



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΧΕΡΣΑΙΩΝ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ-
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΝΡΚ στοιχειομετρία και βιομετρικά χαρακτηριστικά φύλλων του
υπολείμματος της Τριτογενούς περιόδου και ενδημικού είδους της
Κρήτης *Zelkova abelicea* (Lam.) Boiss.**



ΜΑΡΙΑ-ΕΙΡΗΝΗ ΑΔΑΜΟΓΙΑΝΝΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΕΡΓΙΟΣ ΠΥΡΙΝΤΣΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2013

Τριμελής Συμβουλευτική και Εξεταστική Επιτροπή:

Στέργιος Πυρίντσος, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων καθηγητής)

Κυριάκος Κοτζαμπάσης, Καθηγητής (Μέλος)

Ιωάννης Βόντας, Αναπληρωτής Καθηγητής (Μέλος)

Ευχαριστίες

Μετά το πέρας της μεταπτυχιακής αυτής διατριβής, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Οικολογίας Φυτών και Διαχείρισης Χερσαίων Οικοσυστημάτων του Τμήματος Βιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου κύριο Στέργιο Πυρίντσο για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλάβω ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, την καθοδήγηση, την καλή συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα και για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου παρείχε, χωρίς τις οποίες θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κύριο Κυριάκο Κοτζαμπάση και κύριο Ιωάννη Βόντα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην Marta Bosque με την οποία συνεργαστήκαμε άψογα και βγάλαμε εις πέρας τις δειγματοληψίες στο πεδίο. Επίσης, ευχαριστώ πάρα πολύ τον Μιχάλη Μπαριωτάκη που με βοήθησε από την αρχή ως το τέλος σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Pablo Arechavala, την Κωνσταντίνα Κουτρούμπα, τον Φώτη Μπεκρή και την Χαρά Αλμπάνη για τις συμβουλές, τη βοήθεια και την στήριξή τους.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου εντός και εκτός επιστημονικού χώρου οι οποίοι με στήριζαν σε όλη τη διάρκεια του έτους, με άκουγαν και με συμβούλευαν. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το χρωστάω στην οικογένεια μου που με βοήθησε και με στήριξε όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	12
Περιοχή μελέτης.....	12
Το είδος <i>Z. abelicea</i>	13
Συλλογή δεδομένων και υλικού.....	15
Στοιχειακή ανάλυση	16
Βιομετρικά χαρακτηριστικά φύλλου.....	18
Επεξεργασία δεδομένων.....	20
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	21
NPK στοιχειομετρία φύλλων του είδους <i>Z. abelicea</i>	21
Βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων του είδους <i>Z. abelicea</i>	35
Σχέση μεταξύ των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων και των NPK συγκεντρώσεων στο έλασμα των φύλλων του είδους <i>Z. abelicea</i>	41
Αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης Αντιστοιχιών (CCA)	62
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	66
NPK στοιχειομετρία φύλλων του είδους <i>Z. abelicea</i>	66
Βιομετρικά χαρακτηριστικά φύλλων του είδους <i>Z. abelicea</i>	71
Σχέση βιομετρικών χαρακτηριστικών με την NPK στοιχειομετρία και άλλους πριβαλλοντικούς παράγοντες	75
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το είδος *Zelkova abelicea* (Lam.) Boiss., είναι ενδημικό της Κρήτης, αποτελεί υπολειμματικό στοιχείο της Τριτογενούς περιόδου και εμφανίζει αποσπασματική κατανομή στους ορεινούς όγκους του νησιού. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των θρεπτικών στοιχείων και των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων του είδους *Z. abelicea* στις θέσεις όπου έχουν καταγραφεί οι πληθυσμοί του είδους στην Κρήτη. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η NPK στοιχειομετρία των φύλλων και από τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων το εμβαδόν (LA), η περίμετρος (LP), η εσωτερική περίμετρος (IP), ο αριθμός των δοντιών (NT), το εμβαδόν των δοντιών (TA), το μήκος (L) και το πλάτος (W) των φύλλων καθώς και κάποιοι λόγοι αυτών των χαρακτηριστικών. Από την παρούσα μελέτη φάνηκε ότι η NPK στοιχειομετρία και πολλά βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων παρουσιάζουν σημαντική φαινοτυπική πλαστικότητα, που πιθανότατα σχετίζεται με τον μηχανισμό επιβίωσης του είδους τόσο στις κλιματικές, όσο και σε άλλες μεταβολές που συντελέστηκαν από την περίοδο του Τριτογενούς έως σήμερα. Η πλαστικότητα αυτή ως μέρος του μηχανισμού συμβάλλει στον τρόπο με τον οποίο το είδος αντιμετωπίζει το θερμό, ξηρό και ολιγοτροφικό Μεσογειακό περιβάλλον. Η μελέτη αυτή αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας για την μελέτη όλων των ειδών του γένους *Zelkova* σε παγκόσμιο επίπεδο και στοχεύει στην κατανόηση βασικών λειτουργιών σε επίπεδο οικοσυστήματος με απώτερο σκοπό τη συμβολή στη διαχείριση τους.

ABSTRACT

The species *Zelkova abelicea* (Lam.) Boiss., an endemic of Crete, constitutes a relict of tertiary period and has a disjuncted distribution across the island's mountain ranges. This study aims to investigate nutrient concentration and biometric characteristics of *Z. abelicea* leaves from different sites in Crete, where the species has been recorded. In particular, the NPK stoichiometry and biometric characteristics such as leaf area (LA), leaf perimeter (LP), internal perimeter (IP), number of teeth (NT), tooth area (TA), leaf length (L) and leaf width (W), as well as selected ratios of the above. Results indicate that NPK stoichiometry and leaf biometric characteristics show significant phenotypic plasticity, which may be related to a mechanism of persistence during climate and other environmental changes that took place from the Tertiary until now. Plasticity as part of such a mechanism may be key element for persistence in the hot, dry, oligotrophic Mediterranean environment. This study constitutes part of a wider effort for the research of all species of the genus *Zelkova* at the global level, which aims at a comprehensive understanding of basic ecosystem-level functions, with ultimate goal the contribution to the conservation of these species.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το είδος *Zelkova abelicea* (Lam.) Boiss. παρουσιάζει εξαιρετικό επιστημονικό ενδιαφέρον ως Μεσογειακό υπολειμματικό στοιχείο της Τριτογενούς περιόδου (Egli, 1997). Είναι ενδημικό της Κρήτης και ανήκει στην οικογένεια Ulmaceae (Egli, 1997; Søndergaard & Egli, 2006), μια από τις παλαιότερες οικογένειες των Αγγειοσπέρμων (Fineschi et al., 2002), η οποία περιλαμβάνει 18 γένη και 150-200 είδη δέντρων και θάμνων τα οποία κατανέμονται στις εύκρατες ζώνες των δύο ημισφαιρίων (Todzia 1993; Tutin & Walters 1993; Harlow et al., 1996; Gellini & Grossoni, 1997)

Σήμερα, το γένος *Zelkova* ως υπολειμματικό στοιχείο της Τριτογενούς δενδρώδους βλάστησης εμφανίζει μια εξαιρετικά αποσπασματική κατανομή περιλαμβάνοντας έξι μόνοικα (monoecious) δενδρώδη είδη: τρία είδη στην ανατολική Ασία (*Z. serrata*, *Z. schneideriana* και *Z. sinica*; Zheng-yi & Raven, 2003; Denk & Grimm, 2005), ένα είδος στη δυτική Ασία στις νότιες χώρες του Καυκάσου (Υπερκαυκασία, *Zelkova carpinifolia*; Denk & Grimm, 2005) και δύο Μεσογειακά είδη (νότια Ευρώπη, *Z. abelicea* και *Z. sicula*; Fineschi et al., 2002, 2004; Denk & Grimm, 2005) (Πίνακας 1). Η *Z. sicula* ανακαλύφθηκε πρόσφατα στη Σικελία (Di Pasquale et al., 1992) και μαζί με τη *Z. abelicea* αποτελούν τους δύο μοναδικούς αντιπροσώπους του κατά βάση Ασιατικού γένους στην Ευρώπη (Fineschi et al., 2002, 2004; Søndergaard & Egli, 2006).

Πίνακας 1: Τα έξι δενδρώδη είδη του γένους *Zelkova* που υπάρχουν σήμερα.

Είδη του γένους <i>Zelkova</i>	Περιοχή εξάπλωσης
<i>Z. schneideriana</i> Hand.-Mazz.	Κίνα
<i>Z. sinica</i> C. K. Schneider	Κίνα
<i>Z. serrata</i> (Thunb.) Makino	Ιαπωνία
<i>Z. carpinifolia</i> (Pall.) K. Koch	Υπερκαυκασία (Γεωργία, Αρμενία, Αζερμπαϊτζάν)
<i>Z. abelicea</i> (Lam.) Boiss.	Κρήτη (Ελλάδα)
<i>Z. sicula</i> Di Pasquale, Garfi & Quezel	Σικελία (Ιταλία)

Πολλά εκατομμύρια χρόνια πριν, το γένος *Zelkova* είχε μια ευρεία κατανομή στο Βόρειο Ημισφαίριο (Burnham, 1986). Τα παλαιότερα απολιθώματα του γένους αντιστοιχούν στην πρώιμη Καινοζωική εποχή της δυτικής Βόρειας Αμερικής (55 εκατομμύρια χρόνια πριν), μιας περιοχής από όπου σήμερα το γένος έχει εξαφανιστεί (Burnham, 1986). Στην Ευρώπη, κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου το γένος *Zelkova* περιορίστηκε σε καταφύγια, εξαφανίστηκε από την ηπειρωτική Ελλάδα κατά το Μέσο Πλειστόκαινο, διατηρήθηκε περισσότερο στην κεντρική Ιταλία, ενώ τα δυτικά Ευρασιατικά και ανατολικά Ασιατικά τάξα πιθανόν απομονώθηκαν/διαχωρίστηκαν στις αρχές του Μέσου Μειόκαινου λόγω της αυξανόμενης ξηρασίας στη κεντρική Ασία (Follieri et al., 1986; Van der Wiel & Wijmstra, 1987; Wang et al., 2001).

Επίσης σημαντικά ενδημικά γένη, όπως το γένος *Zelkova*, τα οποία επέζησαν τον τελευταίο παγετώνα του Τετραδικού σε απομονωμένες περιοχές που λειτούργησαν ως καταφύγια καθώς και σε Μεσογειακά νησιά είναι τα γένη *Albizia*, *Gleditsia*, *Juglans*, *Liquidambar*, *Parrotia* και *Pterocarya* (Quézel & Médail, 2003; Garfí et al., 2011), τα οποία πέρα από την υψηλή επιστημονική αξία που έχουν τα περισσότερα από αυτά συμβάλλουν και στην ανθρώπινη ευημερία (human welfare) (Kozłowski et al., 2012). Ειδικότερα, σήμερα σε αρκετές περιοχές συμβάλλουν στη βιομηχανία ξύλου, όπως για παράδειγμα η περίπτωση των *Parrotia* και *Zelkova* (Rackham & Moody, 1996; Kvanadze & Connor, 2005; Sefidi et al., 2011) ή χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση κλίσεων εδαφών ενάντια στη διάβρωση και τις εδαφικές καθιζήσεις (landslides), π.χ. *Gleditsia* και *Parrotia* (Bibalani et al., 2006). Ακόμη, εμφανίζουν σημαντική συνεισφορά στο τομέα της εθνοβοτανικής και/ ή της ιατρικής (Fernandez et al., 2005; Zheng et al., 2006; Ahanjan et al., 2007; Sadighara et al., 2009) ή μπορούν να χρησιμοποιούνται για την αποτοξικοποίηση του εδάφους και του νερού (Mahvi et al., 2007). Επιπλέον, αρκετά ενδημικά δέντρα μπορεί να αποτελούν σημαντικές πηγές γονιδίων ανθεκτικότητας σε παθογόνους οργανισμούς που προσβάλλουν τα φυτά. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του είδους *Zelkova abelicea*, το οποίο είναι ανθεκτικό στην «ασθένεια Dutch Elm» και θα μπορούσε να αποτελέσει μια σημαντική ταξινομική μονάδα σε προγράμματα ενίσχυσης της ανθεκτικότητας σε

παράσιτα που προσβάλλουν την οικογένεια Ulmaceae (Søndergaard & Egli, 2006).

Το γένος *Zelkova* αποτελεί το κέντρο μιας παγκόσμιας προσπάθειας της επιστημονικής κοινότητας, που έχει ως στόχο τη διατήρηση των ειδών του γένους, βασιζόμενη σε μια σειρά μελετών διαφορετικού τύπου για όλα τα είδη του γένους. Η αποσπασματική κατανομή των ειδών του γένους *Zelkova* σε πλανητικό επίπεδο, καθιστά το γένος ιδιαίτερα προκλητικό ως αντικείμενο μελέτης από πλευράς διαχείρισης, καθώς στα όρια της γεωγραφικής του εξάπλωσης εμπλέκονται διαφορετικές κουλτούρες, πολιτισμοί και διοικητικές πρακτικές.

Σήμερα τα Μεσογειακά είδη *Z. sicula* και *Z. abelicea* έχουν χαρακτηριστεί ως κινδυνεύοντα με βάση τα Κριτήρια της IUCN (Kozlowski et al., 2012). Ειδικότερα, για το είδος *Z. sicula* έχουν ανακαλυφθεί μόνο δύο πληθυσμοί παγκοσμίως από τους οποίους ο δεύτερος βρέθηκε πρόσφατα το 2009, γεγονός που χαρακτηρίζει το είδος ως το πιο κινδυνεύον του γένους (Di Pasqual et al., 1992; Garfί, 2006; Garfί et al., 2011; IUCN Red List 2011). Για το δεύτερο Μεσογειακό είδος *Z. abelicea* είναι γνωστοί σήμερα περίπου 50 φυσικοί πληθυσμοί, λόγω όμως της έντονης πίεσης που δέχονται μέσω της βόσκησης καθώς και άλλων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (π.χ. ξύλευση) η διατήρησή τους είναι ιδιαίτερα σημαντική (Søndergaard & Egli, 2006). Επίσης, το Ασιατικό είδος *Z. carpinifolia* έχει χαρακτηριστεί ως είδος χαμηλότερου κινδύνου (lower risk) σύμφωνα με την Κόκκινη Λίστα των Κατηγοριών της IUCN (Güner & Zielinski, 1998), διότι έχει παρατηρηθεί μια μείωση της κατανομής του είδους στη περιοχή του Καύκασου λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας τις τελευταίες εκατονταετίες (Kvanadze & Connor, 2005). Κανένα από τα τρία ανατολικά Ασιατικά είδη *Z. serrata*, *Z. schneideriana* και *Z. sinica* δεν έχει εκτιμηθεί με βάση τη Κόκκινη Λίστα των Κατηγοριών της IUCN και τα Κριτήρια της IUCN (IUCN's Red List Categories and Criteria, IUCN, 2001). Σε αρκετές περιοχές αυτά τα τρία είδη αποτελούν αντικείμενο υπερεκμετάλλευσης (Zheng-yi & Raven, 2003) και/ ή απειλούνται από τη διαμερισματοποίηση του ενδιαιτήματος (habitat fragmentation) (Fang et al., 2007). Σύμφωνα με τους Kozlowski et al. (2012) το είδος *Z. serrata* είναι το πιο ασφαλές είδος του γένους.

Τα Ασιατικά είδη του γένους *Zelkova* έχουν ελάχιστα μελετηθεί σε σχέση με τα Μεσογειακά είδη. Οι Kvanadze και Copnor (2005) έχουν μελετήσει το Ασιατικό είδος *Z. carpinifolia* και επικεντρώνονται σε κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με την οικολογία του είδους, την παραγωγικότητα της γύρης και την ιστορία του είδους κατά το Ολόκαινο, με στόχο την περαιτέρω κατανόηση των κλιματικών αλλαγών τη περίοδο του Τεταρτογενούς. Ακόμη, το είδος *Z. carpinifolia* έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη του είδους *Quercus castaneifolia*, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο η παρουσία του Τριτογενούς δέντρου βελτιώνει την παραγωγικότητα των Ιρακινών δασών βελανιδιάς (Rouhi-Moghaddam et al., 2008). Επίσης, οι πληροφορίες σχετικά με την κατανομή, τη βιολογία και την οικολογία των ειδών *Z. serrata*, *Z. schneideriana* και *Z. sinica* στην Ανατολική Ασία είναι ελάχιστες, ενώ στη περιγραφή της Χλωρίδας της Κίνας αναφέρονται πληροφορίες αποκλειστικά για τη μορφολογία των τριών ειδών (Zheng-yi & Raven, 2003; Kozłowski et al., 2012).

Για τα δύο Μεσογειακά είδη του γένους *Zelkova* έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια μια σημαντική προσπάθεια μελετών τόσο για κάθε είδος ξεχωριστά όσο και σε συνδυασμό μεταξύ τους, αλλά και με τα υπόλοιπα είδη του γένους. Ειδικότερα, το ενδημικό είδος *Z. sicula* έχει τραβήξει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας και έχει οδηγήσει σε μια σειρά μελετών, οι οποίες είτε έχουν ολοκληρωθεί είτε βρίσκονται σε εξέλιξη και αφορούν: τη βιολογία του είδους, τη βιογεωγραφία, τη φυτοοικολογία, την πληθυσμιακή γενετική (population genetics) και τις δυνατότητες διατήρησης (conservation status) του είδους (Nakagawa et al., 1998; Fineschi et al., 2002; Garfí et al., 2002). Επιπρόσθετα, οι Fineschi et al. (2002 και 2004) έχουν μελετήσει τη γενετική ποικιλότητα των ειδών *Z. sicula* και *Z. abelicea* με τη χρήση μοριακών δεικτών χλωροπλαστικού και πυρηνικού DNA, διαπιστώνοντας πλήρη διαφοροποίηση μεταξύ των μεσογειακών ειδών. Ακόμη, οι Denk και Grimm (2005) μελέτησαν τη φυλογένεση και τη βιογεωγραφία του γένους *Zelkova* βασιζόμενοι στη μορφολογία του φύλλου, σε ITS αλληλουχίες ριβοσομικού DNA και στο αρχείο των απολιθωμάτων, όλων των ειδών του γένους. Επιπλέον, οι Wang et al. (2001) ασχολήθηκαν με την αρχιτεκτονική/δομή του φύλλου και τα επιδερμικά χαρακτηριστικά του φύλλου για όλα τα είδη του γένους *Zelkova* με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Μία από τις πρώτες μελέτες του είδους *Z. abelicea* (Lam.) Boiss. πραγματοποιήθηκε από τον Sarlis (1987), όπου αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με τη βιολογία του είδους. Έπειτα, ο Egli (1997) προσέθεσε πληροφορίες σχετικά με τη βιολογία του είδους και μελέτησε ακόμη την οικολογία, την γεωγραφική κατανομή, την ανάπτυξη, τη διασπορά και τη φυσική αναπαραγωγή του είδους, προτείνοντας ένα σχέδιο διατήρησης για το απειλούμενο ενδημικό είδος *Z. abelicea* στα βουνά της Κρήτης. Στη συνέχεια, οι Søndergaard και Egli (2006) ασχολήθηκαν επίσης με την οικολογία, τη διασπορά, την γεωγραφική κατανομή του είδους αλλά και τις απειλές που δέχεται το είδος στους ορεινούς όγκους της Κρήτης. Ακόμη, οι Fournarakí και Thanos (2002) μελέτησαν την φυτρωτικότητα και την ανάπτυξη των σπερμάτων του είδους *Z. abelicea*, με στόχο τη διατήρηση του μοναδικού ενδημικού δέντρου της Κρήτης, ενώ κάποια βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων του είδους μελετήθηκαν συγκριτικά με τα άλλα είδη του γένους από τους Wang et al. (2001). Τέλος, στις πιο πρόσφατες μελέτες του είδους, οι Fazan et al. (2012) εστιάζουν στην δενδροοικολογία με στόχο την εκτίμηση της ηλικίας των διαφορετικών μορφών του είδους, ενώ οι Kozłowski et al. (2012) παραθέτουν προτάσεις διατήρησης του είδους προτείνοντας την διεύρυνση των εκτός τόπου (*ex situ*) συλλογών του είδους *Z. abelicea* αλλά και των υπόλοιπων ειδών του γένους *Zelkova* σε βοτανικούς κήπους.

Αυτό που διαφαίνεται αχνά από τις έως τώρα δημοσιευμένες μελέτες, αλλά καθαρά από άλλα δημοσιευτα δεδομένα του Εργαστηρίου Οικολογίας Φυτών και Διαχείρισης Χερσαίων Οικοσυστημάτων του Τμήματος Βιολογίας στο οποίο εκπονήθηκε η παρούσα εργασία, είναι ότι η διατήρηση έως τώρα του είδους *Zelkova abelicea* δεν είναι μόνο αποτέλεσμα εξεύρεσης καταφυγίου, αλλά και αποτέλεσμα της ικανότητας του είδους να ανταπεξέλθει στις περιβαλλοντικές μεταβολές που μεσολάβησαν από την Τριτογενή περίοδο έως σήμερα.

Η οπτική αυτή στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προσεγγίζεται μέσω της μελέτης των θρεπτικών στοιχείων των φύλλων του είδους *Zelkova abelicea* καθώς και μέσω της μελέτης των βιομετρικών τους χαρακτηριστικών. Έτσι, ως στόχος της παρούσας εργασίας τίθεται η μελέτη της NPK στοιχειομετρίας και των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων του είδους *Z. abelicea* στις θέσεις όπου έχουν καταγραφεί οι

πληθυσμοί του είδους στην Κρήτη. Η μελέτη αυτή αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας για την μελέτη όλων των ειδών του γένους *Zelkova* σε παγκόσμιο επίπεδο, στοχεύει στην κατανόηση βασικών λειτουργιών σε επίπεδο οικοσυστήματος και τα συμπεράσματα αυτής αναμένεται να συμβάλλουν στη διαχείριση του είδους.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Περιοχή μελέτης

Το νησί της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο στην Ελλάδα και το πέμπτο μεγαλύτερο της Μεσογείου, καλύπτοντας συνολική επιφάνεια 8.729 km² και έκταση 254 km από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου Πελάγους και απέχει περίπου το ίδιο από την Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική, με τις οποίες παλαιότερα ήταν κατά διαστήματα φυσικά ενωμένο (Fielding & Turland, 2005). Η χλωρίδα του νησιού εμφανίζει μεγάλη ποικιλότητα συμπεριλαμβάνοντας στοιχεία και από τις τρεις ηπείρους, ενώ ο οριστικός διαχωρισμός της Κρήτης και η μακρά διάρκεια απομόνωσή της αποτυπώνονται έντονα στο μεγάλο αριθμό ενδημικών φυτικών ειδών που υπάρχουν στο νησί. Πιο συγκεκριμένα, έχουν περιγραφεί πάνω από 1.735 εγχώρια φυτικά είδη από τα οποία περίπου το 10% είναι ενδημικά της Κρήτης (Fielding & Turland, 2005).

Το νησί διαθέτει ένα εξαιρετικά ορεινό χαρακτήρα, καθώς το ανάγλυφο του χαρακτηρίζεται από αρκετούς ορεινούς όγκους που διαχωρίζονται μεταξύ τους από πεδινές εκτάσεις. Κάποιες φορές, αυτές οι εκτάσεις επεκτείνονται τόσο ώστε να δημιουργούν διευρυμένες επίπεδες περιοχές κοντά στο επίπεδο της θάλασσας (Sarris et al., 2005). Οι ορεινοί όγκοι διασχίζοντας το νησί από τα δυτικά προς ανατολικά διαμορφώνουν τρεις κύριες ομάδες. Πιο συγκεκριμένα, στο δυτικό άκρο του νησιού δεσπόζουν τα Λευκά Όρη με την υψηλότερη κορυφή να φτάνει σε υψόμετρο 2.453 m, ενώ το κεντρικό τμήμα του νησιού περιλαμβάνει τον Κέδρο (1.777 m), τον Ψηλορείτη (οροσειρά Ίδη ή Ίδα) και τα Αστερούσια Όρη (1.231 m). Ο Ψηλορείτης διαθέτει την υψηλότερη κορυφή της Κρήτης φτάνοντας σε υψόμετρο 2.456 m. Στο ανατολικό άκρο της Κρήτης υπάρχει το όρος Δίκτη (Λασιθιώτικα Όρη, 2.148 m) και το όρος Αφέντης Καβούσι

(Αφέντης Σταυρωμένος, Θρυπητή 1.476 m) (Turland et al., 1993; Fielding & Turland, 2005).

Ποικίλα ασβεστολιθικά πετρώματα (ασβεστόλιθος και δολομίτες) κυριαρχούν το ορεινό ανάγλυφο εδάφους του νησιού, ενώ τα νεογενή στρώματα/ιζήματα περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους, αμμόλιθους και αργιλιάσβεστους, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές πεδινών εκτάσεων. Επιπλέον, σημαντική είναι η παρουσία στο νησί χαλαζιτών, φυλλιτών, φλύσχη, πετρωμάτων του Τεταρτογενούς και προσχωματικών αποθέσεων (Higgins & Higgins, 1996).

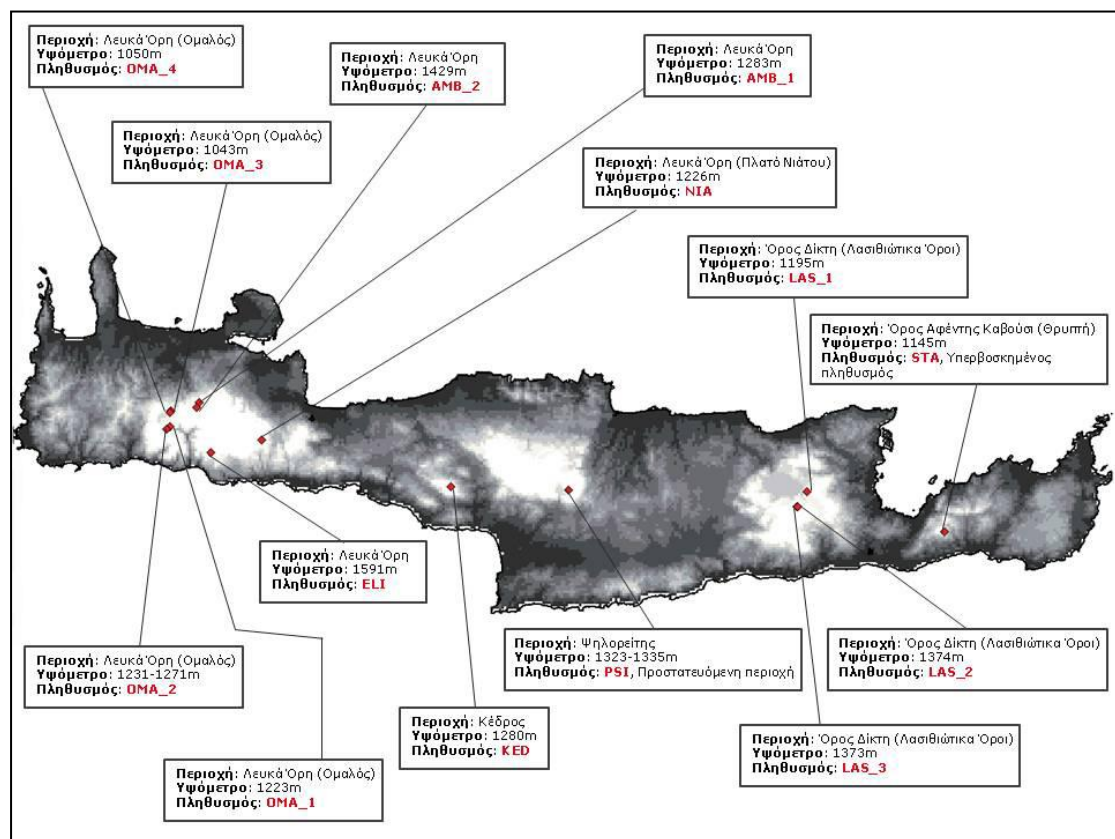
Το κλίμα της Κρήτη είναι τυπικό Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους, βροχερούς χειμώνες και θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Παρόλο που υπάρχει ορισμένη εποχικότητα, εμφανίζεται σημαντική κλιματολογική απόκλιση μεταξύ διαφορετικών περιοχών. Πιο συγκεκριμένα, η μέση ετήσια βροχόπτωση μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από τα βόρεια προς τα νότια, αλλά αυξάνει με το υψόμετρο. Επίσης, παρατηρείται μια μικρή αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά και μια μείωση με το υψόμετρο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο νησί εκτιμάται στα 750mm και κυμαίνεται μεταξύ ~440mm και ~2118mm (Vrochidou & Tsanis, 2012).

Το συγκεκριμένο κλιματολογικό πρότυπο επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη βλάστηση του νησιού η οποία αν και γενικά είναι μεσογειακού τύπου, εμφανίζει ένα πιο ξηροφυτικό χαρακτήρα κατά τη μετάβαση από τα βόρεια και δυτικά προς τα νότια και ανατολικά αντίστοιχα. Στο νησί, με βάση το εγχειρίδιο οικοτόπου του δικτύου NATURA 2000 (European Commission, 2007) παρατηρούνται μεταξύ άλλων τα παρακάτω ενδιαιτήματα: *Sarcopoterium spinosum* φρύγανα, καλλιέργειες, δάση ελιάς και χαρουπιάς, *Dehesas*, μεσογειακά δάση κωνοφόρων, δάση κυπαρισσιού, ενδημικά φρύγανα *Euphorbia Verbascion* και ενδημικά ορομεσογειακά φρύγανα (Sarris et al., 2005).

Το είδος *Z. abelicea*

Η εξάπλωση του είδους *Z. abelicea* περιορίζεται στους ορεινούς όγκους της Κρήτης και αναφέρεται ότι παλαιότερα πιθανόν να

δημιουργούσε μια δασική ζώνη στα βουνά της (Søndergaard & Egli, 2006). Σήμερα, απαντάται και στους τέσσερις κύριους ορεινούς όγκους της, με κύρια υψομετρική διανομή που κυμαίνεται μεταξύ ~900m έως ~1800m, συνθέτοντας διάσπαρτους πληθυσμούς (Egli, 1997; Fazan et al., 2012). Ιδιαίτερα μεγάλη εξάπλωση εμφανίζεται στα Λευκά Όρη και στο όρος Δίκη (Λασιθιώτικα όρη) όπου σήμερα υπάρχουν 8 και 3 αντίστοιχα καταγεγραμμένοι πληθυσμοί. Επίσης, δύο μεμονωμένοι πληθυσμοί απαντώνται στο Ψηλορείτη (οροσειρά Ίδη που συμπεριλαμβάνει και τον Κέδρο) και μόνο ένας πληθυσμός είναι γνωστός στο όρος Αφέντης Καβούσι (Θρυπή) (Εικόνα 1, Egli, 1997).



Εικόνα 1: Χάρτης διανομής των 14 πληθυσμών (κόκκινοι ρόμβοι) του είδους *Z. abelicea* στους τέσσερις κύριους ορεινούς όγκους της Κρήτης, με κύρια υψομετρική διανομή που κυμαίνεται μεταξύ ~900m έως ~1800m. Η διαβάθμιση χρώματος από το μαύρο (χαμηλότερο υψόμετρο) προς το λευκό (μεγαλύτερο υψόμετρο) δείχνει τη διαβάθμιση του υψόμετρου στις διάφορες περιοχές στην Κρήτη.

Το είδος *Z. abelicea* απαντάται συνήθως σε ασβεστολιθικές περιοχές, ανοιχτά δάση, βραχώδης ορεινές πλαγιές, επίπεδες κοιλάδες (δολίνες), μέσα ή γύρω από ρεματιές, βραχώδεις όχθες ποταμών ή ξεροπόταμων όπου οι εδαφολογικές και υδρολογικές συνθήκες είναι περισσότερο

ευνοϊκές. Επίσης, συναντάται συχνά μαζί με σφενδάμια (*Acer sempervirens*), πρίνους (*Quercus coccifera*) και πιο σπάνια με κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens*) (Søndergaard & Egli, 2006; Fazan et al., 2012).

Το είδος *Z. abelicea* είναι ένα μόνοικο, πλατύφυλλο, φυλλοβόλο δένδρο (Denk & Grimm, 2005) που δέχεται υψηλή πίεση κυρίως λόγω της βόσκησης η οποία το διατηρεί σε πολλές θέσεις ως χαμηλό, πυκνό θάμνο και συνήθως δεν ξεπερνά το 1m ύψος (Søndergaard & Egli, 2006). Στους περισσότερους πληθυσμούς παρατηρούμε πιο συχνά θάμνους οι οποίοι σχηματίζουν πυκνές, αδιαπέραστες περιοχές. Σε μερικούς μόνο πληθυσμούς συναντάμε δέντρα τα οποία μπορεί να φτάνουν έως και 10m ύψος ή και περισσότερο.

Συλλογή δεδομένων και υλικού

Μελετήθηκαν 11 από τους 14 καταγεγραμμένους πληθυσμούς του είδους *Z. abelicea*, καθώς ο δριμύς χειμώνας προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στο τοπίο με αποτέλεσμα την αδυναμία πρόσβασης σε 3 πληθυσμούς. Συγκεκριμένα, δεν ήταν εφικτή η πρόσβαση στο πλαίσιο της διατριβής σε δύο από τους οχτώ πληθυσμούς στα Λευκά Όρη και στον μοναδικό πληθυσμό που υπάρχει στον Κέδρο.

