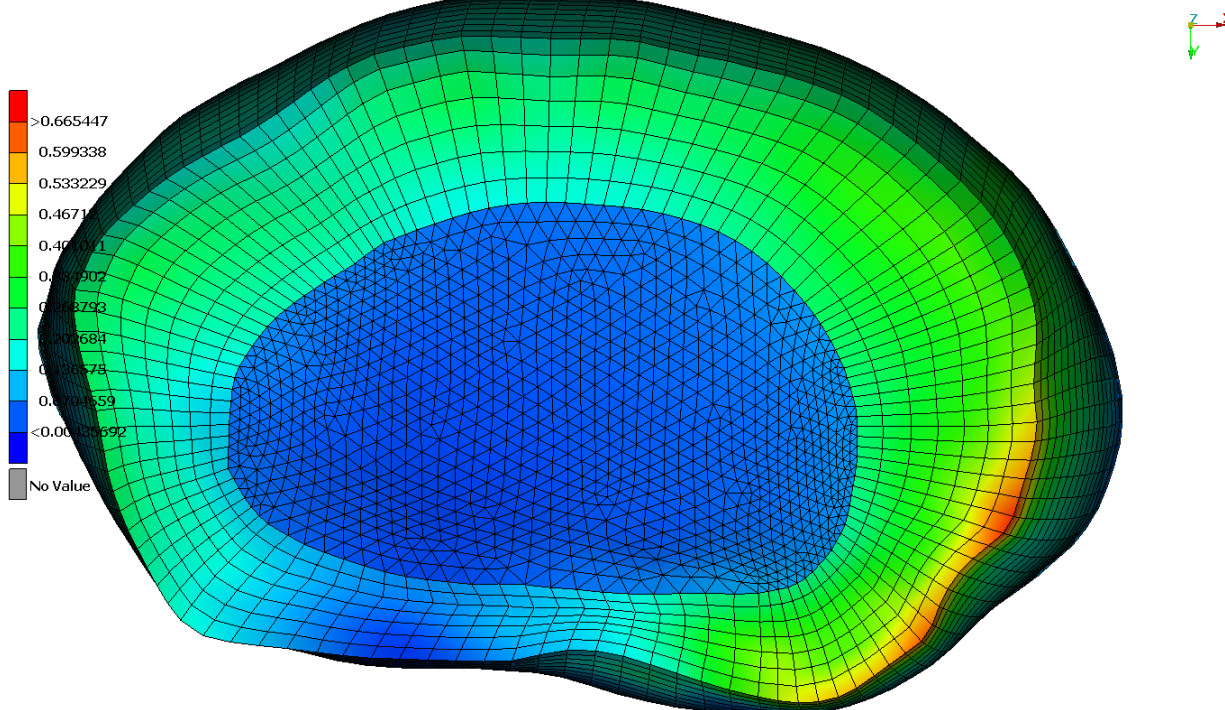
Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0086 MPa μέχρι 0,53 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,036 MPa, μια αύξηση 331,9% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που

εμφανίζεται 0,32 MPa, το 39,26% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 374% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 27,41% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,39 MPa.

Μια συνολική εικόνα που δίνουν οι τιμές του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι πως η κατανομή των πιέσεων είναι σχεδόν κανονική και στους δύο άξονες x και y, με την υγιή κατάσταση να παρουσιάζει την πιο κανονική από τις τρεις. Η αρνητική κυρτότητα που εμφανίζουν όλες οι επιφάνειες υποδεικνύει τη συγκέντρωση των τιμών κοντά στο κέντρο της κατανομής, με τη μεγαλύτερη να εμφανίζεται ως προς τον άξονα x.

5.1.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4

0:07_7.5_Mz_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,VonMises,IntPat : : STEP 1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 20. Κάτω επιφάνεια υγιούς O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1%, από -0,498 σε -0,493. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 31,82%, παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,339. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 3%, από -0,178 σε -0,183. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,266, δηλαδή μια μείωση 49,53% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x η κυρτότητα από -1,155 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,172, μια μείωση 1,45% στην EOMIO και -1,38 στην EOMIO

προτεταμένη μια μείωση 19,51%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,07 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,0626 στην EOMIO, μια αύξηση 0,69% και -1,061 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 0,84%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,013MPa μέχρι 0,665MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,013MPa, μια ελάχιστη μείωση 0,12% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,657MPa, το 1,16% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει 65,98% μείωση από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 13,66% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,756MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 0,85%, από -0,444 σε -0,44. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO είναι μια αύξηση 37,29% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,278. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 3,97%, από -0,106 σε -0,111. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,177, δηλαδή μια μείωση 65,93% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0561 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,07 στην EOMIO, μια μείωση 1,3% και -1,323 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 25,27%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,992 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,981 στην EOMIO, μια αύξηση 1,06% και -1,018 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 2,6%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0066 MPa μέχρι 0,348 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,345 MPa, μόλις 0,89% μικρότερη της μέγιστης της υγιούς κατάστασης, ενώ η ελάχιστη 0,0065 MPa, μια μείωση 0,93% επί της υγιούς. Η EOMIO προτεταμένη στην μέγιστη τιμή εμφανίζει μια αύξηση 16,27% από την υγιή, ενώ η ελάχιστη τιμή πίεσης μια μείωση 28,86% από την υγιή.

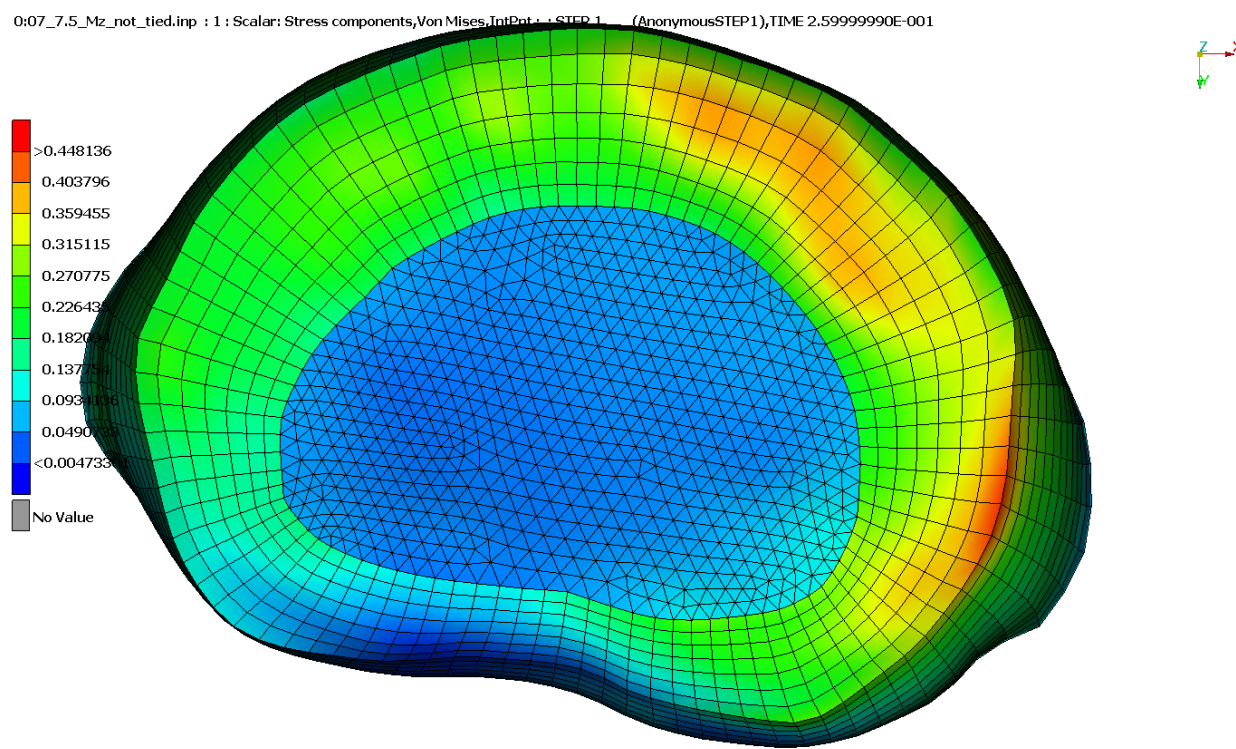
Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 2%, από -0,371 σε -0,364. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 45,72%, παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,201. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 45,68%, από -0,03 σε -0,0438. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,121, δηλαδή μια μείωση 301,48% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0849 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,103 στην EOMIO, μια μείωση 1,66% και -1,336 στην EOMIO προτεταμένη, μια μείωση 23,11%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,0308 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,0228 στην EOMIO, μια αύξηση 0,78% και σε -1,101 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 6,8%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0047 MPa μέχρι 0,353 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή τάσης είναι 0,0033 MPa, μια μείωση 30,71% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,351 MPa, ουσιαστικά ίση με μέγιστη τιμή στην αντίστοιχη επιφάνεια της υγιούς. Η ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 14,65% από την υγιή και η μέγιστη τιμή 30,54% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,461 MPa.

Σε αντίθεση με τον Ο5 μεσοσπονδύλιο δίσκο στον Ο4 εμφανίζονται αρνητική λοξότητα και στον άξονα x και στον γ. Οι τιμές είναι μιας σχεδόν κανονικής κατανομής αλλά κατά απόλυτη τιμή μεγαλύτερες του Ο5 που μειώνονται καθώς προχωράμε τη μελέτη προς τον Ο3. Η αρνητική κυρτότητα στον άξονα x και γ υποδεικνύει μια συγκέντρωση τιμών κοντά στο μέσο της κατανομής.

5.1.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο3



Εικόνα 21. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 2,8%, από -0,414 σε -0,402. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια αύξηση 17,16% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,343. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 242,67%, από -0,0032 σε -0,0109. Αύξηση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ

προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0218, δηλαδή μια αύξηση 780% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0389 στην υγιή κατάσταση στην EOMIO γίνεται -1,0584, μια μείωση 1,88% και -1,133 στην EOMIO προτεταμένη, μια μείωση 9%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,227 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,234 στην EOMIO, μια μείωση 0,58% και σε -1,192 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 2,83%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00473 MPa μέχρι 0,448 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,446 MPa, μια μείωση 0,41% από την μέγιστη της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη στα 0,00578 MPa, σημειώνει μια αύξηση 22,17% επί της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η μέγιστη τιμή εμφανίζει μια μείωση 9,6% από την υγιή και η ελάχιστη μια μείωση 26,14%.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 3,51%, από -0,294 σε -0,284. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 22,34% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,228. Η λοξότητα ως προς τον άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 11%, από 0,104 σε 0,0927. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0956, δηλαδή μια μείωση 8,24% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0125 που είναι στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,0274 στην EOMIO, μια μείωση 1,47% και -1,119 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 10,54%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,105 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,118 στην EOMIO, μια μείωση 1,18% και σε -1,11 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 0,47%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στη μεσαία επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00767 MPa μέχρι 0,3012 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00779 MPa, μια αύξηση 1,57% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,3011MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 21,14% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 5,28% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,285 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 5,32%, από -0,244 σε -0,231. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 35,52% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,157. Η λοξότητα ως προς τον άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 9,48%, από 0,177 σε 0,161. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,152, δηλαδή μια μείωση 14,5% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1.015 που είναι στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,03 στην EOMIO, μια μείωση 1,48% και -1,141 στην EOMIO

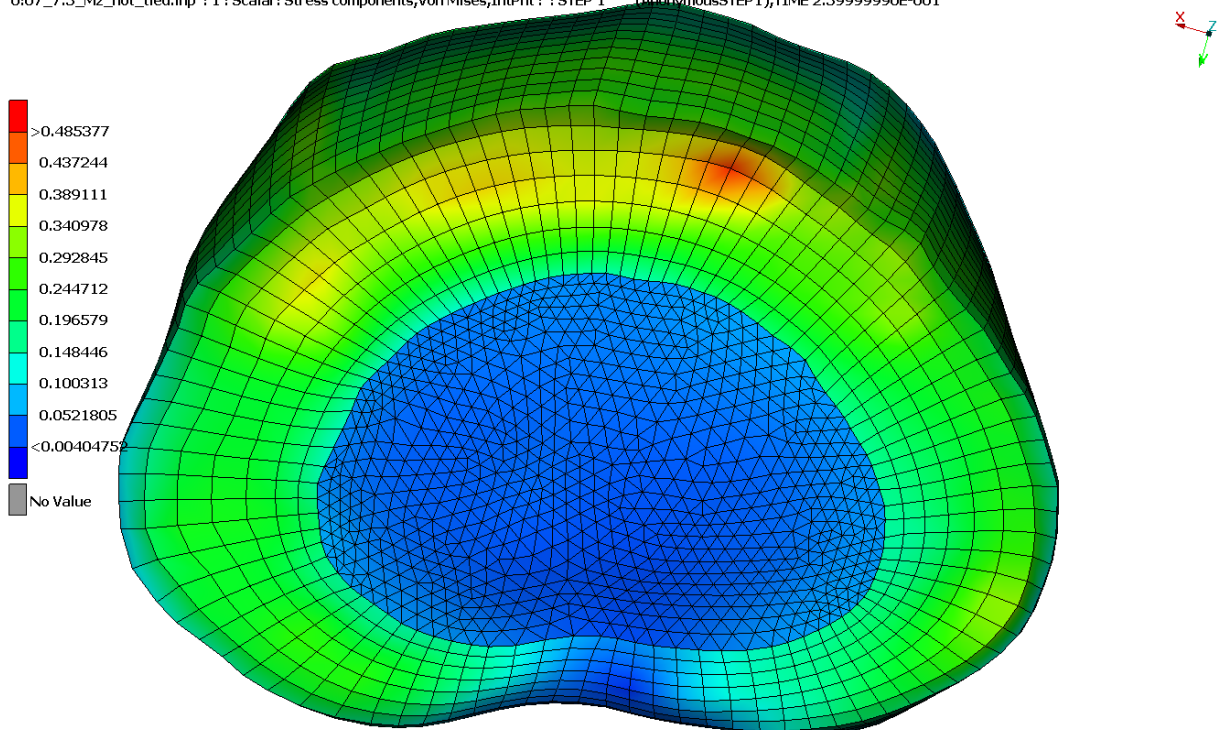
προτεταμένη μια αύξηση 12,34%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,243 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,266 στην EOMIO, μια μείωση 1,88% και σε -1,29 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 3,85%.

Οι πιέσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00549 MPa μέχρι 0,3702 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00562 MPa, μια μικρή αύξηση 2,43% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,3682, 0,56% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 111,21% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή μικρή μείωση 2,69% από την υγιή, με τιμή 0,3603 MPa.

Οι αρνητικές τιμές λοξότητας στον άξονα x για όλες τις καταστάσεις υποδεικνύουν μια περίπου κανονική κατανομή. Στον άξονα γ όμως, ενώ στην κάτω επιφάνεια παρατηρείται αρνητική λοξότητα, εκτός της EOMIO προτεταμένης, στην μεσαία και την άνω σε όλες τις καταστάσεις γίνεται θετική με τιμές εντός του (-0,5, 0,5) διαστήματος για σχεδόν κανονική κατανομή. Η κυρτότητα έχει αρνητικές τιμές, γεγονός που σημαίνει πως η κατανομή είναι πλατύκυρτη.

5.1.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O2

0:07_7.5_Mz_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt : : STEP 1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 22. Άνω επιφάνεια υγιούς O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 7,1%, από -0,232 σε -0,216. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 18,79% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,189. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 21,7%, από 0,0686 σε 0,0537. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0485, δηλαδή μια μείωση 29,39% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x η κυρτότητα από -1,279 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,294 στην EOMIO, μια μείωση 1,14% και -1,302 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 1,78%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,978 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,002 στην EOMIO, μια μείωση 2,45% και σε -0,983 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 0,5%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00405 MPa μέχρι 0,384 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00305 MPa, μια μείωση 24,75% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,383 MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 277,58% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 6,52% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,359 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 9%, από -0,18 σε -0,163. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 23,45%, παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,137. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 10,49%, από 0,168 σε 0,151. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y 0,146, δηλαδή μια μείωση 13,49% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,181 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,193 στην EOMIO, μια μείωση 1% και -1,222 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 3,44%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,95 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,972 στην EOMIO, μια μείωση 2,39% και σε -0,983 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 3,55%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,01009 MPa μέχρι 0,2943 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0098 MPa, μια μείωση 2,67% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,2937MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 96,69% από την υγιή με τιμή 0,0198 MPa ενώ η μέγιστη τιμή 5,55% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,2779 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 12,06%, από -0,135 σε -0,119. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 46,04% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,073. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti

εμφανίζει μια μείωση 7,6%, από 0,257 σε 0,238. Μείωση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,228, δηλαδή μια μείωση 11,47% επί της υγιούς.

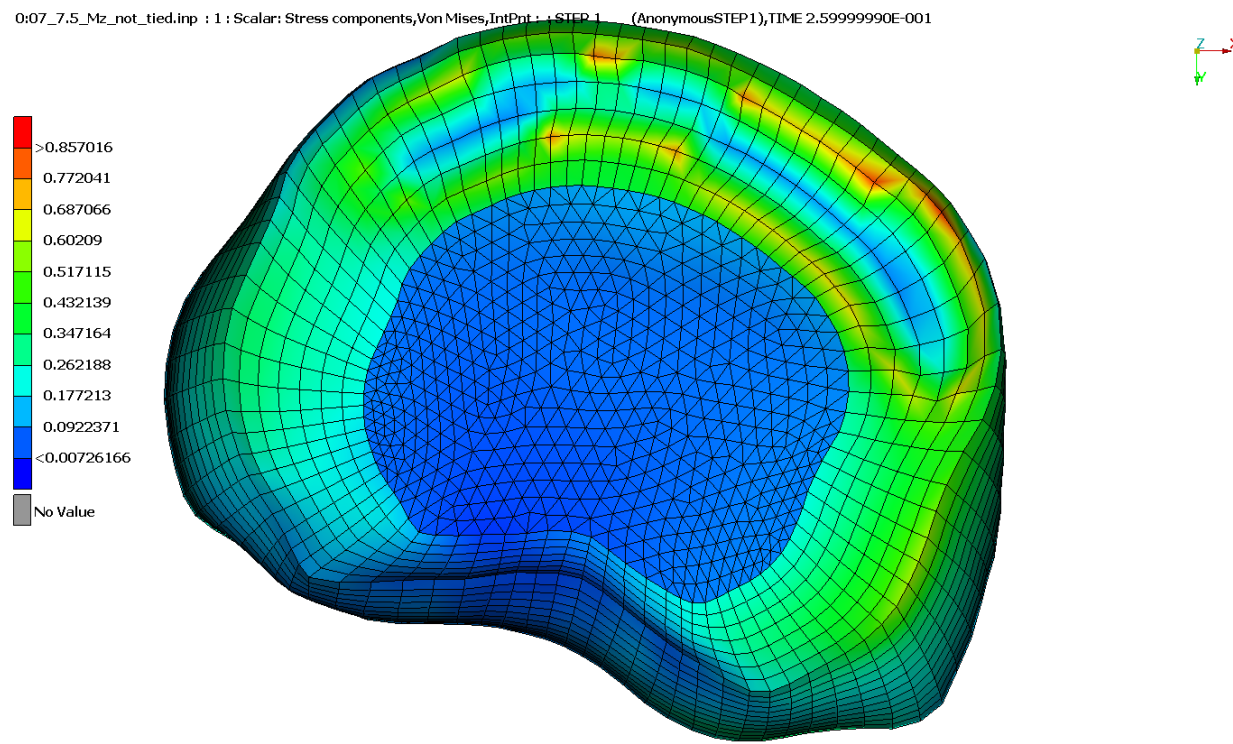
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,216 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,223 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 0,6% και -1,265 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 4,04%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,104 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,14 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 3,22% και σε -1,165 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 5,48%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00758 MPa μέχρι 0,485 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00753 MPa, μια μικρή μείωση 0,59% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,483 MPa, επίσης μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς κατά 0,43%. Η ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 72,98% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή μικρή μείωση 2,19% από την υγιή, με τιμή 0,474 MPa.

Στον Ο2 μεσοσπονδύλιο δίσκο στον άξονα x παρατηρείται αρνητική λοξότητα ενώ στον άξονα y θετική με τιμές και στις δύο περιπτώσεις να αφορούν σχεδόν κανονική κατανομή. Η κυρτότητα και στους δύο μελετώμενους άξονες είναι αρνητική που σημαίνει οι κατανομές είναι πλατύκυρτες.

5.1.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O1

0:07_7.5_Mz_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt1 : STEP 1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 23. Κάτω επιφάνεια υγιούς O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 5,24%, από -0,34 σε -0,322. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 14,62% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα - 0.290380891167981. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 5,66%, από 0,158 σε 0,149. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,135, δηλαδή μια μείωση 14,96% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,136 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,164 στην EOMIO, μια μείωση 2,5% και -1,203 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 5,93%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,207 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,221 στην EOMIO, μια μείωση 1,14% και σε -1,225 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 1,48%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0139 MPa μέχρι 0,857 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0147 MPa, μια αύξηση 5,66% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,856 MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 26,89% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 7,11% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,796 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα X κατά 4,9%, από -0,265 σε -0,252. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 19,47% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,213. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 182,52%, από 0,0092 σε -0,0076. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,0337, δηλαδή μια μείωση 465,86% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,223 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,242 στην EOMIO, μια μείωση 1,54% και -1,273 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 4,06%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,232 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,237 στην EOMIO, μια μείωση 0,39% και σε -1,243 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 0,84%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00969 MPa μέχρι 0,327 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0103 MPa, μια αύξηση 6,22% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,326 MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 13,04% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 4,08% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,313 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 151,46%, από -0,267 σε -0,254. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 76,75% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,207. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 221,5%, από -0,0158 σε -0,0355. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,071, δηλαδή μια αύξηση 363,64% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,202 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,217 στην EOMIO, μια αύξηση 3,25% και -1,253 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 4,84%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,317 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,326 στην EOMIO, μια αύξηση 6,44% και σε -1,329 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 7,63%.

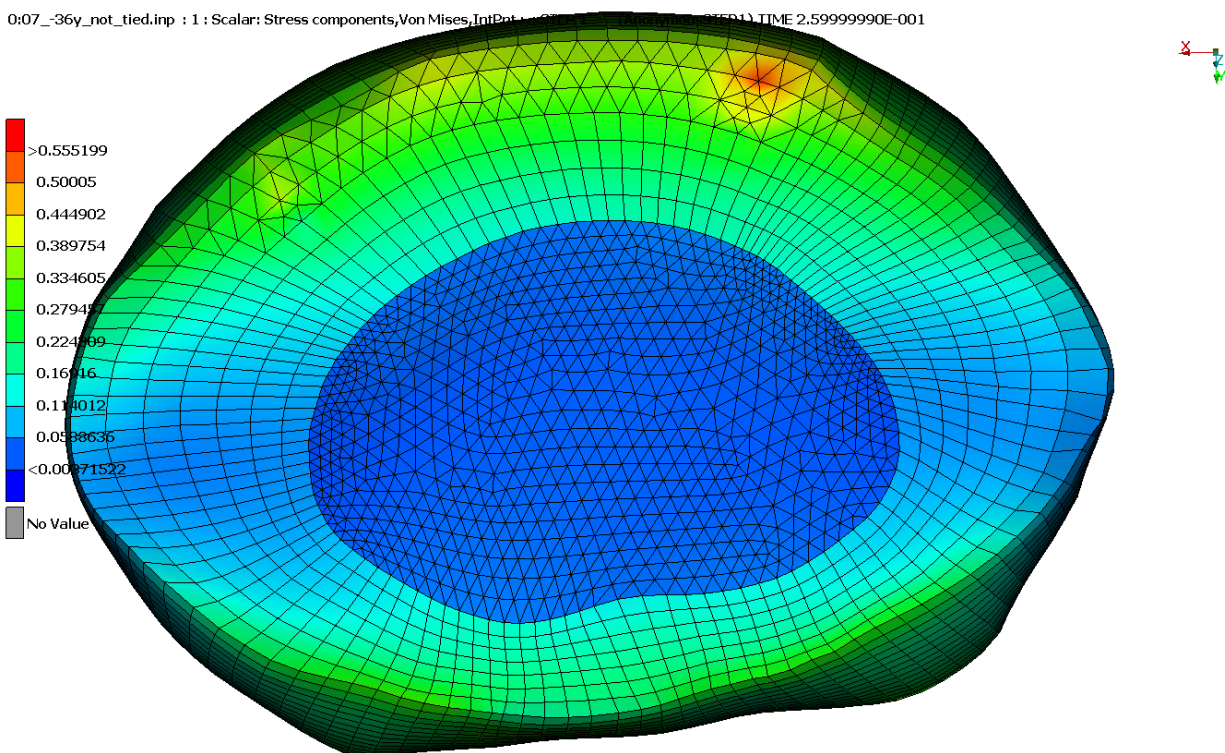
Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00726 MPa μέχρι 0,469 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00729 MPa, μια μικρή αύξηση 0,44% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,466, 0,71% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 14,79% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή μικρή αύξηση 1,57% από την υγιή, με τιμή 0,476 MPa.

Στον O1 μεσοσπονδύλιο δίσκο στον άξονα x τα μοντέλα εμφανίζουν αρνητικές λοξότητες σε όλες τις επιφάνειες, δηλαδή σχεδόν κανονικές κατανομές. Στον άξονα γ όμως έχουν αντιστροφή πρόσημου όπως έγινε στον O3 μεσοσπονδύλιο δίσκο. Στην κάτω επιφάνεια, η λοξότητα στις τρεις καταστάσεις δείχνει

αρνητικό πρόσημο, ενώ στη μεσαία επιφάνεια μόνο η υγιής στήλη είχε θετικό πρόσημο με τις τιμές εκεί να κυμαίνονται κοντά στον μηδέν. Στην άνω επιφάνεια οι λοξότητες στις τρεις καταστάσεις είναι αρνητική για σχεδόν κανονική κατανομή. Η κυρτότητα ούσα αρνητική και στον άξονα x και στον άξονα y με τιμές κοντά στο $-1,2$ υποδεικνύουν μια πλατύκυρτη κατανομή.

5.2 Πρόσθια Κάμψη

5.2.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5



Εικόνα 24. Άνω επιφάνεια υγιούς O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1549%, από 0,0343 σε -0,497. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 1629,25% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,525. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 23,5%, από 0,257 σε 0,197. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,193, δηλαδή μια μείωση 25% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,238 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,05 στην EOMIO, μια αύξηση 15,19% και -1,01 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 18,5%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,476 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,0783 στην EOMIO, μια αύξηση 26,94% και σε -1,0779 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 26,97%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης σε πρόσθια κάμψη κυμαίνονται από 0,00575 MPa μέχρι 0,519 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται έχει τιμή 0,313 MPa, 39,67% μικρότερη από την μέγιστη της υγιούς κατάστασης, ενώ η ελάχιστη είναι 0,00479 MPa, μια αύξηση 16,58% επί της υγιούς.

Στην EOMIO προτεταμένη η μέγιστη τιμή εμφανίζει μια μείωση 8,93% από την υγιή ενώ η ελάχιστη μια αύξηση 23% από την υγιή.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 623,62%, από 0,07 σε -0,367. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 659% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,392. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 29,8%, από 0,148 σε 0,192. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,205, δηλαδή μια αύξηση 38,88% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0202 στην υγιή κατάσταση γίνεται -0,998 στην EOMIO, μια αύξηση 2,2% και -0,968 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 5,13%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,447 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,871 στην EOMIO, μια αύξηση 39,81% και σε -0,856 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 40,84%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στη μεσαία επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0041 MPa μέχρι 0,3779 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,197 MPa το 47,86% της μέγιστης της υγιούς κατάστασης, ενώ η ελάχιστη 0,0058 MPa, μια μείωση 41,5% επί της υγιούς. Η EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια μείωση στην μέγιστη τιμή 20,4% από την υγιή ενώ η ελάχιστη τιμή πίεσης μια αύξηση 41% από την υγιή.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 263,58%, από 0,135 σε -0,221. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 285,1% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,251. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 27%, από 0,2 σε 0,254. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,306, δηλαδή μια αύξηση 52,77% επί της υγιούς.

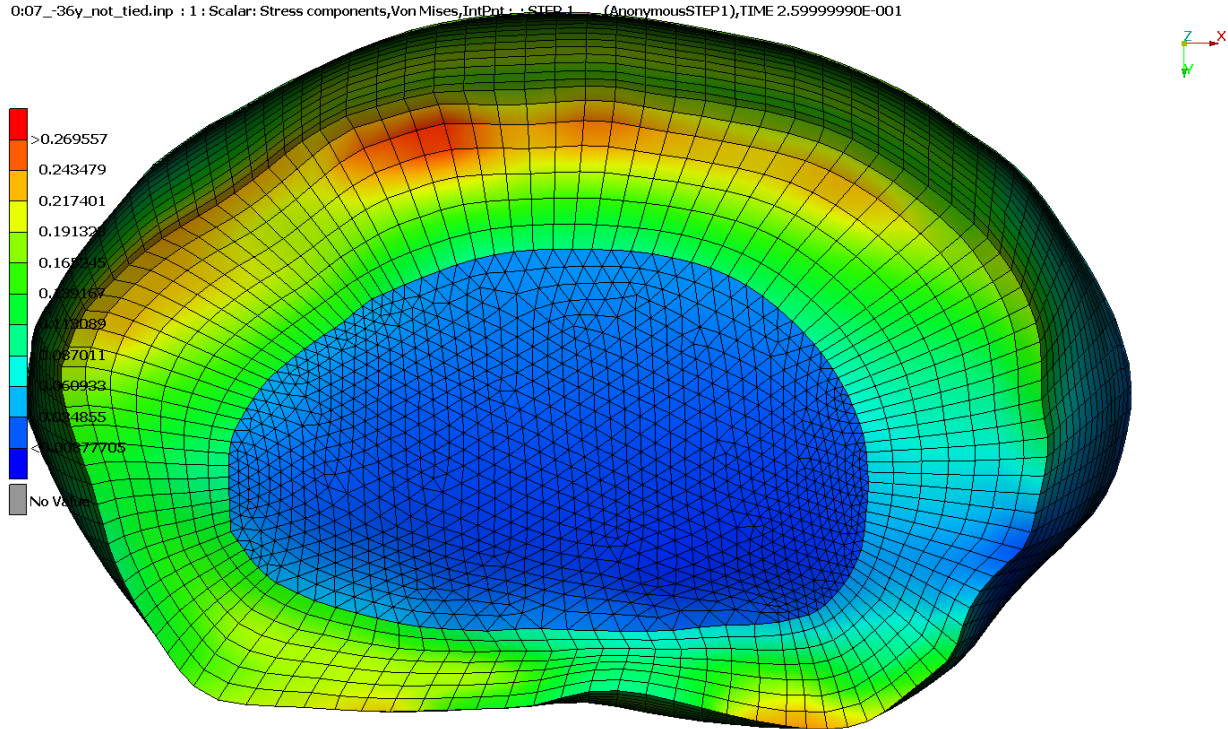
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -0,981 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,113 στην EOMIO, μια μείωση 13,42% και -1,095 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 11,56%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,363 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,99 στην EOMIO, μια αύξηση 26,61% και σε -0,933 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 31,52%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0231 MPa μέχρι 0,555 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0132 MPa, μια αύξηση 42,76% επί της υγιούς, ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,274 MPa, 50,69% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 24,32% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 22,77% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,429 MPa.

Στον άξονα x η λοξότητα στην πλάγια κάμψη από θετική στην υγιή κατάσταση γίνεται αρνητική στην πάσχουσα, είτε αφορά το EOMIO μοντέλο είτε το EOMIO προτεταμένο. Οι τιμές όμως δείχνουν μια

σχεδόν κανονική κατανομή. Στον άξονα γ οι τιμές λοξότητα είναι θετικές με τιμές να δείχνουν πως η κατανομή των πιέσεων στον δίσκο είναι σχεδόν κανονική. Η κύρτωση στον άξονα x δείχνει μια πλατύκυρτη κατανομή όπως συμβαίνει και με τον άξονα γ με τη διαφορά πως στον άξονα γ υπάρχει πιο έντονη κύρτωση στην υγιή κατάσταση συγκριτικά με τα EOMIO μοντέλα.

5.2.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4



Εικόνα 25. Κάτω επιφάνεια υγιούς O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 4,92%, από 0,232 σε 0,22. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 54% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,107. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 10,16%, από 0,0852 σε 0,0939. Στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα γ -0,0727, δηλαδή μια μείωση 185,3% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,253 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,26 στην EOMIO, μια μείωση 0,59% και -1,291 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 3,1%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,306 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,284 στην EOMIO, μια αύξηση 1,96% και -1,531 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 16,9%. Συμπερασματικά η κατανομή είτε πρόκειται για τον άξονα x είτε για τον άξονα γ είναι κανονική και σε ελαφρώς πλατύκυρτη.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00877 MPa μέχρι 0,269 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι γίνεται 0,00983 MPa, μια αύξηση 12% επί της υγιούς, ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,256 MPa, το 4,87% μικρότερη από την υγιή. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια 41,86% μείωση από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 153,26% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,683 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 4,15%, από 0,122 σε 0,117. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια μείωση 89,98% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,0122. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 14,87%, από 0,0585 σε 0,0672. Μείωση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,0955, δηλαδή μια μείωση 263,17% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,155 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,162 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 0,65% και -1,13 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια αύξηση 2,15%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,126 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,101 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 2,23% και σε -1,363 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 21%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,018 MPa μέχρι 0,195 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0192 MPa, μια αύξηση 6,55% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,185 MPa, μια μείωση 5,11% της υγιούς. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή είναι 0,0319 MPa και παρουσιάζει μια αύξηση 77,1% από την υγιή και η μέγιστη τιμή 111,28% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,412 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 2,27%, από 0,209 σε 0,204. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια μείωση 63,55% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,0762. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 2,23%, από -0,0617 σε -0,0603. Μείωση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,0964, δηλαδή μια μείωση 56,23% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0931 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,104 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 1% και -1,088 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια αύξηση 0,46%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,114 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,111 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,24% και σε -1,244 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 11,63%.

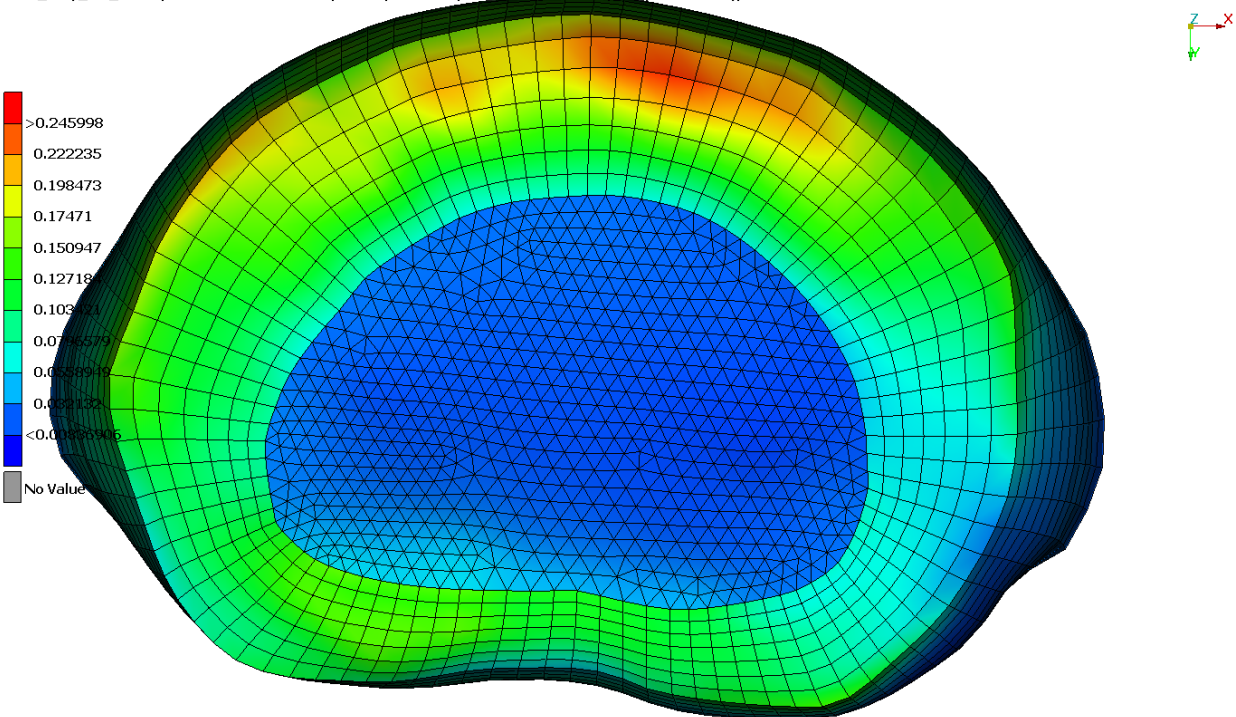
Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00912 MPa μέχρι 0,179 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0072 MPa, σημειώνει δηλαδή μια μείωση 21% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,1691 MPa, μια μείωση 5,69%. Η ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή που είναι

0,0137 MPa παρουσιάζει μια αύξηση 49,94% από την υγιή και η μέγιστη τιμή 120,34% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,395 MPa.

Η λοξότητα στον άξονα x είναι θετική στον Ο4 μεσοσπονδύλιο δίσκο που υπόκειται σε πλάγια κάμψη είναι θετική. Το μέγεθος βιώνει μια έντονη πτώση στη μεσαία επιφάνεια, ειδικά στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη αλλά στην άνω παρατηρείται μια αύξηση. Οι τιμές υποδεικνύουν μια σχεδόν κανονική κατανομή. Στον άξονα y η κατανομή είναι σχεδόν κανονική με την ΕΟΜΙΟ προτεταμένη να παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο στη λοξότητα ενώ η υγιής και ΕΟΜΙΟ στην κάτω και μεσαία παρουσιάζουν θετικό πρόσημο λοξότητας και στη συνέχεια στην άνω εμφανίζουν αρνητική. Η κυρτότητα και στον άξονα x και y είναι αρνητική που σημαίνει πως η σχεδόν κανονική κατανομή είναι ελαφρώς πλατύκυρτη.

5.2.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο3

0:07_-36y_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt : :STEP_1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.5999990E-001



Εικόνα 26. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1,36%, από 0,0882 σε 0,087. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια μείωση 3,24% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,0854. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 43,44%, από -0,0301 σε -0,017. Μείωση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,105, δηλαδή μια μείωση 247,25% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,13 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,132 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 0,14% και -1,125 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη

μια αύξηση 0,51%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,451 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,443 στην EOMIO, μια αύξηση 0,57% και σε -1,507 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 3,89%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0136 MPa μέχρι 0,246 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,162 MPa, μια μείωση 34,23% από την μέγιστη της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη στα 0,00781 MPa, βιώνει μια μείωση 42,4% επί της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση στην μέγιστη τιμή που εμφανίζεται στη κάτω επιφάνεια 53,33% από την υγιή και η ελάχιστη μια πολύ μικρή μείωση 0,23% από την υγιή.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1,28%, από 0,1 σε 0,0988. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 8,17% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,0919. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια μείωση 12,11%, από 0,0586 σε 0,0658. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0204, δηλαδή μια μείωση 65,14% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -0,984 στην υγιή κατάσταση γίνεται -0,987 στην EOMIO, μια μείωση 0,22% και -0,978 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 0,69%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,264 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,259 στην EOMIO, μια αύξηση 0,42% και σε -1,315 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 4%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00977 MPa μέχρι 0,168 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0102 MPa, μια αύξηση 19,62% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται έχοντας τιμή 0,135 MPa, 3,19% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει τιμή 0,023, δηλαδή μια αύξηση 135,45% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 53,58% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,258 MPa.

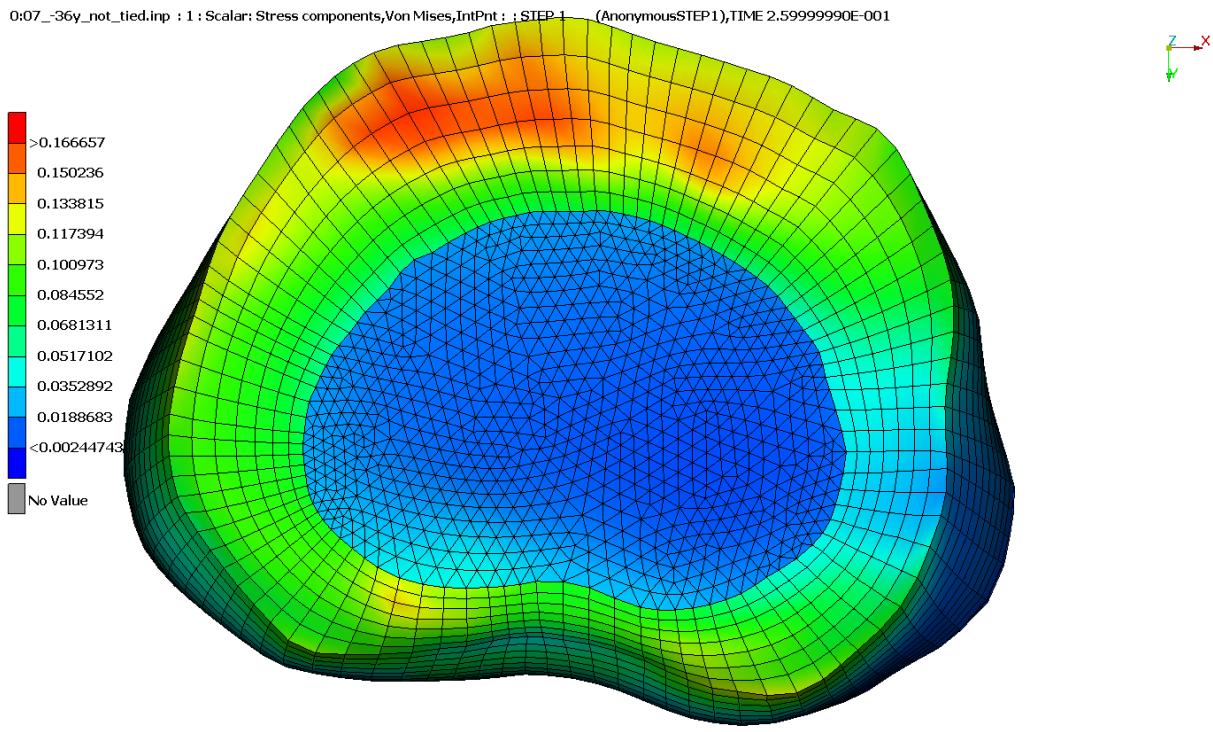
Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1,65%, από 0,157 σε 0,155. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 2,45% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,161. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 2,49%, από -0,0658 σε -0,0642. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,0517, δηλαδή μια αύξηση 21,51% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -0,917 στην υγιή κατάσταση γίνεται -0,92 στην EOMIO, μια μείωση 0,35% και -0,896 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 2,27%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,337 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,341 στην EOMIO, μια μείωση 0,27% και σε -1,328 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 0,7%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0189 MPa μέχρι 0,152 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00368 MPa, μια μείωση 80,47% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,144 MPa, 5,28% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 86% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή παρόμοια αύξηση 53,7% από την υγιή, με τιμή 0,234 MPa.

Στον Ο3 μεσοσπονδύλιο δίσκο παρουσιάζεται στον άξονα x μια θετική λοξότητα που διατηρείται σε περίπου ίδια επίπεδα (μια μικρή αυξητική τάση από κάτω προς τα άνω) σε όλες τις μελετώμενες επιφάνειες, μια σχεδόν κανονική κατανομή δηλαδή. Στον άξονα y η λοξότητα κυμαίνεται γύρω από το μηδέν με τη μεσαία επιφάνεια να έχει θετική λοξότητα ενώ στην κάτω κι άνω αρνητική. Η κύρτωση ούσα αρνητική σε παρόμοιες τιμές και στους δύο άξονες (με την άξονα y λίγο πιο αρνητικές) υποδεικνύει κάπως πλατύκυρτη σχεδόν κανονική κατανομή.

5.2.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο2



Εικόνα 27. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 1%, από 0,124 σε 0,123. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια αύξηση 1,75% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,126. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 41,38%, από 0,0559 σε 0,0791. Μείωση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,014, δηλαδή μια μείωση 125,12% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,155 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,155 στην EOMIO, μια μείωση 0,07% και -1,152 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 0,25%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,391 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,37 στην EOMIO, μια αύξηση 1,49% και σε -1,438 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 3,34%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00769 MPa μέχρι 0,167 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0078 MPa, μια αύξηση 1,51% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,162 MPa, 2,92% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 4,5% από την υγιή με τιμή 0,00804 MPa ενώ η μέγιστη τιμή 46,37% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,244 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 0,11%, από 0,11099 σε 0,11121. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 4,87% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,10559. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 15,23%, από 0,121 σε 0,14. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0604, δηλαδή μια μείωση 50,2% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0136 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,0138 στην EOMIO, μια μείωση 0,01% και -1,0164 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,28%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,2159 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,1998 στην EOMIO, μια αύξηση 1,32% και σε -1,2627 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 3,84%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0109 MPa μέχρι 0,1393 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0102 MPa, μια μείωση 6,66% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,135 MPa, 2,61% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 89,12% από την υγιή με τιμή 0,0206 MPa ενώ η μέγιστη τιμή 44,33% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,2 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα X κατά 0,12%, από 0,173 σε 0,173. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 7,48% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,16. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 17,39%, από 0,0556 σε 0,0652. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0205, δηλαδή μια μείωση 63,16% επί της υγιούς.

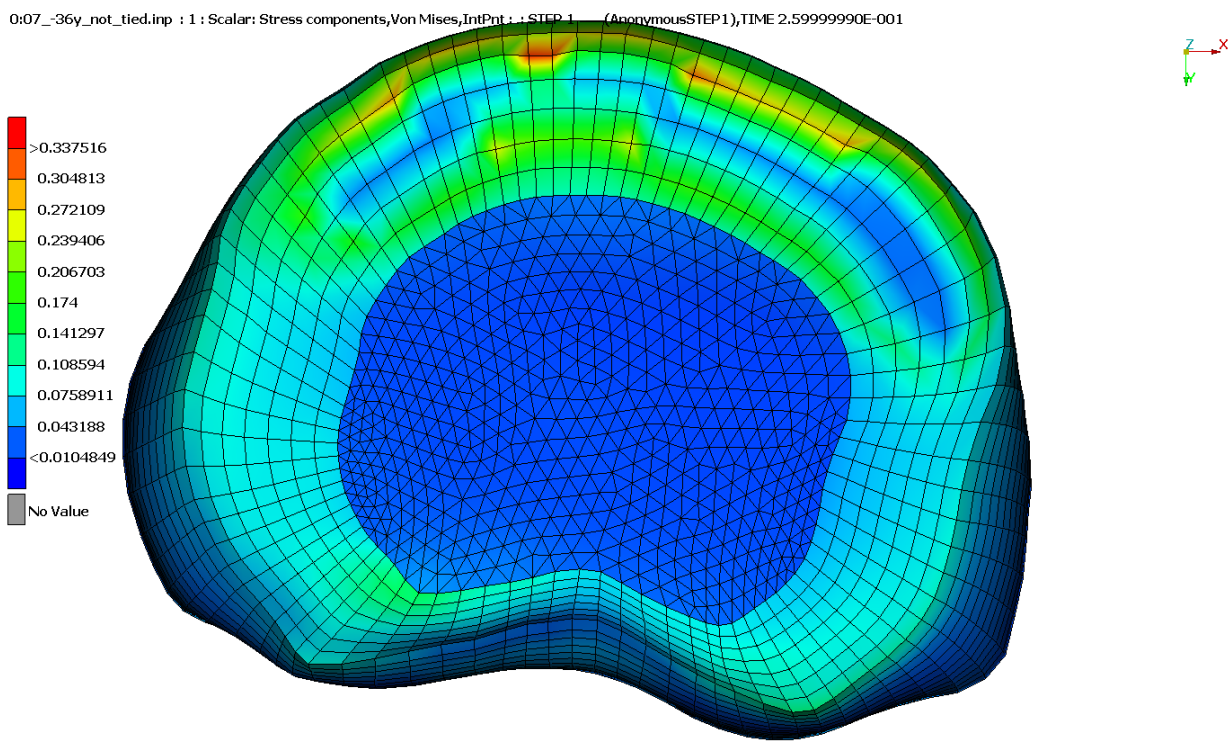
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -0,981 στην υγιή κατάσταση γίνεται -0,981 στην EOMIO, μια αύξηση 0,01% και -0,988 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,71%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα Y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι

-1,29251 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,29341 στην EOMIO, μια μείωση 0,07% και σε -1,29299 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 0,04%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην άνω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00245 MPa μέχρι 0,1475 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00368 MPa, μια αύξηση 50,52% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,144 MPa, μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς κατά 2,29%. Η EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 142,9% από την υγιή και η μέγιστη τιμή αύξηση 42,48% από την υγιή, με τιμή 0,21 MPa.

Στον Ο2 μεσοσπονδύλιο δίσκο συνεχίζει η λοξότητα του άξονα γ να κυμαίνεται κοντά στο μηδέν, ενώ στον x οι τιμές παραμένουν σε παρόμοια επίπεδα σε όλες τις μελετώμενες επιφάνειες με θετικό πρόσημο. Η σχεδόν κανονική κατανομή είναι πλατύκυρτη και στους δύο άξονες σύμφωνα με τις τιμές που εμφανίζονται από τα αποτελέσματα.

5.2.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο1



Εικόνα 28. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 102,74%, από -0,00165 σε -0,00335. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 156,21% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,00423. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti

εμφανίζει μια αύξηση 32,2%, από 0,0898 σε 0,1187. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y 0,0212, δηλαδή μια μείωση 76,37% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,20221 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,1995 στην EOMIO, μια αύξηση 0,22% και -1,20227 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,005%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,47321 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,45552 στην EOMIO, μια αύξηση 1,2% και σε -1,50139 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 1,91%.

