

1/2019

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 28 ΣΕΙΡΑ VI

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ
ΘΕΜΑΤΑ**

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

**GEOTECHNICAL
SCIENTIFIC ISSUES**

CONTENTS

SCIENTIFIC PAPERS

<i>N. Efthimiou</i>	Soil erodibility estimation using pedological data at a mountainous catchment of extensive vegetation cover	4-16
<i>G. Baloutsos, An. Roussos</i>	Megadroughts in Greece from 14th to 19th century A.D. and their contribution to coping with probable global-warming type droughts during the 21st century	17-35
<i>D. Zagkas, D. Raptis, Th. Zagkas</i>	Development and evaluation of a height-diameter model of Bulgarian fir at university forest of Pertouli for forest management and silvicultural applications	36-47
<i>V. Filippou, E. Papaioannou, A.G. Papaioannou, E. Premniotou, J. L. Philippou</i>	Effect of removing logging residues of fir (<i>Abies borisii regis</i> Matf.) and beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) on forest ecosystems in Northern Greece	48-58

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>N. Ευθυμίου</i>	Εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας με τη χρήση εδαφολογικών δεδομένων σε ορεινή υδρολογική λεκάνη εκτεταμένης φυτικής κάλυψης	4-16
<i>Γ. Μπαλούτσος, Αν. Ρούσσο</i>	Μεγαξηρασίες στην Ελλάδα από τον 14ο ως τον 19ο αιώνα και η συμβολή τους στην αντιμετώπιση πιθανών ξηρασιών τύπου κλιματικής αλλαγής κατά τον 21ο αιώνα	17-35
<i>Δ. Ζάγκας, Δ. Ράπτης, Θ. Ζάγκας</i>	Ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός μοντέλου ύψους-διαμέτρου της υβριδογενούς Ελάτης (<i>Abies borisii regis</i> Matf.) στο Πανεπιστημιακό δάσος του Περτουλίου για διαχειριστικές και δασοκομικές εφαρμογές	36-47
<i>Β. Φιλίππου, Ε. Παπαϊωάννου, Α. Γ. Παπαϊωάννου, Ε. Πρεμνιώτου, Ι. Α. Φιλίππου</i>	Η επίδραση της απομάκρυνσης υπολειμμάτων υλοτομίας σε δασικά οικοσυστήματα ελάτης (<i>Abies borisii regis</i> Matf.) και οξιάς (<i>Fagus sylvatica</i> L.) στη βόρεια Ελλάδα	48-58

Εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας με τη χρήση εδαφολογικών δεδομένων σε ορεινή υδρολογική λεκάνη εκτεταμένης φυτικής κάλυψης

Νικόλαος Ευθυμίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ορθή εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας είναι κρίσιμη για την ακριβέστερη προσομοίωση της διάβρωσης. Η παράμετρος, η οποία περιγράφει την ευαισθησία του εδάφους στη διαβρωτική δράση της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής, εκφράζεται στο εμπειρικό ομοίωμα USLE (Universal Soil Loss Equation) και την αναθεωρημένη του μορφή Revised USLE από το συντελεστή διαβρωσιμότητας του εδάφους K . Ο τελευταίος, στις περισσότερες μελέτες υπολογίζεται εμπειρικά βάσει της λιθολογίας και της στρωματογραφίας του γεωλογικού υποβάθρου (Sigalos et al. 2010, Efthimiou 2016 κλπ) λόγω της έλλειψης κατάλληλων εδαφολογικών δεδομένων, παραβλέποντας όμως σημαντικές ιδιότητες του εδάφους. Συνεπώς, στόχο της παρούσας μελέτης αποτελεί ο αναλυτικός υπολογισμός {χρησιμοποιώντας το νομογράφημα των Wischmeier et al. (1971) και την εξίσωση των Wischmeier and Smith (1978)} του συντελεστή K στη λεκάνη απορροής του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου, λαμβάνοντας υπόψη εδαφικά χαρακτηριστικά όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η κοκκομετρική σύσταση, η δομή και η περατότητα, το ποσοστό εδαφικής κάλυψης (χαλίγια επί της επιφάνειας του εδάφους, χονδροκόκκα υλικά εντός του επιφανειακού στρώματος). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν σαράντα πέντε (45) εδαφοτομές, οι οποίες διατέθηκαν από το ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών) και την ΕΕ (Ευρωπαϊκή Ένωση/ βάση εδαφολογικών δεδομένων LUCAS). Τα αποτελέσματα κατέδειξαν την υπεροχή της αναλυτικής προσέγγισης έναντι της αντίστοιχης εμπειρικής, καταλήγοντας σε ορθότερες αριθμητικές {πχ η οριοθέτηση ανώτατης τιμής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (OM) οδήγησε στην αύξηση της τιμής του K (πχ μέσες τιμές $K \rightarrow K_{OM}$: $0,017 \rightarrow 0,023 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) και στην αποφυγή της υποεκτίμησης του σε εδάφη όπου αυτή ξεπερνάει το 4%, ενώ η ενσωμάτωση της επίδρασης του πετρώδους (St) οδήγησε στην επακόλουθη μείωση της τιμής του K (πχ μέσες τιμές $K_{OM} \rightarrow K_{St}$: $0,023 \rightarrow 0,016 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) και στην αποφυγή της υπερεκτίμησης του} και χωρικές εκτιμήσεις, σύμφωνες με αυτές που παρουσίασαν για την ΕΕ οι Panagos et al. (2014).

Λέξεις κλειδιά: Εδαφική διαβρωσιμότητα, διάβρωση, συντελεστής K , RUSLE, Άνω ρους ποταμού Αχελώου

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εδαφική διάβρωση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως, επηρεάζοντας άμεσα τόσο το φυσικό (πχ υποβάθμιση των γεωργικών εδαφών, αλλοίωση του φυσικού τοπίου κ.) όσο και το ανθρωπογενές {πχ μείωση της αγροτικής παραγωγής, καταστροφή των έργων υποδομής (οδικό δίκτυο, γέφυρες, λιμάνια, ταμιευτήρες), πρόχωση υδατορευμάτων και αύξηση πλημμυρικού κινδύνου κ.α} περιβάλλον.

Σύμφωνα με τον FAO (Food and Agriculture Organization), κάθε χρόνο, η διάβρωση και οι λοιπές μορφές εδαφικής υποβάθμισης, προκαλούν την μείωση της καλλιεργήσιμης γης παγκοσμίως κατά $5-7 \times 10^6$ ha, ενώ περί τους 25×10^9 t εδάφους καταλήγουν στη θάλασσα (FAO 1995). Κατά τους Gobin et al. (2003)

σε Ευρωπαϊκό επίπεδο η υδατική διάβρωση επηρεάζει περί τα 105×10^6 ha εδάφους. Στην Ελλάδα, οι ετήσιες απώλειες είναι της τάξης των $150-300 \times 10^6$ t γόνιμου εδάφους (Κοσμάς 2006).

Οι σοβαρές τεχνικές, περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες του φαινομένου γεννούν την ανάγκη της ακριβέστερης δυνατής ποσοτικοποίησης του, τον εντοπισμό των επιρροών στη διάβρωση περιοχών και τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας.

Στο ανωτέρω πλαίσιο κινείται και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), με δράσεις όπως η δημιουργία (1996) του ESNB (European Soil Bureau Network), έχοντας ως στόχο μεταξύ άλλων τη χάραξη στρατηγικής και τη θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση {πχ Soil Framework Directive (COM (2006) 232, final)}.

* Μετα - Διδακτορικός Ερευνητής

Τσέχικο Πανεπιστήμιο Βιοεπιστημών, Τμήμα Περιβαλλοντικών Επιστημών, Πράγα Kamýcká 129, Praha Suchdol 16500, Δημοκρατία της Τσεχίας, efthimiounik@yahoo.com

Για τον ορθό υπολογισμό της εδαφικής απώλειας είναι απαραίτητη η ακριβής εκτίμηση της διαβρωσιμότητας του εδάφους, μιας εκ των σημαντικότερων ιδιοτήτων του. Η παράμετρος εκφράζεται από το συντελεστή διαβρωσιμότητας του εδάφους K στα ευρέως αποδεκτά και εφαρμοζόμενα εμπειρικά ομοιώματα διάβρωσης USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier and Smith 1978) και RUSLE (Renard et al. 1991). Μεταξύ των διαφορετικών εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της (πχ Dangler and El-Swaify 1976, Young and Mutchler 1977, Torri et al. 1997), εκείνη του συντελεστή K είναι η πλέον διαδεδομένη. Οι Panagos et al. (2012, 2014) εκτίμησαν την τιμή της σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, βασιζόμενοι σε δεδομένα που αντλήθηκαν από τη βάση εδαφολογικών δεδομένων LUCAS (Land Use/ Cover Area Frame Survey) χρησιμοποιώντας το νομογράφημα των Wischmeier et al. (1971).

Σύμφωνα με τον Morgan (2005) η διαβρωσιμότητα του εδάφους εξαρτάται κυρίως από τις μηχανικές και χημικές του ιδιότητες, σε συνδυασμό με την επίδραση εξωγενών παραγόντων (πχ κλίμα, τοπογραφία, γεωλογικό υπόβαθρο, χρήσεις γης, άρροση).

Η διαβρωσιμότητα εξαρτάται από την υφή του εδάφους, τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του, τη διατιμητική του αντοχή, την ικανότητα διήθησης του νερού και την περιεκτικότητα του σε οργανική ουσία. Όσον αφορά την υφή, τα μεγάλα και βαριά σωματίδια μεταφέρονται δυσκολότερα, ενώ τα λεπτά είναι πιο ανθεκτικά στην απόσπαση – κατά τους Richter and Nengendank (1977) εδάφη με περιεκτικότητα σε ιλύ μεγαλύτερη του 40% είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στη διάβρωση, ενώ κατά την προσέγγιση του Evans (1980) πιο επιρρεπή στη διάβρωση είναι τα εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο από 9-30%. Αναφορικά με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, αυτή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμα κατιόντα Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} (υψηλή περιεκτικότητα οδηγεί σε σταθερότερα εδάφη) και από τον τύπο των ορυκτών της αργίλου (πχ εδάφη που περιέχουν καολινίτη, ο οποίος δεν διογκώνεται όταν διαβραχεί, έχουν χαμηλή διαβρωσιμότητα). Η διατιμητική αντοχή είναι μέτρο της συνεκτικότητας και της αντίστασης (τριβής, μεταξύ κινούμενων γειτονικών σωματιδίων) στις διατιμητικές δυνάμεις της βαρύτητας, του κινούμενου νερού και των μηχανικών φορτίων και χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ευκολίας απόσπασης των εδαφικών τεμαχιδίων από τις δυνάμεις της βροχής και της επιφανειακής απορροής. Η ικανότητα διήθησης επηρεάζεται από το μέγεθος

των πόρων, τη σταθερότητά τους και τη μορφή του εδαφικού προφίλ – εδάφη με χαμηλή σταθερότητα συσσωματωμάτων (πχ περιέχουν βερμικουλίτες, οι οποίοι διογκώνονται όταν διαβραχούν) έχουν χαμηλή ικανότητα διήθησης καθώς μεταβάλλεται το πορώδες τους. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία επηρεάζει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων (επιπλέον την ικανότητα διήθησης και συγκράτησης νερού, η οποία αυξάνεται όταν η τελευταία είναι υψηλή, οδηγώντας στη μείωση της επιφανειακής απορροής) – όταν είναι χαμηλότερη του 3,5% το έδαφος θεωρείται ευάλωτο στη διάβρωση (Evans 1980). Παράμετροι όπως το βάθος (τα βαθύτερα εδάφη συγκρατούν μεγαλύτερο όγκο νερού πριν «προκαλέσουν» απορροή, όντας πιο ανθεκτικά στη διάβρωση) και η παρουσία χαλικιών εντός του εδάφους (επηρεάζουν την περατότητα) λαμβάνονται εξίσου υπόψη.

Συνολικά, ο ρόλος των εδαφικών ιδιοτήτων στην προσομοίωση της διάβρωσης είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι η συμπεριφορά κάθε διαφορετικού τύπου εδάφους επηρεάζει άμεσα το δυναμικό «παραγωγής» φερτών υλικών της εκάστοτε λεκάνης απορροής. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των μελετών (Μπαθρέλλος κ.α. 2010, Sigalos et al. 2010, Eftthimiou 2016 κλπ) η διαβρωσιμότητα περιγράφεται εμπειρικά, βάσει της λιθολογίας και της στρωματογραφίας των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών, καθώς τα εδαφολογικά δεδομένα συχνά ελλείπουν και οι επιτόπιες δοκιμές πεδίου είναι ακριβές και χρονοβόρες. Με τον τρόπο αυτό ο συντελεστής K υπολογίζεται ευκολότερα, παραλείποντας όμως βασικά χαρακτηριστικά του εδάφους όπως πχ η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και η κοκκομετρία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκε με αναλυτικό τρόπο {σύμφωνα με το νομογράφημα των Wischmeier et al. (1971) και την εξίσωση των Wischmeier and Smith (1978)} ο συντελεστής K στην υδρολογική λεκάνη του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν σαράντα πέντε (45) εδαφοτομές, οι οποίες διατέθηκαν από το ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών) και την ΕΕ (βάση εδαφολογικών δεδομένων LUCAS).

Ο Άνω ρους του ποταμού Αχελώου επελέγη ως περιοχή μελέτης, καθώς αποτελεί τμήμα ενός εκ των βασικότερων συστημάτων υδατικών πόρων της χώρας, με σημαντική υδρολογική, ενεργειακή και περιβαλλοντική σημασία. Παράλληλα η υψηλή παρατηρηθείσα στερεοαπορροή του καθιστά απαραίτητη την εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας, με σκο-

πό την ορθή προσομοίωση της διάβρωσης καθώς και την αντιμετώπιση της πρόοχωσης του ταμιευτήρα του φράγματος Αυλάκι. Η διαθεσιμότητα και η χωρική επάρκεια των απαραίτητων εδαφολογικών δεδομένων αποτέλεσαν επίσης καθοριστικούς παράγοντες για την επιλογή του.

Η μελέτη μπορεί να αποτελέσει μια καλή βάση για την ακριβή εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας στην εν λόγω υδρολογική λεκάνη, και κατ' επέκταση – μέσω της εφαρμογής του ομοιώματος RUSLE – την προκαταρκτική, τουλάχιστον, εκτίμηση της διάβρωσης και τον εντοπισμό των πιο ευάλωτων σε αυτή περιοχών. Η προσέγγιση αυτή, σε συνδυασμό με παρατηρήσεις πεδίου (πχ εντοπισμός αυλακωτής, χαρραδρωτικής διάβρωσης) οι οποίες θα υποστηρίξουν την αναγκαιότητα λήψης κατάλληλων προστατευτικών μέτρων, και ενδεχομένως την επιπρόσθετη εφαρμογή ενός σύγχρονου αναλυτικού ομοιώματος διάβρωσης λεπτομερέστερης χρονικής κλίμακας, μπορεί να αποτελέσει τμήμα ενός ευρύτερου διαχειριστικού σχεδιασμού (τεχνικά έργα, οριοθέτηση χρήσεων γης, προστασία από πυρκαγιές και αναδάσωση, επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών και καλλιεργητικών τεχνικών) δίνοντας τη δυνατότητα περιορισμού των οικονομικών και κοινωνικών συνεπειών που προκαλεί το φαινόμενο στην περιοχή.

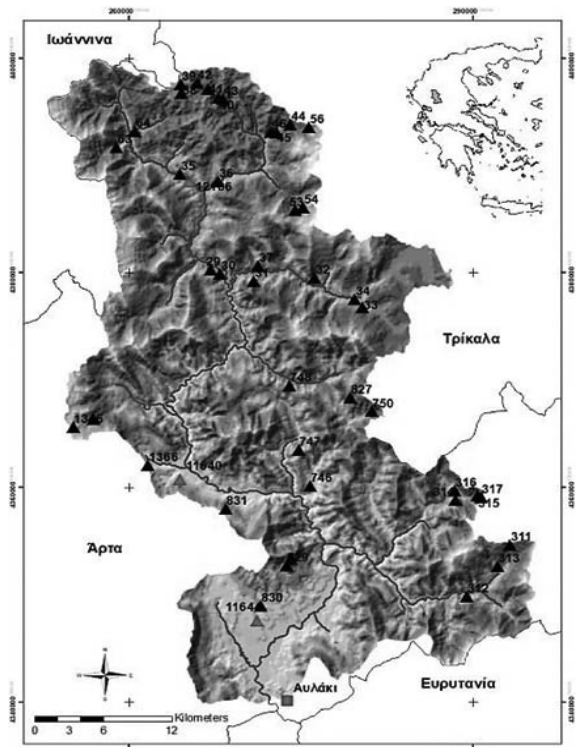
2. ΥΔΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή μελέτης

Η υδρολογική λεκάνη του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου (έκταση ανάντη του φράγματος Αυλάκι) βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Υδατικού Διαμερισμού της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, περιλαμβάνοντας τμήματα των νομών Αιτωλοακαρνανίας, Ευρυτανίας, Καρδίτσας, Αρτας, Τρικάλων και Ιωαννίνων (Σχήμα 1).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης περιγράφονται στον Πίνακα I.

Η λεκάνη κατηγοριοποιείται γεωμορφολογικά ως ορεινή και χωρίζεται σε δύο τμήματα, το βόρειο που χαρακτηρίζεται από έντονη μορφολογία (πρανή



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης
Figure 1. Study area

με κλίσεις έντονες έως ισχυρά έντονες, βαθιά και μαιανδρικά φαράγγια, περιορισμένες πεδινές εκτάσεις) και το νότιο, όπου η μορφολογία εξομαλύνεται αισθητά, ιδιαίτερα καθώς βαίνουμε προς την έξοδο της (Λυκούδη 2000).

Σύμφωνα με την κατάταξη κατά CORINE Land Cover 2000 (CLC 2017) το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από «Δάση & Ημιφυσιικές Περιοχές» (92,85%), με τις σημαντικά λιγότερες πεδινές εκτάσεις και τις αγροτικές περιοχές (6,69%) να εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της (Ευθυμίου 2016α). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό και έχει σύνθετη μορφή. Το κλίμα και το υδρολογικό καθεστώς είναι Μεσογειακού τύπου.

Κατά τη Λυκούδη (2000) το γεωλογικό υπόβαθρο

Πίνακας I. Βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης
Table I. Basic characteristics of the study area

A (km ²)	H _{min} (m)	H _{mean} (m)	H _{max} (m)	J (%)	L (km)	P (mm)	T (°C)	Q (m s ⁻¹)	Qs (kg s ⁻¹)
1354,9	379,1	1224,7	2406,3	21,5	116,0	1965–1984 1696,0	12,4	55,2	26,2
						1965–1992 1657,0		57,1	

A: εμβαδόν, H_{min}/H_{mean}/H_{max}: ελάχιστο/μέσο/μέγιστο υψόμετρο, J: μέση κλίση, L: μήκος κύριου υδατορεύματος, P: μέση ετήσια βροχόπτωση, T: μέση ετήσια θερμοκρασία, Q: μέση ετήσια παροχή, Qs: μέση ετήσια στερεοπαροχή σε αιώρηση

περιλαμβάνει σχηματισμούς της εσωτερικής Ιονίου ζώνης (ιζήματα φλύσχη), της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης (πλακώδεις ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι, ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, φλύσχης), των ζωνών Πίνδου {δεύτερος φλύσχης, στρώματα μετάβασης (εναλλαγές πλακωδών ασβεστολίθων με ψαμίτες και αργιλιτές), πελαγικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι, πρώτος φλύσχης, ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι} και Υπερπινδικής (πολύπτυχωμένοι και μικρό-λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι) καθώς και νεότερους (μετά-αλπικούς) σχηματισμούς {αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων (εναλλαγές στρώσεων κροκαλών πηλών, άμμων και αργιλικού υλικού), παλαιά και σύγχρονα κορημάτα, κώνοι κορημάτων}. Επίσης παρατηρούνται μικρές εμφανίσεις εκρηξιγενών πετρωμάτων (Pillow-lavas, βασικά ηφαιστειακά πετρώματα).

2.2. Το ομοίωμα RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Το ομοίωμα RUSLE (Renard et al. 1991, 1994, 1996) υπολογίζει τη μέση ετήσια εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας A ($t ha^{-1} y^{-1}$) ως το απλό γραμμικό γινόμενο πέντε επί μέρους παραγόντων {συντελεστής διαβρωσιμότητας της βροχόπτωσης R ($MJ mm ha^{-1} h^{-1} y^{-1}$), συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K ($t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$), τοπογραφικός συντελεστής LS (αδιάστατος), συντελεστής φυτοκάλυψης C (αδιάστατος), συντελεστής διαχείρισης του εδάφους κατά της διάβρωσης P (αδιάστατος)}, οι οποίοι καταδεικνύουν την επίδραση του κλίματος, των εδαφικών ιδιοτήτων, της τοπογραφίας, της φυτοκάλυψης και της ανθρωπογενούς δράσης στην γέννηση και εξέλιξη του φαινομένου, σύμφωνα με την εξίσωση 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

2.2.1. Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K

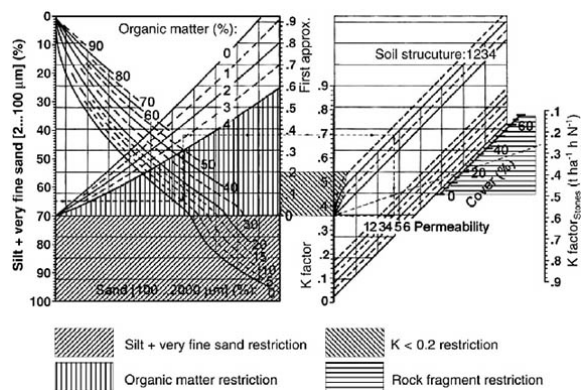
Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K περιγράφει την ευαισθησία (ή την αντοχή) του εδάφους στη διαβρωτική δράση της βροχής και της επιφανειακής απορροής.

Οι τιμές του κυμαίνονται (συνήθως) μεταξύ $0,001-0,092 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$ (Mitchell and Bubenzer 1980). Οι χαμηλότερες τιμές αποδίδονται στα πολύ λεπτόκοκκα (πχ αργιλώδη $0,007 < K < 0,020 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$) και χονδροκόκκα (πχ αμμώδη $0,007 < K < 0,026 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$) εδάφη, τα οποία είναι λιγότερο επιρρεπή στη διάβρωση (τα λεπτόκοκκα σωματίδια συγκρατούνται με ισχυρές

δυνάμεις συνοχής καθιστώντας δυσκολότερη την απόσπασή τους, ενώ το συγκριτικά μεγαλύτερο βάρος των χονδροκόκκων σωματιδίων δυσκολεύει τη μεταφορά τους). Ο υψηλότερες τιμές αποδίδονται στα μετρίως λεπτόκοκκα (πχ ιλυό-πηλώδη $0,033 < K < 0,053 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$) και μέσης σύστασης (πχ ιλυώδη $0,053 < K < 0,092 t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$) εδάφη τα οποία είναι πιο επιρρεπή στη διάβρωση (ευκολία απόσπασης σωματιδίων, τάση σχηματισμού κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους που μειώνει την διείσδυση του νερού και αυξάνει την επιφανειακή απορροή).

Οι Wischmeier et al. (1971) βασιζόμενοι σε μετρήσεις πεδίου, ανέπτυξαν ένα νομογράφημα για την εκτίμηση του συντελεστή K σε γεωργικά εδάφη το οποίο περιελάμβανε αρχικά πέντε παραμέτρους (περιεκτικότητα σε ιλύ και πολύ λεπτή άμμο, περιεκτικότητα σε άργιλο, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, δομή εδάφους και περατότητα εδάφους). Οι Wischmeier and Smith (1978) προσέθεσαν σε αυτές και μια έκτη, για να συμπεριλάβουν την επίδραση του πετρώδους (Σχήμα 2).

Για την ορθή του χρήση πρέπει να τηρούνται



Σχήμα 2. Νομογράφημα των Wischmeier and Smith (1978) και περιορισμοί

Figure 2. Wischmeier and Smith (1978) nomograph and restrictions

τέσσερις περιορισμοί: 1) το κλάσμα «ιλύς και πολύ λεπτή άμμος» να είναι μεγαλύτερο του 70%, 2) η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία να είναι μικρότερη του 4% {Σύμφωνα με τους Wischmeier et al. (1971) όταν η οργανική ουσία αυξάνει εντός του εύρους 0-4% η διαβρωσιμότητα μειώνεται σημαντικά, ενώ η συμπεριφορά του K πάνω από αυτό το όριο (εάν και πόσο μειώνεται) δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Αυτός είναι και ο λόγος που το νομογράφημα «ολοκληρώνεται» στο 4%. Για υψηλότερες τιμές προτεί-

νον το σχεδιασμό νέων καμπυλών και τη γραμμική παρεμβολή μεταξύ τους, παρόλο που στα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του νομογραφήματος το ανώτατο όριο οργανικής ουσίας ήταν 5,5% (Wischmeier and Mannering 1969). Εξάλλου, οι Trott and Singer (1983) δεν παρατήρησαν κάποια επιπλέον επίπτωση στη διαβρωσιμότητα κατά την υπέρβαση του εν λόγω ορίου.}, 3) η τιμή του K να μην είναι μικρότερη του $0,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ h N}^{-1}$ (ή $0,02 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) (Auerswald et al. 2014) και 4) υπάρχει ένα κατώφλι εδαφικής κάλυψης (1,5%) κάτω από το οποίο το πετρώδες δεν επηρεάζει τη διαβρωσιμότητα (Auerswald et al. 2014).

Οι Wischmeier and Smith (1978) εισήγαγαν την αλγεβρική έκφραση του νομογραφήματος (εξισώσεις 2, 3). Ωστόσο, η εξίσωση 2 εμφανίζει περιορισμούς καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν το κλάσμα «ιλύς και πολύ λεπτή άμμος» είναι μικρότερο του 70%, αποκλίνει από το νομογράφημα όταν η περιεκτικότητα σε ιλύ είναι υψηλή, όταν η διαβρωσιμότητα ή/ και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι χαμηλές, ενώ δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση των χαλικιών.

$$100K = 2,1M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3) \quad (2)$$

$$M = P_s \times (100 - P_c) \quad (3)$$

όπου, K ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) είναι ο συντελεστής διαβρωσιμότητας, M η παράμετρος εδαφικής υψής $\{P_s (\%) \text{ είναι το κλάσμα ιλύος και πολύ λεπτής άμμου και } P_c (\%) \text{ η περιεκτικότητα σε άργιλο}\}$, a (%) η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, b ο κωδικός εδαφικής δομής $\{\text{λαμβάνει τιμές από 1 (πολύ λεπτόκοκκο) έως 4 (αδρομερές)}\}$ και c ο κωδικός εδαφικής περατότητας $\{\text{λαμβάνει τιμές από 1 (ταχεία) έως 6 (πολύ βραδεία)}\}$.

Η παρουσία χαλικιών στην επιφάνεια του εδάφους παρέχει προστασία έναντι της διάβρωσης (Wischmeier and Smith 1978), με αρκετούς ερευνητές (Simanton et al. 1986, Martin 1988, Poesen et al. 1994) να έχουν αναπτύξει συντελεστές μείωσης (διόρθωσης) της διαβρωσιμότητας προκειμένου να περιγράψουν τη συγκεκριμένη επίδραση. Αντίθετα, η παρουσία χαλικιών (>2 mm) εντός του εδάφους συντελεί στη μείωση της περατότητας και της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό, οδηγώντας σε αύξηση της επιφανειακής απορροής και συνεπώς της πιθανότητας εκδήλωσης διάβρωσης – άρα και σε υψηλότερες τιμές του συντελεστή K (Wischmeier and

Smith 1978). Στις περισσότερες μελέτες η δράση αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη, οδηγώντας στη συστηματική και συχνά σημαντική υπερεκτίμηση του K, ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες όπου η παρουσία χαλικιών είναι έντονη (Panagos et al. 2014, Danalatos et al. 1995).

Ο συντελεστής K εμφανίζει εποχική διακύμανση, επηρεαζόμενος από τους κύκλους τήξης και πήξης του εδάφους, οι οποίοι τείνουν να προκαλέσουν την αύξηση της τιμής του αλλάζοντας πολλές από τις εδαφικές ιδιότητες όπως η δομή, η φαινόμενη πυκνότητα, η υδραυλική αγωγιμότητα, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων {πχ χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα (χαμηλή συμπίεση) και υψηλή εδαφική υγρασία (χαμηλή σταθερότητα συσσωματωμάτων) κατά την περίοδο τήξης οδηγεί σε υψηλή διαβρωσιμότητα (Morgan 2005)}. Η τιμή του μειώνεται στα μέσα του Φθινοπώρου και το χειμώνα (λόγω συμπίεσης του εδάφους από τη βροχή, παγώματος του εδάφους) ή κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των φυτών, σε περιοχές όμως όπου δεν είναι επιρρεπείς σε παγετό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα απαραίτητα εδαφολογικά δεδομένα για την αναλυτική εκτίμηση του συντελεστή διαβρωσιμότητας στη λεκάνη απορροής του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου προήλθαν από σαράντα πέντε (45) εδαφοτομές (Σχήμα 1), οι οποίες διατέθηκαν από το ΕΘΙΑΓΕ και την ΕΕ (βάση εδαφολογικών δεδομένων LUCAS).

Όσον αφορά το πρωτόκολλο δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε, το ΕΘΙΑΓΕ εστίασε κυρίως σε ορεινές και δασώδεις περιοχές, εξυπηρετώντας τους ιδιαίτερους ερευνητικούς σκοπούς του ιδρύματος. Αντίθετα οι μετρήσεις πεδίου της ΕΕ ήταν τυχαίες, με την τελευταία να πραγματοποιεί μια εδαφοτομή ανά 199 km^2 , δημιουργώντας ένα πανευρωπαϊκό πλέγμα με διάσταση κελιού $14 \text{ km} \times 14 \text{ km}$ (Panagos et al. 2013). Εξάλλου, κανένας εκ των δύο οργανισμών δεν εφάρμοσε κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο δειγματοληψίας, ούτε ως προς τους τύπους εδάφους που συναντήθηκαν ούτε ως προς τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς. Όλα τα δείγματα βρίσκονται εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης και αφορούν τον επιφανειακό ορίζοντα του εδάφους (ΕΘΙΑΓΕ: 0-40 cm, ΕΕ: 0-30 cm).

Τα εδαφικά δείγματα κατηγοριοποιήθηκαν αρχικά ως προς την κοκκομετρική τους σύσταση σε επτά (7) κλάσεις (Πίνακας VI), σύμφωνα με την ταξινόμηση του τριγώνου μηχανικής σύστασης των

εδαφών του USDA (US Department of Agriculture) (Soil Science Division Staff 2017). Στη συνέχεια, οι κλάσεις ομαδοποιήθηκαν ως προς την υφή τους σε τέσσερα (4) σύνολα λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των κόκκων τους, αποδίδοντας σε κάθε ένα εξ αυτών την αντίστοιχη τιμή του κωδικού εδαφικής δομής b και περατότητας c (Πίνακας VI).

Η εδαφική περατότητα (Rawls et al. 1982) και το εύρος των τιμών της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό (Neitsch et al. 2005) ανά κλάση υφής περιγράφονται στον Πίνακα II.

Όπως αναφέρθηκε, η περατότητα επηρεάζεται από την παρουσία των χονδρόκοκκων υλικών (>2 mm) εντός του εδάφους. Η επίδραση των χαλικιών στην περατότητα αξιολογείται μέσω του υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό, σύμφωνα με την εξίσωση (4) των Brakensiek et al. (1986).

$$K_b = K_f (1 - R_w) \quad (4)$$

όπου, K_b (mm h^{-1}) η τροποποιημένη υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό αφού ληφθεί υπόψη η επίδραση των χαλικιών, K_f (mm h^{-1}) η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό του λεπτόκοκκου (<2 mm) εδαφικού κλάσματος {χαρακτηριστικές τιμές της μεταβλητής ανά κλάση εδαφικής υφής κατά Clapp and Hornberger (1978) δίνονται στον Πίνακα III} και R_w το ποσοστό των χονδρόκοκκων τεμαχιδίων μεγαλύτερων από 2 mm (χρησιμοποιείται η μέση τιμή της αντίστοιχης κλάσης του Πίνακα IV).

Στην περίπτωση που η τροποποιημένη υδραυλική αγωγιμότητα ενταχθεί σε διαφορετική κλάση από την αρχική, μεταβάλλεται ανάλογα η τιμή του συντελεστή c. Στην παρούσα μελέτη δεν παρατηρήθηκε κάτι τέτοιο (αν και σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρξε σημαντική μείωση της τιμής της παραμέτρου $K_f \rightarrow K_b$), με αποτέλεσμα να παραμείνει αμετάβλητη η εδαφική περατότητα.

Πίνακας II. Εδαφική περατότητα και εύρος υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό των κύριων κλάσεων κοκκομετρικής σύστασης

Table II. Soil permeability and saturated hydraulic conductivity range of major soil granulometry classes

Περατότητα (c)	Περιγραφή	Υφή	ΥΑΚ ¹ (mm h^{-1})
1	Ταχεία	Αμμώδεις	>150
2	Μέτρια έως Ταχεία	Πηλοαμμώδεις, Αμμοπηλώδεις	50-150
3	Μέτρια	Πηλώδεις, Ιλοπηλώδεις	15-50
4	Αργή έως Μέτρια	Αμμοαργιλοπηλώδεις, Αργιλοπηλώδεις	5-15
5	Βραδεία	Ιλοαργιλοπηλώδεις, Αμμοαργιλωδεις	1-5
6	Πολύ Βραδεία	Ιλοαργιλωδεις, Αργιλωδεις	<1

¹ Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό

Πίνακας III. Χαρακτηριστικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό ανά κλάση κοκκομετρικής σύστασης κατά Clapp and Hornberger (1978)

Table III. Characteristic saturated hydraulic conductivity values per granulometry class according to Clapp and Hornberger (1978)

Κλάση	K (mm h^{-1})
Αμμώδεις (S)	633,60
Πηλοαμμώδεις (LS)	561,60
Αμμοπηλώδεις (SL)	124,56
Αμμοαργιλοπηλώδεις (SCL)	22,68
Πηλώδεις (L)	24,98
Ιλοπηλώδεις (SiL)	25,92
Ιλοαργιλοπηλώδεις (SiCL)	0,61
Ιλώδεις (Si)	3,31
Αργιλοπηλώδεις (CL)	0,88
Ιλοαργιλωδεις (SiC)	0,36
Αμμοαργιλωδεις (SC)	0,78
Αργιλωδεις (C)	0,46

Σημειώνεται πως στις εδαφοτομές της ΕΕ η παρουσία χαλικιών εντός του επιφανειακού οριζοντα έχει αριθμητική τιμή παρουσιαζόμενη ως ποσοστό (Πίνακας VI), ενώ σε εκείνες του ΕΘΙΑΓΕ περιγράφεται περιφραστικά (Πίνακας IV) σύμφωνα με τη μεθοδολογία λήψης εδαφικών δειγμάτων που ακολουθήθηκε (FAO 1990).

Πίνακας IV. Χαλίκια – εδαφοτομές ΕΘΙΑΓΕ

Table IV. Coarse fragments – NAGREF soil samples

Κωδικός	Περιγραφή ¹	%
D	Κυρίαρχα	>80
A	Αφθονία	40-80
M	Πολύ συχνά	15-40
C	Συχνά	5-15
F	Λίγα	2-5
V	Ελάχιστα	0-2
N	Καθόλου	0

¹ Στην παρούσα μελέτη δεν συναντήθηκαν οι περιπτώσεις «Καθόλου» και «Κυρίαρχα»

Εν συνεχεία, για την αποφυγή υποεκτίμησης του συντελεστή διαβρωσιμότητας, ορίζεται ένα ανώτατο όριο στην περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, ίσο με 4% {εκ των προαναφερθέντων περιορισμών ορθής χρήσης του νομογραφήματος των Wischmeier et al. (1971)}. Τα δείγματα που το ξεπερνούν, και στα οποία επιβάλλεται ο εν λόγω περιορισμός, σημειώνονται με γκρι υπόβαθρο (Πίνακας VI). Επισημαίνεται πως η βάση δεδομένων LUCAS παρέχει πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (Organic Content, OC) κάθε δείγματος ($g\ kg^{-1}$) και όχι την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Organic Matter, OM). Το τελευταίο μετατρέπεται σε $g\ 100g^{-1}$ (πολλαπλασιαζόμενο με 0,1) και εν συνεχεία υπολογίζεται η οργανική ουσία σύμφωνα με τον μετασχηματισμό $OM = 1,72XOC$ (Wischmeier et al. 1971).

Προκειμένου να ενσωματωθεί η προστατευτική δράση των χαλικιών της επιφάνειας του εδάφους στον υπολογισμό της διαβρωσιμότητας, χρησιμοποιείται ο συντελεστής μείωσης (διόρθωσης) St των Poesen et al. (1994), σύμφωνα με την εξίσωση 5.

$$St = e^{-0,04(R_c - 10)} \quad (5)$$

όπου, R_c είναι το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από τα χαλίκια ($10\% < R_c < 100\%$).