Για την πραγματοποίηση δειγματοληψιών το είδος *Z. abelicea* διακρίθηκε σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το ύψος των φυτών: 1) θάμνοι με ύψος 0-0,5 m (S1 κατηγορία), 2) θάμνοι με ύψος 0,6-1 m ύψος (S2 κατηγορία), 3) μεγάλοι θάμνοι με ύψος 1,1-2 m (M1 κατηγορία), 4) μεσαία δέντρα με ύψος 2,1-3 m (M2 κατηγορία) και 5) μεγάλα δέντρα με ύψος πάνω από 3 m (L κατηγορία). Έτσι, η θαμνώδης εμφάνιση του είδους που συμπεριλαμβάνεται στις S1, S2 και M1 κατηγορίες αντιστοιχεί στην S κατηγορία, ενώ οι κατηγορίες M2 και L αντιστοιχούν στις M και L κατηγορίες αντίστοιχα κατά Fazan et al. (2012).

Η δειγματοληψίες περιελάμβαναν συλλογή ώριμων και άθικτων φύλλων από άτομα διαφορετικών κατηγοριών και στους έντεκα πληθυσμούς για: α) τη στοιχειακή ανάλυση των φύλλων και β) τη μέτρηση βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν την περίοδο μέσα Μαΐου έως μέσα Ιουνίου, ώστε η ανάπτυξη των φύλλων να έχει ολοκληρωθεί και συνολικά συλλέχθηκαν φύλλα από 55 φυτά από όλους τους πληθυσμούς (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Αριθμός φυτών ανά κατηγορία μορφής που εξετάστηκε από κάθε πληθυσμό μελέτης.

Περιοχή μελέτης	Πληθυσμός	Μορφές και αριθμός φυτών δειγματοληψίας				
		S1	S2	M1	M2	L
Λευκά Όρη (Ομαλός)	OMA_1	-	2	-	2	2
Λευκά Όρη (Ομαλός)	OMA_2	-	2	2	-	2
Λευκά Όρη (Ομαλός)	OMA_3	-	2	2	-	2
Λευκά Όρη (Ομαλός)	OMA_4	-	2	2	-	1
Λευκά Όρη	AMB_1	-	2	-	2	2
Λευκά Όρη (πλατό Νιάτου)	NIA	1	1	2	-	-
Ψηλορείτης (Οροσειρά Ίδη)	PSI	-	2	2	-	2
Δίκτη (Λασιθιώτικα Όρη)	LAS_1	1	1	2	-	-
Δίκτη (Λασιθιώτικα Όροι)	LAS_2	-	2	-	2	-
Δίκτη (Λασιθιώτικα Όρη)	LAS_3	-	2	-	2	-
Αφέντης Καβούσι (Θρυπή)	STA	-	2	2	-	-

Σε κάθε πληθυσμό επιλέγονταν για δειγματοληψία δύο θάμνοι και δύο δέντρα (όπου υπήρχαν), από τις θέσεις δειγματοληπτικών ευθειών μήκους 50 μέτρων οι οποίες χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή δεδομένων ξυλώδους βλάστησης στη περιοχή μελέτης (μέθοδος των ευθειών διατομών - Krebs, 1985). Περίπου 2-3 κλαδιά κόβονταν από τη κορυφή των θάμνων και 2-3 κλαδιά αντίστοιχα από τη κορυφή της κόμης των δέντρων ή από την πλάγια εξωτερική πλευρά τους, εάν το δέντρο ήταν πολύ ψηλό (π.χ. πάνω από 5 μέτρα). Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα κλαδιά που συλλέγονταν έπρεπε να έχουν όσο το δυνατόν πιο άθικτα, ώριμα και εκτεθειμένα στο φως φύλλα.

Στοιχειακή ανάλυση

Προετοιμασία δειγμάτων

Τα δείγματα φυτικού ιστού ξηραίνονταν αρχικά σε κλίβανο στους 80°C για 24 ώρες, αφού πρώτα είχε αφαιρεθεί η σκόνη από την επιφάνειά τους (Karla, 1998; Jones, 2001). Έπειτα, ακολουθούσε λειοτρίβηση των φύλλων σε γουδί και κοσκίνισμα με κόσκινο 0,5 mm κατ' επανάληψη έως ότου το υλικό ομογενοποιηθεί και τα προς ανάλυση δείγματα αποθηκεύονταν σφραγισμένα στους 4°C (Jones, 2001).

Μέτρηση αφομοιώσιμου καλίου

Για τον προσδιορισμό του αφομοιώσιμου καλίου στα φύλλα χρησιμοποιήθηκαν 0,2 g σκόνης φυτικού ιστού από κάθε δείγμα, τα οποία στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν με διάλυμα οξικού οξέος (CH_3COOH) 2% (διάλυμα εκχύλισης), ακολούθησε διήθηση με ηθμούς Whatman No1 και μέτρηση του αφομοιώσιμου καλίου στο εκχύλισμα με τη χρήση φλογοφωτόμετρου, Sherwood Scientific - τύπου 410 και τη χρήσης πρότυπης καμπύλης (τροποποιημένο Karla, 1998; Jones, 2001).

Μέτρηση αφομοιώσιμου φωσφόρου

Ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου φωσφόρου στα φύλλα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Olsen (Olsen et al., 1954). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκχύλιση του αφομοιώσιμου φωσφόρου με όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) και στον προσδιορισμό της ποσότητας του φωσφόρου με την αναγωγή του μολυβδαινίου χρωμομετρικά. Η πυκνότητα του χρώματος προσδιορίζεται στα 720 nm με τη χρήση φασματοφωτόμετρου τύπου U-1800 (Digil[^]B Hitachi). Η εκχύλιση στα φυτικά δείγματα έγινε χρησιμοποιώντας 0,1 g λειοτριβημένου φυτικού ιστού σε 0,5N NaHCO_3 PH=8,5 και διήθησή του με ηθμό Whatman No 40.

Μέτρηση ολικού αζώτου

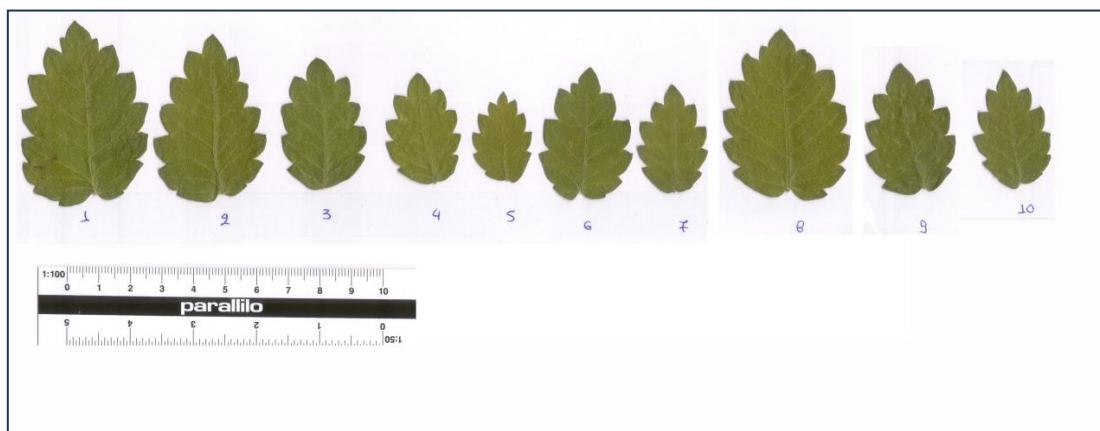
Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου στα φύλλα έγινε με τη μέθοδο Kjeldahl (τροποποιημένο Jones, 2001) σε συσκευή Vapodest 30 (C. Gerhardt, Bonn, Germany) μετά από πέψη με πυκνό θειικό οξύ H_2SO_4 και τη χρήση καταλύτη $\text{K}_2\text{SO}_4:\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}:\text{Se}$ σε συσκευή Turbotherm (C. Gerhardt, Germany). Με βάση τη μέθοδο αυτή, η αμμωνία οξειδώνεται από πυκνό θειικό οξύ H_2SO_4 και το θειικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ που σχηματίζεται, αποσπάζεται με καυστικό νάτριο NaOH 40%. Τα αμμωνιακά ιόντα κατόπιν δεσμεύονται από βορικό οξύ H_3BO_3 4% σχηματίζοντας βορικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$ το οποίο τιτλοδοτείται με 0,1N πρότυπο διάλυμα υδροχλωρίου HCl. Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων προσδιορίζεται με τιτλοδότηση PH. Η αντίδραση του βορικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$ με το HCl καταλήγει στο σχηματισμό χλωριούχου αμμωνίου NH_4Cl και επειδή η αναλογία αντιδρώντων προϊόντων είναι 1:1 τα ml του πρότυπου

διαλύματος υδροχλωρίου που καταναλώνονται ισούνται με τα ml του χλωριούχου αμμωνίου που σχηματίζονται.

Βιομετρικά χαρακτηριστικά φύλλου

Προετοιμασία δειγμάτων

Συνολικά επιλέχθηκαν 10 ώριμα και άθικτα φύλλα από κάθε φυτό, τα οποία πιέζονταν με ειδική πρέσα για περίπου ένα μήνα ώστε να ξεραθούν φυσικά. Τα φύλλα που επιλέχθηκαν κάλυπταν, όσο το δυνατόν περισσότερο, όλο το εύρος μεγέθους που μπορούσαν να πάρουν τα φύλλα του φυτού. Έπειτα, ακολουθούσε σάρωση των 10 φύλλων με την πάνω πλευρά του ελάσματος με τη χρήση σαρωτή τύπου hp scanjet 4670. Η σάρωση των φύλλων έγινε με ανάλυση 1200 dpi και μαζί με κλίμακα ώστε να είναι γνωστό το πραγματικό μέγεθος του φύλλου που σαρώνεται (Εικόνα 2) (Royer et al., 2005; Viscosi & Cardini, 2011).

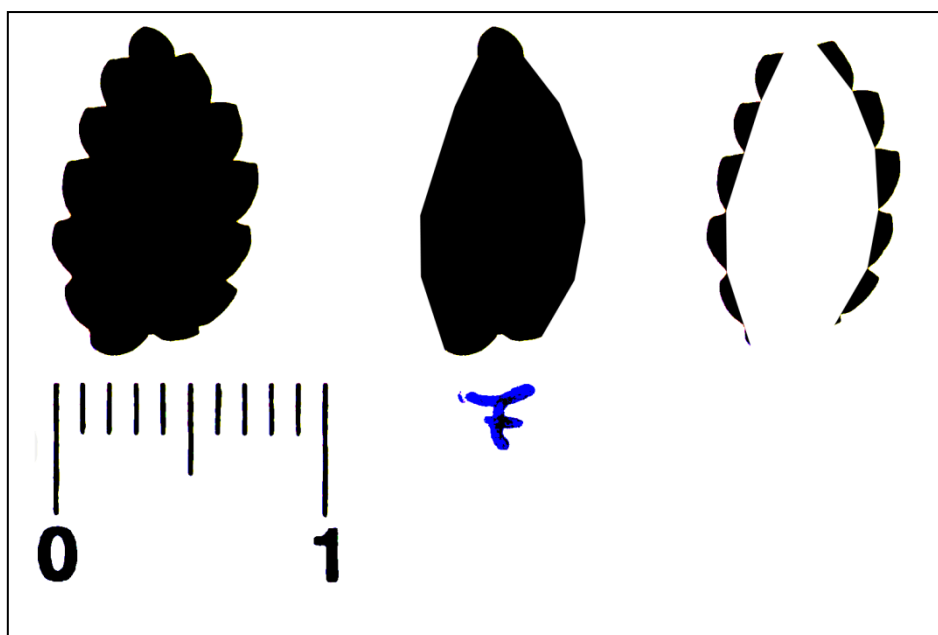


Εικόνα 2: Παράδειγμα σάρωσης 10 φύλλων δέντρου με ύψος πάνω από 6m του πληθυσμού OMA_1 στον Ομαλό.

Μέτρηση βιομετρικών χαρακτηριστικών

Από τα 10 φύλλα ανά φυτό που σαρώθηκαν χρησιμοποιήθηκαν για μέτρηση βιομετρικών χαρακτηριστικών μόνο τα 5 φύλλα. Έτσι συνολικά μελετήθηκαν 275 φύλλα 55 φυτών από όλους τους πληθυσμούς. Στα ψηφιοποιημένα φύλλα αφαιρέθηκαν οι μίσχοι των φύλλων και

απομονώθηκαν ηλεκτρονικά με προσοχή όλα τα δόντια από το έλασμα του φύλλου χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας (Εικόνα 3) (Royer et al., 2005; Huff et al., 2003). Η επιλογή των δοντιών και ο τρόπος που διαχωρίστηκαν από το έλασμα ακολούθησαν τα πρωτόκολλα των Huff et al. (2003) και των Royer et al. (2005).



Εικόνα 3: Ψηφιοποιημένο φύλλο από το οποίο έχει αφαιρεθεί ηλεκτρονικά ο μίσχος του φύλλου και έχουν απομονωθεί ηλεκτρονικά όλα τα δόντια του ελάσματος. Το φύλλο αντιστοιχεί σε θαμνώδη μορφή της κατηγορίας S2 του πληθυσμού OMA_4 στον Ομαλό.

Όλες οι φυσιογνωμικές μεταβλητές του φύλλου μετρήθηκαν με το ελεύθερα διαθέσιμο λογισμικό IMAGE-J (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) (Royer et al., 2008; Peppe et al., 2011). Το σύνολο των βιομετρικών χαρακτηριστικών, οι αντίστοιχοι λόγοι και δείκτες που υπολογίστηκαν φαίνονται στον Πίνακα 3 (Huff et al., 2003; Royer et al., 2005, 2008; Xie et al., 2009; Peppe et al., 2011).

Πίνακας 3: Το σύνολο των βιομετρικών χαρακτηριστικών που μετρήθηκαν με το λογισμικό IMAGE-J και οι αντίστοιχοι λόγοι και δείκτες που υπολογίστηκαν.

Βιομετρικά χαρακτηριστικά, λόγοι και δείκτες αυτών	Ορισμός (μονάδες)
Αριθμός δοντιών (NT)	(μέτρηση)
Εμβαδόν δοντιών (TA)	Εμβαδόν όλων των δοντιών (cm ²)
Εμβαδόν φύλλου (LA)	Εμβαδόν ελάσματος (cm ²)
Περίμετρος φύλλου (LP)	Περίμετρος ελάσματος (cm)
Εσωτερική περίμετρος φύλλου (IP)	Περίμετρος αφού αφαιρεθούν τα δόντια (cm)
Μήκος φύλλου (L)	Μήκος ελάσματος (cm)
Πλάτος φύλλου (W)	Μέγιστο πλάτος ελάσματος (cm)
Παράγοντας σχήματος (SF)	4·εμβαδόν φύλλου/(περίμετρος) ²
Δείκτης σχήματος φύλλου (LSI)	Μήκος φύλλου/πλάτος φύλλου
Λόγος περιμέτρου (PR)	Περίμετρος/εσωτερική περίμετρος
Λόγος εμβαδού δοντιών (TAR)	Εμβαδόν δοντιών φύλλου/εμβαδόν φύλλου

Επεξεργασία δεδομένων

Ο έλεγχος της διαφοροποίησης των φύλλων μεταξύ θάμνων και δέντρων ως προς τις μέσες συγκεντρώσεις αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στα φύλλα, από όλους τους πληθυσμούς μελέτης καθώς και σε κάθε πληθυσμό μελέτης έγινε μέσω του στατιστικού t-test. Επίσης, εξετάστηκε ο συντελεστής διακύμανσης (Coefficient of Variance, CV) των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές αλλά και στο σύνολο των φυτών που εξετάστηκαν από όλους τους πληθυσμούς μελέτης ανεξαρτήτως μορφής. Ακόμη, η συσχέτιση των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα φύλλων σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές με την αφθονία των θάμνων και των δέντρων αντίστοιχα από όλους τους πληθυσμούς μελέτης ελέγχθηκε με το συντελεστή συσχέτισης Spearman (ρ).

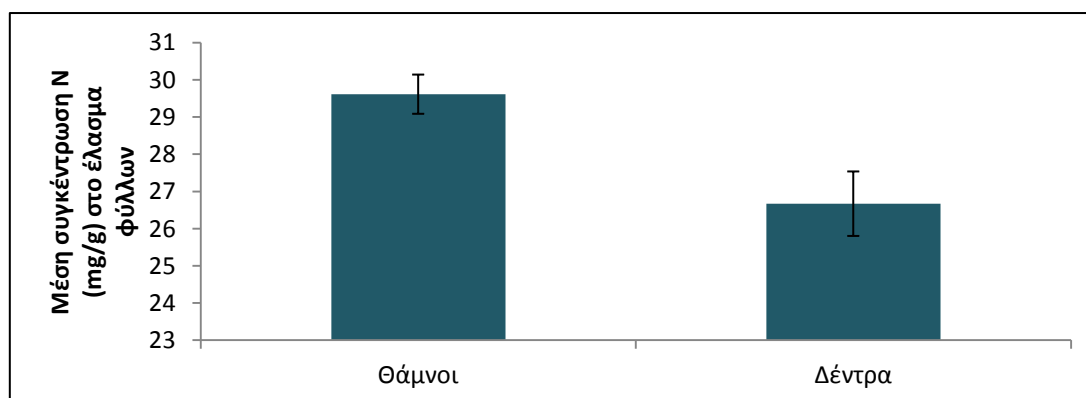
Η συσχέτιση των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων και των λόγων αυτών για θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές με τις συγκεντρώσεις N, P και K στα φύλλα θάμνων και δέντρων αντίστοιχα ελέγχθηκε με το δείκτη συσχέτισης Spearman (ρ). Επιπλέον, η επεξεργασία των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων έγινε με την Κανονική Ανάλυση

Αντιστοιχιών (Canonical Correspondence Analysis, ter Baark, 1986) για να διερευνηθούν οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μεταβλητότητα των μορφών του είδους *Z. abelicea* (θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές) και των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων τους. Ως μεταβλητές εξετάστηκαν η μέγιστη (r_{max}), ελάχιστη (r_{min}) και μέση (r_{mean}) βροχόπτωση, η μέγιστη (t_{max}), ελάχιστη (t_{min}) και μέση θερμοκρασία (t_{mean}), το υψόμετρο (alt), η βόρεια ($north$) και ανατολική ($east$) κλίση του βουνού και η συγκέντρωση ολικού αζώτου (N), αφομοιώσιμου φωσφόρου (P) και αφομοιώσιμου καλίου (K) στο έλασμα φύλλων θάμνων και δέντρων του είδους *Z. abelicea*. Οι παράγοντες μέση βροχόπτωση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία και η ανατολική κλίση του βουνού δεν παρουσιάζονται στο διάγραμμα λόγω της μικρής συμμετοχής τους στην ερμηνεία της συνολικής μεταβλητότητας των δεδομένων.

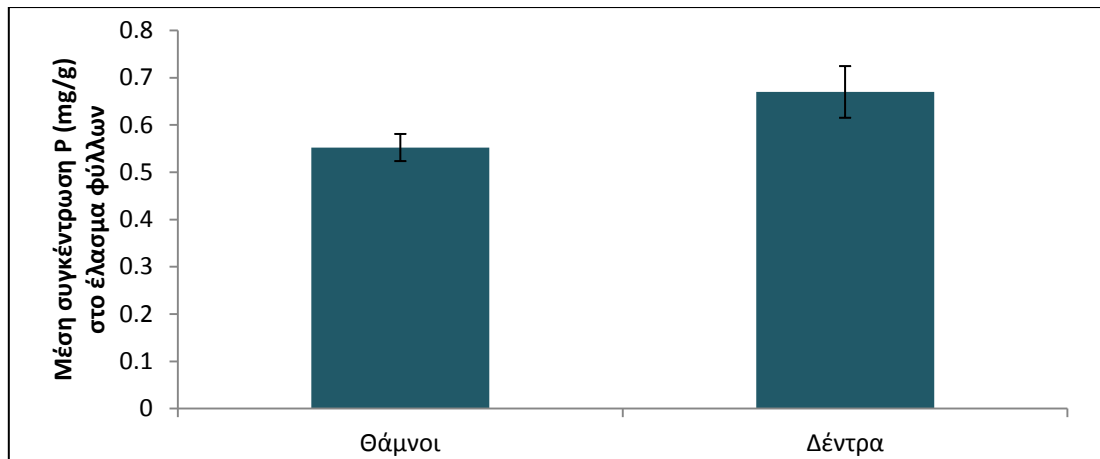
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΝΡΚ στοιχειομετρία φύλλων του είδους *Z. abelicea*

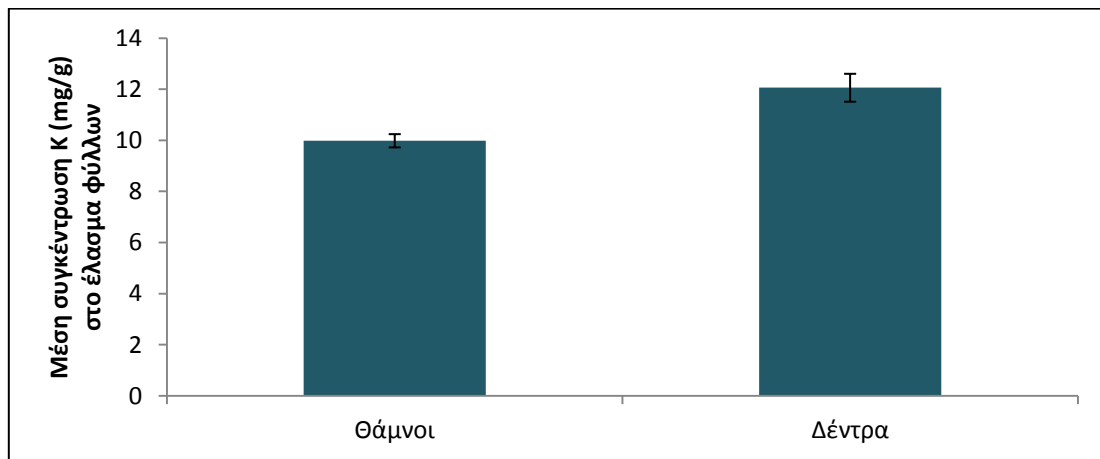
Στα Διαγράμματα 1, 2 και 3 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της μέσης συγκέντρωσης N, P και K αντίστοιχα σε φύλλα του είδους *Z. abelicea*, με βάση την ομαδοποίηση των φυτών στις δύο κατηγορίες S1-S2-M1 (θαμνώδεις μορφές) και M2-L (δενδρώδεις μορφές). Οι μέσες τιμές προέκυψαν από το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης.



Διάγραμμα 1: Μέση συγκέντρωση αζώτου (N) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (S1, S2, M1) και δενδρώδεις (M2, L) μορφές στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE).



Διάγραμμα 2: Μέση συγκέντρωση φωσφόρου (P) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (S1, S2, M1) και δενδρώδεις (M2, L) μορφές στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE).



Διάγραμμα 3: Μέση συγκέντρωση καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (S1, S2, M1) και δενδρώδεις (M2, L) μορφές στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE).

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, τα φύλλα των δέντρων έχουν μικρότερες συγκεντρώσεις αζώτου και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φωσφόρου και καλίου σε σχέση με τα φύλλα των θαμνών που εμφανίζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άζωτο και μικρότερη σε φώσφορο και κάλιο (Διαγράμματα 1, 2, 3). Οι διαφορές αυτές εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές (p -value<0,01) με εξαίρεση την περίπτωση του φωσφόρου (Πίνακας 4) όπου το αποτέλεσμα είναι οριακά στατιστικά σημαντικό (p -value=0.067).

Πίνακας 4: Έλεγχος της διαφοροποίησης των φύλλων μεταξύ θάμνων και δέντρων ως προς τις μέσες συγκεντρώσεις αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K), από όλους τους πληθυσμούς μελέτης.

t-test			
Σύγκριση	p-value N	p-value P	p-value K
Θάμνων - Δέντρων	0.0067	0.0672	0.0019

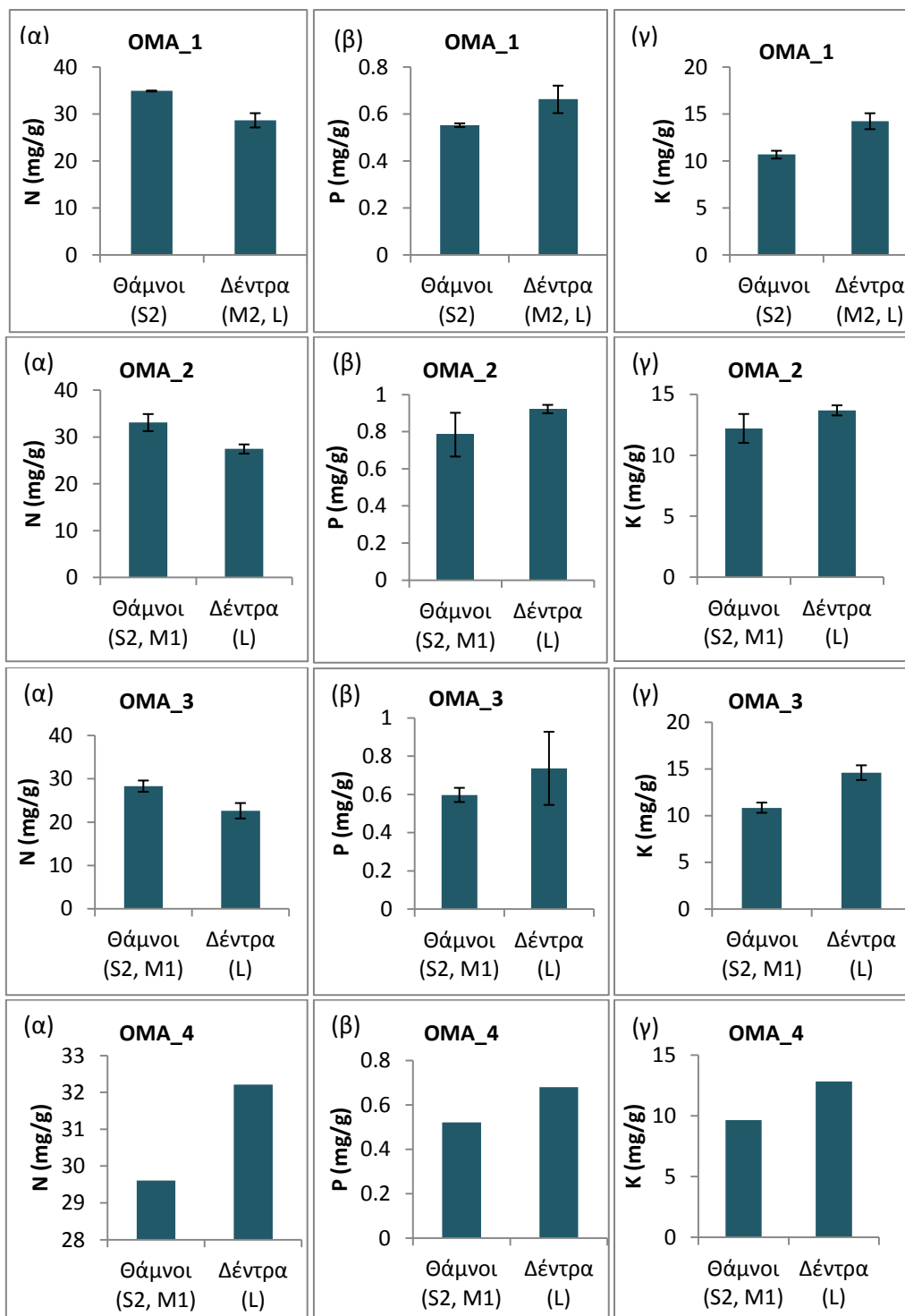
Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης συγκέντρωσης N, P και K (α , β και γ αντίστοιχα) σε φύλλα θάμνων και δέντρων (όπου υπάρχουν) σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Οι μέσες τιμές προέκυψαν από το σύνολο των φύλλων που μελετήθηκαν ανά κατηγορία μέσα σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Φύλλα δέντρων συλλέχθηκαν μόνο σε 8 πληθυσμούς, καθώς οι δειγματοληψίες σε 3 από τους 11 πληθυσμούς μελέτης περιελάμβαναν μόνο θάμνους.

Πίνακας 5: Έλεγχος της διαφοροποίησης των φύλλων μεταξύ θάμνων και δέντρων (όπου υπάρχουν) ως προς τις μέσες συγκεντρώσεις αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Φύλλα δέντρων συλλέχθηκαν μόνο σε 8 πληθυσμούς, καθώς οι δειγματοληψίες σε 3 από τους 11 πληθυσμούς μελέτης περιελάμβαναν μόνο θάμνους.