Οι τάσεις που εμφανίζονται στην μεσαία επιφάνεια του O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0162 MPa μέχρι 0,3375 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0159 MPa, μια μείωση 2,17% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,33 MPa, 2,15% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 33,15% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 41,02% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,476 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 0,39%, από 0,0478 σε 0,0476. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 8,38% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,0438. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 10%, από -0,219 σε -0,197. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,261, δηλαδή μια μείωση 19% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,16385 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,16185 στην EOMIO, μια αύξηση 0,17% και -1,16839 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,39%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,28321 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,29108 στην EOMIO, μια μείωση 0,61% και σε -1,2631 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 1,57%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην μεσαία επιφάνεια του O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,014107753 MPa μέχρι 0,0981 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0129 MPa, μια μείωση 8,26% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,0966 MPa, 1,54% μικρότερη από την υγιή. Η EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 61,3% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 36,82% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,134 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 0,5%, από 0,071577 σε 0,071215. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 3,96% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,074408. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 2,52%, από -0,4493 σε -0,438. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,43961, δηλαδή μια αύξηση 2,16% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,13211 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,12698 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,45% και -1,14791 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 1,4%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,0585 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,07778 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 1,82% και σε -1,0377 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 1,97%.

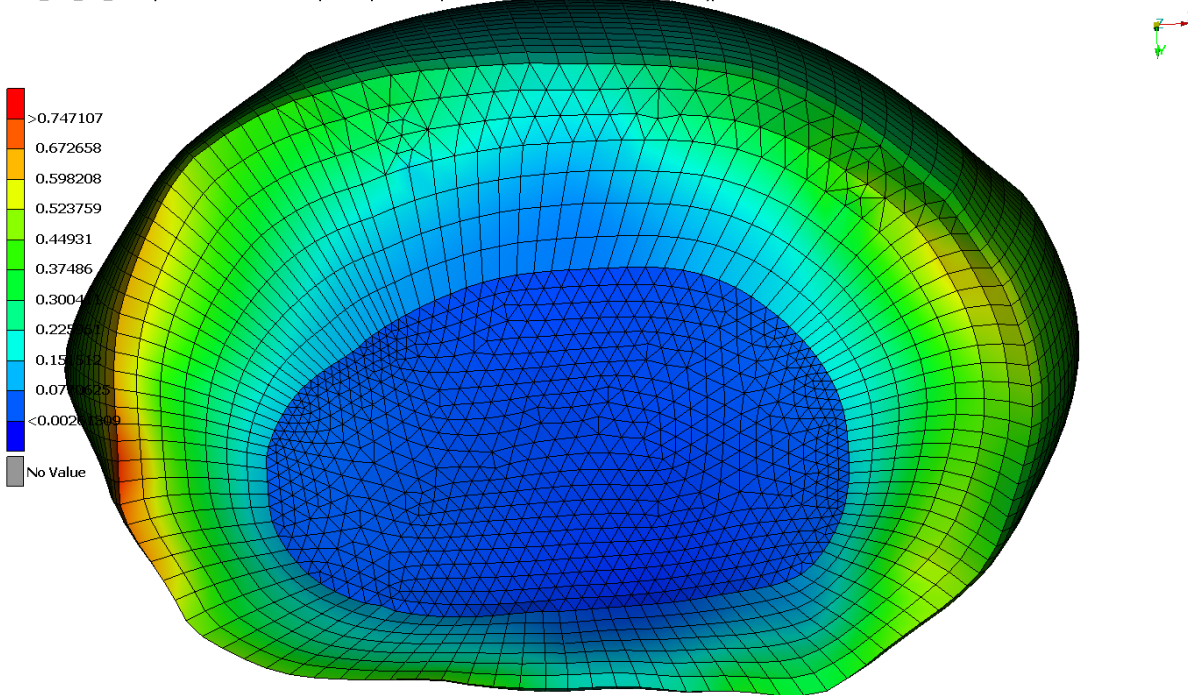
Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0168 MPa μέχρι 0,1344 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,017142301MPa, μια αύξηση 1,67% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,131 MPa, 2,71% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή που είναι 0,0209 MPa παρουσιάζει μια αύξηση 24,53% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή μικρή αύξηση 35,69% από την υγιή, με τιμή 0,182 MPa.

Η λοξότητα στον άξονα x από σχεδόν μηδέν στην κάτω επιφάνεια αποκτά θετικές τιμές στη μεσαία και άνω με χαμηλό μέτρο που υποδεικνύει σχεδόν κανονική κατανομή. Στον άξονα y από την άλλη πλευρά από θετικό πρόσημο που έχει η λοξότητα στην κάτω επιφάνεια αρνητικό στη μεσαία και άνω με μέτρο που έχει μια σχεδόν κανονική κατανομή. Και στους δύο άξονες για όλες τις μελετώμενες επιφάνειες οι κατανομές είναι λίγο πλατύκυρτες σύμφωνα με τις τιμές της κυρτότητας.

5.3 Πλάγια Κάμψη

5.3.1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O5

0:07_36x_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt : : STEP_1 (ΑνοητικόςSTEP1),TIME 2,59999990E-001



Εικόνα 29. Κάτω επιφάνεια O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 389,02%, από -0,0685 σε 0,198. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 383,16% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,194. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 71,22%, από -0,364 σε -0,105. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα γ -0,109, δηλαδή μια αύξηση 69,96% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,616 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,413 στην EOMIO, μια αύξηση 12,55% και -1,416 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 12,33%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,0733 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,00257 στην EOMIO, μια αύξηση 6,59% και σε -1,000503 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 6,78%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης σε πρόσθια κάμψη κυμαίνονται από 0,00261 MPa μέχρι 0,747 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται έχει τιμή 0,305MPa, 59,19% μικρότερη από την μέγιστη της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη είναι 0,0171 MPa, μια αύξηση 555,39% επί της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση εμφανίζει μια μείωση 33,81% από την υγιή, ενώ η ελάχιστη μια αύξηση 958,69% από την υγιή.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 58,96%, από 0,166 σε 0,263. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 69,97% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,282. Η λοξότητα ως προς άξονα Y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 56,74%, από -0,221 σε -0,0956. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,0994, δηλαδή μια αύξηση 54,99% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,437 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,305 στην EOMIO, μια αύξηση 9,16% και -1,296 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 9,76%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,949 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,86 στην EOMIO, μια αύξηση 9,38% και σε -0,86 στην EOMIO προτεταμένη δηλαδή μια αύξηση 9,41%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στη μεσαία επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00679 MPa μέχρι 0,453 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,222 MPa το 51% της μέγιστης της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη 0,02 MPa, μια αύξηση 194,3% επί της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια μείωση στην μέγιστη τιμή 19,84% από την υγιή ενώ η ελάχιστη τιμή πίεσης μια αύξηση 324,26% από την υγιή.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 244,83%, από 0,101 σε 0,347. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 251,62% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα 0,353. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 114,95%, από -0,278 σε 0,0416. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y 0,0409, δηλαδή μια αύξηση 114,69% επί της υγιούς.

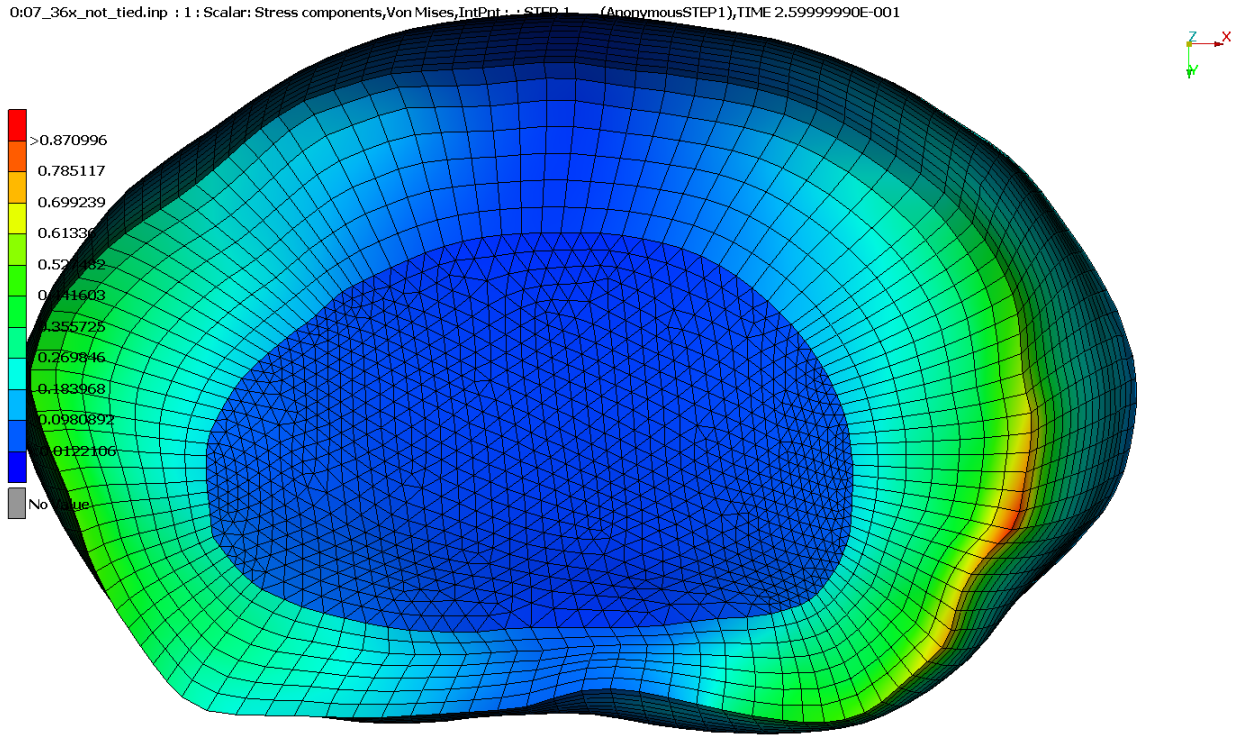
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,344 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,31314 στην EOMIO, μια αύξηση 2,32% και -1,31318 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 2,32%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,995 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,0674 στην EOMIO, μια μείωση 7,29% και σε -1,0658 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 7,13%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00616 MPa μέχρι 0,709 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00265 MPa, μια μείωση 56,85% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,407 MPa, 42,53% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 45,66% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 8,83% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,647 MPa.

Στον μεσοσπονδύλιο δίσκο O5 που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη στην υγιή κατάσταση η κάτω επιφάνεια εμφανίζει αρνητική λοξότητα στον άξονα των x με τιμή πλησίον του μηδενός ενώ οι EOMIO καταστάσεις εμφανίζουν θετική λοξότητα. Στις άλλες δυο μελετώμενες επιφάνειες σε όλες τις περιπτώσεις η λοξότητα είναι θετική. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στον άξονα y, με την λοξότητα να είναι αρνητική, εκτός της άνω επιφάνειας ο που η EOMIO καταστάσεις γίνονται θετικές. Και στους δυο άξονες όμως η λοξότητα

με τιμές κοντά στο μηδέν υποδεικνύει σχεδόν κανονική κατανομή. Η κυρτότητα στους άξονες x και y για όλες τις καταστάσεις είναι αρνητική, γεγονός που σημαίνει η κατανομή είναι πλατύκυρτη.

5.3.2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O4



Εικόνα 30. Κάτω επιφάνεια υγιούς O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 18,98%, από -0,133 σε -0,158. Η αλλαγή από την υγιή στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια μείωση 20,26% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,16. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 0,31%, από -0,394 σε -0,393. Μείωση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y -0,397, δηλαδή μια μείωση 0,72% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,631 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,61845 στην EOMIO, μια αύξηση 0,76% και -1,61782 στην EOMIO προτεταμένη μια αύξηση 0,79%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,75445 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,75827 στην EOMIO, μια μείωση 0,51% και σε -0,74597 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 1,12%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,013MPa μέχρι 0,665MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,013MPa, μια ελάχιστη μείωση 0,12% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,657MPa, το 1,16% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη

τιμή παρουσιάζει μια 65,98% μείωση από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 13,66% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,756MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 16,74%, από -0,117 σε -0,136. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 11,66% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,103. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 4,2%, από -0,426 σε -0,408. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y -0,401, δηλαδή μια αύξηση 5,69% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,569 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,559 στην EOMIO, μια αύξηση 0,65% και -1,574 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,26%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,652 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,667 στην EOMIO, μια μείωση 2,38% και σε -0,668 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 2,47%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στη μεσαία επιφάνεια του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0161 MPa μέχρι 0,429 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0155 MPa, μια μείωση 4,25% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,414 MPa, μια μείωση 3,74% της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή είναι 0,0256 MPa και παρουσιάζει μια αύξηση 58,13% από την υγιή και η μέγιστη τιμή 59,57% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,686 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 20,58%, από -0,102 σε -0,124. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια μείωση 16,93% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,12. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 1,95%, από -0,365 σε -0,358. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y -0,344, δηλαδή μια αύξηση 5,78% επί της υγιούς.

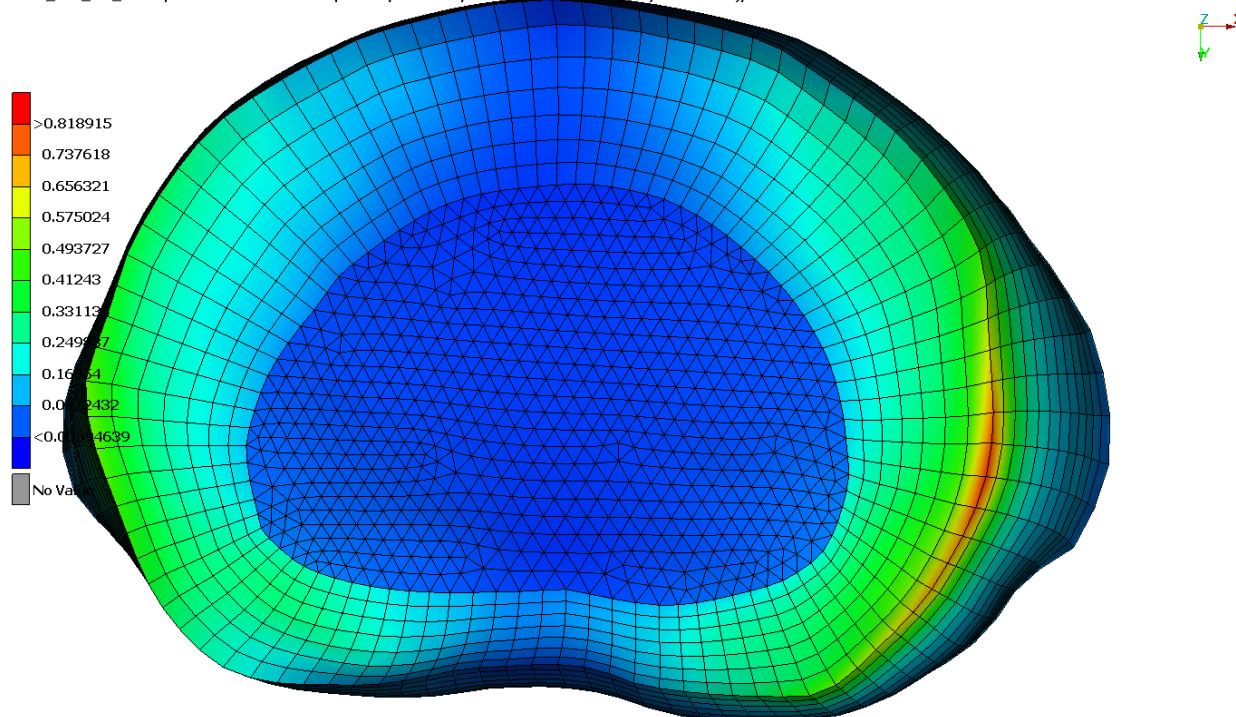
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,452 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,446 στην EOMIO, μια αύξηση 0,43% και -1,455 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 0,17%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,79 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,796 στην EOMIO, μια μείωση 0,66% και σε -0,809 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 2,4%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0239 MPa μέχρι 0,4698 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,023 MPa, βιώνει δηλαδή μια μείωση 3,55% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,438 MPa, μια μείωση 6,73%. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή που είναι 0,0379 MPa παρουσιάζει μια αύξηση 58,64% από την υγιή και η μέγιστη τιμή 50,19% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,706 MPa.

Με αρνητικές τιμές χαμηλότερες κατά απόλυτη τιμή του -0.5 και στον άξονα x και στον άξονα y οδηγούν στο συμπέρασμα πως η κατανομή πιέσεων στις επιφάνειες του μεσοσπονδύλιου O4 δίσκου είναι σχεδόν κανονικές. Αναφορικά με την κυρτότητα, πολύ πιο έντονη είναι στον άξονα x σε σύγκριση με τον y αλλά και στις δυο περιπτώσεις οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν μια λίγο πλατύκυρτη κατανομή.

5.3.3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος O3

0:07_36x_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt : : STEP:1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 31.. Κάτω επιφάνεια O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 7,53%, από -0,192 σε -0,207. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 12,47% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,168. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 0,68%, από -0,5456 σε -0,5419. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα y -0,5225, δηλαδή μια αύξηση 4,24% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,537 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,529 στην EOMIO, μια αύξηση 0,55% και -1,553 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 1%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,807 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,804 στην EOMIO, μια αύξηση 0,48% και σε -0,815 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 0,88%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00595 MPa μέχρι 0,819 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η

μέγιστη τιμή που εμφανίζεται 0,788 MPa, μια μείωση 3,78% από την μέγιστη της υγιούς κατάστασης ενώ η ελάχιστη στα 0,00534 MPa, βιώνει μια μείωση 10,11% επί της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση στην μέγιστη τιμή που εμφανίζεται στη κάτω επιφάνεια 23,14% από την υγιή και η ελάχιστη μια αύξηση 58,89% από την υγιή.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 23,7%, από -0,0771 σε -0,0954. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 49,18% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,0392. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 1,94%, από -0,484 σε -0,474. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,452, δηλαδή μια αύξηση 6,58% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,468 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,462 στην EOMIO, μια αύξηση 0,4% και -1,489 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 1,39%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,831 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,829 στην EOMIO, μια αύξηση 0,19% και σε -0,845 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 1,63%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στη μεσαία επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0163 MPa μέχρι 0,371 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0155 MPa, μια μείωση 5% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται έχει τιμή 0,359 MPa, 3,19% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει τιμή 0,0234, δηλαδή μια αύξηση 43,19% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 48,37% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,56 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα X κατά 36,9%, από -0,0435 σε -0,0596. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη EOMIO εμφανίζει μια αύξηση 42,92% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,0248. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 1,83%, από -0,45 σε -0,441. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,395, δηλαδή μια αύξηση 12,05% επί της υγιούς.

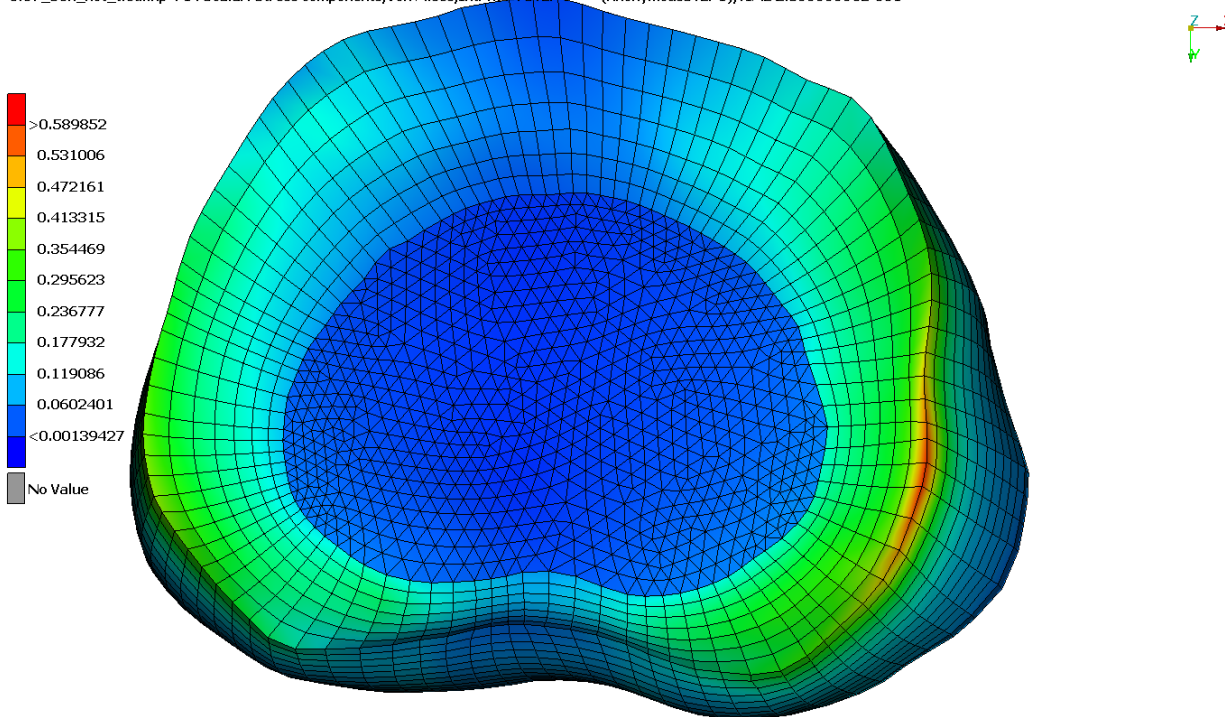
Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,278 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,275 στην EOMIO, μια αύξηση 0,26% και -1,303 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 1,95%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,999 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,993 στην EOMIO, μια αύξηση 0,66% και σε -1,031 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 3,22%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0258 MPa μέχρι 0,359 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0245 MPa, μια μείωση 5,24% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,341, 5,13% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 50,5% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή παρόμοια αύξηση 52,35% από την υγιή, με τιμή 0,547 MPa.

Στον Ο3 μεσοσπονδύλιο δίσκο που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη, στον άξονα x παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της λοξότητας τείνοντας προς το μηδέν, δηλαδή η κατανομή καθώς προχωρούμε από την κάτω επιφάνεια προς την άνω γίνεται ολοένα πιο κανονική. Στον άξονα y η λοξότητα είναι πιο έντονη από ό,τι στον x με τις τιμές να δείχνουν μια σχεδόν κανονική κατανομή και την ίδια τάση με του x. Η κυρτότητα και στους δύο άξονες είναι αρνητική υποδεικνύοντας πλατύκυρτη κατανομή, όμως στον άξονα x οι τιμές κυρτότητας μειώνονται κατά απόλυτη τιμή από κάτω προς τις πάνω επιφάνειες ενώ στον άξονα y αυξάνονται.

5.3.4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο2

0:07_36x_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components, Von Mises, IntPnt : : STEP 1 (AnonymousSTEP1), TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 32. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 8,63%, από -0,204 σε -0,221. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια αύξηση 24% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,155. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 2,69%, από -0,46 σε -0,447. Αύξηση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,413, δηλαδή μια αύξηση 10,1% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,55 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,54 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,74% και -1,587 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 2,3%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,87 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,863 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,78% και -0,873 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη δηλαδή μια μείωση 0,33%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00139 MPa μέχρι 0,5898 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00131 MPa, μια μείωση 6,28% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,5643 MPa, ελάχιστα μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 93% από την υγιή με τιμή 0,00269 MPa ενώ η μέγιστη τιμή 50,46% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,8875 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 14,87%, από -0,13 σε -0,149. Η αλλαγή από την υγιή στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση 39,1% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,079. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 3,35%, από -0,39 σε -0,377. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,342, δηλαδή μια αύξηση 12,4% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,411 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,403 στην EOMIO, μια αύξηση 0,59% και -1,451 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 2,83%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,8919 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,8897 στην EOMIO, μια αύξηση 0,23% και -0,9 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 0,92%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0176 MPa μέχρι 0,2688 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,01669 MPa, μια μείωση 5,06% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,258MPa, 4,11% μικρότερη από την υγιή. Στην EOMIO προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 35% από την υγιή με τιμή 0,0237 MPa ενώ η μέγιστη τιμή 40,33% μείωση από την υγιή, με τιμή 0,377 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της EOMIO παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 14,37%, από -0,1093 σε -0,125. Η αλλαγή από την υγιή στην EOMIO προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση 28,1% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,079. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 3,72%, από -0,364 σε -0,35. Αύξηση παρουσιάζεται στην EOMIO προτεταμένη στήλη που, εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,291, δηλαδή μια αύξηση 20% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,215 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,21 στην EOMIO, μια αύξηση 0,37% και -1,256 στην EOMIO προτεταμένη μια μείωση 3,4%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,0329 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,0276 στην EOMIO, μια αύξηση 0,51% και σε -1,0538 στην EOMIO προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 2%.

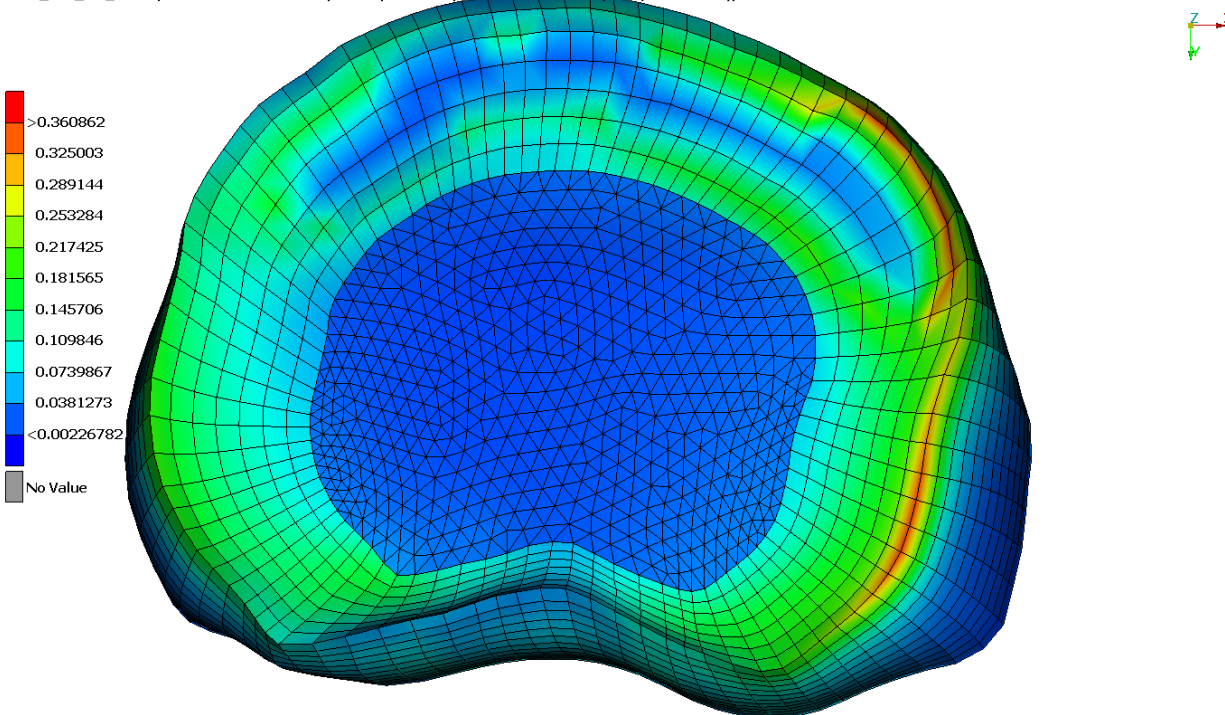
Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0224 MPa μέχρι 0,237 MPa. Στην EOMIO σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0214 MPa, μια μικρή μείωση 4,4% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,2276 MPa, επίσης μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς κατά 4,02%. Στην

ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια αύξηση 47,31% από την υγιή και η μέγιστη τιμή αύξηση 28,89% από την υγιή, με τιμή 0,306 MPa.

Στην πρόσθια κάμψη ο Ο2 μεσοσπονδύλιος δίσκος συμπεριφέρεται όμοια με τον Ο3. Η λοξότητα στους δύο άξονες και η κυρτότητα εμφανίζουν σημαντικές ομοιότητες με την κατανομή των πιέσεων να είναι σχεδόν κανονική και πλατύκυρτη.

5.3.5 Μεσοσπονδύλιος δίσκος Ο1

0:07_36x_not_tied.inp : 1 : Scalar: Stress components,Von Mises,IntPnt : : STEP 1 (AnonymousSTEP1),TIME 2.59999990E-001



Εικόνα 33. Κάτω επιφάνεια υγιούς Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στην **κάτω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 9%, από -0,268 σε -0,292. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια αύξηση 26,36% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,198. Η λοξότητα ως προς άξονα γ από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 2,79%, από -0,383 σε -0,372. Αύξηση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,372, δηλαδή μια αύξηση 2,95% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην κάτω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,366 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,344 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 1,62% και -1,421 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 4%. Αντίστοιχα οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα γ του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -1,224 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -1,222 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,15% και σε -1,214 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 0,78%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0103 MPa μέχρι 0,361 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0099 MPa, μια μείωση 3,93% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,356 MPa, 1,37% μικρότερη από την υγιή. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 37,3% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 52,66% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,551 MPa.

Στη **μεσαία** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 10,6%, από -0,18 σε -0,199. Η αλλαγή από την υγιή στην προτεταμένη ΕΟΜΙΟ εμφανίζει μια αύξηση 38,15% παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,111. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 1,85%, από -0,615 σε -0,604. Αύξηση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,599, δηλαδή μια αύξηση 2,68% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στη μεσαία επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,285 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,27 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 1.13% και -1,323 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 2,93%. Αντίστοιχα, οι τιμές της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,827 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,835 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 1% και σε -0,824 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη, δηλαδή μια αύξηση 0,28%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στη μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,0212 MPa μέχρι 0,1495 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,0202 MPa, μια μείωση 4,8% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,145 MPa, 2,93% μικρότερη από την υγιή. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η ελάχιστη τιμή παρουσιάζει μια μείωση 52,5% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή 46,7% αύξηση από την υγιή, με τιμή 0,219 MPa.

Στην **άνω** επιφάνεια, μεταξύ της υγιούς σπονδυλικής στήλης και της ΕΟΜΙΟ παρατηρείται μια μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα x κατά 12,49%, από -0,0964 σε -0,108. Η αλλαγή από την υγιή στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη εμφανίζει μια αύξηση 26,9%, παρουσιάζοντας τελικά μια λοξότητα -0,0704. Η λοξότητα ως προς άξονα y από την υγιή κατάσταση προς την πάσχουσα από σύνδρομο Bertolotti εμφανίζει μια αύξηση 1,98%, από -0,613 σε -0,601. Αύξηση παρουσιάζεται στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη στήλη, που εμφανίζει λοξότητα στον άξονα Y -0,597, δηλαδή μια αύξηση 2,53% επί της υγιούς.

Η κυρτότητα στην άνω επιφάνεια του μελετώμενου μεσοσπονδύλιου δίσκου στον άξονα x από -1,0969 στην υγιή κατάσταση γίνεται -1,0893 στην ΕΟΜΙΟ, μια αύξηση 0,69% και -1,106 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη μια μείωση 0,84%. Αντίστοιχα, η τιμή της κυρτότητας για τον άξονα y του μεσοσπονδύλιου δίσκου είναι -0,869 στην υγιή κατάσταση που μεταβάλλεται σε -0,872 στην ΕΟΜΙΟ, μια μείωση 0,29% και -0,861 στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη, δηλαδή μια μείωση 0,94%.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου της υγιούς σπονδυλικής στήλης κυμαίνονται από 0,00227 MPa μέχρι 0,207 MPa. Στην ΕΟΜΙΟ σπονδυλική στήλη η ελάχιστη τιμή πίεσης είναι 0,00215 MPa, μια μείωση 5,4% επί της υγιούς ενώ η μέγιστη τιμή που εμφανίζεται είναι 0,2, 3,2% μικρότερη από την μέγιστη τιμή της υγιούς. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη η

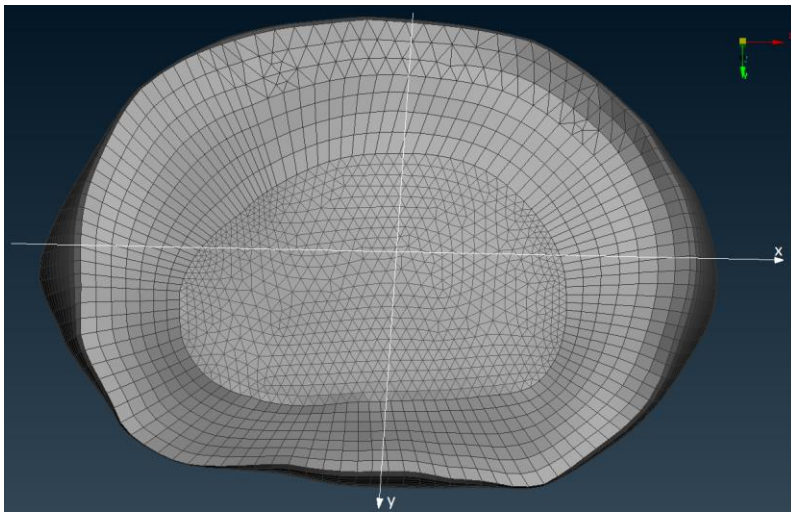
ελάχιστη τιμή που είναι 0,00806 MPa παρουσιάζει μια μείωση 255,53% από την υγιή ενώ η μέγιστη τιμή μικρή αύξηση 47,3% από την υγιή, με τιμή 0,304 MPa.

Στον O1 μεσοσπονδύλιο δίσκο στον άξονα x η λοξότητα στις μελετώμενες επιφάνειες δείχνει μια σχεδόν κανονική κατανομή με αρνητικό πρόσημο. Στον άξονα y όμως, παρατηρείται λοξότητα σε μεγαλύτερο βαθμό, εμφανίζοντας τις μεγαλύτερες τιμές από όλες τις μελετώμενες επιφάνειες στη μεσαία και άνω επιφάνεια του δίσκου. Η αρνητική κυρτότητα υποδεικνύει μια ελαφρώς πλατύκυρτη κατανομή και στους δύο άξονες.

6. Συμπεράσματα

Συμπεράσματα

Από στατιστικής άποψης εξηγήθηκε τι είναι η λοξότητα και η κυρτότητα. Πως εκφράζεται στην περίπτωση των τάσεων που εμφανίζονται στην μελετώμενη επιφάνεια ενός μεσοσπονδύλιου δίσκου όμως; Εάν χωριστεί νοητά μια επιφάνεια ενός μεσοσπονδύλιου δίσκου από τον άξονα x και y οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους, ορίζονται τεταρτημόρια. Η λοξότητα, ένα από τα κύρια ζητούμενα της στατιστικής ανάλυσης μπορεί να μας υποδείξει σε ποια περιοχή του δίσκου επιδρούν οι μεγαλύτερες τάσεις.



Εικόνα 34. Χωρισμός μελετώμενης επιφάνειας σε τεταρτημόρια. Η αρχή των αξόνων είναι αυθαίρετη.

Οπότε όταν για μια επιφάνεια η λοξότητα ως προς τον άξονα x και y είναι θετική σημαίνει πως, όπως μας υποδεικνύει η εικόνα 52, οι μεγαλύτερες πιέσεις περιορίζονται στο τρίτο τεταρτημόριο χωρίς όμως να είναι απαραίτητα όλες συγκεντρωμένες εκεί. Σημαντικές διαφορές στη λοξότητα μεταξύ των καταστάσεων (για την ίδια επιφάνεια), έχοντας υπόψιν και το μέγεθος των τάσεων που παρουσιάζονται, μπορούν να δώσουν μια εικόνα για το πως οι δίσκοι αποσβένουν τις καταπονήσεις που δέχεται η οσφυϊκή μοίρα.

Αντίστοιχα η κυρτότητα που δείχνει τη καμπυλότητα μιας κατανομής και συγκεκριμένα περιγράφει τα άκρα της. Στη περίπτωση που αφορά τις τάσεις που εμφανίζονται στην επιφάνεια του μεσοσπονδύλιου δίσκου, μας δείχνει πως αυτές οι τάσεις εφαρμόζονται στην επιφάνεια. Επειδή όλες οι κατανομές που βρέθηκαν έχουν κυρτότητες που στον άξονα x και y κυμαίνονται σε παρόμοιες τιμές, φαίνεται πως δεν υπάρχει αξιόλογη επίδραση η παρουσία EOMIO στις κατανομές οπότε δεν θα συζητηθεί περαιτέρω.

•Στρέψη

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια το μοντέλο καλείται να εκτελέσει μια αριστερόστροφη στρέψη με την ένωση του O5-I1 να βρίσκεται από την αριστερή πλευρά της οσφυϊκής μοίρας.

Όπως περιεγράφηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, κατά τη στρέψη της οσφυϊκής μοίρας, υπάρχει μια αύξηση της λοξότητας ως προς τον άξονα των x και y στον O5 μεσοσπονδύλιο δίσκο. Δηλαδή υπάρχει μια μετατόπιση των μεγάλων φορτίσεων προς τη περιφέρεια του δίσκου καθώς το υποκείμενο τείνει να στρέψει το κορμί του. Στην EOMIO και την EOMIO προτεταμένη περίπτωση όμως, όπου ο O5 σπόνδυλος είναι ενωμένος με το ιερό οστό και επομένως δεν μπορεί να εκτελέσει το ίδιο εύρος κινήσεων με αποτέλεσμα να εμφανίζονται μικρότερες τάσεις.

Στον O4 μεσοσπονδύλιο δίσκο υπάρχει μια διαφορετική εικόνα. Με αρνητική λοξότητα στον άξονα x και y , δηλαδή μια κατανομή με τις μεγαλύτερες φορτίσεις να εμφανίζονται στο αντιδιαμετρικό τεταρτημόριο από τις εμφανιζόμενες του δίσκου O5. Αυτή η απότομη αλλαγή όπως φαίνεται στα διαγράμματα που παρατίθενται στο παράρτημα συνάμα με τις μεγάλες τάσεις που παρατηρούνται στην κάτω επιφάνεια του O4 υποδεικνύουν μεγάλη καταπόνηση του O5 δίσκου. Με τις μεγαλύτερες τάσεις να εμφανίζονται στην κάτω επιφάνεια και σταδιακά να μειώνονται μέχρι την άνω επιφάνεια και την λοξότητα να αλλάζει σε μέτρο οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο O4 μεσοσπονδύλιος δίσκος δέχεται κάποια συμπίεση στο πρώτο τεταρτημόριό του με ιδιαίτερη φόρτιση στο χείλος της περιφέρειας του δίσκου. Στην άνω επιφάνειά του οι τάσεις που δέχεται είναι μικρότερες σε μέτρο και περισσότερο ομοιόμορφα κατανομημένες στην επιφάνειά του όπως φαίνεται και από το μέτρο της λοξότητας. Δηλαδή η ομοιόμορφη κατανομή στην άνω επιφάνεια δείχνει πως ο O4 μεσοσπονδύλιος δίσκος δεν κινδυνεύει από ζημιά σε εκείνη τη πλευρά αλλά από την κάτω. Το υποκείμενο θα νιώθει έντονο πόνο στη ράχη από την αριστερή του πλευρά, κάτι που φαίνεται λογικό αν σκεφτεί κανείς πως η ένωση του O5 σπόνδυλου με το ιερό οστό είναι σε εκείνη τη πλευρά.

Στον O3 μεσοσπονδύλιο δίσκο έχουμε αλλαγή στην λοξότητα ως προς τον άξονα y , η οποία από κοντά μηδενική στην κάτω επιφάνεια αυξάνεται σταδιακά για να αποκτήσει θετική τιμή. Με την λοξότητα στο άξονα x να διατηρείται σε περίπου τα ίδια αρνητικά επίπεδα οδηγεί στο συμπέρασμα πως υπάρχει μια μικρή μετατόπιση της κατανομή των τάσεων στο τέταρτο τεταρτημόριο. Καθώς στρέφεται δηλαδή η σπονδυλική στήλη του ατόμου και προσπαθούν οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι να απορροφήσουν τις καταπονήσεις συμβαίνει μια διαφοροποίηση στα διαφορετικά επίπεδα. Ενώ η μεγαλύτερες τιμές συνεχίζουν να εμφανίζονται στο πρώτο τεταρτημόριο της κάτω επιφάνειας, όπως συμβαίνει και στον O4, εδώ υπάρχει μια δεύτερη περιοχή λίγο υψηλών τάσεων στο τέταρτο τεταρτημόριο. Αυτό οδηγεί στην χαμηλή λοξότητα που εμφανίζεται ως προς y αλλά την παραμένουσα αρνητική λοξότητα ως προς x . Στην άνω επιφάνεια οι υψηλές τάσεις για την επιφάνεια εμφανίζονται στο μέρος του δίσκου που κοιτά προς την κοιλιά του υποκειμένου, δηλαδή προς τα αρνητικά y , όπως δείχνει και θετική λοξότητα. Αυτή η συγκέντρωση τάσεων είναι ανάμεσα στο τρίτο και τέταρτο τεταρτημόριο κάτι που επιβεβαιώνει και η φθίνουσα σε μέτρο λοξότητα ως προς x . Όλα αυτά σημαίνουν πως ο O3 μεσοσπονδύλιος δίσκος δέχεται συμπίεση σε δυο περιοχές, η κύρια είναι αυτή στην πλευρά της ράχης αριστερά, εκεί που είναι και η ένωση O5-I1 και μια δεύτερη μικρότερη στη πλευρά προς την κοιλιά. Αυτή η δεύτερη συμπίεση είναι σημαντικά μικρότερη αλλά παρόλα αυτά πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Στον O2 μεσοσπονδύλιο δίσκο σχηματίζεται μια όμοια εικόνα οπότε δεν θα γίνει αναφορά σε αυτόν. Σε αυτά τα δύο επίπεδα βλέπουμε την προσπάθεια της μοίρας να στραφεί κανονικά με την απορρόφηση των καταπονήσεων να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και στις τρεις μελετώμενες περιπτώσεις.

Ο Ο1 μεσοσπονδύλιος δίσκος από την άλλη δέχεται συμπίεση στην πλευρά της κοιλιακής χώρας. Ενώ όπως συμβαίνει σε όλους τους δίσκους εμφανίζονται πιέσεις στο πρώτο τεταρτημόριο, στον Ο1 υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση υψηλών τάσεων ανάμεσα στο τρίτο και τέταρτο τεταρτημόριο. Δηλαδή ο δίσκος συμπιέζεται από την οπίσθια πλευρά του (τα θετικά είναι προς την ράχη) και διατάσσεται λίγο στην μπροστινή. Η υψηλές τάσεις που αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια εξηγείται από το γεγονός πως στον Ο1 σπόνδυλο τελειώνει η οσφυϊκή μοίρα και αρχίζει η θωρακική και το μοντέλο καλείται να εκφράσει αυτό στη προσομοίωση.

Τελικά όλα αυτά μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως ενώ η συγκεκριμένη οσφυϊκή μοίρα εκτελεί στρέψη, καθώς προχωρούμε από τον Ο5 μεσοσπονδύλιο δίσκο προς τον Ο1 βλέπουμε μια μετατόπιση της πλευράς που συμπιέζεται από την πίσω και αριστερά (πρώτο τεταρτημόριο) δηλαδή στη ράχη, στην μπροστά, την κοιλιακή χώρα. Σε αυτό συμπέρασμα αυτό καταλήγει αν λάβει κανείς υπόψιν πως οι δίσκοι δεν έχουν την ίδια διεύθυνση μεταξύ τους καθώς στρέφονται, διότι η στρέψη γίνεται στον κατακόρυφο άξονα η σπονδυλική στήλη όμως, έχει το χαρακτηριστικό σχήμα S. Οι δυνάμεις που καλούνται να απορροφήσουν καθώς διέρχονται την σπονδυλική στήλη διατηρούν την ίδια γενική φορά είναι αναμενόμενο να εμφανιστεί αυτή η μετατόπιση. Η στρέψη είναι μια περίπλοκη κίνηση και με τα δεδομένα αυτά δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πως θα ήταν τα αποτελέσματα αν η κίνηση ήταν δεξιόστροφη ή αν οι ένωση Ο5-Ι1 ήταν αμφίπλευρη. Περισσότερες προσομοιώσεις θα δώσουν μια πιο καθαρή εικόνα.

•Πρόσθια Κάμψη

Καθώς η σπονδυλική στήλη καλείται να καμφθεί προς τα μπροστά, όπως ήταν αναμενόμενο και φαίνεται από τα αποτελέσματα οι δίσκοι γενικά δέχονται μια συμπίεση από την κοιλιακή πλευρά και μια έκταση από την ραχιαία. Στην περίπτωση του Ο5 δίσκου γίνεται εμφανής η επίδραση που έχει η παρουσία ΕΜΙΟ στις ζημιωμένες τάσεις που αναπτύσσονται, διότι ενώ στην υγιή κατάσταση υπάρχει μια εμφάνιση υψηλών τιμών στο τέταρτο τεταρτημόριο. Κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στη παρουσία φυσικών ασυμμετριών, όταν μελετάται η ίδια κίνηση με την παρουσία ΕΟΜΙΟ υπάρχει σημαντική αλλαγή στην λοξότητα ως προς τον άξονα x. Κάτι το οποίο εξηγείται από την παρουσία της ένωσης από τα αριστερά της οσφυϊκής μοίρας. Σταδιακά καθώς μελετούμε την λοξότητα στον άξονα x από την κάτω προς την πάνω επιφάνεια φαίνεται η σταδιακή αλλαγή μέτρου της. Αυτή η μετατόπιση του κύριου μέρους των πιέσεων όπως αποτυπώνεται και στους πίνακες του παραρτήματος οδηγεί στο συμπέρασμα πως η παρουσία ΕΟΜΙΟ ίσως λειτουργεί ως μοχλός. Δηλαδή κατά την πρόσθια κάμψη συγκρατεί τον Ο5 σπόνδυλο και αναγκάζει τον δίσκο να μεταφέρει τα φορτία σε άλλο μέρος του. Αυτή η αλλιώςτική συμπίεση είναι χρήσιμη γνώση στον έλεγχο και έγκαιρη διάγνωση της φθοράς του δίσκου.

Στον Ο4 μεσοσπονδύλιο δίσκο υπάρχει μια τροπή προς τα θετικά για την λοξότητα στον άξονα x. Αυτό σημαίνει πως οι μεγαλύτερες πιέσεις εμφανίζονται στο τρίτο και τέταρτο τεταρτημόριο των επιφανειών. Συγκεκριμένα, στην κάτω επιφάνεια υπάρχουν έντονες φορτίσεις στην κοιλιακή πλευρά, με τη συμπίεση που δέχεται σε εκείνη την περιοχή να είναι η μεγαλύτερη, ειδικά στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη περίπτωση. Στην ΕΟΜΙΟ προτεταμένη οι λοξότητα ως προς τον άξονα x λαμβάνει αρνητικό μέτρο που σημαίνει υψηλές τάσεις εμφανίζονται δεύτερο τεταρτημόριο. Αυτό δεν έρχεται σε άμεση αντίθεση με το προαναφερθέντα, αφού κατά την πρόσθια κάμψη ο δίσκος θα εκταθεί στην ραχιαία πλευρά και θα συμπιεστεί από την πλευρά της κοιλιάς. Όμως το αρνητικό μέτρο υποδηλώνει πως υπάρχει κάποια αντίσταση, ο δίσκος δεν εκτείνεται καθώς πρέπει. Με άλλα λόγια το άτομο βιώνει έντονο πόνο στην ράχη του στο ύψος του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου. Επαναλαμβανόμενες πρόσθιες κάμψεις από άτομα που

πάσχουν από σύνδρομο Bertolotti σίγουρα θα οδηγήσουν στον εκφυλισμό του δίσκου και καλό θα ήταν να περιορίζουν το εύρος των κινήσεων και τα βάρη που φέρουν.

Από τον O4 μέχρι και τον O2 η λοξότητα ως προς τον άξονα γ διατηρεί τιμές κοντά στο μηδέν. Αυτή η διακύμανση της λοξότητας από -0,1 μέχρι 0,15 δείχνει την ικανότητα της οσφυϊκής μοίρας να απορροφά τις καταπονήσεις λόγω ασυμμετριών ακόμα και με την παρουσία EOMIO. Η κατανομή των τάσεων είναι ίδια περίπου και στις τρεις περιπτώσεις, όμως οι σημαντικές τάσεις που εμφανίζονται στην EOMIO προτεταμένη οδηγούν σε εκφυλισμό του δίσκου. Η θετική λοξότητα ως προς τον άξονα χ στον O3 και O2 μεσοσπονδύλιο δίσκο δείχνει το πως κύριο μέρος των υψηλών τάσεων βρίσκονται τρίτο τεταρτημόριο. Δηλαδή σε εκείνη την περιοχή οι δίσκοι αυτοί συμπιέζονται ενώ αντιδιαμετρικά στο πρώτο διατάσσονται. Αυτά τα φορτία όμως είναι χαμηλά συγκριτικά με αυτά που βιώνει ο O4 και η χαμηλή λοξότητα υποδηλώνει πως είναι κατανεμημένα σε μια τέτοια έκταση που δεν αποτελεί άμεσο κίνδυνο για την ακεραιότητα του δίσκου χωρίς όμως να σημαίνει πως δεν θα δημιουργούν ενοχλήσεις στην καθημερινότητα του πάσχοντα.

Ο O1 μεσοσπονδύλιος δίσκος παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τους O3 και O2. Όπως είναι αναμενόμενο βιώνει μια συμπίεση από τη πλευρά της κοιλιακής χώρας καθώς η μοίρα υπόκειται σε πρόσθια κάμψη. Η απότομη μείωση της λοξότητας ως προς τον άξονα γ που μεγιστοποιείται σε μέτρο στην άνω επιφάνεια είναι απλά μια μικρή αλλά αξιόλογη συγκέντρωση μεγάλων, για τον συγκεκριμένο δίσκο, τάσεων στο πρόσθιο μέρος του δίσκου. Δηλαδή το υποκείμενο που εκτελεί πρόσθια κάμψη θα νιώσει στο ύψος του O1 μεσοσπονδύλιου δίσκου, στο κάτω μέρος του O1 σπονδύλου μια μικρή ενόχληση. Αλλά οι τιμές των τάσεων και η κατανομή τους πάνω στην επιφάνεια δεν παρουσιάζουν κίνδυνο στον εκφυλισμό του δίσκου. Το ίδιο δεν μπορεί να λεχθεί για την κάτω επιφάνειά του, όπου εμφανίζεται η δεύτερη σε μέγεθος υψηλότερη μέγιστη τάση. Κοντά στην περιφέρεια του δίσκου, λίγα χιλιοστά μακριά από το άκρο του σε μικρές σε έκταση περιοχές υπάρχει έντονη άσκηση πίεσης στον δακτύλιό του, με άμεση συνέπεια την φθορά των ιστών εκεί.