Σε αντιστοιχία με την ποσοτικοποίηση των χαλικιών στον ανώτερο εδαφικό ορίζοντα, η παρουσία πετρώδους στην επιφάνεια του εδάφους περιγράφεται αριθμητικά στις εδαφοτομές της ΕΕ και περιφραστικά (FAO 1990) σε εκείνες του ΕΘΙΑΓΕ (Πίνακας V).

Πίνακας V. Πετρώδες – εδαφοτομές ΕΘΙΑΓΕ, ΕΕ

Table V. Stoniness – NAGREF, EU soil samples

Φορέας	Κωδικός	Περιγραφή ¹	%	Φορέας	Κωδικός	%
ΕΘΙΑΓΕ	D	Κυρίαρχα	>80	ΕΕ	4	≥50
	A	Αφθονία	40-80		3	25-50
	M	Πολύ συχνά	15-40		2	10-25
	C	Συχνά	5-15		1	≤10
	F	Λίγα	2-5		0	0
	V	Ελάχιστα	0-2			
	N	Καθόλου	0			

¹ Στην παρούσα μελέτη δεν συναντήθηκαν οι περιπτώσεις «Κυρίαρχα» (ΕΘΙΑΓΕ) και 0, 3, 4 (ΕΕ)

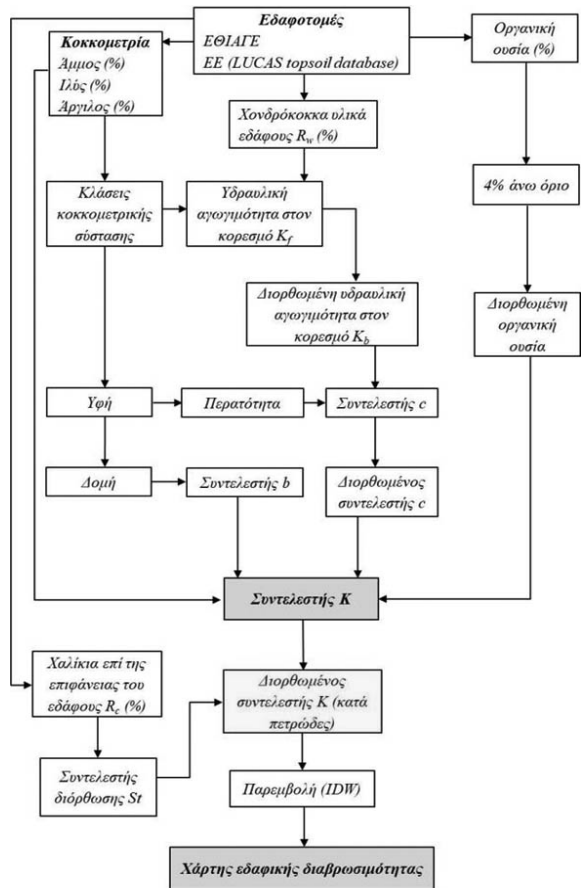
Για τον υπολογισμό του St (Πίνακας VI) χρησιμοποιήθηκε ως ποσοστό εδαφικής κάλυψης η μέση τιμή των αντίστοιχων κλάσεων του Πίνακα V. Στις περιπτώσεις των εδαφικών δειγμάτων που η τιμή της μεταβλητής ήταν μικρότερη του 10%, ο συντελεστής διόρθωσης δεν μπορούσε εξ' ορισμού να εφαρμοστεί και για το λόγο

αυτό ορίστηκε ίσος με τη μονάδα (γκρι υπόβαθρο).

Συνεπώς, έχοντας υπολογίσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους, ο συντελεστής K εκτιμάται για κάθε εδαφικό δείγμα (σημειακά) πολλαπλασιάζοντας την οριοθετημένη (ως προς τον περιορισμό της οργανικής ουσίας και την παρουσία χαλικιών στην ανώτερη στοιβάδα) του τιμή με τον συντελεστή διόρθωσης St (προκειμένου να συμπεριληφθεί η επίδραση και του πετρώδους), σύμφωνα με την εξίσωση 6.

$$K_{st} = St \times K \quad (6)$$

Το διάγραμμα ροής της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 που ακολουθεί.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Figure 3. Methodology flowchart

Η χρήση των εξισώσεων 2, 3 για τον υπολογισμό του συντελεστή K δικαιολογείται καθώς η τιμή του κλάσματος ιλύος και πολύ λεπτής άμμου όλων των δειγμάτων είναι μικρότερη του 70%. Πιο συγκεκριμένα, καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε πολύ λεπτή άμμο

(διάμετρος κόκκων 0,05-0,1 mm), ελήφθη υπόψη μόνο η περιεκτικότητα σε ιλύ. Οι Panagos et al. (2014) ξεπέρασαν το πρόβλημα της απουσίας της σχετικής πληροφορίας, υπολογίζοντας το άγνωστο

κλάσμα ως ποσοστό (20%) της περιεκτικότητας σε άμμο (διάμετρος κόκκων 0,05-2,0 mm). Ακόμη και αν ακολουθηθεί αυτή η μεθοδολογία, το άθροισμα παραμένει κάτω από το απαιτούμενο όριο.

Πίνακας VI. Εδαφοτομές – αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή K

Table VI. Soil samples – analytical calculation of the K factor

Κωδ ¹	Άμ ²	Ιλ ²	Αρ ²	Κλ ³	Υφ ⁴	b ⁵	Πε ⁶	a ⁷	a ⁸	X ⁹	c	Π ¹⁰	St	K ¹¹	K _{OM} ¹¹	K _{ST} ¹¹
29	30	36	34	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	6,62	4,00	10	4	10	1,00	0,019	0,024	0,024
30	36	39	25	L	Μ	3	Μ	4,00	4,00	10	3	10	1,00	0,025	0,025	0,025
31	18	29	53	C	Α	2	ΠΒ	11,17	4,00	3,5	6	27,5	0,50	0,011	0,019	0,009
32	18	35	47	C	Α	2	ΠΒ	13,24	4,00	10	6	27,5	0,50	0,008	0,023	0,011
33	23	30	47	C	Α	2	ΠΒ	8,97	4,00	27,5	6	27,5	0,50	0,014	0,021	0,010
34	13	62	25	SiL	Μ	3	Μ	9,17	4,00	10	3	10	1,00	0,017	0,039	0,039
35	26	42	32	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	7,31	4,00	27,5	4	1	1,00	0,020	0,028	0,028
36	52	34	14	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	4,27	4,00	10	2	27,5	0,50	0,021	0,022	0,011
37	18	28	54	C	Α	2	ΠΒ	13,38	4,00	27,5	6	27,5	0,50	0,009	0,018	0,009
38	44	18	38	SC	Α	2	ΠΒ	3,30	3,30	1	5	10	1,00	0,014	0,014	0,014
39	42	40	18	L	Μ	3	Μ	7,67	4,00	1	3	10	1,00	0,017	0,028	0,028
40	49	36	15	L	Μ	3	Μ	3,39	3,39	1	3	0	1,00	0,028	0,028	0,028
41	34	42	24	L	Μ	3	Μ	7,17	4,00	3,5	3	10	1,00	0,018	0,027	0,027
42	36	40	24	L	Μ	3	Μ	2,62	2,62	1	3	10	1,00	0,030	0,030	0,030
43	43	39	18	L	Μ	3	Μ	2,89	2,89	1	3	10	1,00	0,030	0,030	0,030
44	40	33	27	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	1,17	1,17	10	4	3,5	1,00	0,030	0,030	0,030
45	36	43	21	L	Μ	3	Μ	10,21	4,00	1	3	1	1,00	0,010	0,029	0,029
46	44	26	30	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	4,69	4,00	10	4	10	1,00	0,019	0,020	0,020
53	32	28	40	C	Α	2	ΠΒ	9,59	4,00	3,5	6	60	0,14	0,014	0,021	0,003
54	44	25	31	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	7,45	4,00	3,5	4	27,5	0,50	0,014	0,019	0,010
56	33	35	32	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	5,43	4,00	3,5	4	10	1,00	0,021	0,024	0,024
63	20	35	45	C	Α	2	ΠΒ	5,65	4,00	10	6	27,5	0,50	0,020	0,023	0,011
64	57	18	25	SCL	ΜΑ	3	ΑΜ	5,10	4,00	27,5	4	10	1,00	0,015	0,016	0,016
311	38	37	25	L	Μ	3	Μ	2,88	2,88	10	3	60	0,14	0,027	0,027	0,004
312	37	43	20	L	Μ	3	Μ	5,63	4,00	27,5	3	60	0,14	0,024	0,029	0,004
313	40	37	23	L	Μ	3	Μ	6,62	4,00	10	3	60	0,14	0,018	0,024	0,003
314	32	29	39	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	13,24	4,00	27,5	4	60	0,14	0,006	0,019	0,003
315	34	23	43	C	Α	2	ΠΒ	3,75	3,75	27,5	6	60	0,14	0,019	0,019	0,003
316	38	23	39	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	5,86	4,00	27,5	4	60	0,14	0,015	0,017	0,002
317	20	33	47	C	Α	2	ΠΒ	4,85	4,00	27,5	6	60	0,14	0,021	0,022	0,003
746	25	35	40	C	Α	2	ΠΒ	2,59	2,59	3,5	6	1	1,00	0,027	0,027	0,027
747	43	35	22	L	Μ	3	Μ	4,83	4,00	27,5	3	27,5	0,50	0,022	0,023	0,012
748	65	19	16	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	5,17	4,00	27,5	2	27,5	0,50	0,010	0,011	0,006
750	48	33	19	L	Μ	3	Μ	7,86	4,00	3,5	3	10	1,00	0,014	0,023	0,023
827	33	28	39	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	3,33	3,33	10	4	10	1,00	0,020	0,020	0,020
828	22	48	30	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	8,00	4,00	1	4	27,5	0,50	0,020	0,032	0,016
829	32	36	32	CL	ΜΑ	3	ΑΜ	8,28	4,00	10	4	27,5	0,50	0,016	0,025	0,012
830	58	28	14	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	4,52	4,00	10	2	27,5	0,50	0,016	0,018	0,009
831	47	29	24	L	Μ	3	Μ	7,59	4,00	3,5	3	10	1,00	0,013	0,019	0,019
1342	53	34	13	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	10,41	4,00	10	2	10	1,00	0,005	0,022	0,022
1346	51	30	19	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	6,62	4,00	27,5	2	27,5	0,50	0,012	0,018	0,009
1366	39	45	16	L	Μ	3	Μ	13,24	4,00	1	3	3,5	1,00	0,0002	0,032	0,032
11640	83	11	5	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	6,48	4,00	38	2	5	1,00	0,005	0,007	0,007
11644	41	42	17	L	Μ	3	Μ	2,37	2,37	4	3	5	1,00	0,035	0,035	0,035
12106	74	17	9	SL	ΜΧ	3	ΜΤ	3,18	3,18	12	2	17,5	0,74	0,012	0,012	0,009

1 Κωδικός: 29-1366 (ΕΘΙΑΓΕ), 11640-12106 (ΕΕ)

2 Άμ: Άμμος (%), Ιλ: Ιλύς (%), Αρ: Αργίλος (%)

3 Κλάση: CL (Clay Loam: Αργιλοπηλώδες), L (Loam: Πηλώδες), C (Clay: Αργιλώδες), SiL (Silty Loam: Ίλυοπηλώδες), SL (Sandy Loam: Αμμοπηλώδες), SC (Sandy Clay: Αμμοαργιλώδες), SCL (Sandy Clay Loam: Αμμοαργιλοπηλώδες)

4 Υφή: ΜΑ (Μετρίως Λεπτόκοκκο), Μ (Μέσο), Α (Λεπτόκοκκο), ΜΧ (Μετρίως Χονδρόκοκκο)

5 Κωδικός εδαφικής δομής b: 2 (Λεπτόκοκκο), 3 (Χονδρόκοκκο)

6 Περατότητα: ΜΤ (Μέτρια έως Ταχεία), Μ (Μέτρια), ΑΜ (Αργή έως Μέτρια), ΠΒ (Πολύ Βραδεία)

7 Οργανική ουσία (%)

8 Οργανική ουσία (%) – περιορισμός 4%

9 Χαλίγια (%)

10 Πετρώδες (%)

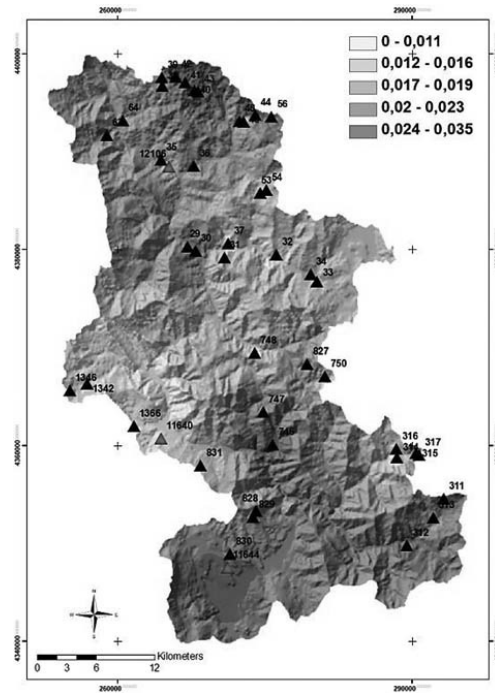
11 K: Δεν έχουν ληφθεί υπόψη περιορισμοί, K_{OM}: Έχει ληφθεί υπόψη μόνο ο περιορισμός της οργανικής ουσίας, K_{ST}: Έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι περιορισμοί (οργανική ουσία, πετρώδες)

Οι υπολογισμένες τιμές του K κυμαίνονται από: 1) 0,0002-0,035 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (χωρίς περιορισμούς οργανικής ουσίας και πετρώδους), 2) 0,007-0,039 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (περιορισμός οργανικής ουσίας), 3) 0,002-0,039 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (περιορισμοί οργανικής ουσίας και πετρώδους) με μέση τιμή 0,017, 0,023 και 0,017 αντίστοιχα {ταυτίζονται με τις αντίστοιχες χωρικές πλην της τελευταίας (0,016)}. Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές συμφωνούν με αυτές που παρουσίασαν για την ΕΕ οι Panagos et al. (2014).

Εξάλλου, τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των δειγμάτων σε διαφορετικές κλάσεις υφής, επαληθεύουν τις γενικές θεωρητικές αρχές. Οι χαμηλότερες τιμές του K παρατηρούνται σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα δείγματα, ενώ οι υψηλότερες σε μετρίως λεπτόκοκκα και μέσης σύστασης δείγματα, υποδεικνύοντας ένα εύρος χαμηλής προς μέσης διαβρωσιμότητας {συνεπώς, τα αντίστοιχα εδάφη εμφανίζουν μέτρια επιδεκτικότητα στην απόσπαση των εδαφικών σωματιδίων, «προκαλώντας» (δυναμικά) μέτριας έντασης επιφανειακή απορροφή}. Επιπλέον, ο περιορισμός (διόρθωση) της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία οδήγησε στην αύξηση του K (Πίνακας VI, Σχήμα 5), ενώ η εισαγωγή της επίδρασης του πετρώδους στην ακόλουθη μείωση του (Πίνακας VI, Σχήμα 6).

Η ολοκλήρωση των σημειακών τιμών των συντελεστών K και η απόδοση του αντίστοιχου χάρτη εδαφικής διαβρωσιμότητας της περιοχής μελέτης έγινε με τη χρήση της μεθόδου (προσαρμογής επιφάνειας) των Σταθμισμένων Αντιστρόφων Αποστάσεων (Inverse Distance Weighing, IDW), με παράμετρο δύναμης 2 και επιφάνεια κελιού κανάβου 50 m². Η μέθοδος, βασιζόμενη στην υπόθεση ότι η τιμή του K σε ένα σημείο τυχαίο του χώρου υούται με την μέση τιμή της σταθμισμένης απόστασης των γειτονικών σημείων όπου υπάρχει διαθέσιμη η σχετική πληροφορία (εδαφοτομές), επελέγη βάσει βιβλιογραφικής ανασκόπησης (Angulo-Martinez et al. 2009, Panagos et al. 2012) και επιπλέον μιας διαδικασίας δοκιμής-σφάλματος. Κατά την τελευταία, οι μεθοδολογίες βέλτιστης παρεμβολής kriging {θεωρείται ως η καλύτερη αμερόληπτη εκτιμήτρια σε περιοχές με περιορισμένες μετρήσεις (Cressie 1993), ελαχιστοποιεί δε την επίδραση των ακραίων τιμών (Triantafyllis et al. 2001)} και co-kriging {συναρτήσει του υψομέτρου (DEM), το οποίο σύμφωνα με τους Panagos et al. (2014) περιλαμβάνεται μεταξύ των παραμέτρων που επηρεάζουν πιο καταλυτικά τη χωρική κατανομή του K } ελέγχθηκαν επίσης, χωρίς όμως να δώσουν

ικανοποιητικά αποτελέσματα {ως προς τις τιμές των κοινών με τη μεθοδολογία IDW στατιστικών δεικτών (Mean Prediction Error, Root Mean Square Prediction Error) καθώς και την ευρύτερη διασπορά των ζευγών παρατηρημένης-μετρημένης τιμής γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης}, γεγονός που αποδόθηκε στον (σχετικά) μικρό αριθμό των εδαφοτομών και την ασύμμετρη χωρική τους κατανομή.

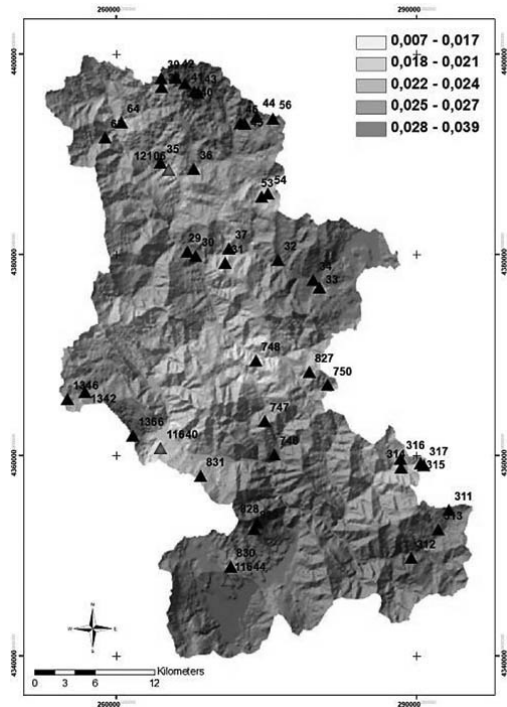


Σχήμα 4. Συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K (κανένας περιορισμός)

Figure 4. Soil erodibility factor K (no limitation)

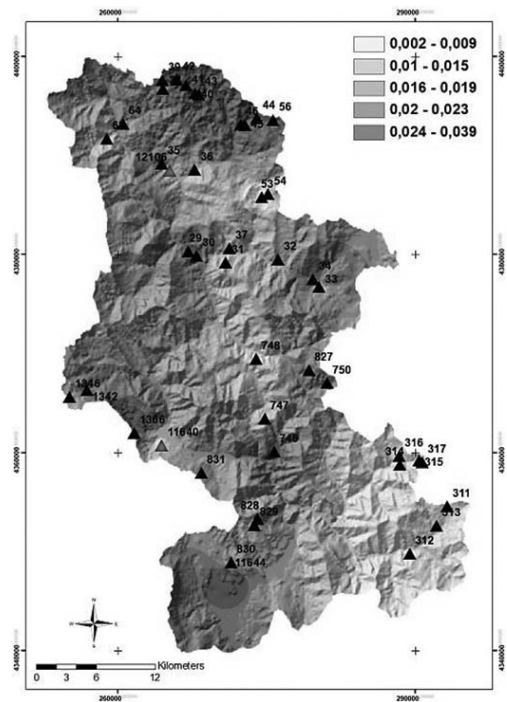
Η μέση χωρική τιμή του συντελεστή K (κανένας περιορισμός) είναι 0,017 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Οι υψηλές τιμές (έντονο κόκκινο χρώμα) υποδηλώνουν την παρουσία ευάλωτων στη διάβρωση εδαφών. Τα τελευταία εντοπίζονται σε θέσεις χαμηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία ή/ και υψηλής περιεκτικότητας σε ιλύ (Richter and Negendank 1977), ή υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο (Evans 1980). Η προσέγγιση των Richter and Negendank (1977) κρίνεται καταλληλότερη για την ερμηνεία της χωρικής κατανομής του K στην περιοχή μελέτης, με την χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (στη πλειοψηφία των δειγμάτων παρατηρείται ταυτόχρονα και υψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ) να αποτελεί το χαρακτηριστικό με τη μεγαλύτερη βαρύτητα όσον αφορά την εκδήλωση υψηλών τιμών του συντελεστή. Αντίθετα,

η υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την τιμή του K, τουλάχιστον σε ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως υψηλού κινδύνου διάβρωσης εντοπίζονται εστιασμένες κυρίως στο βόρειο και νότιο τμήμα της λεκάνης.



Σχήμα 5. Συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K_{OM} (περιορισμός οργανικής ουσίας)
Figure 5. Soil erodibility factor K_{OM} (organic matter limitation)

Η μέση χωρική τιμή του συντελεστή K_{OM} (περιορισμός οργανικής ουσίας) είναι $0,023 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Είναι γνωστό πως σε οργανικά εδάφη παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές διαβρωσιμότητας. Η εφαρμογή του ανώτατου ορίου 4% στην περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία {όπως απαιτείται από το νομογράφημα των Wischmeier et al. (1971)} οδήγησε (όπου εφαρμόστηκε) σε αύξηση της τιμής του K από 3,32% έως 323,02% (εξαιρείται το δείγμα 1366 ως ακρότατο) και συνολικά κατά μέσο όρο 62,46%. Με τον τρόπο αυτό αποφεύχθηκε η υποεκτίμηση του. Εξάλλου, η επίδραση του περιορισμού οδήγησε και στην αλλαγή της χωρικής κατανομής του συντελεστή στην έκταση της λεκάνης, με τις υψηλές τιμές διαβρωσιμότητας να εμφανίζονται πλέον διάχυτες και στο κεντρικό τμήμα αυτής.



Σχήμα 6. Συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K_{St} (περιορισμοί οργανικής ουσίας, πετρώδους)
Figure 6. Soil erodibility factor K_{St} (organic matter, coarse fragments limitations)

Η μέση χωρική τιμή του συντελεστή K_{St} (περιορισμοί οργανικής ουσίας, πετρώδους) είναι $0,016 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Η ενσωμάτωση της επίδρασης του πετρώδους (συντελεστής διόρθωσης St) στον υπολογισμό της διαβρωσιμότητας οδήγησε (όπου εφαρμόστηκε – δεν λαμβάνεται υπόψη για ποσοστό χαμηλότερο του 10%) στη μείωση της τιμής του από 50,34% έως 86,47%, και συνολικά κατά μέσο όρο 31,31%. Η επίδραση του περιορισμού οδήγησε εκ νέου στην αλλαγή της χωρικής κατανομής του συντελεστή. Παρατηρείται δηλαδή μια εξομάλυνση όσον αφορά τη συχνότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών, οι οποίες εντοπίζονται πλέον (κυρίως) στο βόρειο, το νότιο και το δυτικό τμήμα της λεκάνης.

Συνολικά, η αναλυτική προσέγγιση κρίνεται πως βελτιώνει την αντίστοιχη εμπειρική (βάσει της λιθολογίας και της στρωματογραφίας των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών), η οποία έχει ήδη εφαρμοστεί στην εν λόγω υδρολογική λεκάνη σε προηγούμενες μελέτες (Ευθυμίου 2016α, Ευθυμίου 2016β, Eftthimiou 2016). Η εμπειρικά εκτιμημένη μέση χωρική τιμή του συντελεστή K είναι $0,015 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχο της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας στη λεκάνη απορροής του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου, μέσω του αναλυτικού υπολογισμού του συντελεστή διαβρωσιμότητας K , όπως αυτός εκφράζεται στο εμπειρικό ομοίωμα διάβρωσης RUSLE. Για το σκοπό αυτό αναλύθηκαν τα δεδομένα από σαράντα πέντε (45) εδαφοτομές, οι οποίες διατέθηκαν από το ΕΘΙΑΓΕ και την ΕΕ.

Οι χαμηλότερες τιμές του K παρατηρούνται σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα δείγματα, ενώ οι υψηλότερες σε μετρίως λεπτόκοκκα και μέσης σύστασης δείγματα. Εξάλλου, η οριοθέτηση ανώτατης τιμής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία οδήγησε στην αύξηση της τιμής του K (έναντι του αρχικού υπολογισμού χωρίς περιορισμούς) από 3,32% έως 323,02% και συνολικά κατά μέσο όρο 62,46% και στην αποφυγή της υποεκτίμησης του σε εδάφη όπου αυτή ξεπερνάει το 4%, ενώ η επιπρόσθετη ενσωμάτωση της επίδρασης του πετρώδους οδήγησε στην επακόλουθη

μείωση της τιμής του K από 50,34% έως 86,47% και συνολικά κατά μέσο όρο 31,31% και στην αποφυγή της υπερεκτίμησης του. Συνολικά, καταδεικνύεται η υπεροχή της αναλυτικής προσέγγισης έναντι της αντίστοιχης εμπειρικής (έχει ήδη εφαρμοστεί στην εν λόγω υδρολογική λεκάνη σε προηγούμενες μελέτες), καταλήγοντας σε ορθότερες αριθμητικές και χωρικές εκτιμήσεις, σύμφωνες με αυτές που παρουσίασαν για την ΕΕ οι Panagos et al. (2014).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο συγγραφέας οφείλει να ευχαριστήσει το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών και την Ευρωπαϊκή Ένωση για την παροχή των εδαφολογικών δεδομένων.

Τα δεδομένα της βάσης LUCAS που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία διατίθενται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω του Ευρωπαϊκού Κέντρου Εδαφολογικών Δεδομένων (European Soil Data Centre), το οποίο διαχειρίζεται το JRC (Joint Research Centre), <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/>.

Soil erodibility estimation using pedological data at a mantainous catchment of extensive vegetatin cover

Nikolaos Efthimiou

ABSTRACT

The proper estimation of soil erodibility is essential for the accurate simulation of erosion. The parameter, describing the soil's susceptibility to the erosive actions of precipitation and surface runoff, is expressed in the empirical erosion model USLE (Universal Soil Loss Equation) and its revised Revised USLE form, by the K factor. The latter is at most cases empirically estimated, based on the lithology and stratigraphy of the underlying bedrock (Sigalos et al. 2010, Efthimiou 2016 etc), due to the frequent scarcity of soil data, yet discarding key pedological attributes. Thus, the study aims to analytically estimate {using the Wischmeier et al. (1971) nomograph and the corresponding Wischmeier and Smith (1978) equation} the soil erodibility factor at the Upper Acheloos River catchment based on specific soil attributes like organic matter content, granulometry, structure, permeability, stone cover (soil surface) and coarse fragments (upper soil layer) effect. To that end, 45 soil samples were used, provided by the Greek NAGREF (National Agricultural Research Foundation) and the EU (European Union) through the LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey) topsoil database. The results indicate the predominance of the analytical approach against the empirical one, leading to more accurate numerical {e.g. the delimitation of an upper organic matter (OM) content value leads to an increase of K (e.g. mean $K \rightarrow K_{OM}$: 0,017 \rightarrow 0,023 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) and to the avoidance of its underestimation at soils where the latter exceeds the 4% limit, while the incorporation of the stone cover effect (St) leads to a subsequent decrease of K (e.g. mean $K_{OM} \rightarrow K_{St}$: 0,023 \rightarrow 0,016 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) and to the avoidance of its overestimation} and spatial estimates, in accordance to the ones presented by Panagos et al. (2014) for the EU.

Key words: Soil erodibility, erosion, K factor, RUSLE, Upper Acheloos River

* Post - doctoral Researcher

Czech University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences, Prague Kamýcká 129, Praha Suchdol 16500, Czech Republic, efthimiounik@yahoo.com

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Angulo-Martinez, M., Lopez-Vicente, M., Vicente-Serrano, S.M. and Begueria, S., 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: A comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 1907–1920. doi:10.5194/hess-13-1907-2009
- Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W. and Elhaus, D., 2014. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. *Catena*, 118, 220–225. doi:10.1016/j.catena.2014.01.008
- Brakensiek, D.L., Rawls, W.J., Stephenson, G.R., 1986. Determining the saturated hydraulic conductivity of a soil containing rock fragments. *Soil Science Society of America Journal*, 50 (3), 834–835.
- Clapp, R.B. and Hornberger, G.M., 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, 14 (4), 601–604. doi:10.1029/WR014i004p00601
- CLC, 2017. CORINE Land Cover 2000 seamless vector data [online]. Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-4> [Accessed 01 January 2018].
- Cressie, N.A.C., 1993). *Statistics for spatial data*. Revised edition. New York (NY), USA: John Wiley and Sons.
- Danalatos, N.G., Kosmas, C.S., Mouštakas, N.C. and Yassoglou, N., 1995. Rock fragments II. Their impact on soil physical properties and biomass production under Mediterranean conditions. *Soil Use and Management*, 11, 121–126.
- Dangler, E.W. and El-Swaify, S.A., 1976. Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 40 (5), 769–73.
- Efthimiou, N., 2016. Performance of the RUSLE in Mediterranean mountainous catchments. *Environmental Processes*, 3 (4), 1001–1019. doi:10.1007/s40710-016-0174-y
- Evans, R., 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan, eds. *Soil erosion*. Chichester, Great Britain: John Wiley and Sons Ltd., 109–28.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1990. *Guidelines for soil description*. 3rd ed. (revised). Rome, Italy: FAO Publications Division.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995. *Dimensions of need. An atlas of food and agriculture* [online]. Rome, Italy: FAO Publications Division. Available from: <http://www.fao.org/docrep/u8480e/U8480E00.htm#Dimensions-%20of%20need> [Accessed 01 January 2018].
- Gobin, A., Govers G., Jones R., Kirkby M. and Kosmas C., 2003. *Assessment and reporting on soil erosion*. Copenhagen, DK: European Environmental Agency.
- Martin, W., 1988. *The erodibility of soil under simulated and natural rain and its dependence of soil properties*. PhD Dissertation, Technical University of Munich. (In German).
- Mitchell, J.K. and Bubenzer, G.D., 1980. Soil loss estimation. In: M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan, eds. *Soil erosion*. Chichester, Great Britain: John Wiley and Sons Ltd., 17–62.
- Morgan, R.P.C., 2005. *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., 2005. *Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation, Version 2005*. Texas, USA: Blackland Research Center.
- Panagos, P., Meusburger, K., Alewell, C. and Montanarella, L., 2012. Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe. *Environmental Modelling and Software*, 30, 143–145.
- Panagos, P., Ballabio, C., Yigini, Y. and Dunbar, M., 2013. Estimating the soil organic carbon content for European NUTS2 regions based on LUCAS data collection. *Science of the Total Environment*, 442, 235–46.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. and Alewell, C., 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479–480, 189–200.
- Poesen, J.W., Torri, D. and Bunte, K., 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: A review. *Catena*, 23 (1-2), 141–166.
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC/* COM/2006/0232 final - COD 2006/0086 */
- Rawls, W.J., Brakensiek, C.L. and Saxton, K.E., 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, 25 (5), 1316–20.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P., 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46 (1), 30–33.

- Renard, K.G., Foster, G.R., Yoder, D.C. and McCool, D.K., 1994. RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49 (3), 213–220.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., 1996. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation*. Washington, DC: USDA, Agriculture Handbook 703.
- Richter, G. and Negendank, J.F.W., 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle River. *Earth Surface Processes*, 2, 261–278.
- Sigalos, G., Loukaidi, V., Dasaklis, S. and Alexouli-Livaditi, A. (2010). Assessment of the quantity of the material transported downstream of Sperchios river, Central Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43, 737–745. doi:10.12681/bgsg.11239
- Simanton, J.R., Johnson, C.W., Nyhan, J.W. and Romney, E.M., 1986. Rainfall simulation on rangeland erosion plots. In: L.J. Lane, ed. *Erosion on rangelands: emerging technology and data base*. Denver, CO: Society for Range Management, 11–7.
- Soil Science Division Staff, 2017. Soil survey manual. In: C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger, eds. *USDA Handbook 18*. Washington, DC: US Government Printing Office.
- Torri, D., Poesen, J. and Borselli, L., 1977. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, 31 (1-2), 1–22.
- Triantafyllis, J., Odeh, I.O.A. and McBratney, A.B., 2001. Five geostatistical models to predict soil salinity from electromagnetic induction data across irrigated cotton. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (3), 869–878.
- Trott, K.E. and Singer, M.J., 1983. Relative erodibility of 20 California range and forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 47, 753–759.
- Wischmeier, W.H. and Mannering, J.V., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33, 131–137.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.W., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26 (5), 189–193.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Washington, DC: USDA-ARS (Agriculture Handbook 537), 58.
- Young, R. and Mutchler, C., 1977. Erodibility of some Minnesota soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 32 (3), 180–182.
- Ευθυμίου, Ν., 2016α. Ανάπτυξη στρατηγικών για την ποσοτική εκτίμηση της στερεοαπορροής από την υδατική διάβρωση με τη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ευθυμίου, Ν., 2016β. Η σημασία της χαρτογραφίας στην εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης. Η περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Άνω ρου του ποταμού Αχελώου. 14^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, 2–4 Νοεμβρίου, Θεσσαλονίκη.
- Κοσμάς, Κ., 2006. Η ερημοποίηση της γης. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λυκούδη, Ε., 2000. Γεωμορφολογική εξέλιξη της λεκάνης απορροής του Άνω ρου του Αχελώου. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ. και Χουσιανίτης, Κ. (2010). Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στη Ν. Ζάκυνθο με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΓΕ, 4–6 Νοεμβρίου, Αθήνα.

Μεγαξηρασίες στην Ελλάδα από τον 14ο ως τον 19ο αιώνα και η συμβολή τους στην αντιμετώπιση πιθανών ξηρασιών τύπου κλιματικής αλλαγής κατά τον 21ο αιώνα

Γ. Μπαλούτσος¹, Αν. Ρούσσοσ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με μελέτες κλιματολόγων και άλλων σχετικών επιστημόνων, η διάρκεια, ένταση και συχνότητα των ξηρασιών της Μεσογειακής λεκάνης πιθανόν θα αυξηθούν από τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μεταξύ αυτών θα εκδηλώνονται και μεγάλη ξηρασίες (ξηρασίες τύπου κλιματικής αλλαγής). Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σοβαρό επειδή η συγκεκριμένη περιοχή είναι πολύ ευαίσθητη στην αλλαγή του κλίματος. Οι διεργασίες αυτές αφορούν όμως και στην Ελλάδα. Εξαιτίας των παραπάνω προοπτικών προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν στην Ελλάδα μεγάλη ξηρασίες του παρελθόντος για τη συμβολή τους στην αντιμετώπιση πιθανών μεγάλη ξηρασιών του μέλλοντος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ειδικότερα με τη χρήση χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων και γραπτών πληροφοριών του παρελθόντος, προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν 9 μεγάλη ξηρασίες διάρκειας 5 – 16 ετών που εκδηλώθηκαν κατά την περίοδο του 14^{ου} ως 19^{ου} αιώνα στη χώρα μας. Από αυτές κάποιες επεκτείνονταν ως τα Βαλκάνια αλλά και σε πολλές άλλες χώρες της Ευρώπης. Τα χαρακτηριστικά και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από όλες τις μεγάλη ξηρασίες εκτιμήθηκαν ποιοτικά. Ακόμα από τη μελέτη αυτών προσδιορίστηκε η φυσική μεταβλητότητα της διάρκειας και έντασής τους κατά το παρελθόν στη χώρα μας, για ένα εύρος 600 ετών. Στο εύρος αυτό οι 8 μεγάλη ξηρασίες εκδηλώθηκαν στη ζεστή περίοδο του Μεσαίωνα και στην έναρξη της Μικρής Παγετώδους Περιόδου, ενώ η τελευταία μετά τη λήξη αυτής της περιόδου. Ο προσδιορισμός και η επαλήθευση όμως των 9 παραπάνω μεγάλη ξηρασιών ενισχύουν τον ισχυρισμό μας για εκδήλωση μελλοντικών μεγάλη ξηρασιών στην Ελλάδα τόσο λόγω της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος του παρελθόντος όσο και της βαθμιαίας αλλαγής του. Οι μελλοντικές μεγάλη ξηρασίες θα είναι βέβαια πιο καταστροφικές από εκείνες του παρελθόντος, λόγω επικάθησης στη φυσική τους μεταβλητότητα των κλιματικών επιπτώσεων που σχετίζονται με ανθρωπογενείς δράσεις (π.χ. υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα, λιγότερες βροχές, ισχυρότεροι άνεμοι κ.λπ.). Επιπλέον ο χρόνος εκδήλωσης αυτών των μεγάλη ξηρασιών είναι αβέβαιος λόγω έλλειψης άμεσης και ισχυρής σχέσης ή αναλογίας, μεταξύ της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος του παρελθόντος και εκείνης του μέλλοντος. Οι παραπάνω συγκυρίες συγκροτούν στην ουσία ένα ισχυρό κίνητρο και μια σημαντική συμβολή στην έναρξη σχεδιασμού από τους αρμόδιους φορείς προληπτικών δράσεων αντιμετώπισης μεγάλη ξηρασιών του 21^{ου} αιώνα και προσαρμογής της κοινωνίας μας σε αυτές. Οι κυριότερες από τις δράσεις αυτές περιγράφονται συνοπτικά στην παρούσα εργασία.