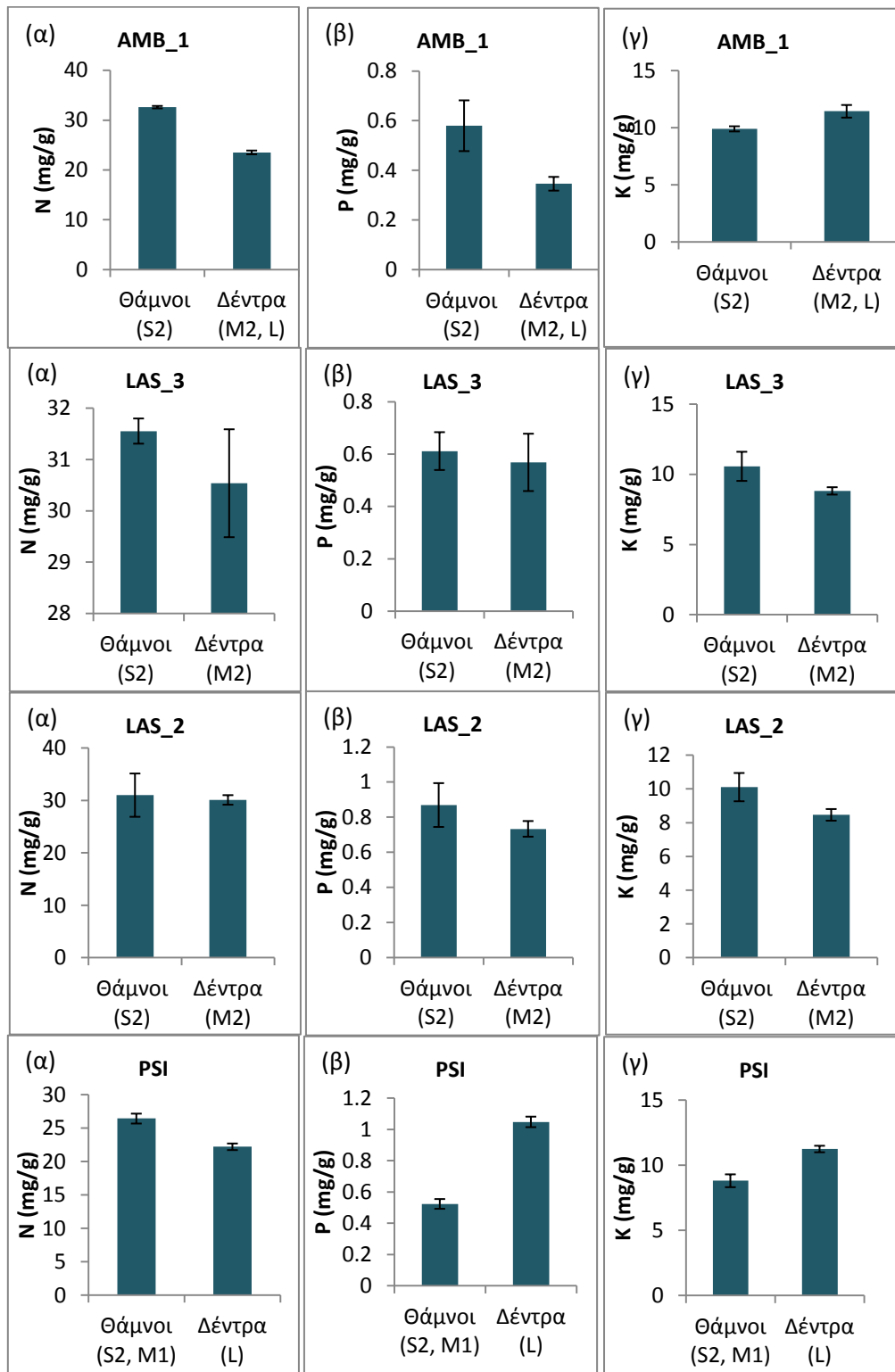
t-test				
Σύγκριση	Περιοχή μελέτης	p-value N	p-value P	p-value K
Θάμνων - Δέντρων	OMA_1	0.0259	0.1557	0.0202
Θάμνων - Δέντρων	OMA_2	0.0530	0.3289	0.3097
Θάμνων - Δέντρων	OMA_3	0.1154	0.5984	0.0579
Θάμνων - Δέντρων (μόνο 1)	OMA_4	-	-	-
Θάμνων - Δέντρων	AMB_1	$3.9 \cdot 10^{-5}$	0.2442	0.0652
Θάμνων - Δέντρων	LAS_3	0.5065	0.7781	0.3282
Θάμνων - Δέντρων	LAS_2	0.8626	0.4636	0.2705
Θάμνων - Δέντρων	PSI	0.0093	0.0020	0.0118
Μόνο Θάμνους	LAS_1	-	-	-
Μόνο Θάμνους	NIA	-	-	-
Μόνο Θάμνους	STA	-	-	-

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4, τα φύλλα των δέντρων φαίνεται να έχουν μικρότερες συγκεντρώσεις αζώτου σε σχέση με τα φύλλα των θάμνων, οι οποίες όμως δεν είναι πάντα στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 5). Στην περίπτωση του φωσφόρου τα φύλλα των δέντρων έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα φύλλα των θάμνων μόνο σε 4 από τους 8 πληθυσμούς μελέτης (που είχαν δέντρα) (Διάγραμμα 4) και μόνο στον πληθυσμό του Ψηλορείτη (PSI) η διαφορά αυτή είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 5). Επίσης, τα φύλλα των δέντρων παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις K σε σχέση με τα φύλλα των θάμνων, με

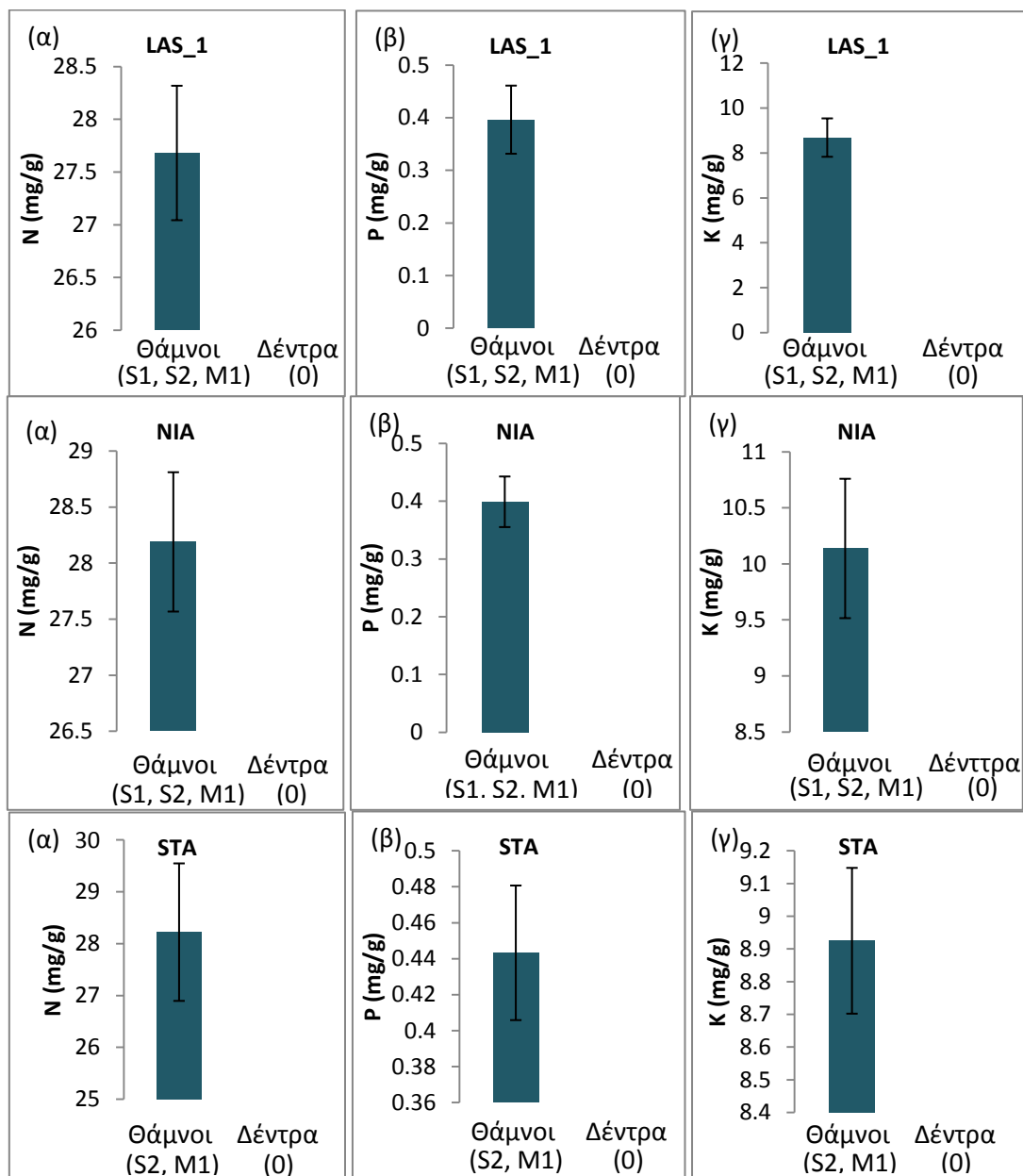
εξαιρέση τους πληθυσμούς μελέτης LAS_2 και LAS_3 (Λασιθιώτικα όρη), ενώ οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές σε μερικές μόνο περιπτώσεις (Πίνακας 5).



Διάγραμμα 3: Μέση συγκέντρωση (α) αζώτου (N, mg/g), (β) φωσφόρου (P, mg/g) και (γ) καλίου (K, mg/g) του ελάσματος φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE). Φύλλα δέντρων συλλέχθηκαν μόνο σε 8 πληθυσμούς, καθώς οι δειγματοληψίες σε 3 από τους 11 πληθυσμούς μελέτης περιελάμβαναν μόνο θάμνους (συνεχίζεται...)



Διάγραμμα 4: (συνέχεια) Μέση συγκέντρωση (α) αζώτου (N, mg/g), (β) φωσφόρου (P, mg/g) και (γ) καλίου (K, mg/g) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE). Φύλλα δέντρων συλλέχθηκαν μόνο σε 8 πληθυσμούς, καθώς οι δειγματοληψίες σε 3 από τους 11 πληθυσμούς μελέτης περιελάμβαναν μόνο θάμνους. (συνεχίζεται...)

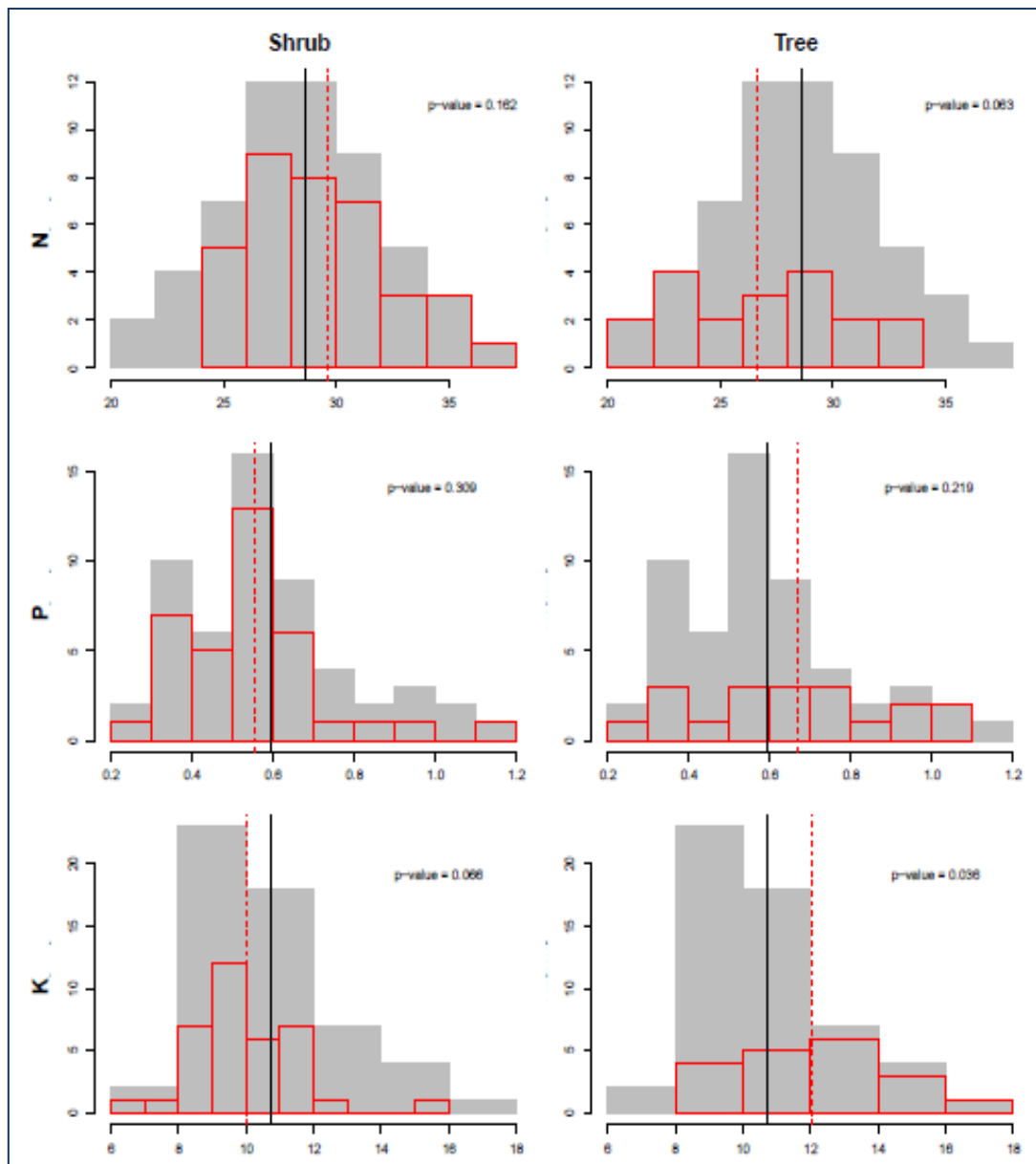


Διάγραμμα 5: (συνέχεια) Μέση συγκέντρωση (α) αζώτου (N, mg/g), (β) φωσφόρου (P, mg/g) και (γ) καλίου (K, mg/g) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Η μαύρη μπάρα πάνω σε κάθε ράβδο είναι το τυπικό σφάλμα (Standard Error, SE). Φύλλα δέντρων συλλέχθηκαν μόνο σε 8 πληθυσμούς, καθώς οι δειγματοληψίες σε 3 από τους 11 πληθυσμούς μελέτης περιελάμβαναν μόνο θάμνους.

Έτσι προκύπτει ότι το πρότυπο της NPK στοιχειομετρίας στα φύλλα του είδους *Z. abelicea* που αναδείχθηκε σε όλο το εύρος κατανομής του είδους δεν φαίνεται να ακολουθείται σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή μέσα σε κάθε πληθυσμό.

Παρατηρώντας τώρα την κατανομή συχνοτήτων των μέσων συγκεντρώσεων N, P και K στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν,

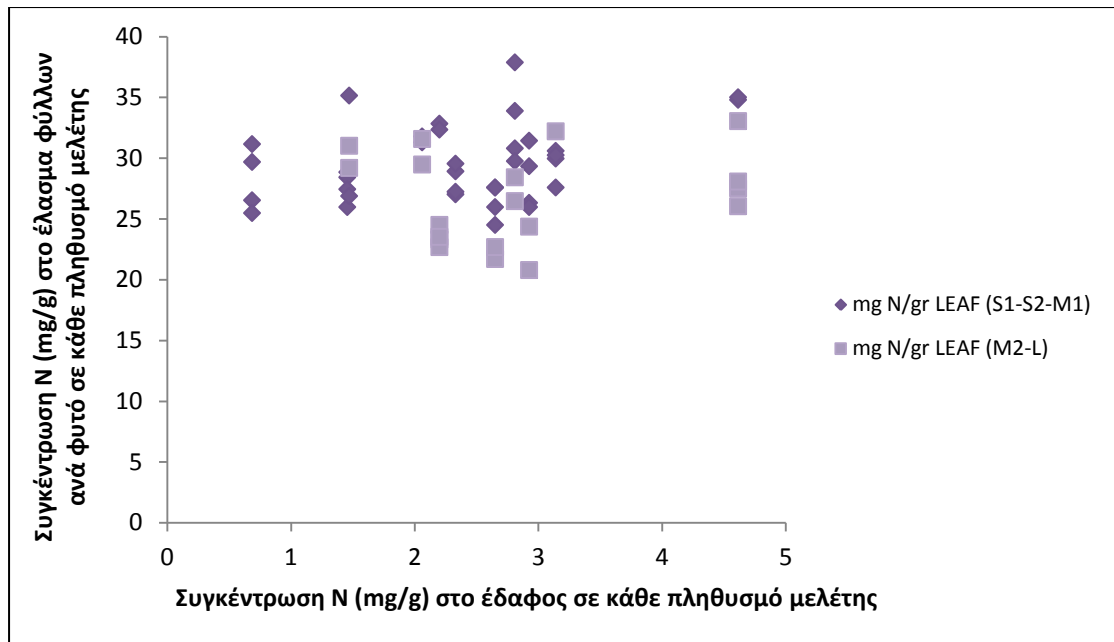
ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής του φυτού προέλευσης από όλους τους πληθυσμούς (βλ. γκρι μπάρες Διάγραμμα 5), προκύπτει ότι στην περίπτωση του αζώτου ακολουθείται κανονική κατανομή, χωρίς κύρτωση, ενώ στις περιπτώσεις των στοιχείων P και K ακολουθείται κανονική με θετική κύρτωση κατανομή (positive skewness).



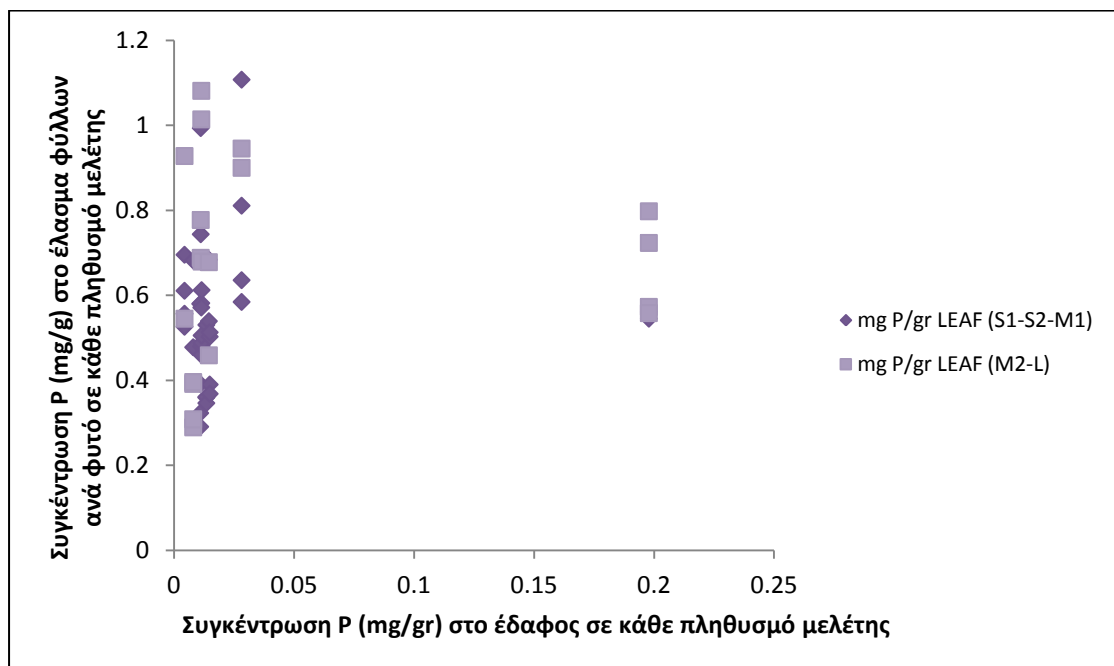
Διάγραμμα 6: Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων των μέσων συγκεντρώσεων N, P και K σε φύλλα από θαμνώδεις (κόκκινο περίγραμμα, αριστερά) και δενδρώδεις μορφές (κόκκινο περίγραμμα, δεξιά) σε σχέση με την κατανομή συχνοτήτων των συγκεντρώσεων για το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν, ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής του είδους *Z. abelicea* από όλους τους πληθυσμούς μελέτης (γρι χρώμα). Στο διάγραμμα επίσης φαίνεται η μέση τιμή της κατανομής συχνοτήτων των μέσων συγκεντρώσεων N, P και K σε φύλλα του συνόλου των φυτών (με συνεχή γραμμή μαύρου χρώματος) που μελετήθηκαν και η μέση τιμή της κατανομής συχνοτήτων των συγκεντρώσεων των θάμνων (διακεκομμένη κόκκινη γραμμή, αριστερά) και των δέντρων (διακεκομμένη κόκκινη γραμμή, δεξιά). Στατιστικά σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές, διαπιστώνεται στις δενδρώδεις μορφές μόνο στην περίπτωση του K και οριακά στην περίπτωση του N, ενώ στις θαμνώδεις μορφές οριακά στην περίπτωση του καλίου.

Αντίστοιχα, εξετάζοντας την κατανομή συχνοτήτων των μέσων συγκεντρώσεων N, P και K σε φύλλα από θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε σχέση με την κατανομή συχνοτήτων των συγκεντρώσεων για το σύνολο των φυτών που εξετάστηκαν, συμφωνία παρατηρείται μόνο στις θαμνώδεις μορφές, ενώ οι δενδρώδεις μορφές, παρ' όλο που καταλαμβάνουν όλο το εύρος κατανομής συχνοτήτων του συνόλου των φυτών δεν εμφανίζουν αντίστοιχη κατανομή (Διάγραμμα 5). Επίσης εξετάζοντας τις διαφορές στις μέσες τιμές, διαπιστώνεται ότι στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζεται μεγαλύτερη μέση τιμή στην περίπτωση του φωσφόρου και του καλίου και μόνο στην περίπτωση του καλίου είναι στατιστικά σημαντική (p -value=0.219 και p -value=0.036 αντίστοιχα, Διάγραμμα 5), ενώ μικρότερη μέση τιμή παρατηρείται στην περίπτωση του αζώτου η οποία είναι οριακά στατιστικά σημαντική (p -value=0.063, Διάγραμμα 5). Ακόμη, στις θαμνώδεις μορφές παρουσιάζεται μικρότερη μέση τιμή στην περίπτωση του P και του K και μόνο στην περίπτωση του K είναι οριακά στατιστικά σημαντική (p -value=0.309 και p -value=0.066 αντίστοιχα, Διάγραμμα 5), ενώ μεγαλύτερη μέση τιμή παρατηρείται στην περίπτωση του αζώτου η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική (p -value=0.162, Διάγραμμα 5).

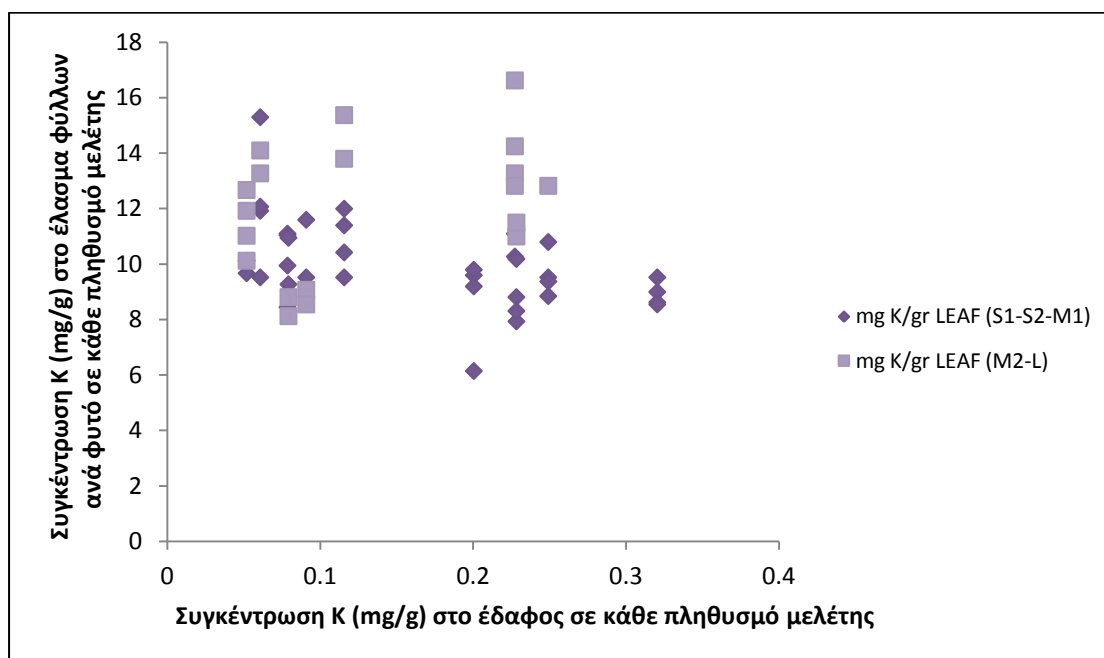
Στη συνέχεια, στα Διαγράμματα 6, 7 και 8 εξετάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης των συγκεντρώσεων αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) αντίστοιχα μεταξύ του εδάφους και του ελάσματος των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε δενδρώδεις και θαμνώδεις μορφές όλων των πληθυσμών μελέτης. Συγκεκριμένα, για κάθε πληθυσμό μελέτης υπολογίστηκαν η συγκέντρωση N, P και K στο έδαφος από αδημοσίευτα δεδομένα που διέθετε το Εργαστήριο καθώς και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις σε φύλλα θάμνων και δέντρων (όπου υπήρχαν) που εξετάστηκαν σε κάθε πληθυσμό μελέτης. Ειδικότερα, στη συγκέντρωση π.χ. N στο έδαφος, του κάθε πληθυσμού μελέτης που εξετάστηκε, αντιστοιχήθηκαν οι συγκεντρώσεις N στο έλασμα των φύλλων θάμνων και δέντρων (όπου υπάρχουν) που μελετήθηκαν σε κάθε πληθυσμό.



Διάγραμμα 6: Συσχέτιση συγκέντρωσης αζώτου (N) εδάφους (σε αύξουσα σειρά) και ελάσματος φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Στην εκάστοτε συγκέντρωση N στο έδαφος, του κάθε πληθυσμού μελέτης που εξετάστηκε, αντιστοιχούν οι συγκεντρώσεις N στο έλασμα των φύλλων θάμνων (ρόμβοι) και δέντρων (όπου υπάρχουν, τετράγωνα,) που εξετάστηκαν σε κάθε πληθυσμό μελέτης.



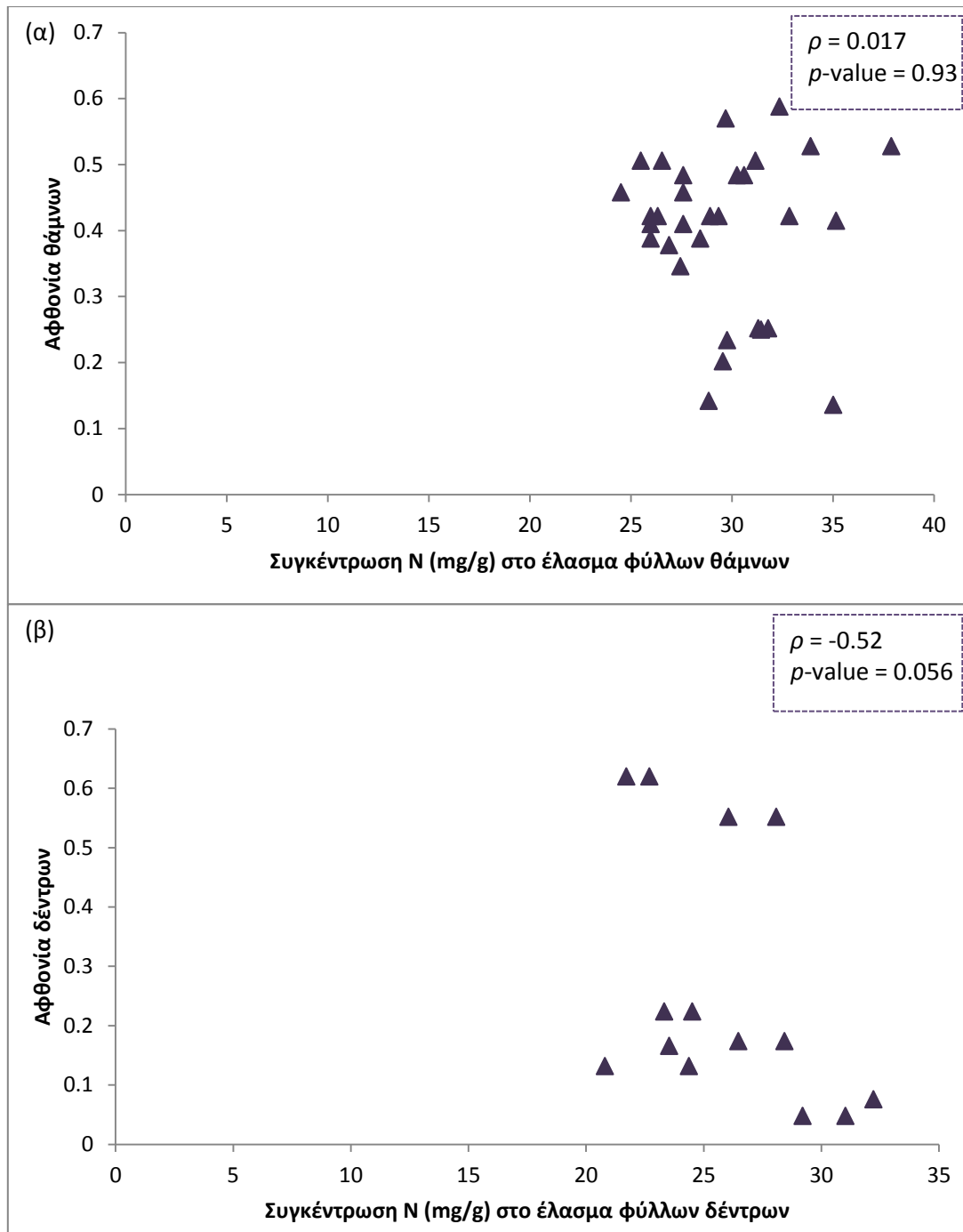
Διάγραμμα 7: Συσχέτιση συγκέντρωσης φωσφόρου (P) εδάφους (σε αύξουσα σειρά) και ελάσματος φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Στην εκάστοτε συγκέντρωση P στο έδαφος, του κάθε πληθυσμού μελέτης που εξετάστηκε, αντιστοιχούν οι συγκεντρώσεις P στο έλασμα των φύλλων θάμνων (ρόμβοι) και δέντρων (όπου υπάρχουν, τετράγωνα,) που εξετάστηκαν σε κάθε πληθυσμό μελέτης.



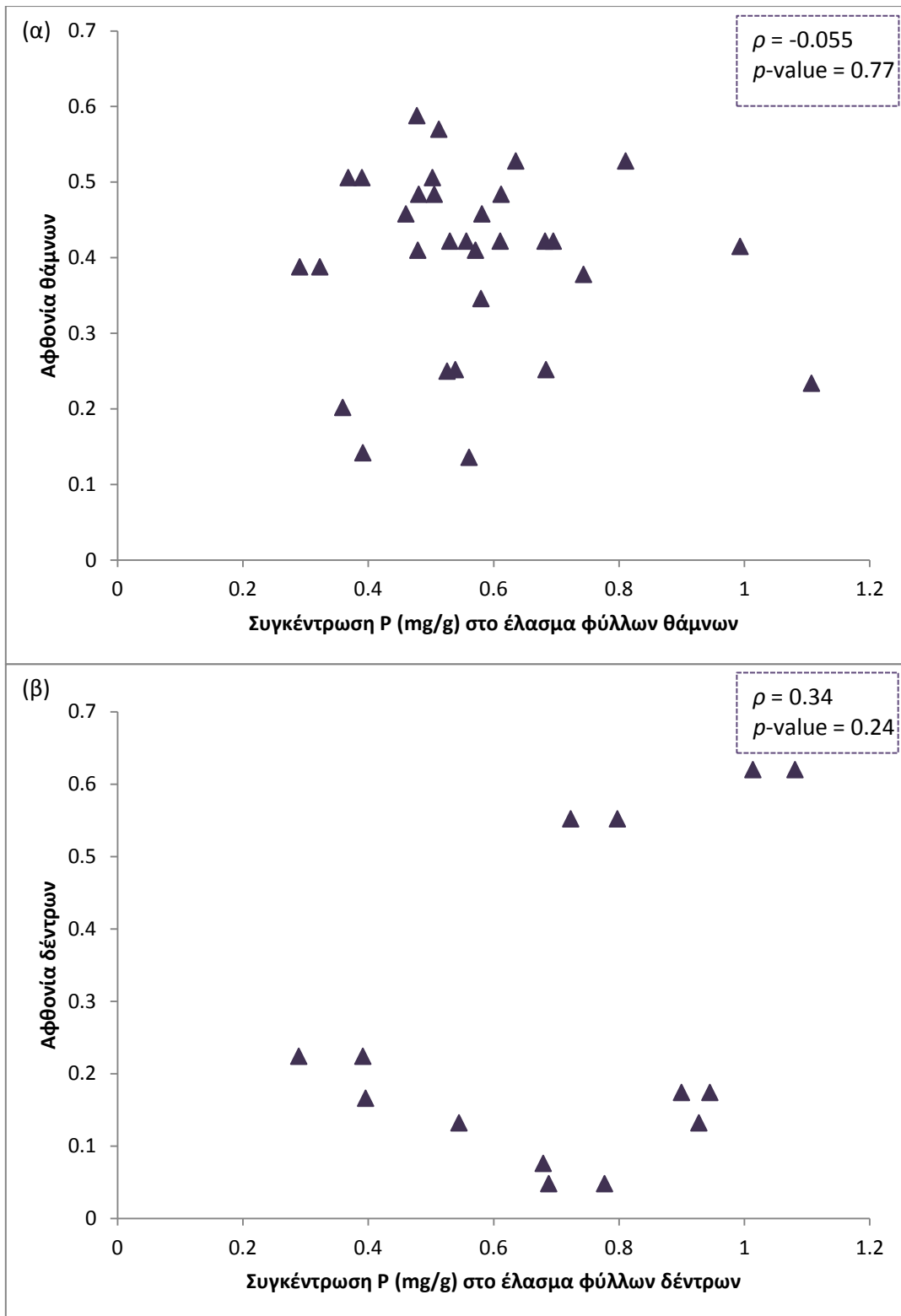
Διάγραμμα 8: Συσχέτιση συγκέντρωσης καλίου (K) εδάφους (σε αύξουσα σειρά) και ελάσματος φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές σε όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Στην εκάστοτε συγκέντρωση K στο έδαφος, του κάθε πληθυσμού μελέτης που εξετάστηκε, αντιστοιχούν οι συγκεντρώσεις K στο έλασμα των φύλλων θάμνων (ρόμβοι) και δέντρων (όπου υπάρχουν, τετράγωνα,) που εξετάστηκαν σε κάθε πληθυσμό μελέτης.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων τόσο στις θαμνώδεις όσο και στις δενδρώδεις μορφές διατηρούν ένα σχετικά σταθερό εύρος τιμών σε όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Επίσης, παρατηρείται μικρό εύρος τιμών των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα του συνόλου των φύλλων που μελετήθηκαν ανεξαρτήτως μορφής, το οποίο δείχνει ότι οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στο έδαφος δεν ανακλούν στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στα φύλλα.