Η συνολική εικόνα που λαμβάνει κανείς από τη μελέτη αυτή της κίνησης είναι πως η σπονδυλική στήλη έχει την ικανότητα να εξομαλύνει ατέλειες στη μορφή της και να απορροφά τα φορτία αποδοτικά, με τους O3 και O2 μεσοσπονδύλιους δίσκους να παίζουν από ό,τι φαίνεται σημαντικό ρόλο στην ομαλή απορρόφηση τους.

• Πλάγια Κάμψη

Στην πλάγια κάμψη η σπονδυλική στήλη κάμπτεται προς τα αριστερά, την πλευρά όπου είναι και η ένωση O5-I1, αυτό, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα οδηγεί του μεσοσπονδύλιους δίσκους σε συμπίεση από την αριστερή πλευρά της στήλης (πρώτο και τέταρτο τεταρτημόριο) και διάταση στην δεξιά (δεύτερο και τρίτο τεταρτημόριο). Οι συνέπειες αυτή της κίνησης είναι ανάλογες της πρόσθιας κάμψης με τη διαφορά πως στη πλάγια κάμψη υπάρχει μεγαλύτερη καταπόνηση του O4 μεσοσπονδύλιου δίσκου όπως θα εξηγηθεί και στην πορεία.

Ξεκινώντας από την κάτω επιφάνεια του O5 μεσοσπονδύλιου δίσκου όπου στην υγιή κατάσταση η λοξότητα ως προς τους άξονες χ και γ είναι αρνητική δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος των μεγάλων τάσεων είναι συγκεντρωμένο στο πρώτο τεταρτημόριο της επιφάνειας, πράγμα λογικό αφού από εκείνη τη πλευρά είναι η ένωση O5-I1. Υπάρχει μια μικρή περιοχή στο δεξί άκρο της επιφάνειας όπου εμφανίζονται υψηλές τιμές φορτίσεων και εξηγεί το χαμηλό μέτρο της λοξότητας ως προς τον άξονα χ . Ανάμεσα στην υγιή, EOMIO και EOMIO προτεταμένη η υγιής εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές τάσεων για κάθε

επιφάνεια, ενώ η ΕΟΜΙΟ τις μικρότερες μέγιστες. Αυτό είναι συνέπεια της ελευθερίας κινήσεων που έχει η υγιής μοίρα που επιτρέπει τον Ο5 μεσοσπονδύλιο δίσκο να ανταπεξέλθει στην αποστολή του και να αποσβέσει μέρος του φορτίου που δέχεται η οσφυϊκή μοίρα κατά τη κίνηση. Στα μοντέλα όπου προσομοιώθηκε η πάσχουσα κατάσταση βρέθηκε μικρή λοξότητα ως προς τον άξονα y αλλά σημαντικά μεγαλύτερη ως προς τον άξονα x συγκριτικά με το υγιές μοντέλο. Αν και όπως προαναφέρθηκε οι μέγιστες τάσεις που παρατηρούνται είναι μικρότερες σε μέτρο οι διαφορές στην λοξότητα υποδεικνύουν πως ο Ο5 μεσοσπονδύλιος δίσκος φέρει τα φορτία πιο συμμετρικά ως προς y και υπάρχει πιο έντονη φόρτιση στο δεξιό μέρος του. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως παρόλο που ο ΕΟΜΙΟ και ΕΟΜΙΟ προτεταμένη Ο5 δίσκος δεν απορροφά το κατάλληλο μέρος του φορτίου, σε ορισμένες περιοχές δέχεται μεγαλύτερη καταπόνηση από την υγιή με αποτέλεσμα την ταχύτερη φθορά του ιστού.

Ο Ο4 μεσοσπονδύλιος δίσκος δέχεται μια συμπίεση στο δεξί και αριστερό άκρο του. Με την πλάγια κάμψη και την παρουσία της ένωσης του Ο5 σπονδύλου με το ιερό οστό να είναι από την ίδια πλευρά είναι φυσιολογικό να εμφανίζονται μεγάλες τάσεις στο χείλος του πρώτου τεταρτημόριου. Όμως εμφανίζονται μέτριου μεγέθους τάσεις και από την δεξιά πλευρά ενώ ενδιάμεσα, δηλαδή στον νοητό άξονα y της επιφάνειας είναι σχεδόν μηδενικές. Αυτή η συμπίεση από την δεξιά πλευρά οδηγεί στη χαμηλού μέτρου λοξότητα ως προς τον άξονα x ενώ αφού οι μεγαλύτερες τάσεις είναι στο πρώτο τεταρτημόριο η λοξότητα ως προς τον άξονα y θα εμφανιστεί αρνητική και με μεγάλο μέτρο. Στη μεσαία και άνω επιφάνειες του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου οι τιμές των δύο λοξοτήτων παραμένουν περίπου σταθερές με το μέγεθος των εμφανιζόμενων τάσεων να μειώνονται δραματικά.

Στον Ο3, Ο2 και Ο1 μεσοσπονδύλιο δίσκο παρατηρείται η ίδια εικόνα με τον Ο4 με τη διαφορά πως οι εμφανιζόμενες τάσεις έχουν μικρότερο μέτρο. Δηλαδή υπάρχει μια δεύτερη συμπίεση στο δεξί μέρος του δίσκου ενώ στη μέση υπάρχουν πολύ μικρές φορτίσεις. Η μεγαλύτερη λοξότητα στην κάτω επιφάνεια του Ο3 υποδεικνύει μεγαλύτερη συγκέντρωση των μεγάλων τάσεων στη μικρή περιοχή στο χείλος του. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως όπως ο Ο4 έτσι και Ο3, και σε μικρότερο βαθμό ο Ο2 είναι πηγές πόνου όταν το υποκείμενο εκτελεί πλάγια κάμψη από την πλευρά της ένωσης και ο εκφυλισμός του δίσκου εντείνεται σε αυτές τις περιπτώσεις περισσότερο από τις άλλες κινήσεις.

Στη μεσαία και άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου παρατηρείται μεγάλη αύξηση, σε μέτρο της λοξότητας ως προς τον άξονα y . Αυτό όπως και στην πρόσθια κάμψη οφείλεται στην μεγαλύτερη καταπόνηση της περιοχής του δίσκου στη ραχιαία πλευρά. Η παράλληλη σταδιακή μείωση σε μέτρο λοξότητας στον άξονα x σημαίνει πως οι περισσότερες φορτίσεις είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στην άνω επιφάνεια με μια αξιόλογη συγκέντρωση υψηλών στο αριστερό χείλος, όπως συμβαίνει σε όλους τους δίσκους του μοντέλου.

Η όμοια συμπεριφορά των δίσκων στην οσφυϊκή μοίρα που εκτελεί πλάγια κάμψη, οδηγεί στο συμπέρασμα πως αν και οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι διαφέρουν μεταξύ τους δεν επηρεάζεται η ικανότητα απορρόφησης του φορτίου.

Άλλο σημαντικό συμπέρασμα είναι πως ο Ο4 μεσοσπονδύλιος δίσκος δέχεται τη μεγαλύτερη καταπόνηση με άμεση συνέπεια τον εκφυλισμό του με δεύτερο διακινδυνευμένο μεσοσπονδύλιο δίσκο ο Ο3. Ο συσχετισμός της τοποθεσίας της ένωσης Ο5-Ι1 και της συγκέντρωσης υψηλών τάσεων στην επιφάνεια του Ο4 ήταν ήδη γνωστός αλλά πλέον διατίθεται μια εικόνα για το πως αναπτύσσονται οι τάσεις. Η εμφάνιση δισκοκήλης σε ανηλίκους με παρουσία ΕΟΜΙΟ αυξάνει τον κίνδυνο έως και 5.2 φορές. Μερικές μελέτες έδειξαν ακόμα μεγαλύτερο βαθμό, αλλά λόγω το μικρού αριθμού τους και την

αβεβαιότητα που περιβάλλει το φαινόμενο με πολλούς παράγοντες να συμβάλλουν δεν θα αναφερθούν άλλα.

Επιπρόσθετα η μέθοδος δημιουργίας του μοντέλου, η μέθοδος εκπόνησης της στατιστικής μελέτης και συγκέντρωση εμπειρικών δεδομένων θα επιτρέψει στο μέλλον τη γρήγορη διάγνωση και εντοπισμό προβληματικών περιοχών στους δίσκους. Ο ασθενής θα μπορεί ύστερα από μια αξονική τομογραφία να έχει μοντέλο της οσφυϊκής του μοίρας του, όπου θα επιτρέπει εξατομικευμένη λύση στο πρόβλημά του, μειώνοντας έτσι το κόστος περίθαλψης και την ταχύτερη επιστροφή του ατόμου σε μια εποικοδομητική καθημερινότητα.

Το ερώτημα που καλείται να απαντήσει τούτη η ανάλυση είναι η επίδραση που έχουν φυσιολογικές ανατομικές ασυμμετρίες επί των αναπτυσσόμενων τάσεων στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης και του συνδρόμου Bertolotti. Κάθε άνθρωπος η σπονδυλική στήλη έχει ατέλειες, κάποιες γενετικές άλλες επίκτητες. Στην οσφυϊκή μοίρα οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι διαφέρουν μεταξύ τους και είναι ασύμμετροι. Το σύνδρομο Bertolotti που πλήττει περίπου το 5% του πληθυσμού, με κόστος για το υγειονομικό σύστημα αλλά και τη καθημερινότητα του ατόμου έχει σημαντική επίδραση επί των αναπτυσσόμενων τάσεων από ό,τι επιτρέπουν τα αποτελέσματα να συμπεράνουμε. Από την μελέτη των τριών μοντέλων που εκτελούν τις τρεις κινήσεις μπορεί να ειπωθεί πως ανατομικές ασυμμετρίες επιδρούν στις αναπτυσσόμενες τάσεις. Ο βαθμός του συσχετισμού όμως δεν είναι σαφές καθώς πολλές μεταβλητές παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη μιας τάσης. Περισσότερες προσομοιώσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν με διαφορετικές κατηγορίες ΕΟΜΙΟ και κινήσεις όπως δεξιόστροφη στρέψη και δεξιά πλάγια κάμψη για τη διερεύνηση ομοιοτήτων και διαφορών.

7. Πηγές

1. Ιστοσελίδα www.gethealthier.gr
2. "The distribution of mineral density in the cervical vertebral endplates" Muller-Gerbl, M; et al. (Mar 2008).
3. Anatomy of the Human Body 20th edition, Henry Gray F.R.S (1918)
4. The internal pressure and stress environment of the scoliotic intervertebral disc (2007) – a review
A Meir*¹, D S McNally², J C Fairbank¹, D Jones¹, and J P Urban³¹Nuffield Department of Orthopaedic Surgery, Oxford, UK²Physiology Laboratory, Oxford University, Oxford, UK³Institute of Biomechanics, University of Nottingham, Nottingham, UK The manuscript was accepted for publication on 22 August 2007
5. Clinical Anatomy of the Lumbosacral Spine, Grant Cooper, 2015
6. A Review of Symptomatic Lumbosacral Transitional Vertebrae: Bertolotti's Syndrome
Jeffrey M. Jancuska, BA,¹ Jeffrey M. Spivak, MD,² John A. Bendo, MD² ¹New York University School of Medicine, New York, NY, USA ²Department of Orthopaedic Surgery and Hospital for Joint Diseases, New York University School of Medicine, New York, NY, USA
7. Lumbosacral transitional vertebrae and their relationship with lumbar extradural defects. Spine. Castellvi AE, Goldstein LA, Chan DP. 1984;9(5):493-5.
8. The prevalence of transitional vertebrae in the lumbar spine. The spine journal: official journal of the North American Spine Society. Apazidis A, Ricart PA, Diefenbach CM, Spivak JM. 2011 ;11(9):858-62.
9. Lumbosacral transitional vertebrae: association with low back pain. Radiology. Nardo L, Alizai H, Virayavanich W, Liu F, Hernandez A, Lynch JA, et al. 2012;265(2):497-503.
10. Intervertebral disc degeneration associated with lumbosacral transitional vertebrae: a clinical and anatomical study. The Journal of bone and joint surgery British volume. Aihara T, Takahashi K, Ogasawara A, Itadera E, Ono Y, Moriya H. 2005;87(5):687-91.
11. Numeric and morphological verification of lumbosacral segments in 8280 consecutive patients. Spine. Paik NC, Lim CS, Jang HS.
12. Bertolotti's syndrome. A cause of back pain in young people. The Journal of bone and joint surgery British volume. Quinlan JF, Duke D, Eustace S. 2006;88(9):1183-6.
13. Lumbosacral transitional vertebra in a population-based study of 5860 individuals: Prevalence and relationship to low back pain. European journal of radiology. Tang M, Yang XF, Yang SW, Han P, Ma YM, Yu H, et al. 2014;83(9):1679-82.
14. The transitional vertebra of the lumbosacral spine: its radiological classification, incidence, prevalence, and clinical significance. Rheumatology and rehabilitation. Tini PG, Wieser C, Zinn WM.
15. Clinical significance of congenital lumbosacral malformations in young male population with prolonged low back pain. Spine. Taskaynatan MA, Izci Y, Ozgul A, Hazneci B, Dursun H, Kalyon TA. 2005;30(8):E210-3.
16. Low back complaints worse, but not more frequent in subjects with congenital lumbosacral malformations: a study on 5000 recruits. Acta orthopaedica Belgica. Yavuz U, Bayhan AI, Beng K, Emrem K, Uzun M. 2012;78(5):668-71.

17. Jacob Fish and Ted Belytschko, “A First Course in Finite Elements by Jacob Fish and Ted Belytschko”, Wiley, 2007

18. The effect of kyphoplasty parameters on the dynamic load transfer within the lumbar spine considering the response of a bio-realistic spine segment

Alexander Tsouknidas ^{a,b,*}, Savvas Savvakis ^c, Yiannis Asaniotis ^c, Kleovoulos Anagnostidis ^d,
Antonios Lontos ^b, Nikolaos Michailidis ^a

^a Department of Mechanical Engineering, Aristotle University Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece ^b
Department of Mechanical Engineering, Frederick University, 1036 Nicosia, Cyprus ^c BETA CAE Systems S.A.,
54005 Thessaloniki, Greece ^d Cardiff Spine Unit, University Hospital of Wales, University Hospital Llandough,
UK

19. The frictional properties of animal joints. *Wear* McCutchen, C.,
1962. 5, 1–17

20. A non-linear finite element model of human L4–L5 lumbar spinal segment with three-dimensional
solid element ligaments. *Theor. Appl.* 1, Xiao, Z., Wang, L., Gong, H., Zhu, D., Zhang, H., 2011. 064001.

21. A finite element model technique to determine the mechanical response of a lumbar spine segment
under complex loads. *J. Appl. Biomech.* Tsouknidas, A., Michailidis, N., Savvakis, S., Anagnostidis, K., Bouzakis, K.-D.,
Kapetanios, G., 2012. 28 (4), 448–456.

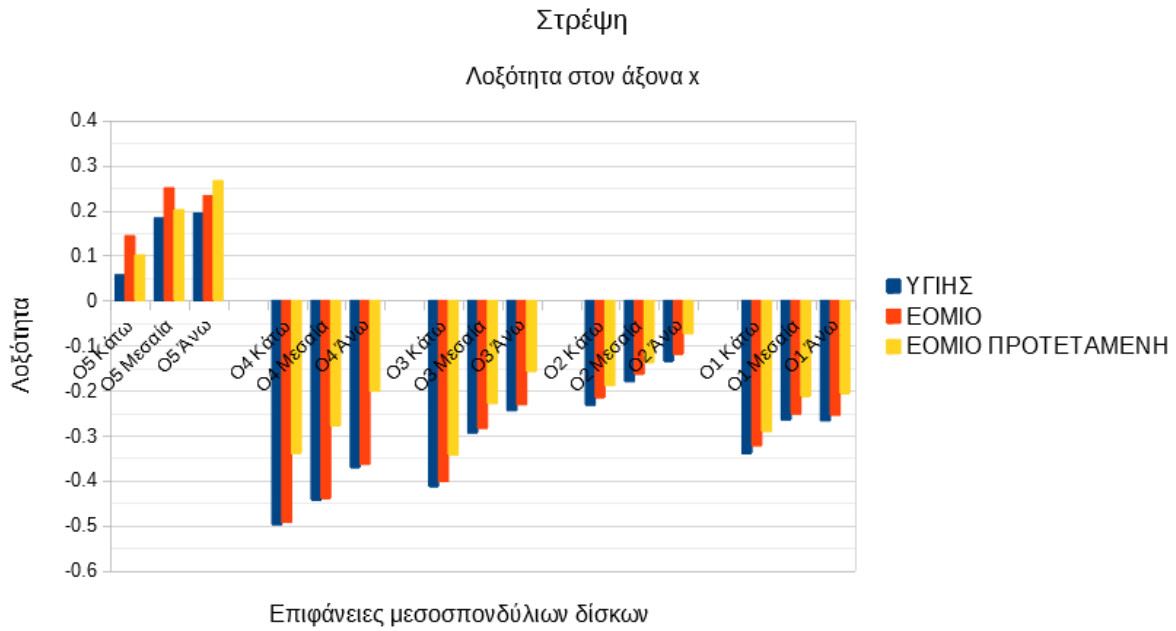
22. Mechanical behavior of the human lumbar and lumbosacral spine as shown by three-dimensional
load– displacement curves. *J. Bone Joint Surg.* Panjabi, M.M., Oxland, T.R., Yamamoto, I., Crisco, J.J., 1994. 76,
413–424.

23. The Error Law and its Generalizations by Fechner and Pearson. *A Rejoinder*, Pearson, Karl (1905)
Biometrika 4 (1–2): 169–212

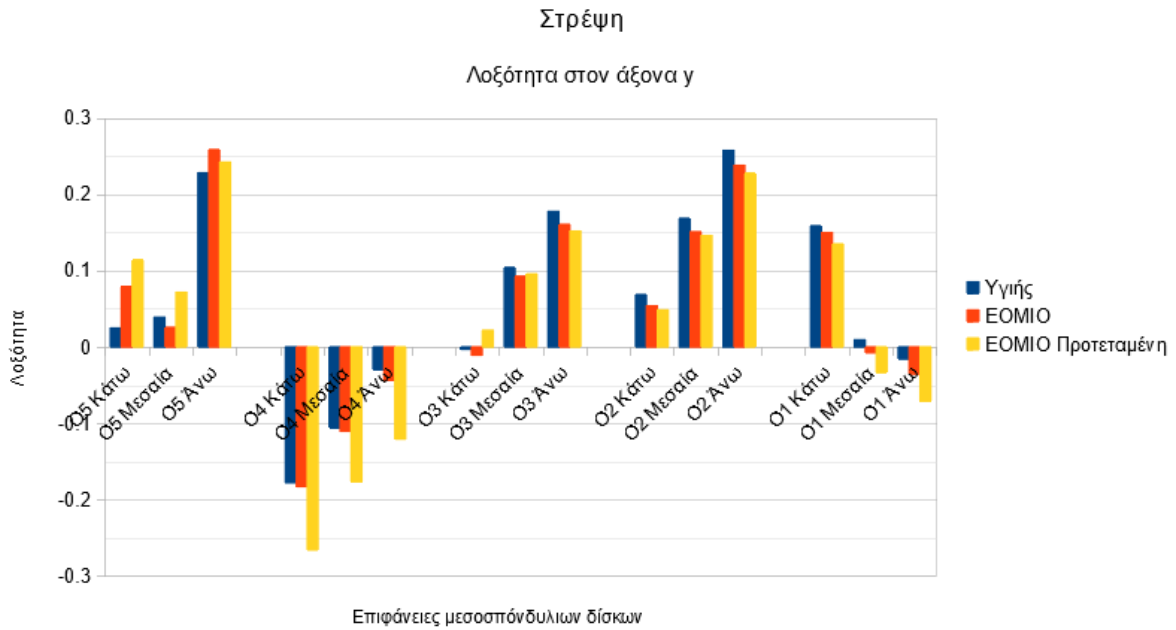
Παράρτημα

Εδώ παρατίθενται τα διαγράμματα όπου αποτυπώνονται οι πιέσεις που δέχονται οι κόμβοι των μελετώμενων επιφανειών για τις ρυθμίσεις που ορίστηκαν. Σε κάθε επιφάνεια παρουσιάζονται οι φορτίσεις για την υγιή (με μπλε), την EOMIO (με κόκκινο) και την EOMIO προτεταμένη (με πράσινο) σε Mega Pascal ως προς τον άξονα x (τετμημένη) και άξονα y (τεταγμένη αντίστοιχα). Επίσης βρίσκονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα της λοξότητας και της κυρτότητας ως τον άξονα x και ως άξονα y μαζί με τη μέγιστη και ελάχιστη μετρούμενη τιμή τάσης για κάθε επιφάνεια της οσφυϊκής μοίρας στις τρεις εκδοχές της στις αντίστοιχες κινήσεις.

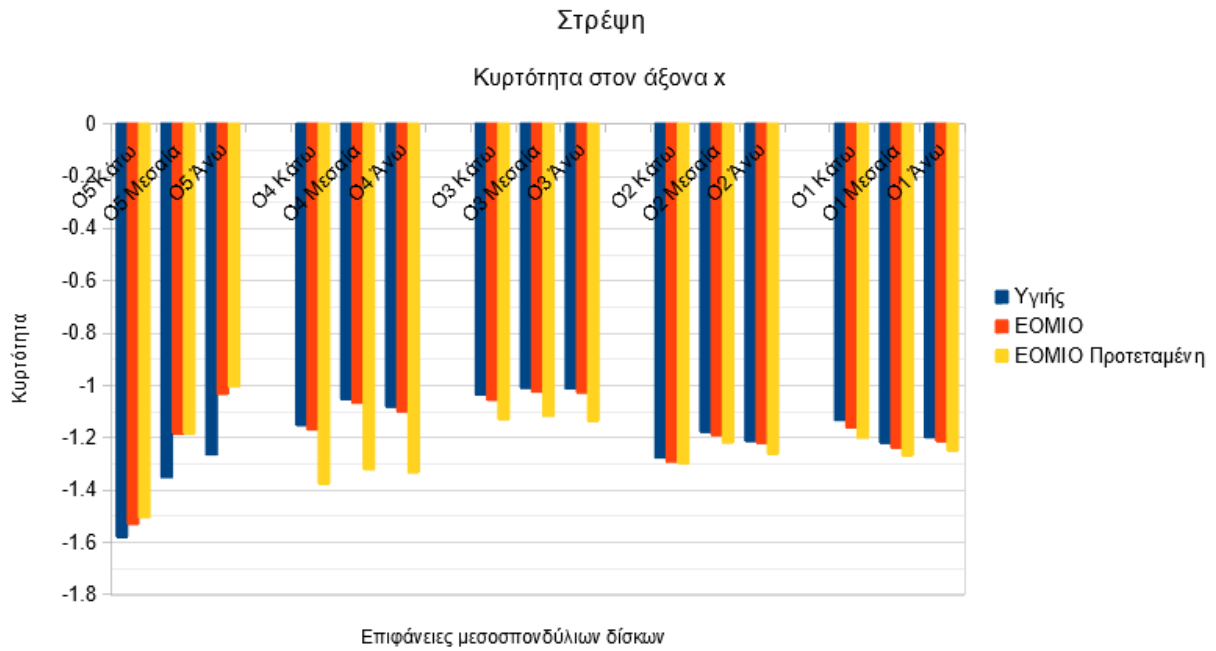
Στρέψη



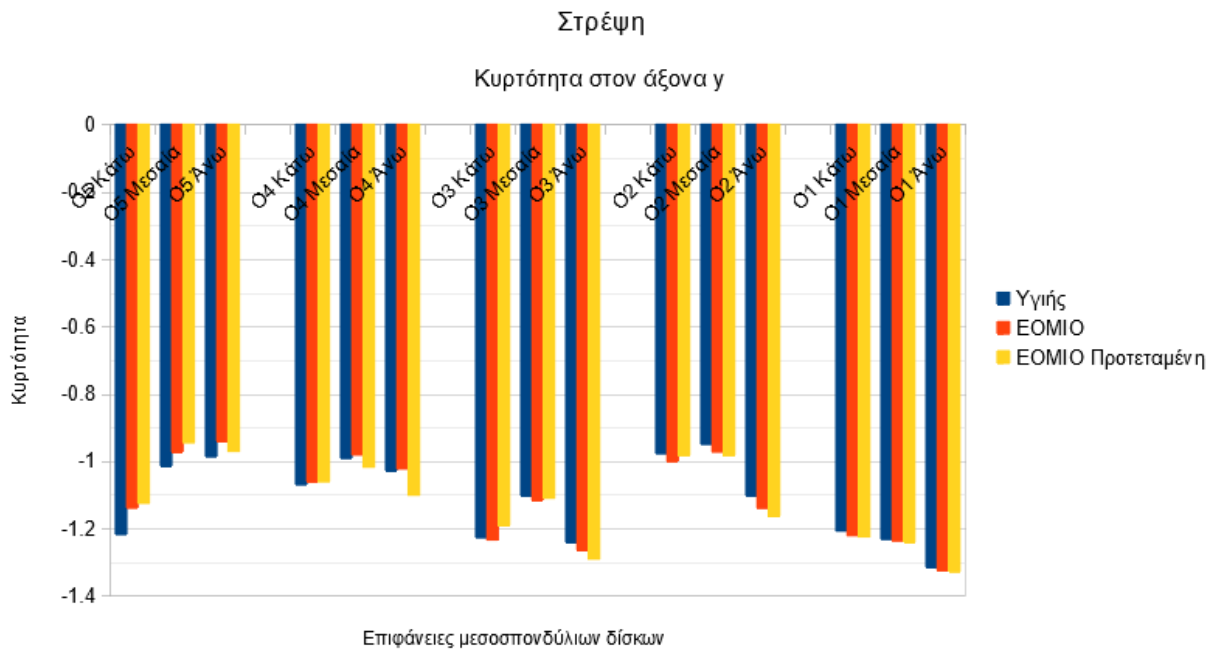
Εικόνα 35. Λοξότητα στον άξονα x σε στρέψη



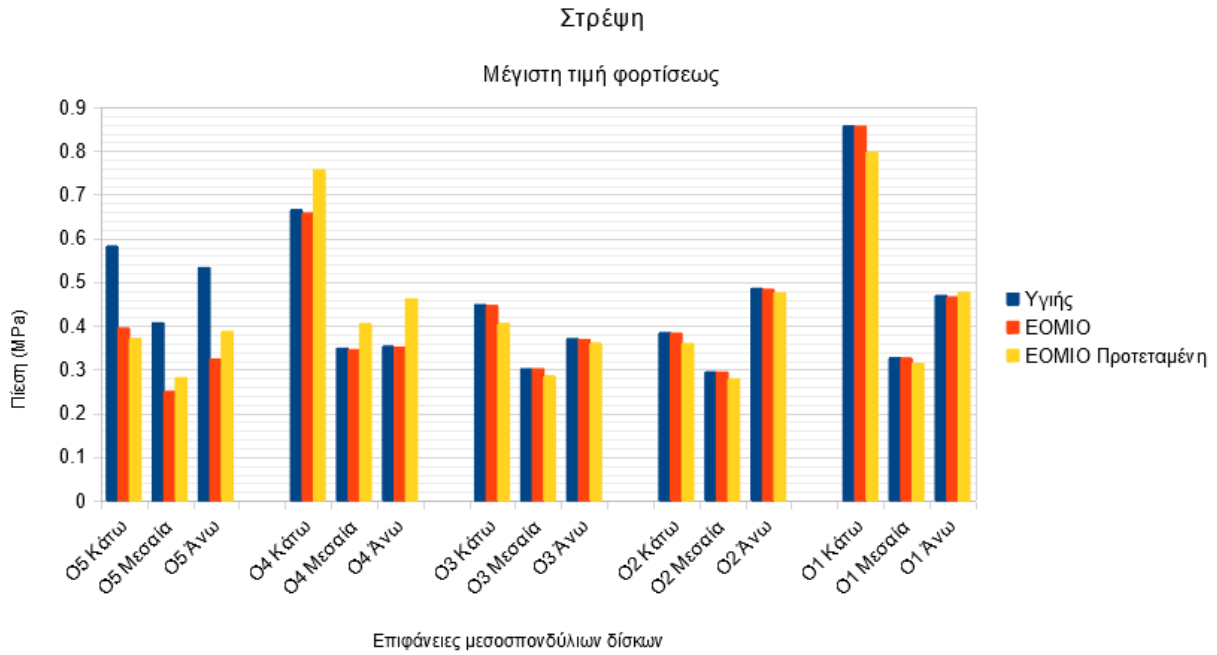
Εικόνα 36. Λοξότητα στον άξονα y σε στρέψη



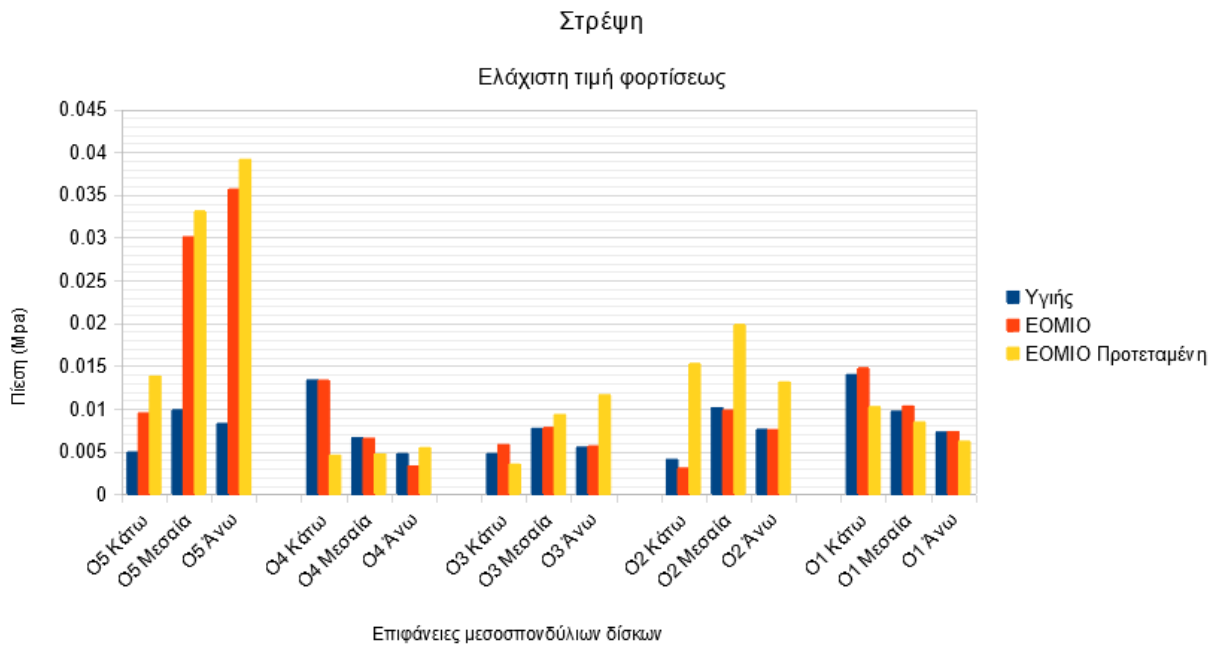
Εικόνα 37. Κυρτότητα στον άξονα x σε στρέψη



Εικόνα 38. Κυρτότητα στον άξονα y σε στρέψη

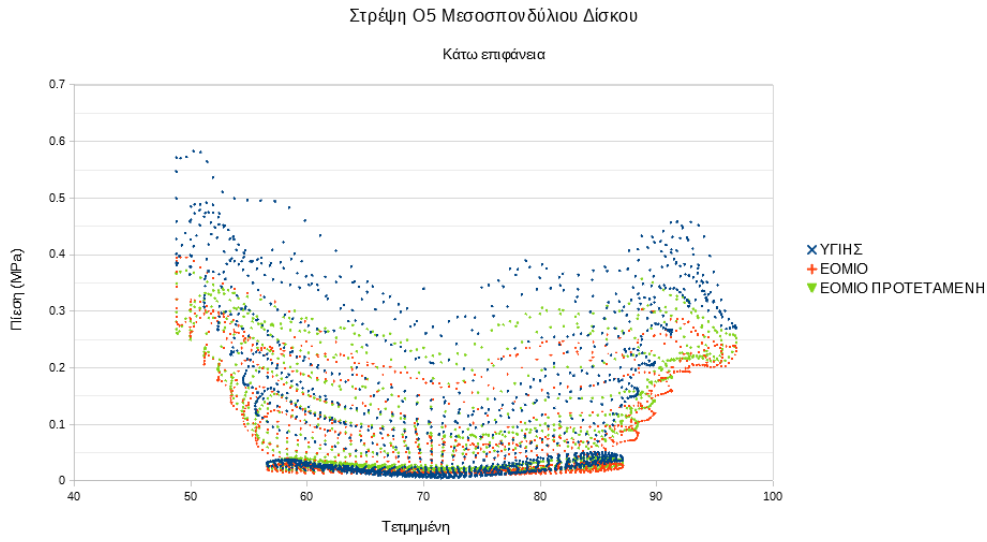


Εικόνα 39. Τιμές μέγιστης πίεσης σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων σε στρέψη

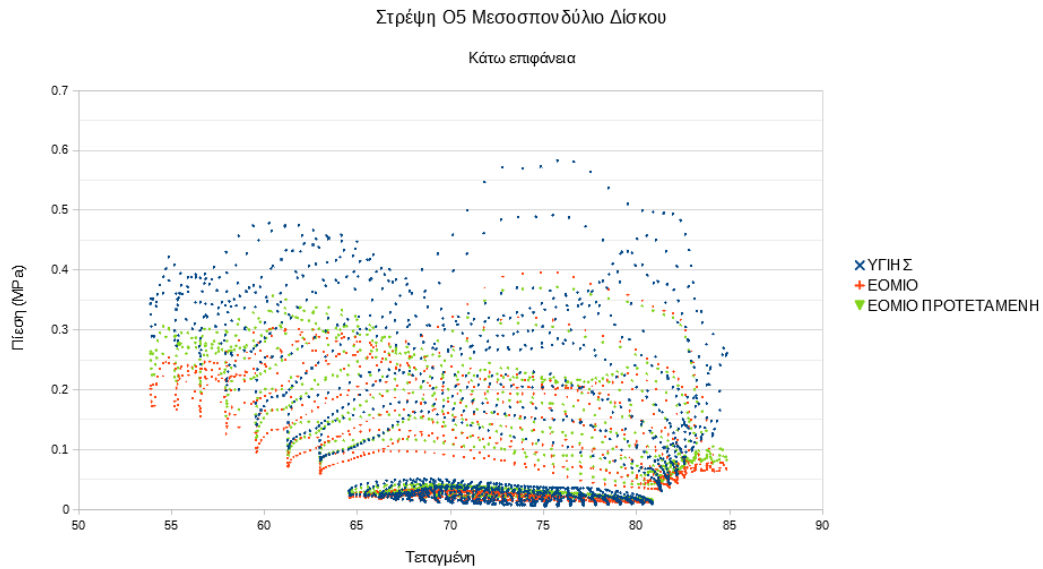


Εικόνα 40. Τιμές ελάχιστης πίεσης σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων σε στρέψη

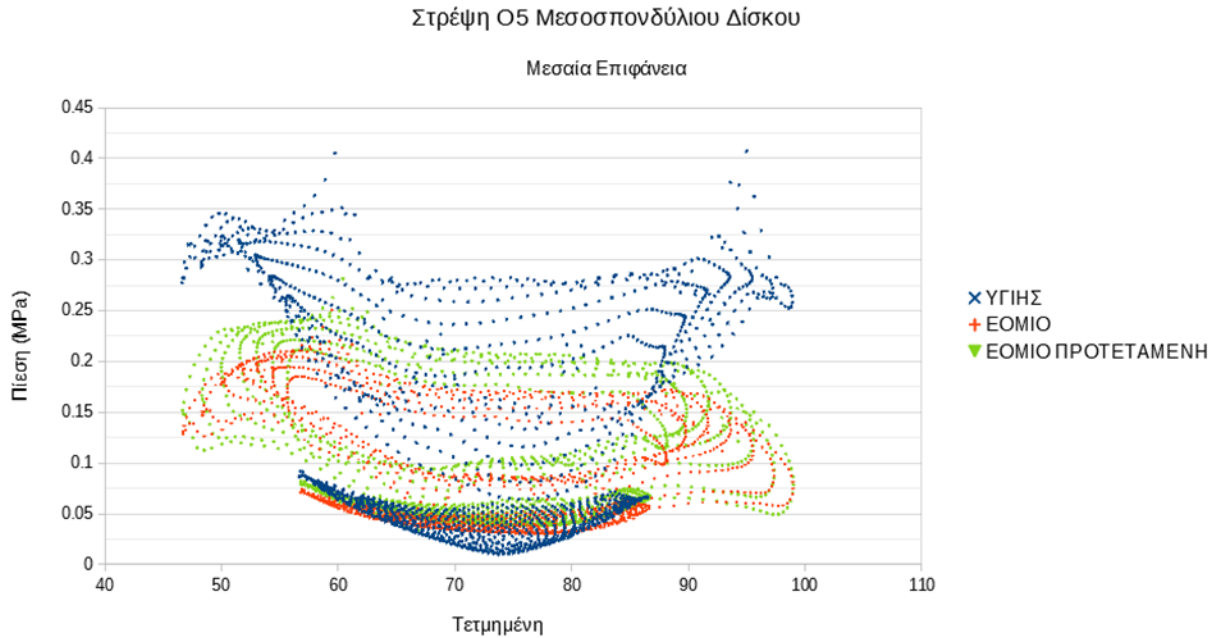
05 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



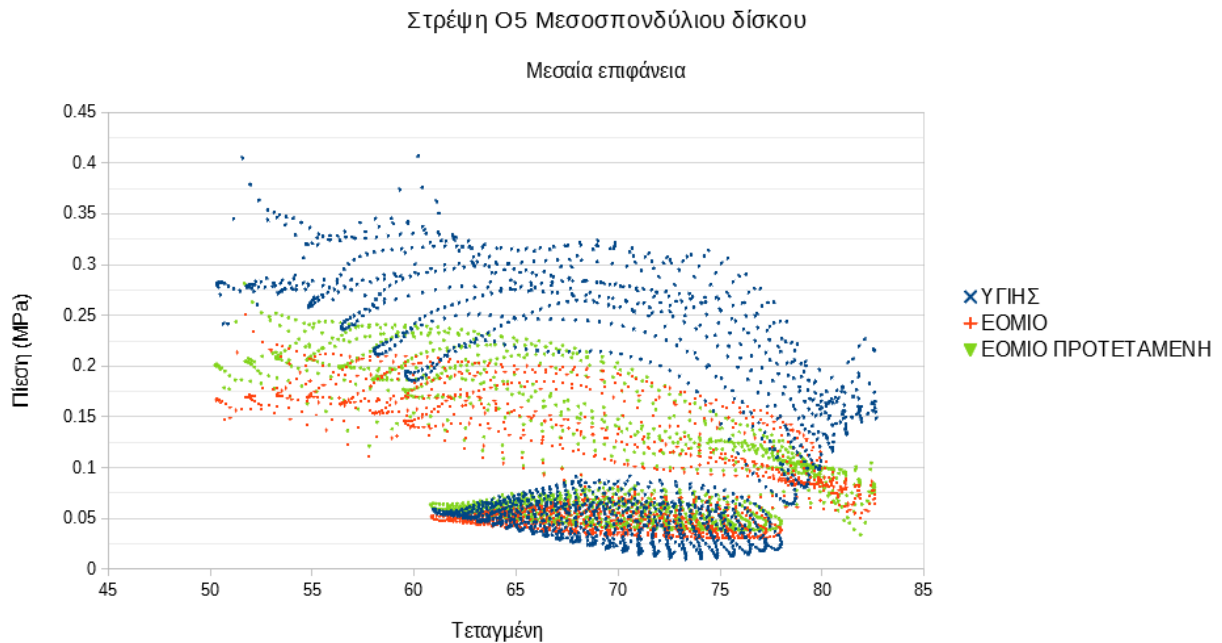
Εικόνα 41. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



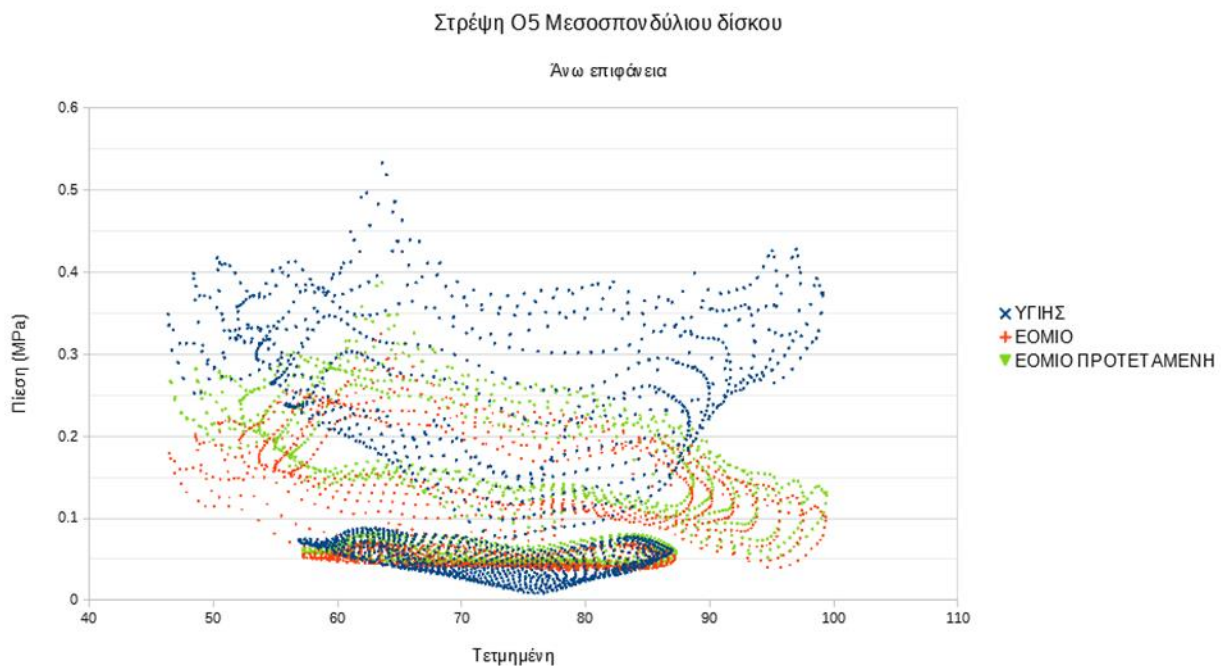
Εικόνα 42. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη κάτω επιφάνεια του 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



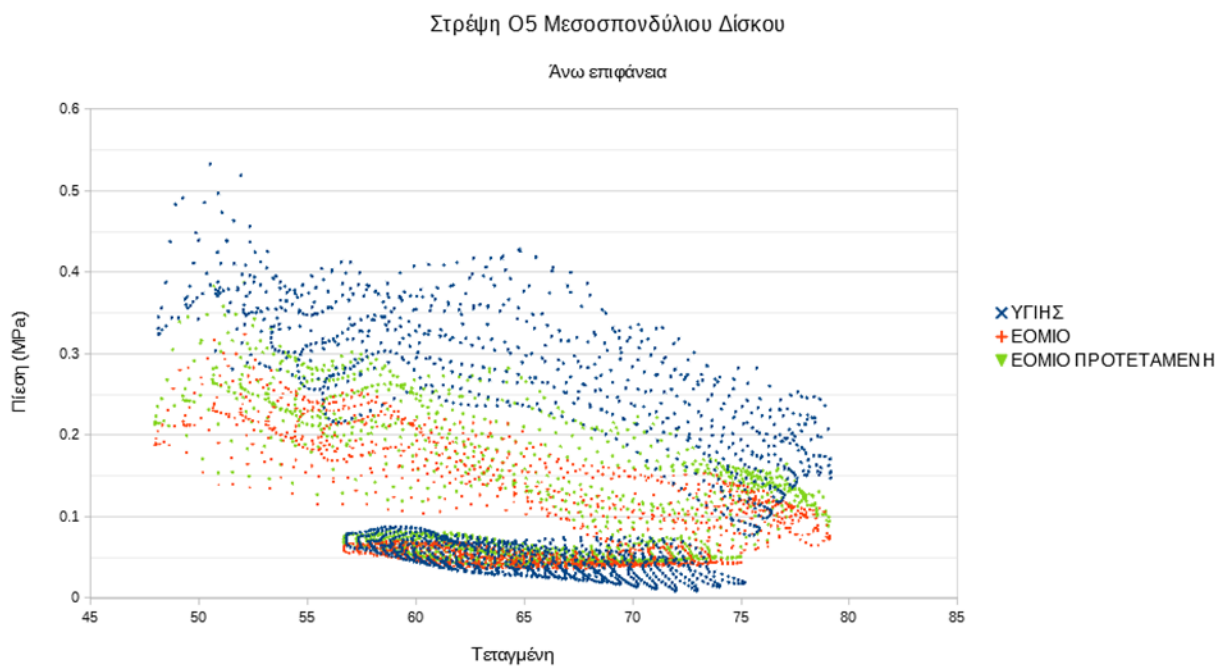
Εικόνα 43. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



Εικόνα 44. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



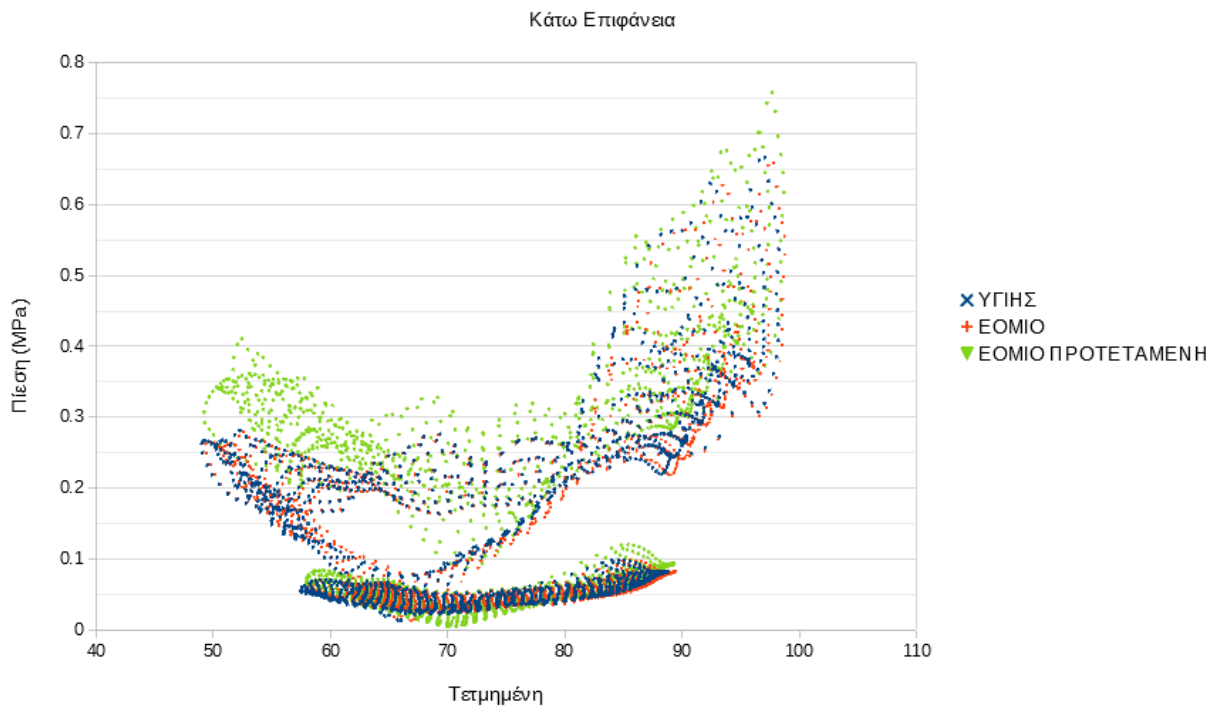
Εικόνα 45. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



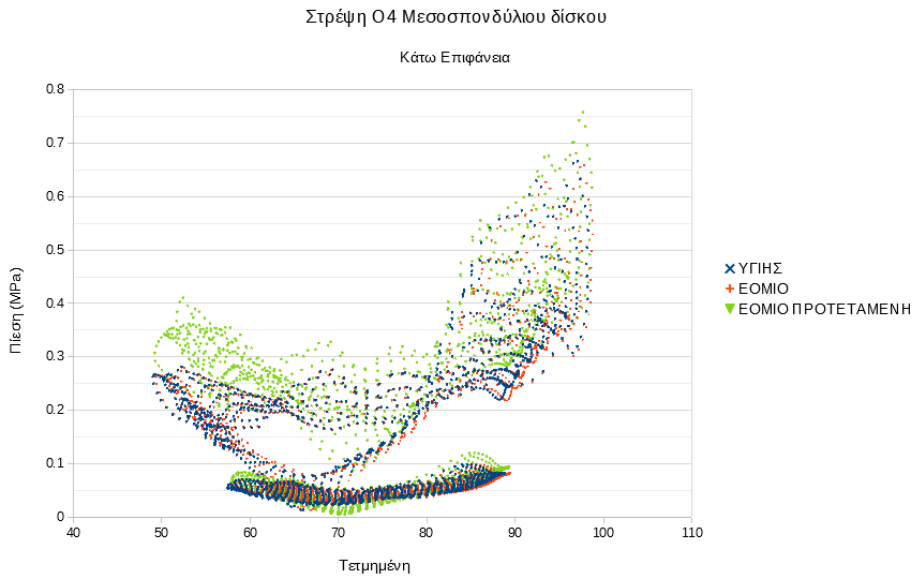
Εικόνα 46. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Ο4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος

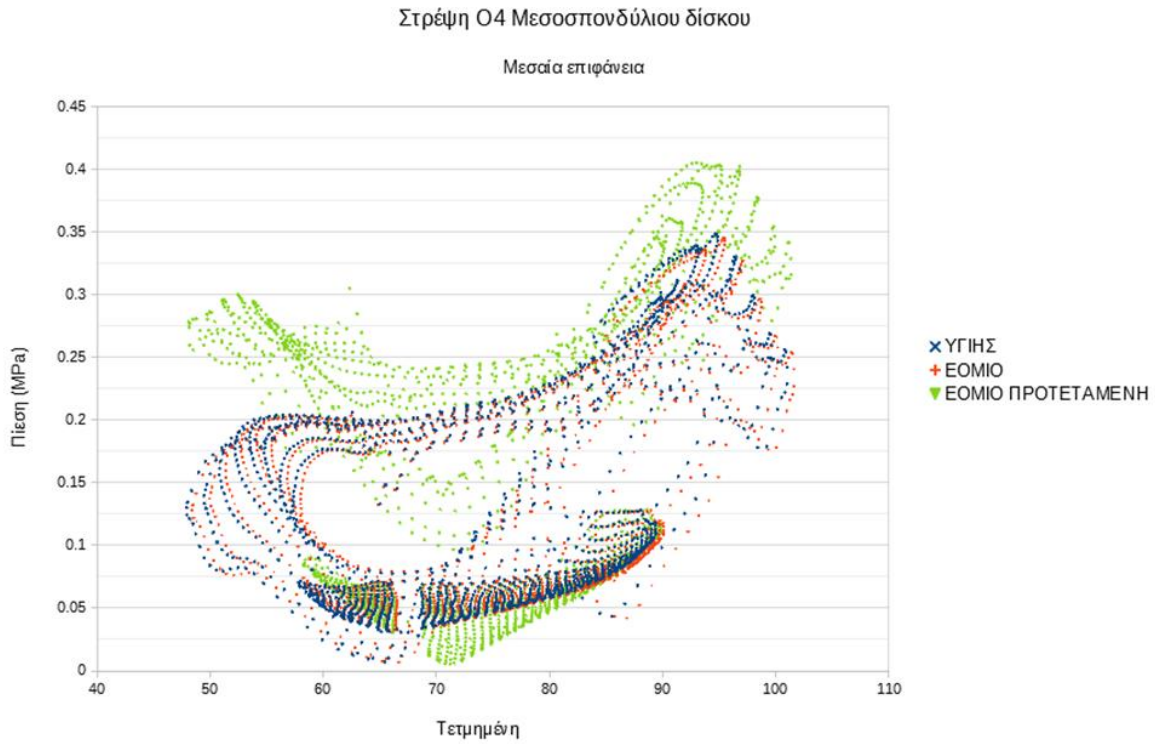
Στρέψη Ο4 Μεσοσπονδύλιου δίσκου



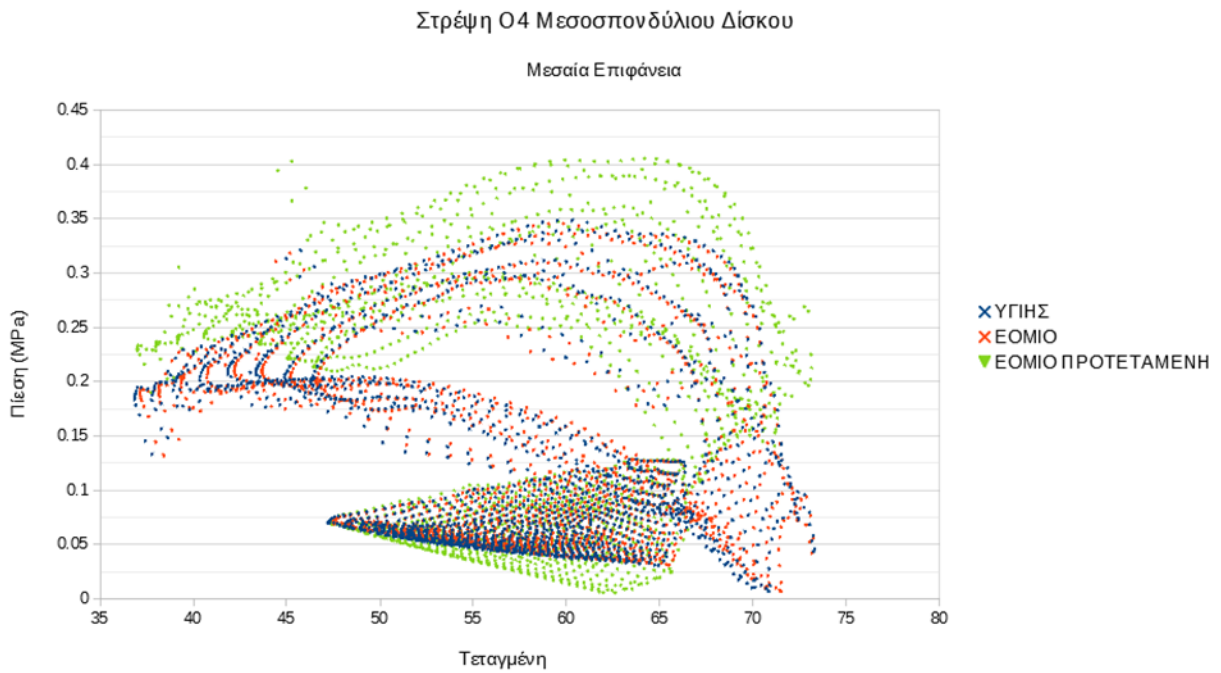
Εικόνα 47. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



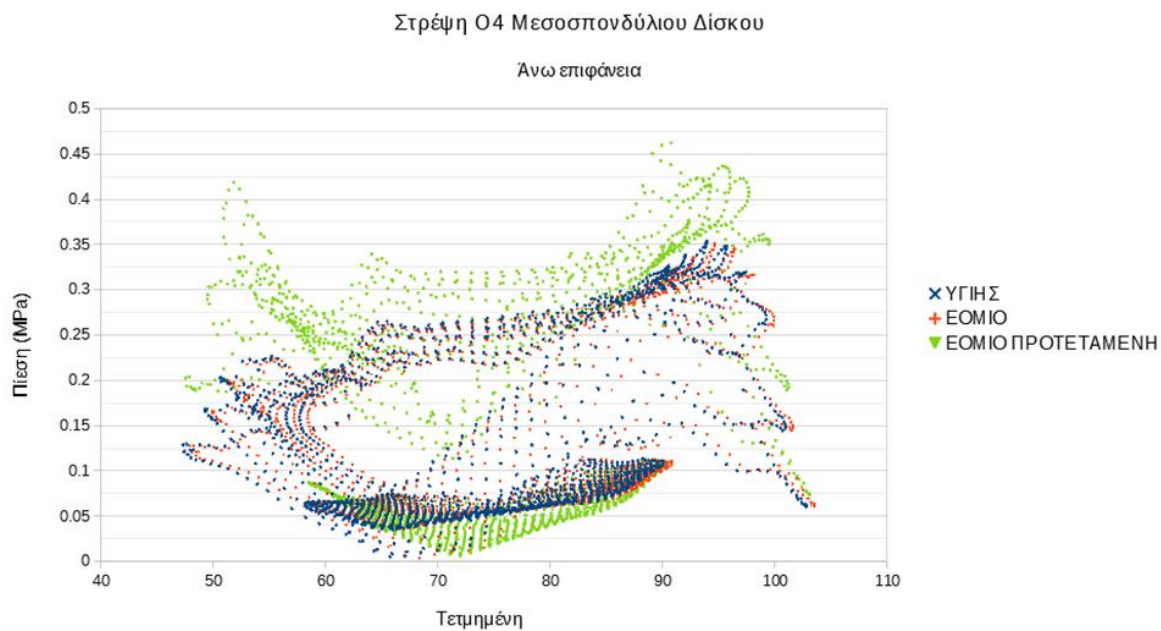
Εικόνα 48. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



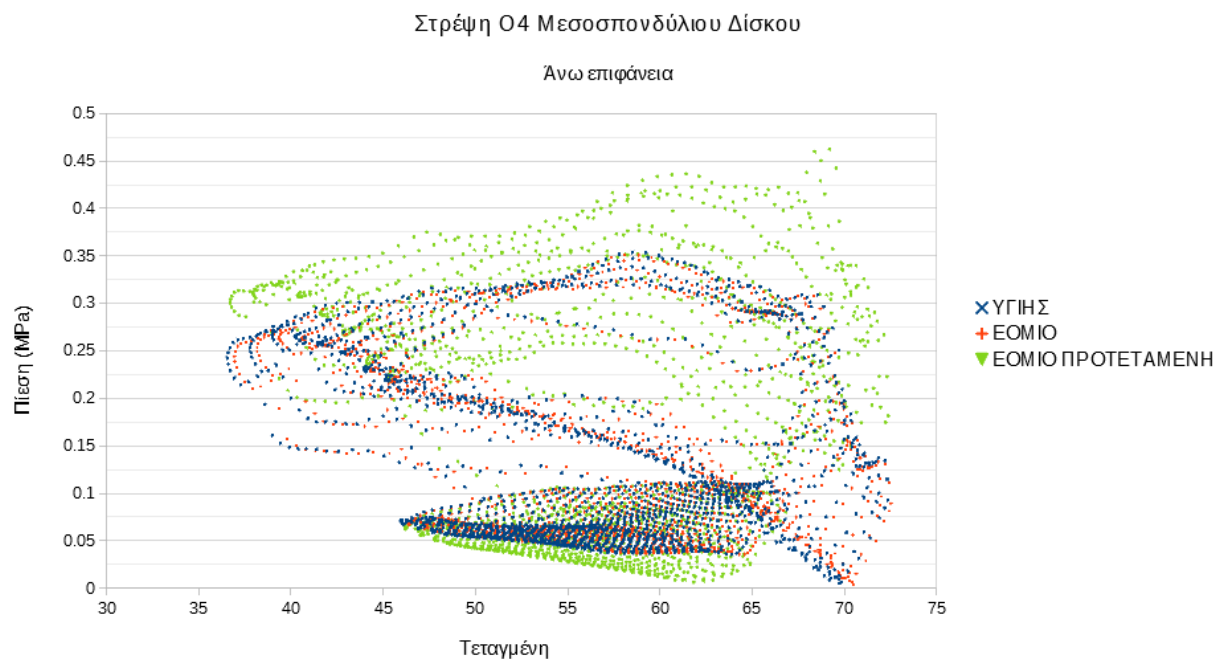
Εικόνα 49. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



Εικόνα 50. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

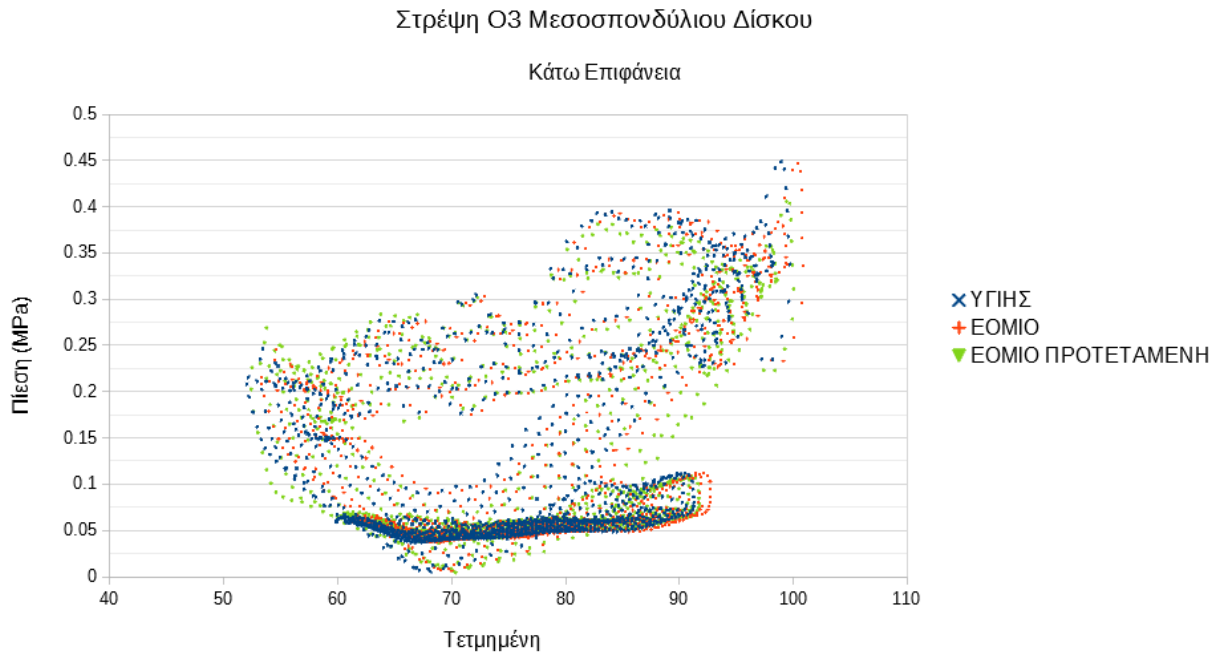


Εικόνα 51. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

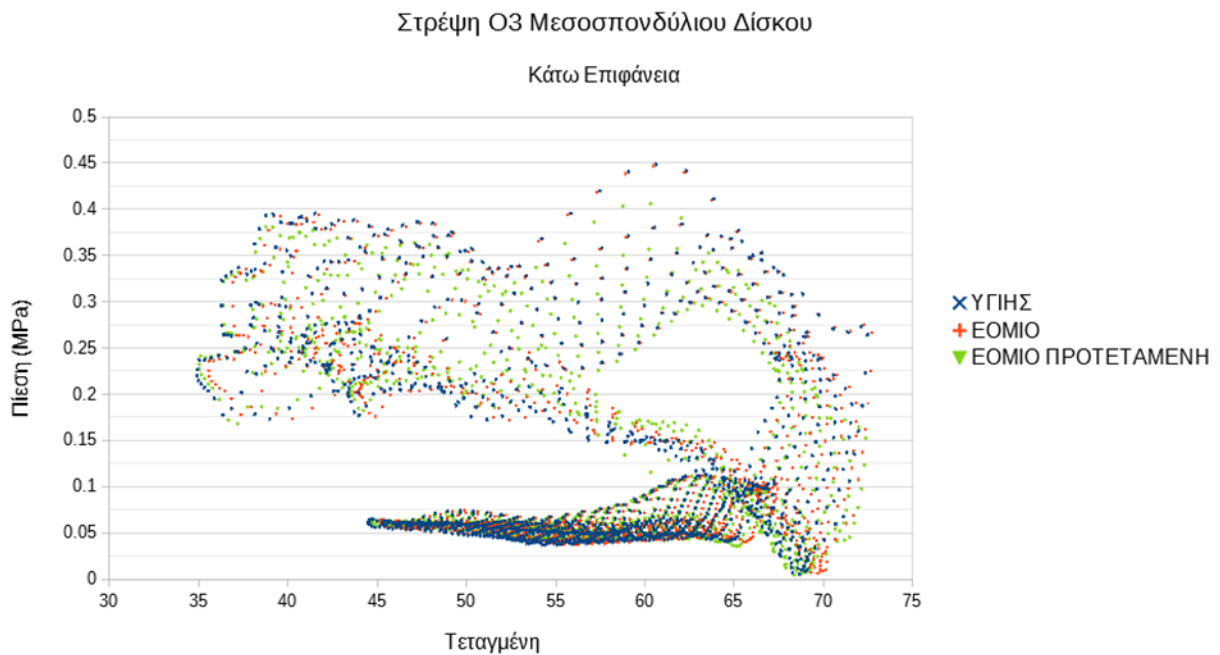


Εικόνα 52. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

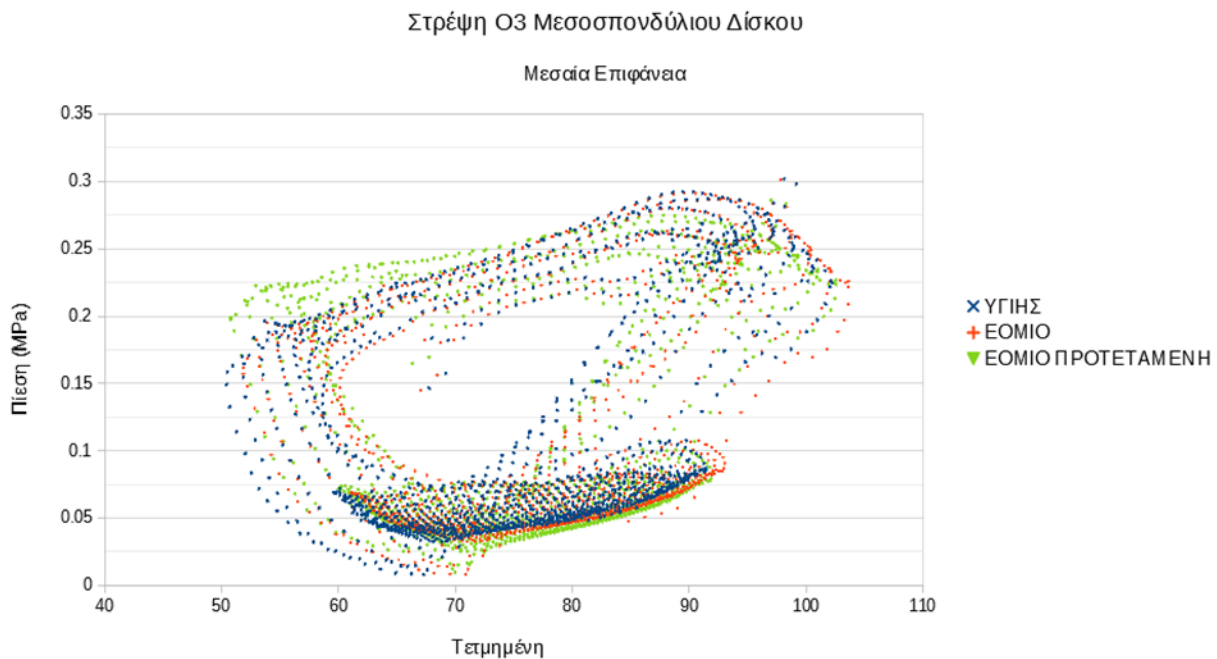
Ο3 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



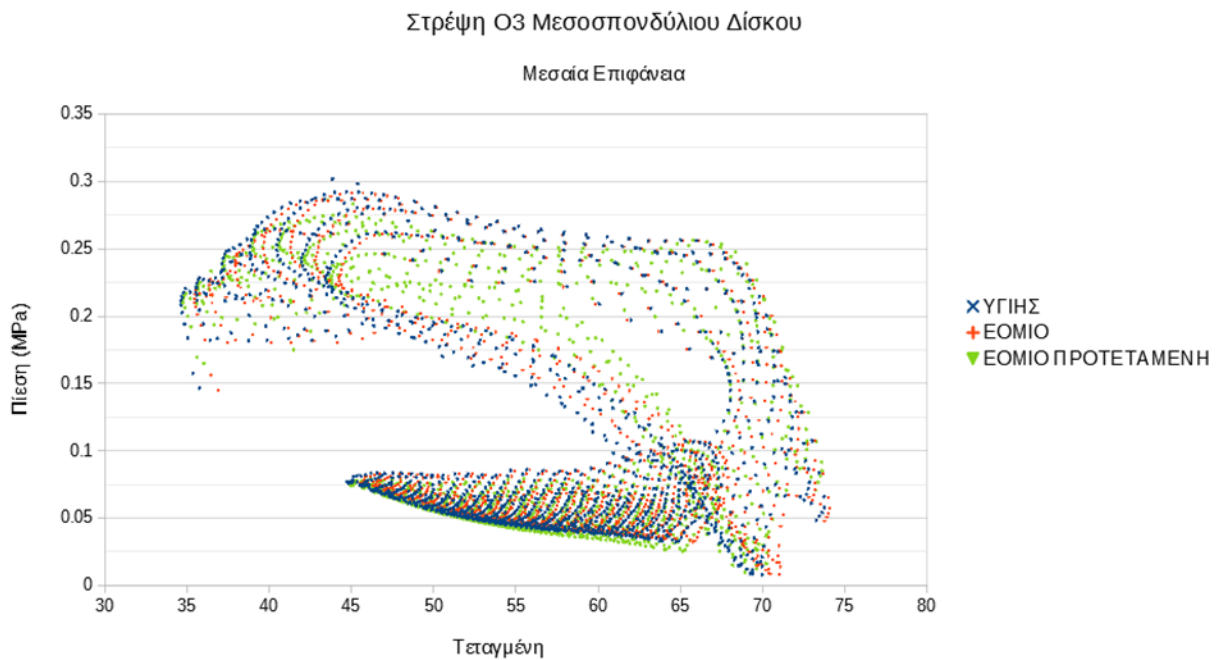
Εικόνα 53. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



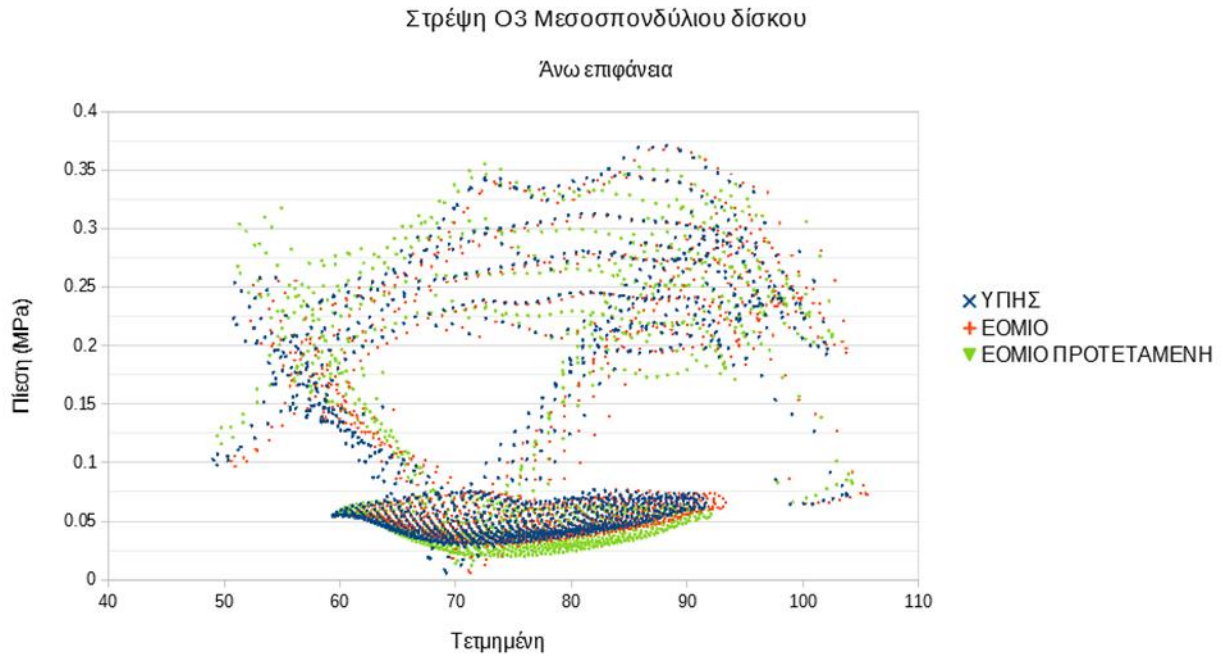
Εικόνα 54. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



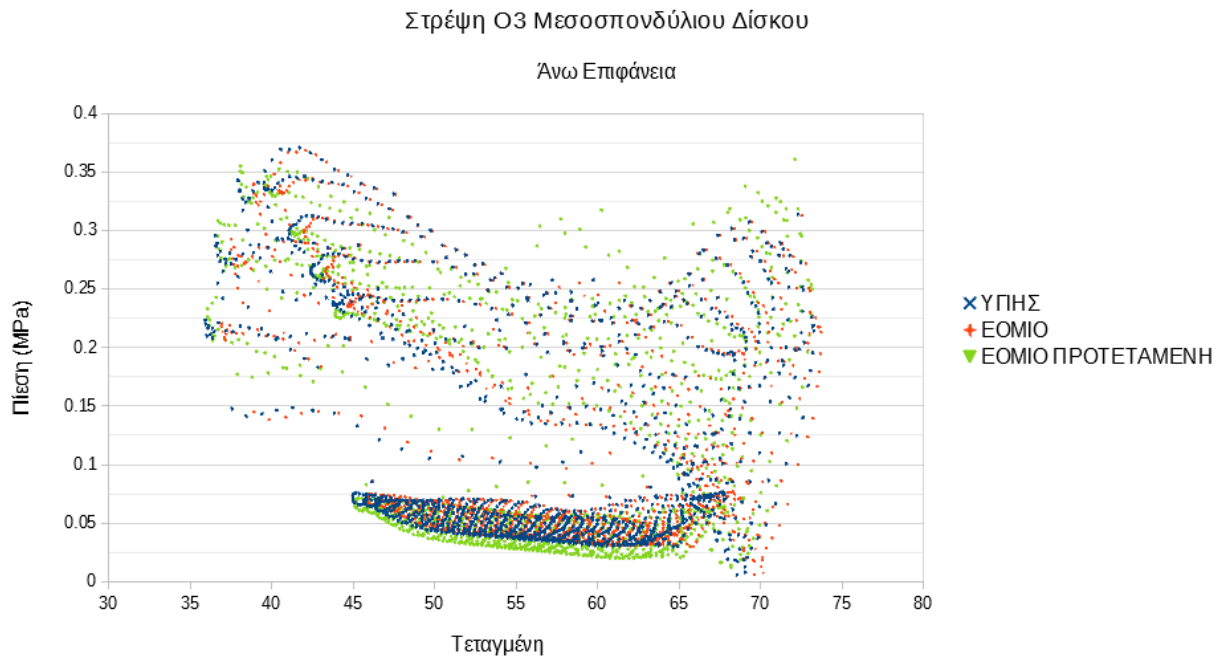
Εικόνα 55. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



Εικόνα 56. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

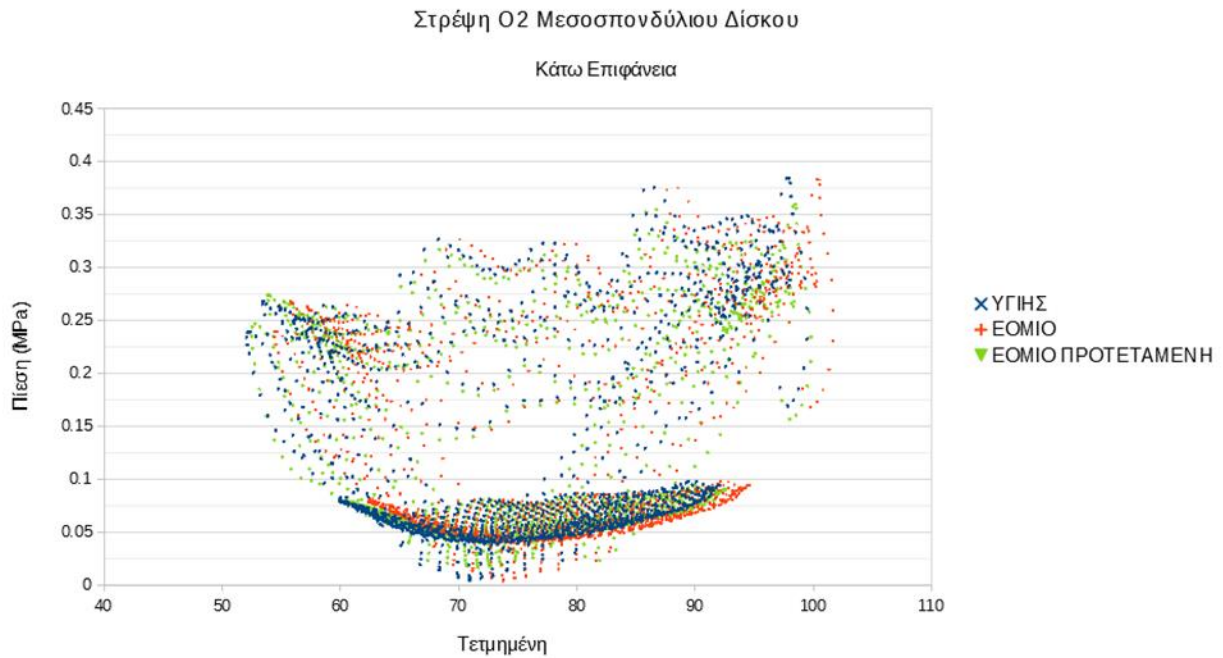


Εικόνα 57. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

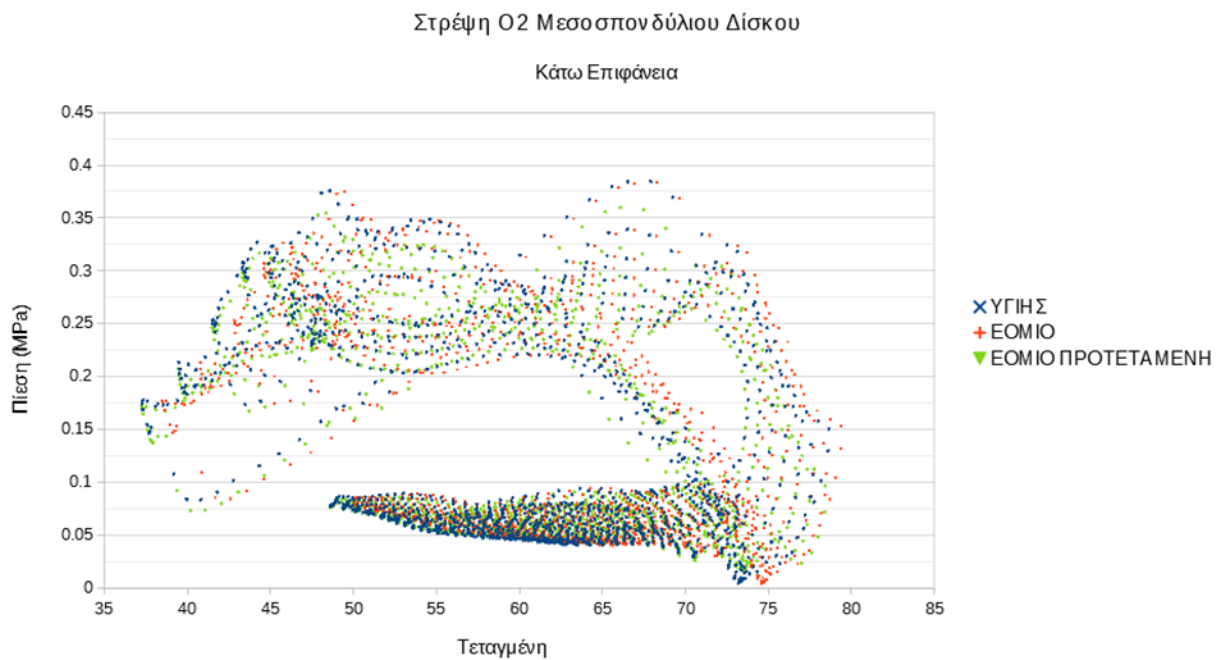


Εικόνα 58. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

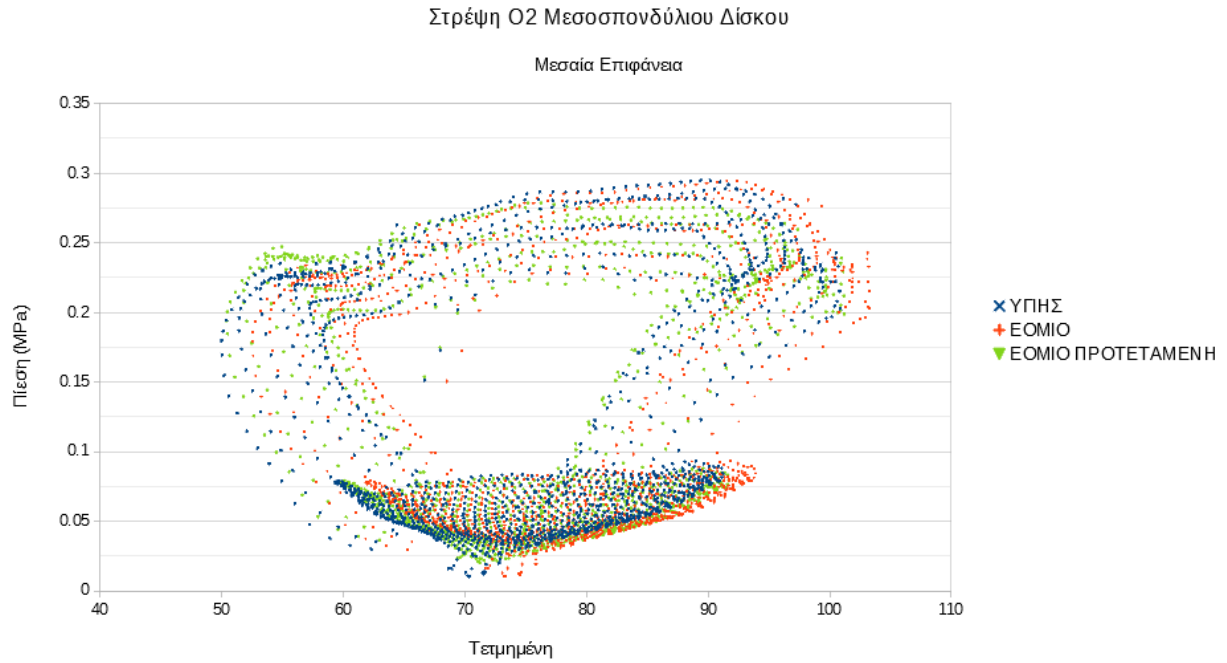
02 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



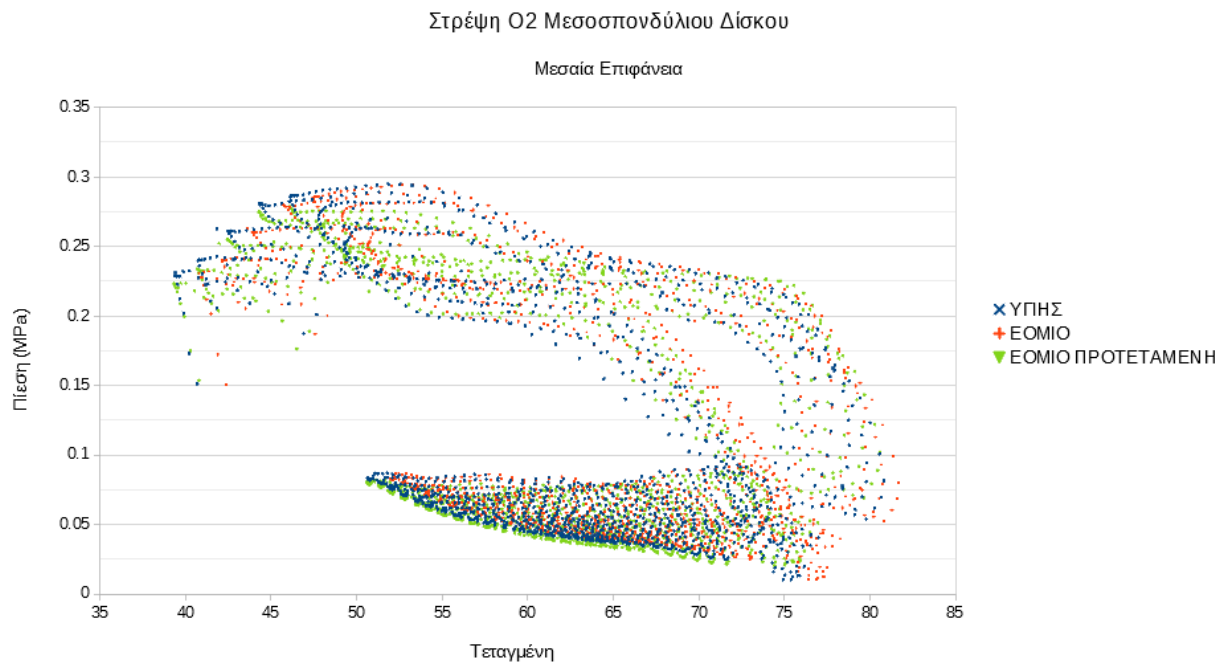
Εικόνα 59. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του 02 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



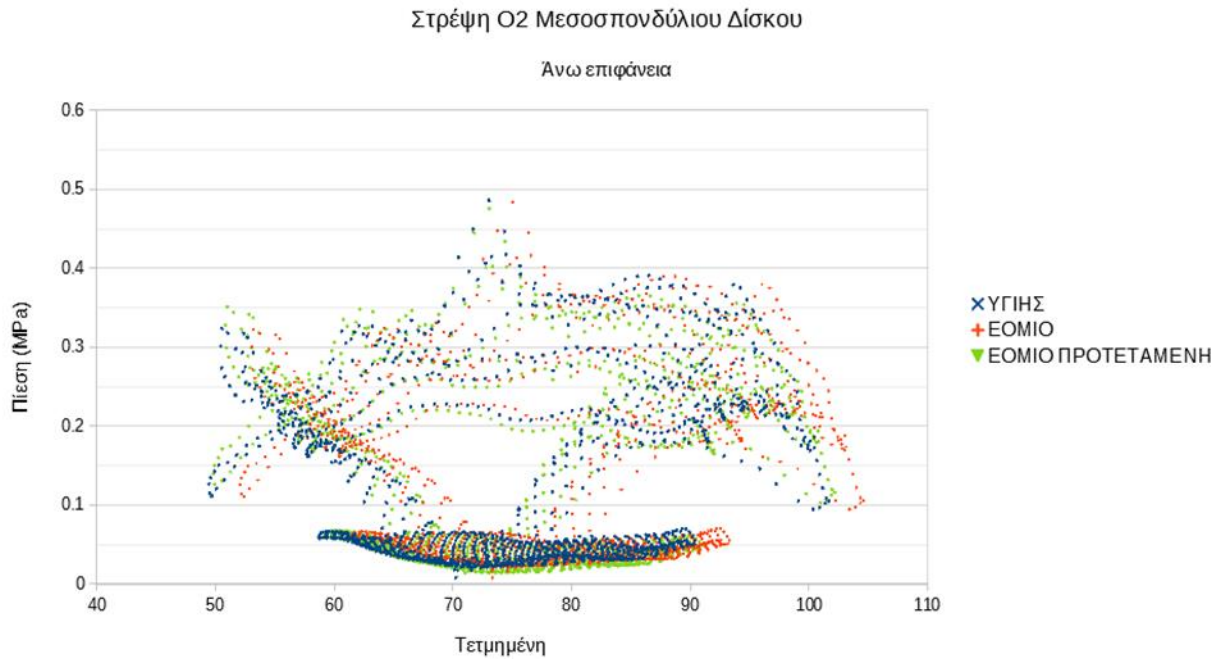
Εικόνα 60. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη κάτω επιφάνεια του 02 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



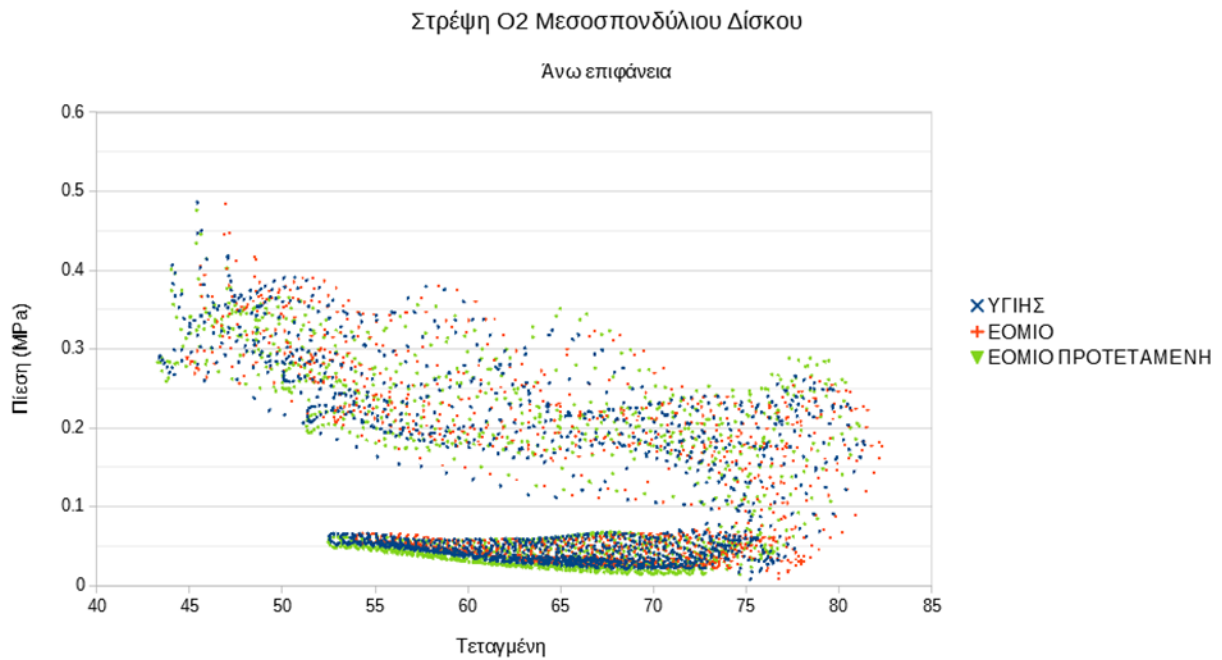
Εικόνα 61. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



Εικόνα 62. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

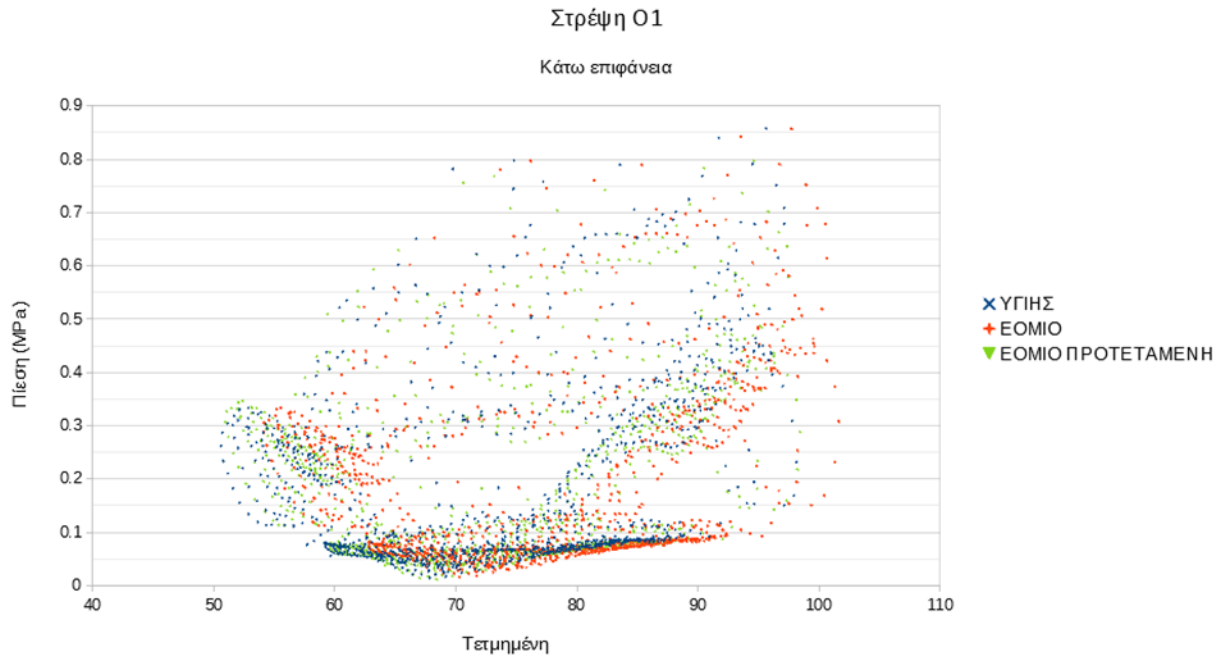


Εικόνα 63. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια O₂ του μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

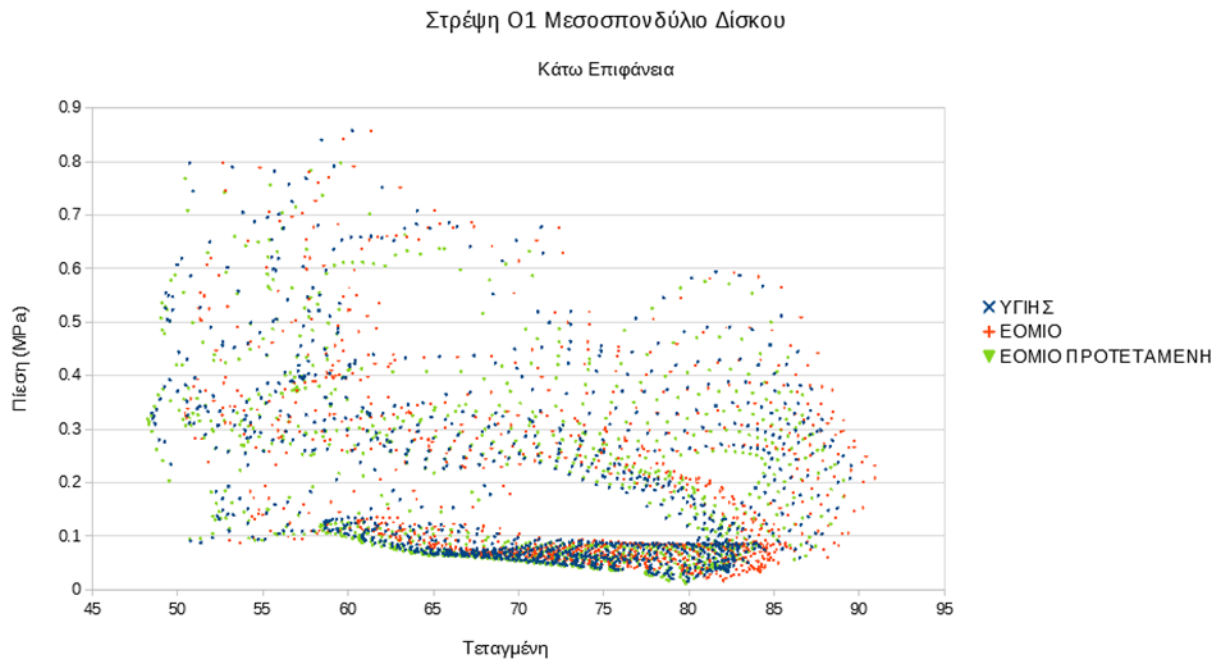


Εικόνα 64. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη άνω επιφάνεια του O₂ μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

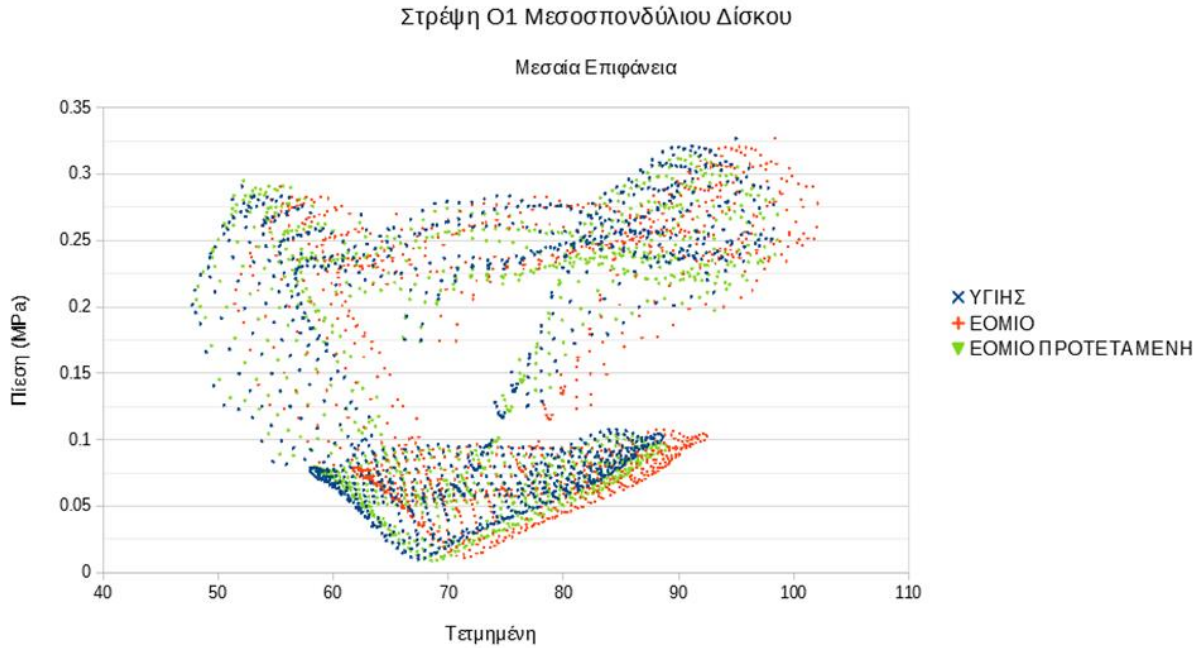
Ο1 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



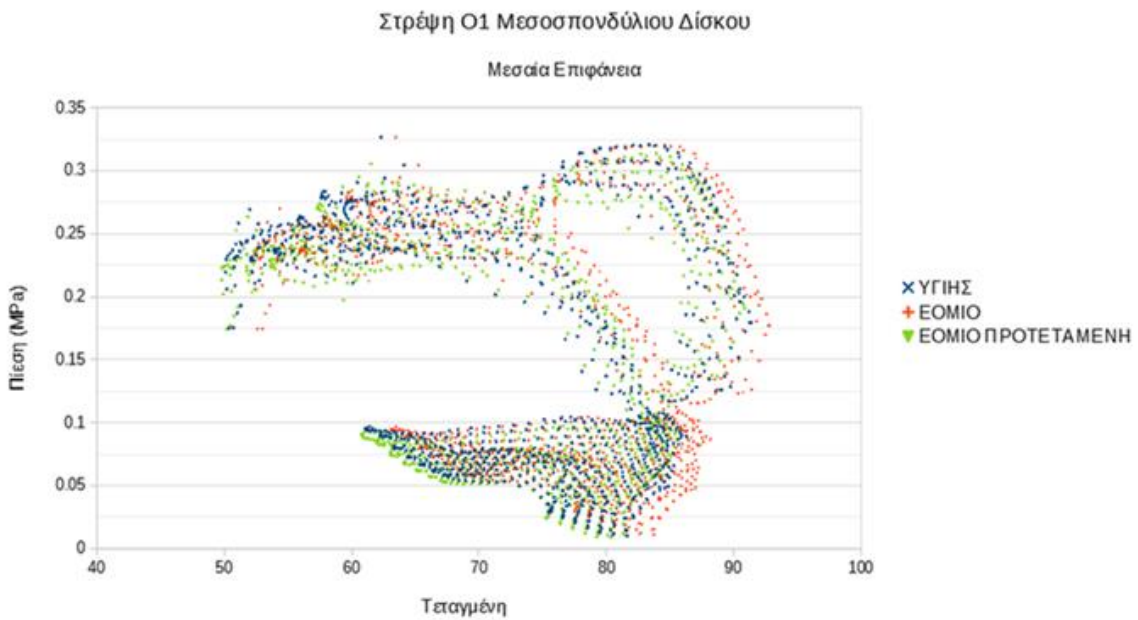
Εικόνα 65. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