Λέξεις κλειδιά: ιστορική κλιματολογία, δεικτολογικές σειρές, μεγάλη ξηρασίες παρελθόντος και μέλλοντος, κλιματική αλλαγή, προσαρμογή στις μεγάλη ξηρασίες

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό πως ξηρασίες εκδηλώνονταν στην Ελλάδα προ αμνημονεύτων χρόνων. Για παράδειγμα στην αρχαία Αθήνα και στην ευρύτερη περιοχή της, σύμφωνα με τον Camp (1979, 1982), εκδηλώνονταν ξηρασίες τον 8^ο, 4^ο, 2^ο κ.λπ. π.Χ. αιώνα. Τα κλιματικά αυτά γεγονότα στηρίζονται σε κείμενα και επιγραφές που αναφέρονται σε συνθήκες πείνας των Αθηναίων και εισαγωγής δημητριακών από άλλες χώρες, στην πτώση της στάθμης των πηγαδιών ή στην ξήρανση

αυτών και στη διάνοιξη άλλων βαθύτερων κ.λπ. Ακόμα στην κορυφή του Υμηττού υπήρχε το ιερό του «Ομβρίου Διός» στο οποίο οι αγρότες της Αττικής έκαναν προσφορές σε χρονιές ανομβρίας (Langdon 1976). Παρόμοιες πληροφορίες για την εκδήλωση ξηρασιών υπάρχουν βέβαια και για άλλες περιοχές της Ελλάδας και μπορούν να καλύψουν τις πρόσφατες χιλιετίες (Αιγινήτης 1907). Κύρια αιτία των ξηρασιών εκείνων αλλά και άλλων αργότερα, ήταν ως γνωστόν η φυσική μεταβλητότητα του κλίματος.

1. Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος, Διατελέσας Τακτικός Ερευνητής του ΕΘΙΑΓΕ, Αθήνα. e-mail: balgeorg@otenet.gr
2. Δασοπόνος Δήμου Αμαρουσίου. email: anargyros.roussos@gmail.com

Είναι όμως κοινή γνώση πως κατά τις τελευταίες δεκαετίες που διανύουμε, η κλιματική αλλαγή άρχισε να επιδεινώνεται με γρήγορους ρυθμούς και να προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις. Αναλυτικότερα, στοιχεία μετεωρολογικών οργάνων δείχνουν πως η Μεσογειακή λεκάνη στην οποία υπάγεται και η Ελλάδα, γίνεται συνεχώς όλο και πιο ξηρή από τη δεκαετία του '70 και μετά. (Filandras et al. 2011, Seager et al. 2014). Η ίδια μεταβολή επισημαίνεται και από άλλους ερευνητές οι οποίοι προσθέτουν πως αυτή οδήγησε τη συγκεκριμένη λεκάνη σε αύξηση της συχνότητας των ξηρασιών της μετά το 1970 (Hoerling et al. 2012). Βέβαια ακόμα από τις αρχές του 2008 υπήρχαν ενδείξεις πως η ένταση και συχνότητα των ξηρασιών είχαν ξεφύγει από την κανονικότητα τουλάχιστον στην Ανατολική Μεσόγειο (Gleick 2014). Επιπλέον επισημαίνεται πως η αύξηση της έντασης και συχνότητας των ξηρασιών στην περιοχή θα συνεχισθεί κατά τον 21^ο αιώνα (Dai 2013, Cook B.I. et al. 2014a). Ακόμα, όπως επισημαίνει ο Cook E.R. et al. (2015), από προσομοιώσεις μοντέλων της «Διακυβερνητικής Επιτροπής Αλλαγής του Κλίματος» (IPCC) διαπιστώνεται πως η Μεσογειακή λεκάνη θα οδηγηθεί τις επόμενες δεκαετίες σε σοβαρότατη και πολύ εκτεταμένη ξήρανση εξαιτίας των αερίων του θερμοκηπίου. Είναι όμως γεγονός πως οι γνώμες των ειδικών δίστανται ως προς τις αιτίες αύξησης της ξήρανσης της Μεσογείου, αφού άλλοι την αποδίδουν όχι μόνο στις ανθρώπινες δράσεις, αλλά σε ένα μείγμα αυτών και της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος (Kelley et al. 2011).

Το χειρότερο όμως είναι πως η Μεσογειακή λεκάνη – και επομένως και η Ελλάδα – είναι η πιο ευαίσθητη περιοχή στην απόκριση της αλλαγής του κλίματος. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως η πρώτη πιο κρίσιμη στον κόσμο περιοχή (hot-spot) ως προς την αλλαγή του κλίματος και μετά ακολουθεί η Β.Α. Ευρώπη (Giorgi 2006). Και αυτό επειδή η συγκεκριμένη περιοχή βρίσκεται στη μεταβατική ζώνη αλλαγής του θερμοσφαιρικού και βροχερού κλίματος της βόρειας Αφρικής και του εύκρατου και βροχερού κλίματος της κεντρικής Ευρώπης (Giorgi and Lionello 2008). Κατά συνέπεια, ακόμα και μικρές μεταβολές της δυναμικής ισορροπίας της ατμόσφαιρας της Μεσογείου, μπορούν να οδηγήσουν στην αλλαγή του κλίματός της.

Όλα τα παραπάνω συνηγορούν πως για την Ελλάδα οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος θα είναι μελλοντικά σοβαρότατες. Αναλυτικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και η συνακόλουθη μείωση των κατακρημνισμάτων στη Μεσόγειο (Giorgi and Lionello 2008), αναμένεται να αυξήσουν τη διάρκεια,

ένταση και συχνότητα των ξηρασιών στη χώρα μας περισσότερο από τις τιμές τους που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ενόργανων μετεωρολογικών παρατηρήσεων. Αυτό σημαίνει πως η μεταβλητότητα των ξηρασιών μελλοντικά θα αναφέρεται σε διαφορετικές και ειδικότερα σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες από εκείνες που καταγράφηκαν μέχρι σήμερα. Επιπλέον οι συνέπειες των μελλοντικών ξηρασιών θα είναι δυσμενέστερες για τους υδατικούς πόρους (Gao and Giorgi 2008), τη γεωργική παραγωγή (Schroter et al. 2005), το φυσικό περιβάλλον (Morigiando et al. 2006) και την ίδια την κοινωνία γενικότερα. Επομένως ξηρασίες τέτοιων μεγεθών πιθανόν να μην μπορούν να προσομοιωθούν από τα υπάρχοντα μοντέλα και θα εκφεύγουν προφανώς της δυνατότητας διαχείρισης και αντιμετώπισης αυτών με τα υπάρχοντα σημερινά σχέδια των αρμόδιων φορέων μας. Τα ακραία αυτά κλιματικά φαινόμενα χαρακτηρίστηκαν από τον Overpeck(2013) «ως θερμές ξηρασίες» και από τον Cook B.I. et al. 2014b ως «ξηρασίες τύπου κλιματικής αλλαγής».

Μία τεχνική πιθανού μετριασμού του προβλήματος των συγκεκριμένων μελλοντικών ξηρασιών είναι ο προσδιορισμός, η επαλήθευση και η μελέτη ξηρασιών του παρελθόντος πολύ μεγαλύτερης διάρκειας και έντασης από τις σημερινές (μεγαξηρασιών). Η ενέργεια αυτή, εκτός των άλλων, ίσως μας «εφοδιάσει» με διορατικότητα και οξυδέρκεια ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο ανάπτυξης κατάλληλων στρατηγικών που να προσαρμόζονται ευκολότερα στην αντιμετώπιση των μεγαξηρασιών του μέλλοντος, ή ξηρασιών τύπου κλιματικής αλλαγής (Caseldine and Turney 2010). Τέτοιες μελέτες έγιναν και γίνονται στην Αμερική (Stahle et al. 2007, Cook B.I. et al. 2014b), στην Ευρώπη (Brazdil et al. 2013, Cook E.R. et al. 2015), στη Μεσογειακή λεκάνη ως σύνολο (Brewer et al. 2007, Nicault et al. 2008, Cook B.I. et al. 2016) κ.λπ. Μετά τα παραπάνω στόχοι της εργασίας είναι: 1) Ο προσδιορισμός, η επαλήθευση και μελέτη μεγαξηρασιών στην Ελλάδα κατά το παρελθόν με διάφορες προσεγγίσεις και 2) η εξέταση και διερεύνηση της συμβολής τους στην καλύτερη αντιμετώπιση πιθανών ξηρασιών τύπου κλιματικής αλλαγής (μεγαξηρασιών) στη χώρα μας μετά από κάποιες 10ετίες του 21^{ου} αιώνα.

2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΑΞΗΡΑΣΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΩΝ ΕΝΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο προσδιορισμός και η μελέτη μεγαξηρασιών και άλλων ακραίων κλιματικών κινδύνων του πα-

ρελθόντος, μπορούν ορθολογικά να υλοποιηθούν με τη χρήση χρονοσειρών μετεωρολογικών στοιχείων που προέρχονται από τη λειτουργία των αντίστοιχων οργάνων. Δυστυχώς όμως τα παραπάνω όργανα δεν έχουν μακρά ιστορία λειτουργίας όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες πιο προηγμένες χώρες. Ειδικότερα ο πρώτος Μετεωρολογικός Σταθμός (ΜΣ) στην Ελλάδα εγκαταστάθηκε στο Αστεροσκοπείο Αθηνών πριν από 158 χρόνια (το 1859). Σε άλλες περιοχές της χώρας μας οι ΜΣ έχουν όμως πολύ μικρότερη περίοδο λειτουργίας.

Σε αντίθεση με την Ελλάδα, σε κάποιες πιο προηγμένες χώρες της Ευρώπης οι μετεωρολογικές μετρήσεις άρχισαν από τα μέσα του 17^{ου} αιώνα (Luterbacher et al. 2011). Τονίζεται όμως πως τα παραπάνω χρόνια λειτουργίας στην Ελλάδα των ΜΣ που αναφέρθηκαν, είναι πολύ λίγα για τον προσδιορισμό και τη μελέτη της πολύχρονης ιστορίας των ξηρασιών της. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η χρήση της ιστορικής κλιματολογίας (παλαιοκλιματολογίας), δηλαδή του επιστημονικού κλάδου που ασχολείται με τη διερεύνηση και μελέτη των μεταβολών του κλίματος πριν την έναρξη λειτουργίας των μετεωρολογικών οργάνων, αξιοποιώντας μαρτυρίες που υπάρχουν σε διάφορα κείμενα, αλλά και σε «φυσικά μέσα» (φυσικά αρχεία).

Με βάση την ιστορική κλιματολογία, οι προσεγγίσεις προσδιορισμού ακραίων κλιματικών κινδύνων του παρελθόντος μπορούν να διαχωρισθούν σε δύο κατηγορίες: Πρώτον, στη χρήση πηγών οι πληροφορίες των οποίων έχουν εναποθηκευτεί σε «ανθρωπογενή μέσα» όπως είναι οι γραπτές πηγές και δεύτερον στη χρήση πηγών όπου οι πληροφορίες έχουν εναποθηκευτεί σε «φυσικά μέσα» (φυσικά αρχεία), όπως είναι οι ετήσιοι δακτύλιοι δασικών δένδρων, τα ιζήματα λιμνών, ποταμών κ.λπ. (Τελέλης 2004). Από τις παραπάνω πληροφορίες οι πρώτες χαρακτηρίζονται ως άμεσες και οι δεύτερες ως έμμεσες (proxy data). Για την ορθή και αποτελεσματική όμως επιλογή προσεγγίσεων προσδιορισμού μεγάξηρασιών στη χώρα μας πριν την έναρξη των μετεωρολογικών μετρήσεων, γίνεται παρακάτω μια συνοπτική ανασκόπηση των γραπτών πληροφοριών και των χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων.

2.1 Προσέγγιση προσδιορισμού μεγάξηρασιών του παρελθόντος με τη χρήση γραπτών πληροφοριών

Η έναρξη της παραπάνω προσέγγισης που έχει τις ρίζες της στις αρχές του 20ου αιώνα, έχει αναχθεί σε έναν από τους ερευνητικούς τομείς της ιστορικής

κλιματολογίας και οδήγησε σε συνεργασία μετεωρολόγους, άλλους θετικούς επιστήμονες σχετικούς με το θέμα, αλλά και ιστορικούς (Τελέλης κ.α. 1989). Οι γραπτές αναφορές του παρελθόντος και κυρίως σε μεγάξηρασίες, έγιναν λόγω των σοβαρών επιπτώσεων που είχε πάντοτε η εκδήλωσή τους.

Οι γραπτές πληροφορίες όμως, όχι μόνο για τις μεγάξηρασίες, αλλά και για όλα γενικά τα ακραία καιρικά φαινόμενα του παρελθόντος σε διάφορες χώρες, βρίσκονται σε ημερολόγια για τις καιρικές συνθήκες που συντάχθηκαν από κληρικούς, μοναχούς, πολίτες μέσης τάξης, αριστοκράτες κ.λπ. Οι παραπάνω πληροφορίες βρίσκονται επίσης σε αρχεία Δημοτικών αρχών, ιστορικά κείμενα, Χρονικά, επιστολές, στρατιωτικές αναφορές, σε βίους αγίων επειδή οι ακραίες ξηρασίες θεωρούνταν ως θείκη οργή κ.λπ. (Garnier et al. 2015). Επιπλέον γραπτές πληροφορίες για μεγάξηρασίες έχουν αποτυπωθεί με σύμβολα και στο χαμηλότερο ύψος των υποστύλων γεφυρών ποταμών, όπου είχε πέσει κάποιες χρονιές η στάθμη του νερού. Πληροφορίες ακόμα που έμμεσα δείχνουν την εκδήλωση μεγάξηρασιών υπάρχουν σε κείμενα που αναφέρονται στην ξήρανση της δασικής βλάστησης, στην εκδήλωση πολλών δασικών πυρκαγιών, στην επικράτηση συνθηκών πείνας, επιδημιών, λιτανειών, επεισοδίων και ταραχών από τους κατοίκους κάποιων περιοχών κ.λπ. Όλες οι παραπάνω πληροφορίες μετά το 1750 και κυρίως στην Ευρώπη, αποτελούσαν τα σημερινά «Μετεωρολογικά Περιοδικά» εξαιτίας του πάθους του κόσμου για τη μετεωρολογία (Garnier et al. 2015).

Είναι όμως πολύ σημαντικό να επισημανθεί ακόμα πως παρά το γεγονός προσδιορισμού μεγάξηρασιών του παρελθόντος από γραπτές πληροφορίες σε χρονικές κλίμακες όχι μόνο αιώνων αλλά και χιλιετιών, αυτές οι πηγές δεν μπορούν να θεωρηθούν πανάκεια για μια πλήρη μελέτη αυτών των ακραίων κλιματικών φαινομένων. Και αυτό επειδή οι γραπτές πληροφορίες έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Ειδικότερα αυτές είναι συχνά οσποραδικές και όχι συνεχείς και ο αριθμός τους μειώνεται όσο προχωρούμε στο παρελθόν (Luterbacher et al. 2011). Ακόμα πολλές από τις πληροφορίες επικεντρώνονται στην ανομβρία εκείνων των μηνών και εποχών όπου υλοποιείται η σπορά και η ανάπτυξη των ξερικών συνήθως γεωργικών καλλιεργειών (χειμώνα και άνοιξη) και όχι στο σύνολο του έτους (Grove and Conterio 1995). Όμως παρά τα μειονεκτήματα αυτά, η προσέγγιση των γραπτών πληροφοριών για μελέτη μεγάξηρασιών του παρελθόντος είναι κατά τη γνώμη

μας πολύ χρήσιμη και κυρίως όταν αυτή χρησιμοποιείται ως συμπληρωματική μαζί με άλλες προσεγγίσεις και όχι ως αυτοτελής.

2.2 Προσέγγιση προσδιορισμού μεγαξηρασιών του παρελθόντος με τη χρήση χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων.

Είναι γνωστό πως σε κάθε χρονοσειρά το πλάτος των ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα. Αυτή παρατηρείται επειδή η ετήσια αύξηση των δένδρων εξαρτάται κυρίως από το ύψος των κατακρημνισμάτων του υδρολογικού έτους, το οποίο με τη σειρά του παρουσιάζει μεγάλη επίσης φυσική μεταβλητότητα από έτος σε έτος. Οποσδήποτε υπάρχουν όμως και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το πλάτος των ετήσιων δακτυλίων και αυτοί είναι γενετικοί, ηλικιακοί, ενδοουσταδικοί κ.λπ. Όταν όμως η επιλογή των δένδρων για ανάλυση γίνεται με αυστηρή εφαρμογή όλων των κανόνων της δενδροχρονολογίας, τότε οι ενδοουσταδικοί παράγοντες εξαλείφονται σε μεγάλο βαθμό και η σχέση μεταξύ πλάτους ετήσιων δακτυλίων και ετήσιων κατακρημνισμάτων γίνεται πιο ισχυρή (Μπαλούτσος 1993).

Περαιτέρω όμως ενίσχυση της παραπάνω σχέσης μπορεί να επιτευχθεί αν από το πλάτος των δακτυλίων εξαλειφθεί και ένα άλλο μέρος αυτού που οφείλεται σε γενετικούς, ηλικιακούς κ.λπ. παράγοντες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη «σταθεροποίηση» των τιμών του πλάτους των δακτυλίων (standardization) και τη μετατροπή τους έτσι σε δείκτες. Κάθε δείκτης φανερώνει τη διαφορά του από το μέσο όρο όλων των δεικτών της χρονοσειράς και ο οποίος ισούται με τη μονάδα. Η σταθεροποίηση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους (Cook E.R. and Kairiukstis 1990) και τελικά σχηματίζεται μια χρονοσειρά δεικτών ετήσιων δακτυλίων δένδρων.

Σκοπός των παραπάνω ενεργειών είναι η ανακατασκευή των ετήσιων (ή άλλης χρονικής υποπεριόδου) κατακρημνισμάτων για εκείνο το εύρος της χρονοσειράς των δεικτών που δεν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις. Η ανακατασκευή των κατακρημνισμάτων είναι εφικτή με την εφαρμογή του μοντέλου συσχέτισης των μετρημένων κατακρημνισμάτων με τους αντίστοιχους δείκτες της χρονοσειράς. Στη συνέχεια, από το μικρό ύψος των ανακατασκευασμένων κατακρημνισμάτων μπορούν να προσδιοριστούν ισχυρές ξηρασίες και μεγαξηρασίες παρελθόντων ετών για τα οποία δεν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις.

Σημαντικό είναι να επισημανθεί ακόμα πως η

προσέγγιση προσδιορισμού ξηρασιών του παρελθόντος με χρονοσειρές δεικτών ετήσιων δακτυλίων ευνοείται πάρα πολύ από τις κλιματικές συνθήκες της Μεσογειακής λεκάνης (Kuniholm and Striker 1987). Και αυτό επειδή τα μικρά ή μεγάλα ετήσια ύψη των κατακρημνισμάτων ανταποκρίνονται άριστα στο σχηματισμό στενών ή πλατιών δακτυλίων των δένδρων, αντίστοιχα. Έτσι π.χ. σε χρονοσειρές των δακτυλίων της Λευκόδεσμης πεύκης στην Ελλάδα, παρατηρούνται εντυπωσιακές εναλλαγές (πρότυπα) λεπτών, μέσων, πλατιών κ.λπ. δακτυλίων που ανταποκρίνονται στη φυσική μεταβλητότητα των κατακρημνισμάτων. Το σπουδαιότερο όμως είναι πως τα πρότυπα αυτά του συγκεκριμένου δασικού είδους είναι κατά κανόνα παρόμοια με εκείνα του αντίστοιχου είδους που μπορεί να απέχει ως και 2000 Km από την Ελλάδα. Το ίδιο βέβαια συμβαίνει και με άλλα είδη πευκών της Μεσογείου (Kuniholm and Striker 1987, Hughes et al. 2001). Οι παραπάνω πρωτοτυπίες των δακτυλίων δασικών δένδρων στη Μεσόγειο δίνουν τη δυνατότητα να επεκτείνονται οι χρονοσειρές τους όχι μόνο σε πολλές εκατοντάδες αλλά και σε κάποιες χιλιάδες χρόνια στο παρελθόν.

2.3 Αναζήτηση γραπτών πληροφοριών για μεγαξηρασίες του παρελθόντος στην Ελλάδα

Για την τελική επιλογή των προσεγγίσεων προσδιορισμού μελλοντικών μεγαξηρασιών στην Ελλάδα που είναι το θέμα της εργασίας, θεωρήθηκε αναγκαία και η αναζήτηση Ελληνικών γραπτών πληροφοριών από εργασίες που έχουν δημοσιευθεί στο παρελθόν. Από τις αναζητήσεις αυτές διαπιστώθηκε πως κατά χρονολογική σειρά πρώτη είναι η εργασία του Repapis et al. 1989. Αυτή αφορά στη συχνότητα εκδήλωσης δοιμένων χειμώνων στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1200 – 1900 μ.Χ., με τη χρήση γραπτών πληροφοριών. Στην εργασία αυτή από λίγες χιλιάδες μοναστηριακών κωδίκων και άλλων ιστορικών πηγών που εξετάστηκαν, υπήρξαν μόνο 350 αναφορές για ακραίες εποχικές συνθήκες στην Ελλάδα, χωρίς να γίνει κάποια μνεία για ξηρασίες. Από τις 350 αναφορές προσδιορίστηκαν 27 δοιμείς χειμώνες για τους επτά αιώνες.

Δεύτερη εργασία είναι εκείνη της Grove και Conterio (1995). Αυτές μελέτησαν το κλίμα της Κρήτης κατά τον 16ο και 17ο αιώνα, δηλαδή κατά μία περίοδο της Ενετοκρατίας. Αναλυτικότερα, η εργασία αναφέρεται σε όλα τα ακραία κλιματικά φαινόμενα και στις επιπτώσεις τους στην κοινωνία. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα διαπιστώθηκε και

ένας μεγάλος αριθμός εποχικών ξηρασιών από γραπτές αναφορές που στέλνανε οι αξιωματούχοι του στρατού ανά τακτά χρονικά διαστήματα στο Δόγη της Ενετικής Δημοκρατίας. Οι ξηρασίες αυτές και οι επιπτώσεις τους είχαν μεγάλη σημασία αφού έδιναν πολλές και χρήσιμες πληροφορίες για την επάρκεια νερού και αγροτικών προϊόντων.

Τρίτη πολύ ενδιαφέρουσα επίσης εργασία είναι της Chorlaki et al.(2001). Αυτή αναφέρεται στη μεταβλητότητα του κλίματος και των επιπτώσεών της στους κατοίκους των νότιων Βαλκανίων και κυρίως της Ελλάδας. Η εργασία αναφέρεται στις περιόδους 1675 – 1715 (Τελευταίο Ελάχιστο του Maunder) και 1780-1830 (Πρώιμες Ενόργανες Μετεωρολογικές Μετρήσεις). Αναλυτικότερα από τη συλλογή γραπτών πληροφοριών προσδιορίστηκε κατά τις παραπάνω περιόδους και ένας αριθμός ξηρασιών. Και στην περίπτωση αυτή όμως οι ξηρασίες ήταν σποραδικές και επομένως δεν ήταν πολύ εύκολη μια ολοκληρωμένη μελέτη των χαρακτηριστικών και της έκτασής τους.

Μια τελευταία εργασία είναι του Τελέλη (2004) και αναφέρεται στα μετεωρολογικά φαινόμενα και στο κλίμα του Βυζαντίου. Η μελέτη καλύπτει μια μακρά περίοδο από τον 4ο ως τον 15ο αιώνα (301 – 1470 μ.Χ.). Ειδικότερα από αναζήτηση γραπτών πληροφοριών για τον προσδιορισμό ακραίων φαινομένων του κλίματος του Βυζαντίου, προέκυψαν συνολικά 1083 τέτοια φαινόμενα και από αυτά ήταν μόνο έξι ξηρασίες που εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα. Από αυτές οι πέντε εκδηλώθηκαν από τον 3ο ως τον 11ο αιώνα και η μια τον 15ο.

Οι τέσσερις παραπάνω εργασίες δείχνουν πως έγινε και στην Ελλάδα σημαντική προσπάθεια από ερευνητές για τον προσδιορισμό ξηρασιών του παρελθόντος από γραπτές πληροφορίες που βρίσκονται σε διάφορες πηγές. Τα αποτελέσματα όμως αυτών των προσπαθειών δεν ήταν ποσοτικά και πολύ ενθαρρυντικά. Και αυτό επειδή ο αριθμός των ξηρασιών που προσδιορίστηκαν ήταν μικρός σε σχέση με το μακρό χρονικό διάστημα που ερευνήθηκε. Αιτία του μικρού αριθμού ξηρασιών, με εξαίρεση εκείνων της Κρήτης κατά την περίοδο της Ενετοκρατίας, είναι κατά τη γνώμη μας, οι δυσμενείς κοινωνικοοικονομικές συνθήκες – και όχι μόνο – που επικρατούσαν στην Ελλάδα κατά τα χρόνια της Οθωμανικής κυριαρχίας. Επομένως η Ελλάδα, σε αντίθεση με την κεντρική, δυτική και λοιπή νότια Ευρώπη, φαίνεται πως υστερεί σημαντικά στο θέμα των γραπτών αρχείων για το κλίμα, εξαιτίας των λόγων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το γεγονός αυτό ήταν όμως αποθαρρυντικό για τους

συγγραφείς της παρούσας εργασίας ώστε να προβούν σε μια περαιτέρω αναζήτηση μεγαξηρασιών από γραπτές πληροφορίες στη χώρα μας. Έτσι αποφασίστηκε για τον προσδιορισμό και την επαλήθευση μεγαξηρασιών του παρελθόντος να χρησιμοποιηθούν πρώτα οι διαθέσιμες στους συγγραφείς Ελληνικές χρονοσειρές δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων και μετά να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά και επικουρικά για την επαλήθευσή τους, τόσο οι Ελληνικές όσο και οι διεθνείς γραπτές πληροφορίες.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Περιγραφή χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων και μέθοδος προσδιορισμού και επαλήθευσης μεγαξηρασιών

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις χρονοσειρές δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων για τον προσδιορισμό μεγαξηρασιών του παρελθόντος. Οι δύο από αυτές προέρχονται από Λευκόδερμο πεύκη – ρόμπολο – (*Pinus heldreichii*) των περιοχών α) Γρεβενών και β) Κατάρας Ιωαννίνων, αντίστοιχα. Η πρώτη χρονοσειρά αποτελείται από 724 δακτυλίους (1255 – 1979) και η δεύτερη από 429 (1550 – 1979). Οι χρονοσειρές αυτές «κατασκευάστηκαν» από τον ομότιμο σήμερα καθηγητή αρχαιολογίας και δενδροχρονολογίας του Πανεπιστημίου Cornell της Νέας Υόρκης Kuniholm και την ομάδα του (Kuniholm et al. 2001a+b) και ευγενικά παραχωρήθηκαν από τον ίδιο το 2001 στη Δρ Κ. Παρασκευοπούλου που βρισκόταν τότε στο Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων της Αθήνας. Η τρίτη χρονοσειρά δεικτών ετήσιων δακτυλίων προέρχεται από Μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*) του Ταϊγέτου και «κατασκευάστηκε» από το Γερμανό γεωλόγο Brandes (2009) κατά τη σύνταξη της διδακτορικής του διατριβής. Η χρονοσειρά αυτή αποτελείται από 461 δακτυλίους (1538 – 1999) και παρουσιάζει επίσης πολύ μεγάλο ενδιαφέρον.

Το επόμενο στάδιο για τον προσδιορισμό μεγαξηρασιών του παρελθόντος θα πρέπει να ήταν η ανακατασκευή των ετήσιων (υδρολογικών ετών) κατακριμινισμάτων, ή η ανακατασκευή της ποσοτικής κατανομής της υγρασίας στο έδαφος κατά το παρελθόν με τη χρήση του Δείκτη Δομύτητας Ξηρασίας του Palmer – PDSI, Γεωργική Ξηρασία – (Palmer 1965). Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως για τον προσδιορισμό και τη μελέτη ξηρασιών πριν την έναρξη των ενόργανων μετεωρολογικών μετρήσεων (Stahle et al. 2007, Nikault et al. 2008, Cook E.R. et al. 2015). Οι ανακατασκευές αυτές όμως υλοποιούνται με τη συσχέτιση τόσο των μηνιαίων

τιμών κατακρημινομάτων και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων ενός ικανοποιητικού αριθμού ετών από περιοχές όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς εκείνες από τις οποίες ελήφθησαν τα τρυπανίδια δένδρων (cores) για ανάλυση, όσο και των αριθμητικών τιμών των δεικτών δακτυλίων των χρονοσειρών.

Οι αριθμητικές τιμές των δεικτών των δακτυλίων δεν ήταν όμως διαθέσιμες για τις τρεις χρονοσειρές της εργασίας που αναφέρθηκαν. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο και αναγκαίο οι μεγάλες ξηρασίες εκείνες που αντιστοιχούσαν στις ακραίες τιμές των μικρότερων της μονάδας δεικτών των ετήσιων δακτυλίων τόσο της 1^{ης} χρονοσειράς η οποία είναι η μακρότερη των τριών (724 ετών), όσο και των δυο άλλων που αναφέρθηκαν, να προσδιοριστούν και θεωρηθούν από την αρχή ως πιθανές και όχι ως πραγματικές μεγάλες ξηρασίες. Ένα δείγμα τέτοιων πιθανών ξηρασιών της 1^{ης} χρονοσειράς απεικονίζονται στο Σχήμα 1. Στη συνέχεια της διερεύνησης

επαλήθευση μεγάλες ξηρασιών του παρελθόντος σε διάφορες χώρες και προφανώς και από άλλους ερευνητές.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Προσδιορισμός και επαλήθευση μεγάλες ξηρασιών και ποιοτική εκτίμηση των χαρακτηριστικών τους από χρονοσειρές δεικτών ετήσιων δακτυλίων δένδρων και άλλων πηγών

Οι μεγάλες ξηρασίες που προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν στην Ελλάδα από τις τρεις χρονοσειρές δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων που αναφέρθηκαν, αλλά και άλλων πηγών από τον 14^ο ως τον 19^ο αιώνα, παρουσιάζονται στον Πίνακα Ι. Η διάρκειά τους κυμαίνεται από 5 ως 16 έτη και ο αριθμός τους ανέρχεται στις 9. Αναφορικά με τη διάρκειά τους επισημαίνεται πως όλες οι πολυετείς ξηρασίες χαρακτηρίστηκαν ως μεγάλες ξηρασίες. Και αυτό γιατί για τη χώρα μας, σύμφωνα με τη μικρή διάρκεια των ξηρασιών κατά την περίοδο



Σχήμα 1. Πιθανές ξηρασίες ενός δείγματος της χρονοσειράς δεικτών δακτυλίων Λευκόδερμης πεύκης Γρεβενών (Kuniholm et al. 2001a)

Figure 1. Probable droughts of a specimen in ring indices chronology of Pinus leucodermis from Grevena area (Kuniholm et al. 2001a)

των στοιχείων, όπως πιθανές μεγάλες ξηρασίες επαληθεύονταν τουλάχιστον από μια άλλη χρονοσειρά ή από μια άλλη ανεξάρτητη και έγκυρη Ελληνική ή διεθνής πηγή, τότε αυτές θα θεωρούνταν ως πραγματικές. Τέτοιες ανεξάρτητες και έγκυρες πηγές είναι οι δημοσιεύσεις ερευνητών για τον προσδιορισμό μεγάλες ξηρασιών του παρελθόντος στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, γραπτές πληροφορίες του παρελθόντος κ.λπ. Η μέθοδος προσδιορισμού και επαλήθευσης μεγάλες ξηρασιών του παρελθόντος που προτείνεται, χρησιμοποιήθηκε επίσης από τον Reparis et al. (1989) για την επαλήθευση των δρυμένων χειμώνων στην Ελλάδα, τον Kuniholm (1990) για την

των μετεωρολογικών μας μετρήσεων, τέτοια κλιματικά φαινόμενα μπορούν να καταταγούν στα ακραία εκ των ακραίων. Άλλωστε σήμερα δεν υπάρχει ορισμός της μεγάλες ξηρασίας ως προς τη διάρκειά της (Stahle et al. 2007). Οι ερευνητές αυτοί επεσήμαναν ακόμα πως μια μεγάλη ξηρασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως δεκαετής (διάρκειας περίπου 10 ετών), υποδεκαετής (διάρκειας περίπου 6 ετών) και πολυδεκαετής (διάρκειας κάποιων δεκαετιών). Οι απόψεις αυτές συνέβαλαν επίσης ώστε να καταταγούν οι 9 πολυετείς ξηρασίες της χώρας μας στην κατηγορία των μεγάλες ξηρασιών. Προστίθεται ακόμα πως ο αριθμός τους είναι σχε-

Πίνακας Ι: Προσδιορισμός και επαλήθευση μεγαξηρασιών στην Ελλάδα κατά την περίοδο 14^{ου} ως 19^{ου} αιώνα από διάφορες πηγές

Table I: Determination and verification of megadroughts in Greece during 14th to 19th century from various sources

A/A	Αιώνας	Έτη εκδήλωσης μεγαξηρασιών	Διάρκεια μεγαξηρασιών (έτη)	Πηγές προσδιορισμού και επαλήθευσης μεγαξηρασιών
1	14 ^{ος}	1314 -1318	5	*Kuniholm et al. 2001a , Cook E.R. et al 2015
2	15 ^{ος}	1420 – 1431	12	Kuniholm et al. 2001a , Τελέλης 2004
3	16 ^{ος}	1560 – 1566	7	Grove and Conterio 1995, Brandes 2009
4		1585 -1600	16	Kuniholm 1990, Kuniholm et al. 2001a+b , Brandes 2009
5	17 ^{ος}	1658 -1665	8	Kuniholm et al. 2001a+b , Xoplaki et al. 2001, Brandes 2009
6		1680 - 1688	9	Kuniholm et al. 2001a+b , Xoplaki et al. 2001, Brandes 2009
7		1690 - 1696	7	Kuniholm et al. 2001b , Xoplaki et al. 2001, Brandes 2009
8	18 ^{ος}	1710 – 1716	7	Kuniholm et al. 2001b , Xoplaki et al. 2001, Brandes 2009
9	19 ^{ος}	1891 -1898	8	Brodie 1894, Kuniholm et al. 2001a+b , Brandes 2009, Cook E.R. et al. 2015, Βροχές Ε.Α.Α.

***Kuniholm et al. 2001a:** Δενδροχρονοσειρά προσδιορισμού μεγαξηρασίας

τικά μικρός (9). Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως, ενώ προσδιορίστηκαν κατά την περίοδο 1300 -1530 αρκετές και μάλιστα πολυετείς μεγαξηρασίες στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών, δεν υπήρχε όμως συγχρόνως τουλάχιστον και μια άλλη πολυετής χρονοσειρά δεικτών ή άλλη πηγή, για να επαληθεύσουν ή όχι τη γνησιότητα αυτών. Παρακάτω δειγματοληπτικά αναφέρεται πως προσδιορίστηκαν και δεν ήταν εφικτό να επαληθευθούν οι μεγαξηρασίες των περιόδων (1323 - 1333), (1360 - 1385), (1478 -1495) και (1497 - 1529) που είχαν διάρκεια 11, 26, 18 και 33 ετών, αντίστοιχα. Παρόμοιες μεγαξηρασίες προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν και στη δυτική Μεσόγειο (Ισπανία) από χρονοσειρές δεικτών δασικών δένδρων κατά τις περιόδους (1540 - 1575), (1620 -1640) και (1645 -1665) – (Nicault et al. 2008). Τα ακραία αυτά κλιματικά επεισόδια δεν συνέπεσαν όμως χρονολογικά με τα παραπάνω της Ελλάδας επειδή τα ξηρά και υγρά έτη στη δυτική και ανατολική Μεσόγειο, επηρεάζονται από το κλιματικό φαινόμενο της διπολικής τρομπάλας (Roberts et al. 2012). Αυτό σημαίνει πως όταν στη δυτική Μεσόγειο εκδηλώνονται ισχυρές ξηρασίες, στην ανατολική εκδηλώνονται ισχυρές βροχές και αντίστροφα. Ακόμα πρέπει να διευκρινισθεί πως μεγαξηρασίες

εκδηλώθηκαν σε ολόκληρη την Ευρώπη αλλά και στη βόρειο Αφρική και Μέση Ανατολή κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα (Cook E.R. et al. 2015). Αυτές εκδηλώθηκαν επίσης και κατά ένα μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα λόγω της βαθμιαίας έναρξης της Μικρής Παγετώδους Περιόδου (ΜΠΠ) – Cook E.R. et al. 2009, η οποία άρχισε γύρω στο 1570 – 1600 μ.Χ. (Matthews and Briffa 2005). Βέβαια την πρώτη θέση ως προς τον αριθμό των μεγαξηρασιών κατά την περίοδο του Μεσαίωνα κατέχει η Βόρειος Αμερική (Seager et al. 2011, Diaz et al. 2011). Αιτία των ακραίων εκείνων κλιματικών φαινομένων πιθανόν να ήταν η υψηλότερη θερμοκρασία αέρα στο βόρειο ημισφαίριο λόγω εντονότερης ακτινοβολίας από τον ήλιο (Cook E.R. et al. 2009). Στη συνέχεια γίνεται παρακάτω μια συνοπτική μελέτη και διερεύνηση των 9 μεγαξηρασιών του Πίνακα Ι ανά αιώνα και εκτιμούνται τα χαρακτηριστικά και οι επιπτώσεις τους ποιοτικά, για όσες βέβαια από αυτές τις μεγαξηρασίες υπάρχουν γραπτές πληροφορίες.