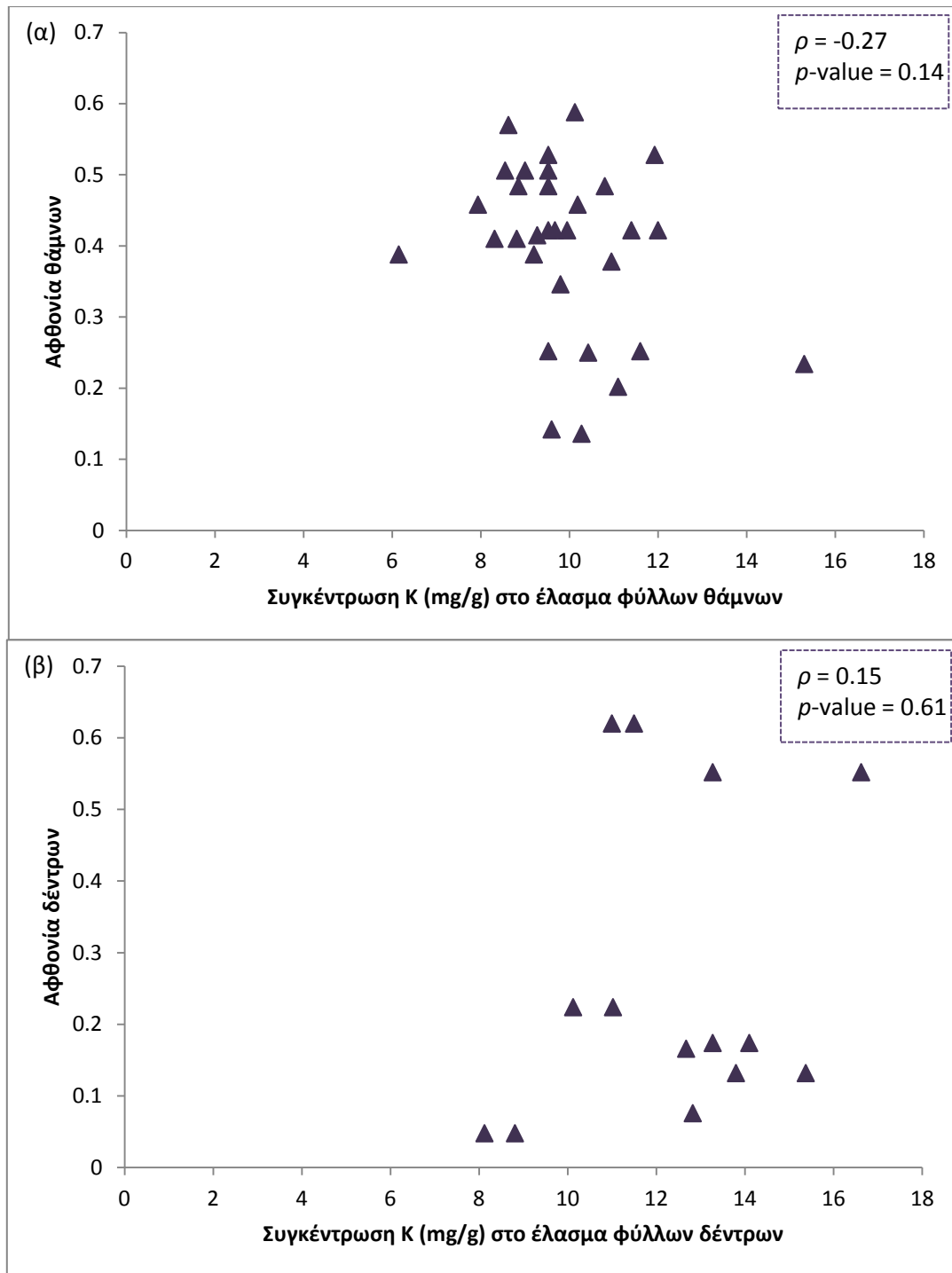
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της συσχέτισης της αφθονίας των θάμνων και των δέντρων (όπου υπάρχουν) με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων τους, από όλους τους πληθυσμούς μελέτης και παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 9, 10 και 11 αντίστοιχα. Οι αφθονίες των θάμνων και των δέντρων σε κάθε πληθυσμό μελέτης υπολογίζονται από τις μετρήσεις που έγιναν με τη μέθοδο των ευθειών διατομών (αδημοσίευτα δεδομένα του Εργαστηρίου), ενώ για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).



Διάγραμμα 9: Συγκέντρωση αζώτου (N) (σε αύξουσα σειρά) στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* ανά μορφή ((α) θαμνώδεις μορφές, (β) δενδρώδεις μορφές) σε σχέση με την αφθονία των θάμνων και των δέντρων αντίστοιχα από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



Διάγραμμα 10: Συγκέντρωση φωσφόρου (P) (σε αύξουσα σειρά) στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* ανά μορφή ((α) θαμνώδεις μορφές, (β) δενδρώδεις μορφές) σε σχέση με την αφθονία των θάμνων και των δέντρων αντίστοιχα από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



Διάγραμμα 11: Συγκέντρωση καλίου (K) (σε αύξουσα σειρά) στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* ανά μορφή ((α) θαμνώδεις μορφές, (β) δενδρώδεις μορφές) σε σχέση με την αφθονία των θάμνων και των δέντρων αντίστοιχα από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση, της αφθονίας των θάμνων και των δέντρων με τις συγκεντρώσεις P και K στο έλασμα των φύλλων σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των πληθυσμών μελέτης (p -

value \geq 0.1). Όμως, αρνητική συσχέτιση, η οποία είναι οριακά στατιστικά σημαντική ($\rho=-0.052$, p -value=0.056), παρατηρείται μεταξύ της αφθονίας των δέντρων και της συγκέντρωσης N στο έλασμα των φύλλων, ενώ αντίστοιχα στους θάμνους δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση (p -value=0.93).

Με βάση το Διάγραμμα 9 (α) προκύπτει ότι σε μικρές αφθονίες θάμνων έχουμε μικρότερη μεταβλητότητα/διακύμανση των συγκεντρώσεων N στα φύλλα τους, ενώ σε μεγαλύτερες αφθονίες η μεταβλητότητα/διακύμανση των συγκεντρώσεων N στα φύλλα αυξάνεται. Στην περίπτωση των δέντρων το αποτέλεσμα αντιστρέφεται, διότι εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα αζώτου σε μικρές τιμές αφθονίας και μικρότερη σε μεγάλες τιμές αφθονίας (Διάγραμμα 9 β). Έτσι, η αφθονία των θάμνων και των δέντρων συσχετίζεται κατά διαφορετικό τρόπο με την μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του N στο έλασμα των φύλλων παρά το γεγονός ότι η αφθονία των θάμνων με τη συγκέντρωση αζώτου στα φύλλα δεν συσχετίζονται κατά τρόπο στατιστικά σημαντικό (p -values=0.93), ενώ η αφθονία των δέντρων εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση (p -values=0.056).

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10, τόσο οι θαμνώδεις μορφές όσο και οι δενδρώδεις δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της αφθονίας των φυτών και της συγκέντρωσης P στο έλασμα (p -value=0.77 και p -value=0.24 αντίστοιχα). Στην περίπτωση των δένδρων όμως παρατηρείται μια μείωση της μεταβλητότητας των συγκεντρώσεων P στο έλασμα με την αύξηση της αφθονίας των φυτών, κάτι που δεν παρατηρείται στην περίπτωση των θαμνωδών μορφών.

Στο Διάγραμμα 11 φαίνεται ότι η αφθονία που εμφανίζουν οι θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές δεν συσχετίζεται με τις συγκεντρώσεις K στο έλασμα των φύλλων κατά στατιστικά σημαντικό τρόπο (p -value=0.14 και p -value=0.61 αντίστοιχα). Επίσης, δεν εμφανίζεται κάποια σχέση μεταξύ της αφθονίας των φυτών και της μεταβλητότητας της συγκέντρωσης K.

Ακολούθως, στον Πίνακα 6 εξετάζεται η μεταβλητότητα (variability) των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές από όλους τους πληθυσμούς μελέτης αλλά και στο σύνολο των

πληθυσμών μελέτης με τη χρήση του συντελεστή διακύμανσης (CV%). Αυτό που προκύπτει από τον Πίνακα 6 είναι ότι μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκεντρώσεων μεταξύ των στοιχείων παρατηρείται στην περίπτωση του P.

Πίνακας 6: Ο συντελεστής διακύμανσης (CV%) των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές αλλά και στο σύνολο των φυτών που εξετάστηκαν ανεξαρτήτως μορφής από όλους τους πληθυσμούς μελέτης.

Μορφές	CV(N)%	CV(P)%	CV(K)%
Θάμνοι	10.67697	31.16904	15.60841
Δέντρα	14.16647	35.59985	19.72182
Σύνολο φυτών	12.72037	34.2962	19.71477

Βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων του είδους *Z. abelicea*

Στους Πίνακες 7 και 8 παρουσιάζονται το εύρος τιμών και η μέση τιμή αντίστοιχα των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές, στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν (275 φύλλα) ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης.

Πίνακας 7: Εύρος τιμών των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές, στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης: εμβαδόν δοντιών (TA), αριθμός δοντιών (NT), εσωτερική περίμετρος (IP), εμβαδόν φύλλου (LA), περίμετρος φύλλου (LP), μήκος (L) και πλάτος (W) φύλλου.

Κατηγορίες	TA (cm ²)	NT	IP (cm)	LA (cm ²)	LP (cm)	L (cm)	W (cm)
Θάμνοι	0.02-0.599	5-13	1.422-7.161	0.141-3.124	1.738-9.593	0.539-2.624	0.336-1.744
Δέντρα	0.119-2.654	7-15	3.503-15.914	0.727-15.722	4.189-22.399	1.095-5.291	0.716-3.945

Πίνακας 8: Μέση τιμή των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές, στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης: εμβαδόν δοντιών (TA), αριθμός δοντιών (NT), εσωτερική περίμετρος (IP), εμβαδόν φύλλου (LA), περίμετρος φύλλου (LP), μήκος (L) και πλάτος (W) φύλλου.

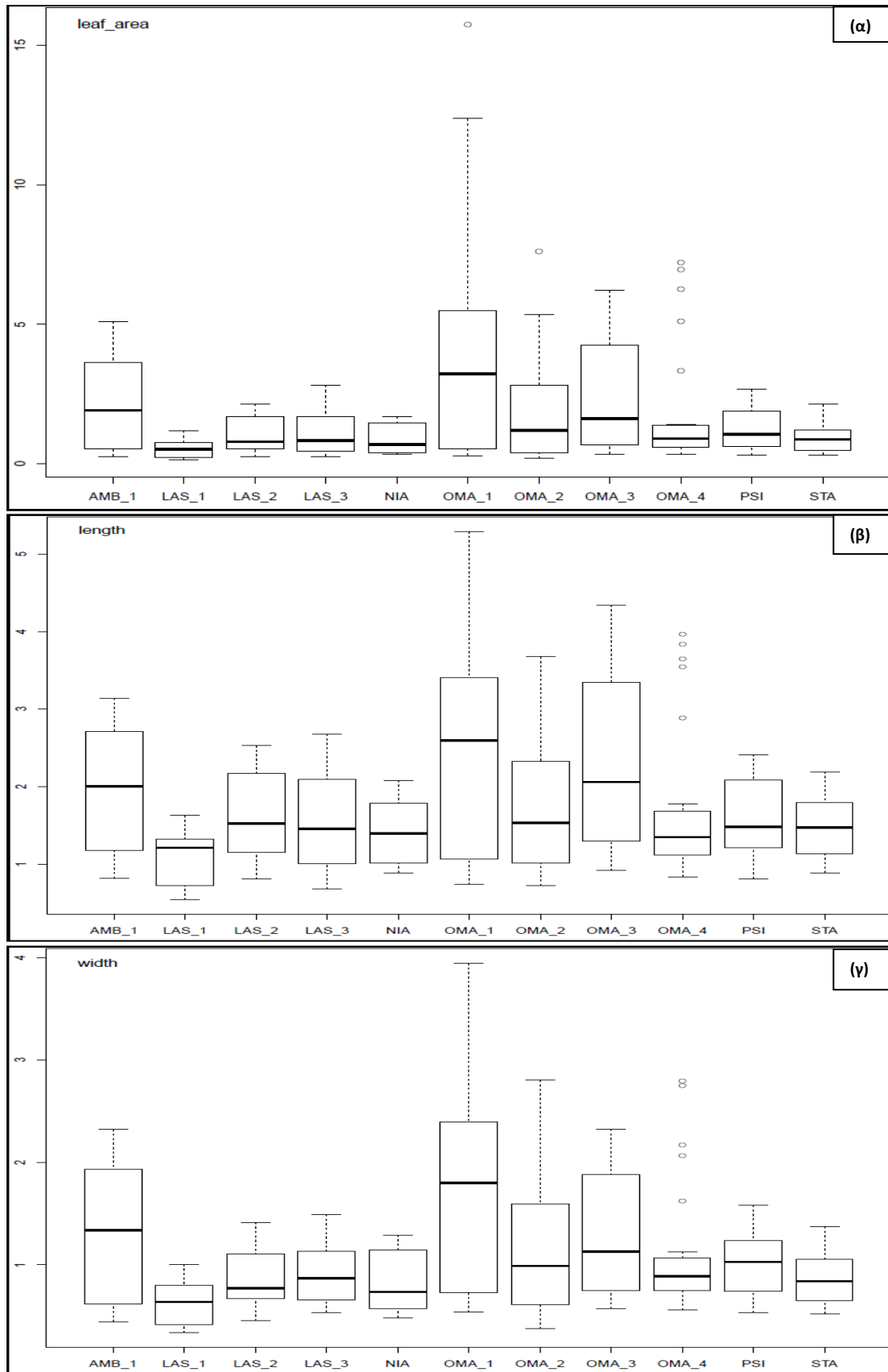
Κατηγορίες	TA (cm ²)	NT	IP (cm)	LA (cm ²)	LP (cm)	L (cm)	W (cm)
Θάμνοι	0.1258	9.0056	3.3663	0.7915	4.1049	1.2789	0.7930
Δέντρα	0.5666	9.7895	7.3072	3.6692	9.0243	2.6816	1.7423

Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχει μια αλληλοεπικάλυψη μέρους του ανωτέρου εύρους των τιμών των βιομετρικών των θάμνων και μέρους του κατωτέρου εύρους των τιμών των βιομετρικών των δέντρων (Πίνακας 7), ενώ οι μέσες τιμές των βιομετρικών χαρακτηριστικών των

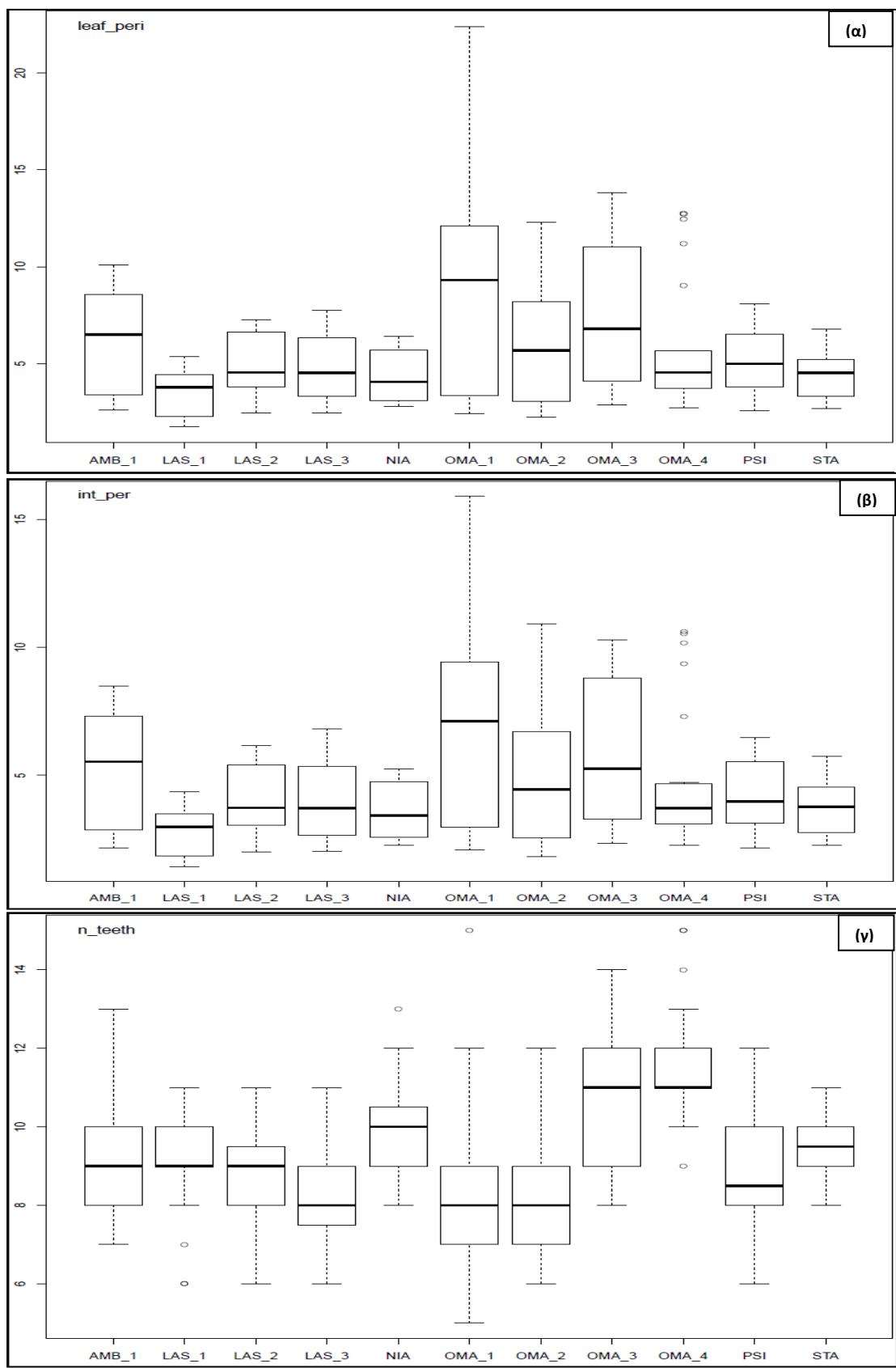
φύλλων είναι διαφορετικές μεταξύ θάμνων και δέντρων (Πίνακας 8). Ακόμη, οι μέγιστες τιμές των βιομετρικών χαρακτηριστικών των δέντρων είναι περίπου διπλάσιες από αυτές των θάμνων στην περίπτωση της περιμέτρου και της εσωτερικής περιμέτρου του φύλλου, του μήκους και του πλάτους του φύλλου, ενώ είναι περίπου τετραπλάσιες στην περίπτωση του εμβαδού των δοντιών και του εμβαδού του φύλλου στο σύνολο των πληθυσμών μελέτης (Πίνακας 7). Εξαιρέση αποτελεί ο αριθμός των δοντιών, με μέγιστη τιμή 13 για τους θάμνους και 15 για τα δέντρα.

Ακολούθως, οι μέσες τιμές των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων των δέντρων είναι μεγαλύτερες από αυτές των θάμνων στο σύνολο των πληθυσμών μελέτης. Ειδικότερα, τα φύλλα των δέντρων κατά μέσο όρο είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος (LA), έχουν περισσότερα και μεγαλύτερα δόντια (NT, TA) και μεγαλύτερο μήκος (L) και πλάτος (W) φύλλων από ότι οι θάμνοι (Πίνακας 8). Επίσης, οι δενδρώδεις μορφές του είδους έχουν μεγαλύτερη μέση περίμετρο (LP) και μέση εσωτερική περίμετρο φύλλου (IP) σε σχέση με τους θάμνους.

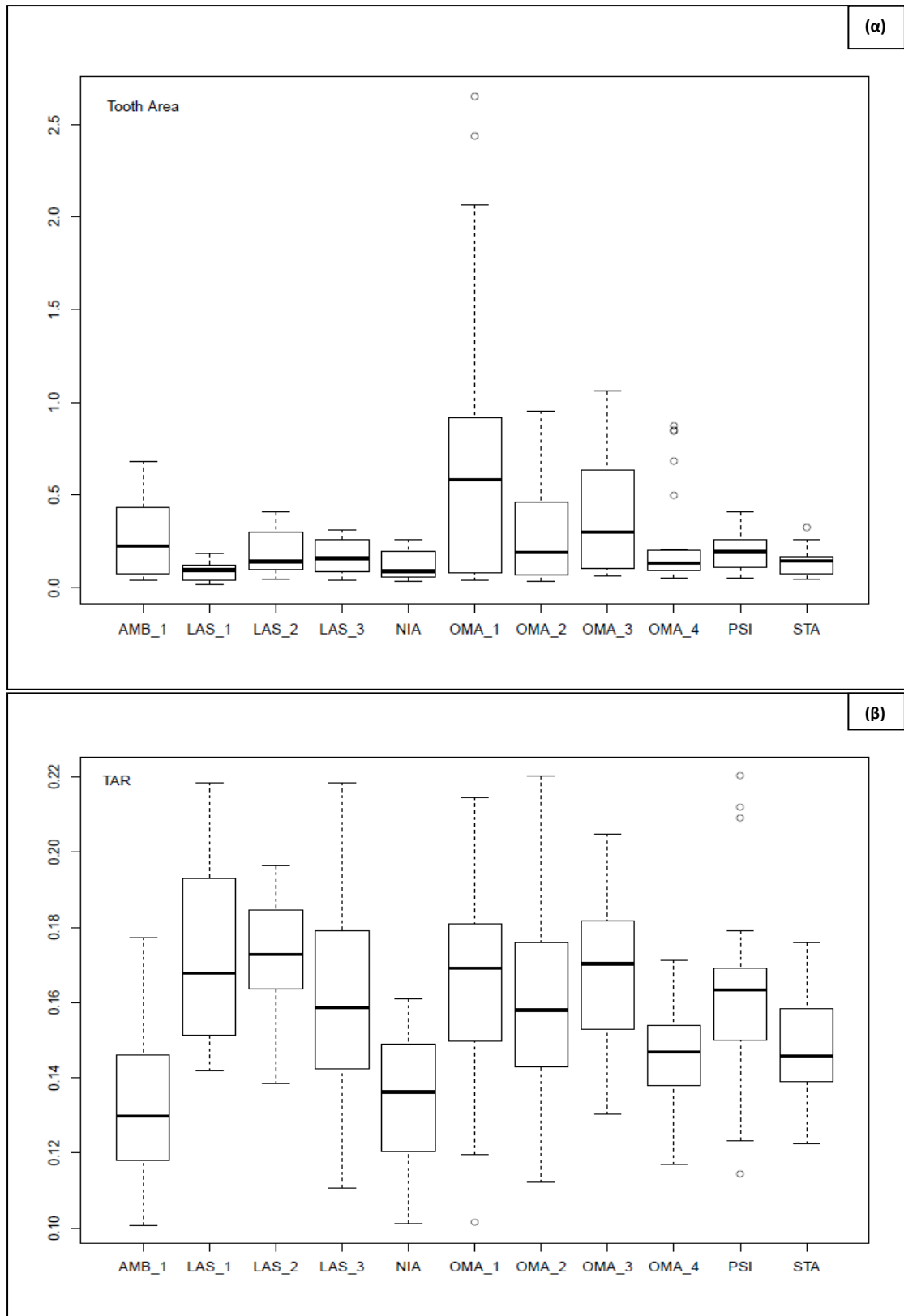
Συγκρίνοντας τα βιομετρικά χαρακτηριστικά του συνόλου των φύλλων που εξετάστηκαν μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών του είδους *Z. abelicea* ανεξαρτήτως μορφής όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 12, 13, 14 και 15 παρατηρούμε ότι οι πληθυσμοί LAS_1 και OMA_1 περιλαμβάνουν φυτά τα οποία έχουν το μικρότερο και μεγαλύτερο αντίστοιχα μέσο μέγεθος φύλλου (LA), μέσο μήκος (L) και μέσο πλάτος (W) φύλλου (Διάγραμμα 12 α, β και γ αντίστοιχα) και την μικρότερη και μεγαλύτερη αντίστοιχα μέση περίμετρο (LP) και μέση εσωτερική περίμετρο (IP) φύλλου (Διάγραμμα 13 α και β). Ακόμη, οι πληθυσμοί OMA_1, OMA_2 και LAS_3 διαθέτουν φυτά τα οποία έχουν το μικρότερο μέσο αριθμό δοντιών (NT) στα φύλλα τους, ενώ οι πληθυσμοί OMA_3 και OMA_4 έχουν φυτά με τον μεγαλύτερο μέσο αριθμό δοντιών (NT) (Διάγραμμα 13 γ). Επιπλέον, μικρότερο μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλου εμφανίζουν οι πληθυσμοί NIA και LAS_1, ενώ μεγαλύτερο ο πληθυσμός OMA_1 (Διάγραμμα 14 α).



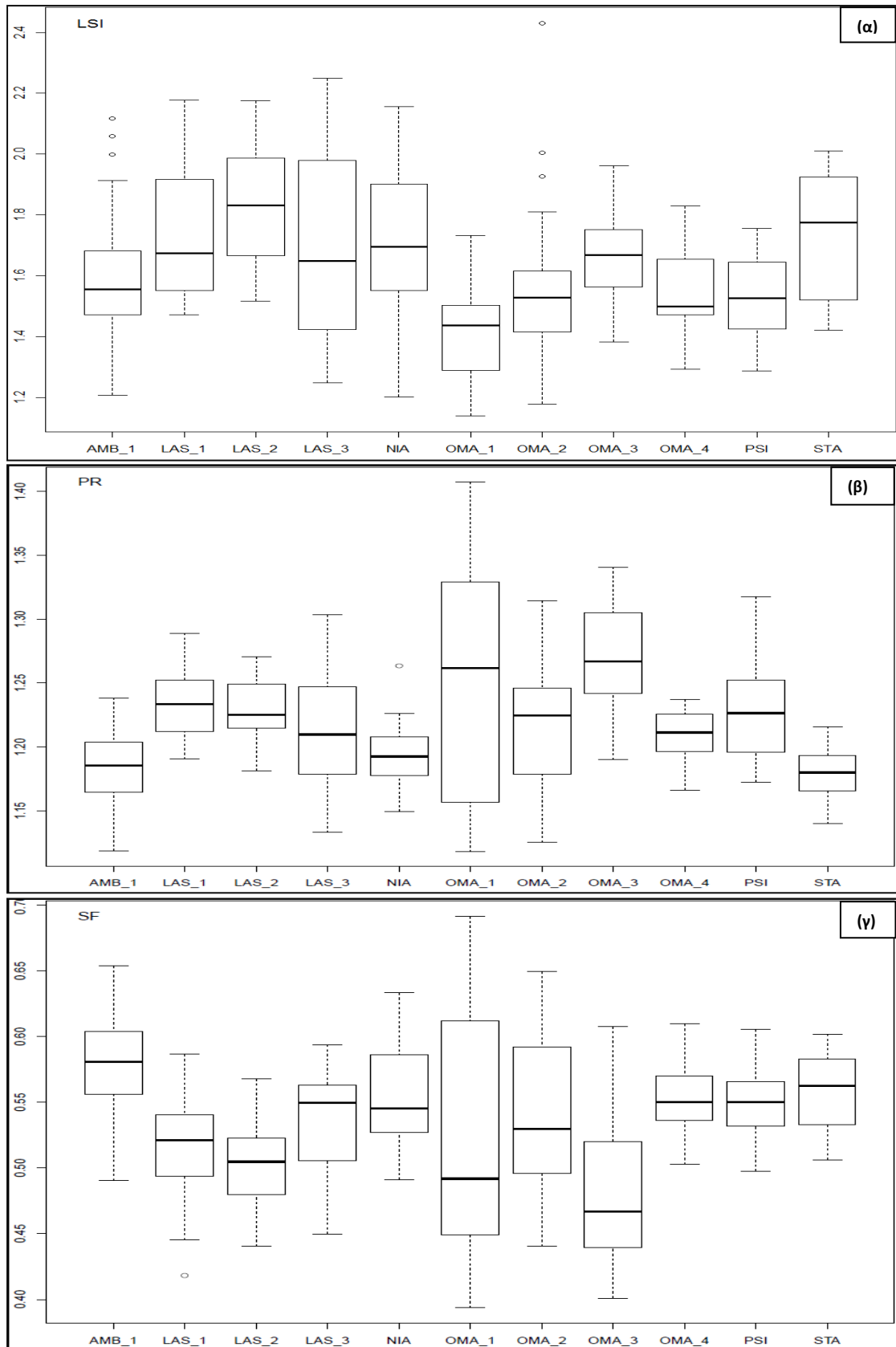
Διάγραμμα 72: Θηκογράμματα των βιομετρικών χαρακτηριστικών: (α) εμβαδόν φύλλων, (β) μήκος φύλλων και (γ) πλάτος φύλλων για το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής σε κάθε πληθυσμό μελέτης.



Διάγραμμα 13: Θηκογράμματα των βιομετρικών χαρακτηριστικών: (α) περίμετρος φύλλων, (β) εσωτερική περίμετρος φύλλων και (γ) αριθμός δοντιών φύλλων για το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής σε κάθε πληθυσμό μελέτης.



Διάγραμμα 14: Θηκογράμματα των βιομετρικών χαρακτηριστικών: (α) εμβαδόν δοντιών φύλλων, (β) λόγος εμβαδού δοντιών φύλλων/εμβαδόν φύλλων για το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής σε κάθε πληθυσμό μελέτης.



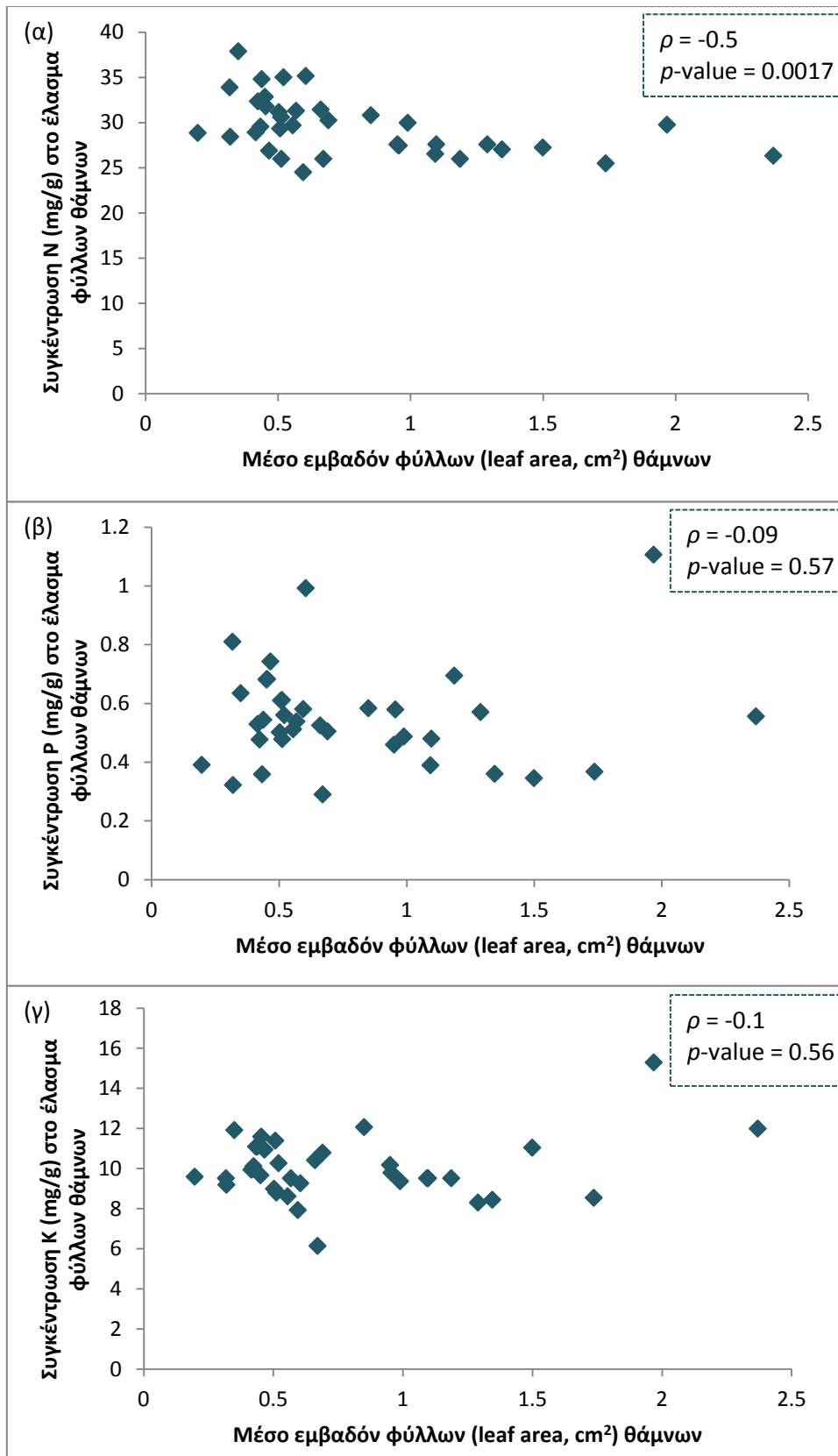
Διάγραμμα 15: Θηκογράμματα για: (α) το δείκτη σχήματος φύλλων, (β) το λόγο περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων και (γ) τον παράγοντα σχήματος φύλλων για το σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* ανεξαρτήτως θαμνώδους ή δενδρώδους μορφής σε κάθε πληθυσμό μελέτης.

Μικρότερη μέση τιμή λόγου εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλου (TAR) έχουν τα φυτά του πληθυσμού AMB_1 και μεγαλύτερη τα φυτά του πληθυσμού LAS_2 (Διάγραμμα 14 β). Επίσης, κατά μέσο όρο λιγότερο επιμήκη φύλλα (LSI= μήκος/ πλάτος φύλλου) παρατηρούνται σε φυτά του πληθυσμού OMA_1 και περισσότερο επιμήκη φύλλα σε φυτά των πληθυσμών LAS_2 και STA (Διάγραμμα 15 α). Ακόμη, μικρότερη μέση τιμή λόγου περιμέτρου προς την εσωτερική περίμετρο φύλλου (PR) παρατηρείται στους πληθυσμούς STA και AMB_1 και μεγαλύτερη στους πληθυσμούς OMA_3 και OMA_1 (Διάγραμμα 15 β). Τέλος, η μέση τιμή του παράγοντα σχήματος φύλλων (SF) είναι μικρότερη στα φυτά του πληθυσμού OMA_3 και μεγαλύτερη στο πληθυσμό AMB_1 (Διάγραμμα 15 γ).