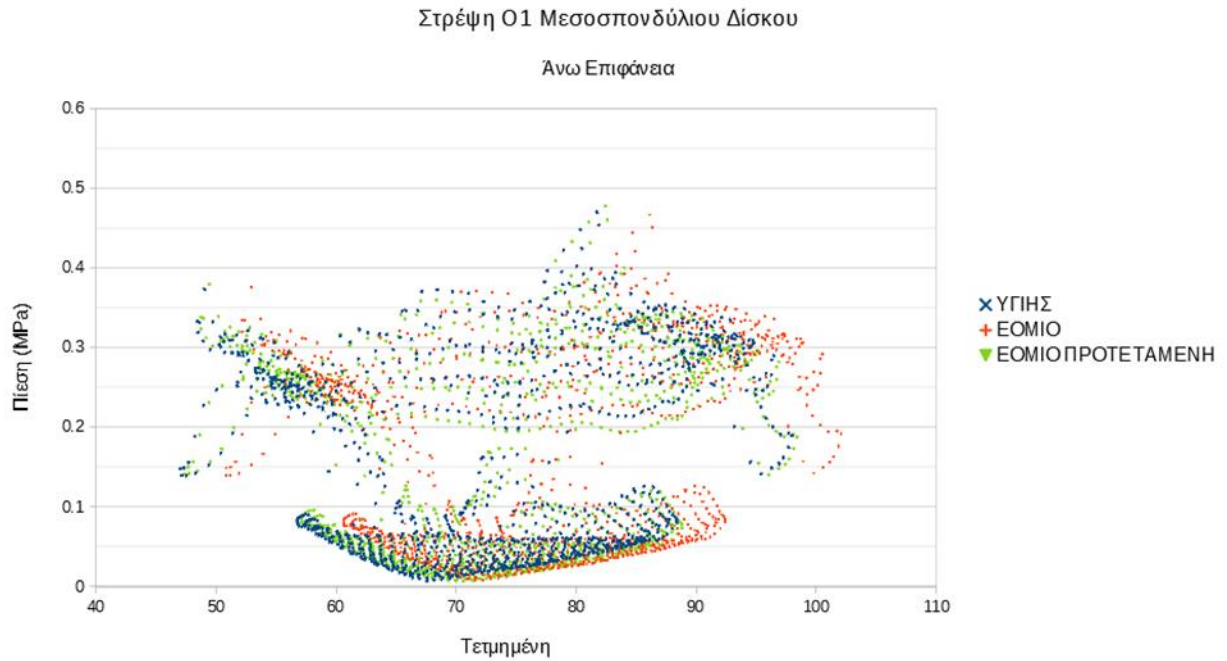
Εικόνα 66. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



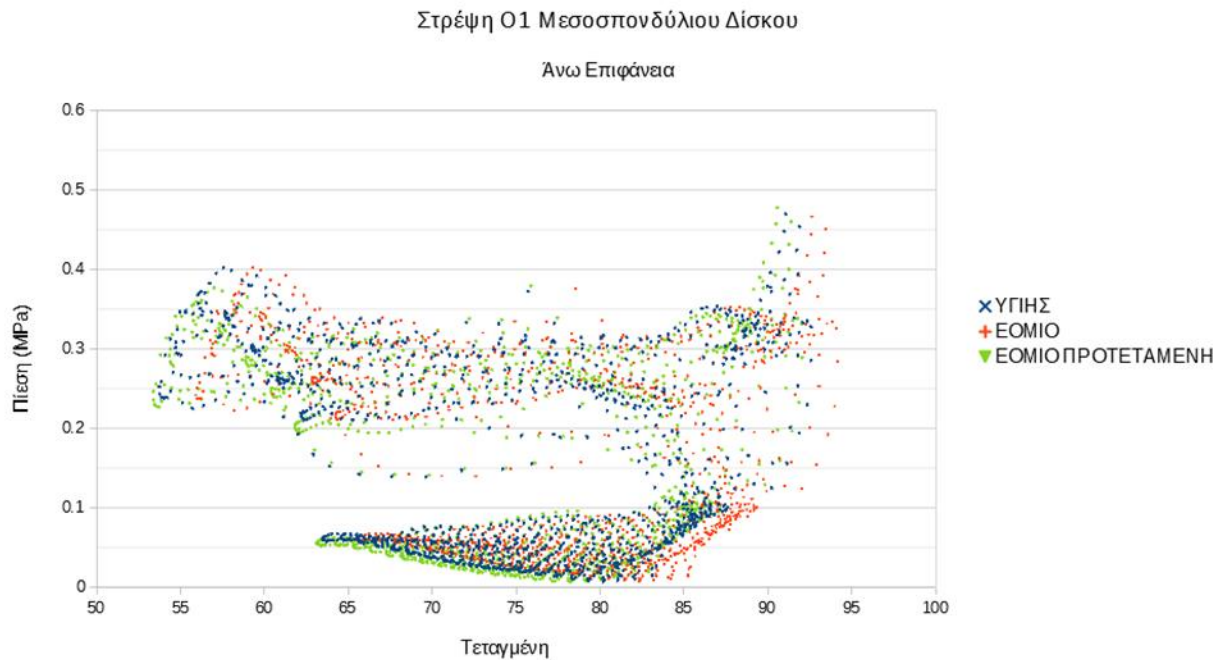
Εικόνα 67. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



Εικόνα 68. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



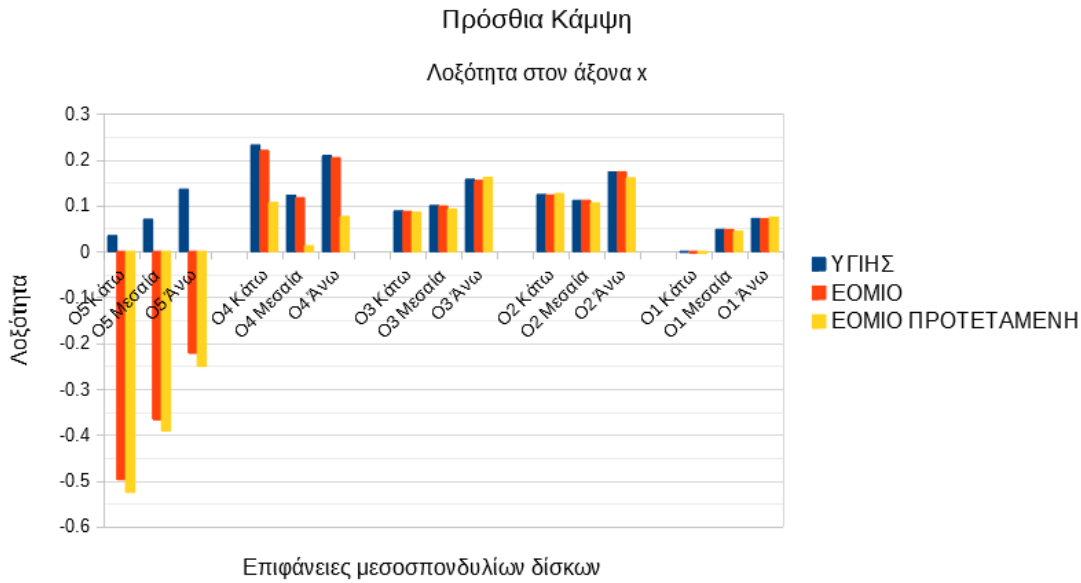
Εικόνα 69. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.



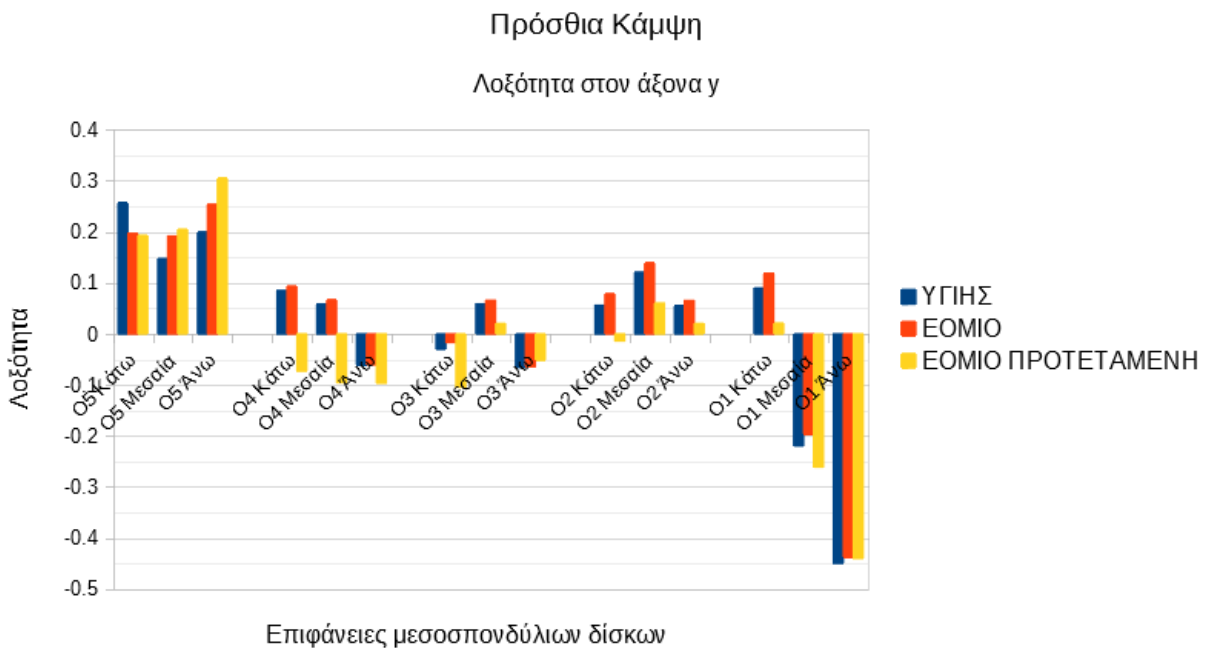
Εικόνα 70. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε στρέψη.

Πρόσθια Κάμψη

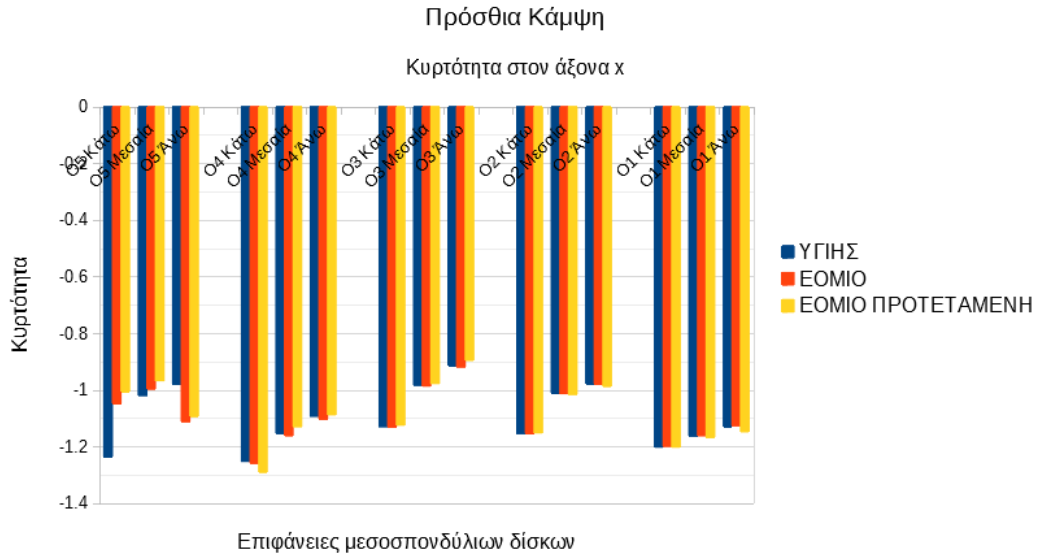
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την πρόσθια κάμψη.



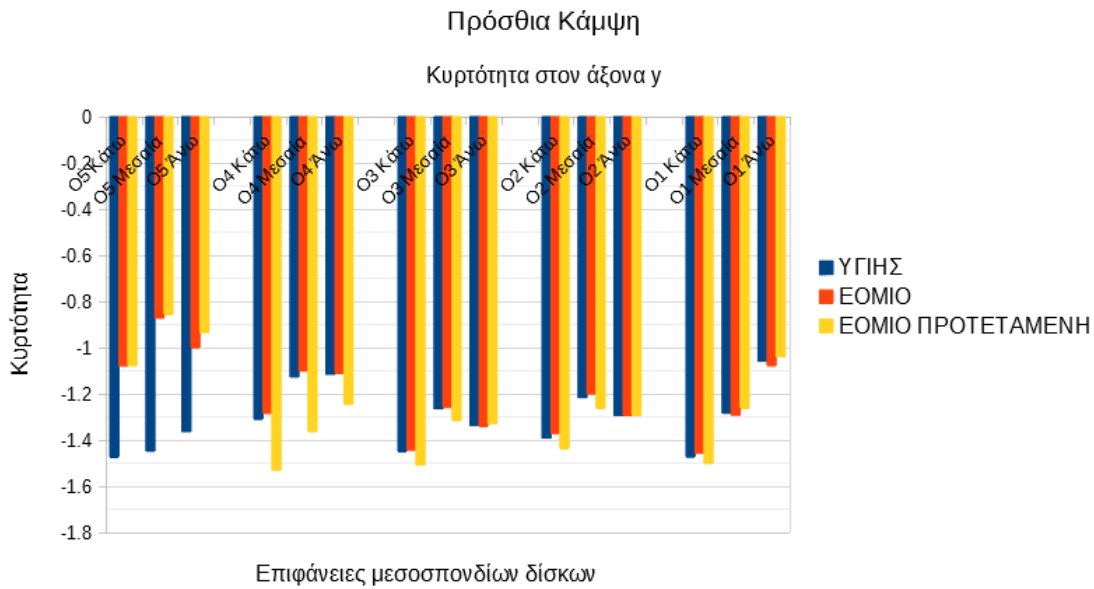
Εικόνα 71. Λοξότητα στον άξονα x για πρόσθια κάμψη



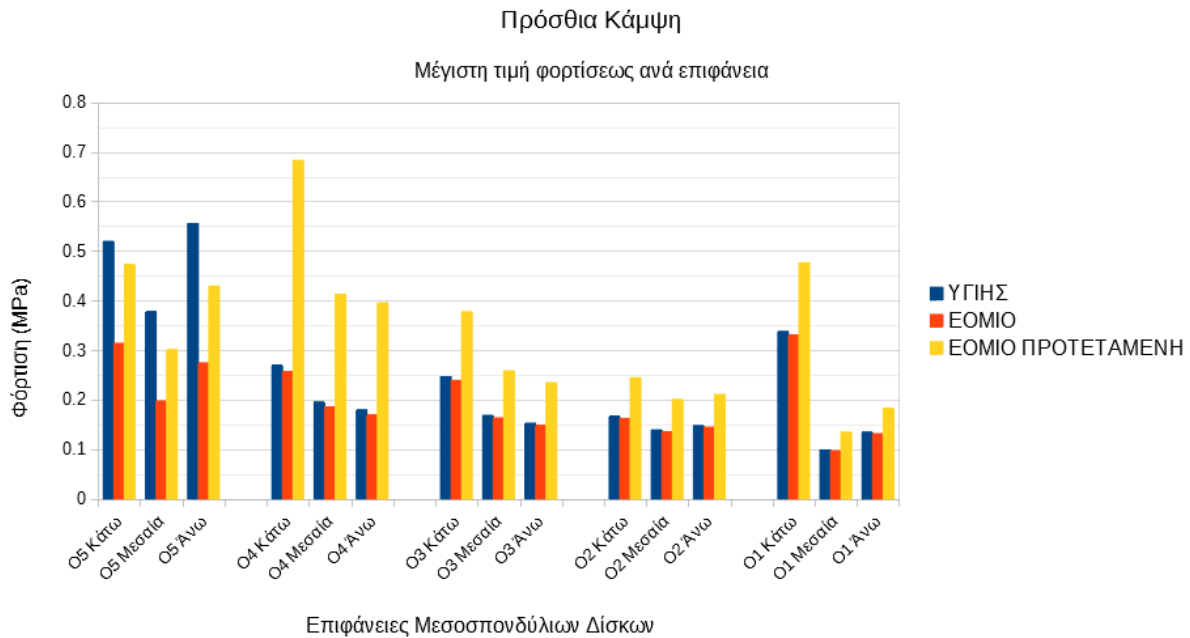
Εικόνα 72. Λοξότητα στον άξονα y για πρόσθια κάμψη



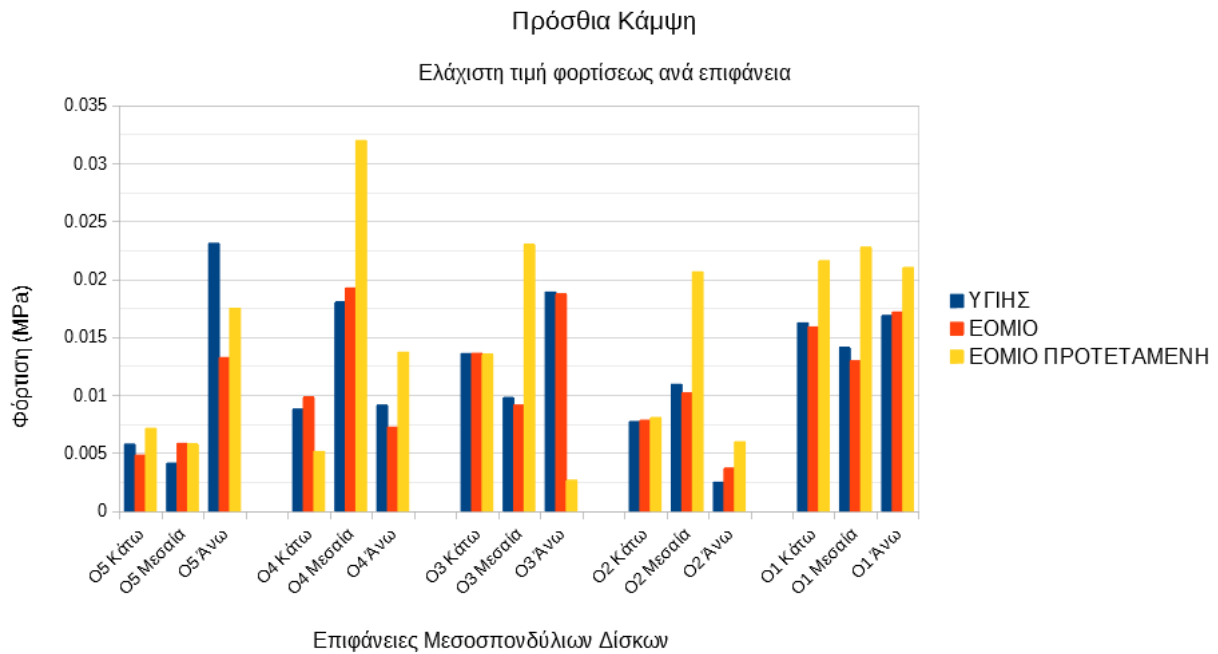
Εικόνα 73. Κυρτότητα στον άξονα x για πρόσθια κάμψη



Εικόνα 74. Κυρτότητα στον άξονα y για πρόσθια κάμψη

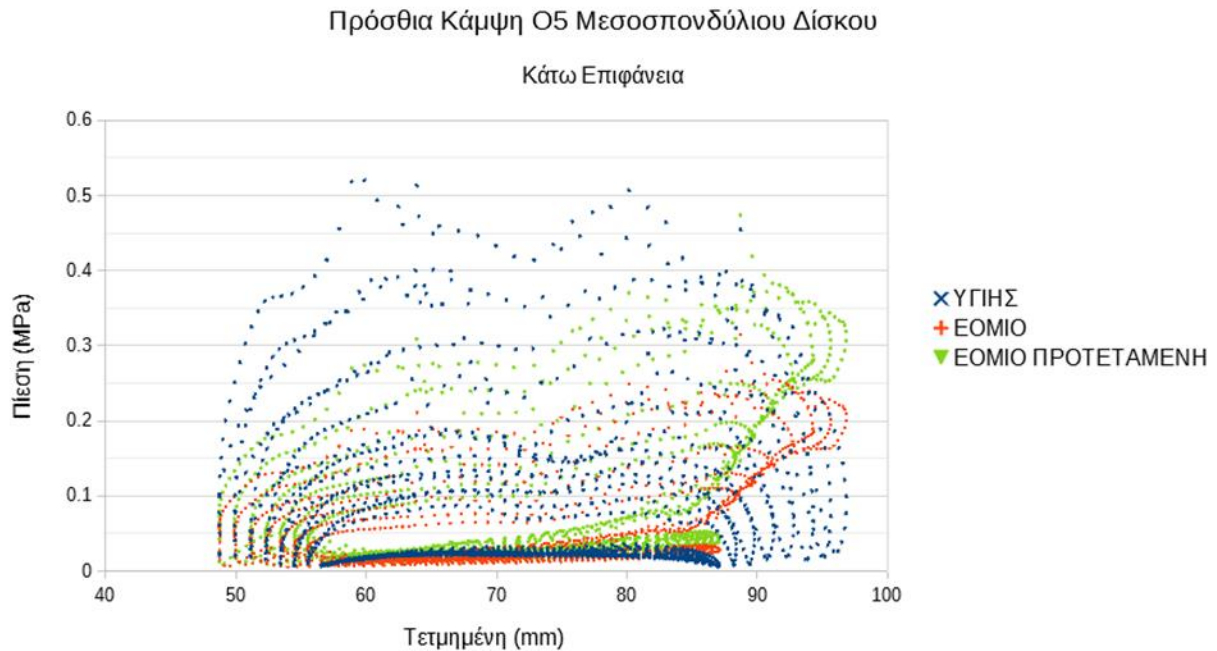


Εικόνα 75. Μέγιστη τιμή αναπτυσσόμενων τάσεων σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων

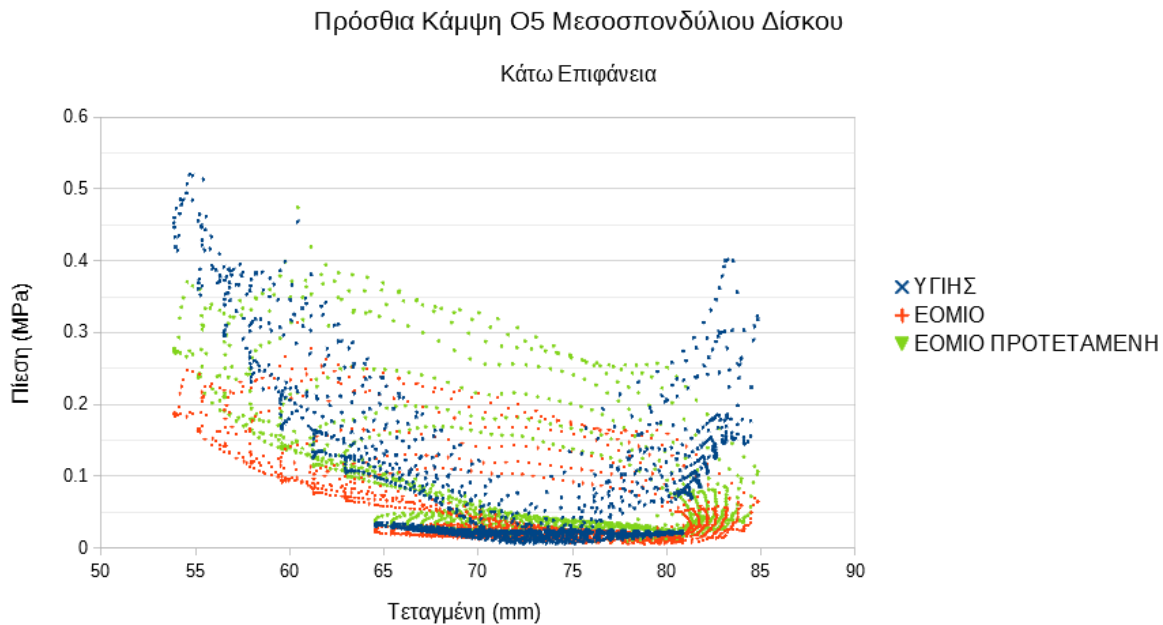


Εικόνα 76. Ελάχιστη τιμή αναπτυσσόμενων τάσεων σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων

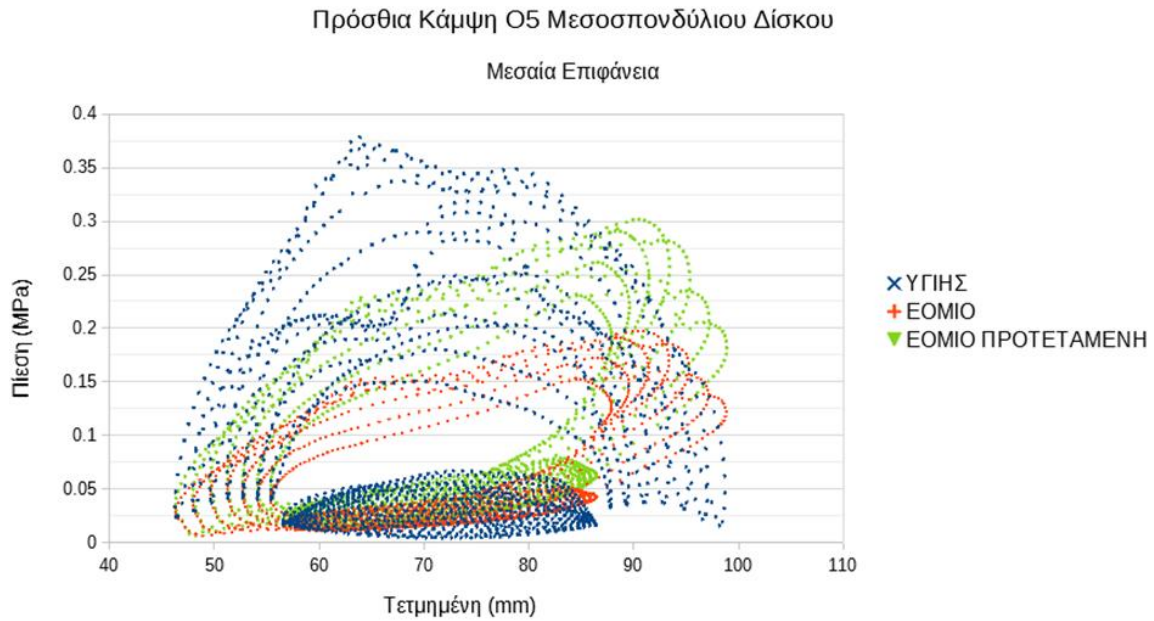
05 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



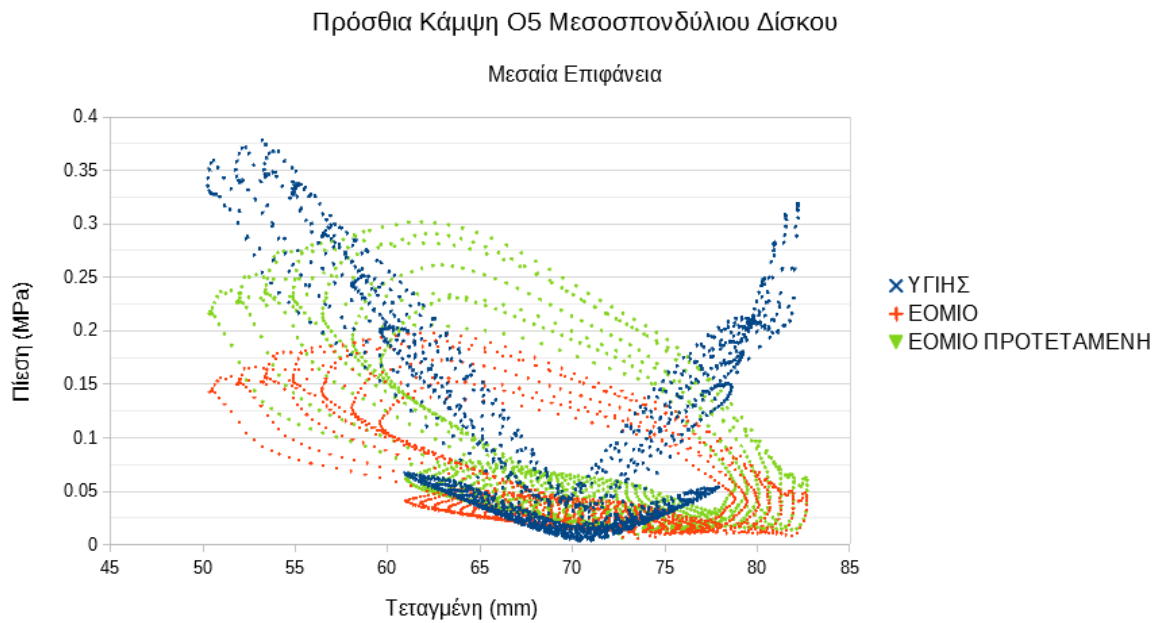
Εικόνα 77. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



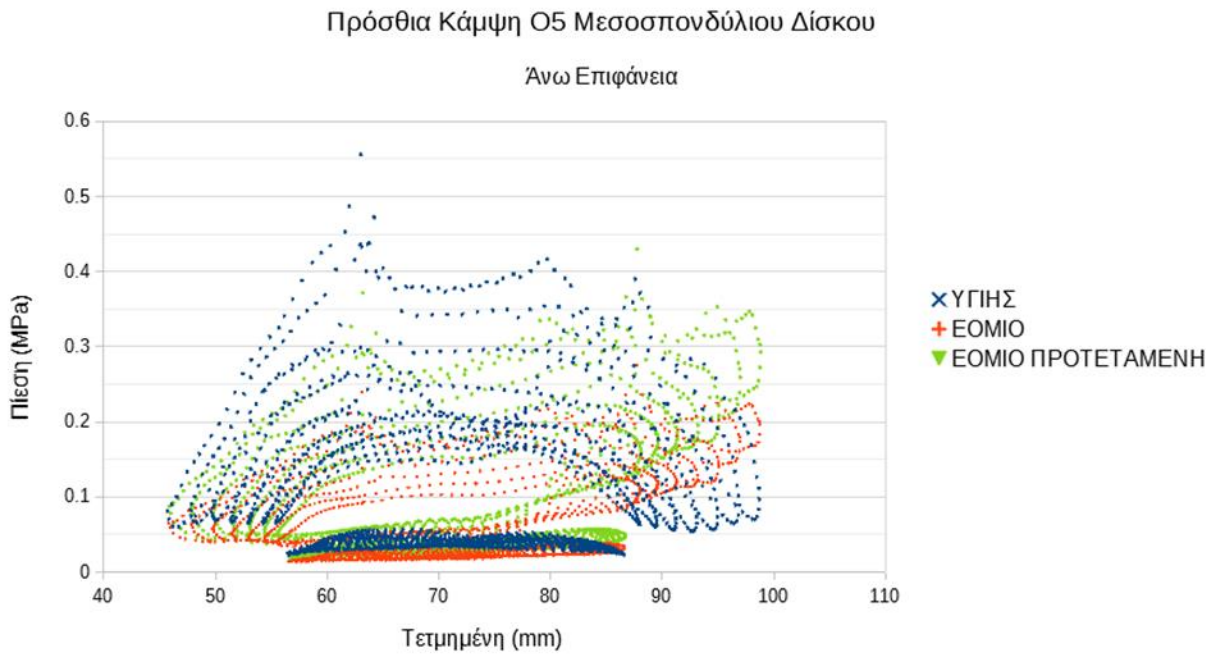
Εικόνα 78. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



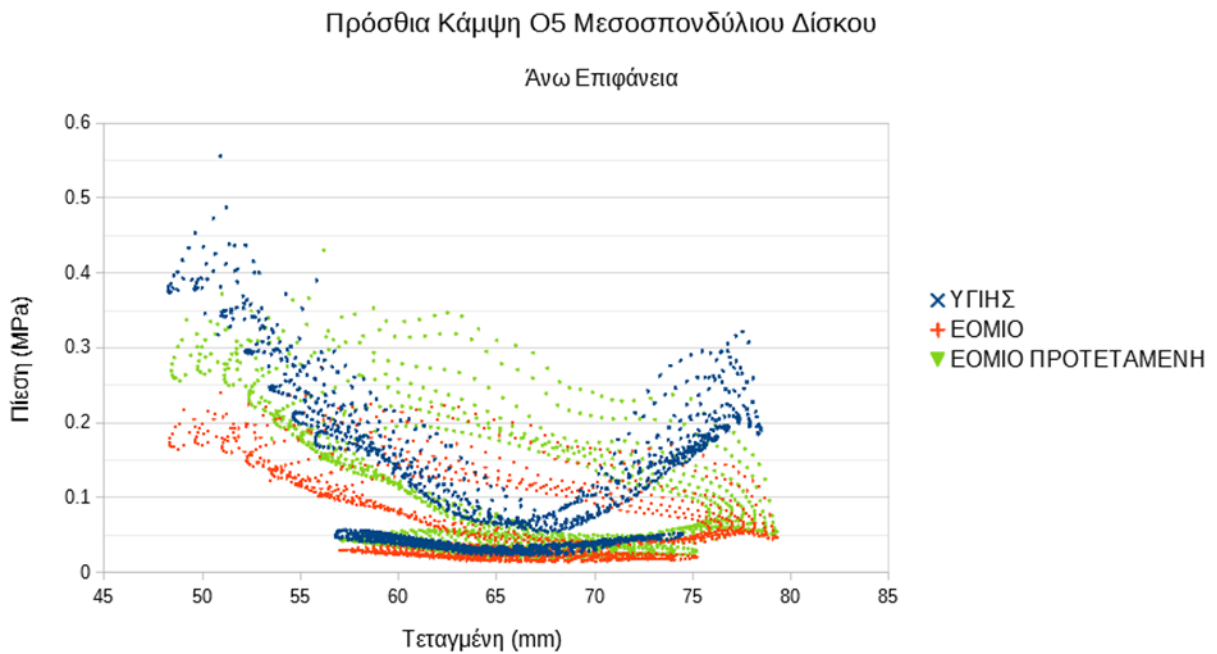
Εικόνα 79. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



Εικόνα 80. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

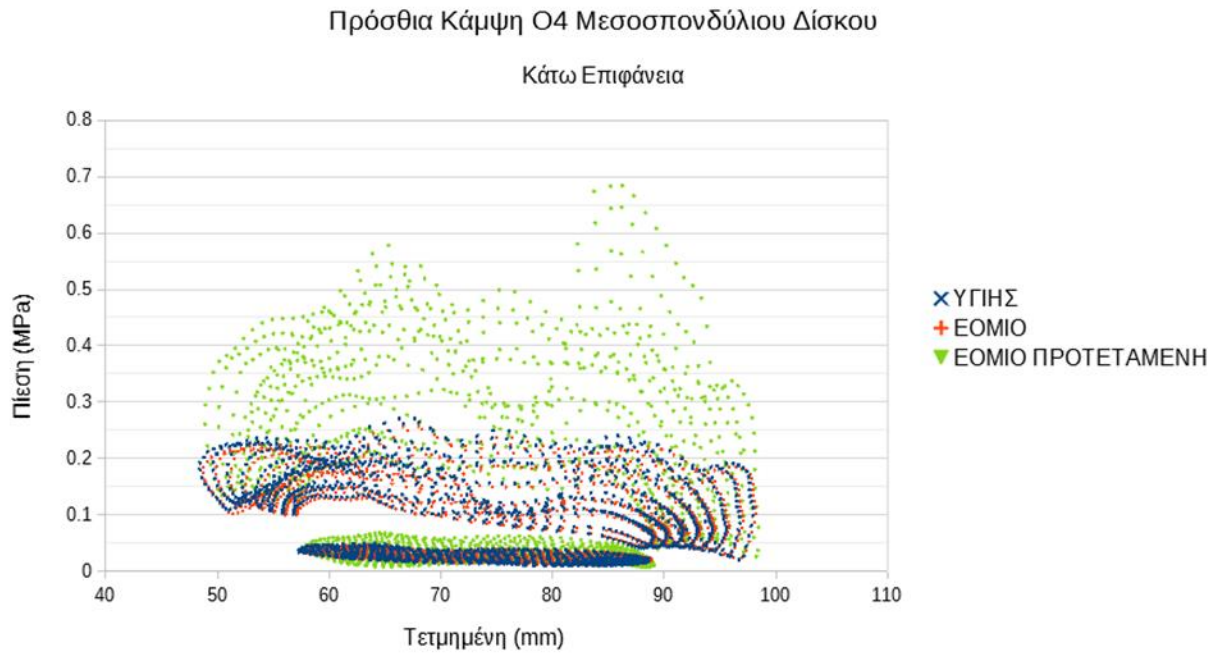


Εικόνα 81. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

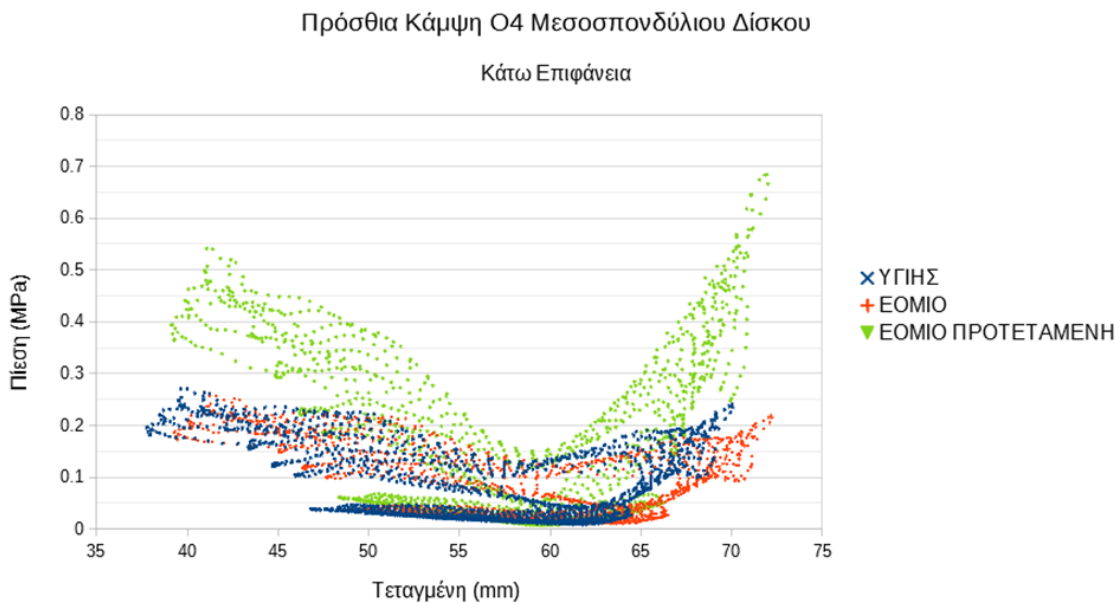


Εικόνα 82. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

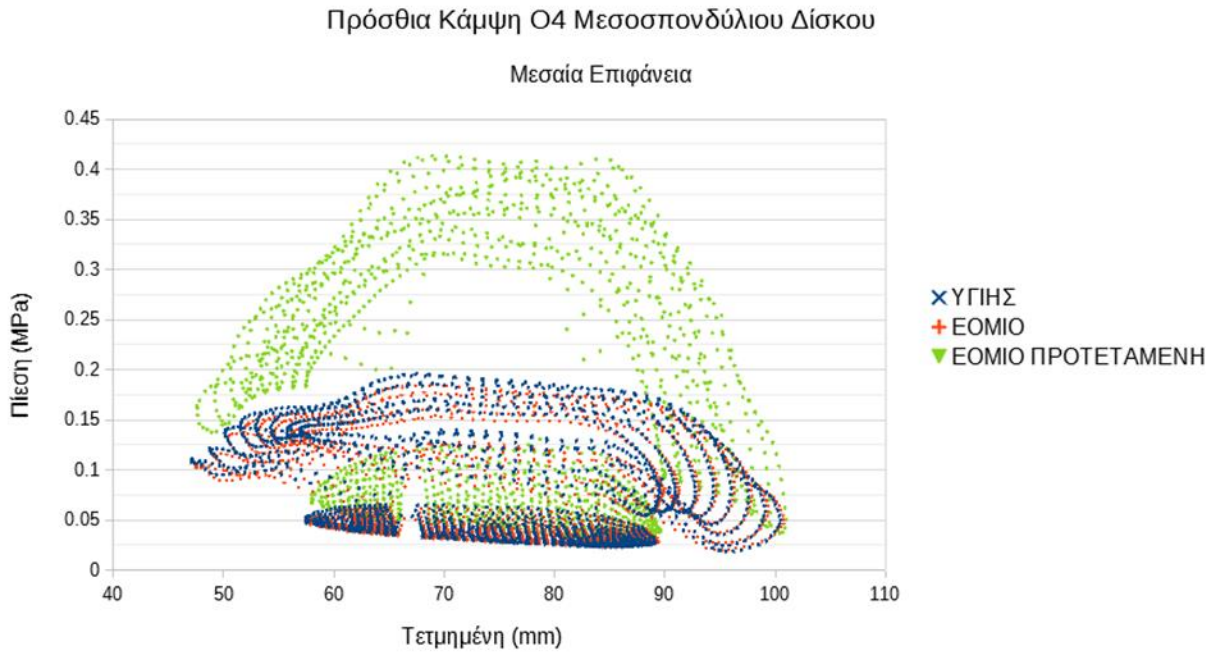
Ο4 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



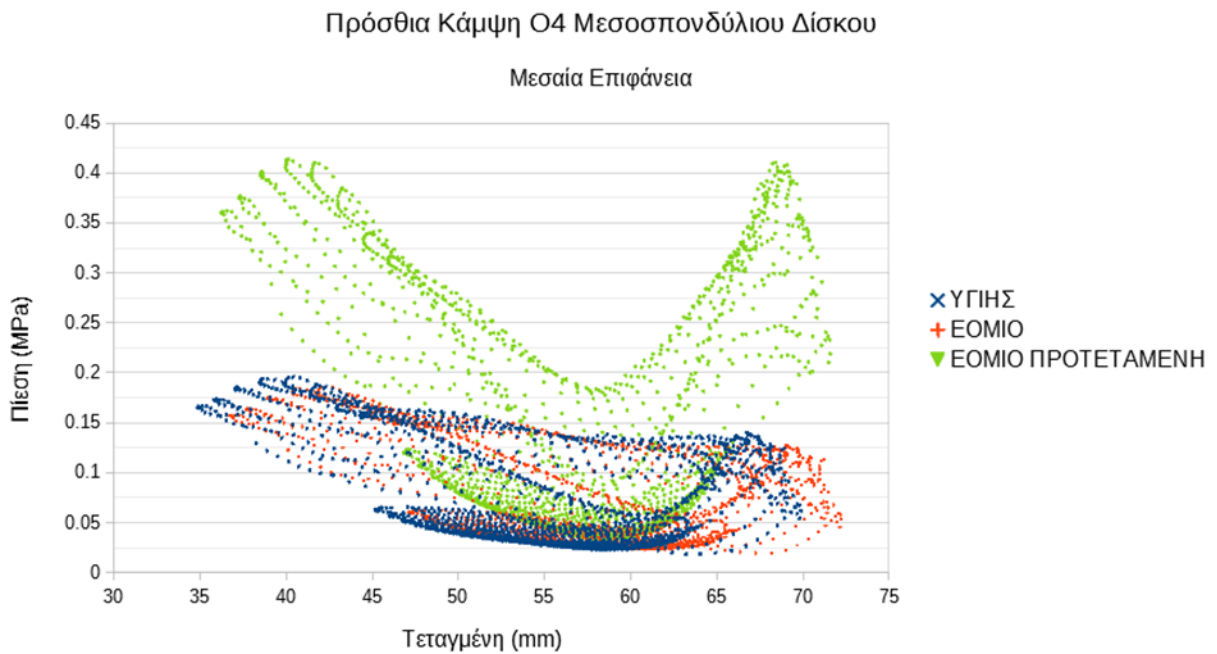
Εικόνα 83. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



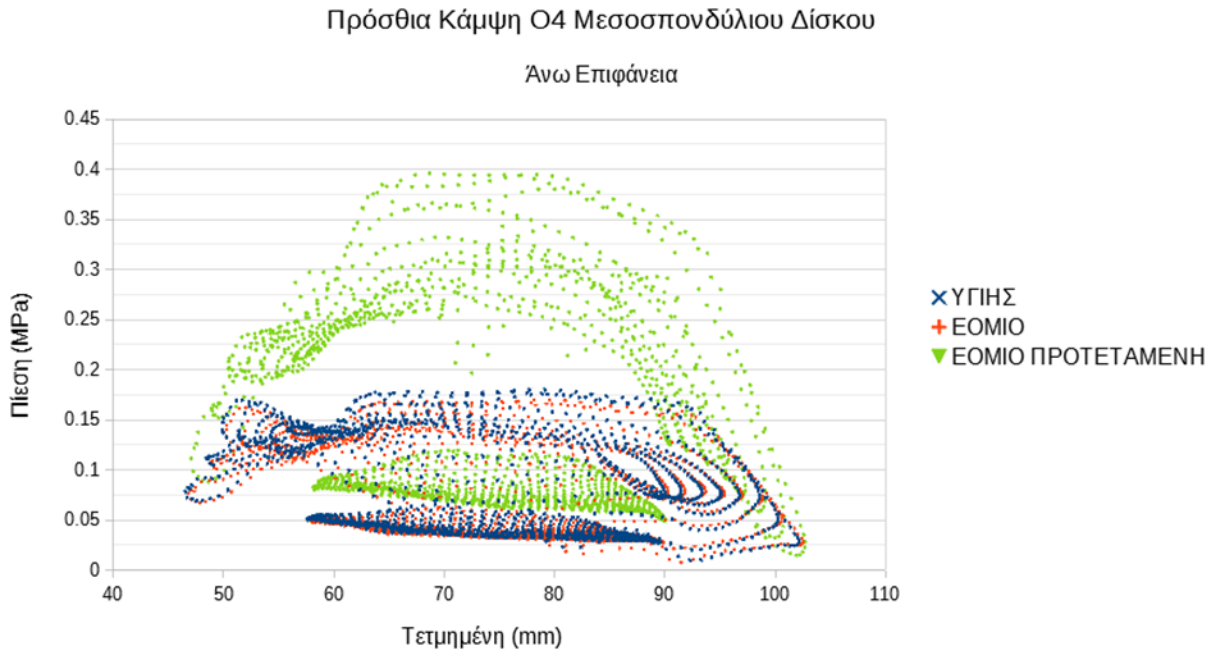
Εικόνα 84. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



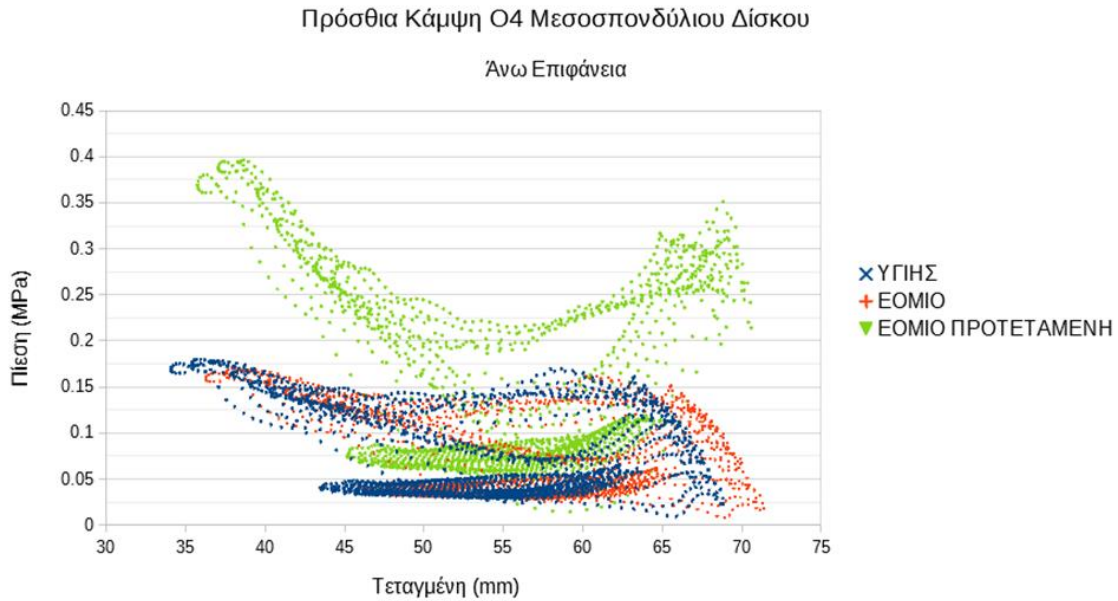
Εικόνα 85. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