4.1.1 Μεγαξηρασίες κατά τον 14^ο και 15^ο αιώνα

Κατά τον 14^ο και 15^ο αιώνα προσδιορίστηκε μόνο μια μεγαξηρασία για τον καθένα από αυτούς (Πίνακας Ι) εξαιτίας κυρίως των λόγων που ανα-

φέρθηκαν στην ενότητα 4.1. Ο μικρός αυτός αριθμός μεγαξηρασιών συνηγορεί στην παρουσίαση και των δύο στην ίδια υποενότητα.

Αναλυτικότερα η μεγαξηρασία των ετών 1314-1318 είναι η μόνη που αντιπροσωπεύει τον 14^ο αιώνα. Αυτή προσδιορίστηκε αρχικά στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδερμης πεύκης Γρεβενών και επαληθεύτηκε από την εργασία του Cook E.R. και άλλων 56 συνεργατών του (2015). Οι ερευνητές αυτοί συνέταξαν τον Άτλαντα Ξηρασιών του Παλαιού Κόσμου (Old World Drought Atlas-OWDA) και μελέτησαν τις μεγαξηρασίες και τις πολύ ισχυρές και πολυετείς βροχερές χρονιές στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, στη βόρειο Αφρική και στη Μέση Ανατολή (Παλαιό Κόσμο).

Η διάρκεια της ιστορικής παραπάνω μεγαξηρασίας, σύμφωνα με τη χρονοσειρά δεικτών που προσδιορίστηκε αρχικά, είναι πενταετής. Επιπλέον η έντασή της κατατάσσεται στην πολύ ισχυρή, σύμφωνα με την τιμή του Δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας του Palmer (-4 ως -5), που ανακατασκευάστηκε από τους ερευνητές που αναφέρθηκαν. Προστίθεται ακόμα πως η συγκεκριμένη μεγαξηρασία, όπως διαπιστώνεται από χάρτη των ερευνητών της, δεν εκδηλώθηκε μόνο στην Ελλάδα αλλά σε όλα τα Βαλκάνια, στη νότιο Ιταλία και Ισπανία, στη Βόρειο Αφρική και στη Μέση Ανατολή. Το ιδιαίτερο όμως χαρακτηριστικό της γνώρισμα ήταν ο διπολισμός που παρουσίασε σε σχέση με την υπόλοιπη κεντρική και δυτική Ευρώπη. Και αυτό επειδή στις παραπάνω περιοχές της Ευρώπης αντί της μεγαξηρασίας εκδηλώνονταν από το 1314 εντονότερες και πολυετείς βροχοπτώσεις, με χαμηλές θερμοκρασίες και πλημμύρες (Lucas 1930, Cook E.R. et al. 2015). Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία σποράς και ανάπτυξης των γεωργικών φυτών και την επικράτηση έτσι στις συγκεκριμένες περιοχές μια μέγιστη πείνα κατά την περίοδο 1315 ως 1317 και σε κάποιες χώρες ως και το 1319 (Lucas 1930). Για την Ελλάδα, που αποτελούσε τότε μια περιοχή του Βυζαντίου, δεν υπάρχουν δυστυχώς γραπτές ή άλλες πηγές για τις επιπτώσεις αυτής της πολυετούς και ισχυρότατης ξηρασίας. Είναι όμως πολύ πιθανόν πως και η χώρα μας θα υπέφερε τότε λόγω της μεγαξηρασίας από έλλειψη νερού, πείνα, επιδημιών κ.λπ.

Η μεγαξηρασία του 15^{ου} αιώνα είχε διάρκεια 12 ετών (1420 – 1431). Ο προσδιορισμός της έγινε στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδερμης πεύκης Γρεβενών, αφού οι δυο άλλες χρονοσειρές δεν επεκτείνονταν ως τα χρόνια της εκδήλωσής της. Έτσι

η επαληθευσή της έγινε μόνο από Χρονογραφική αναφορά κληρικού ή μοναχού της Θεσσαλονίκης το 1420 (Τελέλης 2004) και θεωρήθηκε ως πραγματική. Ειδικότερα στη Χρονογραφική αναφορά επισημαίνεται πως: «Εν έτει 1420 ἰνδικτ. ιγ' ἄρξαμένης ἀπὸ τῆς α' τοῦ σεπτεμβρίου ἐγένετο καὶ ἐν χειμῶνι καὶ ἔαρι καὶ θέρει διὰ τὰς πολλὰς ἁμαρτίας ἡμῶν ἀφορία σίτου παντελῆς κατὰ τε Δύσιν καὶ Ἀνατολὴν ἀπὸ τῆς πολλῆς ἀνομβρίας καὶ ξηρασίας καὶ τῶν σφοδρῶν καὶ συνεχῶν ἀνέμων οὐ μὴν ἀλλὰ καὶ σεισμοὶ πολλοὶ ἐπῆλθον διαφόρως ἐν τῷ τοιοῦτῳ χρόνῳ.»

Από την αναφορά αυτή διαπιστώνεται πως από τη Δύση ως την Ανατολή του Βυζαντίου, δηλαδή τουλάχιστον από την Ιταλία ως και τη Μέση Ανατολή, υπήρξε μεγάλη έλλειψη σιταριού από τις αρχές Σεπτεμβρίου του 1420 ως και το καλοκαίρι του 1421, εξαιτίας της μεγάλης ανομβρίας της μεγαξηρασίας που επικρατούσε και η οποία συνοδεύονταν από σφοδρούς και συνεχείς ανέμους.

Οι παραπάνω πληροφορίες κατά τη γνώμη μας, δεν υπάρχει λόγος να μην θεωρηθούν ως ακριβείς αφού ο Χρονικογράφος βίωσε αυτά τα γεγονότα. Το σημείο όμως στο οποίο αποκλίνει η αναφορά του είναι η διάρκεια της μεγαξηρασίας, αφού το φαινόμενο δεν διήρκησε, όπως αναφέρθηκε δύο, αλλά δώδεκα έτη, όπως διαπιστώνεται από τη χρονοσειρά δεικτών των δακτυλίων που προσδιορίστηκε. Κατά συνέπεια το συγκεκριμένο κλιματικό φαινόμενο ήταν μια μεγαξηρασία από τις πολλές που εκδηλώνονταν όπως αναφέρθηκε, κατά τη ζεστή περίοδο του Μεσαίωνα. Η ασυμφωνία όμως του Χρονικογράφου ως προς τη διάρκεια της μεγαξηρασίας οφείλεται πιθανόν στη συνέχιση αυτής και μετά την αναφορά του. Βέβαια και κατά τα υπόλοιπα χρόνια, είναι πάλι πιθανόν να υπήρξαν και άλλες τέτοιες αναφορές από το ίδιο ή από άλλα πρόσωπα και αυτές να μην έχουν διασωθεί. Άλλωστε τονίστηκε και προηγουμένως πως οι γραπτές πληροφορίες για ακραία κλιματικά φαινόμενα κατά την περίοδο του Βυζαντίου, είναι πολύ περιορισμένες. Τέλος τονίζεται πως η ένταση της μεγαξηρασίας αυτής από ενδείξεις των δεικτών των ετήσιων δακτυλίων της χρονοσειράς, πρέπει να ήταν μέτρια ως ισχυρή, τουλάχιστον για τη βόρειο Ελλάδα από όπου έγινε η συλλογή των δειγμάτων της Λευκόδερμης πεύκης.

4.1.2 Μεγαξηρασίες κατά τον 16^ο αιώνα

Κατά τον 16^ο αιώνα προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν δύο μεγαξηρασίες. Η πρώτη από αυτές είχε διάρκεια τουλάχιστον 7 ετών. Και αυτό επειδή ενώ προσδιορίστηκε στη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης

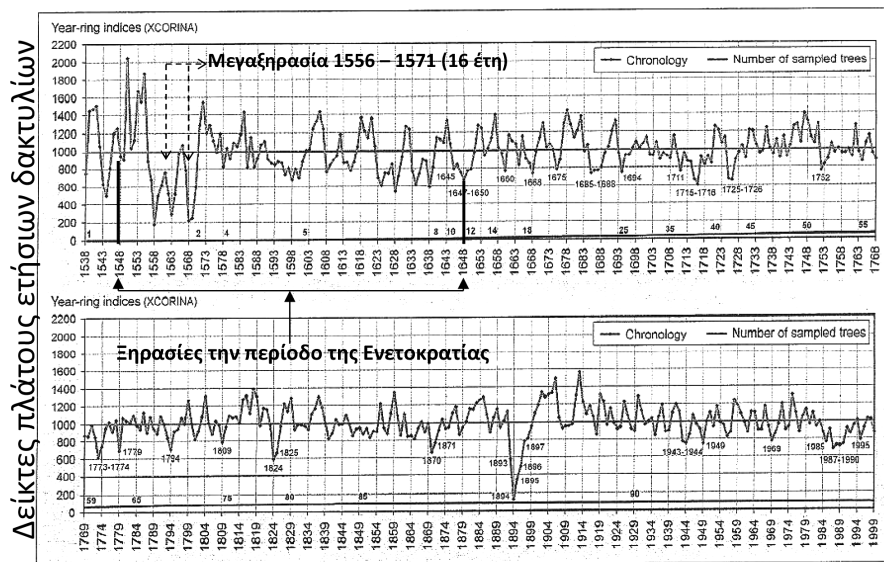
πέυκης Ταΰγέτου ως 16ετής (1556 – 1571, Σχήμα 2), επαληθεύθηκε ως 7ετής (1560 – 1566) από γραπτές κλιματικές πληροφορίες της Κρήτης που βρίσκονται στα αρχεία της Βενετίας (Grove and Conterio 1995). Οι πληροφορίες αυτές αναφέρονται, εκτός των άλλων κλιματικών φαινομένων, και στις εποχικές ξηρασίες του νησιού για μια περίοδο της Ενετοκρατίας 99 μόνο ετών (1547 – 1645), από τα συνολικά 344 έτη αυτής (1204 -1548). Αυτό συνέβη γιατί κατά το πρώτο χρονικό διάστημα οι κλιματικές πληροφορίες ήταν από ανύπαρκτες ως ελάχιστες.

Σχετικά με την επαλήθευση της 7ετούς μεγαξηρασίας επισημαίνονται τα παρακάτω: Από τα 99 έτη μελέτης και διερεύνησης των γραπτών πληροφοριών της Κρήτης από τις δύο ερευνητριες, διαπιστώθηκε πως εκδηλώθηκαν 26 εποχικές ξηρασίες. Αυτές εκδηλώθηκαν χειμώνα, άνοιξη ή και κατά τις δύο αυτές εποχές. Όσον αφορά στις ξηρασίες των υπόλοιπων εποχών, αυτές δεν ενδιέφεραν τους αξιωματούχους Ενετούς για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένα. Από τα 99 έτη που εξετάστηκαν, υπήρξαν και κάποια χωρίς πληροφορίες.

Αξιον προσοχής πάντως είναι το γεγονός πως όλα τα έτη της 7ετούς περιόδου 1560 – 1566 είχαν και από μία εποχική ξηρασία. Το γεγονός αυτό είναι όμως σπάνιο ως απίθανο να συμβεί από κλιματικής άποψης για μια μικρή σχετικά περιοχή. Κατά συνέπεια, όσον αφορά στην αλληλουχία των 7 εποχικών ξηρασιών, η πραγματικότητα κατά τη γνώμη μας είναι πως εκ-

δηλώθηκαν 7 συνεχόμενες ετήσιες και όχι εποχικές ξηρασίες που συγκροτούσαν στην ουσία μια 7ετή μεγαξηρασία. Η άποψη αυτή επαληθεύεται πλήρως από τη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης πέυκης Ταΰγέτου στην οποία προσδιορίστηκε, όπως αναφέρθηκε, η 16ετής μεγαξηρασία της περιόδου 1556 - 1571. Αυτή περικλείει βέβαια την αντίστοιχη 7ετή μεγαξηρασία της Κρήτης (1560 - 1566). Από την ίδια χρονοσειρά δεικτών αποδεικνύεται επίσης πως και αρκετές άλλες συνεχόμενες εποχικές ξηρασίες του νησιού ήταν στην πραγματικότητα πολυετείς (Σχήμα 2).

Σχετικά με τα παραπάνω πρέπει να διευκρινισθεί ακόμα πως η σύγκριση των ξηρασιών των δυο περιοχών είναι εφικτή αφού ο Ταΰγετος απέχει από την κεντρική Κρήτη 300 Km περίπου. Επομένως οι ξηρασίες της επεκτείνονταν τουλάχιστον ως την Πελοπόννησο και την κεντρική Ελλάδα αλλά και αντίστροφα. Όσον αφορά στα 4 έτη μεταξύ της έναρξης των δύο μεγαξηρασιών (1556 ως 1559) και στα 5 έτη μεταξύ της λήξης αυτών (1567 ως 1571), δεν υπάρχουν γραπτές πληροφορίες για εποχικές ξηρασίες στην Κρήτη. Το γεγονός αυτό μας «επέβαλε» στην κυριολεξία να χαρακτηριστεί η διάρκεια της πρώτης μεγαξηρασίας του 16^{ου} αιώνα ως 7ετής, αφού επαληθεύθηκαν μόνο τα 7 κοινά έτη τους και στις δυο περιοχές. Προστίθεται ακόμα πως σύμφωνα με τη Grove and Conterio 1995, οι εποχικές ξηρασίες του νησιού είχαν σοβαρότατες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στους κατοίκους του. Για τις περιβαλλοντικές όμως επιπτώσεις



Σχήμα 2. Χρονοσειρά δεικτών πλάτους ετήσιων δακτυλίων Μαύρης πέυκης Ταΰγέτου της περιόδου 1538-1999 (Brandes 2009)
 Figure 2. Chronology of Pinus nigra annual ring indices, Mt. Taygetos, for the period 1538 -1999 A.D. (Brandes 2009)

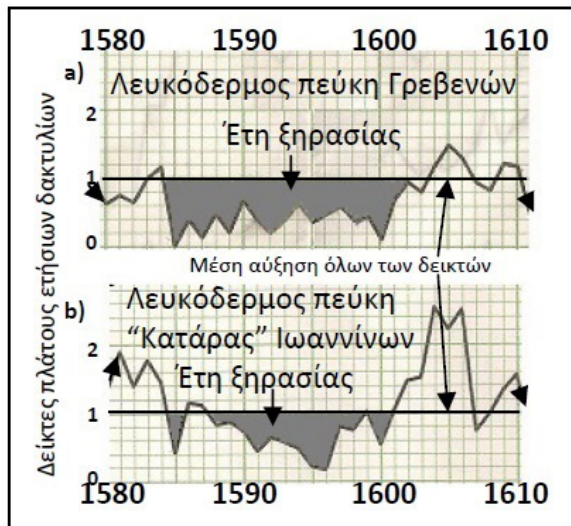
τους δεν γίνεται καμία αναφορά. Αυτό φανερώνει πως τότε δεν υπήρχε ενδιαφέρον για αυτόν τον τομέα.

Η δεύτερη μεγαξηρασία του 16^{ου} αιώνα προσδιορίστηκε ως πιθανή από τη χρονοσειρά της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών και επαληθεύθηκε από τις χρονοσειρές της Λευκόδεσμης πεύκης Κατάρας Ιωαννίνων (Σχήμα 3) και Μαύρης πεύκης Ταυγέτου (Σχήμα 2). Επιπλέον είχε επαληθευθεί νωρίτερα και από τον καθηγητή Kuniholm (1990).

Η συγκεκριμένη μεγαξηρασία, σε σύγκριση με τα γνωρίσματα εκείνων που εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα τον 20^ο και τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πρωτόγνωρη και σπάνια. Και αυτό επειδή η διάρκειά της ήταν 16 ετών (1585-1600) και η έντασή της, σύμφωνα με τις αποκλίσεις των δεικτών των χρονοσειρών από τη μέση αύξησή τους, ταξινομείται στην κατηγορία της πολύ ισχυρής. Επομένως ήταν μια αντιπροσωπευτική μεγαξηρασία της ξεστής περιόδου του Μεσαίωνα. Τα χαρακτηριστικά της απεικονίζονται καλύτερα στο Σχήμα 3 το οποίο περιλαμβάνει το συγκεκριμένο τμήμα των χρονοσειρών δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών και Κατάρας Ιωαννίνων.

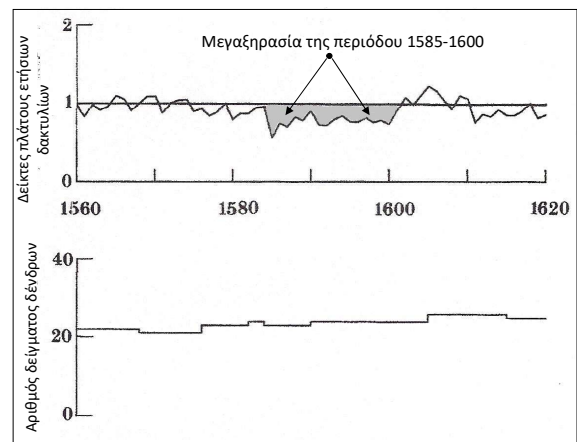
Προστίθεται ακόμα πως είναι σημαντικό να γίνει αναφορά και στην επαλήθευση της συγκεκριμένης

μεγαξηρασίας από τον Kuniholm (1990), με τη σύγκριση χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων και γραπτών πληροφοριών. Και αυτό επειδή τα στοιχεία αυτά αφορούν και στην Ελλάδα. Αναλυτικότερα, στο Σχήμα 4 του Kuniholm (1990) απεικονίζεται το τμήμα της μεγαξηρασίας του προηγούμενου Σχήματος 3. Αξιοπρόσεκτο χαρακτηριστικό γνώρισμα των δύο αυτών Σχημάτων είναι η ομοιότητα των «πολυγώνων» της μεγαξηρασίας και αυτό παρά το γεγονός πως οι δείκτες στο Σχήμα 4 είναι ο μέσος όρος δεικτών πεύκης από πέντε διαφορετικά δάση της Ανατολίας και της βόρειας Ελλάδας και δυο δειγμάτων ξύλου δρυός από αρχαιολογικές περιοχές. Η ομοιότητα αυτή ενισχύει σημαντικά τη γνησιότητα της μεγαξη-



Σχήμα 3. Δείκτες δακτυλίων δειγμάτων χρονοσειρών Λευκόδεσμης πεύκης α)Γρεβενών και β)Κατάρας Ιωαννίνων, που απεικονίζουν τη μεγαξηρασία της περιόδου 1585 -1600 μ.Χ. (Kuniholm et al. 2001a+b)

Figure 3. Ring indices of Pinus leucodermis chronologies from: a)Grevena and b) Kataara Pass areas, depicting the megadrought of 1585 – 1600 A.D. (Kuniholm et al. 2001a+b)



Σχήμα 4. Επαλήθευση και απεικόνιση της προηγούμενης μεγαξηρασίας του Σχήματος 3 (Kuniholm 1990)

Figure 4. Verification and depiction of previous megadrought of Figure 3 (Kuniholm 1990)

ρασίας στην Ελλάδα. Υπενθυμίζεται όμως πως και η μεγαξηρασία του Σχήματος 4 έχει επαληθευτεί από πληθώρα γραπτών πληροφοριών διάφορων ταξιδευτών της εποχής εκείνης οι οποίες συγκεντρώθηκαν, σύμφωνα με τον Kuniholm (1990), ανεξάρτητα από τους καθηγητές H. Inalcik και W. J. Griswold. Στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές παραχωρήθηκαν από τους συλλέκτες τους στον Kuniholm.

Οι παραπάνω πληροφορίες αναφέρονται τόσο σε πολύ ξηρά έτη όσο και σε επιπτώσεις που σχετίζονται άμεσα με συνθήκες επικράτησης μεγαξηρασίας. Τέτοιες επιπτώσεις ήταν οι μεγάλες ελλείψεις νερού και άλλων αγαθών για τους πολίτες και η επικράτηση ακραίων συνθηκών πείνας, εκδήλωσης πανώλους σε πολλές περιοχές, εγκατάλειψης της αγροτικής γης, εξεγέρσεις των πολιτών, μεταναστεύσεις κ.λπ. Οι

πληροφορίες που αναφέρθηκαν αφορούν στη Μικρά Ασία και στη Μέση Ανατολή γενικότερα, στην Κωνσταντινούπολη, στη βόρειο Αφρική, στην Ιταλία, στο αρχιπέλαγος, δηλαδή στο Αιγαίο πέλαγος κ.λπ. Αυτές οι πληροφορίες δείχνουν και τη μεγάλη έκταση που κάλυψε η συγκεκριμένη μεγαξηρασία. Τονίζεται ακόμα πως η έλλειψη αναφορών για την υπόλοιπη Ελλάδα δε σημαίνει πως εκεί δεν κυριάρχησαν οι σοβαρότατες επιπτώσεις που αναφέρθηκαν, αλλά την έλλειψη πληροφοριών για αυτά τα δυσάρεστα γεγονότα την εποχή εκείνη, λόγω της Οθωμανικής κυριαρχίας.

4.1.3 Μεγαξηρασίες κατά του 17^{ου} αιώνα

Κατά τον 17^ο αιώνα και ανάλογα με τις υπάρχουσες πηγές, προσδιορίστηκαν τρεις μεγαξηρασίες (Πίνακας Ι). Αυτές δεν εκδηλώθηκαν κατά την ζεστή περίοδο του Μεσαίωνα, αλλά κατά τον 17^ο αιώνα όταν βαθμιαία άρχισε να επικρατεί στην Ευρώπη η ΜΠΠ. Και αυτό επειδή ο 17^{ος} αιώνας ήταν προφανώς ζεστός ακόμα. Μεγαξηρασίες προσδιορίστηκαν και στη Βόρειο Αμερική κατά την αρχή της ΜΠΠ (Cook E.R. et al. 2009).

Η πρώτη από τις τρεις παραπάνω μεγαξηρασίες κυριάρχησε κατά την περίοδο 1658-1665, προσδιορίστηκε ως πιθανή στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών και επαληθεύθηκε άμεσα από τις δύο άλλες χρονοσειρές δεικτών και έμμεσα από τον Κωστή Κ. 1995, (Xorlaki et al. 2001). Και αυτό επειδή στην παραπάνω βιβλιογραφική αναφορά επισημαίνεται η εμφάνιση πανώλους στην Ελλάδα κατά την τριετία 1661 -1663 και αυτή η επιδημία «συνόδευε» πάντοτε τις μεγαξηρασίες (Garnier et al.2015).

Η ένταση αυτής της μεγαξηρασίας, σύμφωνα με τις αποκλίσεις των δεικτών των χρονοσειρών από το μέσο πλάτος τους, ήταν πολύ ισχυρή και κυριάρχησε τουλάχιστον σε ολόκληρη την Ελλάδα. Μια τέτοια ισχυρότατη ξηρασία και διάρκειας 8 ετών, θα είχε προφανώς εκτός της πανώλους, και άλλες σοβαρότατες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η δεύτερη εννεαετής μεγαξηρασία του 17^{ου} αιώνα εκδηλώθηκε κατά την περίοδο 1680-1688 και προσδιορίστηκε ως πιθανή στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών. Στη συνέχεια επαληθεύθηκε πλήρως από τη χρονοσειρά δεικτών της ομώνυμης πεύκης Κατάρας Ιωαννίνων και μερικώς από τη χρονοσειρά της Μαύρης πεύκης Ταύγέτου και των γραπτών πληροφοριών της Xorlaki et al. 2001.

Ο όρος μερική επαλήθευση χρησιμοποιείται επειδή η διάρκειά της στη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης πεύκης Ταύγέτου ήταν πενταετής (1685-1689), ενώ από τις γραπτές πληροφορίες της Xorlaki et al. 2001, επαληθεύθηκε μόνο για τα έτη 1680 ως και 1682. Για τα υπόλοιπα έτη ή δεν υπήρξαν γραπτές πληροφορίες ή αυτές δεν διασώθηκαν.

Η μικρότερη διάρκεια της μεγαξηρασίας στην Πελοπόννησο και γενικότερα στη νότιο Ελλάδα πιθανόν να οφείλονται στην ανομοιόμορφη χρονικά κατανομή της στον Ελληνικό χώρο. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από τις γραπτές πληροφορίες των παραπάνω ερευνητών για τα έτη 1680-1682, στις οποίες αναφέρονται σοβαρότατες επιπτώσεις από την ξηρασία στην δυτική και κεντρική Ελλάδα, αλλά και στα Ιόνια νησιά. Τα γεγονότα αυτά φανερώνουν πως εκεί η ξηρασία είχε εκδηλωθεί νωρίτερα από τη νότια Ελλάδα. Επιπλέον η αναφορά των ίδιων ερευνητών σε συνθήκες εμφάνισης πανώλους στις ίδιες περιοχές κατά την περίοδο 1687-1690, είναι απόδειξη πως η συγκεκριμένη μεγαξηρασία είχε διάρκεια 9 τουλάχιστον ετών για την κεντρική, δυτική και βορειότερη Ελλάδα. Προστίθεται ακόμα πως η έντασή της ήταν πολύ ισχυρή. Αυτό διαπιστώνεται από τις αποκλίσεις των δεικτών των χρονοσειρών από το μέσο όρο τους, αλλά και από τις σοβαρότατες επιπτώσεις που ενέσκηψαν, όπως αναφέρθηκε, από τις γραπτές πληροφορίες των ερευνητών που αναφέρθηκαν.

Η τρίτη μεγαξηρασία του 17^{ου} αιώνα (1690-1696) συνδέεται πρακτικά με την προηγούμενη (1680-1688) αφού, σύμφωνα με τις γραπτές πληροφορίες της Xorlaki et al. 2001, μεσολαβεί μεταξύ τους μόνο ένα μη ξηρό έτος. Σε αντίθεση όμως με τις πληροφορίες αυτές, στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Κατάρας Ιωαννίνων και οι δυο παραπάνω μεγαξηρασίες είναι συνεχόμενες και συγκροτούν μαζί μια μεγαξηρασία διάρκειας 17 ετών (1680-1697). Αξιοπρόσεκτο είναι επίσης και το γεγονός πως στη χρονοσειρά δεικτών της ομώνυμης πεύκης Γρεβενών, τα πρώτα έξι έτη (1690-1695) της συγκεκριμένης ξηρασίας εμφανίζονται ως υγρά και μόνο τα δυο τελευταία (1696-1697) ως ξηρά. Για την «ιδιορρυθμία» αυτή της παραπάνω χρονοσειράς δε βρέθηκε καμία δικαιολογημένη εξήγηση. Κατά συνέπεια αυτή δε χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της συγκεκριμένης μεγαξηρασίας.

Τα παραπάνω γεγονότα συνέβαλαν ώστε να προσδιορισθεί η εξεταζόμενη μεγαξηρασία ως πιθανή στη χρονοσειρά της Λευκόδεσμης πεύκης Κατάρας Ιωαννίνων και να επαληθευθεί από τις

γραπτές πληροφορίες της Χορλακί et al. 2001, καθώς και από τη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης πεύκης Ταυγέτου. Αναλυτικότερα, για καθένα από τα επτά έτη της περιόδου 1690-1696 υπάρχει μια τουλάχιστον αναφορά από τους παραπάνω ερευνητές για κάποιες περιοχές της Ελλάδας όπου εκδηλώθηκε ξηρασία και τις επιπτώσεις που είχε.

Ειδικότερα το 1690 εκδηλώθηκε ξηρασία μακράς περιόδου στην Αθήνα, ενώ στη Σερβία και Βοσνία-Ερζεγοβίνη οι τιμές των προϊόντων ήταν πολύ υψηλές και επικρατούσαν συνθήκες πείνας. Στη συνέχεια κατά την περίοδο 1691-1694 εκδηλώθηκε ξηρασία στην Κρήτη και ακολούθησε καταστροφή γεωργικών καλλιεργειών, άνοδος των τιμών των προϊόντων και συνθήκες πείνας. Μετά κατά την περίοδο 1695-1696 εκδηλώθηκε ξηρασία και στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους και συνέβαλε στη μη συγκομιδή των καρπών, στην τέλεση λιτανειών για να βρέξει κ.λπ.

Από τις παραπάνω πληροφορίες οι τρεις επιμέρους ξηρασίες παρουσιάζονται ως ασυνεχείς και διάσπαρτες σε διάφορες περιοχές της χώρας κατά τα έτη που αναφέρθηκαν. Η πραγματικότητα όμως είναι πως αυτές συγκροτούσαν μια μεγαξηρασία κατά τα επτά έτη και επεκτείνονταν όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά τουλάχιστον ως τα βόρεια Βαλκάνια (Σερβία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη). Η ασάφεια αυτή για τρεις ξηρασίες προέκυψε επειδή δεν υπήρχαν συνεχείς γραπτές πληροφορίες για την μεγαξηρασία σε ολόκληρη τη χώρα. Άλλωστε είναι φανερό πως σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες που συμβάλλουν στην εκδήλωση ξηρασιών, αυτές δεν εμφανίζονται σε μεμονωμένες και σχετικά μικρές περιοχές, όπως έδειξαν οι γραπτές πληροφορίες, αλλά σε πολύ εκτεταμένες. Εκτός των γραπτών πληροφοριών, η εκδήλωση της ισχυρής μεγαξηρασίας στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1690-1696 επαληθεύεται όπως αναφέρθηκε, και από τις χρονοσειρές δεικτών των πευκών Κατάρρας Ιωαννίνων και Ταυγέτου Λακωνίας.

4.1.4 Μεγαξηρασίες κατά τον 18^ο αιώνα

Κατά τον 18^ο αιώνα προσδιορίστηκε μόνο μια μεγαξηρασία στην Ελλάδα και διήρκεσε επτά έτη (1710-1716). Η έλλειψη μεγαξηρασιών στη συνέχεια του αιώνα αυτού πρέπει να οφείλεται στην επικράτηση της ΜΠΠ, η οποία δεν ευνοούσε την εκδήλωση πολυετών ξηρασιών. Και αυτό επειδή κατά την ψυχρή εκείνη περίοδο που κυριάρχησε από τη βόρεια και κεντρική Ευρώπη ως τις Μεσογειακές χώρες (Hughes 2014), αλλά και στη Βόρεια Αμερική, οι θερμοκρασίες του αέρα ήταν χαμηλότερες των σημερινών κατά 1,5°C

(Repapis et al. 1989, Luterbacher et al. 2011). Επιπλέον επικρατούσαν συχνές και ισχυρές χιονοπτώσεις, βροχές, πλημμύρες, κ.λπ.

Η παραπάνω μεγαξηρασία προσδιορίστηκε ως πιθανή στη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Κατάρρας Ιωαννίνων και επαληθεύθηκε πλήρως τόσο από τη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης πεύκης Ταυγέτου όσο και από γραπτά πληροφοριών της Χορλακί et al. 2001. Διευκρινίζεται όμως εδώ πως η χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών δεν χρησιμοποιήθηκε στην επαλήθευση επειδή από τα 7 έτη της συνολικής διάρκειας της ξηρασίας (1710-1716), κατέδειξε ως ξηρό μόνο το τελευταίο έτος της.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι βέβαια το γεγονός πως η χρονοσειρά δεικτών Ταυγέτου κατέδειξε διάρκεια της συγκεκριμένης ξηρασίας 11 και όχι 7 ετών (1710-1720). Αυτό φανερώνει πως η διάρκειά της ήταν μεγαλύτερη στη νότιο Ελλάδα. Προστίθεται ακόμα πως από τις αποκλίσεις των τιμών των δεικτών των δυο χρονοσειρών από το μέσο όρο τους, η ένταση της ξηρασίας εκτιμήθηκε πως κυμάνθηκε από ισχυρή ως πολύ ισχυρή. Ειδικότερα η πολύ ισχυρή παρατηρήθηκε κατά τα έτη 1715 και 1716 και στις δυο χρονοσειρές.

Η δεύτερη επαλήθευση της παραπάνω μεγαξηρασίας από την Χορλακί et al. 2001 έχει πολύ μεγάλη σημασία. Και αυτό όχι μόνο επειδή επαληθεύει την ύπαρξη της με γραπτές πληροφορίες, αλλά επειδή καθορίζει την εξάπλωσή της τόσο στην Ελλάδα και στα Βαλκάνια, όσο και σε ολόκληρη σχεδόν την Ευρώπη. Αυτά διαπιστώνονται από το μεγάλο αριθμό γραπτών πληροφοριών οι οποίες τεκμηριώνονται πλήρως από τους παραπάνω ερευνητές. Οι πληροφορίες αυτές αναφέρονται σε ξηρασίες και στις επιπτώσεις τους που εκδηλώθηκαν στις διάφορες περιοχές που αναφέρθηκαν και επιβεβαιώνουν τη διάρκεια αλλά και την έκταση της μεγαξηρασίας.

Πιο συγκεκριμένα, από το φθινόπωρο του 1710 ως το χειμώνα του 1711 επικρατούσε ξηρασία στα Ιόνια νησιά και συνοδεύονταν από υψηλές θερμοκρασίες που στέρεψαν τα πηγάδια και συνέβαλαν στην εμφάνιση σμηνών από ακριδες στα Ιωάννινα και στην Άρτα. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως η ξηρασία επικρατούσε και στην Ήπειρο τουλάχιστον ως το καλοκαίρι του 1711. Επιπλέον γίνεται αναφορά πως το 1710 οι σοδειές στα Σκόπια (Π.Γ.Δ.Μ.) ήταν πολύ κακές και επικρατούσαν συνθήκες πείνας. Από την αναφορά αυτή συμπεραίνεται πως η ξηρασία επεκτείνονταν και στα Βαλκάνια.

Άλλες γραπτές πληροφορίες των συγκεκριμένων ερευνητών αναφέρουν πως από το Νοέμβριο του 1712 ως το καλοκαίρι του 1714 επικρατούσε σε όλη την Ελλάδα πολύ ισχυρή ξηρασία με σοβαρότατες επιπτώσεις. Τέτοιες ήταν οι κακές σοδειές, οι αυξημένες τιμές των προϊόντων, η μεγάλη πείνα, η εκδήλωση πανώλους στη βόρεια Ελλάδα και κυρίως στη Θεσσαλονίκη κ.λπ. Από άλλη γραπτή πληροφορία διαπιστώνεται επίσης πως κατά το 1713 και 1714 η βόρεια Ελλάδα είχε ξηρασία με σοβαρότατες επιπτώσεις ως τη Σερβία, στην οποία παρατηρήθηκαν ανθρώπινες απώλειες από την πείνα. Οι επιπτώσεις αυτές επιδεινώθηκαν δραματικά το 1715 ώστε να επικρατήσουν συνθήκες ακραίας μορφής πείνας σε ολόκληρη τη χώρα. Επιπλέον σύμφωνα με τον Κοστή Κ. (Χορλακί et al. 2001), η Ελλάδα υπέφερε από πανώλη κατά τα έτη 1716-1719. Το γεγονός αυτό φανερώνει τη συνέχιση της μεγαξηρασίας και κυρίως στη νότιο Ελλάδα όπου αυτή διαπιστώθηκε και από τη χρονοσειρά δεικτών της Μαύρης πεύκης Ταϊγέτου (Brandes 2009).

Η παραπάνω μεγαξηρασία δεν επικράτησε μόνο στην Ελλάδα και στα Βαλκάνια, αλλά σύμφωνα με αναφορά των Brazdil et al. (2013) και από γραπτές πληροφορίες της Χορλακί et al. 2001, εκδηλώθηκε συγχρόνως στην Τσεχία, όπου διήρκησε ως το 1719, στην Ελβετία, Γαλλία και Μεγάλη Βρετανία. Αυτό σημαίνει πως ήταν ένα ακραίο Ευρωπαϊκό κλιματικό φαινόμενο αφού είναι απίθανο να μην είχε εκδηλωθεί και στις ενδιάμεσες Ευρωπαϊκές χώρες. Όσον αφορά στην Ελλάδα, αυτή η μεγαξηρασία επαληθεύεται πλήρως και από τις αναγκαστικά διάσπαρτες γραπτές πληροφορίες που καλύπτουν όμως όλο το εύρος της διάρκειάς της. Προστίθεται επίσης πως αυτή άφησε ανεξίτηλο το αποτύπωμα των σοβαρότατων επιπτώσεων της και κυρίως της μεγάλης και πολυετούς πείνας και πανώλους στους υποδουλωμένους τότε Έλληνες.

4.1.5 Μεγαξηρασίες κατά τον 19^ο αιώνα

Κατά τον 19^ο αιώνα προσδιορίστηκε στην Ελλάδα μια μόνο μεγαξηρασία και διήρκησε 8 έτη (1891-1898). Η περίοδος αυτή φανερώνει πως εκδηλώθηκε μετά τη λήξη της ΜΠΠ. Αυτή προσδιορίστηκε ως πιθανή από τη χρονοσειρά δεικτών της Λευκόδεσμης πεύκης Γρεβενών και επαληθεύθηκε από την αντίστοιχη της Κατάρας Ιωαννίνων, της Μαύρης πεύκης Ταϊγέτου, των ετήσιων υψών βροχής της παραπάνω περιόδου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) και άλλων διεθνών πηγών (Πίνακας Ι). Η μέγιστη ένταση αυτής παρατηρήθηκε και στις

τρεις χρονοσειρές το 1894, ενώ στο ΕΑΑ το 1898. Αξιοπρόσεκτο γνώρισμα των παραπάνω εντάσεων ήταν το πρωτόγνωρο βάθος της «ύφεσης» του 1894 της χρονοσειράς Μαύρης πεύκης Ταϊγέτου –το ξηρότερο έτος ολόκληρης της χρονοσειράς- (Σχήμα 2) και το 1898 το ξηρότερο έτος όλων του ΕΑΑ μέχρι σήμερα, (ύψος βροχής 28,9% του υπερετήσιου μ.ο. των 400 mm). Άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των δυο παραπάνω πηγών ήταν η έναρξη και λήξη της ξηρασίας στον Ταϊγέτο το 1893 και 1899, αντίστοιχα, (διάρκεια 7 ετών) και τα βροχερά έτη 1893 και 1896/97 στο ΕΑΑ.