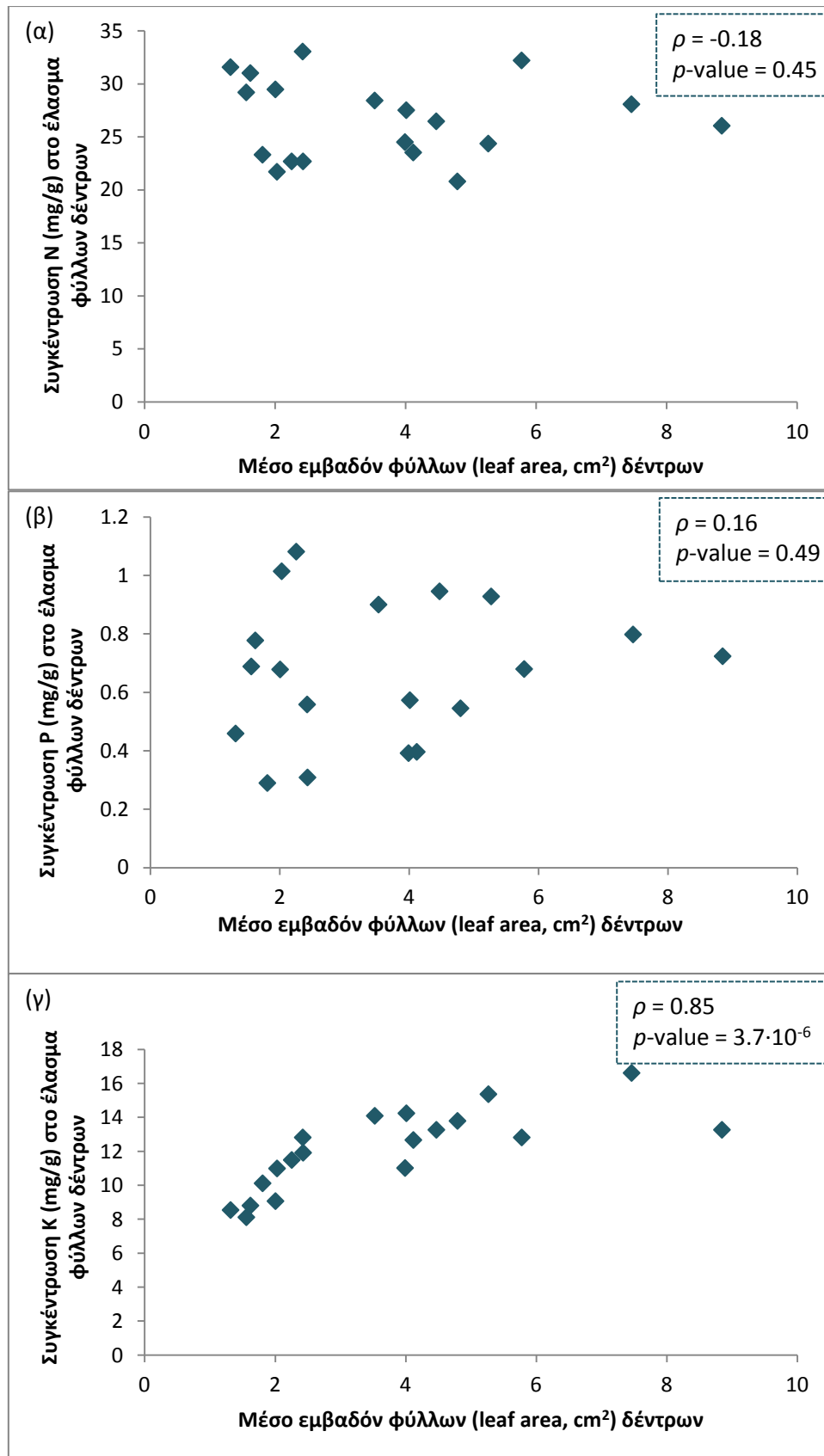
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι κάποιοι από τους πληθυσμούς των Λευκών ορέων όπως OMA_1, AMB_1, OMA_3 και OMA_2 διαθέτουν μεγαλύτερες μέσες τιμές βιομετρικών χαρακτηριστικών όπως εμβαδόν φύλλου, εμβαδόν δοντιών φύλλου, μήκους, πλάτους, περιμέτρου και εσωτερικής περιμέτρου φύλλου σε σχέση με τους υπόλοιπους πληθυσμούς οι οποίοι εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πληθυσμοί αυτοί περιλαμβάνουν εκτός από θάμνους και αρκετά μεγάλα ώριμα δέντρα.

Σχέση μεταξύ των βιομετρικών χαρακτηριστικών των φύλλων και των NPK συγκεντρώσεων στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea*

Στα Διαγράμματα 16 και 17 παρουσιάζεται η συσχέτιση του μέσου εμβαδού των φύλλων (LA) με τις συγκεντρώσεις N, P και K (α, β και γ αντίστοιχα) στο έλασμα των φύλλων, του είδους *Z. abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις (Διάγραμμα 16) και δενδρώδεις (Διάγραμμα 17) μορφές από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Συγκεκριμένα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε το μέσο εμβαδόν από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).



Διάγραμμα 16: Μέσο εμβαδόν φύλλων (ανά φυτό) σε σχέση με τη συγκέντρωση (α) αζώτου (N), (β) φωσφόρου (P) και (γ) καλίου (K) στο έλασμα φύλλων (ανά φυτό) για το σύνολο των φύλλων της θαμνώδους μορφής που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



Διάγραμμα 17: Μέσο εμβαδόν φύλλων (ανά φυτό) σε σχέση με τη συγκέντρωση (α) αζώτου (N), (β) φωσφόρου (P) και (γ) καλίου (K) στο έλασμα φύλλων (ανά φυτό) για το σύνολο των φύλλων της δενδρώδους μορφής που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

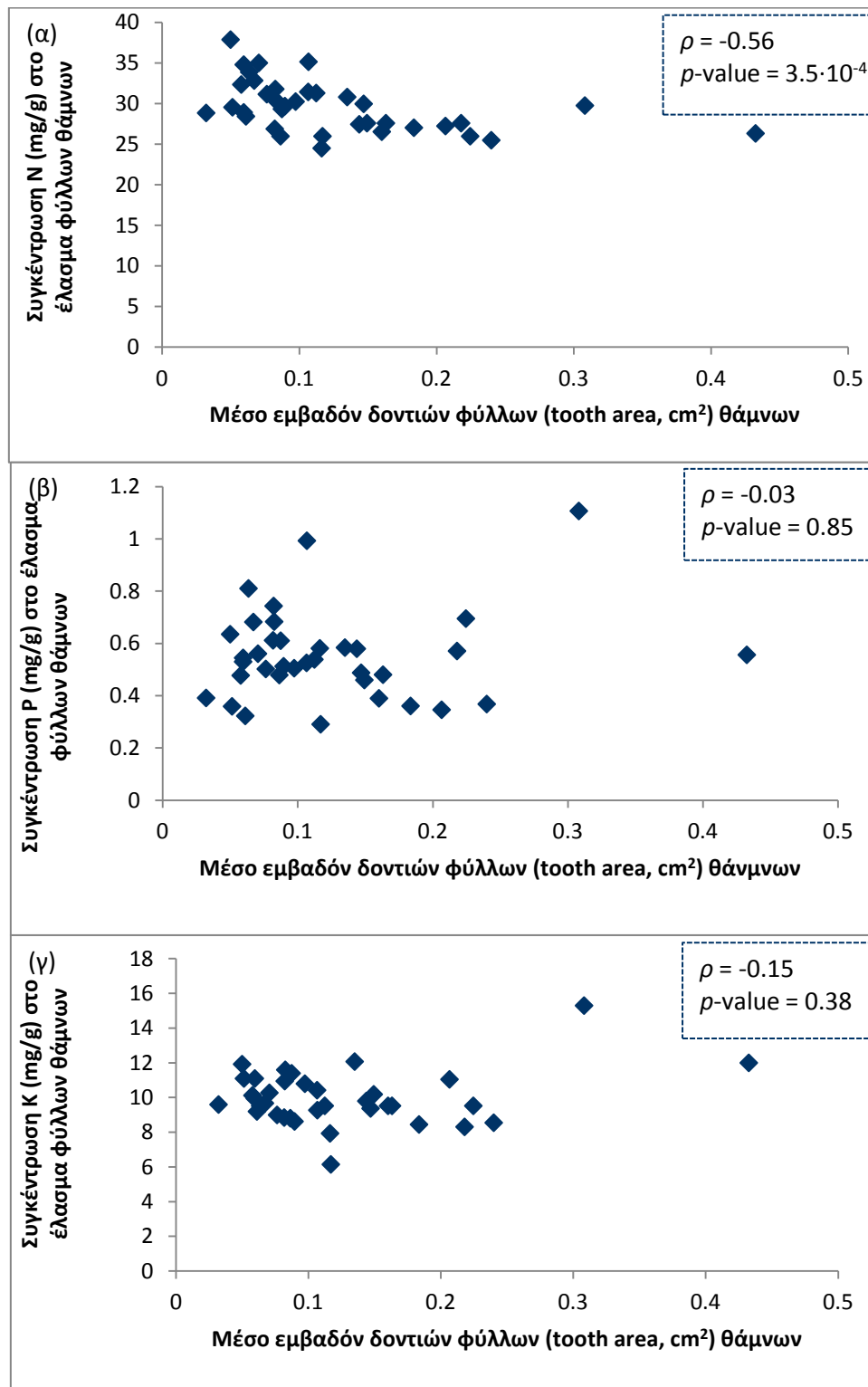
Στις θαμνώδεις μορφές παρατηρείται στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μέσου εμβαδού των φύλλων και των συγκεντρώσεων N στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.5$, $p\text{-value}=0.0017$, Διάγραμμα 16 α), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση του μέσου εμβαδού των φύλλων με τις συγκεντρώσεις P και K στο έλασμα ($p\text{-value}=0.57$, Διάγραμμα 16 β και $p\text{-value}=0.56$, Διάγραμμα 16 γ αντίστοιχα). Επίσης, οι θάμνοι εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα ως προς την συγκέντρωση N στα φύλλα, καθώς μειώνεται το μέσο μέγεθος των φύλλων, και μικρότερη μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του N με την αύξηση του μέσου εμβαδού των φύλλων (Διάγραμμα 16 α).

Στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζεται στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση μεταξύ του μέσου εμβαδού των φύλλων και των συγκεντρώσεων K στα φύλλα ($\rho=0.85$, $p\text{-value}=3.7\cdot 10^{-6}$, Διάγραμμα 17 γ), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση του μέσου εμβαδού των φύλλων με τις συγκεντρώσεις N και P στα φύλλα ($p\text{-value}=0.45$, Διάγραμμα 17 α και $p\text{-value}=0.49$, Διάγραμμα 17 β αντίστοιχα). Επιπρόσθετα, οι δενδρώδεις μορφές εμφανίζουν μεγάλη μεταβλητότητα ως προς την συγκέντρωση P στα φύλλα, καθώς μειώνεται η μέση επιφάνεια των φύλλων τους, και μικρή μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του P με την αύξηση του μέσου εμβαδού των φύλλων (Διάγραμμα 17 β).

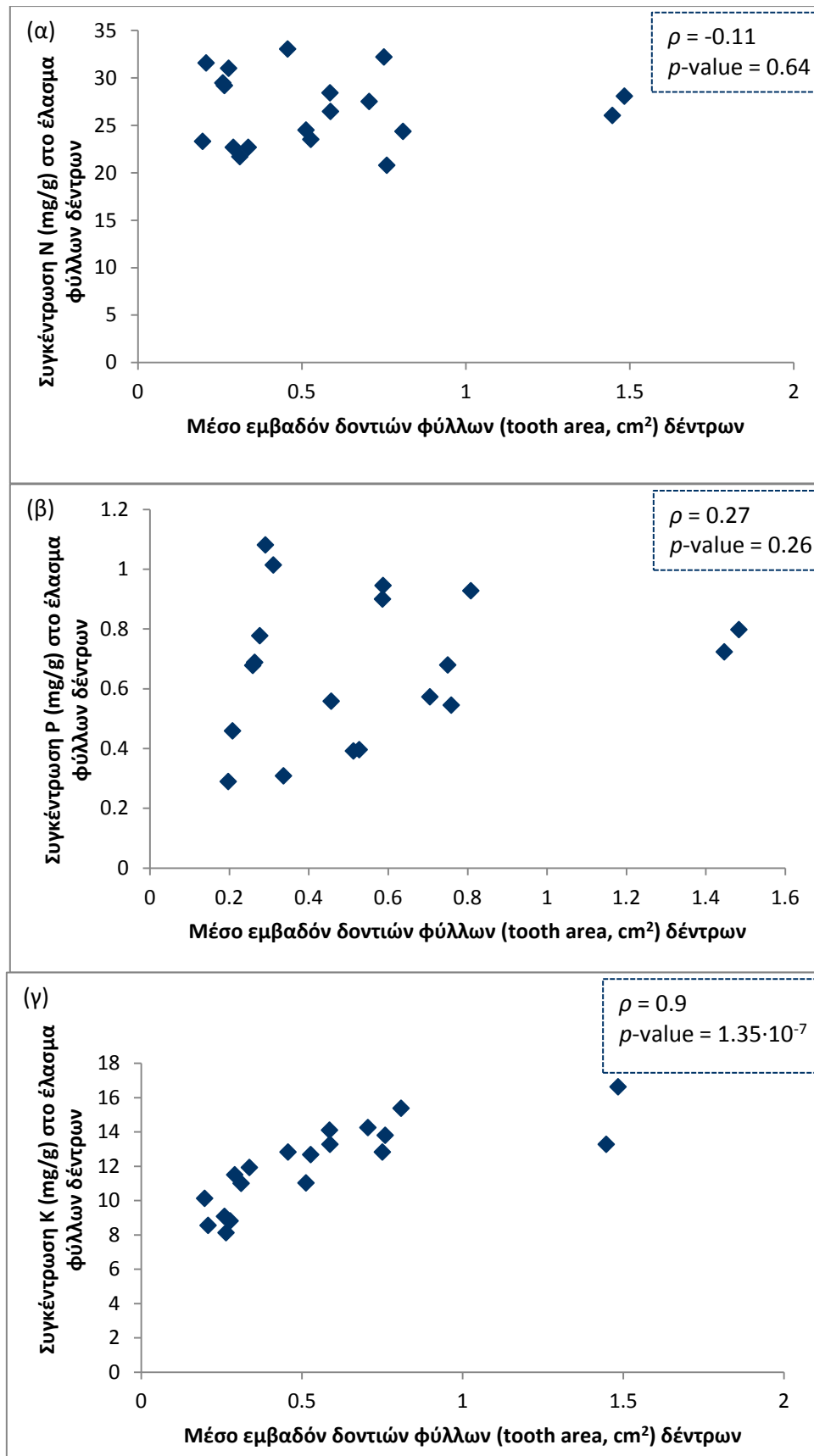
Ακολούθως, τα Διαγράμματα 18 και 19 παρουσιάζουν τη συσχέτιση του μέσου εμβαδού των δοντιών (TA) φύλλων με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, σε θάμνους και δέντρα αντίστοιχα που εξετάστηκαν από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Συγκεκριμένα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε το μέσο εμβαδόν δοντιών από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Στις θαμνώδεις μορφές εμφανίζεται στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μέσου εμβαδού των δοντιών φύλλων και των συγκεντρώσεων N στο έλασμα ($\rho=-0.56$, $p\text{-value}=3.5\cdot 10^{-4}$, Διάγραμμα 18 α), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση στις περιπτώσεις του P και του K ($p\text{-value}=0.85$, Διάγραμμα 18 β και $p\text{-value}=0.38$, Διάγραμμα 18 γ, αντίστοιχα). Ακόμη, σε μικρότερο μέσο μέγεθος δοντιών εμφανίζεται μεγαλύτερη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων N στα φύλλα,

ενώ καθώς αυξάνει το μέσο εμβαδόν των δοντιών σταθεροποιούνται οι συγκεντρώσεις N στα φύλλα (Διάγραμμα 18 α).



Διάγραμμα 18: Μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλων (ανά φυτό) σε σχέση με τη συγκέντρωση (α) αζώτου (N), (β) φωσφόρου (P) και (γ) καλίου (K) στο έλασμα φύλλων (ανά φυτό) για το σύνολο των φύλλων της θαμνώδους μορφής που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

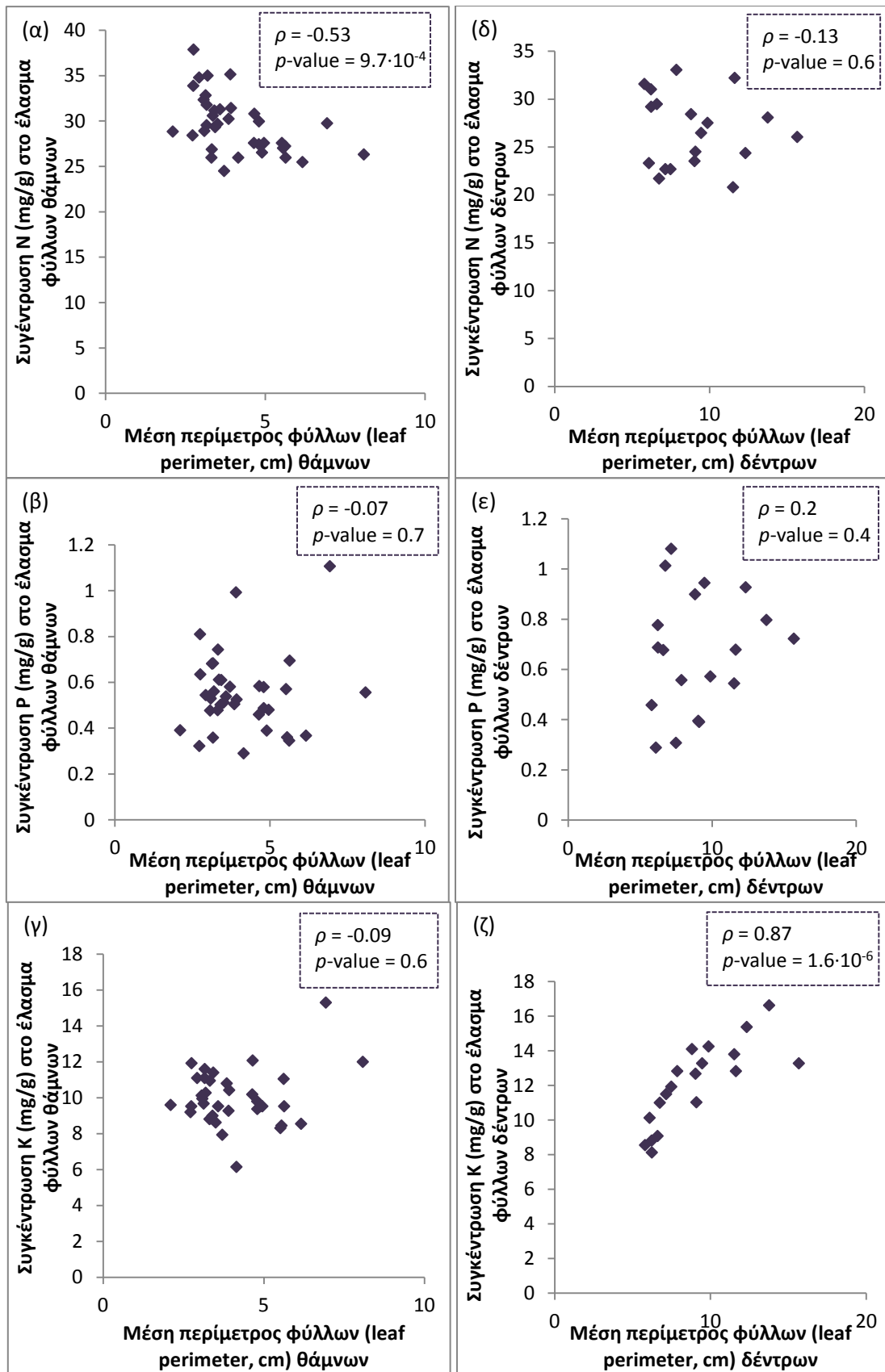


Διάγραμμα 19: Μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλων (ανά φυτό) σε σχέση με τη συγκέντρωση (α) αζώτου (N), (β) φωσφόρου (P) και (γ) καλίου (K) στο έλασμα φύλλων (ανά φυτό) για το σύνολο των φύλλων της δενδρώδους μορφής που εξετάστηκαν του είδους *Z. abelicea* από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

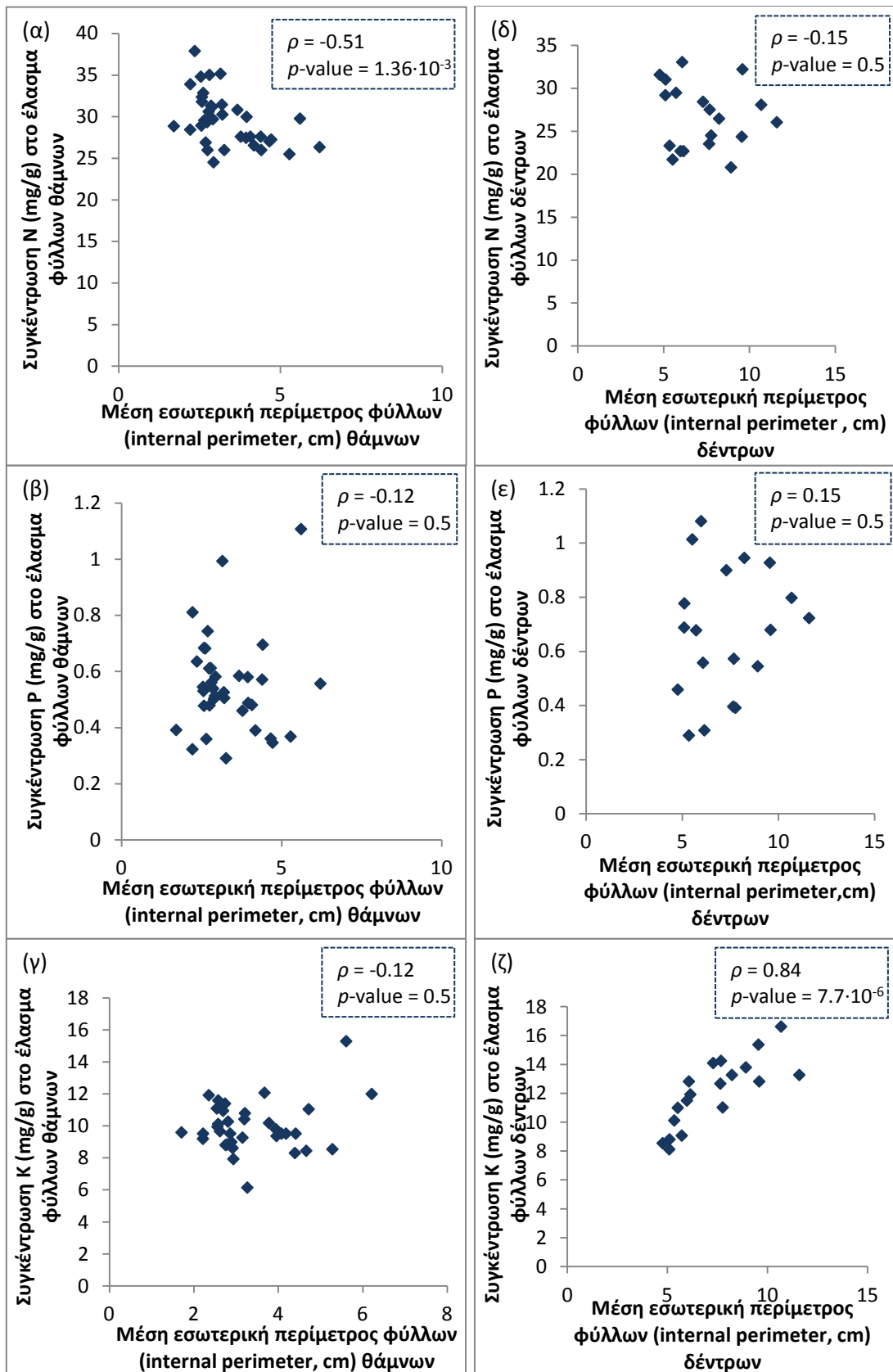
Στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζεται στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση μεταξύ του μέσου εμβαδού των δοντιών φύλλων και των συγκεντρώσεων K στο έλασμα ($\rho=0.9$, $p\text{-value}=1.35\cdot 10^{-7}$, Διάγραμμα 19 γ), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση στις περιπτώσεις του N και του P ($p\text{-value}=0.64$, Διάγραμμα 19 α και $p\text{-value}=0.26$, Διάγραμμα 19 β). Επιπλέον, παρουσιάζεται μεγάλη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων P στα φύλλα δέντρων με μικρά δόντια, ενώ όσο αυξάνει το μέσο μέγεθος των δοντιών μειώνεται η μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του P στο έλασμα (Διάγραμμα 19 β).

Η συσχέτιση της μέσης περιμέτρου (LP) και της μέσης εσωτερικής περιμέτρου (IP) των φύλλων με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές του συνόλου των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης, παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 20 και 21 αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε η μέση περίμετρος και η μέση εσωτερική περίμετρος από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Στις θαμνώδεις μορφές παρατηρείται στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ της μέσης περιμέτρου και της μέσης εσωτερικής περιμέτρου των φύλλων με τις συγκεντρώσεις N στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.53$, $p\text{-value}=9.7\cdot 10^{-4}$, Διάγραμμα 20 α και $\rho=-0.51$, $p\text{-value}=1,36\cdot 10^{-3}$, Διάγραμμα 21 α, αντίστοιχα), ενώ δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μέσης περιμέτρου και της μέσης εσωτερικής περιμέτρου των φύλλων με τις συγκεντρώσεις P και K στο έλασμα ($p\text{-value}=0.7$, Διάγραμμα 20 β και $p\text{-value}=0.6$, Διάγραμμα 20 γ, αντίστοιχα για την μέση περίμετρο φύλλου, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 21 β, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 21 γ, αντίστοιχα για την μέση εσωτερική περίμετρο φύλλου). Επίσης, μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκεντρώσεων N παρατηρείται σε μικρότερη μέση περίμετρο και μέση εσωτερική περίμετρο φύλλων, ενώ η μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων N μειώνεται καθώς αυξάνει η μέση περίμετρος και η μέση εσωτερική περίμετρος των φύλλων (Διαγράμματα 20 α και 21 α αντίστοιχα).



Διάγραμμα 20: Μέση περίμετρος φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



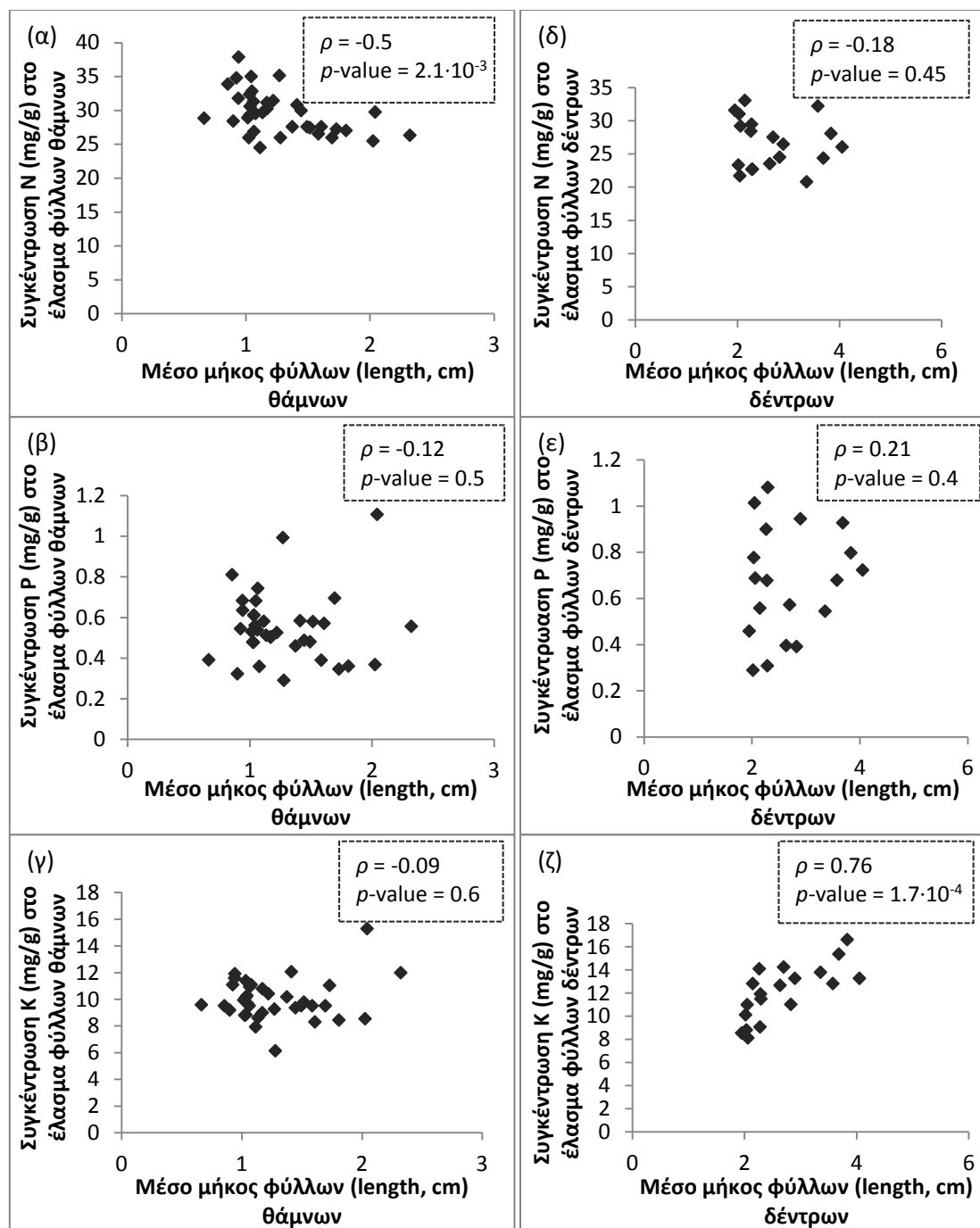
Διάγραμμα 21: Μέση εσωτερική περίμετρος φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

Ακολουθως, στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζεται στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση μεταξύ της μέσης περιμέτρου και της μέσης εσωτερικής περιμέτρου των φύλλων με τις συγκεντρώσεις K στο έλασμα των φύλλων ($\rho=0.87$, $p\text{-value}=1.6\cdot 10^{-6}$, Διάγραμμα 20 ζ και $\rho=0.84$, $p\text{-value}=7.7\cdot 10^{-6}$, Διάγραμμα 21 ζ, αντίστοιχα), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μέσης περιμέτρου και της μέσης εσωτερικής περιμέτρου των φύλλων με τις συγκεντρώσεις N και P στο έλασμα ($p\text{-value}=0.6$, Διάγραμμα 20 δ και $p\text{-value}=0,4$, Διάγραμμα 20 ε, αντίστοιχα για την μέση περίμετρο φύλλου, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 21 δ, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 21 ε, αντίστοιχα για την μέση εσωτερική περίμετρο φύλλου). Επίσης, όταν τα φύλλα των δέντρων έχουν μεγαλύτερη μέση περίμετρο και μέση εσωτερική περίμετρο οι συγκεντρώσεις P παρουσιάζουν μικρή μεταβλητότητα στα φύλλα, ενώ σε μικρότερη μέση περίμετρο και μέση εσωτερική περίμετρο εμφανίζουν υψηλή διακύμανση/μεταβλητότητα συγκεντρώσεων P στο έλασμα (Διαγράμματα 20 ε και 21 ε αντίστοιχα), κάτι που δεν παρατηρείται στους θάμνους.