Εικόνα 86. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

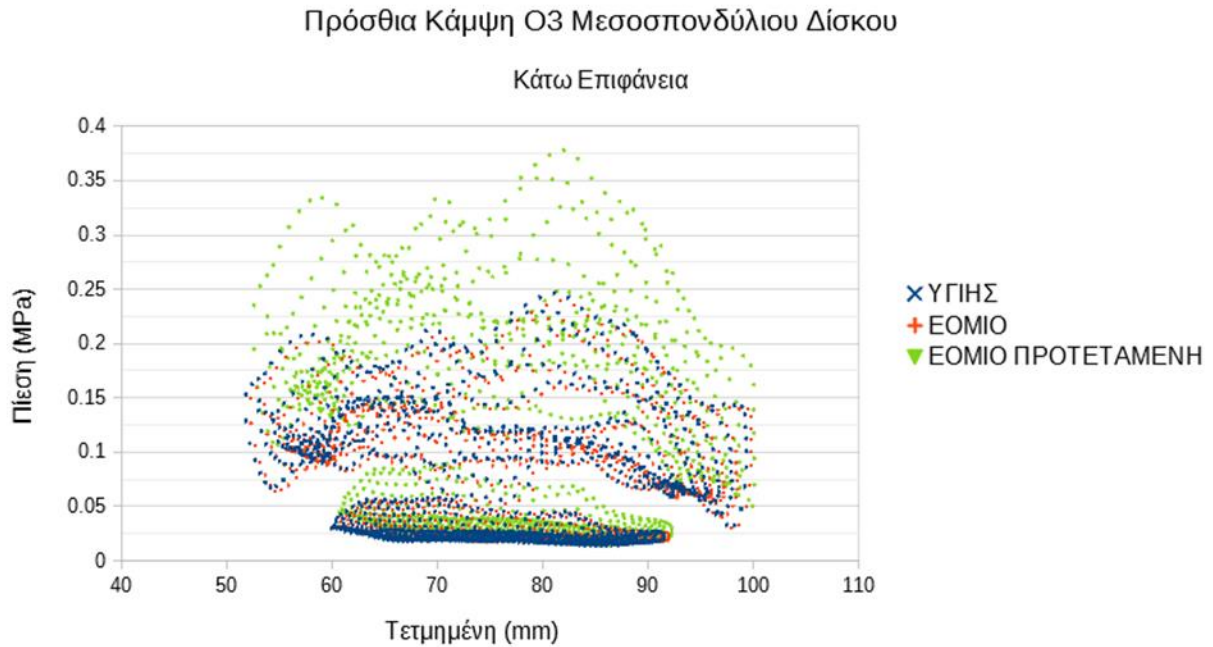


Εικόνα 87. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

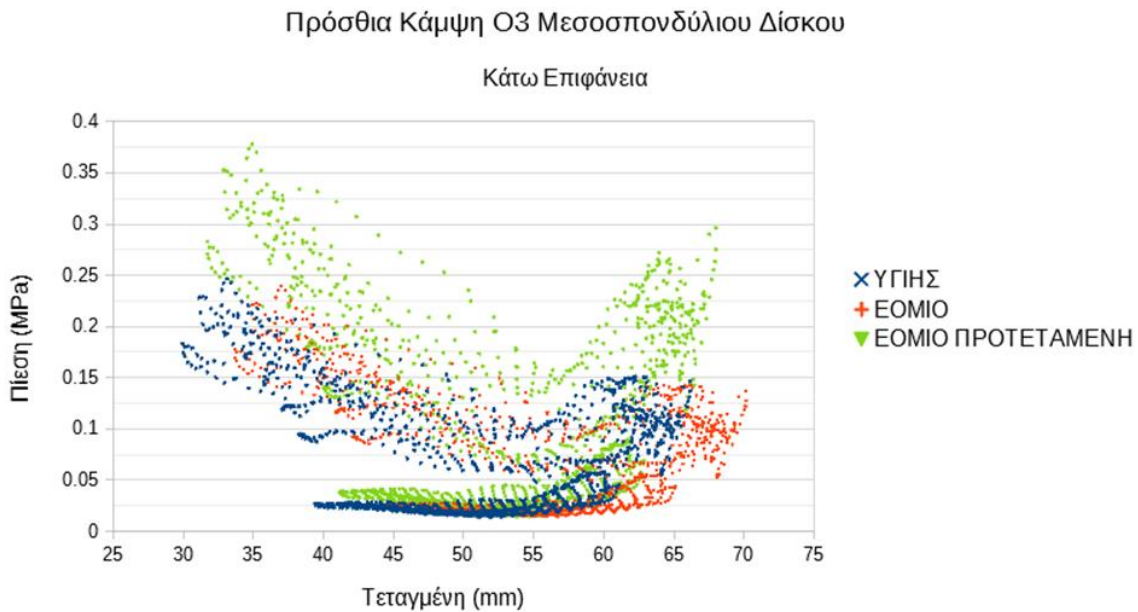


Εικόνα 88. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

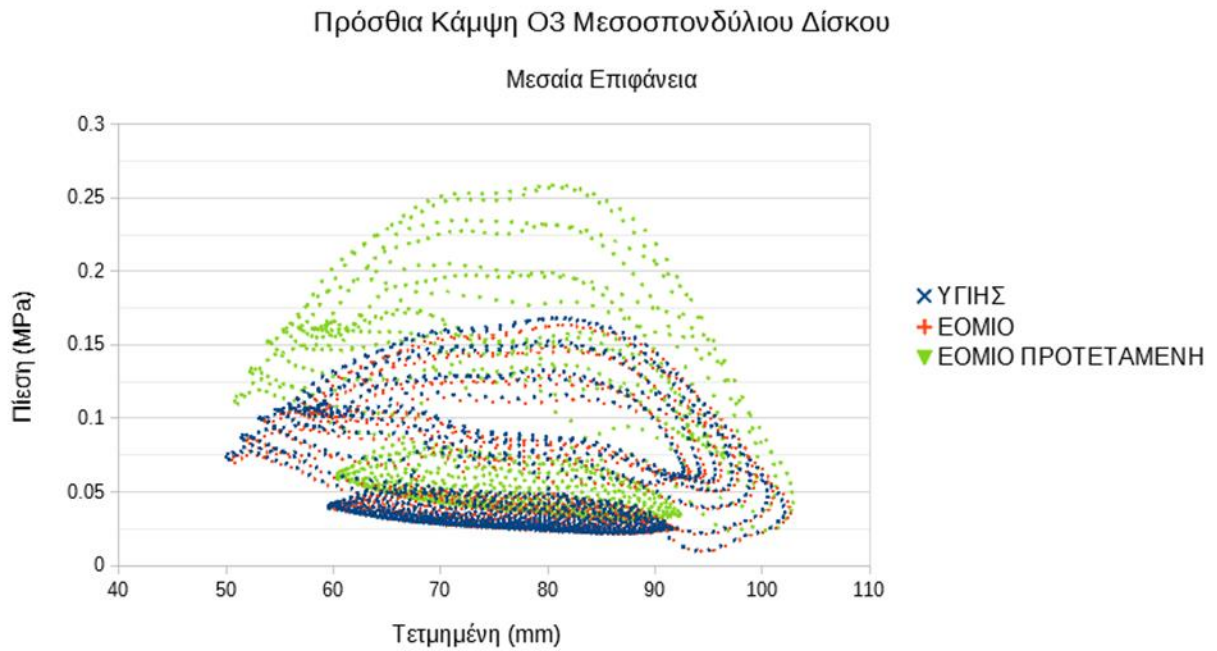
Ο3 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



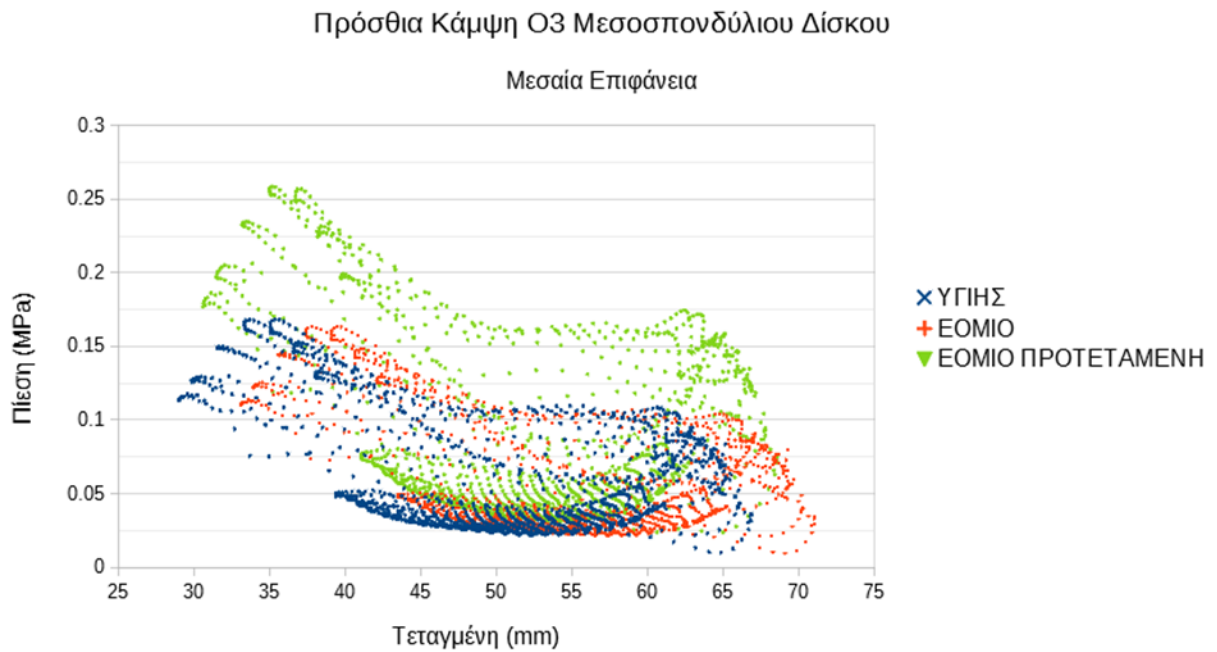
Εικόνα 89. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια Ο3 του μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



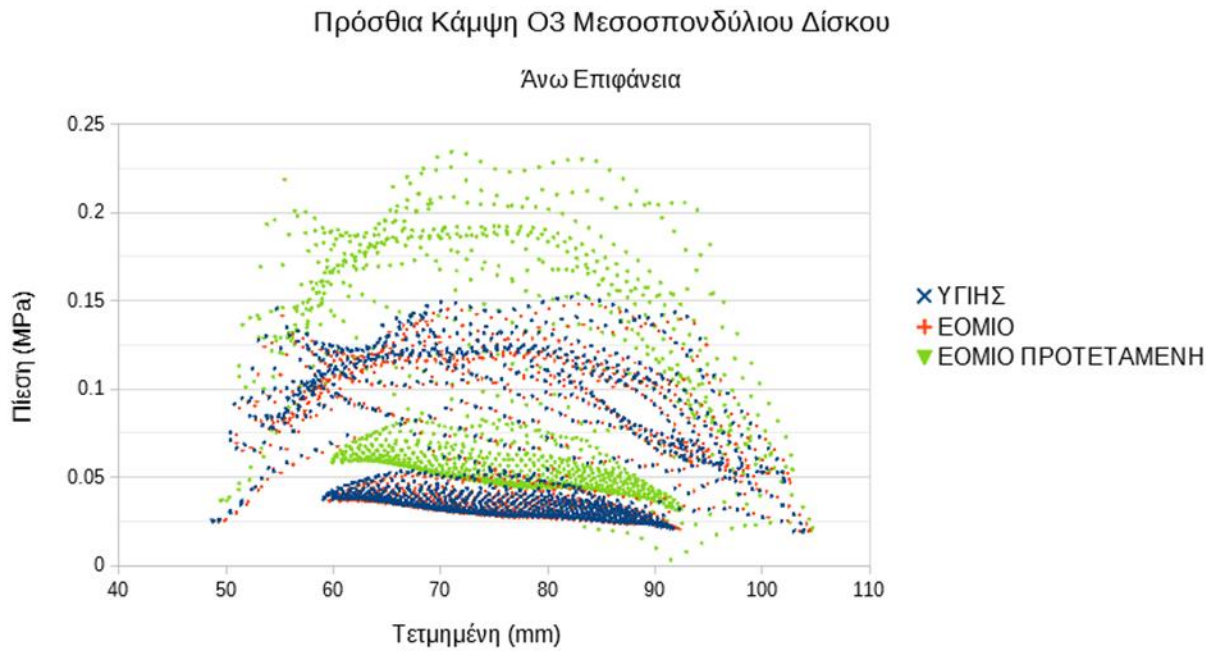
Εικόνα 90. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



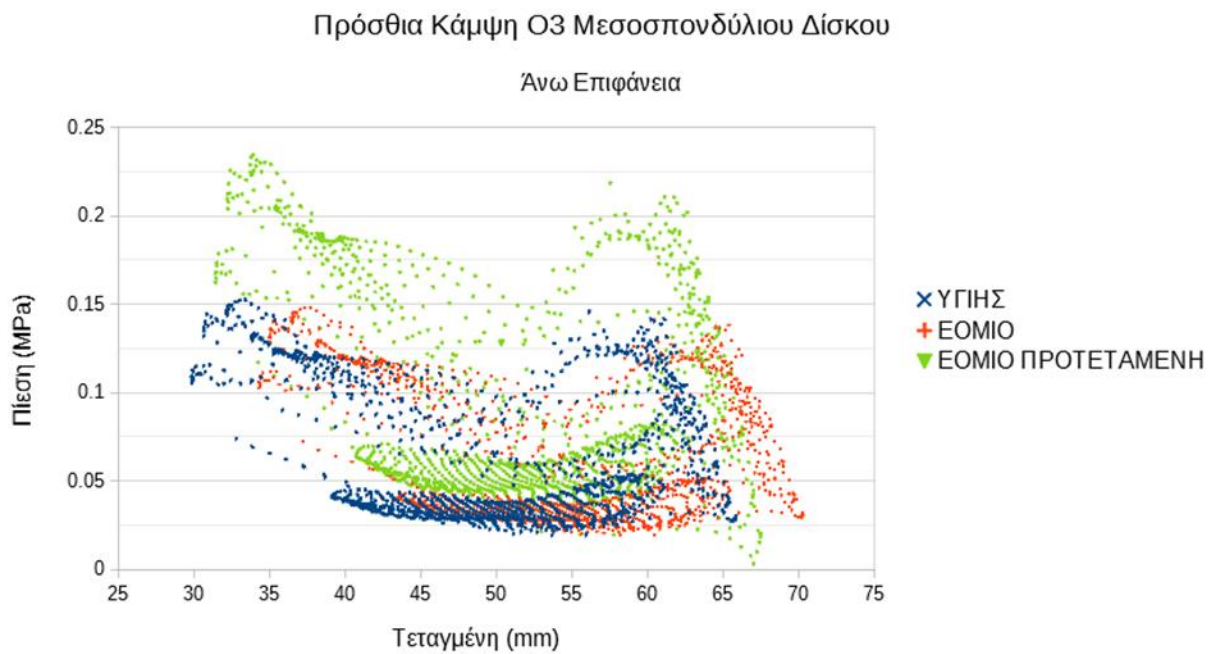
Εικόνα 91. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



Εικόνα 92. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

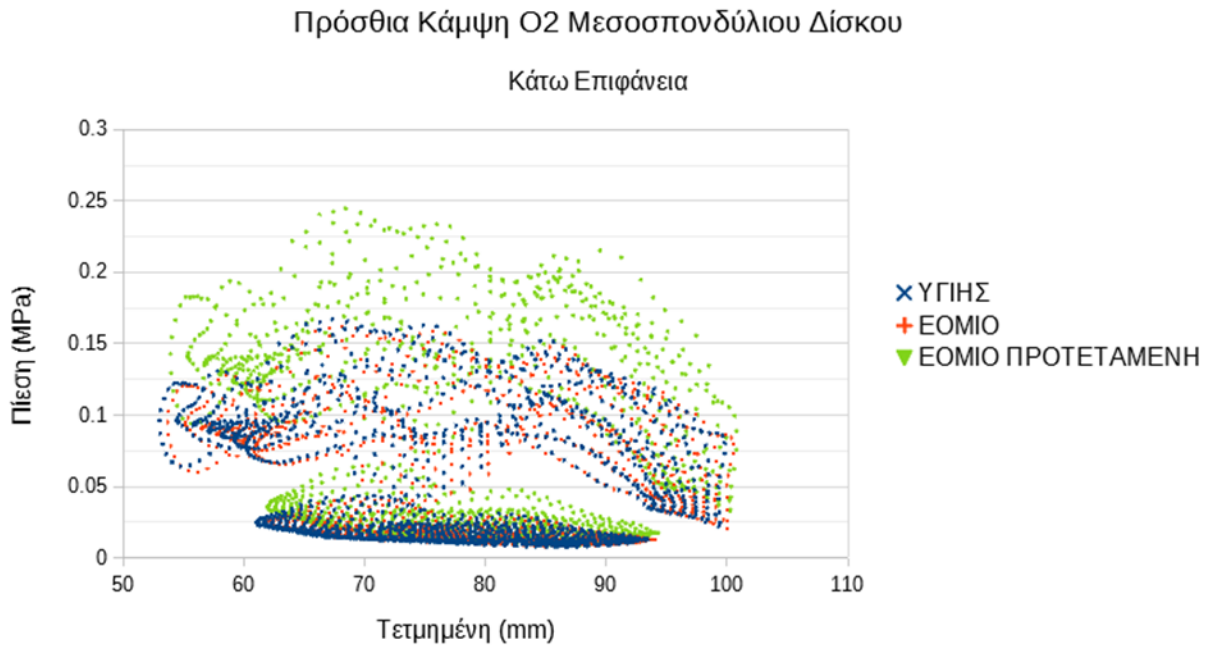


Εικόνα 93. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

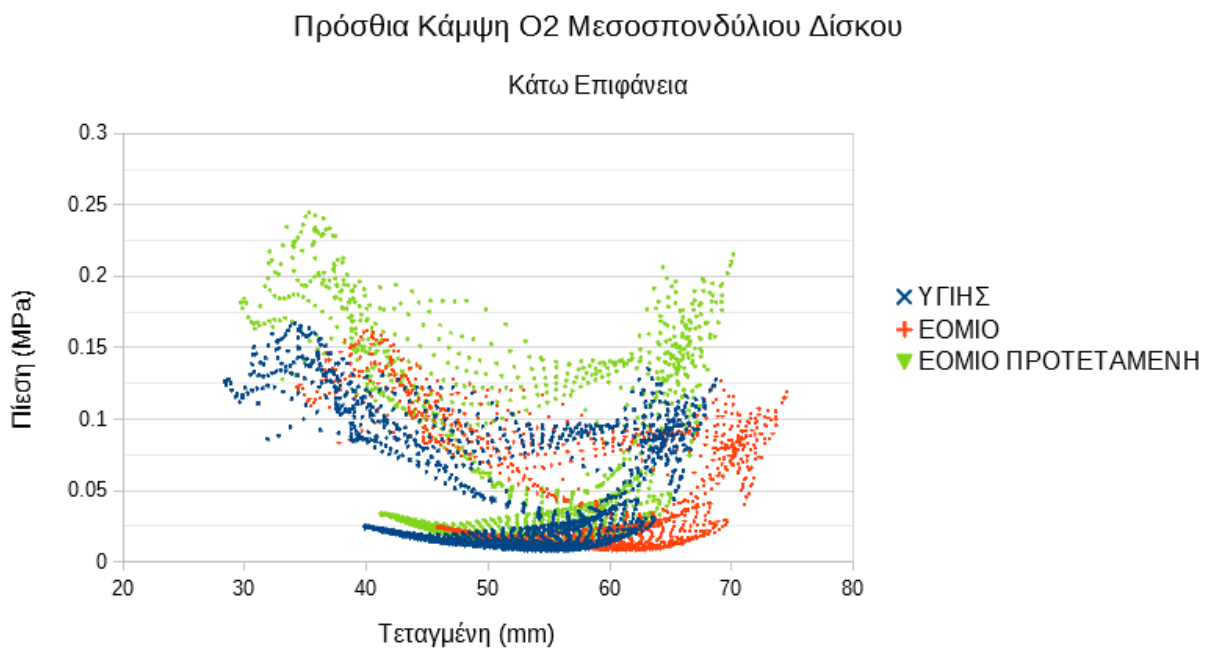


Εικόνα 94. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

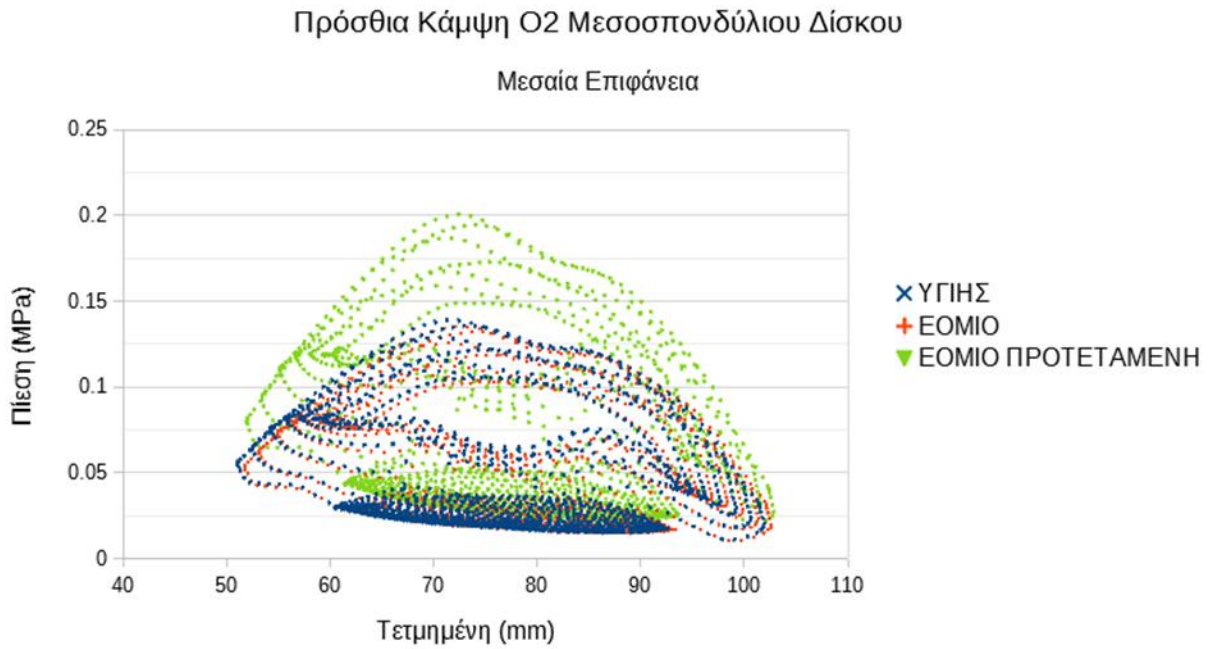
Ο2 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



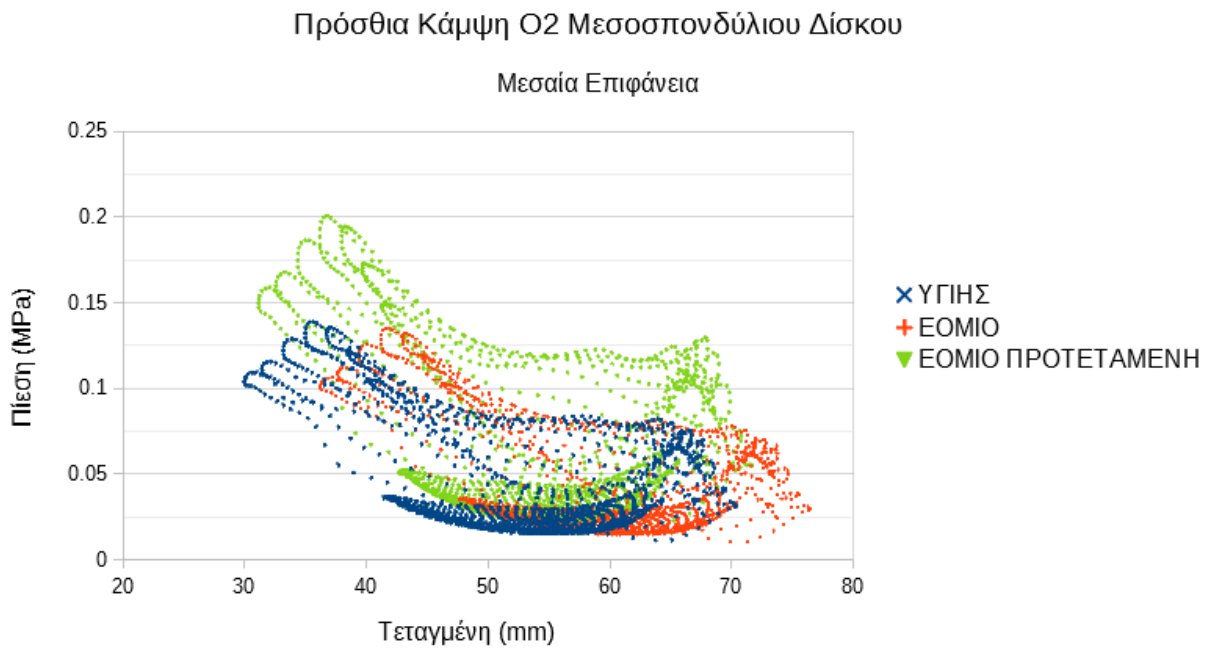
Εικόνα 95. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



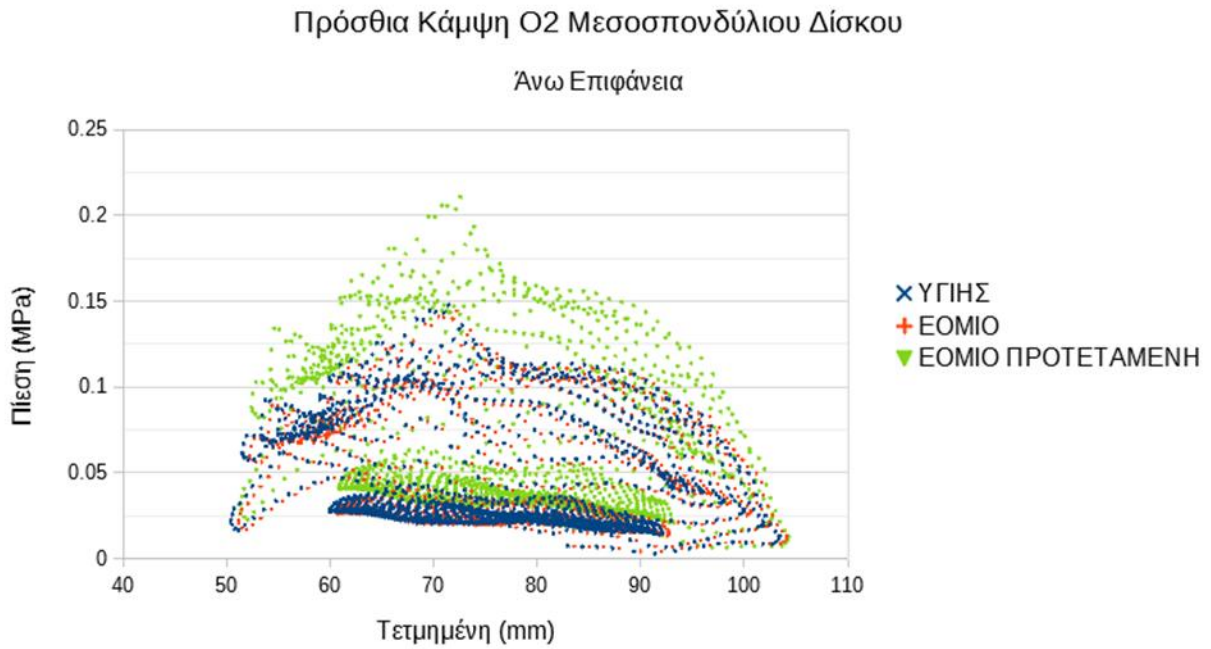
Εικόνα 96. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια.



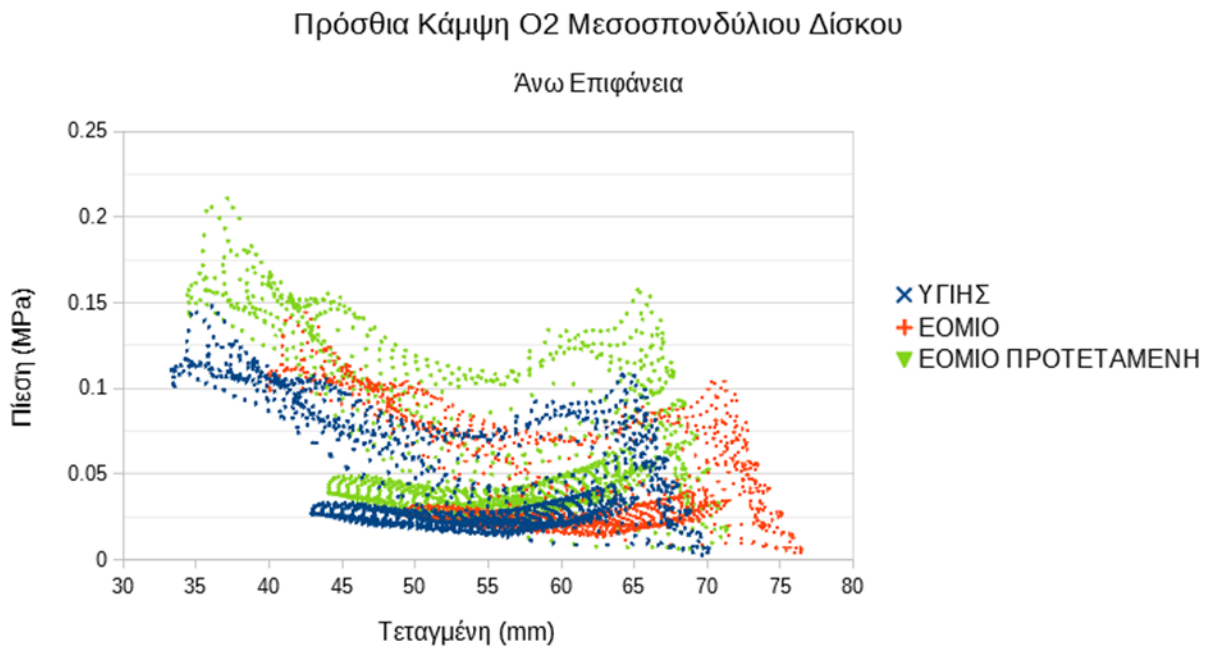
Εικόνα 97. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



Εικόνα 98. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

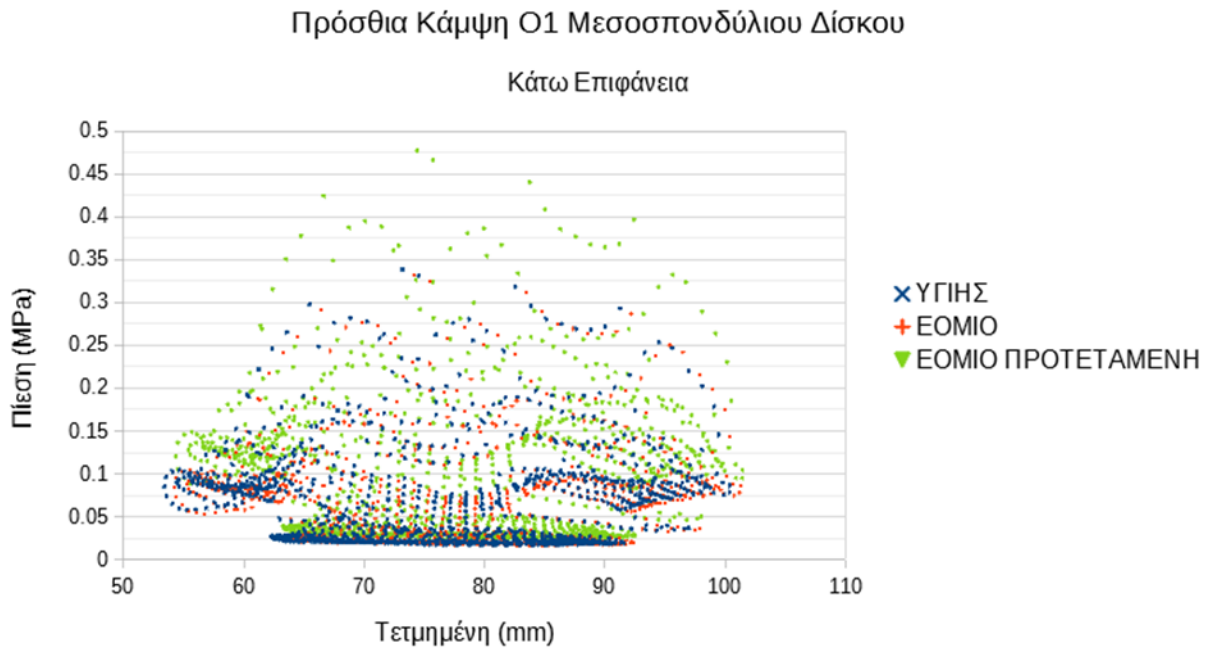


Εικόνα 99. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

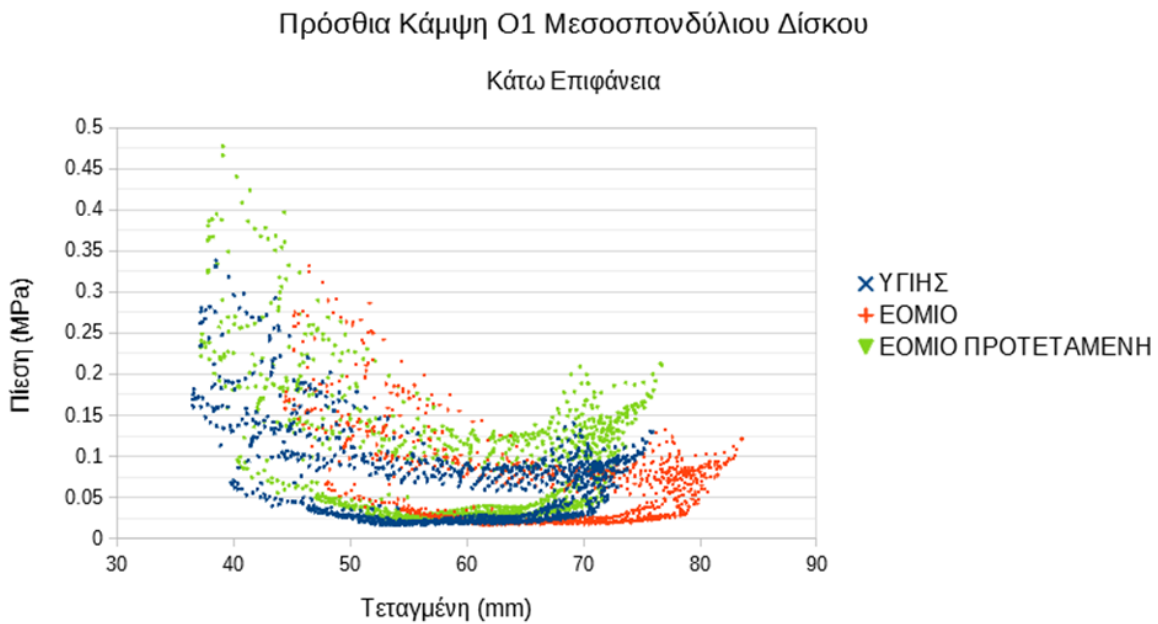


Εικόνα 100. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

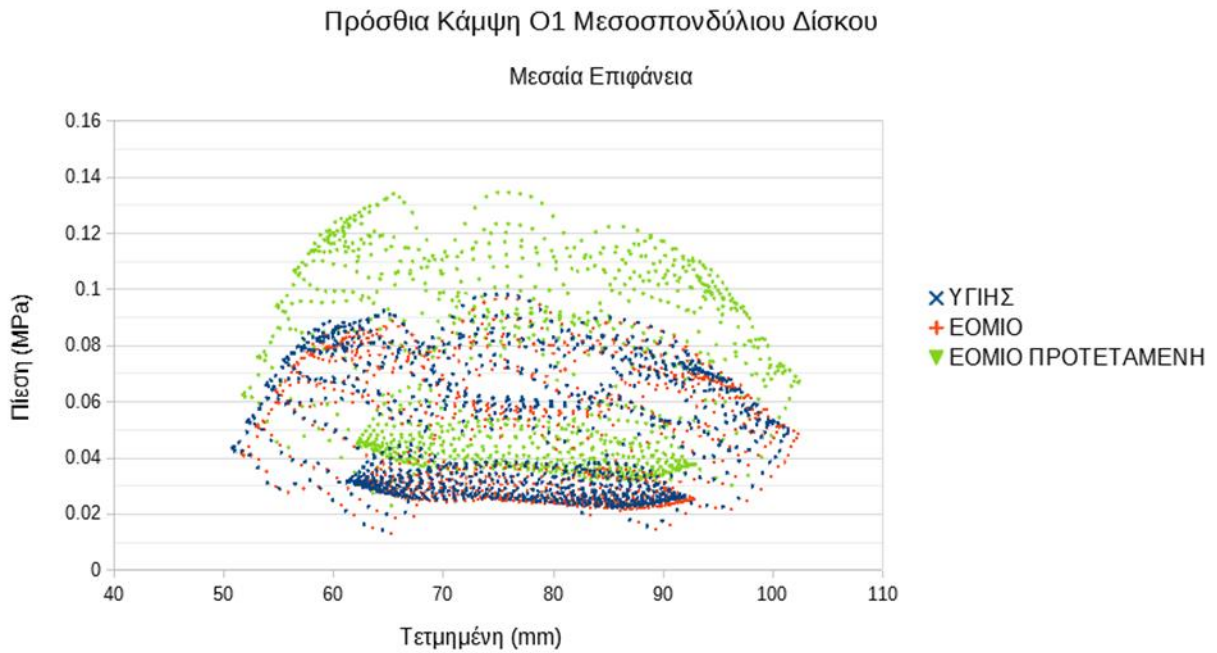
Ο1 Μεσοσπονδύλιος Δίσκος



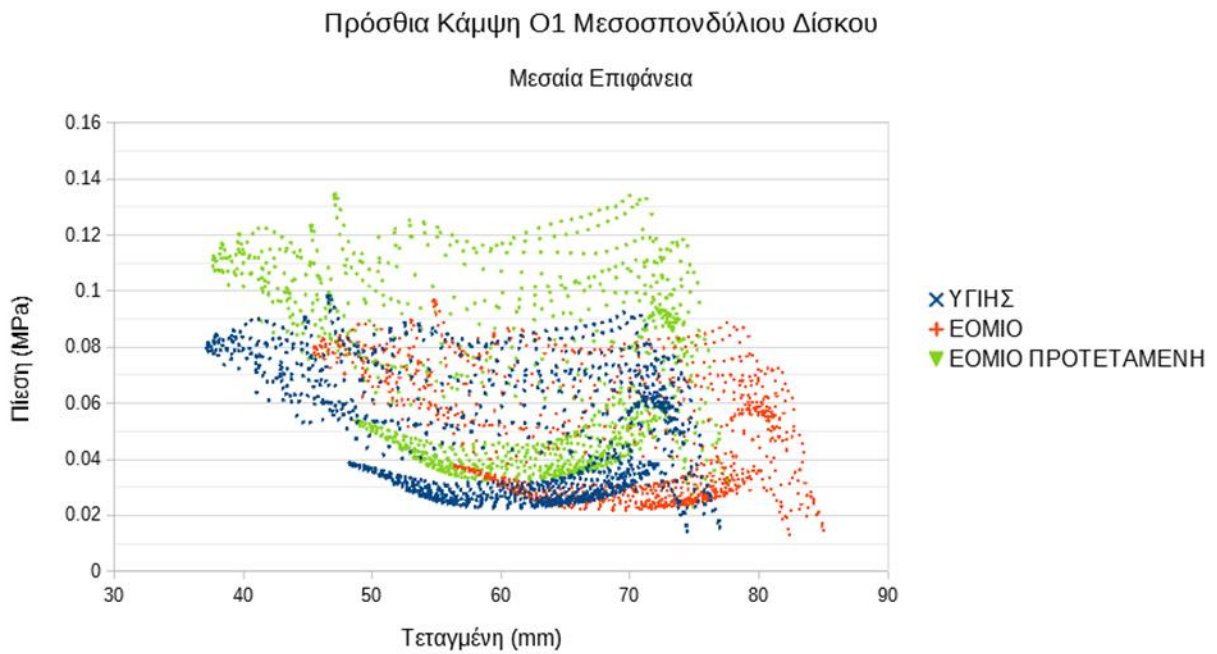
Εικόνα 101. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



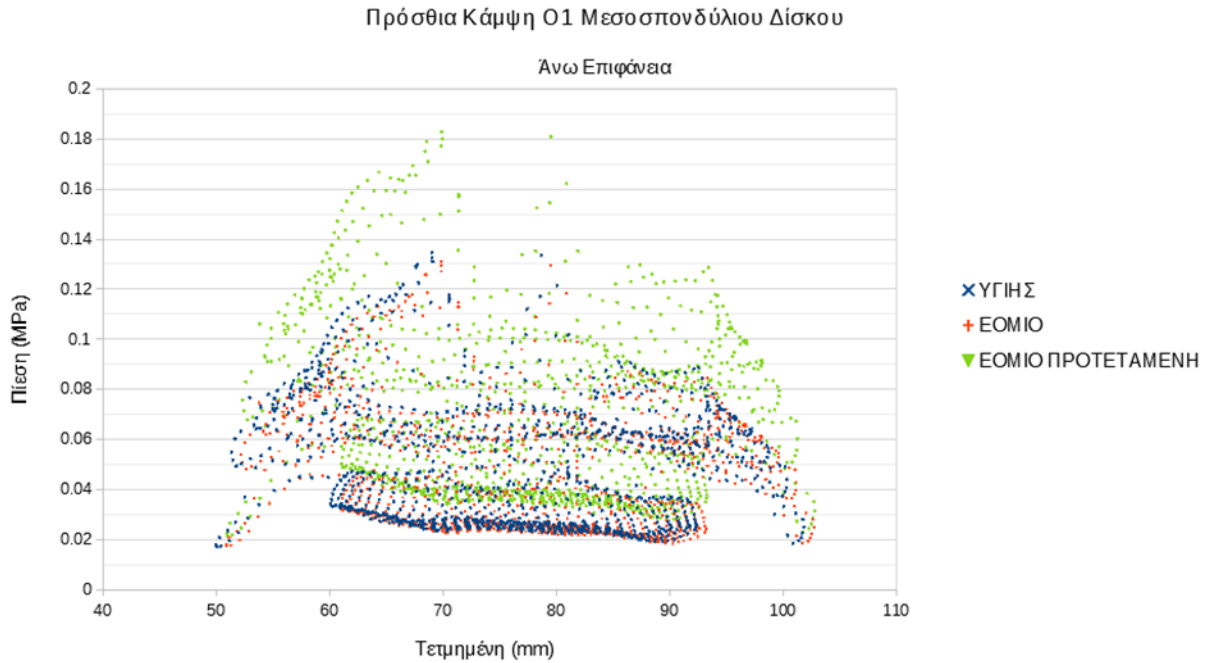
Εικόνα 102. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



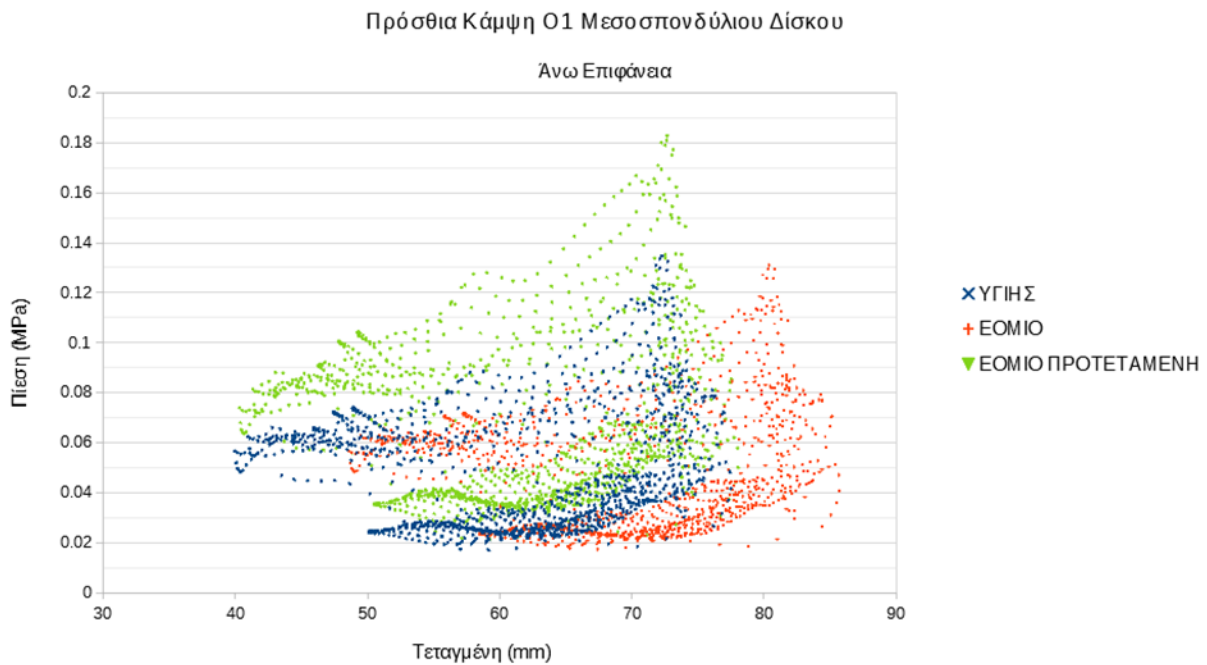
Εικόνα 103. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



Εικόνα 104. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



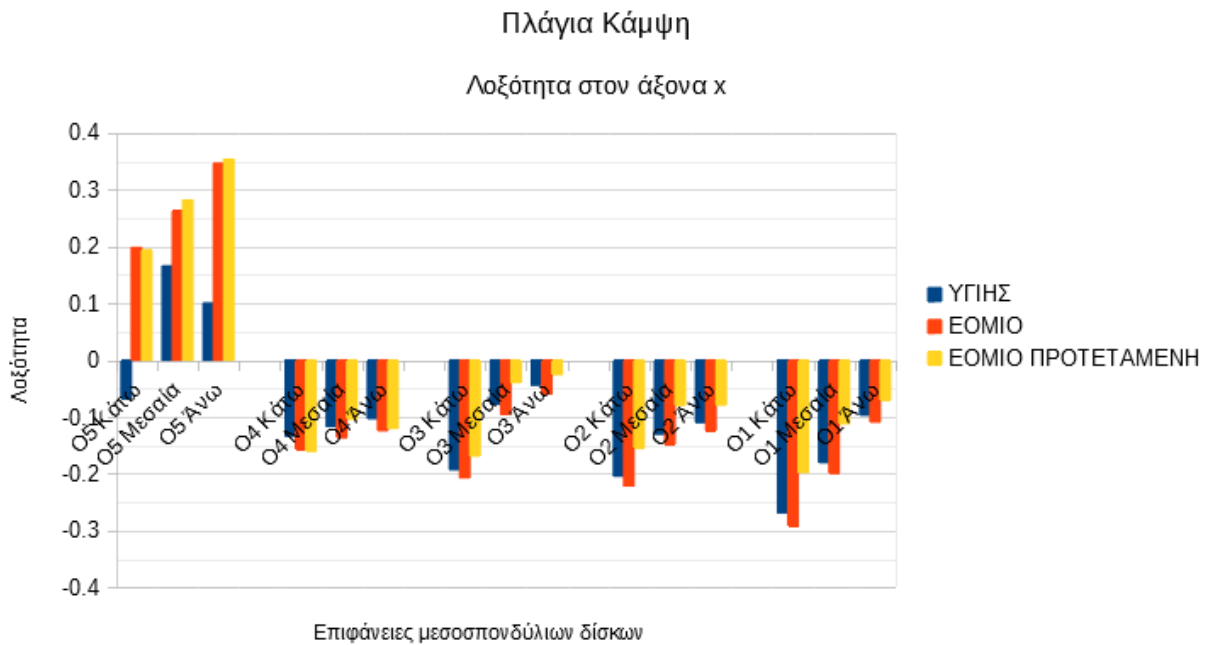
Εικόνα 105. Κατανομή φορτίσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.



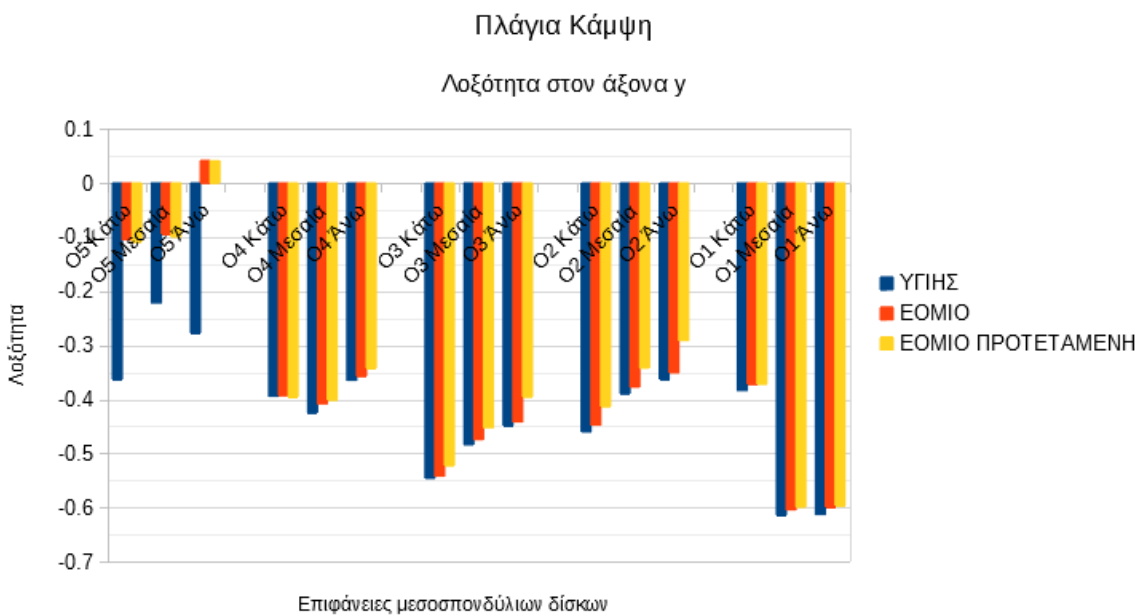
Εικόνα 106. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πρόσθια κάμψη.