Εκτός των δεικτών των τριών χρονοσειρών και των πολύ χαμηλών υψών βροχής του ΕΑΑ, δεν βρέθηκαν άλλες γραπτές πληροφορίες στη χώρα μας που να επαληθεύουν την εκδήλωσή αυτής της μεγαξηρασίας. Η έλλειψη αυτή πιθανόν να οφείλεται στη δυσχερή οικονομική και κοινωνική θέση που βρισκόταν η χώρα μας μετά την κήρυξη πτώχευσης το Δεκέμβριο του 1893, αλλά και στην διεξαγωγή του Ελληνοτουρκικού πολέμου το 1897. Τα δυο αυτά δυσμενή γεγονότα συνέπεσαν με τα δυο παραπάνω βροχερά έτη στο ΕΑΑ κατά την διάρκεια της μεγαξηρασίας, ενώ η σύμπτωση αυτή δεν παρατηρήθηκε και με τις χρονοσειρές δεικτών Ταϊγέτου, Κατάρας Ιωαννίνων και Γρεβενών.

Η μεγαξηρασία αυτή εκδηλώθηκε βέβαια και σε ολόκληρη την Ευρώπη. Ήδη ο Brodie είχε ανακοινώσει από το 1894 πως «η μέγιστη ξηρασία του 1893» που εκδηλώθηκε στην Αγγλία αλλά και στις άλλες γειτονικές της χώρες με την Ευρωπαϊκή ήπειρο, ήταν πάρα πολύ ξεχωριστή ως προς τη σφοδρότητα και τη διάρκειά της. Τα παραπάνω δείχνουν πως ο Brodie πιθανόν δε γνώριζε πως η ξηρασία εκείνη επικρατούσε, εκτός των γειτονικών χωρών της Ευρώπης προς την Αγγλία, και σε ολόκληρη την έκταση της ηπείρου.

Άλλη αψευδής πηγή επαλήθευσης της παραπάνω μεγαξηρασίας ως Πανευρωπαϊκής είναι και η εργασία του Cook E.R. και των 56 συνεργατών του (2015). Αυτοί συνέταξαν, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τον Άτλαντα Ξηρασιών του Παλαιού κόσμου (OWDA) και μελέτησαν μεγαξηρασίες και πλημμύρες για πολλούς μ.Χ. αιώνες. Μεταξύ των μεγαξηρασιών, προσδιορίστηκε και εκείνη του 1893 η οποία, σύμφωνα με το σχετικό χάρτη της μελέτης, επεκτεινόταν, εκτός της ΒΑ Ευρώπης και βόρειας Αφρικής, σε ολόκληρη την υπόλοιπη Ευρώπη και τη Μικρά Ασία. Ειδικότερα για την Ελλάδα οι τιμές του Δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας εκτιμήθηκαν από την κλίμακα του αντίστοιχου χάρτη στις -5 μονάδες.

Αυτό φανερώνει πως την περίοδο εκείνη επικρατούσε στη χώρα μας μια πολύ ισχυρή μεγαξηρασία.

Μετά τον προσδιορισμό, την επαλήθευση, μελέτη και διερεύνηση των 9 προηγούμενων μεγαξηρασιών, προστίθεται συνοπτικά πως και άλλα τέτοια ακραία κλιματικά φαινόμενα πρέπει να εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα κατά την περίοδο αναφοράς της μελέτης. Αυτά όμως δεν ήταν δυνατόν να επαληθευθούν λόγω έλλειψης των απαραίτητων πηγών πληροφόρησης. Για την επίτευξη όμως και του δεύτερου στόχου της εργασίας, η επόμενη υποενοότητα επικεντρώνεται στις μεγαξηρασίες του παρελθόντος γενικότερα και στη διερεύνηση της συμβολής αυτών στην αντιμετώπιση πιθανών ξηρασιών τύπου κλιματικής αλλαγής (μεγαξηρασιών) κατά τον 21^ο αιώνα στη χώρα μας.

4.2 Μεγαξηρασίες του παρελθόντος και η συμβολή τους στην αντιμετώπιση παρόμοιων ακραίων φαινομένων στην Ελλάδα κατά τον 21ο αιώνα

Οι 9 προηγούμενες μεγαξηρασίες που προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν με τις προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν, περιλαμβάνονται στο εύρος των 600 ετών (14^ο ως 19^ο μ.Χ. αιώνας) της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος της Ελλάδας. Από αυτές οι 8 πρώτες εκδηλώθηκαν κατά τη ξεστή περίοδο του Μεσαίωνα και ειδικότερα από το 1314 ως το 1716 (Πίνακας Ι). Αυτό δείχνει πως κατά μέσο όρο εκδηλώνονταν και μια μεγαξηρασία κάθε 50 χρόνια. Η εκδήλωση αυτών ίσως οφείλονταν, όπως αναφέρθηκε, στην υψηλότερη από την κανονική θερμοκρασία αέρα του βόρειου ημισφαιρίου του πλανήτη μας. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την Woodhouse et al. 2010, η θερμοκρασία του την περίοδο εκείνη ήταν η υψηλότερη των προηγούμενων 2000 ετών, αλλά ελάχιστα χαμηλότερη της σημερινής. Αυτό διαπιστώνεται και από τα στοιχεία των αρχείων της Βενετίας της περιόδου 1547 – 1648. Σ' αυτά αναφέρεται πως η μεγάλη συχνότητα και διάρκεια των ξηρασιών της Κρήτης οφείλονταν στην επέκταση θερμών αερίων μαζών από τη Σαχάρα προς τις βορειότερες περιοχές της (Grove and Conterio 1995).

Σε αντίθεση όμως με τις παραπάνω 8 πρώτες μεγαξηρασίες, η 9^η εκδηλώθηκε μετά τη λήξη της ΜΠΠ (1891 – 1898), όταν η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα του βόρειου ημισφαιρίου είχε κανονική τιμή (15 °C). Αυτό σημαίνει πως τα αίτια αυτής ήταν διαφορετικά από εκείνα των 8 προηγούμενων μεγαξηρασιών.

Οι μεγαξηρασίες του παρελθόντος όμως φαίνεται πως δεν θα έχουν τη μοναδικότητά τους. Και αυτό γιατί, όπως αναφέρθηκε, από τις πρόσφατες 10ετίες ως

και σήμερα, πληθώρα επιστημόνων προβλέπουν πως είναι πολύ πιθανόν να εκδηλωθούν μεγαξηρασίες στη Μεσογειακή λεκάνη και επομένως και στην Ελλάδα κατά το μέσον ή και αργότερα του 21^{ου} αιώνα, λόγω της κλιματικής αλλαγής (θερμές ξηρασίες ή ξηρασίες τύπου κλιματικής αλλαγής).

Σχετικά με τις παραπάνω αναμενόμενες μεγαξηρασίες το ερώτημα που προκύπτει είναι, αν αυτές οι ίδιες ή η κοινωνία μας, θα δεχθούν τις σοβαρότατες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή. Η απάντηση βέβαια είναι πως και οι δύο. Ειδικότερα οι μελλοντικές μεγαξηρασίες θα είναι πολύ πιο ισχυρές από εκείνες του παρελθόντος. Και αυτό επειδή επάνω στη μεταβλητότητά τους θα επικαθίσουν οι κλιματικές επιπτώσεις που σχετίζονται με ανθρωπογενείς δράσεις. Τέτοιες είναι π.χ. οι υψηλότερες θερμοκρασίες του αέρα, οι λιγότερες βροχές, οι ισχυρότεροι άνεμοι, τα ξηρότερα εδάφη κ.λπ. (Woodhouse 2003,2015). Όμως και η κοινωνία μας θα είναι πολύ πιο ευάλωτη στις σοβαρότατες επιπτώσεις από τόσο ισχυρές μεγαξηρασίες λόγω αύξησης του πληθυσμού της, των διαφορετικών δομών της, των αναγκών σε περισσότερο νερό κ.λπ. Επομένως η συγκυρία των δύο παραπάνω δυσμενών συνθηκών θα δημιουργήσει πιο καταστροφικές μεγαξηρασίες σε σχέση με εκείνες του παρελθόντος. Αυτό σημαίνει πως εκτός των 4 γνωστών τύπων ξηρασίας, θα προστεθεί στη χώρα μας και ο τύπος της οικολογικής ξηρασίας. Αυτή θα προκύψει λόγω ενός παρατεταμένου και πολύ εκτεταμένου ελλείμματος νερού που θα δημιουργήσει πολλαπλές καταπονήσεις και επιπτώσεις στη χλωρίδα και πανίδα των φυσικών μας οικοσυστημάτων.

Για την αποτελεσματικότερη όμως αντιμετώπιση των παραπάνω μεγαξηρασιών, υποστηρίζουμε πως και η μελέτη των μεγαξηρασιών του παρελθόντος μπορεί να συμβάλει ποικιλοτρόπως προς αυτή την κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη αυτών συνέβαλε στον προσδιορισμό της φυσικής μεταβλητότητας της διάρκειας και έντασης των μεγαξηρασιών της Ελλάδας σε ένα εύρος 600 ετών. Το εύρος αυτό επεκτείνεται πολύ πίσω από εκείνο της περιόδου των ενόργανων μετεωρολογικών μας μετρήσεων και περιλαμβάνει, όπως αναφέρθηκε, τις δύο κατηγορίες μεγαξηρασιών ως προς τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα του βόρειου ημισφαιρίου του πλανήτη μας. Η εκδήλωση των μεγαξηρασιών αυτών του παρελθόντος ενισχύει τον ισχυρισμό μας για εκδήλωση και μελλοντικών μεγαξηρασιών στην χώρα μας τόσο λόγω της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος του παρελθόντος όσο και λόγω της βαθμιαίας αλλαγής

του στις μέρες μας.

Τα γεγονότα αυτά είναι ένα ισχυρό κίνητρο και μια σημαντική συμβολή στην έναρξη σχεδιασμού και υλοποίησης προληπτικών δράσεων αντιμετώπισης μελλοντικών μεγαξηρασιών και προσαρμογής της κοινωνίας μας σε αυτές, από τους αρμόδιους φορείς μας. Επιπλέον η λήψη προληπτικών δράσεων γίνεται όλο και πιο επιτακτική αφού οι μελλοντικές μεγαξηρασίες μπορεί να εκδηλωθούν οποιαδήποτε χρονιά. Και αυτό επειδή δεν υπάρχει άμεση και ισχυρή σχέση ή αναλογία μεταξύ της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος του παρελθόντος και εκείνης του μέλλοντος (Hay et al. 1997 Lunt et al. 2013). Άλλος λόγος επιτάχυνσης των προληπτικών δράσεων είναι η εκδήλωση ήδη μεγαξηρασιών αλλά και καταστροφικότητας μικρότερης διάρκειας ξηρασιών, σε γειτονικές και μακρινές χώρες από την Ελλάδα. Π.χ. ο Cook B.I. et al 2016 διαπίστωσαν πως η 15ετής μεγαξηρασία της περιόδου 1998-2012 στη Μέση Ανατολή, ήταν η πιο ξηρή της περιόδου των 900 ετών που μελετήθηκαν. Επίσης η μεγαξηρασία της περιόδου 1997 – 2009 στην Αυστραλία ήταν η ξηρότερη της τελευταίας 1000ετίας (Aghakouchak 2015). Ακόμα οι ξηρασίες των περιόδων 2012 – 2015 στην Καλιφόρνια (Aghakouchak 2015) και 2010 – 2013 στη ΝΔ Κίνα (FAO 2013), ήταν οι πιο καταστροφικές για παραπάνω από τα 100 τελευταία χρόνια. Η πιθανότερη αιτία εκδήλωσης αυτών των ακραίων κλιματικών φαινομένων πρέπει να ήταν ο συνδυασμός της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος και της υπερθέρμανσης του πλανήτη μας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι πιο επείγουσες προληπτικές δράσεις που πρέπει να υλοποιηθούν στην Ελλάδα από τους αρμόδιους φορείς, κατά τη γνώμη μας είναι: Η χάραξη εθνικής πολιτικής και στρατηγικής και για τις μελλοντικές μεγαξηρασίες λόγω της κλιματικής αλλαγής, η σύνταξη σχεδίου διαχείρισης της επικινδυνότητας και κρίσης αυτών, η επιλογή μέτρων και έργων, η αποτελεσματικότητά τους, η διαχείριση οικολογικών προσφύγων κ.λπ.

Όλες οι παραπάνω δράσεις πρέπει να αποβλέπουν, όπως αναφέρθηκε, και στην προσαρμογή της κοινωνίας μας στις πιθανές μελλοντικές μεγαξηρασίες. Από τη σκοπιά των μέτρων όμως σημαντική θέση κατέχουν εκείνα που αποβλέπουν στη διατήρηση, προστασία και εξοικονόμηση όσο το δυνατόν επαρκέστερων υδατικών πόρων για το μέλλον. Ειδικότερα αυτά κατά τη γνώμη μας είναι: 1) Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων νερών κατά τη χειμερινή περίοδο των πεδινών και αντίστοιχων ορεινών περιοχών

μας, 2) Η εξοικονόμηση υπόγειων νερών με τη λήψη διαχειριστικών μέτρων στη γεωργία, 3) Η αύξηση της αποδοτικότητας των υπόλοιπων χρήσεων νερού και 4) Η αύξηση της εγκατάστασης μονάδων αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού. Από τα μέτρα αυτά η 1^η κατηγορία προτείνεται στις μέρες μας και για τις ΝΔ Πολιτείες της Αμερικής (Gober et al. 2016).

Τα 4 παραπάνω μέτρα ενώ δεν είναι προφανώς τα μόνα που μπορούν να συμβάλλουν στην προσαρμογή της κοινωνίας μας στις μελλοντικές μεγαξηρασίες, είναι όμως μεταξύ των αποτελεσματικότερων. Το ερώτημα όμως που προκύπτει μετά από όλα τα προηγούμενα είναι αν μπορούμε να αντεπεξέλθουμε στην εκδήλωση μιας τέτοιας μεγαξηρασίας. Η απάντηση σ' αυτό που αφορά όλους μας, δόθηκε από τον Overpeck (2013). Ειδικότερα τόνισε πως, «πιθανόν ναι, αλλά μόνο αν αναπτύξουμε προληπτικά τις κατάλληλες προστατευτικές μας στρατηγικές και αν σκεφθούμε σοβαρά τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα παραπάνω είναι ένας τρόπος αποτροπής των μελλοντικών μεγαξηρασιών από τα όρια των πολύ θερμών και ξηρών, οι οποίες ξεπερνούν την προστατευτική μας ικανότητα».

Η απάντησή μας στο παραπάνω ερώτημα είναι πως, τα δασικά δένδρα στα οποία προσδιορίστηκαν οι μεγαξηρασίες επιβίωσαν κάτω από τις πολύ ξηρές συνθήκες. Επομένως και οι άνθρωποι θα μπορέσουν να ανταποκριθούν σε μεγαξηρασίες του μέλλοντος με την προσαρμογή τους πρώτα σ' αυτές. Άλλωστε η επιβίωση των δένδρων επιβεβαιώνει πως κατά την εκδήλωση των μεγαξηρασιών του παρελθόντος δεν παρατηρήθηκε απόλυτη, αλλά πάρα πολύ μεγάλη έλλειψη νερού. Οι μεγαξηρασίες όμως αυτές πιθανόν θα εκδηλωθούν όπως αναφέρθηκε, μετά από κάποιες 10ετίες του 21^{ου} αιώνα. Παρά την καθυστέρηση όμως αυτή, καθήκον και υποχρέωση μιας οργανωμένης και σώφρονος πολιτείας είναι να συμβάλλει προληπτικά στην προσαρμογή των πολιτών της και σε αυτούς τους ακραίους κλιματικούς κινδύνους, αφού ο χρόνος εκδήλωσής τους είναι αβέβαιος.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από τη μελέτη ενός περιορισμένου σχετικά αριθμού χρονοσειρών δεικτών ετήσιων δακτυλίων δασικών δένδρων και γραπτών πληροφοριών του παρελθόντος, προσδιορίστηκαν και επαληθεύθηκαν 9 μεγαξηρασίες στην Ελλάδα διάρκειας 5 - 16 ετών. Αυτές εκδηλώθηκαν από τον 14^ο ως τον 19^ο αιώνα μ.Χ. Από το σύνολο των μεγαξηρασιών, οι 4 πρώτες εκδηλώθηκαν κατά τη ζεστή περίοδο

του Μεσαίωνα και οι επόμενες 4 κατά τα πρώτα στάδια της βαθμιαίας επικράτησης της ΜΠΠ. Τέτοιες μεγαξηρασίες εκδηλώθηκαν κατά τις ίδιες παραπάνω περιόδους και στην υπόλοιπη Ευρώπη και Βόρειο Αμερική, με μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα του βόρειου ημισφαιρίου υψηλότερη της κανονικής του (15°C). Αυτή πιθανόν να οφείλονταν στην εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία. Η τελευταία από τις 9 μεγαξηρασίες εκδηλώθηκε μετά το τέλος της ΜΠΠ, όταν η παραπάνω μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα στο βόρειο ημισφαίριο είχε μειωθεί στους 15°C. Αυτό σημαίνει πως τα αίτια εκδήλωσής της ήταν διαφορετικά από εκείνα των 8 προηγούμενων. Η πλειονότητα από τις 9 μεγαξηρασίες ήταν ισχυρές ως πολύ ισχυρές, αρκετές επεκτεινόταν ως τα Βαλκάνια και μερικές σε πολλές χώρες της υπόλοιπης Ευρώπης. Οι κοινωνικοοικονομικές τους επιπτώσεις ήταν από σοβαρότατες ως δραματικές, ενώ δεν βρέθηκε καμία αναφορά για τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές τους.

- Οι διεργασίες εξέτασης των παραμέτρων των 9 μεγαξηρασιών συνέβαλαν στον προσδιορισμό της φυσικής μεταβλητότητας της διάρκειας και έντασής τους κατά το παρελθόν στην Ελλάδα, για ένα εύρος 600 ετών. Επομένως διαπιστώνεται πως η φυσική μεταβλητότητα του κλίματος της χώρας μας περιλαμβάνει και μεγαξηρασίες στο παραπάνω εύρος του παρελθόντος και πιθανολογείται πως παρόμοιες θα εκδηλωθούν και στο μέλλον. Η προοπτική όμως αυτή δεν ήταν δυνατόν να υποστηριχθεί από το εύρος των 118 ετών (1899 – 2017) το οποίο αντιστοιχεί στη διάρκεια των ενόργανων μετεωρολογικών μετρήσεων της χώρας μας, μετά τη λήξη της τελευταίας μεγαξηρασίας

(1891 – 1898). Το γεγονός αυτό δείχνει, εκτός των άλλων, τη μεγάλη κλιματική σημασία που έχουν οι 9 μεγαξηρασίες του παρελθόντος για πιθανές μεγαξηρασίες του μέλλοντος στη χώρα μας.

- Η πιθανότητα εκδήλωσης μεγαξηρασιών στην Ελλάδα μελλοντικά υποστηρίζεται όχι μόνο από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος του παρελθόντος, αλλά και από την αλλαγή αυτού στις μέρες μας. Και αυτό επειδή η αλλαγή του θα «συνοδεύεται» και από μεγαξηρασίες. Οι ισχυρισμός αυτός ενισχύεται από μια πληθώρα μελετών επιστημόνων ανά τον κόσμο οι οποίες συντάχθηκαν από τις πρόσφατες 10ετίες ως την εποχή μας. Οι μεγαξηρασίες του μέλλοντος θα είναι όμως πιο καταστροφικές από εκείνες του παρελθόντος, λόγω επικάθησης στη φυσική τους μεταβλητότητα των κλιματικών επιπτώσεων που σχετίζονται με ανθρωπογενείς δράσεις.
- Οι παραπάνω «προειδοποιήσεις» των μεγαξηρασιών του παρελθόντος αλλά και της κλιματικής αλλαγής, για εκδήλωση πιο καταστροφικών μεγαξηρασιών στο μέλλον, είναι πολύ σοβαρές. Κατά συνέπεια αποτελούν ένα ισχυρό κίνητρο και μια σημαντική συμβολή στην έναρξη σχεδιασμού και υλοποίησης από τους αρμόδιους φορείς μας, των απαραίτητων και αναγκαίων προληπτικών δράσεων αντιμετώπισης πιθανών μελλοντικών μεγαξηρασιών και προσαρμογής της κοινωνίας μας σε αυτές. Βέβαια ο χρόνος εκδήλωσης μεγαξηρασιών είναι αβέβαιος. Επομένως οι συνθήκες αυτές κάνουν ακόμα πιο επιτακτική την ανάγκη σχεδιασμού και υλοποίησης των απαραίτητων προληπτικών δράσεων στην χώρα μας για τους σκοπούς που αναφέρθηκαν.

Megadroughts in Greece from 14th to 19th century A.D. and their contribution to coping with probable global-warming type droughts during the 21st century

G. Baloutsos¹, An. Roussos²

ABSTRACT

According to climatologists and other relevant scientists' studies, the duration, intensity and frequency of droughts in the Mediterranean basin will probably increase in the second 21st century half, due to climate change. Among them, megadroughts (global-warming type droughts) probably will also occur. This issue is particularly serious due to the areas' elevated sensitivity to climate change. These processes certainly concern Greece as well. Because of the prospects above, megadroughts of the past in Greece were identified and verified in order to evaluate their contribution to coping with probable megadroughts of the future due to climate change. Specifically, using ring indices of forest tree chronologies and documentary sources of the past, 9 megadroughts in mainland Greece which occurred during 14th to 19th century A.D., ranging from 5 to 16 years in duration, were identified and verified. Some of these 9 megadroughts expanded to Balkans and many other European countries. The characteristics and socioeconomic impacts of them were estimated qualitatively. Furthermore, their study defined the range of natural variability of their duration and intensity for the past 600 years. In this range, 8 of the megadroughts occurred during the warm Medieval period and the beginning of The Little Ice Age, while the last of them after the termination of it. The identification and verification of the 9 above megadroughts reinforces our argument for the occurrence of future megadroughts in Greece, due to past climates' natural variability and its' gradual change. Megadroughts in the future will be however, more destructive than those of the past. That is because in the natural variability of megadroughts, human induced climate effects (e.g. higher air temperatures, less rainfall, very strong winds etc.) will be superimposed. Also the time of occurrence of these megadroughts is, however, uncertain due to the lack of direct relation or analogue between the climate characteristics of the past and the future. All these above coincidences are a strong motive and an important contribution to starting planning from our state proactive activities coping with megadroughts of the 21st century and the adaptation of our society to them. The principals of these proactive activities are briefly described in this paper.

Keywords: palaeoclimatology, tree-ring chronologies, past and future megadroughts, climate change, adaptation to megadroughts

1. Forester-Hydrologist, former senior Researcher of the National Agricultural Research Foundation, Athens. email: balgeorg@otenet.gr

2. Forester at Municipality of Amaroussion. e-mail: anargyros.roussos@gmail.com

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aghakouchak A., Feldman D., Hoerling M. et al. 2015. Recognize anthropogenic drought. *Nature*, 524: 409-412.
- Αιγινήτης Δ. 1907. Το κλίμα της Ελλάδος. Τομ. 1, σελ.: 411-416, Αθήνα.
- Brandes R. 2009. "Dendrochronology of *Pinus nigra* in the Taygetos Mt., Southern Peloponnis". In *Tree rings, Kings and old World Archaeology and Environment*. Ed. By Manning S.W. and Bruce M.S., Oxbow Books, Oxford and Oakville, pp. 81-95.
- Brazdil R., Dobrovolky P., Traka M. et al., 2013. Droughts in the Czech Lands, 1090-2012 AD. *Climate Past*, Vol. 9: 1985-2002.
- Brewer S., Alleaume S., Guiot J. and Nicault A., 2007. Historical droughts in Mediterranean region during the past 500 years: a data/model approach. *Climate Past*, Vol. 3: 355-366.
- Brodie F.J. 1894. The great drought of 1893 and its attendant meteorological phenomena. *Quarterly J. Royal Meteorol. Soc.*, Vol XX(89):1-30.
- Camp J.M. 1979. A drought in late 8th century. *Hesperia*, 48: 397-411.
- Camp J.M. 1982. Drought famine in the 4th century BC. In *studies in Athenian Architecture, Sculpture and Topography*", presented to Homer A. Thompson, *Hesperia*, Supp. XX, pp: 9-17.
- Caseldine C.J. and Turney C. 2010. The bigger picture: towards integrating palaeoclimate and environmental data with a history of societal change. *J. of Quaternary Science*, 25: 88-93.
- Cook E.R. and Kairiukstis L.A., 1990. *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, pp. 394.
- Cook E.R., Seager R., Heim R.R. et al. 2009. Megadroughts in North America: placing IPCC projections of hydroclimatic change in a long-term palaeoclimate context. *J. Quatern. Sci.*, 25(2): 48-61.
- Cook B.I., Smerdon J.E., Seager R. and Coats S., 2014a. Global warming and 21st century drying. *Climate Dyn.*, 43: 2607-2627.
- Cook B.I., Smerdon J.E., Seager R. and Cook E.R., 2014b. Pancontinental droughts in North America over the last millennium. *J. Climate*, Vol. 27: 383-397.
- Cook B.I., Ault T.R., Smerdon J.E., 2015. Unprecedented 21st century drought risk in the American SW and Central Plains. *Science Advances*, DOI: 1.e1400082
- Cook E.R., Seager R., Kushnir Y., et al. (in all 57 researchers) 2015. Old World megadroughts and pluvials during the Common Era. *J. Sciences Advances*, Vol. 1: 1-9.
- Cook B.I., Anchukaitis K., Touchan R. et al., 2016. Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *J. Geophys. Research*, Vol. 121: 2060-2074.
- Dai A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3: 52-58.
- Diaz H.F., Trigo R., Hughes M., Mann M., Xoplaki E. and Barriopedro D., 2011. Spatial and temporal characteristics of climate in Medieval times revisited. *Am. Meteorol. Society*, 92: 1487-1500.
- FAO, Drought, 2013. *Land and Water*. Pp. 1-4.
- Gao X. and Giorgi F., 2008. Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing from high resolution simulations with a regional climate model. *Global Planet Change*, 62: 195-209.
- Garnier E., Assimacopoulos D. and van Lanen H.A.J. 2015. Historic droughts beyond the modern instrumental records: An analysis of cases in U.K., France, Rhine and Syros. *Technical Report 35, Fostering European Drought Research and Science-Policy Interfacing*, pp: 1-44.
- Giorgi F., 2006. Climate change hot spots. *Geophys. Resear. Letters*, 33: 1-4.
- Giorgi F. and Lionello P., 2008. Climate change projections for Mediterranean region. *Global and Planetary change*, 63: 90-104.
- Gleick P., 2014. Water, drought, climate change and conflict in Syria. *American Meteor. Society*, pp: 331-340.
- Gober P., Sampson D.A., Quay R. et al. 2016. Urban adaptation to megadrought: Anticipation water modeling, policy and planning for the urban Southwest. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 27: 497-504.
- Grove J.M. and Conterio A. 1995. The climate of Crete in the sixteenth and seventeenth centuries. *Climatic Change*, 30: 223-247.
- Grove J.M. 2004. *Little Ice Ages: Ancient and Modern*, (2 Volumes). Routledge, London, pp. 718.
- Hay W.W., DeConto R.M. and Wold Ch.N., 1997. *Climate: Is the past the key to the future?* *Geol. Rundsch*, Vol. 86: 471-491.
- Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J. et al. 2012. On the increased frequency of Mediterranean drought. *J. Climate.*, 25: 2146-2161.
- Hughes M.K., Kuniholm P.I., Eischeid J.K., Gregg G., Griggs C.B. and Latini C., 2001. Aegean tree-ring signature years explained. *Tree-Ring Research*, 57(1): 67-73.
- Hughes, Ph.D. 2014. Little Ice Age glaciers in the Mediterranean mountains. *J. of Mediterranean Geography*, 122: 63-79.
- Kelley C., Ting M., Seager R., et al. 2011. The relative contributions of radiative forcing and internal

- climate variability to the late 20th century winter drying of the Mediterranean region. *Climate dyn.*, 38: 2001-2015.
- Kuniholm P.I. and Striker C.L., 1987. Dendrochronological investigations in the Aegean and neighboring regions, 1983-1986. *J. Field Archaeol.*, 14: 385-398.
- Kuniholm P.I., 1990. Archeological evidence and non-evidence for climate change. *Phil. Trans. R. Soc. London, A* 330: 645-655
- Kuniholm P.I., Striker C.L., Criggs C.B. et al. 2001a+b. Tree-ring chronologies of *Pinus leucodermis* from: a) Grevena and b) Katara Pass areas of Greece.
- Langdon M., 1976. A sanctuary of Zeus on Mount Hymettos, Hesperia, Suppl. 16.
- Lucas H.S., 1930. The great European famine of 1315, 1316 and 1317. *Speculum*, 5(4): 343-377.
- Lunt D.J., Elderfield H., Pancost R., Ridgwell A. et al. 2013. Warm climates of the past – a lesson for the future? *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 371, doi: 10.1098/rsta.2013.0146
- Luterbacher J., Garcia-Herrera R. et al. (in all 45 researchers), 2011. A review of 2000 years of paleoclimatic evidence in the Mediterranean. In “The climate of the Mediterranean region”, edited by P. Lionello, pp: 87-185. Elsevier, Oxford.
- Matthews J.A. and Briffa K.R. 2005. The “Little Ice Age”: Re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler*, 87:17-36.
- Moriondo M., Good P., Durao R. et al. 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Reser.*, 31: 85-95.
- Μπαλούτσος Γ., Γκουντούφας Ε. και Αμοργιανιώτης Γ. 1993. Δενδροχρονολογία και εφαρμογές της στην υδρολογία. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 4(2): 33-44.
- Μπαλούτσος Γ., Γκουντούφας Ε. και Καϊμάκη Σ., 1993. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικών ξηρασιών στο λεκανοπέδιο Αττικής τα τελευταία 132 χρόνια. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, 4(2): 5-12.
- Nicault A., Alleaume S., Brewer S., and Carrer M. et al., 2008. Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Climate Dyn.*, Vol. 31: 227-245.
- Overpeck J., 2013. The challenge of hot drought. *Nature* 503: 350-351.
- Palmer W.C., 1965. Meteorological drought. US Weather Bureau. Research Paper No 45, Washington DC, pp. 58.
- Philandras C.M., Nastos P.T., Kapsomenakis J., Douvis K.C., Tselioudis G. and Zerefos C.S. 2011. Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 3235-3250.
- Repapis C.C., Schurmans C.J.E., Zerefos C.S. and Ziomas J., 1989. A note on the frequency of occurrence of severe winters as evidenced in monastery and historical records from Greece during the period 1200-1900 A.D. *Theor. Appl. Climatol.*, 39: 213-217.
- Roberts N., Moreno A., Valero-Garces B. et al. 2012. Paleolimnological evidence for an east-west climate see-saw in Mediterranean since A.D. 900. *Global and Planetary Change*, 84-85: 23-34.
- Schroter D., Cramer W., Leemans R. et al. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310: 1333-1337.
- Seager R., Herweiger C. and Cook E.R., 2011. The characteristics and likely causes of the Medieval megadroughts in North America. Lamont-Doherty Earth Observatory, the Earth Institute of Columbia University, pp: 1-9.
- Seager R, Liu H., Henderson N., Simpson I. et al. 2014. Causes of increasing aridification of the Mediterranean region in response to rising greenhouse gases. *J. Climate*, 27(12): 4655-4676.
- Stahle D.W., Fye F.K., Cook E.R. et al., 2007. Tree-ring reconstruction megadroughts over North America since A.D. 1300. *Climatic Change*, 83: 133-149.
- Τελέλης Ι., Χρυσός Ε. και Μεταξάς Δ., 1989. Οι μαρτυρίες των Βυζαντινών πηγών για το δομύ χειμώνα του έτους 763/4 μ.Χ. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας της Φιλοσοφικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων*, Τόμος ΙΗ', Τεύχ. 1: 105-127.
- Τελέλης Ι., 2004. Μετεωρολογικά φαινόμενα και κλίμα στο Βυζάντιο. Ακαδημία Αθηνών – Κέντρο Ερεύνης της Ελληνικής και Λατινικής Γραμματείας (Πονήματα αρ. 5, δύο τόμοι), σελ: XXVI – 923.
- Woodhouse C.A., 2003. Drought of the past, Implications for the future? In “The future of the Southern Plains”, Ed. By Sherry L.S., pp 95-113.
- Woodhouse C.A., Meko D.M., MacDonald G.M., Stahle D.W. and Cook E.R. 2010. A 1,200-year perspective of 21st century drought in SW North America. *Proc. Nat. Acad. Sciences*, 107 (50): 21283-21288.
- Woodhouse C.A., 2015. Drought planning: The long-term context. Drought Monitor Forum, Desert Research Institute, Western Regional Climate Center, April 14-15, Keynote, USA.
- Xoplaki E., Maheras P. and Luterbacher J. 2001. Variability of climate in Meridional Balkans during the periods 1675-1715 and 1780-1830 and its impact on human life. *Climatic Change*, 48: 581-615.

Ανάπτυξη και αξιολόγηση ενός μοντέλου ύψους-διαμέτρου της υβριδογενούς Ελάτης (*Abies borisii regis* Mattf.) στο Πανεπιστημιακό δάσος του Περτουλίου για διαχειριστικές και δασοκομικές εφαρμογές

Ζάγκας Θ. Δημήτριος¹, Ράπτης Ι. Δημήτριος¹, Ζάγκας Δ. Θεοχάρης²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας δοκιμάστηκαν τα κυριότερα τοπικού χαρακτήρα μη-γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης του ολικού ύψους ατόμων υβριδογενούς Ελάτης. Το δείγμα προέρχεται από την εγκατάσταση συνολικά 27 δειγματοληπτικών επιφανειών σε τέσσερα τμήματα, στο Πανεπιστημιακό δάσος του Περτουλίου. Με βάση συγκεκριμένα κριτήρια προσαρμογής επιλέχθηκε το πιο κατάλληλο τοπικό μοντέλο στο οποίο αναπτύχθηκε ένα μη γραμμικό μοντέλο μικτών επιδράσεων (nonlinear mixed effect model), με σκοπό την αντιμετώπιση της διακύμανσης μεταξύ των δειγματοληπτικών επιφανειών και την ακριβέστερη εκτίμηση του ολικού ύψους των δέντρων. Το μοντέλο μικτών επιδράσεων μείωσε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κατά 27,8% σε σχέση με το τοπικό μοντέλο, παρουσιάζοντας ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού ($R^2=0,92$). Σε τελικό στάδιο, το προτεινόμενο μοντέλο μικτών επιδράσεων δοκιμάστηκε σε ανεξάρτητα δεδομένα ατόμων μιας δειγματοληπτικής επιφάνειας εντός της περιοχής έρευνας με στόχο την αξιολόγηση των προβλέψεων σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές. Η ανάλυση έδειξε ότι με ελάχιστο δείγμα τεσσάρων ατόμων που καλύπτουν τις κυριότερες κλάσεις διαμέτρου σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των διαχειριστικών μελετών, το προτεινόμενο μοντέλο προβλέπει το ύψος των ατόμων μιας συστάδας με ικανοποιητική ακρίβεια, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ακριβέστερη εκτίμηση του ιστάμενου όγκου των δασών του Περτουλίου και στην ορθολογικότερη διαχείρισή του. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η Ελάτη αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα δασοπονικά είδη της χώρας, τότε η ανάπτυξη παρόμοιων μοντέλων πρόβλεψης του ύψους των δέντρων αναμένεται να συμβάλλει ποικιλοτρόπως σε ένα ευρύτερο διαχειριστικό και δασοκομικό πλαίσιο, για το λόγο ότι η συγκεκριμένη παράμετρος συνδέεται άμεσα με τη συνολική βιομάζα των δέντρων, την ποιότητα τόπου, τη δυναμική εξέλιξη της συστάδας και τη διαδοχή.