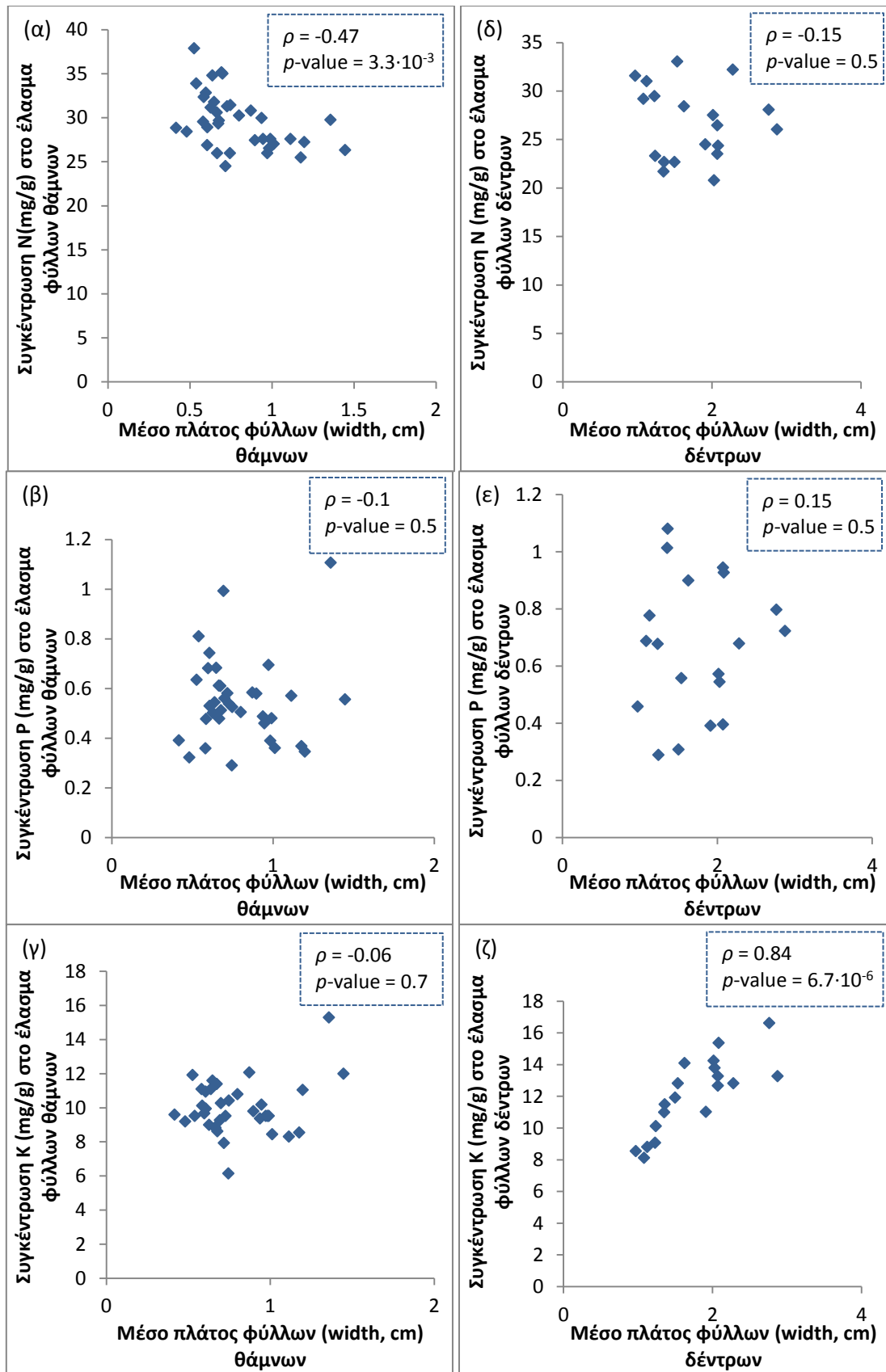
Επιπρόσθετα, οι σχέσεις του μέσου μήκους (L) και μέσου πλάτους (W) των φύλλων με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 22 (α, β, γ) και 23 (α, β, γ) αντίστοιχα. Το μέσο μήκος και μέσο πλάτος των φύλλων για κάθε φυτό προκύπτει με την εκτίμηση από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, στις θαμνώδεις μορφές παρατηρείται στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μέσου μήκους και πλάτους των φύλλων και των συγκεντρώσεων N στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.5$, $p\text{-value}=2.1\cdot 10^{-3}$, Διάγραμμα 22 α και $\rho=-0,47$, $p\text{-value}=3.3\cdot 10^{-3}$, Διάγραμμα 23 α, αντίστοιχα), ενώ δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυτών των βιομετρικών χαρακτηριστικών και των συγκεντρώσεων P και K στο έλασμα ($p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 22 β και $p\text{-value}=0.6$, Διάγραμμα 22 γ, αντίστοιχα για το μέσο μήκος φύλλου, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 23 β, $p\text{-value}=0.7$, Διάγραμμα 23 γ, αντίστοιχα για το μέσο πλάτος φύλλου). Ακόμη,

αυξανόμενου του μέσου μήκους και πλάτους των φύλλων παρατηρείται μικρότερη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων N στα φύλλα, ενώ καθώς μειώνεται το μέσο μήκος και πλάτος των φύλλων αυξάνεται η μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων N στο έλασμα (Διαγράμματα 22 α και 23 α αντίστοιχα).



Διάγραμμα 22: Μέσο μήκος φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



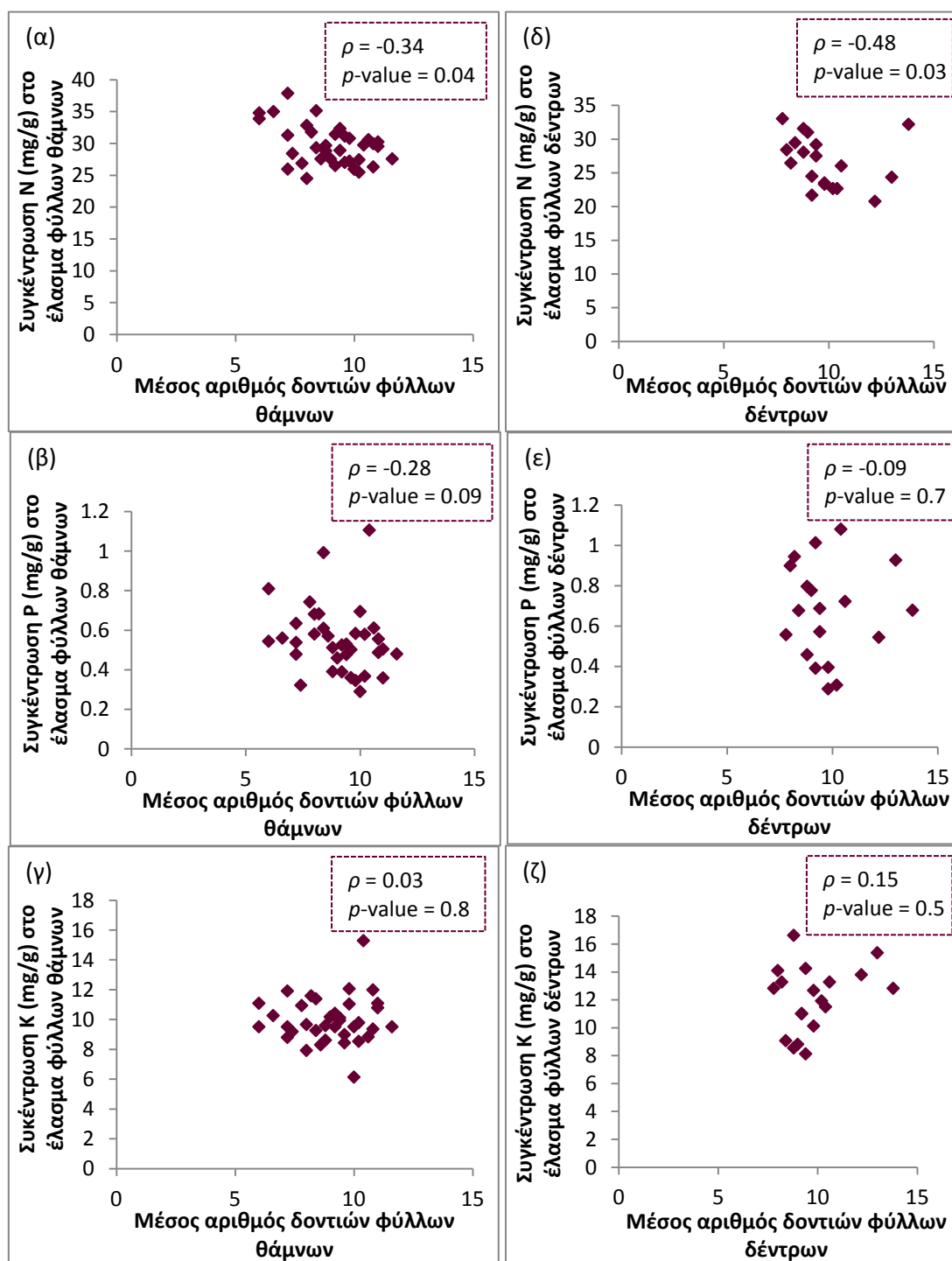
Διάγραμμα 23: Μέσο πλάτος φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

Στις δενδρώδεις μορφές παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση του μέσου μήκους και μέσου πλάτους των φύλλων με τις συγκεντρώσεις K στα φύλλα ($\rho=0.76$, $p\text{-value}=1.7\cdot 10^{-4}$, Διάγραμμα 22 ζ και $\rho=0.84$, $p\text{-value}=6.7\cdot 10^{-6}$, Διάγραμμα 23 ζ, αντίστοιχα), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυτών των βιομετρικών χαρακτηριστικών και των συγκεντρώσεων N και P στο έλασμα ($p\text{-value}=0.45$, Διάγραμμα 22 δ και $p\text{-value}=0.4$, Διάγραμμα 22 ε, αντίστοιχα για το μέσο μήκος φύλλου, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 23 δ, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 23 ε, αντίστοιχα για το μέσο πλάτος φύλλου). Επιπλέον, τα φύλλα των δέντρων με μικρό μέσο μήκος και μέσο πλάτος εμφανίζουν υψηλή μεταβλητότητα P η οποία έχει την τάση να μειώνεται καθώς αυξάνει το μέσο μήκος και το μέσο πλάτος των φύλλων (Διαγράμματα 22 ε και 23 ε, αντίστοιχα), ενώ στις θαμνώδεις μορφές δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο.

Στη συνέχεια, στο Διάγραμμα 24 παρουσιάζεται η συσχέτιση του μέσου αριθμού των δοντιών (NT) με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων, του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Συγκεκριμένα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε ο μέσος αριθμός δοντιών από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Τόσο στις θαμνώδεις όσο και στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζεται στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μέσου αριθμού των δοντιών και των συγκεντρώσεων N στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.34$, $p\text{-value}=0,04$, Διάγραμμα 24 α και $\rho=-0,48$, $p\text{-value}=0.03$, Διάγραμμα 24 δ, αντίστοιχα), ενώ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μέσου αριθμού των δοντιών και των συγκεντρώσεων P και K στα φύλλα θάμνων και δέντρων ($p\text{-value}=0.09$, Διάγραμμα 24 β και $p\text{-value}=0.8$, Διάγραμμα 24 γ, για τους θάμνους αντίστοιχα, $p\text{-value}=0.7$, Διάγραμμα 24 ε και $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 24 ζ, για τα δέντρα αντίστοιχα). Ακόμη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα φύλλα των θάμνων με μικρότερο μέσο αριθμό δοντιών εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκεντρώσεων N στα φύλλα, η οποία έχει την τάση να μειώνεται καθώς

αυξάνει ο μέσος αριθμός των δοντιών των φύλλων (Διάγραμμα 24 α), ενώ στις δενδρώδεις μορφές δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο.

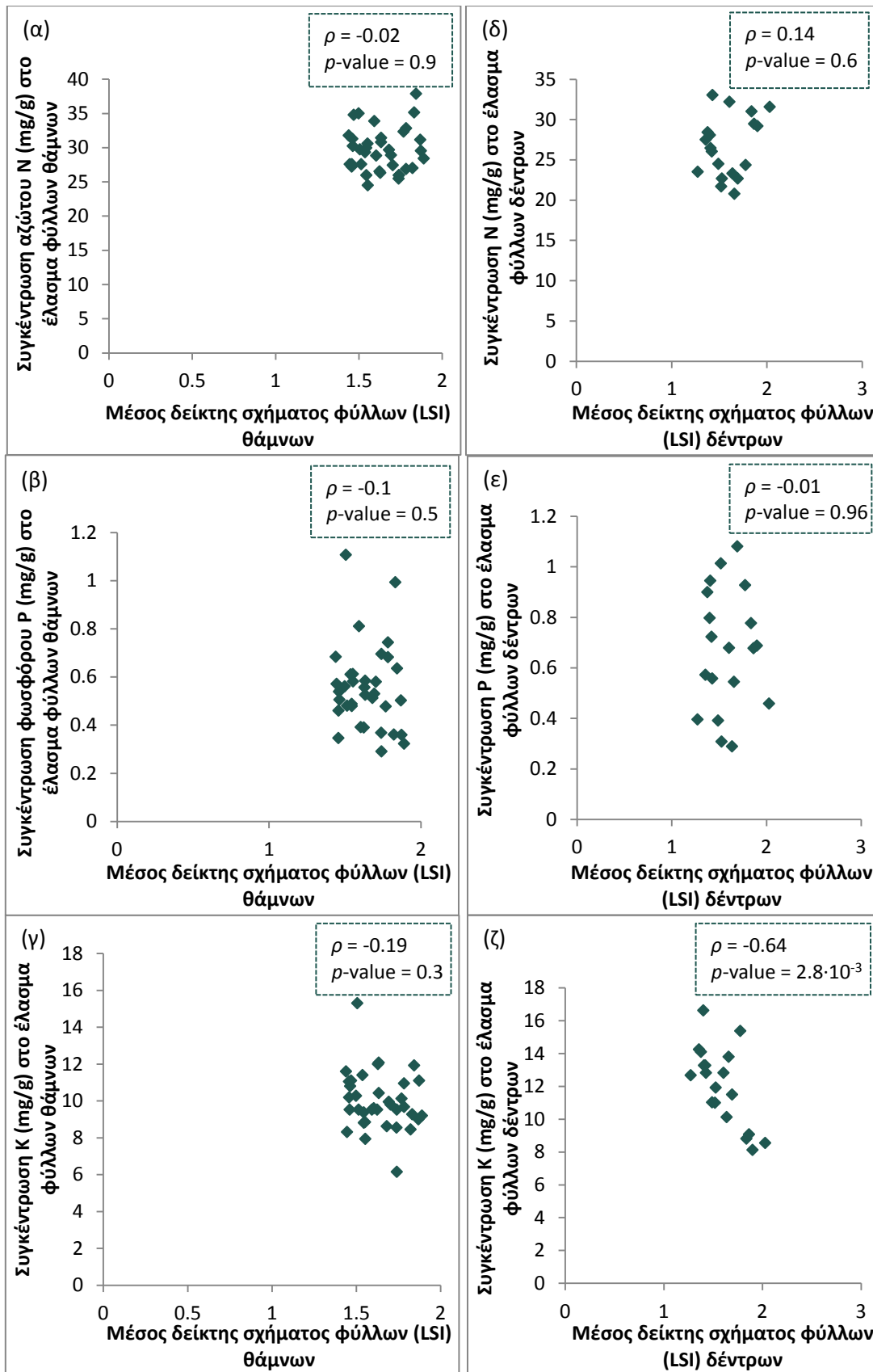


Διάγραμμα 24: Μέσος αριθμός δοντιών φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

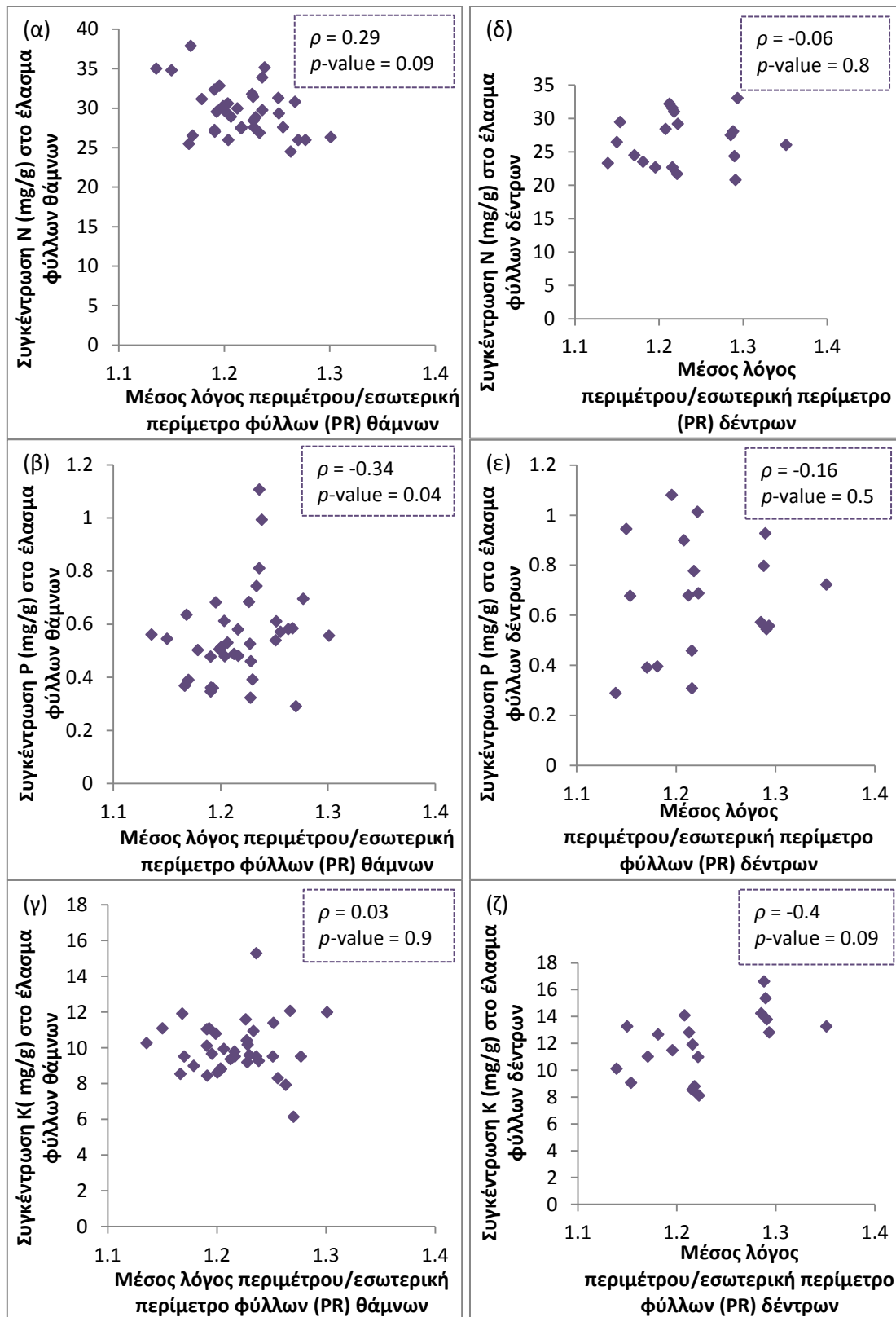
Επιπρόσθετα, στο Διάγραμμα 25 παρουσιάζεται η συσχέτιση του μέσου δείκτη σχήματος φύλλων ($LSI = \text{μήκος} / \text{πλάτος φύλλων}$) με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων, του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Συγκεκριμένα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε ο μέσος δείκτης σχήματος φύλλων από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Με βάση τα παραπάνω, στις θαμνώδεις μορφές δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μέσου δείκτη σχήματος φύλλων και των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα φύλλων (p -value=0.9 και Διάγραμμα 25 α, p -value=0.5 και Διάγραμμα 25 β, p -value=0.3 και Διάγραμμα 25 γ, αντίστοιχα). Στις δενδρώδεις μορφές στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ του μέσου δείκτη σχήματος φύλλων και των συγκεντρώσεων K στα φύλλα ($\rho = -0.64$, p -value= $2.8 \cdot 10^{-3}$, Διάγραμμα 25 ζ), ενώ δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μέσου δείκτη σχήματος φύλλων και των συγκεντρώσεων N και P στο έλασμα (p -value=0.6, Διάγραμμα 25 δ και p -value=0.96, Διάγραμμα 25 ε, αντίστοιχα). Θα πρέπει να σημειωθεί ακόμη, ότι ο υψηλός δείκτης σχήματος φύλλων αναφέρεται σε πιο επιμήκη (στενά και μακριά) φύλλα, οπότε μικρότερες συγκεντρώσεις K παρατηρούνται σε περισσότερο επιμήκη φύλλα των δέντρων.

Στο Διάγραμμα 26 φαίνεται η συσχέτιση του μέσου λόγου της περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο (PR) φύλλων και των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα των φύλλων, του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Ειδικότερα, για κάθε φυτό εκτιμήθηκε ο μέσος λόγος της περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).



Διάγραμμα 25: Μέσος δείκτης σχήματος (LSI=μήκος/ πλάτος φύλλων) φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



Διάγραμμα 86: Μέσος λόγος περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

Στις θαμνώδεις μορφές υπάρχει στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση μεταξύ του μέσου λόγου της περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων και των συγκεντρώσεων P στο έλασμα ($\rho=-0.34$, $p\text{-value}=0,04$, Διάγραμμα 26 β), ενώ δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση του μέσου λόγου της περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων με τις συγκεντρώσεις N και K στα φύλλα ($p\text{-value}=0.09$, Διάγραμμα 26 α και $p\text{-value}=0.9$, Διάγραμμα 26 γ, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των δέντρων δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση του μέσου λόγου της περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων ($p\text{-value}=0.8$, Διάγραμμα 26 δ, $p\text{-value}=0.5$, Διάγραμμα 26 ε και $p\text{-value}=0.09$, Διάγραμμα 26 ζ αντίστοιχα). Όμως, πρέπει να αναφερθεί ότι στις δενδρώδεις μορφές σε χαμηλότερο μέσο λόγο περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων παρατηρείται υψηλή διακύμανση των συγκεντρώσεων φωσφόρου στα φύλλα, ενώ όσο αυξάνει ο λόγος αυτός μειώνεται η μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων φωσφόρου (Διάγραμμα 26 ε).

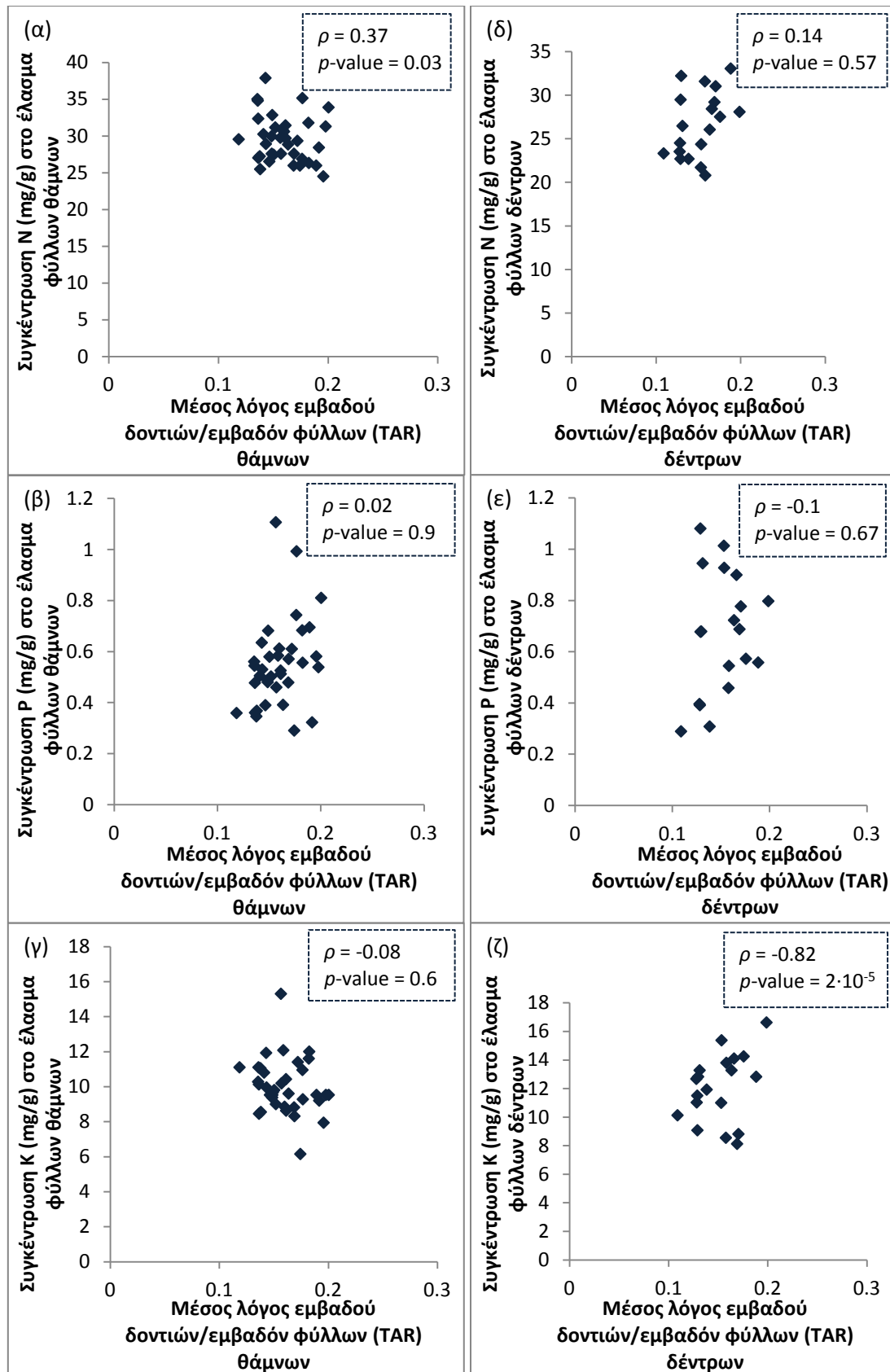
Στη συνέχεια, στο Διάγραμμα 27 παρουσιάζεται η συσχέτιση του μέσου λόγου του εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων (TAR) με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Για κάθε φυτό εκτιμήθηκε ο μέσος λόγος του εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Με βάση το προηγούμενο διάγραμμα, οι θαμνώδεις μορφές εμφανίζουν στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση μεταξύ του μέσου λόγου του εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων και των συγκεντρώσεων N στο έλασμα φύλλων ($\rho=0.37$, $p\text{-value}=0.03$, Διάγραμμα 27 α), ενώ δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση του λόγου αυτού με τις συγκεντρώσεις P και K στα φύλλα ($p\text{-value}=0.9$, Διάγραμμα 27 β και $p\text{-value}=0.6$, Διάγραμμα 27 γ αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά, στις δενδρώδεις μορφές ο μέσος λόγος του εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων παρουσιάζει στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις K στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.82$, $p\text{-value}=2\cdot 10^{-5}$, Διάγραμμα 27 ζ), ενώ δεν συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με τις

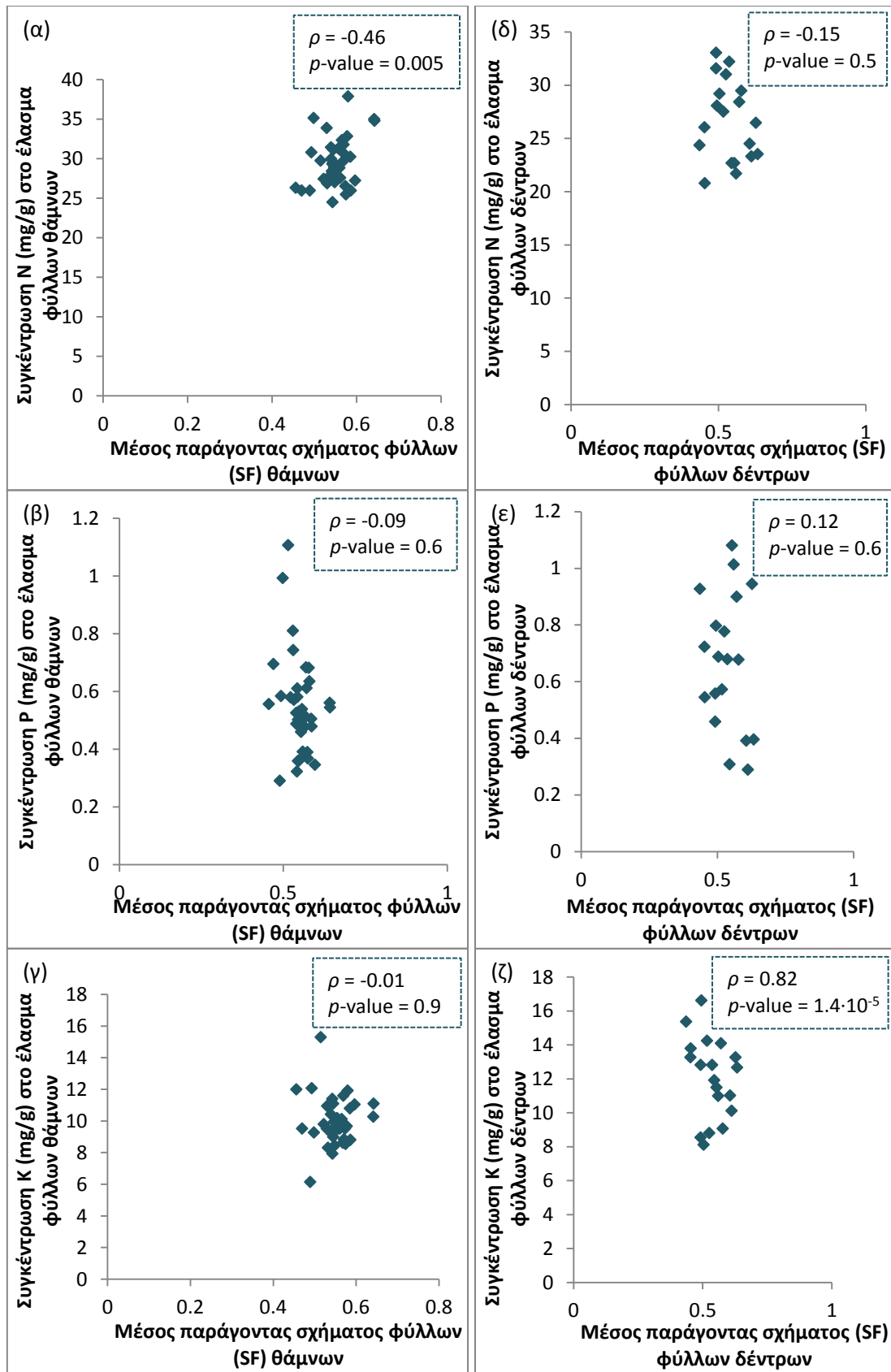
συγκεντρώσεις N και P στα φύλλα (p -value=0.57, Διάγραμμα 27 δ και p -value=0.67, Διάγραμμα 27 ε αντίστοιχα). Πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς αυξάνει ο μέσος λόγος του εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων στα δέντρα υπάρχει μια τάση μείωσης της μεταβλητότητας του P, η οποία αυξάνεται όταν μειώνεται ο λόγος αυτός (TAR, Διάγραμμα 27 ε).

Τέλος, στο διάγραμμα 28 φαίνεται η συσχέτιση του μέσου παράγοντα σχήματος φύλλων (SF) με τις με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, του είδους *Z.abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Για κάθε φυτό εκτιμήθηκε ο μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων από 5 φύλλα και για την συσχέτιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ).

Στις θαμνώδεις μορφές ο μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων εμφανίζει στατιστικά σημαντική, αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις N στο έλασμα των φύλλων ($\rho=-0.46$, p -value=0.005, Διάγραμμα 28 α), ενώ δεν συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με τις συγκεντρώσεις P και K στο έλασμα (p -value=0.6, Διάγραμμα 28 β και p -value=0.9, Διάγραμμα 28 γ αντίστοιχα). Επιπλέον στις δενδρώδεις μορφές ο μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων παρουσιάζει στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις K στα φύλλα ($\rho=0.82$, p -value= $1.4 \cdot 10^{-5}$, Διάγραμμα 28 ζ), ενώ δεν συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά με τις συγκεντρώσεις N και P στο έλασμα των φύλλων (p -value=0,5, Διάγραμμα 28 δ και p -value=0.6, Διάγραμμα 28 ε αντίστοιχα).



Διάγραμμα 27: Μέσος λόγος εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων (TAR) σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.



Διάγραμμα 28: Μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων (SF) σε σχέση με τη συγκέντρωση αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων του είδους *Z. abelicea* σε θαμνώδεις (α, β, γ) και δενδρώδεις (δ, ε, ζ) μορφές αντίστοιχα στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης. Σε κάθε επιμέρους διάγραμμα φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης Spearman (ρ) και το p -value.

Στο Πίνακα 9 παρουσιάζεται συνοπτικά η συσχέτιση της μέσης τιμής όλων των βιομετρικών χαρακτηριστικών και λόγων αυτών με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, του είδους *Z.abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές, στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης.

Πίνακας 9: Συσχέτιση της μέσης τιμής των βιομετρικών χαρακτηριστικών και των λόγων αυτών με τις συγκεντρώσεις αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) στο έλασμα φύλλων, σύμφωνα με το συντελεστή συσχέτισης Spearman (ρ), του είδους *Z.abelicea* με βάση την ομαδοποίηση των φυτών σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές, στο σύνολο των φύλλων που εξετάστηκαν ανά κατηγορία από όλους τους πληθυσμούς μελέτης: μέσο εμβαδόν φύλλων (LA), μέσο εμβαδόν δοντιών (TA), μέση περίμετρος φύλλων (LP), μέση εσωτερική περίμετρος φύλλων (IP), μέσο μήκος (L) και μέσο πλάτος (W) φύλλων, μέσος αριθμός δοντιών (NT), μέσος δείκτης σχήματος φύλλων (LSI=μήκος/ πλάτος φύλλων), μέσος λόγος περιμέτρου/ εσωτερική περίμετρο φύλλων (PR), μέσος λόγος εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων (TAR), μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων (SF). Με έντονο χρώμα παρουσιάζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις των βιομετρικών χαρακτηριστικών ή των αντίστοιχων λόγων τους με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα των φύλλων.