Πλάγια Κάμψη

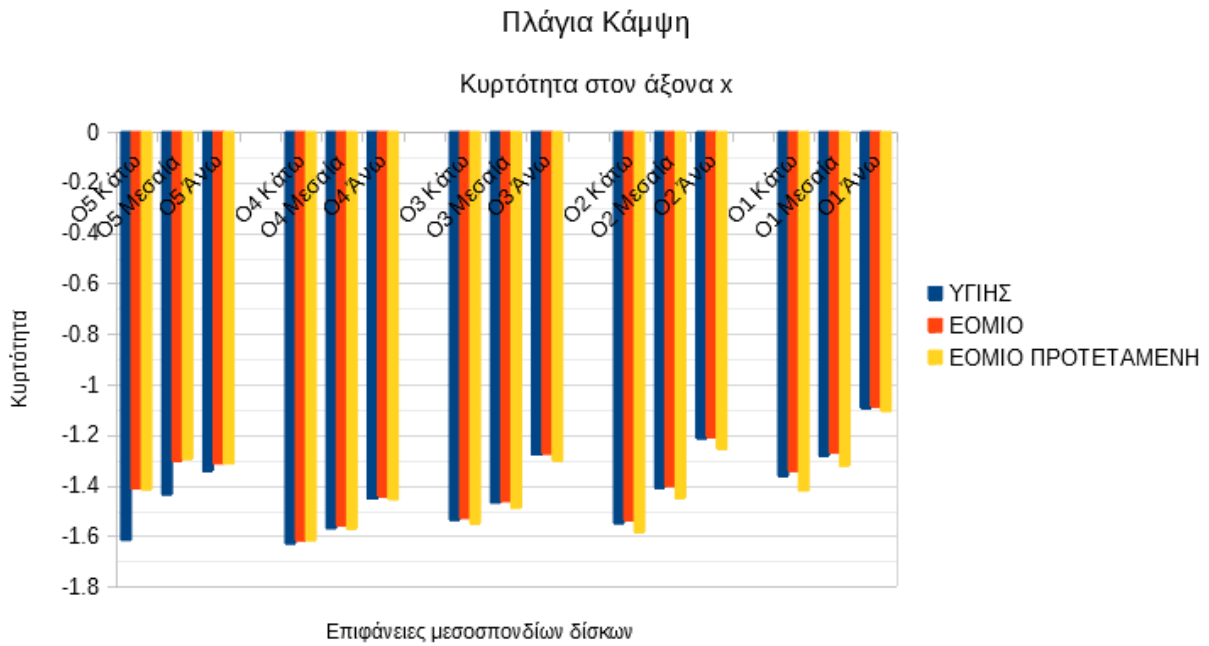
Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες με τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα τάσης-συντεταγμένης κόμβου για τη πλάγια κάμψη της οσφυϊκής μοίρας.



Εικόνα 107. Λοξότητα στον άξονα x για πλάγια κάμψη



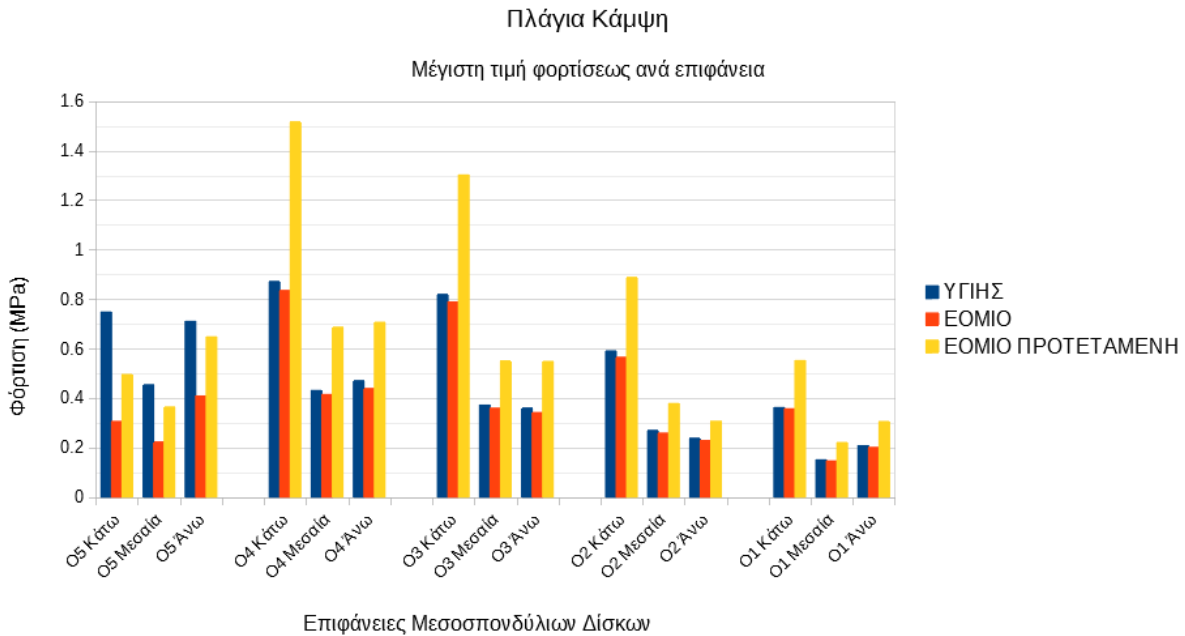
Εικόνα 108. Κυρτότητα στον άξονα y για πλάγια κάμψη



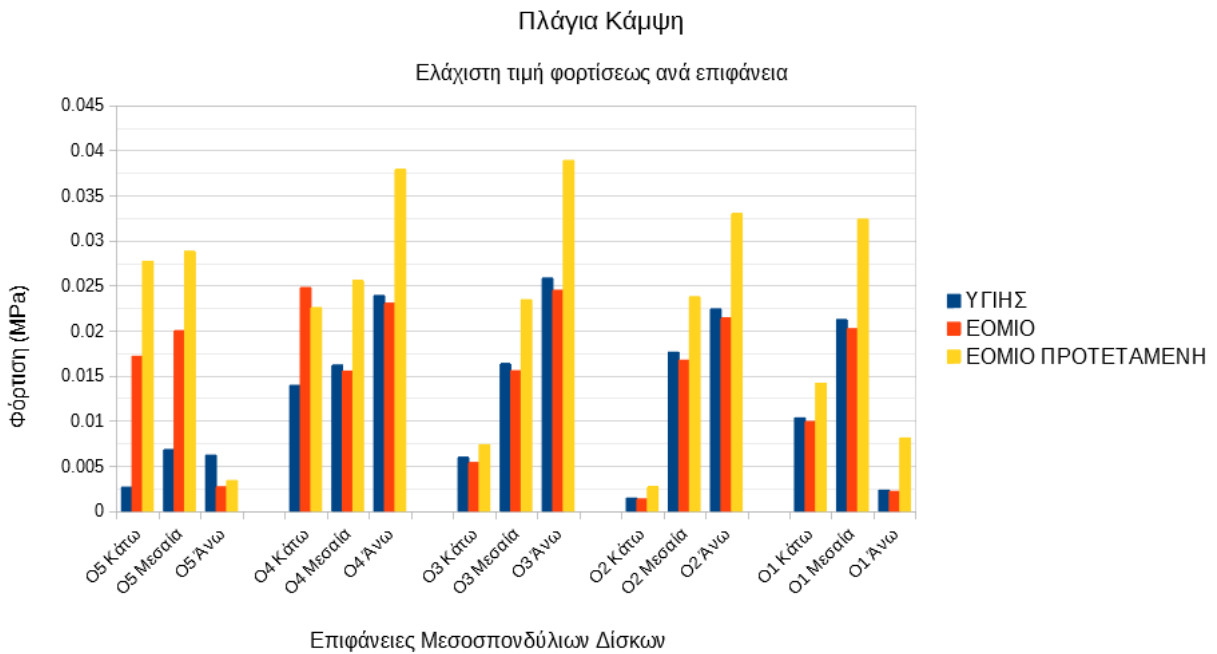
Εικόνα 109. Κυρτότητα στον άξονα x για πλάγια κάμψη



Εικόνα 110. Κυρτότητα στον άξονα y για πλάγια κάμψη

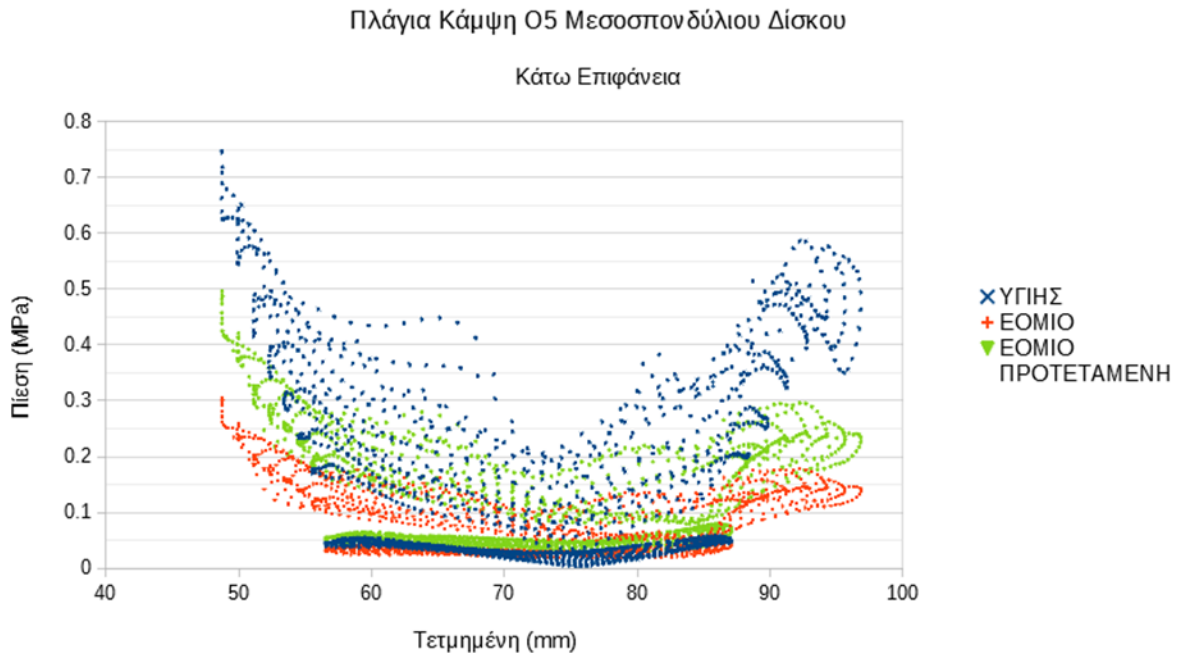


Εικόνα 111. Μέγιστη τιμή αναπτυσσόμενης τάσης σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων για πλάγια κάμψη

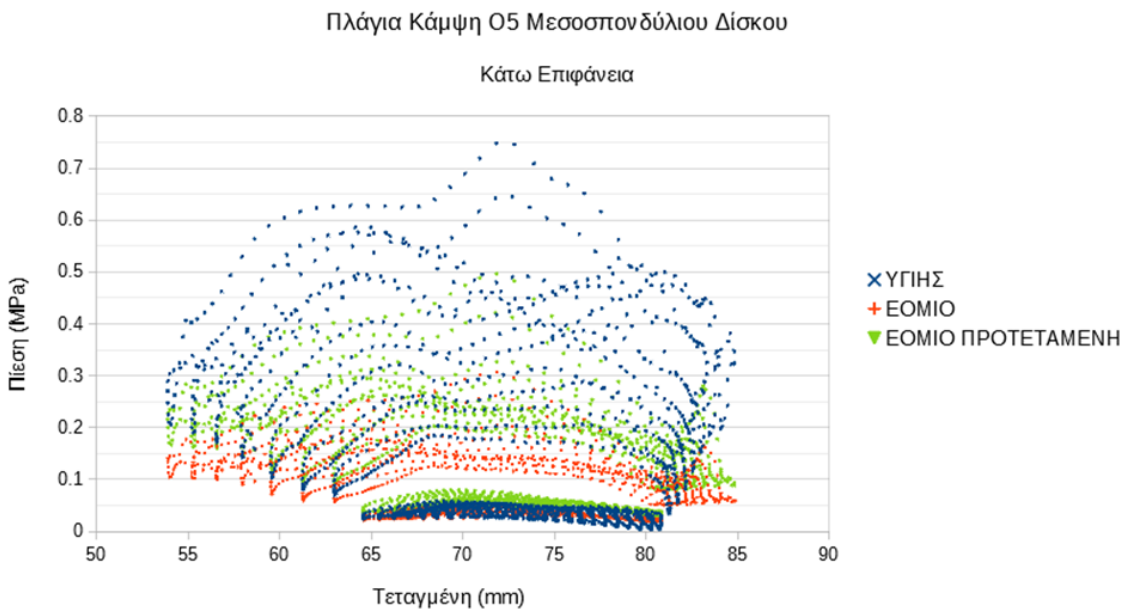


Εικόνα 112. Ελάχιστη τιμή αναπτυσσόμενης τάσης σε επιφάνειες μεσοσπονδύλιων δίσκων για πλάγια κάμψη

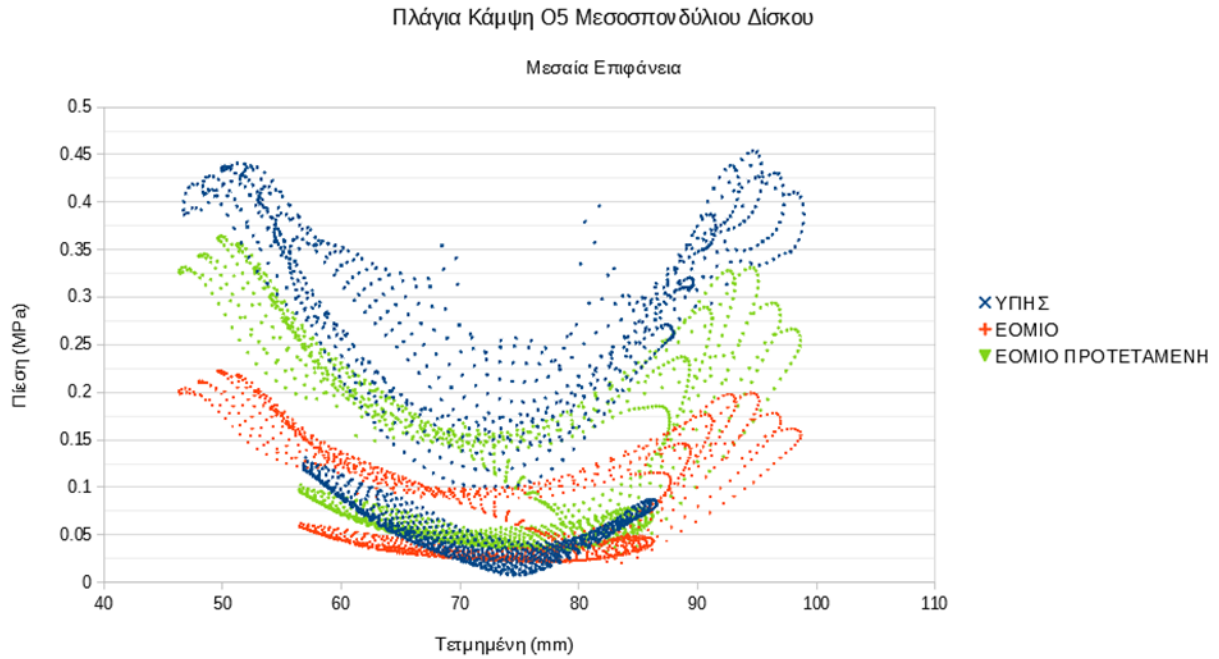
05 Μεσοσπονδύλιος δίσκος



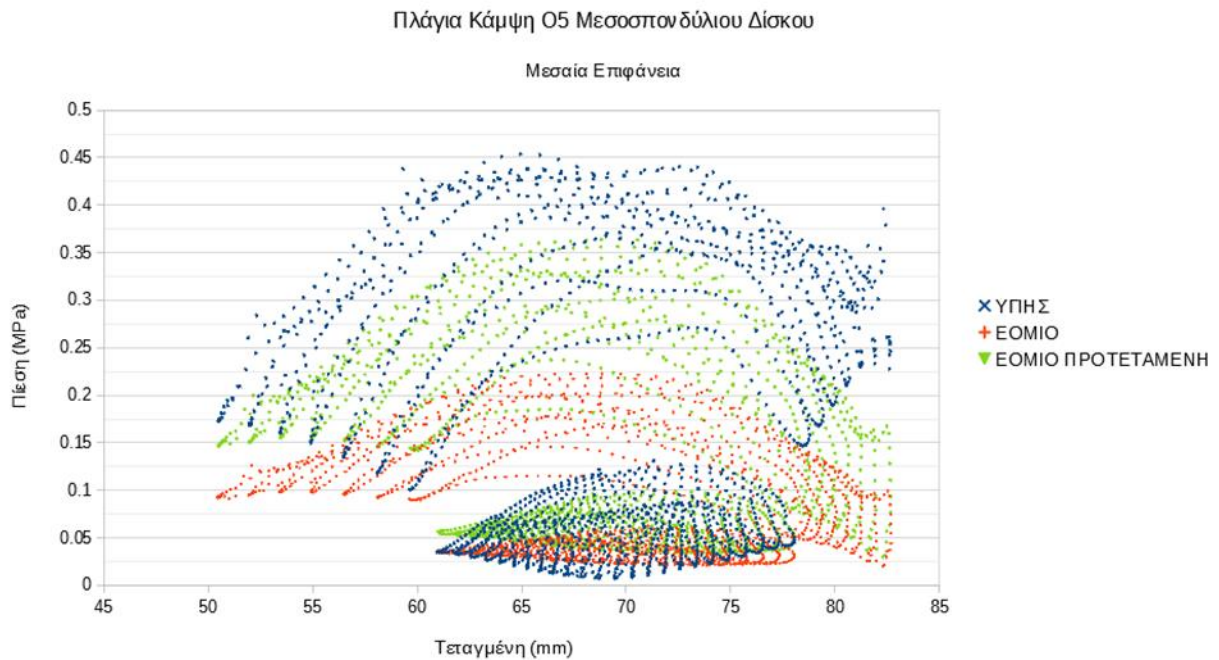
Εικόνα 113. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



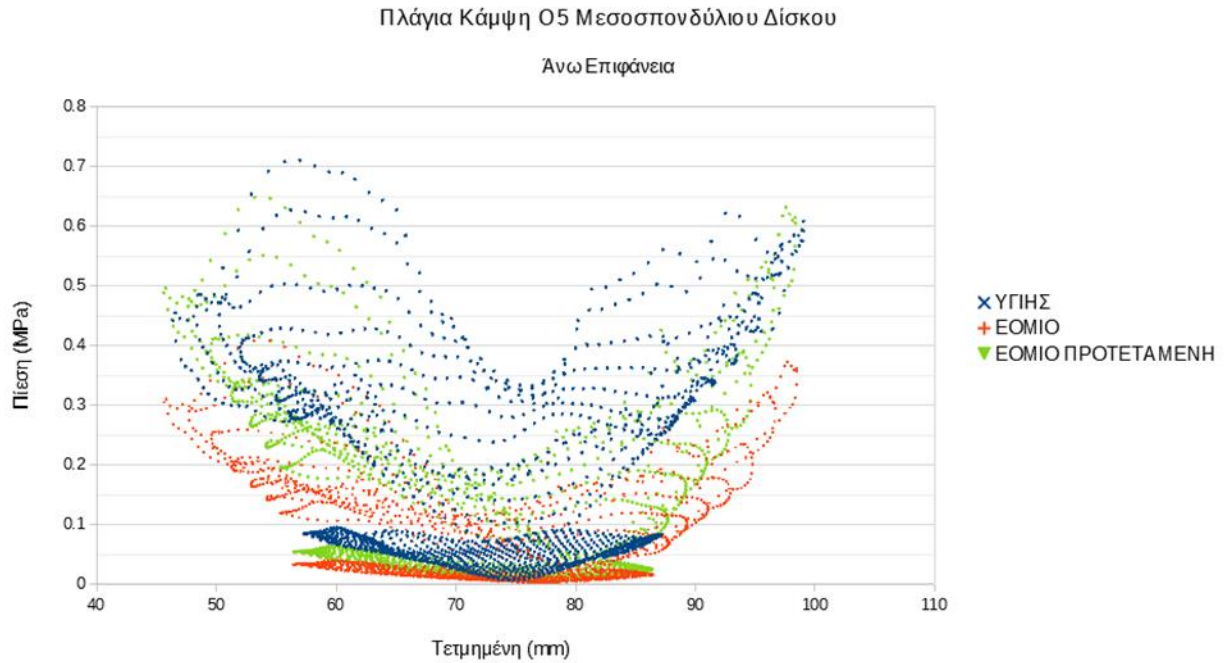
Εικόνα 114. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια 05 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



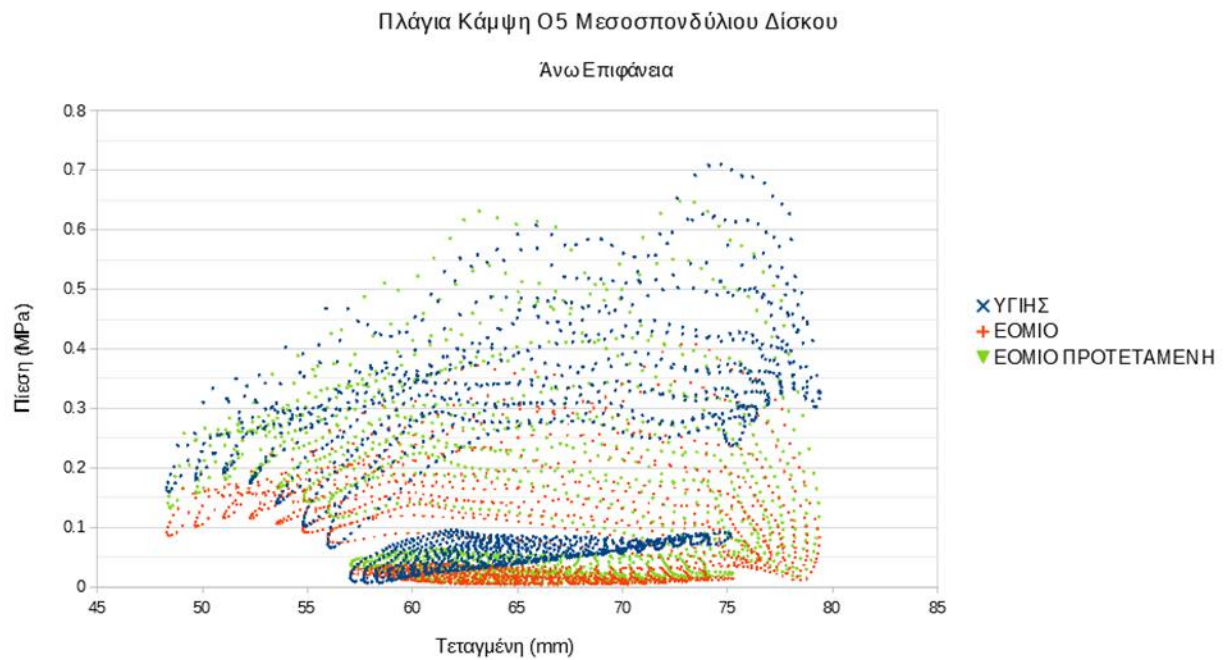
Εικόνα 115. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 116. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

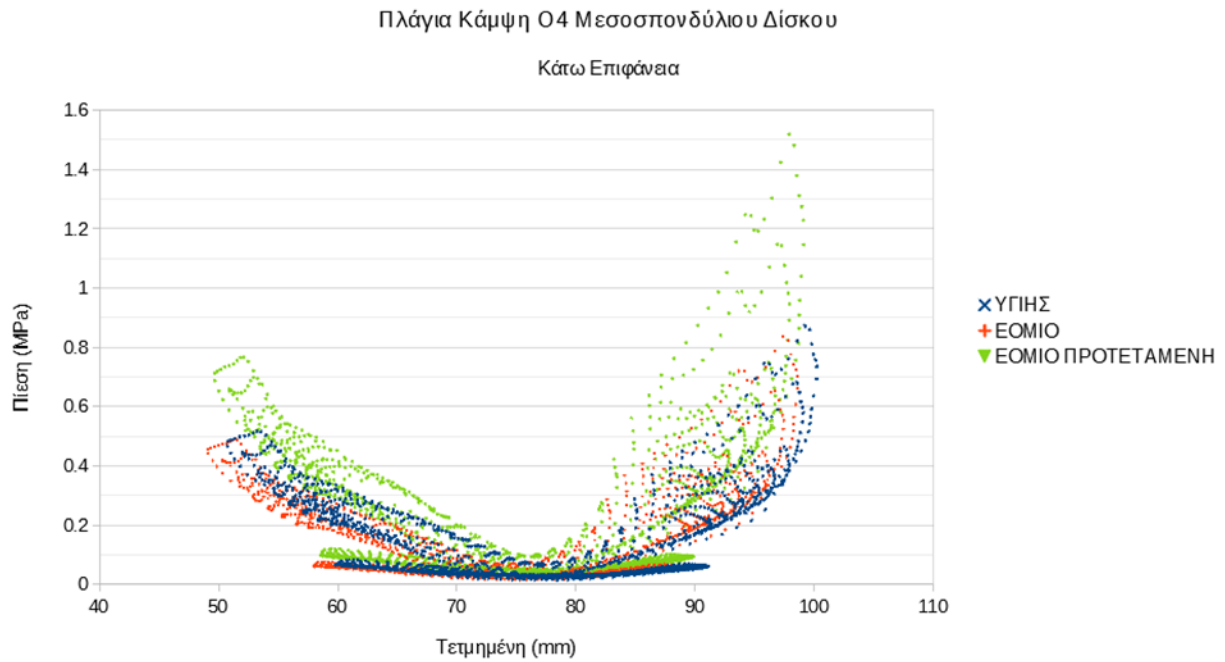


Εικόνα 117. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

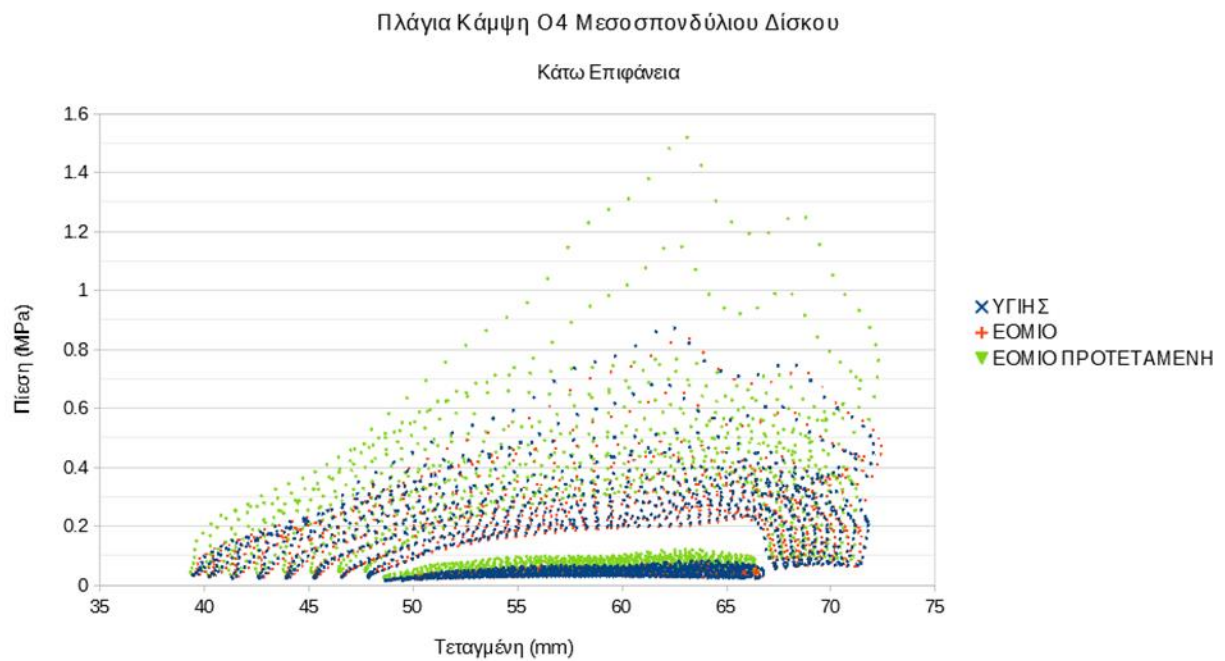


Εικόνα 118. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια Ο5 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

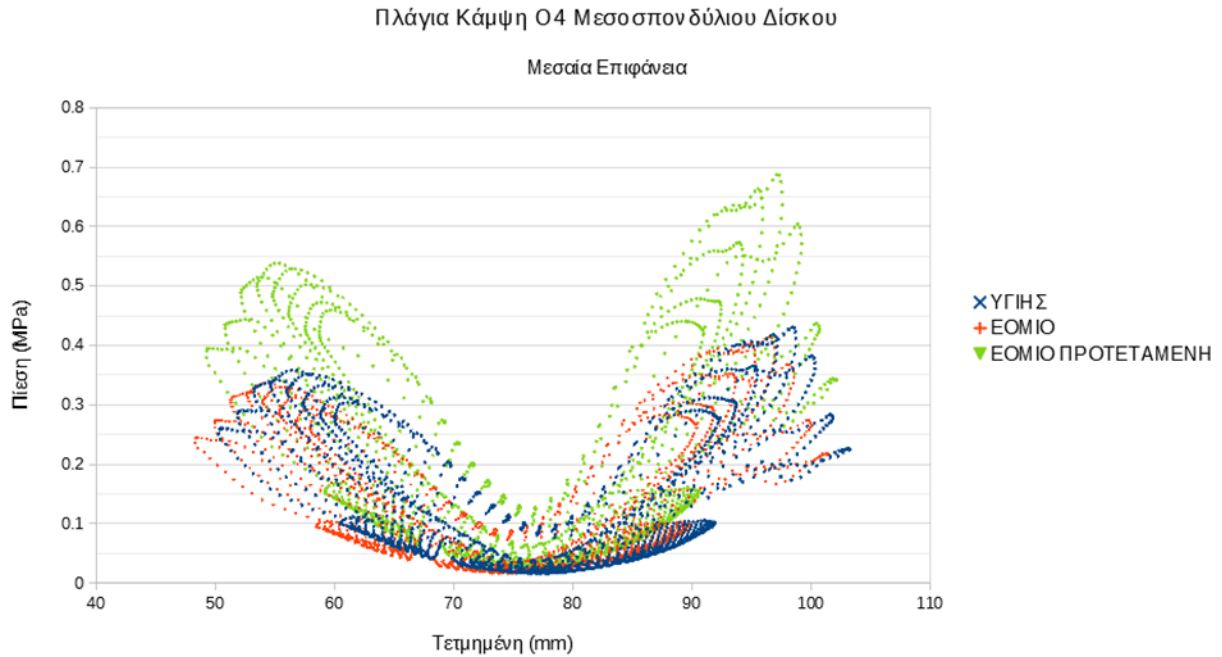
Ο4 Μεσοσπονδύλιος δίσκος



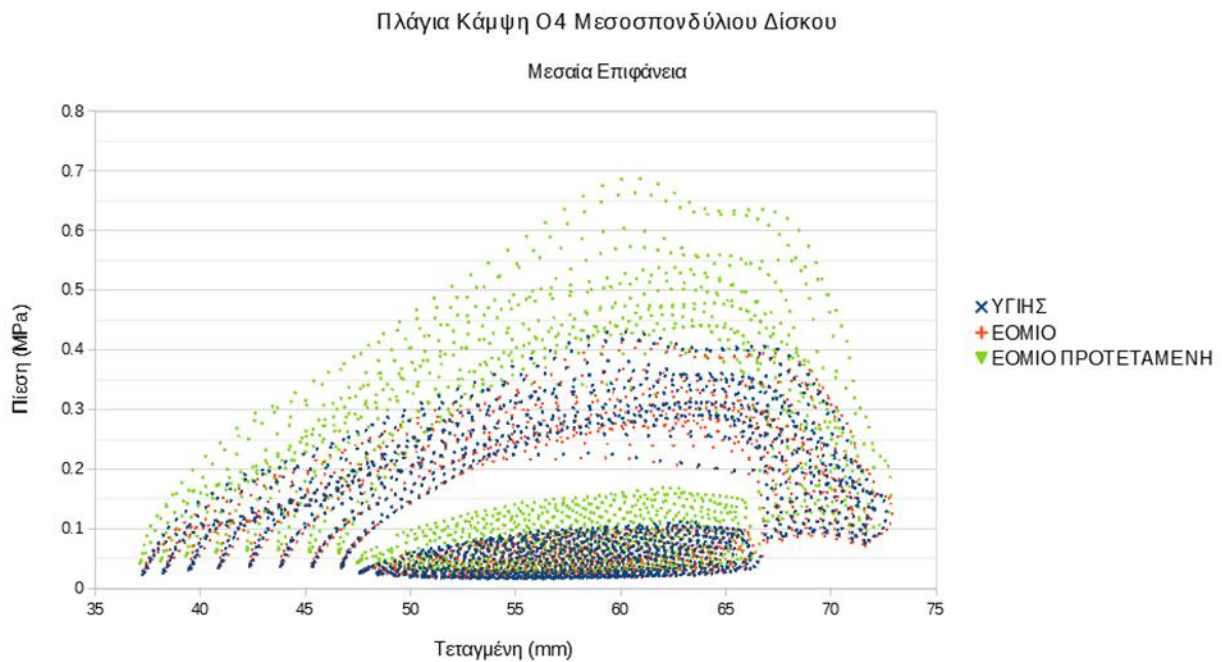
Εικόνα 119. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 120. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



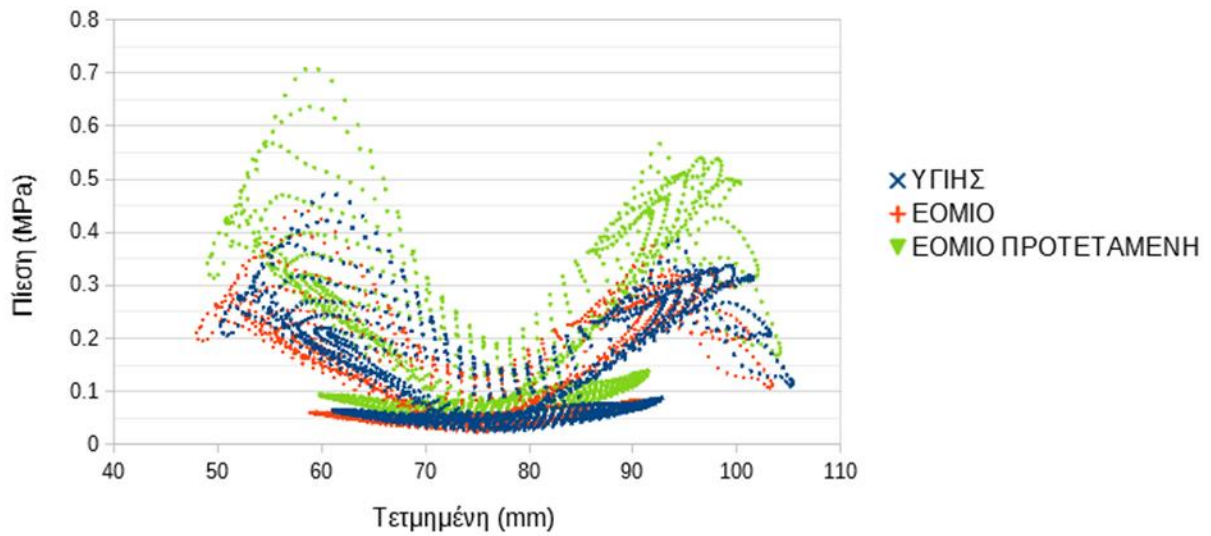
Εικόνα 121. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 122. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Πλάγια Κάμψη Ο4 Μεσοσπονδύλιου Δίσκου

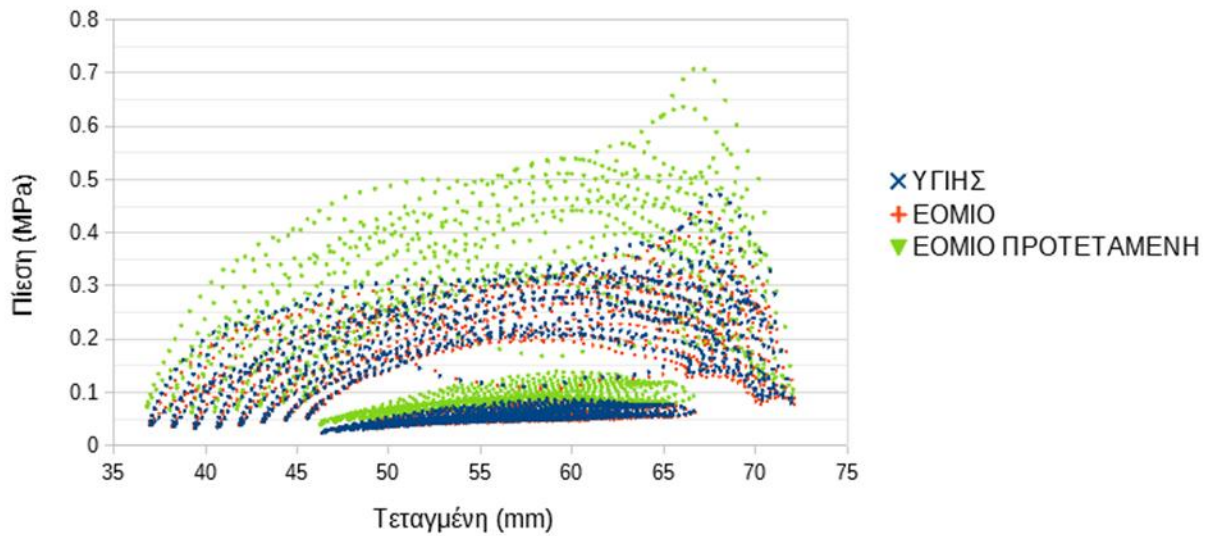
Άνω Επιφάνεια



Εικόνα 123. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

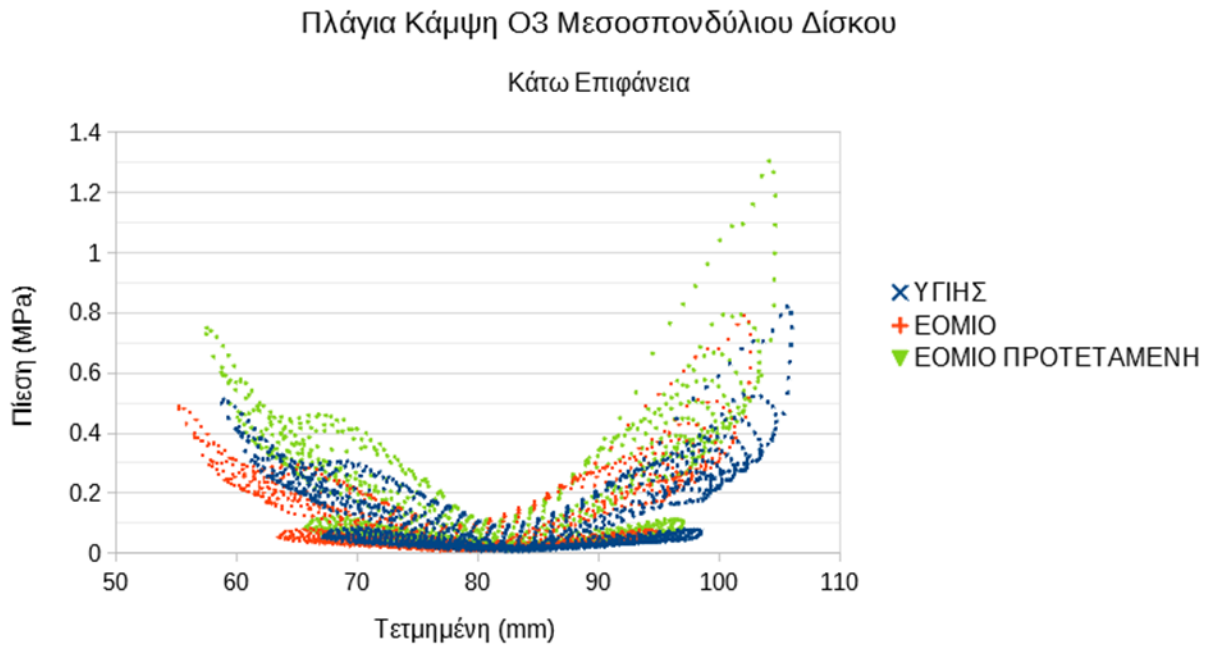
Πλάγια Κάμψη Ο4 Μεσοσπονδύλιου Δίσκου

Άνω Επιφάνεια

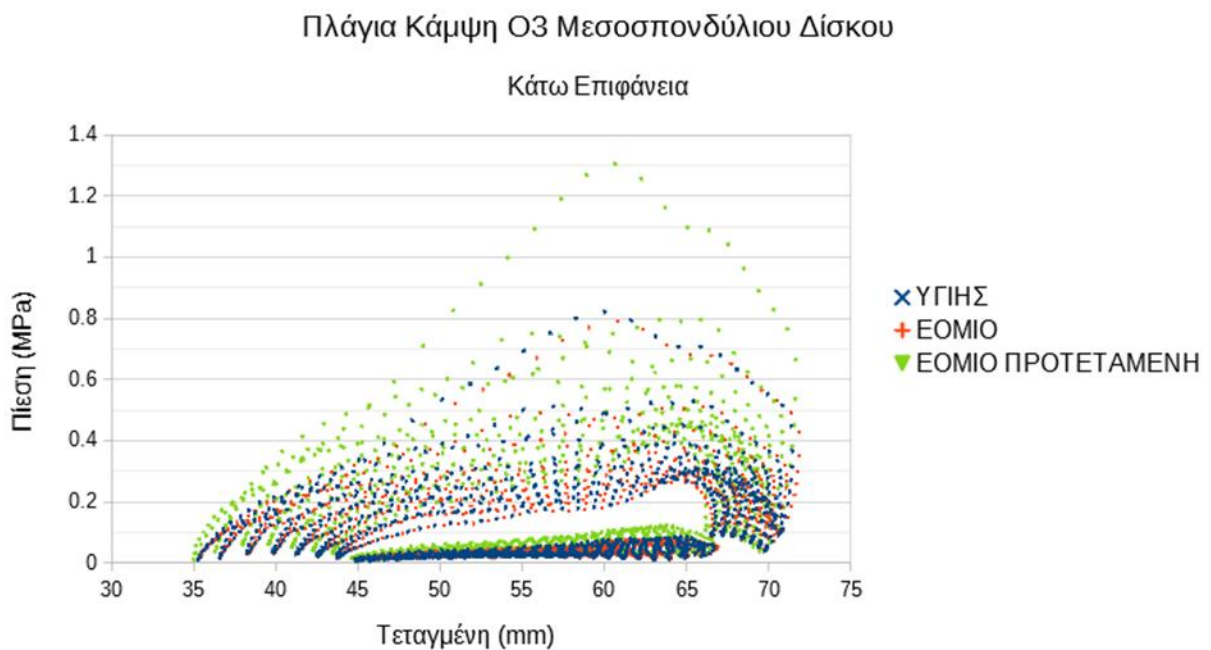


Εικόνα 124. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του Ο4 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

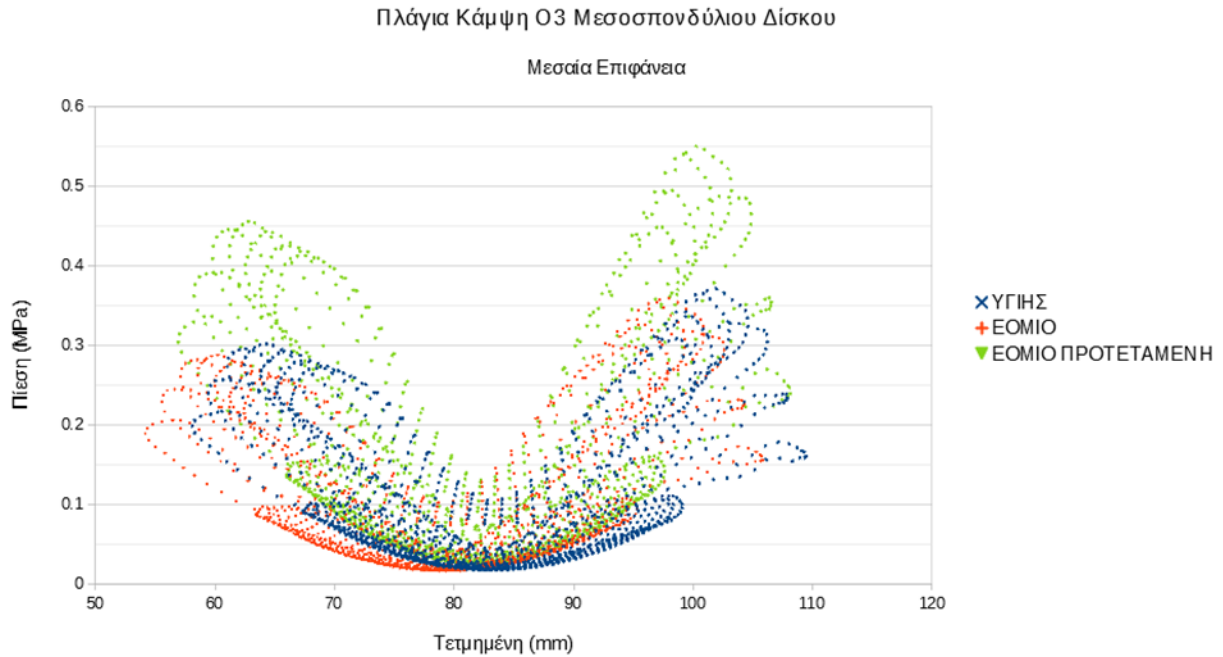
Ο3 Μεσοσπονδύλιος δίσκος



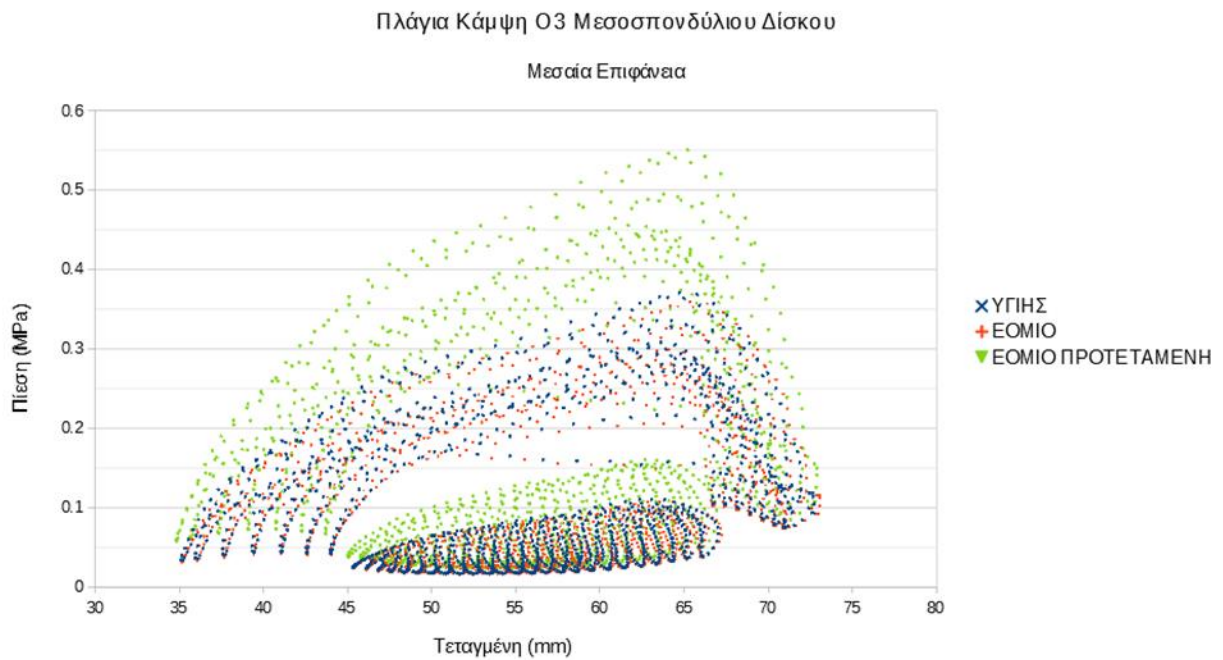
Εικόνα 125. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



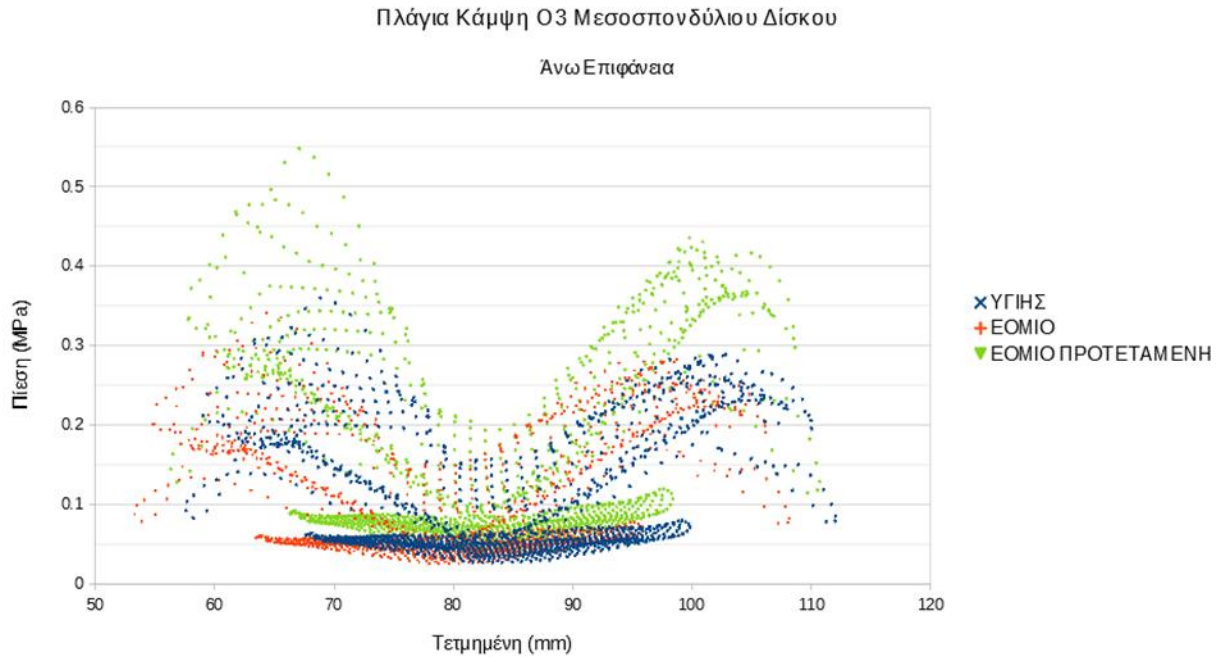
Εικόνα 126. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