Λέξεις κλειδιά: Μοντέλα μικτών επιδράσεων, υβριδογενής Ελάτη, Περτούλι, δασική διαχείριση, δασοκομία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφαρμογή της δασικής διαχείρισης απαιτεί την χρήση συγκεκριμένων εργαλείων ή τεχνικών που απλοποιούν την όλη διαδικασία παρέχοντας σημαντικές και με ικανοποιητική ακρίβεια πληροφορίες, σχετικά με ιδιότητες των διαχειριζόμενων συστάδων. Η διάμετρος στο σθηθιαίο ύψος (1,30 μέτρα – d) όπως και το ολικό ύψος των δέντρων (h) αποτελούν δύο από τις κυριότερες μεταβλητές που συμπεριλαμβάνονται σε διαχειριστικές μελέτες και σχέδια (Vargas-Larreta *et al.* 2009). Η εκτίμηση της σθηθιαίας διαμέτρου σε συνθήκες πεδίου είναι μια σχετικά απλή διαδικασία που μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια, σε σχέση με την εκτίμηση του ύψους (Calama and Montero 2004). Η χρήση σύγχρονων συσκευών laser ή υπε-

ρήχων έχει μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο για τη μέτρηση του ύψους αλλά η όλη διαδικασία παραμένει αρκετά χρονοβόρα (Vargas-Larreta *et al.* 2009). Η εναλλακτική λύση μπορεί να βασιστεί στην ανάπτυξη ενός μοντέλου περιγραφής της σχέσης των δύο μεταβλητών, καθώς καμπύλες ύψους – διαμέτρου ($h-d$) έχουν χρησιμοποιηθεί από πληθώρα ερευνητών κατά το παρελθόν. Τα μοντέλα ύψους – διαμέτρου ($h-d$) χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, σε αυτά που χρησιμοποιούν ως μόνη ανεξάρτητη μεταβλητή τη διάμετρο των δέντρων και ονομάζονται τοπικά (*local*) και σε αυτά που βασίζονται στην εισαγωγή πρόσθετων χαρακτηριστικών της συστάδας (όπως το κυρίαρχο ύψος, η κυκλική επιφάνεια, ο αριθμός ατόμων στο εκτάριο και ο δείκτης της ποιότητας τόπου), τα οποία

¹ArsNatura, K. Καραμανλή 69, 54642 Θεσσαλονίκη, email: dimzagkas@gmail.com

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φ.Π., Εργαστήριο Δασοκομίας

ονομάζονται γενικά (*generalized*) (Soares and Tomi 2002). Οι Mehtätalo *et al.* (2015) χαρακτηρίζουν την πρώτη κατηγορία των μοντέλων ως απλά (*simple*) διατηρώντας τον ίδιο όρο για τη δεύτερη κατηγορία. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ερευνών που αξιολογούν την χρήση τοπικών μοντέλων ύψους-διαμέτρου (π.χ. Curtis 1967, Wykoff *et al.* 1982, Larsen and Hann 1987, Wang and Hann 1988, Huang *et al.* 1992, Garman *et al.* 1995, Moore *et al.* 1996, Zhang 1997, Fang and Bailey 1998, Peng 1999, Peng *et al.* 2001, Jayaraman and Zakrzewski 2001, Colbert *et al.* 2002, Diamantopoulou and Özçelik 2012, Ahmadi *et al.* 2013, Ige *et al.* 2013, Özçelik *et al.* 2014) γεγονός που φανερώνει την ευρεία αποδοχή τους. Ωστόσο, τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας έχουν τοπική ισχύ, ενώ η εισαγωγή μεταβλητών και η δημιουργία γενικών μοντέλων οδηγεί στην υπόθεση ότι συστάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά έχουν ίδιες καμπύλες ύψους - διαμέτρου (Mehtätalo *et al.* 2015). Επιπρόσθετα, τα δεδομένα που συνήθως προέρχονται από την εγκατάσταση δειγματοληπτικών επιφανειών αφορούν άτομα που σχετίζονται μεταξύ τους, παραβιάζοντας τη βασική συνθήκη της παλινδρόμησης που βασίζεται στη χρήση ανεξάρτητων παρατηρήσεων (Neter *et al.* 1990, Gregoire *et al.* 1995). Μία λύση για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων θα μπορούσε να δοθεί μέσα από την ανάπτυξη ενός μη γραμμικού μοντέλου για κάθε συστάδα, με περιορισμένη χρήση μόνο σε τοπικό επίπεδο. Ωστόσο, η μεταβλητότητα του τοπογραφικού ανάγλυφου των Ελληνικών δασών, ιδίως σε ορεινές περιοχές, σε συνδυασμό με τη διαπίστωση των van Laar and Akça (2007) της ελάχιστης απαιτούμενης μέτρησης 20-25 ατόμων ανά συστάδα για τη δημιουργία καμπυλών ύψους - διαμέτρου, κάνουν την συγκεκριμένη λύση ουσιαστικά ανέφικτη. Η ανάπτυξη μη γραμμικών μοντέλων μικτών επιδράσεων (*nonlinear mixed - effects models*) προσφέρει το βασικό πλαίσιο αντιμετώπισης του προβλήματος καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με επιτυχία (ε.γ. Lappi 1991, 1997, Hökkä 1997, Calama and Montero 2004, Robinson and Wykoff 2004, Mehtätalo 2004, 2015, Lynch *et al.* 2005, Castedo-Dorado *et al.* 2006, Sharma and Parton 2007, Trincado *et al.* 2007, Adame *et al.* 2008, Budhathoki *et al.* 2008, Vargas-Larreta *et al.* 2009, Coble and Lee 2011, Corral-Rivas *et al.* 2014, Crecente-Campo *et al.* 2014, Sharma and Breidenbach 2015, Sharma *et al.* 2016, Zang *et al.* 2016). Τα μοντέλα αυτού του τύπου αποτελούνται από δύο βασικά μέρη, αυτό των σταθερών επιδράσεων (*fixed effects*), το οποίο παρέχει

τη βασική πρόβλεψη όταν δεν υπάρχουν άλλα διαθέσιμα στοιχεία για μια συστάδα και αυτό των τυχαίων επιδράσεων (*random effects*), το οποίο προσαρμόζει τη μαθηματική σχέση σε τοπικό επίπεδο, μέσα από τη διαθεσιμότητα ενός μικρού μέρους πληροφορίας που αφορά τη σχέση ύψους - διαμέτρου.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μη γραμμικού μοντέλου μικτών επιδράσεων ύψους-διαμέτρου της υβριδογενούς Ελάτης τεσσάρων τμημάτων στο Πανεπιστημιακό δάσος του Περτουλίου. Σε δεύτερη φάση, οι προβλέψεις του προτεινόμενου μοντέλου αξιολογήθηκαν σε ανεξάρτητα δεδομένα μιας δειγματοληπτικής επιφάνειας που δεν συμμετείχε στην ανάπτυξή του. Έχοντας διαθέσιμη την πληροφορία που αφορά τέσσερα ζεύγη τιμών ύψους-διαμέτρου που αντιστοιχούν σε τέσσερις κλάσεις διαμέτρου, σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των διαχειριστικών μελετών, το προτεινόμενο μοντέλο αξιολογείται χρησιμοποιώντας το σενάριο της στρωματοποιημένης πληροφορίας του ύψους ανά κλάση διαμέτρου, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα Ελληνικά δεδομένα. Με δεδομένη την παραγωγική αξία των συγκεκριμένων δασών και την ανάγκη μιας ολοκληρωμένης δασικής διαχείρισης, μοντέλα τέτοιου τύπου αναμένεται να συμβάλουν στην ακρίβεια εκτίμησης του ιστάμενου όγκου και στον προσδιορισμό της εξέλιξης των συστάδων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Περιοχή έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη στα τμήματα 824, 210, 708 και 508 του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου το οποίο βρίσκεται στην Κεντρική Πίνδο στο Νομό Τρικάλων. Εκτείνεται μεταξύ των ορεινών όγκων «Κόζιακα» (1.901 μ.) και «Μπουντούρα» (2.067 μ.), με το γεωγραφικό πλάτος να κυμαίνεται από 39°32' - 39°35' και το γεωγραφικό μήκος από 21°33' - 21°38'. Το υπερθαλάσσιο ύψος παρουσιάζει διακυμάνσεις από 1.100 - 1.700 μ. περίπου. Σύμφωνα με το ισχύον Διαχειριστικό Σχέδιο του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου (Τ. Δ. Δ. Π. Δ. 2008), ισχύος 2009 - 2018, η έκτασή του ανέρχεται σε 3.296,59 ha, εκ των οποίων τα 2.361,83 ha αποτελούνται από δασοσκεπείς και μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις, τα 168,22 ha είναι γυμνές και άγονες εκτάσεις ενώ οι οικισμοί, αγροί, υποδομές κλπ καταλαμβάνουν έκταση 68,83 ha. Από τις υπάρχουσες μεθόδους δειγματοληψίας επιλέχθηκε η συστηματική για το λόγο ότι η τοποθέτηση των δειγματοληπτικών μονάδων στο πεδίο γίνεται με εύκολο τρόπο, ενώ υπάρχει η γενικότερη πεποίθηση ότι μια

οργανωτική κατανομή δειγματοληπτικών μονάδων θα οδηγήσει σε ακριβέστερες εκτιμήσεις (Freese 1962). Τοποθετήθηκε στο σύνολο του πανεπιστημιακού δάσους κανάβος (grid) με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS που αντιπροσώπευε το συγκεκριμένο ποσοστό δειγματοληψίας και την επιλογή τυχαίου σημείου ως αρχής του κανάβου (random point). Κάθε σημείο του κανάβου αντιπροσώπευε δυνητικά τη θέση δειγματοληψίας ανά δασικό τμήμα. Συνολικά εγκαταστάθηκαν 28 δειγματοληπτικές επιφάνειες οι οποίες διαχωρίστηκαν σε δύο μέρη: το πρώτο μέρος αποτελούμενο από 27 δειγματοληπτικές επιφάνειες χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου, ενώ το δεύτερο μέρος αποτελούμενο από 1 δειγματοληπτική επιφάνεια (ΔΕ7) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγησή του. Εντός των δειγματοληπτικών επιφανειών προσδιορίστηκε το ύψος, με τη χρήση αναλογικού υψομέτρου, και η σθηθιαία διάμετρος του κάθε ατόμου. Το συνολικό δείγμα συμπεριέλαβε σε συνολικά 1125 ζευγάρια τιμών ύψους – διαμέτρου, εκ των οποίων τα 1074 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του και τα 51 για την αξιολόγησή του. Τα περιγραφικά στοιχεία του δείγματος παρουσιάζονται στον πίνακα Ι.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία της έρευνας ακολούθησε αυτή των Corral-Rivas *et al.* (2014). Σε πρώτο στάδιο επιλέχθηκε ένας αριθμός απλών μοντέλων ύψους-διαμέτρου τα οποία προσαρμόστηκαν στα πρωτογενή δεδομένα. Στη συνέχεια, το μοντέλο που παρουσίασε την καλύτερη προσαρμογή αποτέλεσε τη βάση ανάπτυξης ενός μη γραμμικού μοντέλου μικτών επιδράσεων η αξιολόγησή του οποίου έγινε με τη χρήση σεναρίου υπάρχουσας πληροφορίας. Η ανάλυση στηρίχθηκε στη χρήση του στατιστικού πακέτου R και τη συνδυασμένη εφαρμογή των βιβλιοθηκών *nls* για την αξιολόγηση των μη-γραμμικών μοντέλων, *nlme* (R Development Core Team 2011, Pinheiro and Bates 2000) για την ανάπτυξη του μοντέλου μικτών επιδρά-

σεων και *lmtree* για τη σύγκρισή τους.

Προσαρμογή τοπικών (local) μοντέλων

Πέντε βασικά μοντέλα επιλέχθηκαν ως υποψήφια για την περιγραφή της σχέσης ύψους – διαμέτρου:

Μη γραμμικά μοντέλα 2 παραμέτρων

α) *Näslund* (*Näslund 1937*) – (M1):

$$h = 1,3 + d^2 / (ad + b)^2$$

β) *Meyer* (*Mayer 1940*) – (M2):

$$h = 1,3 + a(1 - \exp(-bd))$$

Μη γραμμικά μοντέλα 3 παραμέτρων

α) *Richards* (*Richards 1959*) – (M3):

$$h = 1,3 + a[1 - \exp(-cd)]^b$$

β) *Gompertz* (*Winsor 1932*) – (M4):

$$h = 1,3 + a \exp[-b \exp(-cd)]$$

γ) *Weibull* (*Yang et al. 1978*) – (M5):

$$h = 1,3 + a[1 - \exp(-cd^b)]$$

όπου h = ύψος του δέντρου (m), d = έμφλοια σθηθιαία διάμετρος (cm)

a, b, c = παράμετροι παλινδρόμησης

Οι παράμετροι των μη γραμμικών εξισώσεων εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (least squares procedure) (*Sharma 2009*). Η προσαρμογή των μοντέλων αξιολογήθηκε με βάση τα παρακάτω κριτήρια (*Huang et al. 1992, Sharma 2009*):

1) Οι τιμές των εκτιμώμενων παραμέτρων θα πρέπει να είναι στατιστικά διαφορετικές του μηδενός ($p < 0,05$).

2) Τη Ρίζα του Μέσου Τετραγώνου του Σφάλματος (Root Mean Squared Error – RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p}}$$

3) Το κριτήριο του Akaike (AIC):

$$AIC = -2 \ln(L) + 2p$$

4) Το συντελεστή προσδιορισμού (R^2 – coefficient of determination):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2}$$

Πίνακας Ι. Περιγραφικά χαρακτηριστικά του συνολικού δείγματος

Table I. Descriptive statistics of the total sample

Είδος	N	Μεταβλητές	mean	max	min	Std.dev
<i>Abies borisii regis</i>	1074	Ύψος	13,06	30,0	2,0	6,09
(ανάπτυξης μοντέλου)		Διάμετρος	24,11	85,0	4,0	16,98
<i>Abies borisii regis</i>	51	Ύψος	7,72	16,0	2,0	4,64
(ΔΕ7-στάθμισης μοντέλου)		Διάμετρος	15,27	44,0	4,0	10,77

Όπου h_i , \hat{h}_i και \bar{h}_i οι τιμές των παρατηρούμενων, των προβλεπόμενων και των μέσων τιμών του ύψους της i παρατήρησης, n ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων που έγιναν κατά την προσαρμογή του μοντέλου, p ο αριθμός των παραμέτρων του και L η πιθανοφάνειά του.

5) Την κατανομή των υπολοίπων σε σχέση με το προβλεπόμενο ύψος. Σε γενικές γραμμές, η κατανομή των τυπικών σφαλμάτων θα πρέπει να παρουσιάζει ομογενοποιημένη διακύμανση σε όλο το εύρος των θεωρητικών τιμών.

Ανάπτυξη μοντέλου μικτών επιδράσεων

Πολλαπλές μετρήσεις που προέρχονται από τις ίδιες δειγματοληπτικές επιφάνειες δεν χαρακτηρίζονται από ανεξαρτησία και ως εκ τούτου σχετίζονται μεταξύ τους (Sharma and Parton 2007). Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να προσφέρει η προσαρμογή μικτών μοντέλων, όπου η μεταβλητότητα μεταξύ των δειγματοληπτικών μονάδων μπορεί να υποκατασταθεί από την εισαγωγή τυχαίων παραμέτρων, ταυτόχρονα με την εκτίμηση των σταθερών παραμέτρων (Lappi 1997, Calama and Montero 2004). Η γενική μαθηματική έκφραση των μη γραμμικών μικτών μοντέλων δίνεται από τον παρακάτω τύπο (Sharma and Parton 2007):

$$y_{ij} = f(\Phi_i, x_{ij}) + e_{ij}$$

όπου y_{ij} είναι η j παρατήρηση (δέντρο) της εξαοτημηνής μεταβλητής που εκτιμήθηκε στην i δειγματοληπτική επιφάνεια, x_{ij} είναι η j παρατήρηση της ανεξάρτητης μεταβλητής που εκτιμήθηκε στην i δειγματοληπτική επιφάνεια, Φ_i είναι το διάνυσμα των παραμέτρων $r \times I$ (όπου r ο αριθμός των παραμέτρων του μοντέλου) που είναι καθορισμένοι σε κάθε επιφάνεια, f η γραμμική ή η μη γραμμική εξίσωση που συνδέει την ανεξάρτητη μεταβλητή με το διάνυσμα των παραμέτρων, ενώ η ποσότητα e_{ij} αντιπροσωπεύει το σύνολο των υπολοίπων. Σε μορφή διανύσματος:

$$y_i = f(\Phi_i, x_i) + e_i$$

όπου y_i το $(n_i \times I)$ διάνυσμα που συμπεριλαμβάνει το σύνολο των παρατηρήσεων της εξαοτημηνής μεταβλητής, x_i το $(n_i \times I)$ διάνυσμα του συνόλου της ανεξάρτητης μεταβλητής στη i δειγματοληπτική επιφάνεια και e_i το $(n_i \times I)$ διάνυσμα των υπολοίπων. Το κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων μικτών επιδράσεων είναι η δυνατότητα τυχαίας μεταβολής των παραμέτρων μεταξύ των δειγματοληπτικών επιφανειών. Ως εκ τούτου, οι παράμετροι της παλινδρόμησης μπορούν να διασπαστούν σε δύο μέρη, ένα σταθερό για όλο τον πληθυσμό (fixed part) και ένα τυχαίο (random part)

που είναι συγκεκριμένο σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια (Sanchez-Gonzalez *et al.* 2007). Στην περίπτωση αυτή, το διάνυσμα των παραμέτρων ορίζεται ως (Pinheiro and Bates 1998):

$$\Phi_i = A_i \lambda + B_i b_i$$

Όπου λ είναι το $p \times I$ διάνυσμα των σταθερών παραμέτρων, b_i το $q \times I$ διάνυσμα των τυχαίων παραμέτρων που αναφέρονται στην i δειγματοληπτική επιφάνεια, ενώ τα A_i και B_i αντιπροσωπεύουν ένα μοντέλο ενός πίνακα τιμών μεγέθους $r \times p$ και $r \times q$ αντίστοιχα για τις σταθερές και τις τυχαίες μεταβλητές της κάθε επιφάνειας.

Μία βασική αρχή των μοντέλων μικτών επιδράσεων θεωρεί ότι το διάνυσμα των υπολοίπων (e_i) και το διάνυσμα των τυχαίων επιδράσεων (b_i) δεν σχετίζονται, ακολουθώντας κανονική κατανομή με μέσο όρο ίσο με μηδέν και με πίνακες διακύμανσης-συνδιακύμανσης R_i και D αντίστοιχα (Yang and Huang 2013), π.χ. $b_i \sim N(0, D)$ και $e_i \sim N(0, R_i)$. Παράλληλα, το διάνυσμα των υπολοίπων αναφέρεται στη μεταβλητότητα μεταξύ των παρατηρήσεων μιας δειγματοληπτικής επιφάνειας ενώ το διάνυσμα των τυχαίων επιδράσεων σε αυτή μεταξύ των επιφανειών (Littell *et al.* 1996). Η γενική μορφή του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης R_i που συμπεριλαμβάνει επιδράσεις συσχέτισης και συντελεστές στάθμησης για την ομαλοποίηση της διακύμανσης του σφάλματος, δίνεται από τον τύπο

$$R_i = \sigma_e^2 G_i^{0.5} \Gamma_i G_i^{0.5}$$

όπου για δεδομένη δειγματοληπτική επιφάνεια i με n_i ζεύγη τιμών ύψους - διαμέτρου, το G_i αντιπροσωπεύει σε διαγώνιο πίνακα $n_i \times n_i$ που περιγράφει την ετερογένεια της διακύμανσης συμπεριλαμβάνοντας τις τυπικές αποκλίσεις των υπολοίπων, το Γ_i αντιπροσωπεύει πίνακα $n_i \times n_i$ της συσχέτισης μεταξύ των παρατηρήσεων της δειγματοληπτικής επιφάνειας i και σ_e^2 είναι ο συντελεστής στάθμησης της κατανομής του σφάλματος (Gregoire *et al.* 1995).

Ένα σημαντικό ζήτημα κατά την ανάπτυξη των μικτών μοντέλων είναι το ποιοι παράμετροι θα θεωρηθούν σταθεροί και ποιοι μικτοί (σταθεροί και τυχαίοι). Σύμφωνα με τους Pinheiro and Bates (2000), σε αρχικό στάδιο θα πρέπει να θεωρηθεί ότι όλοι οι παράμετροι συμπεριλαμβάνουν ένα τυχαίο τμήμα, ενώ σε δεύτερο στάδιο διαφορετικοί συνδυασμοί μπορούν να δοκιμαστούν με βάση συγκεκριμένα κριτήρια καλής προσαρμογής των σχηματισμένων μοντέλων (RMSE, R^2 , και AIC). Η στατιστική σηματικότητα του κάθε μοντέλου ελέγχθηκε με την εκτίμηση του λογάριθμου του λόγου των πιθανοφανεσιών

(likelihood ratio test) και το κριτήριο AIC (Adamec and Drapela 2016).

Στάθμιση

Το πλεονέκτημα των μοντέλων μικτών επιδράσεων έγκειται στην ικανότητά τους να προβλέπουν την εξαρτημένη μεταβλητή μέσα από την παρακάτω διαδικασία (Sharma and Parton 2007):

1) Χρησιμοποιώντας τις τιμές των σταθερών παραμέτρων, υποθέτοντας ότι η τιμή των τυχαίων είναι ίση με 0, όταν δεν υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες (παρατηρήσεις ύψους – διαμέτρου) για μία περιοχή.

2) Σταθμίζοντας τις τιμές των τυχαίων παραμέτρων όταν είναι διαθέσιμο τμήμα της πληροφορίας (ξευγάρια παρατηρήσεων) της εξαρτημένης μεταβλητής.

Έστω ότι έχει μετρηθεί η διάμετρος και το ύψος ενός μικρού δείγματος k ατόμων σε μια δασική περιοχή ώστε να γίνεται εφικτή η πρόβλεψη του διανύσματος τυχαίων επιδράσεων (b_i) σε επίπεδο δειγματοληπτικής επιφάνειας (Castedo-Dorado *et al.* 2006). Στην περίπτωση αυτή η εκτίμηση του b_i μπορεί να γίνει με βάση τον παρακάτω μαθηματικό τύπο (Vonesh and Chinchilli 1997):

$$\hat{b}_i \approx \bar{D} \bar{Z}_i^T (\bar{R}_i + \bar{Z}_i \bar{D} \bar{Z}_i^T)^{-1} \hat{e}_i$$

όπου \bar{D} ο $q \times q$ πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης (όπου q ο αριθμός των τυχαίων παραμέτρων που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο) μεταξύ των δειγματοληπτικών επιφανειών, ο οποίος αναφέρεται στο σύνολο τους και προσδιορίζεται κατά τη γενική προσαρμογή του μοντέλου, \bar{R} ο $k \times k$ πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης μεταξύ των παρατηρήσεων εντός των δειγματοληπτικών επιφανειών και \hat{e}_i ο πίνακας $k \times 1$ των υπολοίπων, του οποίου τα επιμέρους τμήματα (\hat{e}_{ij}) προκύπτουν από τη διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών του ύψους του j δέντρου

που συμπεριλαμβάνεται στο διαθέσιμο δείγμα (h_{ij}) και των προβλέψεων του μοντέλου χρησιμοποιώντας μόνο τις τιμές των σταθερών επιδράσεων:

$$\hat{e}_{ij} = h_{ij} - f(\Phi_i, d_{ij})$$

Ως Φ_i ορίζεται η ποσότητα $A_i \lambda$ συμπεριλαμβάνοντας μόνο το τμήμα του διανύσματος των σταθερών παραμέτρων, ενώ \bar{Z}_i ο $k \times q$ πίνακας που προσδιορίζεται ως προς λ (Calama and Montero 2004):

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f(x_{i1}, \Phi_i)}{\partial \lambda_1} & \dots & \frac{\partial f(x_{i1}, \Phi_i)}{\partial \lambda_q} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f(x_{ik}, \Phi_i)}{\partial \lambda_1} & \dots & \frac{\partial f(x_{ik}, \Phi_i)}{\partial \lambda_q} \end{bmatrix}$$

Ως $\lambda_1, \dots, \lambda_q$ ορίζονται τα σταθερά μέρη των παραμέτρων του διανύσματος των μικτών επιδράσεων, λ και x_{ij} είναι το διάνυσμα των ανεξάρτητων μεταβλητών (διαμέτρων) που αντιστοιχεί στην παρατήρηση (δέντρο) j που εκτιμήθηκε στη i δειγματοληπτική επιφάνεια του επιμέρους δείγματος. Μετά την εκτίμηση του \hat{b}_i η τιμή του διανύσματος των υψών \hat{h}_i που αντιστοιχεί στη i επιφάνεια γίνεται με βάση την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$\hat{h}_i = f(\Phi_i, d_i) + e_i$$

$$\Phi_i = \begin{bmatrix} \hat{a}_i \\ \hat{\beta}_i \end{bmatrix} = A_i \lambda + B_i \hat{b}_i$$

Για την εκτίμηση του ελάχιστου απαιτούμενου αριθμού παρατηρήσεων για τη διαδικασία της στάθμισης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω σενάρια με βάση τα οποία έγινε σύγκριση σε σχέση με την ακρίβεια του τοπικού μοντέλου, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τη Ρίζα του Μέσου Τετραγώνου του Σφάλματος (RMSE):

1. Χωρίς προηγούμενη παρατήρηση ύψους-διαμέτρου
2. Με δεδομένη (1) τυχαία παρατήρηση από μια δειγματοληπτική επιφάνεια
3. Με (2) τυχαίες παρατηρήσεις από δύο κλάσεις διαμέτρου μιας δειγματοληπτικής επιφάνειας
4. Με (3) τυχαίες παρατηρήσεις από τρεις κλάσεις διαμέτρου μιας δειγματοληπτικής επιφάνειας

Πίνακας II. Τιμές παραμέτρων παλινδρόμησης και κριτήρια προσαρμογής των πέντε μη γραμμικών μοντέλων
Table II. Estimated parameters and fitting statistics of the five local models

Μοντέλο	Παράμετροι παλινδρόμησης			Κριτήρια προσαρμογής		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i> ²	<i>AIC</i>
M ¹	0,181234	2,166997	-	2,28449	0,859169	4828,435
M ²	25,93000	0,029550	-	2,293357	0,858074	4836,756
M ^γ	24,257035	1,139835	0,037341	2,284072	0,859221	4830,041
M ^ε	22,246104	2,367531	0,063529	2,321785	0,854534	4865,218
M ^ο	24,045008	1,088103	0,025428	2,285005	0,859106	4830,919

*the asymptotic t-statistic for the parameter is not significant at the 0,05 level

5. Με (4) τυχαίες παρατηρήσεις ανα κλάση διαμέτρου σε μια δειγματοληπτική επιφάνεια
 Η τυχαιότητα των επιλογών εξασφαλίστηκε με την εντολή *data sampling* του λογισμικού XLSTAT.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αξιολόγηση τοπικών μοντέλων

Στον πίνακα II παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσαρμογής των τοπικών μοντέλων στο συνολικό δείγμα. Από τα αποτελέσματα του πίνακα II γίνεται φανερό η καλή προσαρμογή των μοντέλων ως προς τα ανεξάρτητα στοιχεία του δείγματος. Η ανεξάρτητη μεταβλητή της διαμέτρου εξηγεί σχεδόν το 86% της συνολικής διακύμανσης του ύψους. Παράλληλα, όλοι οι παράμετροι των παλινδρομήσεων είναι στατιστικά διαφορετικοί του μηδενός ($p < 0,01$), όπως προκύπτει από τον έλεγχο του t-κριτηρίου. Η ανάλυση των υπολοίπων της πρόβλεψης σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές δεν έδειξε κάποια σημαντική τάση, με τη διακύμανση να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το εύρος των τιμών. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, την καλύτερη προσαρμογή παρουσιάζει το μοντέλο M3 τύπου Richards (Richards 1959). Η τελική μορφή του είναι η παρακάτω:

$$h = 1,3 + 24,257035[1 - \exp(-0,037341d)]^{1,139835} \quad (1)$$

Πολύ καλή προσαρμογή ωστόσο παρουσίασε και το μοντέλο M1 το οποίο χρησιμοποιεί 2 μόνο παραμέτρους.

Ανάπτυξη μοντέλου μικτών επιδράσεων

Η γενική μορφή του παραπάνω μοντέλου (M3) δίνεται από τον μαθηματικό τύπο:

$$h = 1,3 + a[1 - \exp(-cd)]^b$$

Σε πρώτο στάδιο θεωρήθηκε ότι όλοι οι παράμετροι (a, b, c) συμπεριλαμβάνουν τυχαίο τμήμα αλλά το μοντέλο δεν πέτυχε σύγκλιση στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών. Ως δεύτερο βήμα, οι παράμετροι μειώθηκαν σταδιακά μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Όλα τα μοντέλα του συγκεκριμένου τύπου, με δύο τυχαίες παραμέτρους πέτυχαν σύγκλιση και συγκρίθηκαν μεταξύ τους με βάση το κριτήριο Akaike (Sharma and Parton 2007). Ως εκ τούτου, η τελική μορφή του μοντέλου είναι η παρακάτω:

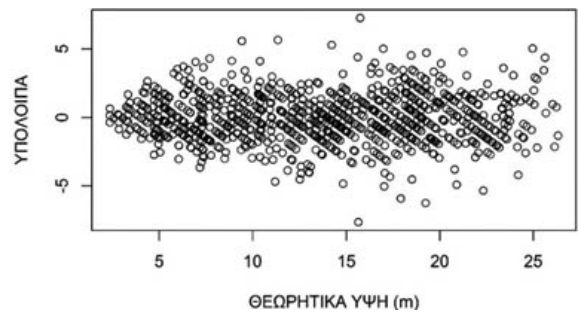
$$h = 1,3 + (a + u_1)[1 - \exp(-(c + u_2)d)]^b$$

όπου a, b, c οι σταθεροί παράμετροι του μοντέλου κοινοί για το σύνολο των επιφανειών και u_1, u_2 οι τυχαίοι παράμετροι που έχουν διαφορετική τιμή για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια. Το τελικό μικτό μοντέλο παρουσίασε καλύτερη προσαρμογή σε σχέση με το μοντέλο M3, με βάση το κριτήριο του λόγου των πιθανοφαιών (likelihood ratio test: $p < 0,001$, AIC = 4351,368). Οι τιμές των παραμέτρων, οι διακυμάνσεις

Πίνακας III. Προσαρμογή του τοπικού μη-γραμμικού μοντέλου και του μοντέλου μικτών επιδράσεων

Table III. Fitting statistics obtained for the local and the mixed effect model

Σταθερή παράμετρος (Fixed effect)	Μοντέλο M3	Μοντέλο μικτών επιδράσεων
a	24,257035	22,255668
b	1,139835	1,671938
c	0,037341	0,060161
Τυχαία παράμετρος (Random effect) διακύμανση – συνδιακύμανση		
$var(u_1)$	-	3,936066
$var(u_2)$	-	0,024447
$cov(u_1, u_2)$	-	-0,893
$\sigma^2(\text{error variance})$	5,221748	1,686691
Κριτήρια Προσαρμογής		
RMSE	2,284072	1,648005
R^2	0,859221	0,926711
AIC	4830,041	4351,368
p -value	-	$p < 0,001$



Εικόνα 1. Διάγραμμα διασποράς των υπολοίπων των παρατηρούμενων τιμών ως προς τις θεωρητικές τιμές των υψών του μοντέλου μικτών επιδράσεων

Figure 1. Scatter plot of raw residuals against predicted height values of mixed effect model.

– συνδιακυμάνσεις των τυχαίων παραμέτρων και τα κριτήρια προσαρμογής παρουσιάζονται στον πίνακα III.

Η υπόθεση της σταθερής διασποράς των υπολοίπων του προτεινόμενου μοντέλου μικτών επιδράσεων, δηλαδή της διαφοράς των πραγματικών υψών σε σχέση με τις προβλεπόμενες τιμές, έγινε με γραφικό τρόπο, παραθέτοντας τις τιμές των υπολοίπων ως προς τις αντίστοιχες προβλεπόμενες (θεωρητικές) τιμές (εικόνα 1).

Πρόβλεψη ύψους νέων παρατηρήσεων

Τα αντίστοιχα ύψη ενός νέου δείγματος διαμέτρων της περιοχής έρευνας μπορούν να εκτιμηθούν με τη χρήση μόνο των σταθερών παραμέτρων του μοντέλου ή προσθέτοντας τα τυχαία τμήματα των παραμέτρων που έχουν υπολογιστεί από προηγούμενες παρατηρήσεις. Ως εκ τούτου, αξιολογήθηκε η ακρίβεια του μοντέλου που βασίζεται στη χρήση μόνο των σταθερών παραμέτρων και η ακρίβεια που προκύπτει από τον υπολογισμό των τυχαίων παραμέτρων με βάση ένα τυχαίο προδείγμα ενός, δύο, τριών και τεσσάρων παρατηρήσεων ύψους-διαμέτρου, από μία δειγματοληπτική επιφάνεια που συμπεριλαμβάνει συνολικά 51 νέες παρατηρήσεις. Η ακρίβεια του μοντέλου βασίστηκε στο κριτήριο της ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE), ενώ τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα IV.

Ως ελάχιστο δυνατό σφάλμα (RMSE) θεωρήθηκε αυτό που προέκυψε από την προσαρμογή του τοπικού μοντέλου (τύπου Richards) στο σύνολο μόνο των ατόμων της δειγματοληπτικής επιφάνειας που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση (ΔΕ7), σύμφωνα με την παρακάτω μαθηματική έκφραση (2):

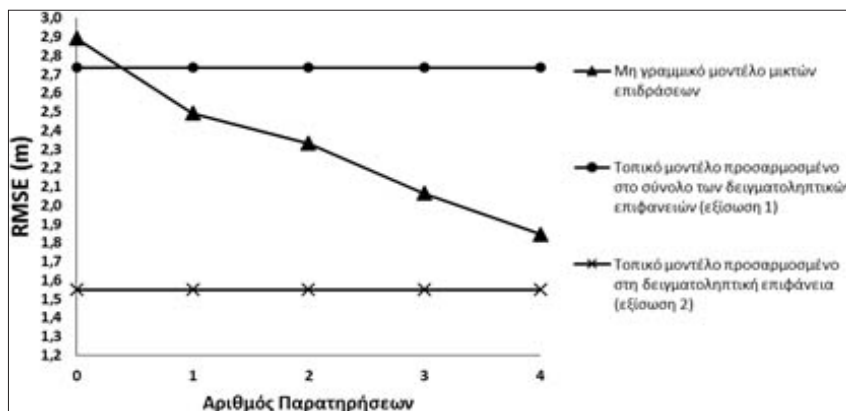
$$h = 1,3 + 14,57267 [1 - \exp(-0,0909d)]^{2,25435} \quad (2)$$

(RMSE = 1,549376, R² = 0,886179, AIC = 197,3926, p < 0,001)

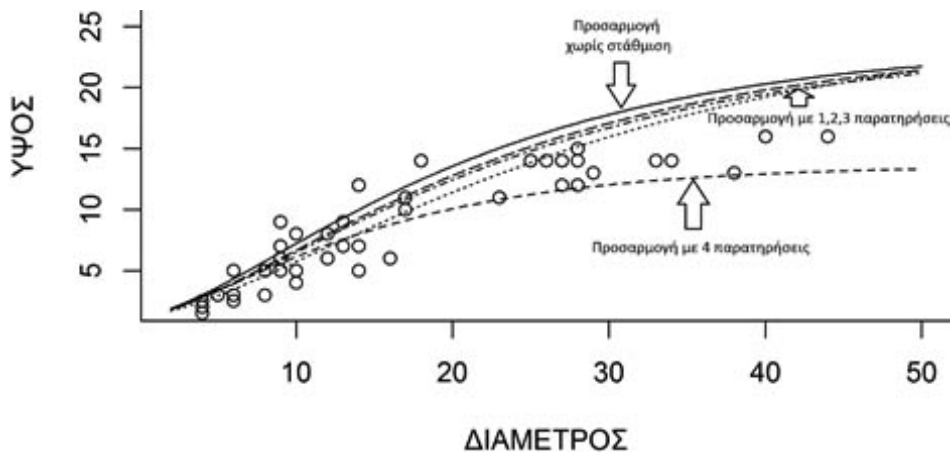
Πίνακας IV. Απόλυτη και εκατοστιαία μεταβολή του μέσου τετραγώνου του σφάλματος σύμφωνα με το μέγεθος του δείγματος

Table IV. RMSE reduction among different subsample size

Μέγεθος προδείγματος	RMSE	%RMSE μείωση
Χωρίς προηγούμενη παρατήρηση (σταθεροί συντελεστές)	2,892008	-
Μία παρατήρηση ζεύγους ύψους-διαμέτρου	2,491844	13,83
Δύο παρατηρήσεις ύψους-διαμέτρου	2,331718	19,37
Τρεις παρατηρήσεις ύψους-διαμέτρου	2,064707	28,61
Τέσσερις παρατηρήσεις ύψους διαμέτρου	1,845419	36,19

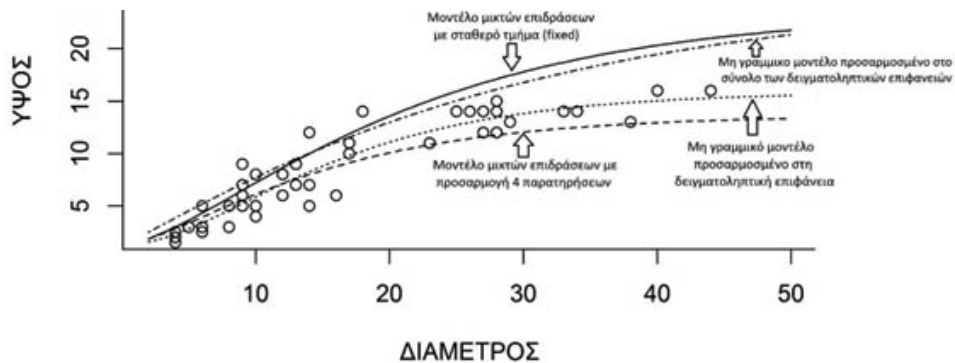


Εικόνα 2. Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του σφάλματος μετά από αλλαγή του μεγέθους του δείγματος και των διαφορετικών μοντέλων παλινδρόμησης **Figure 2.** Graphical representation of RMSE reduction according to subsample size and different regression models



Εικόνα 3. Καμπύλες πρόβλεψης ύψους-διαμέτρου του μη γραμμικού μοντέλου μικτών επιδράσεων M3 βασιζόμενο σε διαφορετικό μέγεθος δείγματος (παρατηρήσεων)

Figure 3. Height-diameter performance of M3-based mixed effect model according to different subsample observations.