Μέση τιμή βιομετρικών χαρακτηριστικών και λόγων αυτών	ΘΑΜΝΟΙ					
	N		P		K	
	ρ	p -value	ρ	p -value	ρ	p -value
LA	-0.5	0.0017	-0.09	0.57	-0.1	0.56
TA	-0.56	3.5·10⁻⁴	-0.03	0.85	-0.15	0.38
LP	-0.53	9.7·10⁻⁴	-0.07	0.7	-0.09	0.6
IP	-0.51	1.36·10⁻³	-0.12	0.5	-0.12	0.5
L	-0.5	2.1·10⁻³	-0.12	0.5	-0.09	0.6
W	-0.47	3.3·10⁻³	-0.1	0.5	-0.06	0.7
NT	-0.34	0.04	-0.28	0.09	0.03	0.8
LSI	-0.02	0.9	-0.1	0.5	-0.19	0.3
PR	0.29	0.09	-0.34	0.04	0.03	0.9
TAR	0.37	0.03	0.02	0.9	-0.08	0.6
SF	-0.46	0.005	-0.09	0.6	-0.01	0.9
	ΔΕΝΤΡΑ					
LA	-0.18	0.45	0.16	0.49	0.85	3.7·10⁻⁶
TA	-0.11	0.64	0.27	0.26	0.9	1.35·10⁻⁷
LP	-0.13	0.6	0.2	0.4	0.87	1.6·10⁻⁶
IP	-0.15	0.5	0.15	0.5	0.84	7.7·10⁻⁶
L	-0.18	0.45	0.21	0.4	0.76	1.7·10⁻⁴
W	-0.15	0.5	0.15	0.5	0.84	6.7·10⁻⁶
NT	-0.48	0.03	-0.09	0.7	0.15	0.5
LSI	0.14	0.6	-0.01	0.96	-0.64	2.8·10⁻³
PR	-0.06	0.8	-0.16	0.5	-0.4	0.09
TAR	0.14	0.57	-0.1	0.67	-0.82	2·10⁻⁵
SF	-0.15	0.5	0.12	0.6	0.82	1.4·10⁻⁵

Αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης Αντιστοιχιών (CCA)

Τα αποτελέσματα της Κανονικής Ανάλυσης Αντιστοιχιών (CCA) παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 29. Η Κανονική Ανάλυση Αντιστοιχιών (CCA) χρησιμοποιήθηκε για να διερευνηθούν οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μεταβλητότητα των μορφών του είδους *Z.abelicea*

Βιομετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων (CCA):

Με βάση το Διάγραμμα 29 παρατηρείται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις K και P στο έλασμα φύλλων συνοδεύονται από μεγαλύτερο μέσο εμβαδόν φύλλων (LA) και μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλων (TA). Έπειτα, το έλασμα φύλλων με υψηλές συγκεντρώσεις N συνοδεύεται από μικρότερο μέσο εμβαδόν φύλλων και μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλων. Ακόμη, ο μέσος λόγος της περιμέτρου των φύλλων προς την εσωτερική περίμετρο (PR), ο μέσος λόγος του εμβαδού των δοντιών φύλλων προς το εμβαδόν φύλλων (TAR), ο μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων (SF) και ο μέσος δείκτης σχήματος φύλλων (LSI) φαίνεται να είναι μεγαλύτερος σε φύλλα με υψηλότερες συγκεντρώσεις N και μικρότερες συγκεντρώσεις K και P.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο μέσος αριθμός δοντιών (NT), η μέση περίμετρος (LP) και η μέση εσωτερική περίμετρος φύλλων (IP) βρίσκονται πολύ κοντά στην αρχή των αξόνων του διαγράμματος και πιθανόν συσχετίζονται ελάχιστα με τους παράγοντες που μελετώνται.

Βιομετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (CCA):

Από το σύνολο των περιβαλλοντικών παραγόντων που φαίνονται στο Διάγραμμα 29, το υψόμετρο (alt) και η μέγιστη βροχόπτωση (rmax) φαίνεται να έχουν την μικρότερη επιρροή επί των βιομετρικών χαρακτηριστικών που εξετάστηκαν, ενώ οι υπόλοιποι περιβαλλοντικοί παράγοντες (ελάχιστη βροχόπτωση, μέση θερμοκρασία, βόρεια κλίση βουνού) έχουν μεγαλύτερη επιρροή. Το μέσο εμβαδόν φύλλων (LA) και το μέσο εμβαδόν των δοντιών φύλλων (TA) αυξάνουν σε περιοχές όπου έχουμε υψηλή μέση θερμοκρασία (tmean) και σχετικά καλή διαθεσιμότητα νερού (υψηλή ελάχιστη βροχόπτωση, rmin), ενώ μειώνονται σε συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας και μικρότερης διαθεσιμότητας νερού (χαμηλή ελάχιστη βροχόπτωση, rmin). Επιπλέον, ο μέσος λόγος της περιμέτρου των φύλλων προς την εσωτερική περίμετρο (PR), ο μέσος λόγος του εμβαδού

των δοντιών φύλλων προς το εμβαδόν φύλλων (TAR), ο μέσος παράγοντας σχήματος φύλλων (SF) και ο μέσος δείκτης σχήματος φύλλων (LSI) μειώνονται σε περιοχές όπου έχουμε υψηλότερη μέση θερμοκρασία (tmean) και σχετικά καλή διαθεσιμότητα νερού (υψηλή ελάχιστη βροχόπτωση, rmin), ενώ αυξάνονται σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και ελάχιστης διαθεσιμότητας νερού (χαμηλή ελάχιστη βροχόπτωση, rmin).

Μορφές (θάμνοι και δέντρα) του είδους Z. abelicea σε σχέση με τις συγκεντρώσεις N, P και K στο έλασμα φύλλων, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων (CCA):

Υψηλότερη συγκέντρωση K και P και χαμηλότερη συγκέντρωση N παρατηρείται στα φύλλα των δέντρων σε σχέση με τα φύλλα των θάμνων για τα οποία ισχύει το αντίθετο. Επίσης, τα φύλλα των δέντρων διαθέτουν μεγαλύτερο μέσο εμβαδόν φύλλων (LA), μέσο εμβαδόν δοντιών (TA), μέση περίμετρο φύλλων (LP), μέση εσωτερική περίμετρο φύλλων (IP) και μικρότερο μέσο λόγο περιμέτρου/ την εσωτερική περίμετρο φύλλων (PR), μέσο παράγοντα σχήματος φύλλων (SF), μέσο λόγο εμβαδού δοντιών/το εμβαδόν φύλλων (TAR) και μέσο δείκτη σχήματος φύλλων (LSI) σε σχέση με τους θάμνους για τους οποίους ισχύει το αντίθετο.

Εξαίρεση αποτελούν τα δέντρα της περιοχής του Λασιθίου (LAS_2_M2 και LAS_3_M2), τα οποία εμφανίζουν υψηλότερη συγκέντρωση N και P και χαμηλότερη συγκέντρωση K σε σχέση με τα υπόλοιπα δέντρα. Επίσης, τα δέντρα αυτά σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δέντρα έχουν μικρότερο μέσο εμβαδόν φύλλων (LA), μέσο εμβαδόν δοντιών φύλλων (TA), μέση περίμετρο φύλλων (LP), μέση εσωτερική περίμετρο φύλλων (IP) και μεγαλύτερο μέσο λόγο περιμέτρου/εσωτερική περίμετρο φύλλων (PR), μέσο παράγοντα σχήματος φύλλων (SF), μέσο λόγο εμβαδού δοντιών/εμβαδόν φύλλων (TAR) και μέσο δείκτη σχήματος φύλλων (LSI).

Επιπρόσθετα, τα δέντρα του Ομαλού (OMA_1, OMA_2, OMA_3) εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις K και P στα φύλλα και ακολουθούν τα δέντρα των Λευκών Ορέων (AMB_1) και του Ψηλορείτη (PSI), ενώ τα φύλλα των δέντρων στους πληθυσμούς του Λασιθίου (LAS_2, LAS_3) έχουν τη μικρότερη συγκέντρωση K και P. Ακόμη, οι

μεγαλύτεροι θάμνοι (M1 μορφή) έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις N στα φύλλα σε σχέση με τους μικρότερους θάμνους (S1 και S2 μορφές).

Οι δενδρώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* φαίνεται να προτιμούν θερμότερα και υγρότερα περιβάλλοντα (εξαιρέση τα δέντρα των πληθυσμών LAS_2 και LAS_3). Όσον αφορά τις θαμνώδεις μορφές, φαίνεται να εμφανίζουν μια ελαστικότητα σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες παρατηρούνται. Πιο συγκεκριμένα, σε όλο το εύρος κατανομής του είδους οι θαμνώδεις μορφές υπάρχουν σε πιο κρύα και λιγότερο υγρά περιβάλλοντα αλλά και σε θερμότερα και υγρότερα περιβάλλοντα (OMA_3, OMA_4, NIA, LAS_1). Επομένως, οι θαμνώδεις μορφές φαίνεται να έχουν μια πλαστικότητα ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες απαντώνται, σε αντίθεση με τις δενδρώδεις μορφές που φαίνεται να απαιτούν πιο συγκεκριμένες συνθήκες.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

NPK στοιχειομετρία φύλλων του είδους *Z. abelicea*

Το είδος *Z. abelicea* εμφανίζει υψηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου (N), ακολούθως καλίου (K) και μικρότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου (P) στα φύλλα, γεγονός που συμβαδίζει με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για Μεσογειακά φυλλοβόλα είδη (Sardans et al., 2011). Όμως η NPK στοιχειομετρία στα φύλλα του είδους *Z. abelicea* διαφοροποιείται κατά τη μετάβαση από τις δενδρώδεις προς τις θαμνώδεις μορφές με συγκεκριμένο πρότυπο σε όλο το εύρος κατανομής του είδους, το οποίο δεν φαίνεται να ακολουθείται σε επίπεδο τοπικών πληθυσμών, όπου παρατηρείται έντονη ελαστικότητα.

Συγκεκριμένα, σε όλο το εύρος κατανομής του είδους οι συγκεντρώσεις K και P είναι υψηλότερες στις δενδρώδεις μορφές σε σχέση με τις θαμνώδεις μορφές, ενώ το αντίθετο παρατηρείται στην περίπτωση του N. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με παλαιότερες απόψεις σύμφωνα με τις οποίες εθεωρείτο ότι υπάρχει σταθερότητα στη σύνθεση των θρεπτικών στα μεσογειακά φυτά (Zhang et al, 2004) και σε συμφωνία με νεώτερα πειράματα που έδειξαν ότι σε μεσογειακά είδη υπάρχει σημαντική ελαστικότητα (Sardans & Peñuelas, 2007).

Ο λόγος N:P εμφανίζεται μειωμένος στις δενδρώδεις σε σχέση με τις θαμνώδεις μορφές και κατ' αντιστοιχία με τις μεταβολές που παρουσιάζει ο λόγος σε παγκόσμιο επίπεδο, οι χαμηλότερες τιμές ανακλούν σε χαμηλότερες μέσες ετήσιες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Reich & Oleksyn, 2004). Η αντιστοιχία όμως αυτή δεν είναι σε απόλυτη συμφωνία με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Στο γεγονός αυτό πιθανότατα συμβάλλει η διαθεσιμότητα του νερού που επηρεάζει τις τιμές του λόγου σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, καθώς όπως φαίνεται οι δενδρώδεις μορφές προτιμούν θερμότερα και υγρότερα περιβάλλοντα σε σχέση με τις θαμνώδεις που απαντώνται τόσο σε περισσότερο ψυχρά και ξηρά όσο και σε περισσότερο θερμά και υγρά περιβάλλοντα, εμφανίζοντας μια ελαστικότητα ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η διαθεσιμότητα νερού στο είδος *Z. abelicea* έχει ήδη παρουσιαστεί ότι προκύπτει από θετική αλληλεπίδραση με το είδος *Acer semervirens*, καθώς στο πλαίσιο αλληλεπίδρασης φυτού με φυτό το είδος *A. sempervirens* συμβάλλει στην αναδιανομή του εδαφικού νερού και συνεπώς στην αυξημένη διαθεσιμότητά του για το είδος *Z. abelicea* (Bosque et al., 2013). Από παρατηρήσεις στο πεδίο σε επίπεδο πληθυσμού, όπως για παράδειγμα σε πληθυσμούς που απαντώνται σε δολίνες (π.χ. OMA_3), οι δενδρώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* βρίσκονται κοντά στην όχθη της δολίνης, όπου υπάρχει καλύτερη διαθεσιμότητα νερού, συνήθως μαζί με *A. sempervirens*, ενώ οι θαμνώδεις μορφές υπάρχουν παντού, από χαμηλά δίπλα στην όχθη της δολίνης μέχρι ψηλά στην πλαγιά του βουνού χωρίς γειτνιάζοντα φυτά *A. sempervirens* όπου η διαθεσιμότητα του νερού είναι πιο περιορισμένη.

Ο Gotelli (2008) παρατήρησε ότι η αναλογία συγκεντρώσεων N:P στα φυτά συσχετίζεται με την διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος κατά μήκος κλιματικών διαβαθμίσεων. Ακόμη, οι Sardans και Peñuelas (2007) παρατήρησαν ότι η ξηρασία, ποσοτικοποιημένη σε μείωση της εδαφικής υγρασίας, φάνηκε ότι αυξάνει τη συγκέντρωση του P στα φύλλα του *Quercus ilex* κατά 18.2% και μειώνει την συγκέντρωση στα ξυλώδη μέρη και στις ρίζες κατά 30.9% και 39.8% αντίστοιχα. Αυτή η κινητικότητα του P από τα ξυλώδη μέρη στα φύλλα φαίνεται ότι συμβάλλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού σε περίοδο ξηρασίας. Επίσης, η απορρόφηση του P εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα των

ριζών να εκμεταλλεύονται νέους εδαφικούς όγκους, στοιχείο που σε μεγάλο ποσοστό εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του νερού (Sardans & Peñuelas, 2007). Επιπλέον, επειδή ο εδαφικός P κατά ένα μεγάλο ποσοστό είναι οργανικός, δεσμευμένος και μη διαθέσιμος στους φυτικούς οργανισμούς, η διαθεσιμότητα του P στα φυτά μειώνεται όταν η ξηρασία μειώνει γενικά την ενζυμική δραστηριότητα (Sardans & Peñuelas, 2005) και κατά συνέπεια την ανοργανοποίηση των στοιχείων που έχει καταγραφεί και σε άλλες περιπτώσεις στα Μεσογειακά οικοσυστήματα (Gorissen et al., 2004).

Αντίστοιχα και η συγκέντρωση του K καθώς και η στοιχειομετρία του με το P και το N συνδέεται με τις κλιματικές διαβαθμίσεις και τη διαθεσιμότητα του νερού (Sardans & Peñuelas, 2004; Sardans et al., 2008b; Sardans et al., 2012). Οι Hu και Schmidhalter (2005) αναφέρουν ότι η μείωση της διαθεσιμότητας του καλίου στα φυτά παρατηρείται όταν ελαττώνεται η διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος, λόγω της περιορισμένης κινητικότητας του K σε αυτές τις συνθήκες. Επιπλέον, το K εμφανίζει υψηλότερη διαλυτότητα συγκριτικά με το P και το N, οπότε σε υψηλότερη διαθεσιμότητα νερού η πρόσληψη του K αναλογικά με το N και το P είναι μεγαλύτερη (Sardans et al., 2012). Επίσης οι Rivas Uba et al. (2012) παρατήρησαν ότι τα φυτά των μεσογειακών θαμνοτόπων παρουσιάζουν μεγάλες φυλλικές συγκεντρώσεις K και σακχάρων σε συνθήκες ξηρασίας. Ακόμη, έχει φανεί ότι τα φυλλοβόλα είδη έχουν την ικανότητα να συγκεντρώνουν περισσότερο K από τα αείφυλλα και τα κωνοφόρα με αύξηση των μέσων ετήσιων κατακρημνισμάτων (Sardans et al., 2012). Έτσι, οι δενδρώδεις μορφές εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις K συγκριτικά με τις θαμνώδεις μορφές, γιατί το είδος *Z. abelicea* ως φυλλοβόλο προσλαμβάνει και συσσωρεύει υψηλότερες συγκεντρώσεις K στα φύλλα όταν η διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος είναι καλύτερη λόγω υψηλότερης βροχόπτωσης, κάτι το οποίο παρατηρείται στην περίπτωση των δέντρων.

Τα θρεπτικά που μελετήθηκαν φυσικά εμπλέκονται σε συγκεκριμένες βιολογικές διεργασίες, άρα και κατ' επέκταση η διαθεσιμότητα και η πρόσληψή τους από το είδος *Z. abelicea* σχετίζεται με τις συγκεκριμένες διεργασίες που αφορούν το εν λόγω είδος. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις σε P κατά την περίοδο της ανθοφορίας

(Ashman & Baker, 1992; Niva et al., 2003), όπως και ότι η έλλειψη P μπορεί να περιορίσει τη φυλετική αναπαραγωγή σε μη παραγωγικά περιβάλλοντα (Nagy & Proctor, 1997; Brouwer et al., 2001) οδηγώντας σε αύξηση του λόγου N:P στα βλαστητικά μέρη σε σχέση με τα αναπαραγωγικά όργανα (Ågren, 1988; Karlsson, 1994; Güsewell, 2004). Αυτό πιθανότατα θα μπορούσε να σχετίζεται με την μη καταγραφή φυλετικής αναπαραγωγής στις θαμνώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* σε όλους τους πληθυσμούς της περιοχής μελέτης και συνεπώς με τη στρατηγική του είδους να αναπαράγεται βλαστητικά, παρ' όλο που κάτι τέτοιο χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για να τεκμηριωθεί. Έτσι αυτή η στρατηγική που θεωρήθηκε μέρος της ελαστικότητας που παρουσιάζει το είδος για την αντιμετώπιση του Μεσογειακού περιβάλλοντος σε αντίθεση με άλλα χλωριδικά υπολείμματα της Τριτογενούς περιόδου, όπως το *Platanus orientalis* και το *Liquidambar orientalis* (Bosque et al., 2013), πιθανότατα σχετίζεται με τα θρεπτικά στοιχεία, χωρίς να αποκλείεται και ο ρόλος της βόσκησης που αποτελεί βασική μορφή πίεσης στα μεσογειακά οικοσυστήματα (Bosque et al., 2013).

Το είδος *Z. abelicea*, μεταξύ των στοιχείων N, P και K στο έλασμα των φύλλων, εμφανίζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκεντρώσεων στην περίπτωση του P, παρουσιάζοντας έτσι μια ελαστικότητα ως προς τις συγκεντρώσεις P στα φύλλα. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να είναι ένας μηχανισμός προσαρμογής στη μειωμένη διαθεσιμότητα του P για το είδος *Z. abelicea*. Ελλείψεις P έχουν παρατηρηθεί σε Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα (Niinemets et al., 1999), όπου η ξηρασία ως χαρακτηριστικό των Μεσογειακών οικοσυστημάτων μειώνει την δραστηριότητα των ενζύμων στο έδαφος (Sardans & Peñuelas, 2005), ελαττώνει την ανόργανη μορφή του P στο διάλυμα του εδάφους και τελικά μειώνει την ικανότητα του εδάφους να παρέχει το P στα φυτά (Kozlowski & Pallardy, 1997; Sardans & Peñuelas, 2007).

Οι θαμνώδεις μορφές σε σχέση με τις δενδρώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις N στα φύλλα. Αυτή η παρατήρηση είναι σε συμφωνία με πειραματική μελέτη που έχει γίνει σε σπορόφυτα φυλλοβόλων και αείφυλλων ειδών θάμνων και δέντρων όπου φάνηκε ότι τα φύλλα των θάμνων έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις N σε σχέση με αυτά των δέντρων (Cornelissen et al., 1997). Επιπλέον, οι

θαμνώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* βοσκούνται έντονα, γεγονός που εμπλουτίζει το έδαφος κυρίως με N μέσω της εναπόθεσης περιττωμάτων και ουρίας στο έδαφος, αυξάνοντας έτσι και τη διαθεσιμότητα του στοιχείου στα φυτά. Ο Coughenour (1991) συγκεκριμένα αναφέρει ότι το N επιστρέφει μέσω των ζώων στο έδαφος σε ευκολότερη μορφή αποσύνθεσης, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό ανακύκλωσης του αζώτου.

Επίσης, αύξηση της συγκέντρωσης αζώτου σε φύλλα των θαμνωδών μορφών του είδους *Z. abelicea* μπορεί να προκύψει και λόγω απώλειας φύλλων από τη βόσκηση. Η απώλεια φύλλων από τις θαμνώδεις μορφές λόγω της βόσκησης μπορεί να αυξήσει τις συγκεντρώσεις N στα φύλλα ως απόκριση στη βόσκηση. Το συμπέρασμα αυτό υποστηρίζεται από μελέτες που έχουν γίνει σε grasses π.χ. *Bouteloua gracilis* (Ruess et al., 1983; McNaughton & Chapin, 1985; Jaramillo & Detling, 1988). Πιο συγκεκριμένα, η απομάκρυνση φύλλων λόγω της βόσκησης οδηγεί στην αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών ως ένας μηχανισμός αναπλήρωσης των θρεπτικών που χάθηκαν και μεταβάλλει τα πρότυπα αφομοίωσης και κατανομής των θρεπτικών, γεγονός που μπορεί να συμβάλλει στην επιτυχή ανάκαμψη του φυτού από την επαναλαμβανόμενη βόσκηση (Chapin, 1980; Wallace et al., 1982; Ruess et al., 1983; McNaughton & Chapin, 1985). Το πρότυπο αυτό παρατηρείται στην περίπτωση του N λόγω της σπουδαιότητάς του στο φωτοσυνθετικό μηχανισμό των φυτών (Mooney & Gulmon, 1982). Επίσης, οι Jaramillo και Detling (1988) αναφέρουν ότι τα έντονα αποφυλλωμένα φυτά έχουν την ικανότητα να αποκαθιστούν άμεσα την φωτοσυνθετική τους ικανότητα αυξάνοντας τη κατανομή του N στο έλασμα των φύλλων. Τέλος, οι Ruess et al. (1983), Ruess (1984), Ruess και McNaughton (1984) έχουν δείξει ότι η έντονη αποφύλλωση του σπάρτου (sedge) *Kyllinga nervosa* Steud. οδηγεί στην αύξηση της πρόσληψης του N και στην αύξηση της περιεκτικότητας και τη συγκέντρωσης του αζώτου στα φύλλα.

Τέλος η συγκέντρωση θρεπτικών στο έλασμα των φύλλων του είδους *Z. abelicea* δεν ανακλά στις συγκεντρώσεις των αντίστοιχων θρεπτικών στο έδαφος. Το είδος φαίνεται ότι παρουσιάζει μια σχετική ανεξαρτησία από τα θρεπτικά του εδάφους, καθώς παρατηρείται μικρό και σταθερό εύρος τιμών των συγκεντρώσεων N, P και K στο έλασμα των φύλλων, ανεξάρτητα από τη μεταβλητότητα των στοιχείων αυτών στο

έδαφος. Αυτό πιθανότατα αποτελεί ένδειξη ότι το είδος διαθέτει την ικανότητα διαχείρισης των θρεπτικών του μέσω της εσωτερικής αναδιανομής πόρων για την αντιμετώπιση των δυσμενών συνθηκών διαθεσιμότητάς τους από το περιβάλλον. Αυτό έχει ήδη παρατηρηθεί σε ξυλώδη είδη κυρίως αείφυλλα σε μεσογειακά οικοσυστήματα (Sardans & Reñuelas, 2007), κάτι που μας δίνει τη δυνατότητα να υποθέσουμε ότι το είδος *Z. abelicea*, αν και φυλλοβόλο αναπτύσσει μηχανισμούς διαχείρισης θρεπτικών στοιχείων που εναρμονίζονται με τη μεσογειακότητα.

Βιομετρικά χαρακτηριστικά φύλλων του είδους *Z. abelicea*

Το μέγεθος των φύλλων (ως φυλλική επιφάνεια, leaf area) διαφέρει σημαντικά ανάμεσα σε θαμνώδεις και δενδρώδεις μορφές και πιθανόν να μπορούσαμε να μιλήσουμε για μία τάση διμορφισμού, όπως αναφέρουν και οι Sønndergaard και Egli (2006). Για παράδειγμα το μέσο εμβαδόν των φύλλων είναι περίπου 0.8 cm² στους θάμνους και 3.7 cm² στα δέντρα, ενώ τα φύλλα στη κορυφή των ώριμων δέντρων μπορούν να έχουν εμβαδόν έως και 15 cm².

Παρ' όλα αυτά στην συγκεκριμένη εργασία αυτό το φαινόμενο δεν θα αντιμετωπιστεί ως διμορφισμός, αλλά ως τάση του είδους να εμφανίζει μεταβλητότητα στο μέγεθος των φύλλων αντίστοιχη με αυτή που εμφανίζουν αείφυλλα είδη στο μεσογειακό περιβάλλον, δηλαδή ως μια διαφορετική τάση προς την μεσογειακότητα που αντιμετωπίζεται μέσω αυτού που θα μπορούσαμε να ονομάσουμε ελαστικότητα στο μέγεθος των φύλλων (plasticity of leaf size). Συγκεκριμένα αυτή η τάση παρατηρείται στο μεσογειακό περιβάλλον στο αείφυλλο είδος *Quercus coccifera* (Rubio de Casas et al., 2007) καθώς και στο είδος *Quercus ilex* (Castro Diez et al. 1997), ενώ δεν παρατηρείται στα φυλλοβόλα υπολείμματα της Τριτογενούς περιόδου *Platanus orientalis* και *Liquidambar orientalis*.

Το μεγαλύτερο μέσο μέγεθος φύλλων στις δενδρώδεις μορφές σε σχέση με τις θαμνώδεις μορφές φαίνεται να ευνοείται από το γεγονός ότι οι δενδρώδεις μορφές απαντώνται σε περιοχές με καλύτερη διαθεσιμότητα νερού (υψηλότερη ελάχιστη βροχόπτωση). Γενικά, η διαθεσιμότητα του νερού παίζει βασικό ρόλο στη διαμόρφωση του μεγέθους του φύλλου αν και η θερμοκρασία είναι εξίσου σημαντική, καθώς το μέγεθος της επιφάνειας του φύλλου σχετίζεται λειτουργικά με την απώλεια νερού

(Perpe et al., 2011). Έτσι, το εμβαδόν της επιφάνειας του φύλλου αυξάνει με την αύξηση της βροχόπτωσης (Parkhurst & Loucks, 1972). Το συμπέρασμα αυτό συμβαδίζει και με την άποψη των McDonald et al. (2003), οι οποίοι αναφέρουν ότι το μικρότερο μέγεθος φύλλων προτιμάται σε περιοχές με χαμηλότερη βροχόπτωση. Έτσι, τα φυτά που βρίσκονται σε πιο ξηρά περιβάλλοντα και σε ξηρότερες συνθήκες εδάφους (Maarel & Titlyanova, 1989), τείνουν να έχουν μικρότερα φύλλα ώστε να μειώνουν τους ρυθμούς εξάτμισης, ενώ αντίθετα σε υγρότερα περιβάλλοντα είναι κοινά τα μεγαλύτερα φύλλα καθώς η ακόλουθη απώλεια νερού είναι λιγότερο κρίσιμη (Givnish, 1984).

Διαφοροποίηση στο μέγεθος των φύλλων παρατηρείται και μεταξύ των δενδρωδών μορφών, καθώς οι δενδρώδεις μορφές των πληθυσμών που απαντώνται στα Λασιθιώτικα όρη (LAS_2 και LAS_3) φαίνεται να έχουν μικρότερο μέσο μέγεθος φύλλων σε σχέση με τις αντίστοιχες των υπόλοιπων πληθυσμών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι πληθυσμοί αυτοί βρίσκονται σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα του νερού είναι πιο περιορισμένη, ενώ παράλληλα, καθοριστικό ρόλο φαίνεται να παίζει και η διαθεσιμότητα θρεπτικών κάτι που θα εξεταστεί αναλυτικά παρακάτω, όπως και η βόσκηση για την οποία οι Paratheodorou et al. (1998) σε μελέτη που έκαναν για το είδος *Quercus coccifera*, έδειξαν ότι οι θάμνοι που βοσκούνται έντονα έχουν μικρότερα φύλλα.

Ο αριθμός των δοντιών σε αντίθεση με το μέγεθος των φύλλων δεν εμφανίζει ίδιας τάξης μεγέθους αύξηση, καθώς το μέσο έλασμα των φύλλων τετραπλασιάζεται στις δενδρώδεις μορφές σε σχέση με τις θαμνώδεις, ενώ ο μέσος αριθμός των δοντιών στις δενδρώδεις μορφές εμφανίζει στατιστικά σημαντική αύξηση αλλά μόνο κατά ένα έως δύο επιπλέον δόντια σε σχέση με τις θαμνώδεις. Ο αριθμός των δοντιών έχει χρησιμοποιηθεί ως ταξινομικό χαρακτηριστικό και δεν είναι τυχαίο ότι στις προτεινόμενες κλείδες κατά Wang et al. (2001) ο αριθμός των δευτερογενών νεύρων που καταλήγουν σε δόντια προτείνεται ως χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τα Ευρασιατικά από τα Ασιατικά είδη του γένους *Zelkova*, ούτε το ότι στη Flora Hellenica (1997) ο αριθμός των ζευγών των δευτερογενών νεύρων του είδους *Z. abelicea* περιγράφεται λίγο ως πολύ σταθερός με μικρή μεταβλητότητα. Παρ' όλα αυτά η στατιστικά σημαντική διαφορά του χαρακτηριστικού μεταξύ δενδρωδών και

θαμνωδών μορφών στην περιοχή μελέτης μας οδηγεί σε κάποια άλλα συμπεράσματα. Πρώτα απ' όλα φαίνεται ότι η αύξηση του αριθμού των δοντιών σε σχέση με την αύξηση της επιφάνειας του ελάσματος των φύλλων ακολουθεί αρνητική αλλομετρία, δηλαδή εμφανίζει μια υστέρηση η οποία πιθανότατα σχετίζεται με την προσπάθεια του φυτού να μειώσει τις απώλειες νερού. Επίσης, αν ληφθεί υπόψη ότι η μετάβαση από τα Ασιατικά είδη στα Ευρασιατικά είδη γίνεται με μείωση του αριθμού των δοντιών και η μετάβαση από την *Z. carpinifolia* στα καθαρά Μεσογειακά είδη *Z. abelicea* και *Z. sicula* γίνεται με επιπλέον μείωση του αριθμού, αλλά και με στρογγύλεμα των δοντιών στην περίπτωση της *Z. abelicea* (Wang et al., 2001), μπορεί να ειπωθεί ότι πιθανότατα η αρνητική αλλομετρία που παρατηρήθηκε αποτελεί απόκκριση στο ξηρό μεσογειακό περιβάλλον, όπου η μείωση των απωλειών νερού αποτελεί προτεραιότητα για τους οργανισμούς. Σημειώνεται ότι οι απώλειες νερού στην περίπτωση των μυτερών δοντιών εκτιμώνται μεγαλύτερες σε σχέση με τα δόντια που φέρουν στρογγυλεμένη κορυφή (Wolf, 1993; Royer et al., 2008).

Το μέσο μέγεθος των δοντιών (TA, μέσο εμβαδόν δοντιών) φαίνεται να διαφοροποιείται μεταξύ των διαφορετικών μορφών. Μεγαλύτερο εμβαδόν δοντιών εμφανίζουν οι δενδρώδεις μορφές συγκριτικά με τις θαμνώδεις σε συνθήκες υψηλότερης βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Βιβλιογραφικά το μέγεθος των δοντιών σχετίζεται αντίστροφα με την μέση ετήσια θερμοκρασία σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, όπου όμως η διαθεσιμότητα νερού εμφανίζει αντίστροφη σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας (Huff et al., 2003; Royer et al., 2005; Peppe et al., 2011), κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωσή μας. Σε δεδομένη μέση ετήσια θερμοκρασία τα είδη με δόντια στα φύλλα είναι αναλογικά πιο άφθονα σε υγρά ενδαιτήματα και αυτό υποστηρίζεται ότι ωφείλεται στο ότι σε αυτές τις συνθήκες η απώλεια νερού μέσω των δοντιών είναι λιγότερο κρίσιμη (Bailey & Sinnott, 1916; MacGinitie, 1953; Wolfe, 1993; Burnham et al., 2001; Kowalski & Dilcher, 2003; Greenwood, 2005b; Royer et al., 2008). Ακόμη αναφέρεται ότι η τοπική διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να επηρεάσει τη σχέση μεταξύ δοντιών και μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Brenner, 1902; Bailey & Sinnott, 1915, 1916; Wolfe, 1971, 1977, 1993; Burnham et al., 2001; Kowalski & Dilcher, 2003; Greenwood, 2005b; Xu et al., 2008; Royer et al., 2009; Steart et al., 2010; Peppe et al., 2011)

κάτι που προφανώς ισχύει στην περίπτωση του είδους *Z. abelicea*. Επίσης, έχουν αναφερθεί περιπτώσεις φυτών για τα οποία η θερμοκρασία δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το μέγεθος των δοντιών. Για παράδειγμα, το είδος *Quercus kelloggii* το οποίο απαντάται σε κρύα κλίματα, δεν επηρεάζεται από τη μέση ετήσια θερμοκρασία, καθώς οι άνεμοι σε συνδυασμό με τη καλή διαθεσιμότητα νερού πιθανόν μπορούν να εξηγήσουν την επικράτηση των μικρών δοντιών σε μεγάλα υψόμετρα, ανεξάρτητα από τη μέση ετήσια θερμοκρασία (Royer et al., 2008). Παρ' όλα αυτά είναι σημαντικό να έχουμε υπόψη μας ότι τα εκάστοτε συμπεράσματα που προκύπτουν βασίζονται στο εύρος της εκάστοτε διαβάθμισης που εξετάζεται. Επιπρόσθετα και άλλοι παράγοντες έχουν αναφερθεί ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όπως: το υψόμετρο και η ένταση του ανέμου (Royer et al., 2008), η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων (Givnish, 1979; Roderick et al., 2000; McDonald et al., 2003), η ένταση της ακτινοβολίας (Hovenden & Vander Schoor, 2004, 2006) και η διάρκεια της εποχής αύξησης (Kouwenberg et al., 2007), διότι το αποτέλεσμα μπορεί να οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων. Επίσης αξίζει να αναφερθεί και η άποψη ότι τα δόντια αυξάνουν την διαπνοή και τη μεταγωγή θερμότητας του φύλλου χάρις της γεωμετρικής δομής που έχουν επιδεικνύοντας καλύτερη δυνατότητα εξάτμισης και μετάδοση θερμότητας (Vogel 1970; Gottschlich & Smith 1982; Canny 1990; Wilson et al., 1991; Schuepp 1993; Wilf 1997), αποφεύγοντας έτσι τις πιθανότητες υπερθέρμανσης σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας και απουσία αέρα (Schuepp 1993).