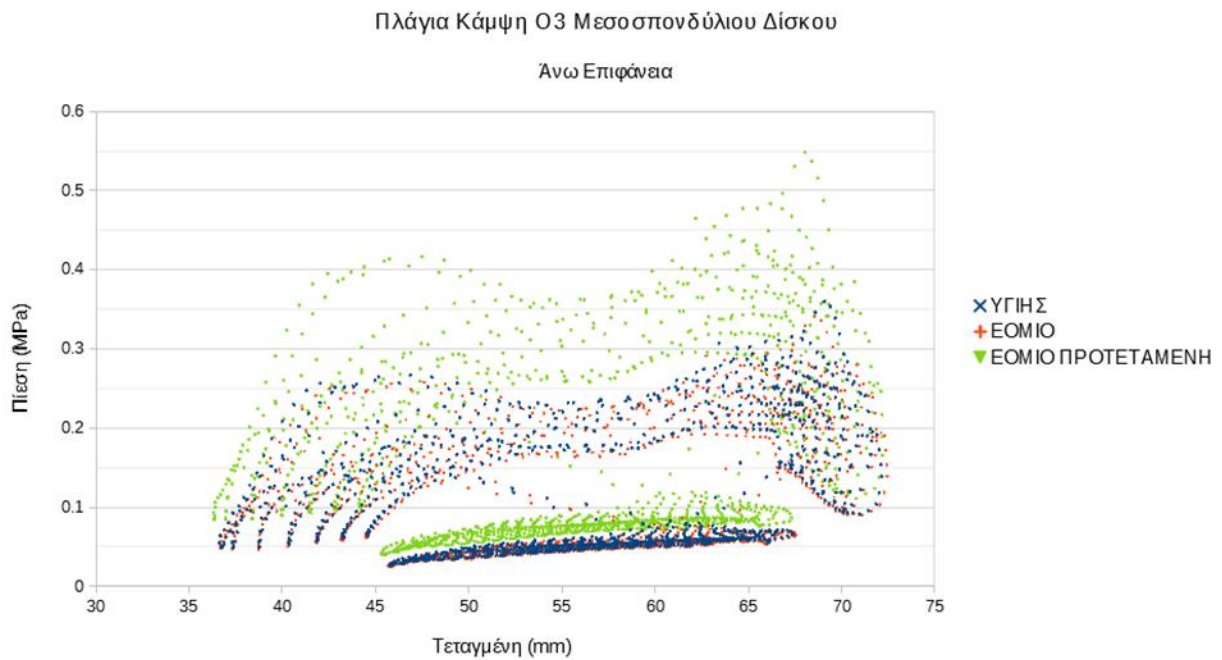
Εικόνα 127. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 128. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του Ο3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

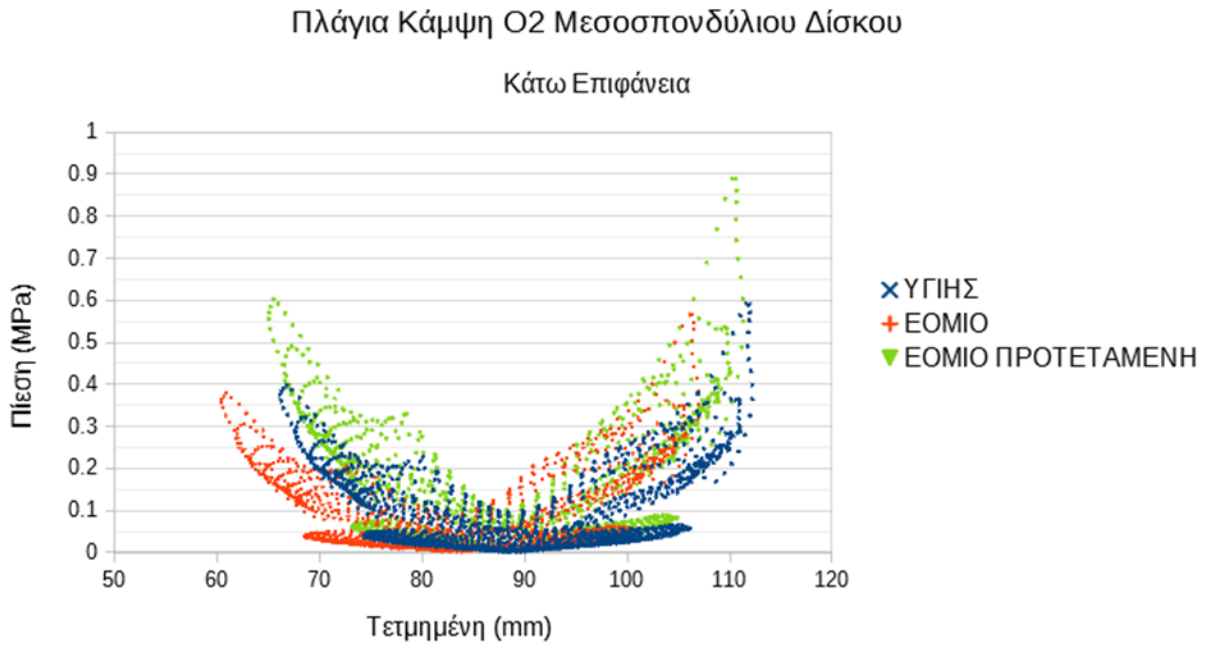


Εικόνα 129. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

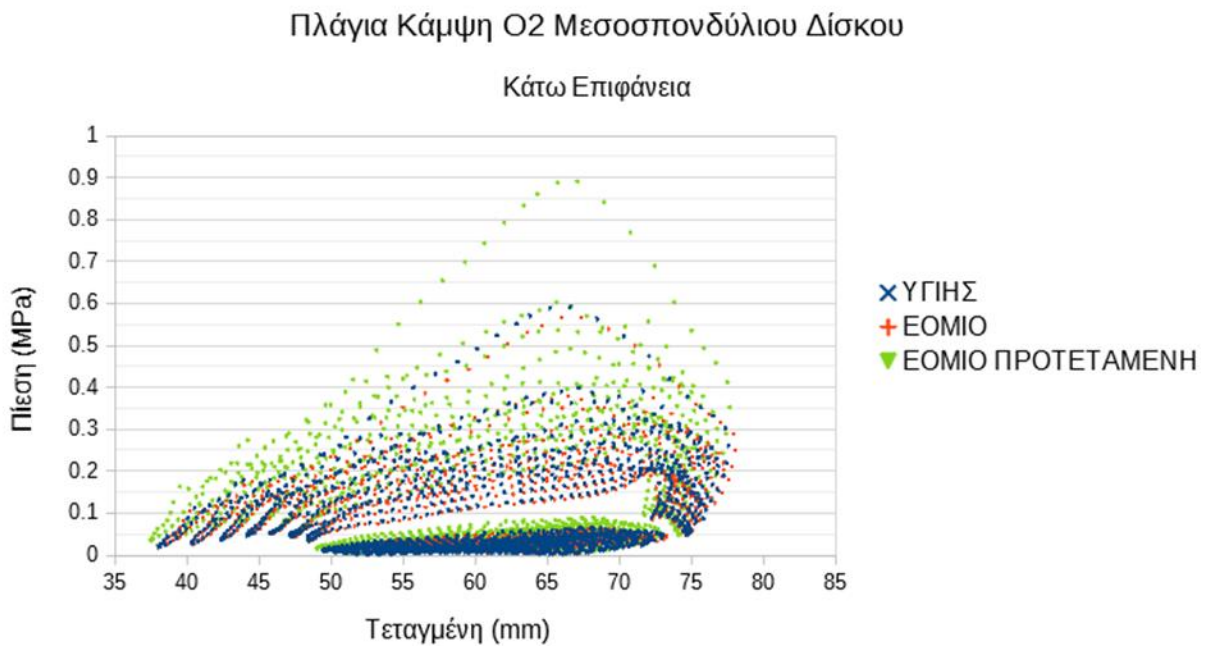


Εικόνα 130. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη άνω επιφάνεια του O3 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

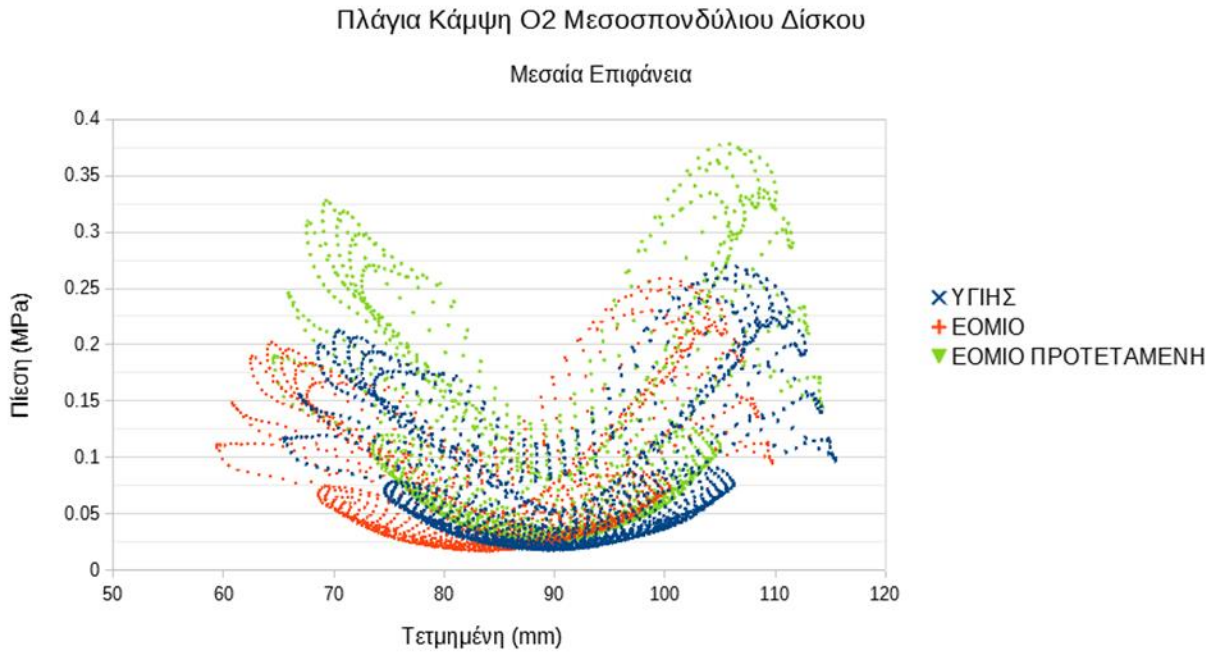
Ο2 Μεσοσπονδύλιος δίσκος



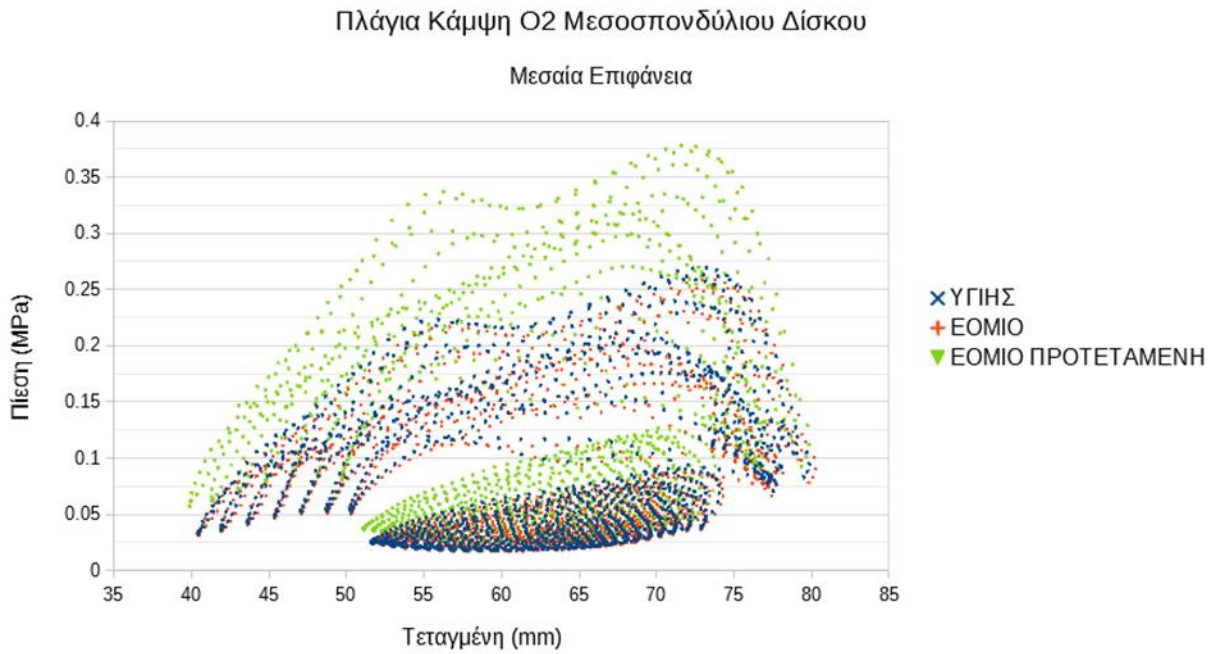
Εικόνα 131. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



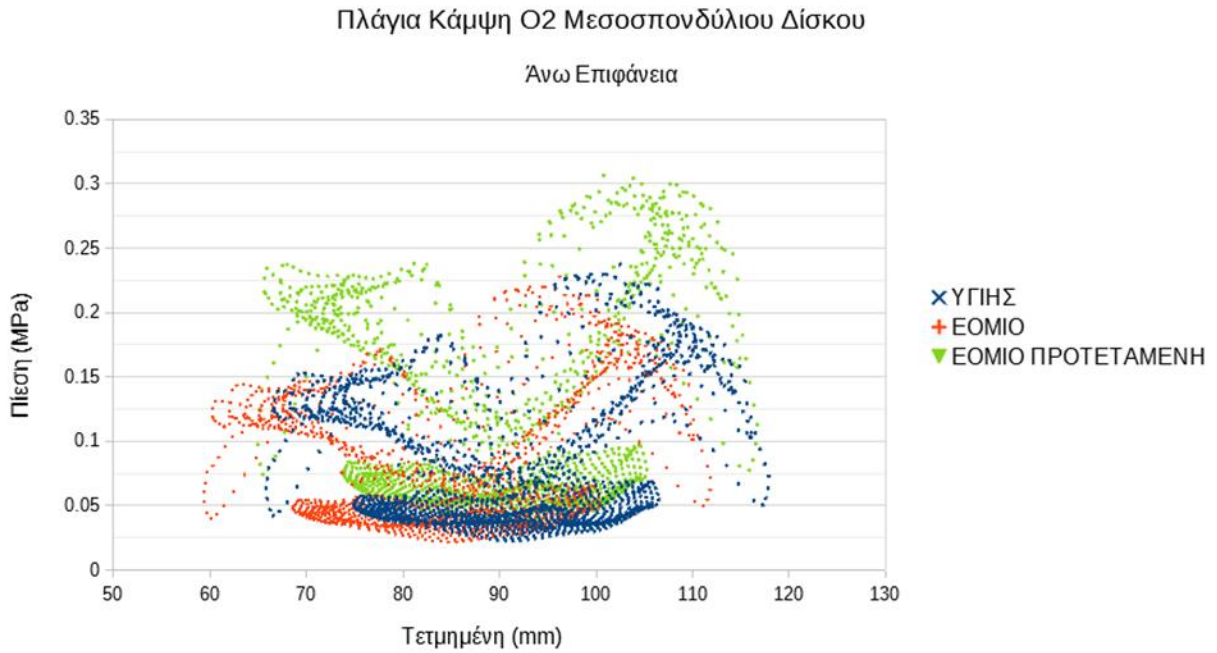
Εικόνα 132. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα y για τη κάτω επιφάνεια του Ο2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



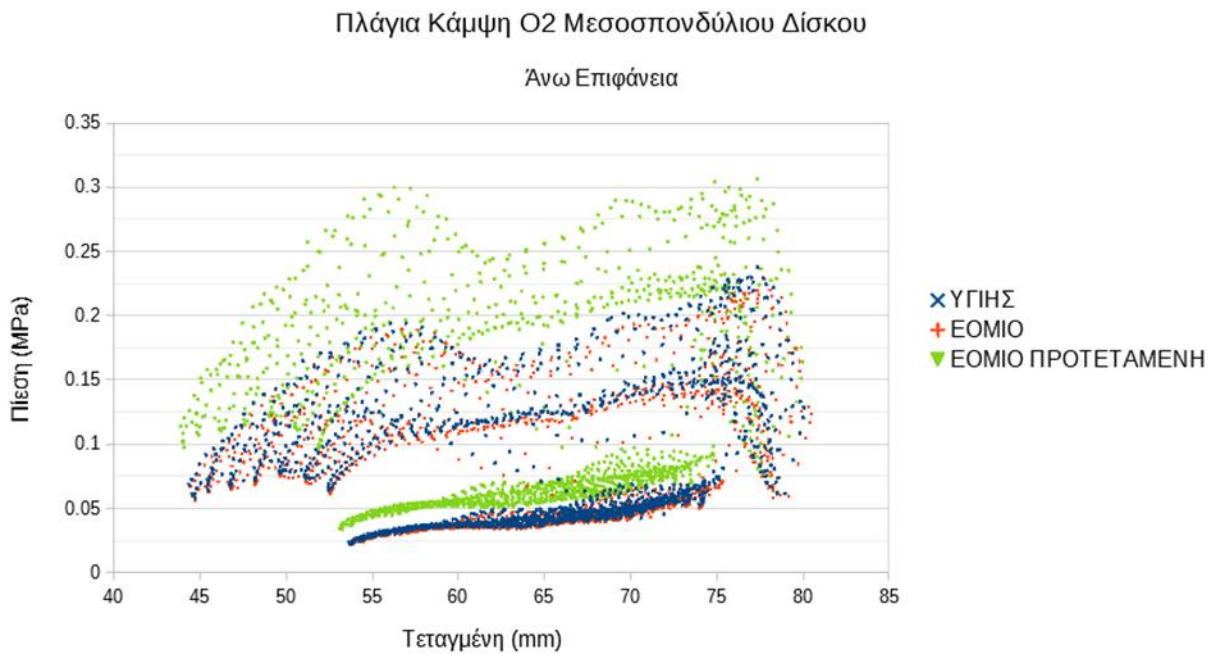
Εικόνα 133. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη μεσαία επιφάνεια O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 134. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη μεσαία επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

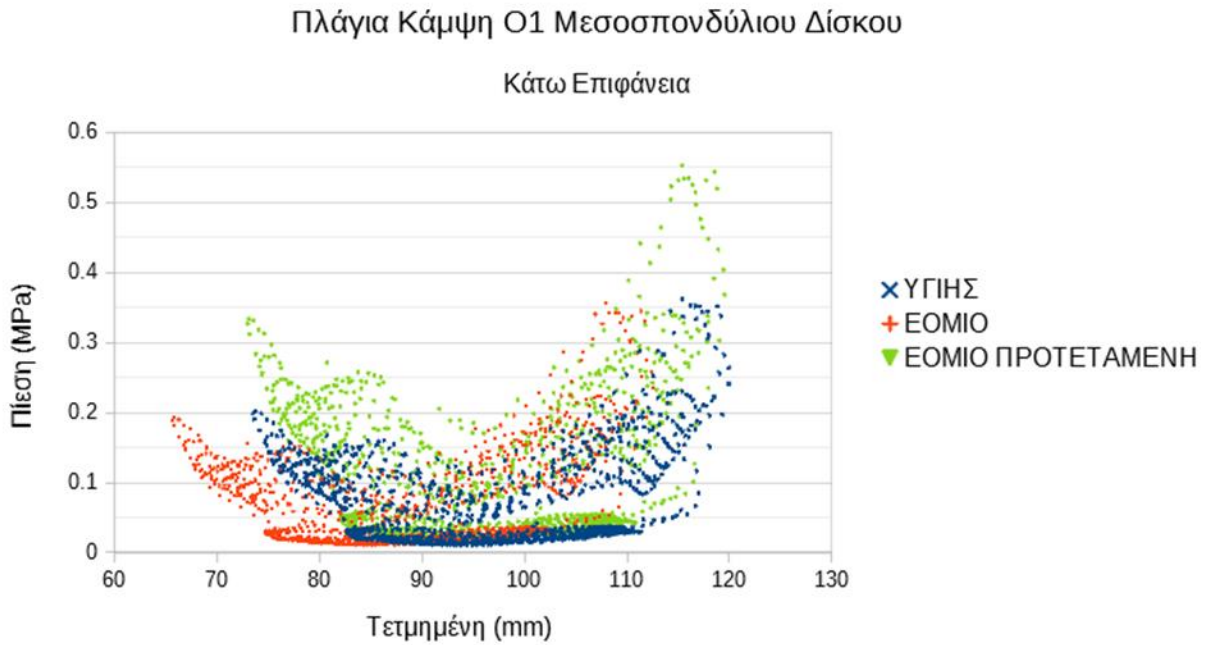


Εικόνα 135. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη άνω επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

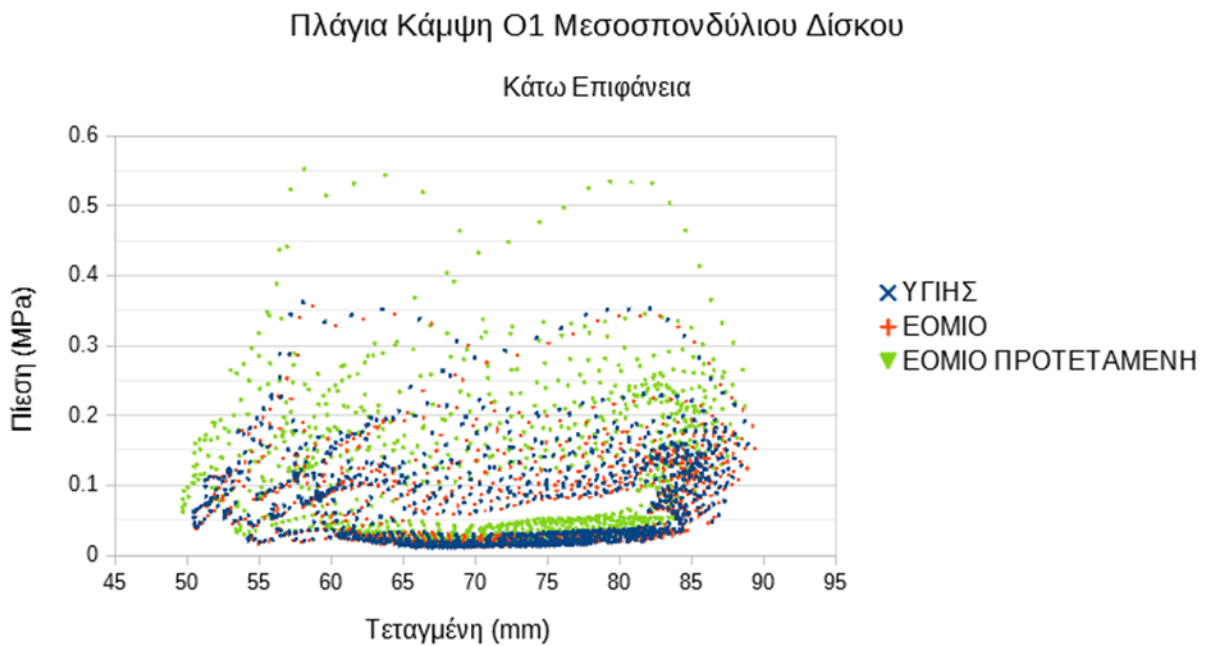


Εικόνα 136. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη άνω επιφάνεια του O2 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

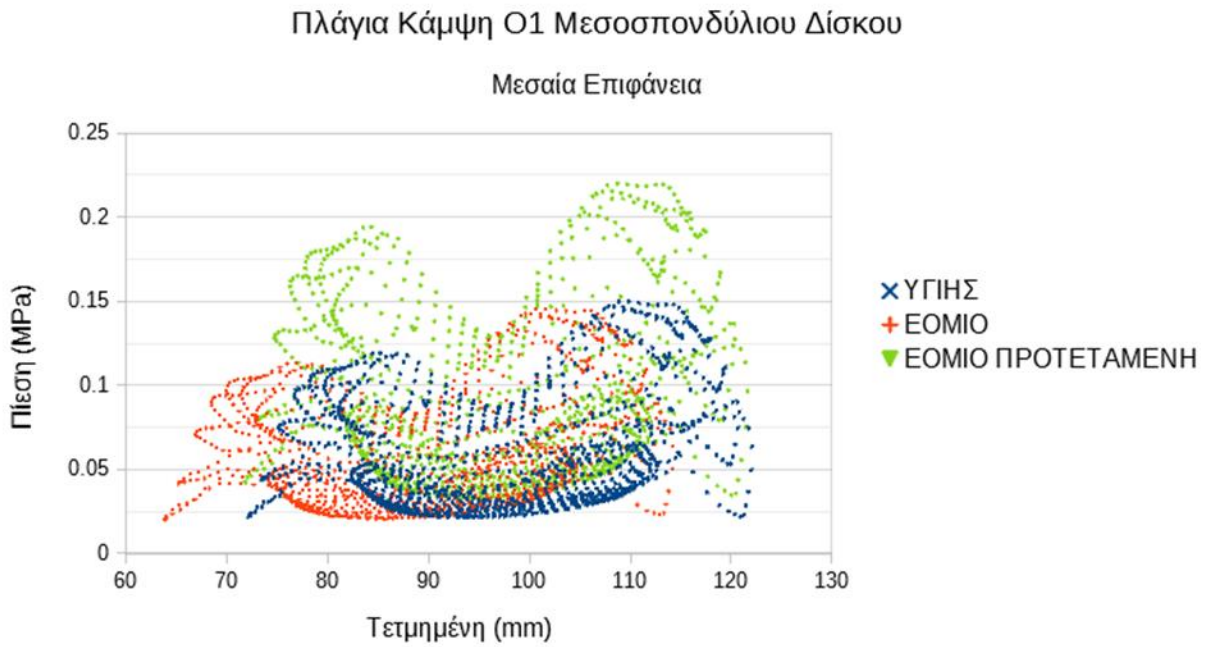
Ο1 Μεσοσπονδύλιος δίσκος



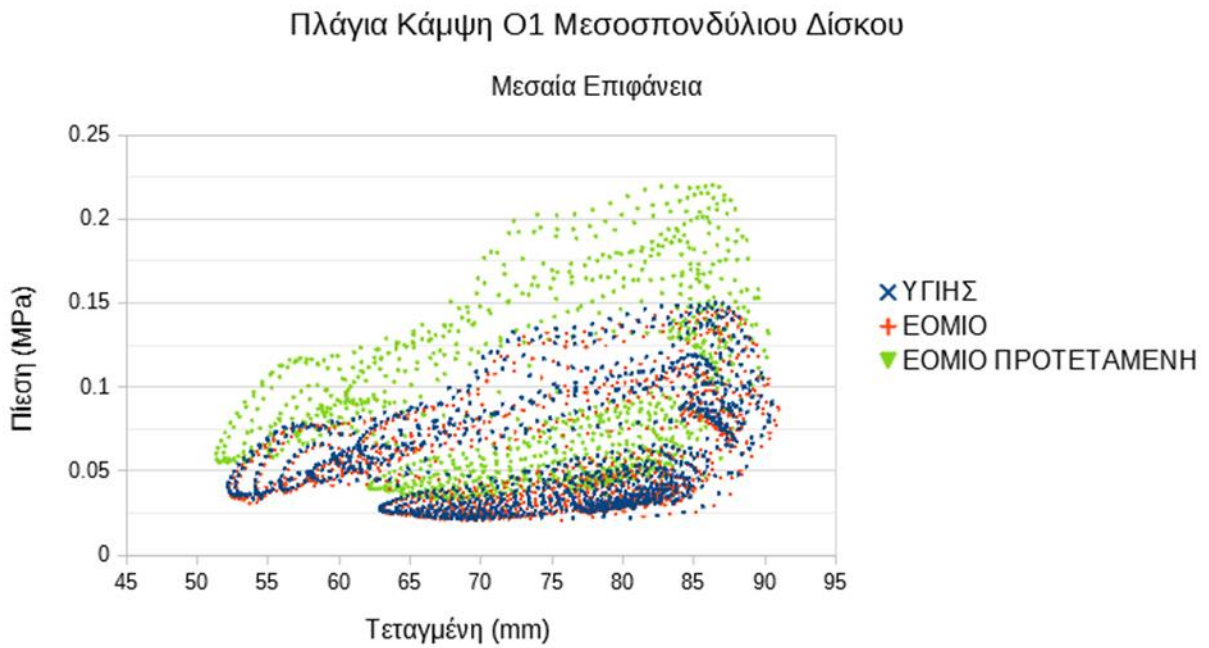
Εικόνα 137. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



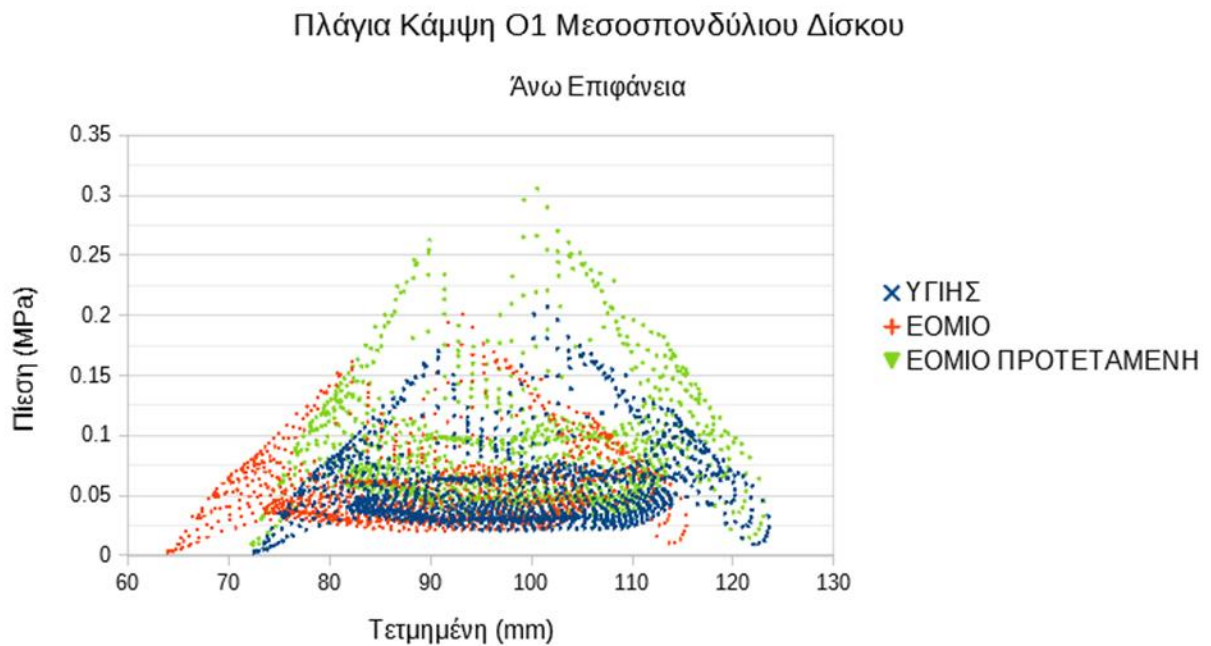
Εικόνα 138. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



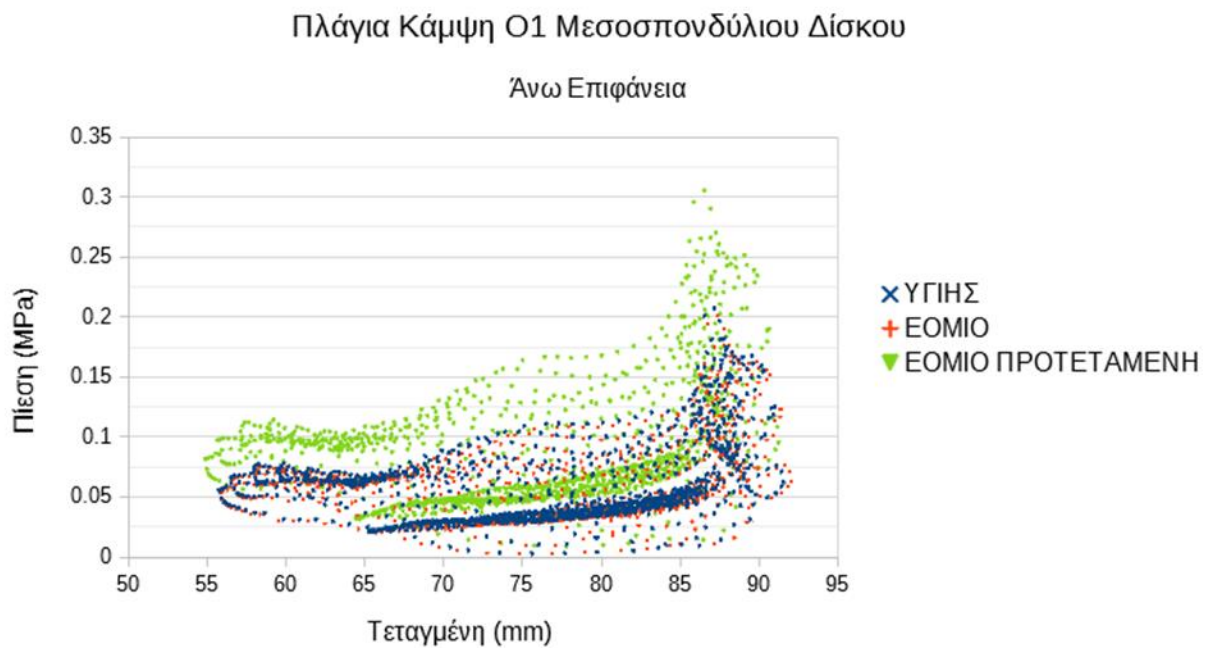
Εικόνα 139. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 140. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 141. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα x για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.



Εικόνα 142. Κατανομή τάσεων ως προς τον άξονα γ για τη κάτω επιφάνεια του Ο1 μεσοσπονδύλιου δίσκου που υπόκειται σε πλάγια κάμψη.

Στρέψη		O5 Κάτω	O5 Μεσαία	O5 Άνω	O4 Κάτω	O4 Μεσαία	O4 Άνω	O3 Κάτω	O3 Μεσαία	O3 Άνω	O2 Κάτω	O2 Μεσαία	O2 Άνω	O1 Κάτω	O1 Μεσαία	O1 Άνω	
ΥΠΗΣ	Λοξότητα X	0,057194234	0,18343723	0,194119484	-0,49760859	-0,44374373	-0,37111971	-0,41355365	-0,2938626	-0,24398755	-0,23214738	-0,17956781	-0,13533978	-0,34011929	-0,26485935	-0,26660643	
	Λοξότητα Y	0,024633883	0,038744045	0,228064001	-0,17775346	-0,10645974	-0,03006591	-0,00320203	0,104213602	0,177420899	0,06863748	0,168546628	0,257299201	0,158689564	0,00920871	-0,01583024	
	Κυρτότητα X	-1,58424357	-1,35313424	-1,2670968	-1,15499605	-1,05610558	-1,08488033	-1,0388963	-1,01254314	-1,01539714	-1,27925264	-1,18103511	-1,21593368	-1,13577255	-1,22305162	-1,20176316	
	Κυρτότητα Y	-1,21762141	-1,01630937	-0,98702658	-1,06997416	-0,99189519	-1,03084635	-1,22716477	-1,10478577	-1,24259911	-0,97775306	-0,94980688	-1,10433075	-1,20731483	-1,23219792	-1,31657415	
ΕΟΜΙΟ	Λοξότητα X	0,143818666	0,250270902	0,23278997	-0,49263201	-0,43993446	-0,36360812	-0,40196441	-0,28354967	-0,23101586	-0,21569919	-0,16340296	-0,11901979	-0,32229188	-0,25188411	-0,25418134	
	Λοξότητα Y	0,079198919	0,025690445	0,258561571	-0,18313081	-0,11069275	-0,04380023	-0,01097243	0,092697629	0,160590725	0,053737802	0,150867394	0,237776368	0,149708406	-0,00759907	-0,03553476	
	Κυρτότητα X	-1,53270192	-1,1884966	-1,03544244	-1,17171817	-1,06991121	-1,1028916	-1,05843343	-1,02746832	-1,03040562	-1,29379393	-1,19306074	-1,22326219	-1,16429304	-1,24193716	-1,21737535	
	Κυρτότητα Y	-1,13910256	-0,97439894	-0,94246153	-1,06260678	-0,98135179	-1,02282418	-1,23429814	-1,11785746	-1,26600935	-1,0017273	-0,97249313	-1,13987616	-1,22117312	-1,2369898	-1,32564245	
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Λοξότητα X	0,101090615	0,201625033	0,266443794	-0,33924921	-0,2782921	-0,20144658	-0,34256824	-0,22822144	-0,15732471	-0,18852476	-0,13745208	-0,07303231	-0,29038089	-0,21329845	-0,20742237	
	Λοξότητα Y	0,114213739	0,071526793	0,242026155	-0,26580255	-0,17665027	-0,12070881	-0,021774223	0,095628937	0,151686264	0,048459607	0,14579696	0,227779092	0,134948955	-0,03369139	-0,07104113	
	Κυρτότητα X	-1,50749401	-1,18748722	-1,00628849	-1,38039064	-1,32302673	-1,33560243	-1,13267585	-1,11931412	-1,14072681	-1,302062	-1,22169015	-1,26508521	-1,20309668	-1,27269476	-1,25262689	
	Κυρτότητα Y	-1,12465893	-0,9449321	-0,97106987	-1,06097751	-1,0176514	-1,10100663	-1,1924651	-1,11002325	-1,29048717	-0,98347671	-0,98347972	-1,16485285	-1,22519034	-1,24261182	-1,32928753	
Πρόσθια Κάμψη	ΥΠΗΣ	Λοξότητα X	0,034312252	0,070036126	0,135407625	0,231802675	0,122120542	0,209059832	0,08821753	0,100134672	0,157318093	0,123991484	0,110993235	0,173150233	-0,00165256	0,04783635	0,071577039
	Λοξότητα Y	0,257418312	0,147605306	0,200046518	0,085206444	0,058523794	-0,06168025	-0,03008852	0,058647814	-0,06582659	0,055931852	0,121193748	0,05558814	0,08982574	-0,2193605	-0,4493031	
	Κυρτότητα X	-1,23791564	-1,02020174	-0,98118374	-1,25266396	-1,15485625	-1,09310389	-1,13028567	-0,9844681	-0,9165252	-1,15471747	-1,01356272	-0,98099832	-1,2022106	-1,16384871	-1,13211057	
	Κυρτότητα Y	-1,47592472	-1,44734508	-1,36255331	-1,30955641	-1,12607806	-1,11418164	-1,45078713	-1,2640997	-1,33703857	-1,39124708	-1,2159323	-1,29250535	-1,47321362	-1,28321184	-1,0585301	
ΕΟΜΙΟ	Λοξότητα X	-0,49719333	-0,36671938	-0,22149863	0,220386686	0,117043376	0,204323396	0,087021484	0,098843714	0,154728524	0,122728732	0,111209039	0,17335932	-0,00335036	0,047649853	0,071214832	
	Λοξότητα Y	0,196908254	0,191603028	0,254044331	0,093860941	0,067225116	-0,06030667	-0,01701756	0,065752324	-0,06418938	0,07907609	0,139656264	0,065222989	0,118746572	-0,1973342	-0,43799706	
	Κυρτότητα X	-1,04984309	-0,99767738	-1,11284905	-1,26002161	-1,16233659	-1,10416279	-1,13189343	-0,98669162	-0,91971511	-1,15547951	-1,01367505	-0,98087204	-1,19950627	-1,1618537	-1,12697845	
	Κυρτότητα Y	-1,07830257	-0,87112466	-0,99992105	-1,28394473	-1,10095416	-1,11148361	-1,44250509	-1,25882377	-1,34070569	-1,37048346	-1,19980892	-1,29340834	-1,45552496	-1,29107609	-1,0777791	
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Λοξότητα X	-0,52472232	-0,39150718	-0,25064948	0,106587047	0,012241752	0,07620137	0,085358056	0,091949798	0,161173477	0,126158655	0,105587236	0,160193265	-0,00423401	0,043828299	0,07440811	
	Λοξότητα Y	0,193026309	0,204992769	0,305617847	-0,07269622	-0,09549182	-0,09636485	-0,10448204	0,020442363	-0,05166495	-0,01404717	0,060359674	0,020465447	0,021227734	-0,2610633	-0,43960973	
	Κυρτότητα X	-1,00886621	-0,96788441	-1,09464027	-1,29130125	-1,12999155	-1,08802815	-1,12453155	-0,97766082	-0,8956932	-1,15180554	-1,01639822	-0,98797058	-1,20226801	-1,16839468	-1,1479074	
	Κυρτότητα Y	-1,07789213	-0,8562906	-0,9331117	-1,53098247	-1,36293413	-1,24376136	-1,50730475	-1,3149745	-1,32759194	-1,4377502	-1,26267132	-1,29299358	-1,50139033	-1,26310667	-1,03772123	
Πλάγια Κάμψη	ΥΠΗΣ	Λοξότητα X	-0,06853572	0,16570671	0,100506554	-0,13307174	-0,11656876	-0,10242869	-0,19222515	-0,07712687	-0,04353204	-0,20373221	-0,12983807	-0,10930371	-0,26828416	-0,1799728	-0,09635186
	Λοξότητα Y	-0,36403173	-0,22097144	-0,2782938	-0,39416329	-0,42556635	-0,36466264	-0,225460293	-0,4835925	-0,44967776	-0,45975345	-0,38997984	-0,36406491	-0,38300385	-0,6154179	-0,61275376	
	Κυρτότητα X	-1,61575777	-1,43661356	-1,34438522	-1,63083333	-1,56959771	-1,45248267	-1,53748853	-1,46810155	-1,27816465	-1,55066558	-1,41110878	-1,21497069	-1,36568184	-1,28497567	-1,09694754	
	Κυρτότητα Y	-1,07332212	-0,94947715	-0,9947955	-0,75444735	-0,65164201	-0,79032528	-0,80745663	-0,83101383	-0,99909283	-0,86979499	-0,89188842	-1,03291179	-1,22402141	-0,82660131	-0,86928666	
ΕΟΜΙΟ	Λοξότητα X	0,198085134	0,263423512	0,346576951	-0,15832682	-0,13608573	-0,12351684	-0,20670273	-0,09540877	-0,05960539	-0,22131937	-0,14914445	-0,1250129	-0,29246946	-0,19905774	-0,10838754	
	Λοξότητα Y	-0,10476074	-0,09559064	0,041626376	-0,39292611	-0,40768886	-0,35753684	-0,54188039	-0,47423185	-0,44145747	-0,44736905	-0,37691142	-0,35051303	-0,37229035	-0,60401638	-0,6005732	
	Κυρτότητα X	-1,41292699	-1,3049993	-1,31314205	-1,61845213	-1,5594346	-1,44618107	-1,52895389	-1,46219069	-1,27480867	-1,539114	-1,40277091	-1,21046105	-1,34355115	-1,27044649	-1,08936066	
	Κυρτότητα Y	-1,00257283	-0,8603768	-1,06741335	-0,75826865	-0,66652333	-0,79555656	-0,80356159	-0,82942697	-0,99251933	-0,86295436	-0,88976149	-1,02761237	-1,22209008	-0,83482049	-0,87186524	
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Λοξότητα X	0,194065831	0,281654535	0,353409082	-0,1600336	-0,1029785	-0,11976496	-0,16825152	-0,0391944	-0,02484793	-0,15477315	-0,07907976	-0,07860492	-0,19755243	-0,11131565	-0,07043175	
	Λοξότητα Y	-0,10933927	-0,09944007	0,0409037	-0,39701852	-0,40135832	-0,34355803	-0,52245011	-0,45176902	-0,39549456	-0,41334186	-0,34160632	-0,29098997	-0,37169054	-0,59892251	-0,59719053	
	Κυρτότητα X	-1,4164025	-1,29637899	-1,31318098	-1,61782274	-1,57378386	-1,45504536	-1,55325606	-1,48857218	-1,30311186	-1,58654087	-1,45111249	-1,25642357	-1,42051954	-1,32266327	-1,10611022	
	Κυρτότητα Y	-1,00050305	-0,86009289	-1,06576121	-0,74596616	-0,66777083	-0,80933003	-0,8145641	-0,84458322	-1,03127377	-0,87270712	-0,90009469	-1,05381593	-1,21444592	-0,8243024	-0,8611072	

Πίνακας 3. Λοξότητα και κυρτότητα σε άξονες x και y αντίστοιχα για όλες τις επιφάνειες

Στρέψη		05 Κάτω	05 Μεσαί	05 Άνω	04 Κάτω	04 Μεσαί	04 Άνω	03 Κάτω	03 Μεσαί	03 Άνω	02 Κάτω	02 Μεσαί	02 Άνω	01 Κάτω	01 Μεσαί	01 Άνω
ΥΓΙΗΣ	Μέγιστη	0,582265	0,406514	0,532726	0,665447	0,348066	0,353449	0,448136	0,301282	0,370278	0,384058	0,294296	0,485377	0,857016	0,326619	0,469075
	Ελάχιστη	0,004918	0,009854	0,008256	0,013336	0,006587	0,004734	0,004733	0,007674	0,005495	0,004048	0,010088	0,007578	0,013977	0,009692	0,007262
ΕΟΜΙΟ	Μέγιστη	0,394551	0,249903	0,32359	0,65771	0,344971	0,350681	0,446298	0,301188	0,368177	0,382712	0,293772	0,483266	0,856277	0,326356	0,465732
	Ελάχιστη	0,00948	0,030089	0,035664	0,013319	0,006525	0,003281	0,005783	0,007795	0,005628	0,003046	0,009818	0,007533	0,014768	0,010296	0,007294
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Μέγιστη	0,370614	0,280547	0,38666	0,75635	0,404699	0,461406	0,405072	0,285375	0,360335	0,358987	0,277963	0,474718	0,79608	0,313288	0,476418
	Ελάχιστη	0,013785	0,033123	0,039136	0,004537	0,004686	0,005428	0,003496	0,009297	0,011605	0,015283	0,019842	0,013107	0,010218	0,008428	0,006188
Πρόσθια Κάμψη ΥΓΙΗΣ	Μέγιστη	0,519305	0,377926	0,555199	0,269557	0,19522	0,179381	0,245998	0,167939	0,152199	0,166657	0,138609	0,147539	0,337516	0,098102	0,134453
	Ελάχιστη	0,005746	0,004101	0,023079	0,008777	0,018037	0,009118	0,013557	0,009771	0,018861	0,007692	0,010898	0,002447	0,016206	0,014108	0,01686
ΕΟΜΙΟ	Μέγιστη	0,313305	0,197053	0,273789	0,256427	0,185238	0,169169	0,238418	0,16291	0,147959	0,161795	0,134986	0,144158	0,330256	0,096585	0,130808
	Ελάχιστη	0,004794	0,005804	0,01321	0,009829	0,01922	0,007204	0,013579	0,009124	0,018726	0,007808	0,010172	0,003684	0,015854	0,012943	0,017142
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Μέγιστη	0,472942	0,300832	0,428761	0,682674	0,412462	0,395257	0,37718	0,257923	0,233936	0,243933	0,20005	0,210214	0,475977	0,134231	0,182449
	Ελάχιστη	0,007103	0,005784	0,017464	0,005103	0,031942	0,013671	0,013526	0,023005	0,002638	0,008038	0,02061	0,005945	0,021579	0,022757	0,020996
Πλάγια Κάμψη ΥΓΙΗΣ	Μέγιστη	0,747107	0,453424	0,709225	0,870996	0,429755	0,469841	0,818915	0,370512	0,359187	0,589852	0,268826	0,237109	0,360862	0,14952	0,206668
	Ελάχιστη	0,002613	0,006789	0,00616	0,013905	0,01617	0,023885	0,005946	0,016345	0,025821	0,001394	0,01758	0,022398	0,010292	0,021217	0,002268
ΕΟΜΙΟ	Μέγιστη	0,304892	0,222115	0,407531	0,834513	0,413679	0,438184	0,787928	0,358672	0,340739	0,564348	0,257758	0,227555	0,355916	0,14514	0,200018
	Ελάχιστη	0,017126	0,019981	0,002658	0,024761	0,015482	0,023037	0,005345	0,015528	0,024467	0,001307	0,01669	0,02141	0,009887	0,020198	0,002145
ΕΟΜΙΟ ΠΡΟΤΕΤΑΜΕΝΗ	Μέγιστη	0,494498	0,363447	0,646628	1,516073	0,685754	0,705681	1,301243	0,549727	0,547234	0,887521	0,377247	0,305613	0,5509	0,219356	0,304435
	Ελάχιστη	0,027665	0,028802	0,003347	0,022542	0,025569	0,037891	0,007322	0,023405	0,038862	0,002691	0,023746	0,032995	0,014132	0,032356	0,008063

Πίνακας 4. Μέγιστη και ελάχιστη πίεση που αναπτύσσονται σε όλες τις μελετώμενες επιφάνειες