Εικόνα 4. Προσαρμογή των διαφορετικών καμπυλών πρόβλεψης ως προς το ανεξάρτητο δείγμα της ΔΕ7

Figure 4. Height-diameter performance of the models tested against independent data of ΔΕ7 sample plot.

έχει υποστηριχθεί και από τους παραπάνω ερευνητές. Στην περίπτωση που αξιολογηθεί για το σύνολο του δείγματος όλων των δειγματοληπτικών επιφανειών, το σφάλμα ανέρχεται σε 2,38 μέτρα, απόδοση που μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέτρια ικανοποιητική και ως εκ τούτου θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο ως τελική λύση.

Το μοντέλο τύπου Richards, παρουσίασε την καλύτερη προσαρμογή σε άλλες παρόμοιες έρευνες (π.χ. Corral-Rivas *et al.* 2014), ενώ η προσέγγιση της τυχαιοποίησης των συγκεκριμένων δύο παραμέτρων έχει συμπεριληφθεί στις έρευνες των Sharma and Parton (2007), Vargas-Larreta *et al.* (2009) και των Corral-Rivas *et al.* (2014). Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο M1 (Näslund 1937) αποτελούμενο από δύο παραμέτρους μόνο, καθώς παρουσίασε πολύ καλή προσαρμογή στο σύνολο

των δεδομένων των δειγματοληπτικών επιφανειών σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα II.

Η εφαρμογή μικτού μοντέλου, σε παρατηρήσεις που προέρχονται από ανεξάρτητη δειγματοληπτική επιφάνεια (ΔΕ7) και με υποτιθέμενη ύπαρξη πληροφορίας τεσσάρων παρατηρήσεων, μείωσε το σφάλμα κατά 34,2% σε σχέση με το τοπικό μοντέλο που προσαρμόστηκε στο σύνολο των δειγματοληπτικών επιφανειών (M3), αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους σε δεδομένα που προέρχονται από τον ελληνικό χώρο. Σε συνολικό επίπεδο και σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα III, το μοντέλο μικτών επιδράσεων μείωσε το σφάλμα κατά 27,8% ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού ανήλθε σε 0,927. Ωστόσο, αντικείμενο περεταίρω έρευνας μπορεί να αποτελέσει η αύξηση του μεγέθους του προδείγματος και οι διάφοροι συνδυασμοί παρατηρήσεων εισάγο-

ντας συγκεκριμένα δενδρομετρικά χαρακτηριστικά όπως το κυρίαρχο ύψος, την ελάχιστη διάμετρο κτλ. Με δεδομένη την εκτίμηση της στηθιαίας διαμέτρου κατά τη σύνταξη των διαχειριστικών μελετών γίνεται εφικτός ο υπολογισμός του ύψους όλων των ατόμων που συμμετείχαν στη δειγματοληψία, προσφέροντας τη δυνατότητα σύνδεσης με μαζοπίνακες διπλής εισόδου, με αποτέλεσμα τον ακριβή προσδιορισμό του ιστάμενου όγκου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη έρευνα αναπτύχθηκε ένα μοντέλο ύψους-διαμέτρου μικτών επιδράσεων για συγκεκριμένα τμήματα του Πανεπιστημιακού δάσους του Περτουλίου που ενισχύει την ακρίβεια των εκτι-

μήσεων, απαιτώντας ένα ελάχιστο μέγεθος πληροφορίας που μπορεί να ανακτηθεί από τη διαχειριστική έκθεση. Σύμφωνα με τα γραφήματα των εικόνων 2,3 και 4, τα μοντέλα μικτών επιδράσεων παρουσίασαν πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά τη μείωση του σφάλματος της παλινδρόμησης μέσα από τη χρήση ενός μικρού μόνο δείγματος παρατηρήσεων ύψους-διαμέτρου. Η ανάγκη διαθεσιμότητας ενός μικρού δείγματος για στάθμιση αποτελεί το μεγαλύτερο μειονέκτημα των μοντέλων μικτών επιδράσεων, που όμως γίνεται να ξεπεραστεί μέσα από τη δομή της πληροφορίας που περιέχεται στις διαχειριστικές μελέτες. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη παρόμοιων τεχνικών στο σύνολο των διαχειριζόμενων δασών αναμένεται να ενισχύσει την αιφορική διαχείρισή τους.

Development and evaluation of a height-diameter model of bulgarian fir at university forest of Pertouli for forest management and silvicultural applications

Zagkas Th. Dimitrios¹, Raptis I. Dimitrios¹, Zagkas D. Theocharis²

ABSTRACT

In the frame of the current research a number of local nonlinear height-diameter models were fitted and compared, in an effort to predict accurately the total height of *Abies borisii regis* natural stands. The analysis was based on a total sample of 27 non-permanent sampling plots, which was distributed across five main sectors at the University forest of Pertouli. Based on specific performance criteria, the best local model was selected in terms of predictive ability. Due to the nested structure of the sampling units, a nonlinear mixed effect (NLME) model was developed, by setting as basis the selected local model. The non-linear mixed effect model reduced Root Mean Squared Error by 27,8%, compared to the local ordinary least squares model. At a final stage, the proposed mixed effect model was tested on independent data of one sampling unit, in an effort to evaluate its predictive ability. The analysis showed that a minimum sample of four observations is sufficient for height prediction of standing trees, forming a valuable tool for forest management applications and silvicultural interventions, since tree height is closely linked with some important stand characteristics such as volume, site index and growth dynamics.

Key words: Mixed effect models, Macedonian fir, Pertouli, forest management, silviculture

¹ArsNatura, K. Karamanli 69, 54642 Thessaloniki, email: dimzagkas@gmail.com

²Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry & the Natural Environment, Laboratory of Silviculture

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adame, P., del Río, M. and Cañellas, I. 2008. A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management* 256:88-98.
- Adamec, Z. and Drápela, K. 2016. Comparison of parametric and nonparametric methods for modeling height-diameter relationships. *iForest* 10:1-8.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksaraei, M.T. and Aertsen, W. 2013. Non-linear height-diameter models for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 17: 431-440.
- Budhathoki, C.B., Lynch, T.B. and Guldin, J.M. 2008. A Mixed-Effects Model for the dbh-Height Relationship of Shortleaf Pine (*Pinus echinata* Mill.). *Southern Journal of Applied Forestry* 32: 5-11.
- Calama, R. and Montero, G. 2004. Interregional nonlinear height–diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research* 34:150–163.
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Sánchez, M. and von Gadow, K. 2006. A generalized height-diameter model including random components for adiate pine plantations in northeastern Spain. *Forest Ecology and Management* 229:202 – 213.
- Coble, D. W. and Lee, Y.J. 2011. A mixed-effects height-diameter model for individual loblolly and slash pine trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry* 35: 12–17.
- Colbert K.C., Larsen D.R., and Lootens J.R. 2002. Height-diameter equations for thirteen Midwestern bottomland hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry* 19: 171-176.
- Corral-Rivas, S., Alvarez-Gonzalez, J.G., Crecente-Campo, F. and Corral-Rivas, J.J. 2014. Local and generalized height-diameter models with random parameters for mixed, uneven-aged forests in Northwestern Durango, Mexico. *Forest Ecosystems* 6:1-9.
- Crecente-Campo F., Tomé M., Soares P. and Diéguez-Aranda U. 2010. A generalized nonlinear mixed-effects height-diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management* 259:943-952.
- Curtis, R.O. 1967. Height–diameter and height–diameter–age equations for second growth Douglas-fir. *Forest Science* 13:365–375.
- Diamantopoulou, M.J. and Özçelik, R. 2012. Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean region of Turkey. *Forest Systems* 21: 383–397.
- Fang, Z., and Bailey, R.L. 1998. Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management* 110(1-3):315-327.
- Freese, F. 1962. Elementary forest sampling. USDA Agric. Handb. 232.
- Garman, S.L., Acker, S.A., Ohmann, J.L. and Spies, T.A. 1995. Asymptotic Height – diameter Equations for 24 Species in Western Oregon. Research Contribution 10, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.
- Gregoire, T.G., Schabenberger, O. and Barrett, J.P. 1995. Linear modeling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent plot measurements. *Canadian Journal of Forest Research* 25:136 – 156.
- Hökka, H. 1997. Height–diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 97: 63–72.
- Huang, S., Titus, S.J. and Wiens, D.P. 1992. Comparison of nonlinear heightdiameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1297-1304.
- Ige, P.O., Akinyemi, G.O. and Smith, A.S. 2013. Nonlinear growth functions for modeling tree height–diameter relationships for *Gmelina arborea* (Roxb.) in south-west Nigeria. *Forest Science and Technology* 9:20-24.
- Jayaraman, K. and Zakrzewski, W. T. 2001. Practical Approaches to Calibrating Height-Diameter Relationships for Natural Sugar Maple Stands in Ontario. *Forest Ecology and Management* 148:169-177.
- Lappi, J. 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters. *Forest Science* 37:781–801.
- Lappi, J. 1997. A longitudinal analysis of height/diameter curves. *Forest Science* 43:555–570.
- Larsen, D.R. and Hann, D.W. 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Oregon State University. For. Res. Lab. P. 46.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. 1996. SAS® System for mixed models. SAS Institute Inc., Cary.
- Lynch, T.B., Holley, A.G., and Stevenson, D.J. 2005. A random-parameter height-dbh model for

cherrybark oak. *Southern Journal of Applied Forestry* 29: 22–26.

Mehtätalo, L. 2004. A longitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 131–140.

Mehtätalo, L., de-Miguel, S. and Gregoire, T.G. 2015. Modeling height diameter curves for prediction. *Canadian Journal of Forest Research* 45:826–837.

Meyer, H.A. 1940. A mathematical expression for height curves. *Journal of Forestry* 38:415-420.

Moore, J.A., Zhang, L., and Stuck, D. 1996. Height-diameter equations for ten tree species in the inland northwest. *Western Journal of Applied Forestry* 11(4): 132-137.

Näslund, M. 1937. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök I tallskog (Forest research institute's thinning experiments in Scots pine forests). *Meddelanden frstataens skogsförsöksanstalt Häfte 29* (In Swedish).

Neter, J., Wasserman, W. and Kutner, M. 1990. *Applied Linear Statistical Models*, (Third Ed). Irwin, Homewood, IL.

Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N. and Kiriş, R. 2014. Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38: 399-412.

Peng, C. 1999. Nonlinear height diameter models for nine boreal forest tree species in Ontario. *Ontario Forest Research Institute Forest Res. Rep.* 155. 34 p.

Peng, C., Zhang, L. and Liu, J. 2001. Developing and validating nonlinear height-diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests. *Northern Journal of Applied Forestry* 18:87-94.

Pinheiro, J.C. and Bates, D.M. 2000. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer-Verlag, New York.

Pinheiro, J.C. and Bates, D.M. 1998. *Model Building for Nonlinear Mixed Effects Model*. Department of Biostatistics and Department of Statistics, University of Wisconsin, Madison, Wis., 11 pp.

R Development Core Team 2011. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria : the R Foundation for Statistical Computing.

Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10:290-301.

Robinson, A.P., and Wykoff, W.R. 2004. Imputing missing height measures using a mixed-effects modeling strategy. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 2492-2500.

Sánchez-González, M., Cañellas, I. and Montero, G. 2007. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. *Forest Systems* 16:76–88.

Sharma R.P. and Breidenbach J. 2015. Modeling height-diameter relationships for Norway spruce, Scots pine, and downy birch using Norwegian national forest inventory data. *Forest Science and Technology* 11: 44–53.

Sharma, M. and Patron J. 2007. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management* 249:187-198.

Sharma, R.P. 2009. Modelling height-diameter relationships for Chir pine trees. *Banko Janakari* 19:3–9.

Sharma, R.P., Vacek, Z. and Vacek, S. 2016. Nonlinear mixed effect height-diameter model for mixed species forests in the central part of the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 62: 470–484.

Soares, P., and Tomé, M. 2002. Height-diameter equation for first rotation eucalypt plantation in Portugal. *Forest Ecology and Management* 166: 99–109.

Ταμείο Διοίκησης και Διαχείρισης Πανεπιστημιακών Δασών. 2008. Διαχειριστικό Σχέδιο Πανεπιστημιακού Δάσους Πετρουλίου περιόδου 2009 – 2018. Διοίκηση Δάσους Πετρουλίου.

Temesgen, H., Monleon, V.J. and Hann, D.W. 2008. Analysis and comparison of nonlinear tree height prediction strategies for douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 553–565.

Trincado, G., VanderSchaaf, C.L. and Burkhart, H.E. 2007. Regional mixed-effects height-diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. *European Journal of Forest Research* 126:253-262.

Van Laar, A. and Akça, A. 2007. *Forest mensuration. Managing Forest Ecosystems*. Vol. 13, Springer (ed). Dordrecht, The Netherlands, 383 pp.

Vargas-Larreta, B., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G., Barrio-Anta, M. and Cruz-Cobos, F. 2009. A generalized height-diameter model with random coefficients for uneven-aged stands in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry* 82:445–462.

Vonesh, E.F. and Chinchilli, V.M. 1997. *Linear and Nonlinear Models for the Analysis of Repeated Measurements*. Marcel Dekker, Inc., New York.

Wang, C.H. and Hann, D.H. 1988. Height-diameter Equations for Sixteen Tree Species in the Central Western Willamette Valley of Oregon. *Research*

Paper 51, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.

Winsor, C.P. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 18:1-8.

Wykoff, W.R., Crookston, N.L. and Stage, A.R. 1982. *User's Guide to the Stand Prognosis Model*. Washington, DC, USA: USDA Forest Service General Technical Report INT-133.

Yang Y., and Huang S. 2013. On the statistical and biological behaviors of nonlinear mixed forest models. *European Journal of Forest Research*. 132:727-736.

Yang, R.C., Kozak, A. and Smith, J.H.G. 1978. The potential of Weibull type functions as a flexible growth curves. *Canadian Journal of Forest Research* 8:424-431.

Zang, H., Lei, X. and Zeng, W. 2016. Height-diameter equations for larch plantations in northern and northeastern China: a comparison of the mixed-effects, quantile regression and generalized additive models. *Forestry* 89:434-445.

Zhang, L. 1997. Cross-validation of non-linear growth functions for modeling tree height/diameter relationships. *Annals of Botany* 79: 251-257.

Η επίδραση της απομάκρυνσης υπολειμμάτων υλοτομίας σε δασικά οικοσυστήματα ελάτης (*Abies borisii regis* Matf.) και οξιάς (*Fagus sylvatica* L.) στη βόρεια Ελλάδα

Β. Φιλίππου¹, Ε. Παπαϊωάννου², Α. Γ. Παπαϊωάννου², Ε. Πρεμνιώτου¹, Ι. Α. Φιλίππου¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε η κατανομή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, στο δασικό τύπητα και η συνολική υπέργεια βιομάζα σε οικοσυστήματα ελάτης (*Abies borisii regis* Matf.) και οξιάς (*Fagus sylvatica* L.) στη βόρεια Ελλάδα με σκοπό τον προσδιορισμό των αποθεμάτων των θρεπτικών στοιχείων των διαφόρων υπολειμμάτων υλοτομίας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας. Για τις ανάγκες της έρευνας εγκαταστάθηκαν συνολικά οκτώ δειγματοληπτικές επιφάνειες, τέσσερις σε συστάδες ελάτης στην περιοχή του Πανεπιστημιακού δάσους Πετρουλίου και τέσσερις δειγματοληπτικές επιφάνειες σε συστάδες οξιάς, στο δασικό σύμπλεγμα της Αριδαίας. Ακολούθησε υλοτομία και δειγματοληψία για τον προσδιορισμό των εδαφικών συνθηκών και της χημικής σύστασης όλων των κλάσεων των φυτικών ιστών των δύο δασοπονικών ειδών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, ότι με την εκροή της υπέργειας βιομάζας, η μεγαλύτερη ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνεται από το οικοσύστημα, αφορά τον κορμό. Οι λεπτοί κλαδίσκοι < 2 cm μαζί με τις βελόνες ή τα φύλλα έχουν υψηλότερες ποσότητες σε άζωτο (N). Σχετικά περιορισμένες μπορούν να θεωρηθούν οι ποσότητες των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων που μετρήθηκαν στα κλαδιά με διάμετρο μεγαλύτερη από 2 cm. Θα μπορούσε να απομακρυνθεί μέρος των κλαδιών με διάμετρο μεγαλύτερη από 2 cm ταυτόχρονα με την απόληψη του κορμού, με την προϋπόθεση ότι θα λαμβάνονται πάντοτε υπόψιν οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται στα δασικά οικοσυστήματα της χώρας μας.

Λέξεις κλειδιά: δασική βιομάζα, θρεπτικά στοιχεία, υπολείμματα υλοτομιών, παραγωγή ενέργειας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προβλεπόμενη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και κυρίως η αυξανόμενη ανησυχία για τις εκπομπές CO₂ και τις επιπτώσεις στη κλιματική αλλαγή, έχουν στρέψει το παγκόσμιο ενδιαφέρον στη βιομάζα και ιδιαίτερα στη δασική βιομάζα για παραγωγή ενέργειας (White 2010, Becker et al. 2011). Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει προσελκύσει η αξιοποίηση των υπολειμμάτων που παραμένουν στα δάση μετά τις υλοτομίες (Peltola et al. 2011, Bouriaud et al. 2013). Στο παρελθόν τα υπολείμματα υλοτομίας δεν αξιοποιούνταν επειδή η συγκομιδή και μεταφορά τους ήταν τεχνικά δύσκολη και οικονομικά ασύμφορη. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες συγκομιδής και μεταφοράς, που σε συνδυασμό με την αύξηση της τιμής των πετρελαιοειδών καθιστούν δυνατή την

χρησιμοποίησή τους (Bergsens et al. 2013).

Το ενδιαφέρον αξιοποίησης των υπολειμμάτων υλοτομίας έχει οδηγήσει σε προσδιορισμούς των διαθέσιμων ποσοτήτων τους σε δασικά οικοσυστήματα διαφόρων χωρών και των αναμενόμενων εξ αυτών ποσοτήτων ενέργειας (Rd isdnen and Nurmi 2011, Scarlat et al. 2011). Στην Ελλάδα οι Filippou et al. (2015) προσδιόρισαν τις ποσότητες συνολικά και κατά είδος υπολειμμάτων (χονδροί κλαδίσκοι, λεπτοί κλαδίσκοι, κλαδίσκοι με βελόνες ή φύλλα, κορυφές, φλοιός και πρέμνα), που προέκυψαν από την υλοτομία ώριμων δένδρων σε συστάδες ελάτης ποιότητας τύπου II και IV και οξιάς ποιότητας τύπου II και III (η ποιότητα τύπου αποτελεί δείκτη της παραγωγικότητας της συστάδος) και μελετήθηκαν οι δυνατότητες χρήσης για την βιομηχανία πελλετών.

¹Εργαστήριο Δασικής Τεχνολογίας Ξύλου,

²Εργαστήριο Δασικής Εδαφολογίας Τμήμα Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη.

Η απομάκρυνση όμως των υπολειμμάτων υλοτομίας με σκοπό την αξιοποίησή τους θέτει ερωτηματικά σχετικά με το εάν και κατά πόσο αυτή η απομάκρυνση επιδρά στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Πολλές έρευνες έχουν γίνει πάνω στο θέμα αυτό (Hesselink 2010, Abbas et al. 2011, Wall and Hytönen 2011), αλλά οι απόψεις των ερευνητών διίστανται. Ορισμένοι συμφωνούν ότι η απομάκρυνση δασικής βιομάζας έχει αρνητική επίδραση στο ισοζύγιο των θρεπτικών στοιχείων και επιπλέον ότι η επίδραση αυτή επηρεάζεται από το δασοπονικό είδος, τον περίτροπο χρόνο, την ποιότητα τόπου, την ποσότητα της βιομάζας και τη γενικότερη διαχείριση του δασικού οικοσυστήματος. Οι περισσότερες έρευνες εστιάζονται κυρίως σε δάση όπου εφαρμόζεται εντατική δασοπονία, μικροί περίτροποι χρόνοι και αποψιλωτικές υλοτομίες. Οι έρευνες μελετούν κυρίως τις επιπτώσεις στην παραγωγικότητα του εδάφους από την υλοτομία ολόκληρου του δέντρου (Burger 2002, Raulund-Rasmussen et al. 2008). Ποικίλες πειραματικές δοκιμές έχουν αποδείξει ότι η συγκομιδή ολόκληρου του δέντρου μπορεί να έχει ένα ευρύ φάσμα βραχυπρόθεσμων ή και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στις ιδιότητες του εδάφους και στην παραγωγικότητα των δασικών οικοσυστημάτων. Σε μεγάλους περίτροπους χρόνους, κηπευτών δασών οι αρνητικές επιδράσεις είναι μικρές, όταν ακολουθούνται κατ' επιλογή υλοτομίες. Στην περίπτωση των υπολειμμάτων υλοτομίας, το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται και από το είδος ή το κλάσμα των υπολειμμάτων. Η υλοτομία και η απομάκρυνση του ξύλου αποτελεί μια σημαντική απώλεια θρεπτικών στοιχείων από το δάσος, αλλά η εκροή αυτή δεν φαίνεται να επηρεάζει την αειφορική παραγωγή και εκμετάλλευση των δασών. Οι Bouriaud et al. (2013) σε πρόσφατη δημοσίευση δίνουν εκτεταμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στο θέμα τονίζοντας ότι, είναι ανάγκη περαιτέρω έρευνας για ανάπτυξη και καθιέρωση ειδικών οδηγιών (guidelines) για την συγκομιδή και απομάκρυνση των υπολειμμάτων υλοτομίας, ώστε να διασφαλίζεται η αειφορική παραγωγή των δασών. Στην Ελλάδα απουσιάζουν σχετικές έρευνες στα δασικά μας οικοσυστήματα.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η μελέτη: α) της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων του δασικού τύπτητα και του εδάφους των συστάδων που αναπτύσσονται τα δύο δασοπονικά είδη, β) οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που συσσωρεύονται στο κορμό και στα διάφορα κλάσματα των υπολειμμάτων υλοτομίας στην ελάτη και την οξιά και

γ) να προσδιορισθεί συγκριτικά η απώλεια θρεπτικών στοιχείων με την απομάκρυνση των διαφόρων κλασμάτων της δασικής βιομάζας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή έρευνας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε συστάδες ελάτης στο Πανεπιστημιακό δάσος Πετρούλιου και οξιάς στο δασικό σύμπλεγμα του Δασορχείου Αριδαίας παράλληλα με την έρευνα για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των υπολειμμάτων υλοτομίας (Filippou et al. 2015). Για την ελάτη (*Abies borisii regis*, Matf.) επιλέχθηκαν 2 δειγματοληπτικές επιφάνειες για την ποιότητα τόπου II και 2 δειγματοληπτικές επιφάνειες για την ποιότητα τόπου IV έκτασης 2.000 m² η κάθε μία. Αντίστοιχα στην οξιά (*Fagus sylvatica*, L.) επιλέχθηκαν 2 επιφάνειες για την ποιότητα τόπου II και άλλες 2 για την ποιότητα τόπου III έκτασης 2.000 m². Συνολικά επιλέχθηκαν 8 δειγματοληπτικές επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές οριοθετήθηκαν μέσα σε συστάδες οι οποίες προβλέπονταν από τα διαχειριστικά σχέδια να υλοτομηθούν.

2.2. Δειγματοληψία

Υλοτομήθηκαν 40 δένδρα για την ελάτη (30 δένδρα στην ποιότητα τόπου II και 10 δένδρα στην ποιότητα τόπου IV). Για την οξιά υλοτομήθηκαν 15 και 22 δένδρα στις ποιότητες τόπου II και III, αντίστοιχα. Οι ηλικίες των δένδρων που υλοτομήθηκαν για την περίπτωση της ελάτης ήταν μεταξύ των 75–95 ετών, ενώ για την οξιά ήταν 85–110 έτη. Τα ύψη των δένδρων στην ελάτη κυμαίνονταν από 25–28 m για την ποιότητα τόπου II, και από 12–16 m για την ποιότητα IV. Στην οξιά, για την ποιότητα τόπου II τα ύψη κυμαίνονταν από 20–24 m, ενώ για την ποιότητα τόπου III τα ύψη προσδιορίστηκαν μεταξύ 15–19 m. Η δομή για τις συστάδες της ελάτης και οξιάς που υλοτομήθηκαν ήταν ανομήλικη (κηπευτοειδής).

Ακολούθησε η αποκλάδωση, η αποκορύφωση, η αποφλοιώση, ο τεμαχισμός του κορμού σε τεχνική ξυλεία ή καυσόξυλα και τέλος έγινε διαχωρισμός των υπολειμμάτων υλοτομίας για κάθε δένδρο στις κλάσεις: χονδροί κλαδίσκοι ($d > 5$ cm), λεπτοί κλαδίσκοι ($d \geq 2$ έως ≤ 5 cm), κλαδίσκοι ($d < 2$ cm) με βελόνες ή φύλλα και φλοιός (του κορμού). Στην οξιά δεν έγινε αποφλοιώση των κορμών και δεν υπήρχαν τυπικές κορυφές. Σε όλες τις περιπτώσεις έγινε ζύγιση όλων των κλασμάτων της υλοτομίας με σκοπό την αναγωγή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Για τον προσδιορισμό των θρεπτικών στοιχείων της βιομάζας ελήφθησαν σε κάθε δειγματοληπτική

επιφάνεια 15 αντιπροσωπευτικά δείγματα ξύλου, βελονών ή φύλλων και φλοιού από όλες τις κλάσεις υπολειμμάτων. Μετά από κατάλληλη προετοιμασία (ξήρανση για 48 ώρες στους 74 °C) τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων N, P, K, Ca, Mg, και Na. Για την δειγματοληψία του δασικού τάπητα χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων 25X25 cm και ύψους 10 cm. Με συστηματική δειγματοληψία συλλέχθηκε ο δασικός τάπητας, χωριστά για τον A₀₀ και A₀ ορίζοντα σε 5 θέσεις γύρω από την εδαφοτομή σε σχήμα σταυρού. Συνολικά συλλέχθηκαν 80 δείγματα δασικού τάπητα. Ακολούθησε ζύγιση για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους τους. Μία ποσότητα κάθε δείγματος αλέστηκε σε μύλο με κόσκινο 40 mesh και διατηρήθηκε σε πλαστικά δοχεία για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων.

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους, περίπου στο κέντρο κάθε δειγματοληπτικής επιφάνειας έγινε μια εδαφοτομή. Το μητρικό πέτρωμα ήταν φλύσχης για την περιοχή της ελάτης, ενώ στην οξιά οι συστάδες αναπτύσσονταν πάνω σε γνεύσιο και αργιλικό σχιστόλιθο. Η δειγματοληψία έγινε κατά βάθος και εδαφικά δείγματα ελήφθησαν από τα βάρη 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 και 60-80 cm. Συνολικά ελήφθησαν 36 εδαφικά δείγματα (στις ποιότητες τύπου III και IV το βάθος ήταν μικρότερο από 60 cm). Τα εδαφικά δείγματα, μετά από την ξήρασή τους σε συνθήκες περιβάλλοντος, τη διάσπαση των συσσωματωμάτων και το κοσκίνισμα με κόσκινο οπών διαμέτρου 2 mm, χρησιμοποιήθηκαν για τις εργαστηριακές αναλύσεις.

2.3. Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι χημικές αναλύσεις του δασικού τάπητα και των φυτικών ιστών έγιναν σε κομποποιημένο και ομογενοποιημένο υλικό, μετά από άλεση ξηρού δείγματος. Στα δείγματα αυτά μετρήθηκε η οργανική ουσία με τη μέθοδο της αποτέφρωσης στους 515 °C για 4,5 ώρες (Loss on ignition) και το ολικό N με τη μέθοδο Kjeldahl (Stevenson 1982). Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Ca, Mg, K και Na, μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης σε διάλυμα που προέκυψε μετά από πέψη κομποποιημένου δείγματος με H₂SO₄, HNO₃ και HClO₄ (Allen et al. 1986). Στο ίδιο διάλυμα προσδιορίστηκε ο ολικός P με τη μέθοδο του μπλε του μολυβδαινικού αμμωνίου.

Το pH του εδάφους προσδιορίστηκε ηλεκτρομετρικά σε αιώρημα εδάφους - νερού σε αναλογία 1:1 (Mc Lean 1982). Η συγκέντρωση του οργανικού C προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης,

χρησιμοποιώντας ως οξειδωτικό μέσο το K₂Cr₂O₇ (Nelson and Sommers 1982). Το οργανικό N προσδιορίστηκε με την μέθοδο Kjeldahl (Stevenson 1982). Για το P χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Olsen και ο προσδιορισμός του εκχυλίσμου P έγινε με τη μέθοδο του μπλε του μολυβδαινικού αμμωνίου (Olsen and Sommers 1982). Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Ca, Mg, K, Na, προσδιορίστηκαν μετά από εκχύλιση 10 g εδάφους με διάλυμα CH₃COONH₄ 1N, pH 7 (Grant 1982). Τα εκχυλισθέντα κατιόντα Ca, Mg, K και Na μετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

2.4. Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων που αφορούσαν τις ποσότητες της οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται συσσωρευμένες στο έδαφος στο δασικό τάπητα και στους φυτικούς ιστούς, εφαρμόστηκε η μέθοδος t-test για την σύγκριση των μέσων όρων. Όλες οι συγκρίσεις μεταξύ των μέσων όρων έγιναν στο επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Δασικός τάπητας

Ο δασικός τάπητας αποτελεί την κύρια εισροή οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και κατά συνέπεια συμβάλλει στην αύξηση της γονιμότητας και παραγωγικότητας του τόπου (Παπαμίχος 2006). Από τα στοιχεία του πίνακα I, που αναφέρονται στις ποσότητες της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται συσσωρευμένα στο δασικό τάπητα συστάδων ελάτης, φαίνεται ότι προσδιορίστηκαν υψηλότερες ποσότητες στην χειρότερη ποιότητα τόπου με εξαίρεση τη περίπτωση του Na. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο στην περίπτωση του Mg. **Η μεγαλύτερη συσσώρευση δασικού τάπητα στην ποιότητα τόπου IV των συστάδων ελάτης μπορεί να αποδοθεί στις δυσμενέστερες συνθήκες αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων.** Στις ανοιχτές συστάδες ενώ η θερμοκρασία και το φως αποτελούν ευνοϊκούς παράγοντες αποσύνθεσης, ο περιοριστικός παράγοντας είναι η υγρασία. (Sevgi and Tecimen 2008). Ο Τάντος (1997) αναφέρει μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων στο δασικό τάπητα, με εξαίρεση το Ca, σε συστάδες ελάτης Περιοιού καλής ποιότητας τόπου.

Η ποσότητα του δασικού τάπητα, αποτελεί μία μεταβλητή παράμετρο του δασικού οικοσυστήματος, η οποία εξαρτάται από το είδος της βλάστησης, την ηλικία της συστάδος και τις κλιματοεδαφικές συνθήκες (Edmonds 1991). Για τις συστάδες οξιάς (πίνακας II) τόσο η οργα-

Πίνακας I. Συσώρευση οργανικής ουσίας (t/ha) και θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) στον δαυικό τύπητα συστάδων ελάτης (Aoo και Ao).
Table I. Organic matter (t/ha) and nutrient accumulation (kg/ha) in forest floor (Aoo and Ao) of fir stands.

Ποιότητα τύπου.	Οργαν. ουσία t/ha		N kg/ha		P kg/ha		Ca kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Na kg/ha
II	19,41 ±5,61	nc	304,58 ±45,98	nc	28,99 ±7,86	nc	326,87 ±95,18	nc	100,70 ±27,86	*	75,22 ±26,38	nc	11,73 ±3,42
IV	23,47 ±8,37		421,65 ±112,37		36,26 ±12,84		375,57 ±221,07		201,29 ±48,01		105,87 ±37,29		7,84 ±2,95

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

νική ουσία όσο και τα θρεπτικά στοιχεία με εξαίρεση το Ca προσδιορίστηκαν σε μεγαλύτερες ποσότητες στην καλύτερη ποιότητα τύπου (II). Στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται στα στοιχεία N, P και Ca. Στις καλές ποιότητες τύπου, επιστρέφει ετησίως μεγαλύτερη ποσότητα φυτικών υπολειμμάτων και κατά συνέπεια μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων. Αντίθετα, στις χειρότερες ποιότητες τύπου, οι ποσότητες των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφουν στο έδαφος, είναι σημαντικά μικρότερες και αυτό πιθανόν να οφείλεται στο χαμηλό ρυθμό φωτοσύνθεσης της δαυικής βλάστησης (Vose and Allen 1988), αλλά και στον όγκο της βιομάζας που φωτοσυνθέτει. Οι υψηλότερες ποσότητες Ca στην III ποιότητα τύπου θα πρέπει να αποδοθούν στην μεγαλύτερη περιεκτικότητα του στοιχείου αυτού στο μητρικό πέτρωμα των συστάδων. Η χαμηλή ποσότητα του καλίου πιθανότατα οφείλεται σε έκπλυση του μονοσθενούς αυτού στοιχείου από τις βροχοπτώσεις και στην μεγάλη

κλίση του εδάφους. Ο Παπαϊωάννου (1993) αναφέρει μεγαλύτερες ποσότητες οργανικής ουσίας, N, K, Ca, Mg και Na και μικρότερες ποσότητες P σε συστάδες οξιάς καλής ποιότητας τύπου στην ευρύτερη περιοχή των δαυικών συμπλεγμάτων της Αριδαίας.

3.2 Έδαφος

Η ικανότητα των δαυικών εδαφών να εφοδιάζουν την βλάστηση με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, δεν είναι πάντα σταθερή, αλλά εξαρτάται από τα αποθηκευμένα στο έδαφος θρεπτικά στοιχεία που μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά, από το μητρικό πέτρωμα, τις κλιματολογικές συνθήκες, την ένταση της διαδικασίας ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων, τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, καθώς και από τις τοπογραφικές συνθήκες της περιοχής (Welbourn et al. 1981). Από τα στοιχεία του πίνακα III που αναφέρεται στην αντίδραση του

Πίνακας II. Συσώρευση οργανικής ουσίας (t/ha) και θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) στον δαυικό τύπητα συστάδων οξιάς (Aoo και Ao).

Table II. Organic matter (t/ha) and nutrient accumulation (kg/ha) in forest floor (Aoo and Ao) of beech stands.

Ποιότητα τύπου	Οργανική ουσία t/ha		N kg/ha		P kg/ha		Ca kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Na kg/ha
II	17,88 ±3,98	nc	352,84 ±80,81	*	28,48 ±6,13	*	410,49 ±118,16	*	112,15 ±48,49	nc	50,14 ±16,42	nc	3,77 ±1,00
III	13,99 ±2,90		211,30 ±29,22		16,52 ±2,74		693,53 ±185,42		83,86 ±34,18		35,04 ±12,82		2,97 ±0,85

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

Πίνακας III. pH, ποσότητες οργανικής ουσίας (t/ha) και θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) στο έδαφος συστάδων ελάτης.

Table III. pH, Organic matter (t/ha) and nutrient (kg/ha) in soil of fir stands.

Ποιότητα τύπου	pH		Οργαν. ουσία t/ha		N kg/ha		P kg/ha		Ca kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Na kg/ha
II	4,73 ±0,22	nc	416,57 ±17,50	*	8728,61 ±348,23	*	63,25 ±3,05	*	20513,90 ±1037,35	*	3413,01 ±144,53	*	3884,95 ±365,25	*	419,35 ±12,02
IV	4,94 ±0,41		231,91 ±15,34		5751,92 ±219,79		38,26 ±0,92		7361,36 ±829,69		1419,21 ±106,82		1593,85 ±139,23		218,23 ±18,40

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

ανόργανου εδάφους καθώς και στις ποσότητες της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων των συστάδων ελάτης, γίνεται φανερό ότι πρόκειται για όξινα εδάφη, ενώ παράλληλα προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ποιότητων τόπου, στην οργανική ουσία (t/ha), και στις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων N, P, Ca, Mg, K, και Na (kg/ha). Οι στατιστικά μεγαλύτερες ποσότητες τόσο της οργανικής ουσίας όσο και όλων των θρεπτικών στοιχείων, θα πρέπει να αποδοθούν κυρίως στην επίδραση της καλύτερης ποιότητας τόπου (II) αλλά και στους ταχύτερους ρυθμούς αποσύνθεσης του δασικού τάπητα και απελευθέρωσης των θρεπτικών στοιχείων που επικρατούν στις καλές ποιότητες τόπου στα οικοσυστήματα ελάτης του Περγουλιού (Τάντος 1997). Ο ισχυρισμός αυτός επαληθεύεται απολύτως αν λάβουμε υπόψη τις μεγαλύτερες ποσότητες του δασικού τάπητα που συσσωρεύονται στην επιφάνεια του εδάφους των χειρότερων ποιότητων τόπου (IV).