Ο μέσος λόγος του εμβαδού των δοντιών/εμβαδόν των φύλλων (TAR) είναι μεγαλύτερος στις θαμνώδεις σε σχέση με τις δενδρώδεις μορφές για το είδος *Z. abelicea* στην περιοχή μελέτης. Δηλαδή όταν το μέγεθος των δοντιών κανονικοποιείται από το μέγεθος του φύλλου παρατηρείται ότι το μέγεθος των δοντιών των θάμνων συγκριτικά με το μέγεθος του φύλλου είναι μεγαλύτερο στους θάμνους σε σχέση με τα δέντρα. Αυτό υποδηλώνει αρνητική αλλομετρία κατά τη μετάβαση από τις θαμνώδεις στις δενδρώδεις μορφές, γεγονός που πιθανότατα υποδηλώνει πως και οι δενδρώδεις μορφές προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τις απώλειες νερού στο μεσογειακό περιβάλλον, δηλαδή δεν βρίσκονται σε

περιβάλλοντα αφθονίας νερού ούτως ώστε να μην συντρέχουν λόγοι διαχείρησής του.

Εξετάζοντας το μέσο λόγο της περιμέτρου των φύλλων/εσωτερική περίμετρο των φύλλων παρατηρούμε ότι ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος στις θαμνώδεις σε σχέση με τις δενδρώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea*, αλλά αυτός ο χαρακτήρας δεν θα σχολιαστεί, με δεδομένο ότι δεν είναι γνωστή η λειτουργική σημασία αυτής της σχέσης (Perpe et al., 2011) και απαιτείται περετέρω διερεύνηση.

Ο μέσος δείκτης σχήματος φύλλων ($LSI = \text{μήκος/πλάτος}$) είναι μεγαλύτερος στις θαμνώδεις μορφές σε σχέση με τις δενδρώδεις μορφές δείχνοντας ότι τα φύλλα των θάμνων είναι πιο επιμήκη, δηλαδή πιο στενά. Αυτό πιθανότατα σχετίζεται με τις απώλειες νερού καθώς τα πλατύτερα φύλλα τείνουν να θερμαίνονται περισσότερο από ότι τα στενότερα φύλλα, γι'αυτό τα τελευταία συνδέονται με ξηρότερες συνθήκες και χαμηλότερη βροχόπτωση (Fonsesca et al., 2000; Malhado et al., 2009; Mc Donald et al., 2003).

Σχέση βιομετρικών χαρακτηριστικών με την NPK στοιχειομετρία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες

Η αύξηση του μέσου μεγέθους των φύλλων και του μέσου μεγέθους των δοντιών συμπίπτει με την αύξηση των συγκεντρώσεων K στο έλασμα των φύλλων στις δενδρώδεις μορφές. Αυτό πιθανότατα σχετίζεται άμεσα με την απώλεια νερού, καθώς το K συμβάλλει στη ρύθμιση των απωλειών νερού από τα φύλλα. Ειδικότερα, οι συγκεντρώσεις K σχετίζονται, ιδιαίτερα σε ξηρές συνθήκες, με τον έλεγχο της περιεκτικότητας του νερού στα φύλλα (Babita et al., 2010) ρυθμίζοντας τη λειτουργία των στομάτων και την απώλεια νερού από τα φύλλα (Kozlowski & Pallardy, 1997; Fernandez et al., 2006; Khosravifar et al., 2008), τον έλεγχο της ώσμωσης (Milla et al., 2005; Babita et al., 2010; Laus et al., 2011) και της αγωγιμότητας του νερού (conductance of water, Oddo et al., 2011) και τη προσαρμογή σε διάφορες καταπονήσεις όπως η ξηρασία ή το φως (Cakmak, 2005). Οι δενδρώδεις μορφές του είδους *Z. abelicea* φαίνεται να έχουν υψηλότερες απαιτήσεις σε νερό σε αντίθεση με τους θάμνους οι οποίοι εμφανίζουν μια ελαστικότητα ως προς τις συνθήκες στις οποίες απαντώνται. Έτσι τα δέντρα απαιτούν υψηλότερες συγκεντρώσεις K ώστε να μπορούν να ελέγχουν τις

απώλειες νερού και να βελτιώνουν την αποτελεσματική χρήση του νερού (WUE) στις ξηρές περιόδους (π.χ. καλοκαίρι).

Στις θαμνώδεις μορφές το μέσο μέγεθος φύλλων και το μέσο μέγεθος δοντιών συσχετίζεται αρνητικά με τις συγκεντρώσεις N στο έλασμα των φύλλων κάτι που έχει ήδη συζητηθεί παραπάνω. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι τα δόντια επιτρέπουν μια συνεχή ροή νερού μέσα στο έλασμα, μεταφέροντας μαζί και θρεπτικά τα οποία συγκεντρώνονται μέσα στο φύλλο (Wolfe, 1993). Εάν οι καλύτεροι ρυθμοί διαπνοής που παρατηρούνται στα δόντια (Gottschlich & Smith 1982; Canny 1990; Wilson et al., 1991; Schuerr 1993; Wilf 1997) συνδυάζονται με την πρόσληψη CO₂, πιθανόν τα δόντια να αποτελούν περιοχές του φύλλου όπου πραγματοποιείται καλύτερη φωτοσύνθεση (Baker-Brosch & Peet 1997; Wilf 1997). Για παράδειγμα βρέθηκε ότι κύτταρα του μεσόφυλλου των δοντιών μη ώριμων φύλλων τα οποία αντιστοιχούσαν σε προσαρμοσμένα στον ήλιο εύκρατα φυλλοβόλα αγχειόσπερμα (*Acer*, *Carya*, *Liquidambar*, *Ulmus*) είναι φωτοσυνθετικά ενεργά νωρίτερα σε σχέση με το υπόλοιπο φύλλο κατά τη περίοδο επέκτασης/αύξησης/ανάπτυξης των ανοιξιότικων φύλλων (Baker-Brosch & Peet 1997).

Ο μέσος δείκτης σχήματος φύλλων (LSI) συσχετίζεται αρνητικά με τις συγκεντρώσεις καλίου στις δενδρώδεις μορφές και αυτό φαίνεται όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω να σχετίζεται με την κατά τόπους διαθεσιμότητα του νερού (Fonsesca et al., 2000; Malhado et al., 2009; Mc Donald et al., 2003).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η NPK στοιχειομετρία των φύλλων εμφανίζει σαφές πρότυπο αν εξεταστεί σε όλο το εύρος κατανομής του είδους, το οποίο δεν ακολουθείται σε επίπεδο τοπικών πληθυσμών και εμφανίζει έντονη πλαστικότητα. Συγκεκριμένα, η NPK στοιχειομετρία σε όλο το εύρος κατανομής του είδους σχετίζεται με τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών, με τις δενδρώδεις μορφές να εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις P, K και χαμηλότερες συγκεντρώσεις N σε σχέση με τις θαμνώδεις, όπου η σχέση αυτή αντιστρέφεται.

Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων επίσης φαίνεται να εμφανίζουν μια μεταβλητότητα σε όλο το εύρος κατανομής του είδους που σχετίζεται με τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των φυτών. Συγκεκριμένα, οι δενδρώδεις μορφές παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές μέσου εμβαδού ελάσματος φύλλου και μέσου εμβαδού δοντιών από τις θαμνώδεις, μικρότερες τιμές μέσου δείκτη σχήματος φύλλου και ελάχιστα μεγαλύτερο μέσο αριθμό δοντιών που ακολουθεί αρνητική αλλομετρία με την αύξηση του εμβαδού των φύλλων.

Τόσο η NPK στοιχειομετρία, όσο και τα βιομετρικά χαρακτηριστικά των φύλλων φαίνεται να εμφανίζουν στο είδος *Z. abelicea* πλαστικότητα αντίστοιχη με αυτή που παρατηρείται σε τυπικά μεσογειακά ξυλώδη είδη. Έτσι τα παραπάνω συνηγορούν στην άποψη ότι η επιβίωση του είδους *Zelkova abelicea* δεν ήταν υπόθεση κλιματικού καταφυγίου, αλλά αποτέλεσμα της ικανότητας του είδους να ανταπεξέλθει στις περιβαλλοντικές μεταβολές που μεσολάβησαν από την Τριτογενή περίοδο έως σήμερα μέσω της αναπτυξιακής πλαστικότητας.

Τα συμπεράσματα αυτά εναρμονίζονται με τον συνεχώς διευρυμένο ρόλο που αναδεικνύεται να έχει η αναπτυξιακή πλαστικότητα στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών αλλαγών στη σύγχρονη Βιολογία, κάτι που για μεγάλο χρονικό διάστημα είχε παραμεληθεί από την κυρίαρχη άποψη που βασιζόταν μόνο στην μεταλλαγή και στη φυσική επιλογή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ågren, J. (1988). "Sexual Differences in Biomass and Nutrient Allocation in the Dioecious *Rubus Chamaemorus*." *Ecology* **69**(4): 962-973.
- Ahanjan, M., D. C. Mohana et al. (2007). "Antibacterial potential of extracts of leaves of *Parrotia persica*." *African Journal of Biotechnology* **6**(22): 2526-2528.
- Ashman, T.-L. and I. Baker (1992). "Variation in Floral Sex Allocation with Time of Season and Currency." *Ecology* **73**(4): 1237-1243.
- Babita, M., M. Maheswari, et al. (2010). "Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids." *Environmental and Experimental Botany* **69**(3): 243-249.
- Bailey, I. W. and E. W. Sinnott (1916). "The Climatic Distribution of Certain Types of Angiosperm Leaves." *American Journal of Botany* **3**(1): 24-39.
- Baker-Brosh, K. F. and R. K. Peet (1997). "The ecological significance of lobed and toothed leaves in temperate forest trees." *Ecology* **78**(4): 1250-1255.
- Bibalani, G. H., B. Majnonian et al. (2006). "Slope stabilization with *Gleditsia caspica* and *Parrotia persica*." *Int. J. Environ Sci Technol.* **2**: 381-385.

- Bosque, M., M. I. Adamogianni et al., (2013). "Fine-scale spacial patterns of the Tertiary relict tree *Zelkova abelicea* (Ulmaceae) indicate possible processes contributing to its persistence to climate change." (submitted).
- Brenner, W. (1902). "Klima und blatt bei der gattung *Quercus*." Flora **90**: 114 – 160.
- Brouwer, E., H. Backx, et al. (2001). "Nutrient requirements of ephemeral plant species from wet, mesotrophic soils." Journal of Vegetation Science **12**(3): 319-326.
- Burnham, R. J. (1986). "Foliar morphological analysis of the Ulmoideae (Ulmaceae) from the early Tertiary of Western North America." Palaeontographica Abteilung B **201**(5-6): 135-167.
- Burnham, R. J., N. C. A. Pitman, et al. (2001). "Habitat-related error in estimating temperatures from leaf margins in a humid tropical forest." American Journal of Botany **88**(6): 1096-1102.
- Cakmak, I. (2005). "The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants." Journal of Plant Nutrition and Soil Science **168**(4): 521-530.
- Canny, M. J. (1990). "Tansley Review No. 22. What Becomes of the Transpiration Stream?" New Phytologist **114**(3): 341-368.
- Castro-Díez, P., P. Villar-Salvador, et al. (1997). "Leaf morphology and leaf chemical composition in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain." Trees **11**(3): 127-134.
- Chapin, F. S. (1980). "Nutrient allocation and responses to defoliation in tundra plants." Arctic and Alpine Research **12**(4): 553-563.
- Cornelissen, J. H. C., M. J. A. Werger, et al. (1997). "Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types." Oecologia **111**(4): 460-469.
- Coughenour, M. B. (1991). "Biomass and Nitrogen Responses to Grazing of Upland Steppe on Yellowstone's Northern Winter Range." Journal of Applied Ecology **28**(1): 71-82.
- Denk, T. and G. W. Grimm (2005). "Phylogeny and biogeography of *Zelkova* (Ulmaceae sensu stricto) as inferred from leaf morphology, ITS sequence data and the fossil record." Botanical Journal of the Linnean Society **147**(2): 129-157.
- Di Pasqual, G., G. Garfí, et al., (1992). "Sur la presence d'un *Zelkova* nouveau en Sicile sud-orientale (Ulmaceae)." Biocosme Méditerranéen **8-9**(1): 401-409.
- Egli, B. (1997). "A project for the preservation of *Zelkova abelicea* (Ulmaceae), a threatened endemic trees species from the mountains of Crete." Bocconea **5**: 505-510
- Escudero, A., J. M. Arco, et al. (1992). "Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species." Oecologia **90**(1): 80-87.
- European Commission (2007). "Interpretation Manual of European Union Habitats." EC/DG Environment.
- Fang, Y., S. Liu, et al. (2007). "Study on the natural population distribution of *Zelkova schneideriana* in Hubei." Res Environ Yangtze Basin **16**: 744.
- Fazan, L., M. Stoffel, et al. (2012). "Small does not mean young: Age estimation of severely browsed trees in anthropogenic Mediterranean landscapes." Biological Conservation **153**(0): 97-100.
- Fernández, M., C. Novillo, et al. (2006). "Effects of Water and Nutrient Availability in *Pinus pinaster* Ait. Open Pollinated Families at an Early Age: Growth, Gas Exchange and Water Relations." New Forests **31**(3): 321-342.
- Fernández, X., L. Lizzani-Cuvelier, et al. (2005). "Chemical composition of the essential oils from Turkish and Honduras *Styrax*." Flavour and Fragrance Journal **20**(1): 70-73.
- Fielding, J. and N. Turland (2005). "Flowers of Crete." Royal Botanic Gardens, Kew.

- Fineschi, S., M. Anzidei, et al. (2002). "Molecular markers reveal a strong genetic differentiation between two European relic tree species: *Zelkova abelicea* (Lam.) Boissier and *Z. sicula* Di Pasquale, Garfi & Quézel (Ulmaceae)." Conservation Genetics **3**(2): 145-153.
- Fineschi, S., S. Cozzolino, et al. (2004). "Genetic variation of relic tree species: the case of Mediterranean *Zelkova abelicea* (Lam.) Boissier and *Z. sicula* Di Pasquale, Garfi and Quézel (Ulmaceae)." Forest Ecology and Management **197**(1-3): 273-278.
- Follieri, M., D. Magri, et al. (1986). "Late pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy." New Phytologist **103**(1): 269-273.
- Fonseca, C. R., J. M. Overton, et al. (2000). "Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients." Journal of Ecology **88**(6): 964-977.
- Fournaraki, C. and C. A. Thanos (2002). "Seeds of *Zelkova abelicea*, an Endemic Tree of Crete." In: Thanos C. A., Beardmore T. L., Connor K. F., Tolentino E. L. Jr (eds) *Book of Proceedings, Tree Seeds 2002* (2002 Annual Meeting of IUFRO RG 2.09.00 'Research Group for Seed Physiology and Technology' Chania, Crete, Greece, Sep. 11-15, 2002). University of Athens Publications, Athens, Greece.
- Garfí, G. (2006). *Zelkova sicula*. IUCN red list of threatened species. Version 2010.4. <http://www.iucnredlist.org>. Accessed Feb. 2011.
- Garfí, G., M. Barbero et al. (2002). "Architecture and growth patterns of *Zelkova sicula* (Ulmaceae) in south-east Sicily as a response to environmental conditions." Journal of Mediterranean Ecology **3**(2-3): 65-76.
- Garfí, G., F. Carimi, et al. (2011). "Additional insights on the ecology of the relic tree *Zelkova sicula* di Pasquale, Garfí et Quézel (Ulmaceae) after the finding of a new population." Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants **206**(5): 407-417.
- Gellini, R. and P. Grossoni (1997). Botanica Forestale, Vol. II, CEDAM Padova.
- Givnish, T. J. (1979). "On the adaptive significance of leaf form." In: Solbrig O. T., Jain S., Johnson G. B., Raven P. H., eds. *Topics in plant population biology*. New York, NY, USA: Columbia University Press, 375-407.
- Givnish, T. J. (1984). "Leaf and canopy adaptations in tropical forests." In: Medina E., Mooney H. A., Vázquez-Yanes C., eds. *Physiological ecology of plants of the wet tropics*. The Hague, the Netherlands: Dr. W. Junk Publishers 51-84.
- Güner, A., J. Zielinski (1998). *Zelkova carpinifolia*. IUCN 2010. IUCN red list of threatened species. Version 2010.4. <http://www.iucnredlist.org>. Accessed Feb 2011
- Güsewell, S. (2004). "N : P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance." New Phytologist **164**(2): 243-266.
- Gorissen, A., A. Tietema, et al. (2004). "Climate Change Affects Carbon Allocation to the Soil in Shrublands." Ecosystems **7**(6): 650-661.
- Gotelli, N., P. Mouser, et al. (2008). "Geographic variation in nutrient availability, stoichiometry, and metal concentrations of plants and pore-water in ombrotrophic bogs in New England, USA." Wetlands **28**(3): 827-840.
- Gottschlich, D. and A. Smith (1982). "Convective heat transfer characteristics of toothed leaves." Oecologia **53**(3): 418-420.
- Greenwood, D. R. (2005). "Leaf Margin Analysis: Taphonomic Constraints." PALAIOS **20**(5): 498-505.
- Harlow W. M., E. S. Harrar, et al. (1996) Textbook of Dendrology. McGraw-Hill Inc., New York.
- Higgins, M. D. and R. Higgins, (1996). "A Geological Companion to Greece and the Aegean." Gerald Duckworth & Co, London.
- Hovenden, M. J. and J. K. Vander Schoor (2004). "Nature vs nurture in the leaf morphology of Southern beech, *Nothofagus cunninghamii* (Nothofagaceae)." New Phytologist **161**(2): 585-594.

- Hovenden, M. J. and J. K. Vander Schoor (2006). "The response of leaf morphology to irradiance depends on altitude of origin in *Nothofagus cunninghamii*." New Phytologist **169**(2): 291-297.
- Hu, Y. and U. Schmidhalter (2005). "Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants." Journal of Plant Nutrition and Soil Science **168**(4): 541-549.
- Huff, P. M., P. WILF, et al. (2003). "Digital Future for Paleoclimate Estimation from Fossil Leaves? Preliminary Results." PALAIOS **18**(3): 266-274.
- Jaramillo, V. J. and J. K. Detling (1988). "Grazing History, Defoliation, and Competition: Effects on Shortgrass Production and Nitrogen Accumulation." Ecology **69**(5): 1599-1608.
- Jones, J. B. (2001). "Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis." CRC, USA. 199-203, 209-212.
- IUCN (2001). International Union for Conservation of Nature. Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Gland, Switzerland. <http://www.iucnredlist.org>. Accessed Feb 2011
- Karla, Y. P. (1998). "Handbook of reference methods for plant analysis. " CRC, USA. 37-42.
- Karlsson, P. F. (1994). "The significance of internal nutrient cycling in branches for growth and reproduction of *Rhododendron lapponicum*." Oikos **70**(2): 191-200.
- Khosravifar, S., M. Yarnia, et al. (2008). "Effect of potassium on drought tolerance in potato cv." Journal of Food, Agriculture & Environment **6**(3&4): 236-241.
- Kouwenberg, L. L. R., W. M. Kürschner, et al. (2007). "Stomatal Frequency Change Over Altitudinal Gradients: Prospects for Paleoaltimetry." Reviews in Mineralogy and Geochemistry **66**(1): 215-241.
- Kowalski, E. A. and D. L. Dilcher (2003). "Warmer paleotemperatures for terrestrial ecosystems." Proceedings of the National Academy of Sciences **100**(1): 167-170.
- Kozłowski, G., D. Gibbs, et al. (2012). "Conservation of threatened relict trees through living ex situ collections: lessons from the global survey of the genus *Zelkova* (Ulmaceae)." Biodiversity and Conservation **21**(3): 671-685.
- Kozłowski, T. T., S. G. Pallardy, et al. (1997). "Physiology of woody plants" Second edition.
- Kvavadze, E. V. and S. E. Connor (2005). "*Zelkova carpinifolia* (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia—an indicator of climatic optima." Review of Palaeobotany and Palynology **133**(1-2): 69-89.
- Laus, M. N., M. Soccio, et al. (2010). "Activation of the plant mitochondrial potassium channel by free fatty acids and acyl-CoA esters: a possible defence mechanism in the response to hyperosmotic stress." Journal of Experimental Botany.
- MacGinitie, H. D. (1953). "Fossil plants of the florissant beds, Colorado." Carnegie Institution of Washington Publication **599**: 1-198.
- Mahvi, A. H., J. Nouri et al. (2007). "Application of *Platanus orientalis* leaves in removal of cadmium from aqueous solution." World Applied Sciences Journal **2** (1): 40-44.
- Malhado, A. C. M., R. J. Whittaker et al. (2009). "Spatial distribution and functional significance of leaf lamina shape in Amazonian forest trees." Biogeosciences Discussions **6**(1): 1837-1874.
- McDonald, P. G., C. R. Fonseca, et al. (2003). "Leaf-size divergence along rainfall and soil-nutrient gradients: is the method of size reduction common among clades?" Functional Ecology **17**(1): 50-57.
- McNaughton, S. J. and F. S. Chapin (1985). "Effects of Phosphorus Nutrition and Defoliation on C⁴ Graminoids from the Serengeti Plains." Ecology **66**(5): 1617-1629.

- Milla, R., P. Castro-Díez, et al. (2005). "Relationships between phenology and the remobilization of nitrogen, phosphorus and potassium in branches of eight Mediterranean evergreens." New Phytologist **168**(1): 167-178.
- Mooney, H. A. and S. L. Gulmon (1982). "CONSTRAINTS ON LEAF STRUCTURE AND FUNCTION IN REFERENCE TO HERBIVORY." Bioscience **32**(3): 198-&.
- Nagy, L. and J. Proctor (1997). "Plant growth and reproduction on a toxic alpine ultramafic soil: adaptation to nutrient limitation." New Phytologist **137**(2): 267-274.
- Nakagawa, T., G. Garfi, et al. (1998). "Pollen morphology of *Zelkova sicula* (Ulmaceae), a recently discovered relic species of the European Tertiary flora: description, chromosomal relevance, and palaeobotanical significance." Review of Palaeobotany and Palynology **100**(1): 27-37.
- Niinemets, Ü., J. D. Tenhunen, et al. (1999). "Interactive effects of nitrogen and phosphorus on the acclimation potential of foliage photosynthetic properties of cork oak, *Quercus suber*, to elevated atmospheric CO₂ concentrations." Global Change Biology **5**(4): 455-470.
- Niva, M., B. M. Svensson, et al. (2003). "Nutrient resorption from senescing leaves of the clonal plant *Linnaea borealis* in relation to reproductive state and resource availability." Functional Ecology **17**(4): 438-444.
- Oddo, E., S. Inzerillo, et al. (2011). "Short-term effects of potassium fertilization on the hydraulic conductance of *Laurus nobilis* L." Tree Physiology **31**(2): 131-138.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, et al. (1954). "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate." U.S. Dep. of Agric 939.
- Papatheodorou, E. M., J. D. Pantis, et al. (1998). "The effect of grazing on phenology and biomass allocation in *Quercus coccifera* (L.)." Acta Oecologica **19**(4): 339-347.
- Parkhurst, D. F. and O. L. Loucks (1972). "Optimal Leaf Size in Relation to Environment." Journal of Ecology **60**(2): 505-537.
- Peppe, D. J., D. L. Royer, et al. (2011). "Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications." New Phytologist **190**(3): 724-739.
- Quézel, P. and F. Médail (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris.
- Rackham, O., J. Moody (1996). "The making of the Cretan landscape." Manchester University Press, Manchester and New York.
- Reich, P. B., J. Oleksyn, et al. (2004). "Global Patterns of Plant Leaf N and P in Relation to Temperature and Latitude." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **101**(30): 11001-11006.
- Rivas-Ubach, A., J. Sardans, et al. (2012). "Strong relationship between elemental stoichiometry and metabolome in plants." Proceedings of the National Academy of Sciences **109**(11): 4181-4186.
- Roderick, M. L., S. L. Berry, et al. (2000). "A framework for understanding the relationship between environment and vegetation based on the surface area to volume ratio of leaves." Functional Ecology **14**(4): 423-437.
- Rouhi-Moghaddam, E., S. M. Hosseini, et al. (2008). "Comparison of growth, nutrition and soil properties of pure stands of *Quercus castaneifolia* and mixed with *Zelkova carpinifolia* in the Hyrcanian forests of Iran." Forest Ecology and Management **255**(3-4): 1149-1160.
- Royer, D. L., R. M. Kooyman, et al. (2009). "Ecology of leaf teeth: A multi-site analysis from an Australian subtropical rainforest." American Journal of Botany **96**(4): 738-750.
- Royer, D. L., J. C. McElwain, et al. (2008). "Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*." New Phytologist **179**(3): 808-817.

- Royer, D. L., L. A. Meyerson, et al. (2009). "Phenotypic Plasticity of Leaf Shape along a Temperature Gradient in *Acer rubrum*." PLoS ONE **4**(10): e7653.
- Royer, D. L., P. Wilf, et al. (2005). "Correlations of Climate and Plant Ecology to Leaf Size and Shape: Potential Proxies for the Fossil Record." American Journal of Botany **92**(7): 1141-1151.
- Rubio De Casas, R., P. Vargas, et al. (2007). "Field Patterns of Leaf Plasticity in Adults of the Long-lived Evergreen *Quercus coccifera*." Annals of Botany **100**(2): 325-334.
- Ruess, R. W. (1984). "Nutrient movement and grazing: experimental effects of clipping and nitrogen source on nutrient uptake in *Kyllinga nervosa*." Oikos **43**(2): 183-188.
- Ruess, R. W. and S. J. McNaughton (1984). "Urea as a promotive coupler of plant-herbivore interactions." Oecologia **63**(3): 331-337.
- Ruess, R. W., S. J. McNaughton, et al. (1983). "The effects of clipping, nitrogen source and nitrogen concentration on the growth responses and nitrogen uptake of an east african sedge." Oecologia **59**(2-3): 253-261.
- Sadighara, P., J. Ashrafihelan et al. (2009). "Histopathology and cholinergic assessment of *Pterocarya fraxinifolia* on chicken embryo." Interdiscip Toxicol **2**(4): 254-256
- Sardans, J. and J. Peñuelas (2004). "Increasing drought decreases phosphorus availability in an evergreen Mediterranean forest." Plant and Soil **267**(1-2): 367-377.
- Sardans, J. and J. Peñuelas (2005). "Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest." Soil Biology and Biochemistry **37**(3): 455-461.
- Sardans, J. and J. Peñuelas (2007). "Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest." Functional Ecology **21**(2): 191-201.
- Sardans, J., J. Peñuelas, et al. (2012). "Stoichiometry of potassium is largely determined by water availability and growth in Catalanian forests." Functional Ecology **26**(5): 1077-1089.
- Sardans, J., J. Peñuelas, et al. (2008). "Warming and drought alter C and N concentration, allocation and accumulation in a Mediterranean shrubland." Global Change Biology **14**(10): 2304-2316.
- Sardans, J., A. Rivas-Ubach, et al. (2011). "Factors affecting nutrient concentration and stoichiometry of forest trees in Catalonia (NE Spain)." Forest Ecology and Management **262**(11): 2024-2034.
- Sarlis, G. P. (1987). "*Zelkova abelicea* (Lam) Boiss., an endemic species of Crete (Greece)." Webbia **41**: 247-255.
- Sarris, A., M. Maniatakis, et al. (2005). "Studying Land Use Patterns in Crete Island, Greece, Through a Time Sequence of Landsat Images and Mapping Vegetation Patterns." WSEAS Int. Conf. on ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and DEVELOPMENT : 112-119.
- Schuepp, P. H. (1993). "Tansley Review No. 59. Leaf Boundary Layers." New Phytologist **125**(3): 477-507.
- Sefidi, K., M. R. Marvie Mohadjer, et al. (2011). "Stand characteristics and distribution of a relict population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C.A. Meyer) in northern Iran." Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants **206**(5): 418-422.
- Søndergaard, P. and B. R. Egli (2006). "*Zelkova abelicea* (Ulmaceae) in Crete: floristics, ecology, propagation and threats." Willdenowia - Annals of the Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem **36**(1): 317-322.
- Stear, D. C., R. A. Spicer, et al. (2010). "Is southern Africa different? An investigation of the relationship between leaf physiognomy and climate in southern African mesic vegetation." Review of Palaeobotany and Palynology **162**(4): 607-620.
- Strid, A. and K. Tan (1997). "Flora Hellenica". Federal Republic of Germany.

- Tang, C. Q., Y. Yang, et al. (2011). "Population structure of relict *Metasequoia glyptostroboides* and its habitat fragmentation and degradation in south-central China." *Biological Conservation* **144**(1): 279-289.
- Ter Braak, C. J. F. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Journal of Ecology* **67**: 1167-1179.
- Todzia, C. A. (1993). Ulmaceae. In: *The Families and Genera of Vascular Plants. II Flowering Plants, Dicotyledons* (eds. Kubitzki K., Rohwer J. G., Bittrich V.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Turland, N. J., L. Chilton, et al. (1993). "Flora of the Cretan area, Annotated Checklist & Atlas." *The natural history museum, London*. 1-8
- Tutin, T. G. and S. M. Walters (1993). Ulmaceae. In: *Flora Europaea* (eds. Tutin T. G., Heywood V. H., Burges N. A., Valentine D. H., Walters S. M., Webb D. A.), **1**: 76-77. Cambridge University Press, Cambridge.
- Van Der Wiel, A. M. and T. A. Wijmstra (1987). "Palynology of the lower part (78-120 M) of the core Tenaghi Philippon II, Middle Pleistocene of Macedonia, Greece." *Review of Palaeobotany and Palynology* **52**(2-3): 73-88.
- Vandermaarel, E. and A. Titlyanova (1989). "Above-ground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions." *Oikos* **56**(3): 364-370.
- Viscosi, V. and A. Cardini (2011). "Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners." *PLoS ONE* **6**(10):e25630.
- Vogel, S. (1970). "Convective Cooling at Low Airspeeds and the Shapes of Broad Leaves." *Journal of Experimental Botany* **21**(1): 91-101.
- Vrochidou, A. -E. K. and I. K. Tsanis (2012). "Assessing precipitation distribution impacts on droughts on the island of Crete." *Natural Hazards Earth System Sciences* **12**: 1159-1171.
- Wallace, L. L., S. J. McNaughton, et al. (1982). "The effects of clipping and fertilization on nitrogen nutrition and allocation by mycorrhizal and nonmycorrhizal *Panicum coloratum* L., a C₄ grass." *Oecologia* **54**(1): 68-71.
- Wang, Y.-F., D. K. Ferguson, et al. (2001). "Leaf architecture and epidermal characters in *Zelkova*, Ulmaceae." *Botanical Journal of the Linnean Society* **136**(3): 255-265.
- Wiegrefe, S., K. Sytsma, et al. (1998). "The Ulmaceae, one family or two? Evidence from chloroplast DNA restriction site mapping." *Plant Systematics and Evolution* **210**(3-4): 249-270.
- Wilf, P. (1997). "When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis." *Paleobiology* **23**(3): 373-390.
- Wilson, T. P., M. J. Canny, et al. (1991). "Leaf teeth, transpiration and the retrieval of apoplastic solutes in balsam poplar." *Physiologia Plantarum* **83**(2): 225-232.
- Wolfe, J. A. (1971). "Tertiary climatic fluctuations and methods of analysis of tertiary floras." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **9**(1): 27-57.
- Wolfe, J. A. (1977). "Paleogene floras from the Gulf of Alaska region." *US Geological Survey Professional Paper* **997**: 1-108.
- Wolfe, J. A. (1993). "A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages." *US Geological Survey Bulletin* **2040**: 1-71.
- Xie, S., B. Sun, et al. (2009). "Altitudinal variation in *Ginkgo* leaf characters: Clues to paleoelevation reconstruction." *Science in China Series D: Earth Sciences* **52**(12): 2040-2046.
- XU, F., W. GUO, et al. (2008). "Habitat effects on leaf morphological plasticity in *Quercus acutissima*." *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* **50**(2): 19-26.

- Zhang, L. X., Y. F Bai et al. (2004). "Differencial responses of N:P stoichiometry of *Leymus chinensis* and *Carex korshinskyi* to N additions in a Steppe Ecosystem in Nei Mongol." Acta Botanica Sinica **46**(3): 259-270
- Zheng-yi, W. and P. H. Raven (2003). *Zelkova*. Flora of China. Vol 5. Ulmaceae-Basellaceae. Missouri Botanical Garden Press St. Louis 10-11.
- Zheng, L., J. Zheng, et al. (2006). "Three anti-tumor saponins from *Albizia julibrissin*." Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters **16**(10): 2765-2768.