Σε ότι αφορά το έδαφος των οικοσυστημάτων οξιάς της Αριδαίας από τον πίνακα IV φαίνεται, ότι οι καλύτερες ποιότητες τόπου (II) οι οποίες αναπτύσσονται πάνω σε μητρικό πέτρωμα γνεύσιο παρουσιάζουν αυξημένη οξύτητα (στατιστικά σημαντική διαφορά), σε σχέση με τις συστάδες που αναπτύσσονται πάνω σε μητρικό πέτρωμα αργιλικού σχιστόλιθου (III ποιότητα τόπου). Η αυξημένη αυτή οξύτητα του εδάφους μπορεί να αποδοθεί στην φύση του μητρικού πετρώματος. Από τον ίδιο πίνακα βλέπουμε ότι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζουν μόνο οι ποσότητες των στοιχείων Mg και Na με μεγαλύτερες ποσότητες στην καλύτερη ποιότητα τόπου (II). Αντίθετα στο K παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές με υψηλότερη ποσότητα στη III ποιότητα τόπου. Αν και ο γνεύσιος θεωρείται πέτρωμα με αυξημένες συγγεντώσεις καλίου (Παπαμίχος 2006), στην παρούσα έρευνα προοριζόθηκαν μεγαλύτερες ποσότητες K στις συστάδες οξιάς της III ποιότητας τόπου, που αναπτύσσονται πάνω σε αργιλικό σχιστό-

λιθο. Οι μικρότερες ποσότητες καλίου στις καλύτερες ποιότητες τόπου μπορούν να αποδοθούν αφενός στην μεγαλύτερη διαπερατότητα του γνεύσιου σε σχέση με τον αργιλικό σχιστόλιθο και αφετέρου στην έκπλυση εξ αιτίας της μεγαλύτερης κινητικότητας του μονοσθενούς αυτού κατιόντος (Staaft and Olsson 1994).

3.3 Υπέργεια βιομάζα

Στον πίνακα V δίνονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) που περιέχονται στη βιομάζα του κορμού και των διαφόρων κλάσεων υπολειμμάτων υλοτομίας των δένδρων που υλοτομήθηκαν στις συστάδες ελάτης. Η απομάκρυνση των ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων με την υλοτομία από το σύνολο της υπέργειας βιομάζας κατά φθίνουσα σειρά είναι και για τις δύο ποιότητες τόπου στην ελάτη: Ca>N>K>Mg>P>Na. Την ίδια σειρά απομάκρυνσης των ποσοτήτων των θρεπτικών στοιχείων κατά την υλοτομία της συστάδας δίνουν ο Τάντος (2000) για οικοσύστημα ελάτης στην ίδια περιοχή και ο Τσιόντης (1991) για οικοσύστημα μαύρης πεύκης στα Πιέρια. Συγκρίνοντας τις δοκιμαστικές επιφάνειες ποιότητας τόπου II και IV, διαπιστώνουμε την μεγάλη επίδραση της ποιότητας τόπου στις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που μπορούν να απομακρυνθούν κατά την υλοτομία. Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται σε όλες τις περιπτώσεις με εξαίρεση τα θρεπτικά στοιχεία K και Ca στα κλαδιά διαμέτρου 2-5 cm. Από τον ίδιο πίνακα γίνεται φανερό ότι, οι υψηλότερες ποσότητες όλων των θρεπτικών στοιχείων, απομακρύνονται με την αφαίρεση του κορμού από την συστάδα, αφού στην πραγματικότητα ο κορμός των κωνοφόρων αποτελεί συγκριτικά το μεγαλύτερο ποσοστό εκροής κατά την υλοτομία. Οι μικρές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων της συνολικής βιομάζας στην ποιότητα IV, οφείλεται αποκλειστικά στο μικρότερο ποσοστό των προϊόντων υλοτομίας ανά εκτάριο.

Από τον πίνακα VI που αναφέρεται στο ποσοστό

Πίνακας IV. pH, ποσότητες οργανικής ουσίας (t/ha) και θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) στο έδαφος συστάδων οξιάς.

Table IV. pH, Organic matter (t/ha) and nutrient (kg/ha) in soil of beech stands.

Ποιότητα τόπου	pH		Οργανική ουσία t/ha		N kg/ha		P kg/ha		Ca kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Na kg/ha
II	5,42 ±0,39	*	363,43 ±28,96	nc	6226,64 ±322,63	nc	64,93 ±4,31	nc	47603,14 ±4489,72	nc	2409,08 ±161,29	*	972,10 ±49,48	*	294,27 ±7,96
III	6,22 ±0,67		309,99 ±28,58		5568,01 ±225,32		53,30 ±2,55		42671,07 ±4471,52		965,11 ±83,59		1738,45 ±134,96		211,00 ±20,15

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

Πίνακας V. Ποσότητες θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) που απομακρύνονται από την υπέργεια βιομάζα μετά την υλοτομία σε συστάδες ελάτης.

Table V. Nutrient (kg/ha) exports from whole-tree harvest biomass of fir stands.

Δείγμα	N kg/ha		P kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Ca kg/ha		Na kg/ha	
Φλοιός II	17,13 ±1,20	*	1,37 ±0,15	*	5,69 ±0,96	*	12,38 ±1,38	*	107,80 ±53,14	*	1,32 ±1,04	*
Φλοιός IV	1,77 ±1,04		0,18 ±0,11		0,71 ±0,35		1,52 ±0,83		11,42 ±8,61		0,19 ±0,19	
Κλαδιά d=>5cm II	22,85 ±4,16	*	1,19 ±0,11	*	9,98 ±6,47	*	8,23 ±1,71	*	132,87 ±147,51	*	1,18 ±0,78	*
Κλαδιά d=>5cm IV	1,90 ±0,84		0,13 ±0,07		0,52 ±0,24		1,43 ±1,56		7,92 ±6,96		0,1 ±0,09	
Κλαδιά d=2-5cm II	9,65 ±0,75	*	0,52 ±0,12	*	2,40 ±0,79	*	7,00 ±7,74	nc	38,19 ±30,06	nc	0,43 ±0,25	*
Κλαδιά d=2-5cm IV	3,09 ±0,64		0,22 ±0,02		0,87 ±0,62		3,66 ±3,13		18,84 ±17,02		0,13 ±0,10	
Κλαδιά d<2cm + βελόνες II	37,59 ±13,45	*	3,07 ±0,99	*	5,87 ±2,10	*	17,52 ±5,97	*	45,14 ±35,7	*	0,98 ±0,68	*
Κλαδιά d<2cm + βελόνες IV	4,82 ±1,31		0,61 ±0,28		0,94 ±0,32		3,78 ±1,32		14,97 ±16,62		0,14 ±0,12	
Βιομάζα II	87,23		6,15		23,93		45,13		324,00		3,91	
Βιομάζα IV	11,58		1,15		3,03		10,38		53,15		0,56	
Κορμός II	235,48 ±24,53	*	11,72 ±1,31	*	74,59 ±39,83	*	203,33 ±21,49	*	1529,46 ±929,18	*	13,36 ±10,10	*
Κορμός IV	33,02 ±14,35		2,16 ±1,20		9,91 ±6,40		29,51 ±11,99		53,13 ±25,38		2,9 ±2,86	
Σύνολο δένδρου II	322,72		17,86		98,53		248,46		1853,45		17,27	
Σύνολο δένδρου IV	44,59		3,3		12,94		39,89		106,3		3,46	

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

θρεπτικών στοιχείων που αναλογεί στα διάφορα κλάσματα της υπέργειας βιομάζας, προκύπτει ότι οι διάφορες κλάσεις υπολειμμάτων υλοτομίας εκτός από τον κορμό, για το δασοπονικό είδος της ελάτης στην ποιότητα τόπου II περιέχουν, 27,03% N, 34,41% P, 24,29% Mg, 18,16% K, 17,48% Ca και 22,64% Na και στην ποιότητα τόπου IV 25,95% N, 34,66% P, 23,44% Mg, 26,03% K, 49,99% Ca και 16,16% Na. Συγκρίνοντας τις δύο ποιότητες τόπου, βλέπουμε ότι δεν παρουσιάζονται σπουδαίες διαφορές στις εκατοστιαίες περιεκτικότητες του N, P, Mg, και K, τόσο στην περίπτωση απομάκρυνσης μόνο του κορμού όσο και στην περίπτωση που απομακρύνεται όλη η υπόλοιπη βιομάζα. Αντίθετα παρουσιάζονται αυξημένες εκατοστιαίες διαφορές στο Ca και Na μεταξύ των δύο ποιότητων τόπων στην ελάτη. Μεταξύ

των διαφόρων κλάσεων υπολειμμάτων και στις δύο ποιότητες τόπου, οι κλαδίσκοι (d < 2cm και βελόνες) περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό N, P, K. Ο φλοιός και στις δύο ποιότητες τόπου είναι πλουσιότερος σε Na, ενώ στην καλύτερη ποιότητα II τα χονδρά κλαδιά (d > 5 cm) περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό Mg. Η μεταβλητότητα που παρατηρείται στα διάφορα μέρη των φυτικών ιστών της ελάτης, εν μέρει μπορεί να αποδοθεί στη εσωτερική μετατόπιση των θρεπτικών στοιχείων από τα φύλλα προς τους διάφορους ιστούς κυρίως υπό μορφή σακχάρων και αμινοξέων. Το Ca για παράδειγμα που παρουσιάζει την μικρότερη μετακίνηση, εμφανίζει συνεχή απόθεση στους γηραιότερους ιστούς, γεγονός που αποδεικνύεται από την υψηλή συσσώρευση ασβεστίου στο κορμό της ελάτης (Larcher 1980).

Πίνακας VI. Ποσοστό θρεπτικών στοιχείων (%) στο σύνολο της υπέργειας βιομάζας συστάδων ελάτης
Table VI. Percentage of nutrients (%) in total above ground biomass of fir stands.

Είδος	Ποιότ. τύπου	N%	P%	Mg%	K%	Ca %	Na%
-Κλαδιά d>5cm	II	7,08	6,66	10,13	3,31	7,17	3,31
-Κλαδιά d=2-5cm		2,99	2,91	2,44	2,82	2,06	2,49
-Κλαδίσκοι <2 cm+ Βελόνες		11,65	17,17	5,95	7,05	2,44	5,67
-Φλοιός		5,31	7,65	5,77	4,98	5,82	7,65
Βιομάζα		27,03	34,41	24,29	18,16	17,48	22,64
Κορμός		72,97	65,57	75,71	81,84	82,52	77,36
-Κλαδιά d>5cm	IV	4,26	3,92	4,05	3,58	7,45	2,84
-Κλαδιά d=2-5cm		6,92	6,72	6,71	9,18	17,72	3,63
-Κλαδίσκοι <2 cm+ Βελόνες		10,80	18,47	7,23	9,47	14,08	4,07
-Φλοιός		3,97	5,54	5,45	3,80	10,74	5,63
Βιομάζα		25,95	34,66	23,44	26,03	49,99	16,16
Κορμός		74,04	65,33	76,55	73,97	50,01	83,83

Από τα στοιχεία του πίνακα VII που αναφέρεται στις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) που απομακρύνονται από την υπέργεια βιομάζα μετά την υλοτομία σε συστάδες οξιάς, φαίνεται ότι στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζονται μόνο στα θρεπτικά στοιχεία του N και K στα κλαδιά με διάμετρο μεγαλύτερη των 5 cm (d> 5cm). Οι μικρότερες ποσότητες καλίου στη βιομάζα της καλύτερης ποιότητας τύπου (II) έρχονται να επιβεβαιώσουν την μειωμένη μέχρι ελλειμματική παρουσία του στοιχείου αυτού στο ανόργανο έδαφος των συστάδων οξιάς που αναπτύσσεται πάνω σε μητρικό πέτρωμα γνεύσιου. Τα κλαδιά της οξιάς με διάμετρο μεγαλύτερη των 2 cm περιέχουν σχετικά περιορισμένες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων συγκρινόμενες με τις ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο ξύλο του κορμού.

Στον Πίνακα VIII παρουσιάζεται το ποσοστό θρεπτικών στοιχείων που αναλογεί στα διάφορα κλάσματα της βιομάζας, από τον οποίο γίνεται φανερό ότι οι διάφορες κλάσεις υπολειμμάτων υλοτομίας εκτός από τον κορμό, για το δασοπονικό είδος της οξιάς, στην ποιότητα τύπου II περιέχουν 23,50% N, 36,89% P, 13,93% Mg, 20,22% K, 28,13% Ca και 10,98% Na ενώ στην ποιότητα τύπου III έχουμε 31,24% N, 29,97% P, 16,09% Mg, 21,31% K, 14,34% Ca και 16,39% Na. Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι τα ποσοστά των θρεπτικών στοιχείων που αναλογούν

στο κορμό είναι για όλα τα στοιχεία πολύ μεγαλύτερα και για τις δύο ποιότητες τύπου. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι κατά την απομάκρυνση των διαφόρων τμημάτων της οξιάς από το δασικό οικοσύστημα, το μεγαλύτερο ποσοστό των θρεπτικών στοιχείων που απομακρύνεται ανήκει στον κορμό. Έτσι με την απόληψη του κορμού ταυτόχρονα απομακρύνονται 76,50% N, 63,11% P, 86,07% Mg, 79,78% K, 71,87% Ca και 89,02% Na για την καλύτερη ποιότητα τύπου II, και 68,76% N, 70,03% P, 83,91% Mg, 78,69% K, 85,66% Ca και 83,61% Na αντίστοιχα για την III ποιότητα τύπου. Τα ποσοστά όλων των θρεπτικών στοιχείων μεταξύ των δύο ποιότητων τύπου στον κορμό δεν εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις, γεγονός που πρέπει να αποδοθεί στις μικρές διαφορές γονιμότητας μεταξύ της II και III ποιότητας τύπου. Μεταξύ των διαφόρων κλάσεων υπολειμμάτων και στις δύο ποιότητες τύπου οι κλαδίσκοι (d < 2cm και φύλλα) περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό N.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα δασικά οικοσυστήματα ελάτης του Πανεπιστημιακού δάσους Πετρουλίου και οξιάς του δασικού συμπλέγματος Αριδαίας κάτω από κανονική διαχείριση, συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες δασικού τύπτη στην επιφάνεια του ανόργανου εδάφους. Οι ποσότητες αυτές του δασικού τύπτη αποτελούν

Πίνακας VII. Ποσότητες θρεπτικών στοιχείων (kg/ha) που απομακρύνονται από την υπέργεια βιομάζα μετά την υλοτομία σε συστάδες οξιάς.

Table VII. Nutrient (kg/ha) exports from whole-tree harvest biomass of beech stands.

Δείγμα	N kg/ha		P kg/ha		Mg kg/ha		K kg/ha		Ca kg/ha		Na kg/ha	
Κλαδιά d=>5cm II	11,62 ±2,34	*	3,41 ±0,43	nc	5,12 ±0,23	nc	7,83 ±3,71	*	344,23 ±74,48	nc	0,42 ±0,36	nc
Κλαδιά d=>5cm III	19,26 ±6,00		1,46 ±8,05		6,15 ±0,16		19,59 ±10,72		94,62 ±35,35		0,67 ±0,51	
Κλαδιά d=2-5cm II	4,38 ±1,63	nc	0,64 ±0,26	nc	1,90 ±0,05	nc	2,32 ±1,07	nc	34,94 ±15,50	nc	0,15 ±0,13	nc
Κλαδιά d=2-5cm III	3,68 ±1,10		0,62 ±0,12		1,28 ±0,02		2,47 ±0,55		37,90 ±29,97		0,16 ±0,09	
Κλαδιά d<2cm + Φύλλα II	17,96 ±3,39	nc	2,00 ±0,29	nc	2,87 ±0,10	nc	5,89 ±1,58	nc	26,63 ±19,92	nc	0,25 ±0,24	nc
Κλαδιά d<2cm + Φύλλα III	20,05 ±5,35		1,89 ±0,58		2,47 ±0,35		7,53 ±2,28		47,18 ±29,52		0,30 ±0,27	
Βιομάζα II	33,98		6,05		9,89		16,04		405,80		0,82	
Βιομάζα III	42,99		3,97		9,90		29,60		179,70		1,13	
Κορμός II	110,61 ±52,46	nc	10,22 ±1,84	nc	61,10 ±1,93	nc	63,26 ±16,19	nc	1036,83 ±1007,74	nc	6,66 ±6,43	nc
Κορμός III	94,62 ±31,87		7,04 ±1,46		51,62 ±3,04		109,28 ±105,91		1073,66 ±1233,30		5,77 ±3,85	
Σύνολο δένδρου II	144,59		16,39		70,99		79,30		1442,63		7,49	
Σύνολο δένδρου III	137,61		13,25		61,52		138,88		1253,36		6,90	

α. *: στατιστικά σημαντική διαφορά β. nc: μη στατιστικά σημαντική διαφορά

Πίνακας VIII. Ποσοστό θρεπτικών στοιχείων (%) στο σύνολο της υπέργειας βιομάζας συστάδων οξιάς

Table VIII. Percentage of nutrients (%) in total above ground biomass of beech stands.

Είδος	Ποιότ. τύπου	N %	P %	Mg %	K %	Ca %	Na %
-Κλαδιά d>5cm	II	8,04	20,80	7,21	9,88	23,86	5,64
-Κλαδιά d=2-5cm		3,03	3,90	2,68	2,92	2,42	2,06
-Κλαδίσκοι d<2 cm+ φύλλα		12,42	12,20	4,04	7,43	1,85	3,29
Βιομάζα		23,50	36,89	13,93	20,22	28,13	10,98
Κορμός		76,50	63,11	86,07	79,78	71,87	89,02
--Κλαδιά d>5cm	III	14	11,05	9,99	14,11	7,55	9,74
--Κλαδιά d=2-5cm		2,68	4,66	2,08	1,78	3,02	2,36
--Κλαδίσκοι <2 cm+ φύλλα		14,57	14,26	4,02	5,42	3,76	4,29
Βιομάζα		31,24	29,97	16,09	21,31	14,34	16,39
Κορμός		68,76	70,03	83,91	78,69	85,66	83,61

την κύρια εισροή οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.

Η μεγαλύτερη συσσώρευση δασικού τάπητα στις χειρότερες ποιότητες τύπου (IV) των συστάδων ελάτης οφείλεται, στις δυσμενέστερες συνθήκες

αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων.

Τα εδάφη που αναπτύσσονται τα οικοσυστήματα ελάτης στο Περτούλι, είναι περισσότερο όξινα από τα εδάφη της οξιάς στην Αριδαία. Γενικά, όλα τα εδάφη αυτής της έρευνας είναι μετρίως έως καλά

εφοδιασμένα με θρεπτικά στοιχεία, με εξαίρεση τις συστάδες οξιάς της καλής ποιότητας όπου οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλές ποσότητες καλίου.

Συγκρίνοντας χωριστά κάθε ένα από τα κλάσματα της υπέργειας βιομάζας σε σχέση με την ποσότητα που αντιπροσωπεύουν σε μια υλοτομία, διαπιστώνουμε ότι το πιο πλούσιο κλάσμα σε θρεπτικά στοιχεία είναι οι λεπτοί κλαδίσκοι μικρότεροι από 2 cm μαζί με τις βελόνες ή τα φύλλα, το πιο φτωχό είναι το ξύλο του κορμού ενώ ο φλοιός και τα κλαδιά με διάμετρο μεγαλύτερη από τα 2 cm καταλαμβάνουν ενδιάμεση θέση.

Στην ακολουθούμενη σημερινή πρακτική συγκομιδής του ξύλου από τα δάση ελάτης και οξιάς της χώρας μας, απομακρύνεται μόνο το ξύλο του κορμού που περιέχει συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων από 63% έως και 89% της συνολικής υπέργειας βιομάζας του δένδρου, ενώ τα υπολείμματα υλοτομίας παραμένουν αναξιοποίητα στο δάσος. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι θα μπορούσαν να απομακρυνθούν για αξιοποίηση τα κλαδιά με διάμετρο μεγαλύτερη των 2 cm χωρίς να διαταράσσεται η αειφορία του δασικού εδάφους, αφού βέβαια λαμβάνονται υπόψη πάντοτε οι ιδιαιτερότητες των δασικών οικοσυστημάτων της χώρας μας.

Effect of removing logging residues of fir (*Abies borisii regis* Matf.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) on forest ecosystems in Northern Greece

V. Filippou¹, E. Papaioannou², A.G. Papaioannou², E. Premniotou¹, J. L. Philippou¹

ABSTRACT

The aim of this research was to study the distribution of organic matter and nutrients in forest floor, soil and total aboveground biomass of fir (*Abies borisii regis*, Matf.) and beech (*Fagus sylvatica* L.), in order to determine the quantities of nutrients in the logging residues. Eight experimental plots were installed, four in fir stands (at the University forest of Pertouli) and four in beech forest complex of Aridaia. Furthermore, harvesting and soil sampling were carried out to determine the nutrient stocks and chemical composition of plant components for both forest species. The results showed that in the removal of the aboveground biomass, the largest proportion of nutrients removed from the ecosystems were those from the stem. Branches in diameter < 2 cm with needles or foliage had higher concentration of N and P compared to branches in diameter > 2 cm which had limited concentration of nutrients in general. In conclusion, assuming that the local conditions are taken in consideration, branches in diameter > 2 cm can be removed, simultaneously with the extraction of the stem.

Keywords: forest biomass, nutrient elements, logging residues, bioenergy, forest ecosystem.

¹Laboratory of Forest Technology,

²Laboratory of Forest Soil Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki 54124 Thessaloniki

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbas, D., Current, D., Phillips, M., Rossman, R., Hoganson, H., Brooks, K.N. 2011. Guidelines for harvesting forest biomass for energy: A synthesis of environmental considerations. *Biomass and Bioenergy*, 35(11), 4538–4546.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Rowland, A.P., 1986. Chemical analysis. In: Moore, P.D., Chapman, S.B. (Eds.), *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publication, Oxford, London, pp. 285–344.
- Becker, D.R.; McCaffrey, S.; Abbas, D.; Halvorsen, K.E., Jakes, P.; Moseley, C. 2011. The conventional wisdoms of woody biomass utilization. *Journal of Forestry*, 109(4):208-218.
- Bergseng, E., Eid, T., Løken, Ø., Astrup, R. 2013. Harvest residue potential in norway–A bio-economic model appraisal. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28, 470–480.
- Bouriaud O., Stefan, G., Flocea, M. 2013. Predictive models of forest logging residues in Romanian spruce and beech forests. *Biomass and Bioenergy* 54:59–66
- Burger, J.A. 2002. Soil and long-term site productivity values. *Bioenergy from sustainable forestry*. Richardson J, Bjorheden R, Hakkila P, Lowe AT, Smith CT. *Guiding Principles and Practice*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 165-189.
- Edmonds, R. L. 1991. Organic matter decomposition in Western United States Forests. In “Proceedings-management and productivity of Western-Montane forest soils”. pp. 118-128. USDA Forest Serv. Intermountain Res. Stn.
- Filippou, V., Tsanaxidou, Z., Sideras, A., Philippou, L. 2015. Weight characteristics of logging residues of fir and beech as an energy source. ICWSE 2015 Conference, page 701, Brasov Romania 5-7 Nov. 2015 ISSN 1843 - 2689.
- Grant, E.G.,–1982. Exchangeable cations. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, A.L. Page (ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp:159-164.
- Hesselink, T.P. 2010. Increasing pressures to use forest biomass: a conservation viewpoint. *The Forestry Chronicle* 86, 28–35
- Larcher, W. 1980. *Physiological plant ecology*. 2nd Edn. Springer-Verlag, Berlin, 303 p.
- McLean, E.O.,–1982. Soil pH and Rime requirement. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, A.L. Page (ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp: 199-223.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E.,–1982. Total carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, A.L. Page (ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp:539-577.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E.,–1982. Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, A.L. Page (ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp: 403-427.
- Παπαϊωάννου, Α.Γ. 1993. Σχέσεις παραγωγικότητας με μορφές και χαρακτηριστικά του δασικού χούμου σε δάση μαύρης πεύκης και οξιάς στη Βόρεια Ελλάδα. (Διδακτορική Διατριβή) σελ. 137. Θεσσαλονίκη 1993.
- Ραπαϊοάννου, Α.Γ. 2013. Assessment of the Empirical Management Method of Coppice Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Forests Practiced by the Monks and its Effect on the Availability of Forest Soil Resources in Mount Athos, Greece. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*; Vol. 41 Issue 1, p317.
- Παπαμίχος, Ν.Θ. 2006. Δασικά Εδάφη. Έκδοση β' Βελτιωμένη Α.Π.Θ. σελ. 414.
- Peltola, J., Kilpeläinen, H., Asikainen, A. 2011. Recovery rates of logging residue harvesting in Norway spruce (*Picea abies* L.) Karsten) dominated stands. *Biomass and Bioenergy* 35(4):1545-1551.
- Rä isänen, T., Nurmi, J. 2011. Impacts of changing the minimum diameter of roundwood on the accumulation of logging residue in first thinnings of *Scots pine* and *Norway spruce*. *Biomass and Bioenergy* 35:2674-2682
- Raulund-Rasmussen, K., Stupak, I., Clarke, N., Callesen, I., Helmisaari, H-S., Karlton, E., Varnagirytė-Kabasinskiene, I. 2008. Effects of very intensive forest biomass harvesting on short and long term site productivity. *Sustainable use of Forest Biomass for Energy Volume 12. Managing Forest Ecosystems* 29-78.
- Scarlat, N., Blujdea V., Dallemand, J.F. 2011. Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania. *Biomass and Bioenergy* 35:1995-2005
- Sevgi, O., and Tecimen H. B. 2008. Changes in Austrian pine forest floor properties in relation with altitude in mountainous areas *Journal of Forest Science*, 54. (7):
- Staaf, H. and B.A. Olsson. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scand. J. For. Res.* 9, 305–310.

Stevenson, F.J., 1982. Nitrogen-Organic forms. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, A.L. Page (ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp:625-641.

Τάντος, Β., 1997. Ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων σε οικοσύστημα υβριδογενούς ελάτης (*Abies borissi regis* Matf) Διδ. Διατριβή Α.Π.Θ., Τμήμα ΔΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Τάντος, Β., 2000. Καταγραφή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών στοιχείων σε οικοσυστήματα υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii regis* Matf.) Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα II (1) 3: 272-280.

Τσιόντσης, Α. Ι. 1991. Παραγωγή και κατανομή οργανικής ουσίας και δυναμική των θρεπτικών στοιχείων σε οικοσυστήματα μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*

Arn). Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη.

Vose, J. M., Allen, H. Lee. 1988. Leaf Area, Stemwood Growth, and Nutrition Relationships in *Loblolly Pine*. Forest Science. 34:547-563.

Wall, A., Hytönen, J. 2011. The long-term effects of logging residue removal on forest floor nutrient capital, foliar chemistry and growth of a *Norway spruce* stand. Biomass and Bioenergy 35:3328-3334.

Welbourn, M.L., Stone E.L., Lassoie. J. P. 1981. Distribution of net litter inputs with respect to slope position and wind direction. For. Sci. 27(4):651-659.

White, E. M. 2010. Woody Biomass for Bioenergy and Biofuels in the United States-A Briefing Paper. USDA, Forest Service, Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-825.

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ και ΟΔΗΓΙΕΣ

προς τους συγγραφείς επιστημονικών εργασιών του περιοδικού

“ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ”

Γεωτεχνικοί και άλλοι επιστήμονες, που επιθυμούν να δημοσιεύσουν εργασίες στο επιστημονικό περιοδικό του ΓΕΩΤ.Ε.Ε. (ερευνητικές εργασίες, συνθετικές εργασίες ή άρθρα ανασκόπησης), πρέπει κατά τη σύνταξη των εργασιών να έχουν υπόψη τους τα εξής:

- 1.** Οι προς δημοσίευση εργασίες πρέπει να είναι πλήρεις από κάθε άποψη και να είναι δακτυλογραφημένες σε διπλό διάστημα με ευρέα περιθώρια και αρίθμηση κάθε σειράς. Οι λέξεις (επιστημονικά ονόματα φυτών, ζώων, μικροβίων κλπ.) που πρέπει να τυπωθούν με λοξά γράμματα να υπογραμμίζονται. Θα υποβάλλεται το πρωτότυπο και δύο φωτοαντίγραφα.
Εφόσον κριθεί δημοσιεύσιμη θα πρέπει να σταλεί το τελικό κείμενο σε ένα αντίγραφο καθώς και δισκέτα 3.5" που θα το περιέχει σε μορφή αρχείου γραμμένου σε word for windows.
- 2.** Το μέγεθος - έκταση των εργασιών δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 20 δακτυλογραφημένες σελίδες, συμπεριλαμβανομένων των πινάκων, διαγραμμάτων, φωτογραφιών κ.ά.
- 3.** Τα σύμβολα και οι μονάδες διαφόρων μετρικών συστημάτων θα είναι τα διεθνώς χρησιμοποιούμενα του δεκαδικού διεθνούς συστήματος και όχι του αγγλοσαξωνικού.
- 4.** Κάθε εργασία θα συνοδεύεται από μία ξεχωριστή σελίδα στην οποία θα αναγράφονται:
 - Ο τίτλος της εργασίας
 - Τα ονόματα των συγγραφέων
 - Το ίδρυμα ή ο φορέας στον οποίο εργάζονται οι συγγραφείς
 - Πλήρης διεύθυνση και τηλέφωνο του κύριου συγγραφέα.
- 5.** Κάθε ερευνητική εργασία θα πρέπει να έχει ορισμένη δομή και θα πρέπει να περιλαμβάνει:
 - α) Ελληνική περίληψη εκτάσεως 15-30 σειρών στην αρχή του κειμένου.
 - β) Εισαγωγή
 - γ) Υλικά και μέθοδος
 - δ) Αποτελέσματα
 - ε) Συζήτηση - Συμπεράσματα.
 - στ) Ξενόγλωσση περίληψη (abstract, κατά προτίμηση στην αγγλική) με τον πλήρη τίτλο και τα ονόματα των συγγραφέων.
- 6.** Οι πίνακες θα πρέπει να δακτυλογραφούνται σε ξεχωριστή σελίδα και να αριθμούνται κατά τη σειρά εμφανίσεώς τους στο κείμενο. Η αρίθμηση θα γίνεται με λατινικούς αριθμούς (I, II, III, IV, κλπ.). Στο επάνω μέρος του πίνακα θα υπάρχει συνοπτικός περιγραφικός τίτλος. Επεξηγήσεις θα δίνονται στο κάτω μέρος και θα αριθμούνται ως α,β,γ, κλπ. Θα πρέπει να αποφεύγεται η παράθεση ευμεγέθων πινάκων με πάρα πολλούς αριθμούς.
- 7.** Τα γραμμικά σχέδια - σχήματα (επίσης χημικοί τύποι ή πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις) θα είναι επιμελώς σχεδιασμένα. Τα γράμματα και οι αριθμοί θα πρέπει να είναι ανάλογου μεγέθους, ώστε να παραμένουν ευανάγνωστα σε περίπτωση σμίκρυνσης του σχήματος. Το ελάχιστο μέγεθος των σχεδίων πρέπει να είναι 9x12 εκ. και το μέγιστο 18.5x24 εκ. Τα σχέδια πρέπει να αριθμούνται με αραβικούς αριθμούς ύστερα από τη λέξη “σχήμα” (π.χ. Σχήμα 1). Ο τίτλος (λεξάντα) των σχημάτων και των εικόνων (φωτογραφιών) θα δακτυλογραφείται σε ξεχωριστή σελίδα και όχι επάνω στο σχήμα.
Οι φωτογραφίες πρέπει να είναι καλής ποιότητας και να έχουν καλό κοντράστ και ευκρίνεια.
- 8.** Οι λεζάντες των σχημάτων, των πινάκων και των φωτογραφιών που θα υπάρχουν στην εργασία θα πρέπει **ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ** να είναι γραμμένες εκτός από την ελληνική γλώσσα και στην ξένη γλώσσα την οποία ο συγγραφέας ή οι συγγραφείς έχουν χρησιμοποιήσει για να γράψουν και την περίληψη της εργασίας τους.
- 9.** Η βιβλιογραφία, θα πρέπει να δίνεται - τόσο εντός κειμένου όσο και στο τέλος - με ορισμένο τρόπο. Συνιστάται να ακολουθείται το σύστημα HARVARD, οι βασικές αρχές του οποίου είναι:
 - α) Εντός του κειμένου οι βιβλιογραφικές αναφορές θα περιλαμβάνουν το όνομα του συγγραφέα και τη χρονολογία, αμφότερα εντός παρενθέσεως ή μόνο τη χρονολογία. Σε περίπτωση δύο συγγραφέων θα αναφέρονται και οι δύο (π.χ. Βασιλείου και Παύλου, 1988). Εάν οι συγγραφείς είναι περισσότεροι των δύο, τότε η καταχώρηση γίνεται ως Βασιλείου κ.α. (1988). Το ίδιο γίνεται και για τα ξένα ονόματα.
Εάν υπάρχουν περισσότερες της μίας βιβλιογραφικές αναφορές σε συνέχεια, τότε η παράθεσή τους γίνεται κατά

χρονολογική σειρά (π.χ. Jones 1982, Reter 1984, Demeter και Peterson 1987).

Εάν υπάρχουν από τον ίδιο συγγραφέα περισσότερες από μία δημοσιεύσεις του ίδιου έτους, τότε αριθμούνται ως α,β,γ, (π.χ. Jones 1988α, Jones 1988β).

- 10.** Η παράθεση της βιβλιογραφίας στο τέλος της εργασίας θα ακολουθεί τους εξής κανόνες:
 - α) Η σειρά παράθεσης θα γίνεται με απόλυτη αλφαβητική σειρά του ονόματος του ίδιου συγγραφέα. Δεν θα υπάρχει αρίθμηση.
 - β) Κάθε βιβλιογραφία θα έχει τα ονόματα των συγγραφέων, τη χρονολογία δημοσίευσής, τον τίτλο της εργασίας, τον τίτλο του περιοδικού (διεθνώς αναγνωρισμένο συντομευμένο τίτλο), τον τόμο και την πρώτη και τελευταία σελίδα. Εργασίες μη δημοσιευμένες δεν θα καταχωρούνται ως βιβλιογραφική αναφορά, εκτός εάν έχουν γίνει αποδεκτές προς δημοσίευση σε κάποιο περιοδικό. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναφέρεται π.χ. "προς δημοσίευση Journal of Agriculture, Τεύχος 10". Σε περίπτωση ανακοινώσεως σε Επιστημονικό Συνέδριο θα αναγράφεται ο τίτλος της εργασίας, το θέμα του συνεδρίου και ο τόμος και η σελίδα των πλήρων πρακτικών ή των περιλήψεων των πρακτικών στην οποία υπάρχει η ανακοίνωση. Βιβλιογραφικές αναφορές από περιοδικό τύπο θα αναγράφουν τον τίτλο της δημοσίευσης, το όνομα του εντύπου, το έτος, τον αριθμό τεύχους και τον αριθμό σελίδας.
- 11.** Οι εργασίες που συντάσσονται και υποβάλλονται στο ΓΕΩΤ.Ε.Ε. με βάση τις ισχύουσες "οδηγίες συγγραφής", παίρνουν κατά την εισαγωγή τους έναν αύξοντα αριθμό με τον οποίο και στη συνέχεια ακολουθούν την όλη διαδικασία κρίσης, δημοσίευσης.
- 12.** Η Συντακτική Επιτροπή (Σ.Ε.), στην πρώτη μετά την υποβολή εργασίας συνεδρίαση, ορίζει δύο κριτές, εξειδικευμένους γεωτεχνικούς στο σχετικό με την εργασία ή το συγγενέστερο γνωστικό πεδίο. Οι κριτές δεν επιτρέπεται να προέρχονται από τον ίδιο εργασιακό χώρο.
- 13.** Στους ορισθέντες κριτές στέλνεται αντίγραφο της εργασίας καθώς και έντυπο ερωτηματολόγιο κρίσης - αξιολόγησής της, το οποίο συντάχθηκε από τη Σ.Ε.
- 14.** Στους κριτές ορίζεται ημερομηνία παράδοσης - επιστροφής της κρίσης και της εργασίας και όποιων άλλων παρατηρήσεων και υποδείξεων.
- 15.** Ενδεχόμενες παρατηρήσεις, υποδείξεις και προτάσεις, ενός ή και των δύο κριτών για διόρθωση και βελτίωση σημείων της εργασίας, στέλνονται στον συγγραφέα για κατάλληλη επεξεργασία, επαναδιατύπωση και διόρθωση.
- 16.** Η διορθωμένη από τον συγγραφέα εργασία, εφόσον πρόκειται για σημαντικές διορθώσεις, στέλνεται και πάλι στον κριτή ή και στους δύο κριτές για να διαπιστωθεί εάν έχουν γίνει οι προταθείσες διορθώσεις.
- 17.** Στις περιπτώσεις που μια από τις δύο κρίσεις είναι αρνητική, η εργασία συνοδευμένη και από τις δύο κρίσεις, στέλνεται σε τρίτο κριτή για τελική θετική ή αρνητική κρίση.
- 18.** Στις περιπτώσεις απορριπτικών κρίσεων, επιστρέφεται στον συγγραφέα η εργασία, με διευκρινιστική επιστολή του προέδρου του ΓΕΩΤ.Ε.Ε. στην οποία επισυνάπτονται και τα κείμενα των κρίσεων.
- 19.** Τα ονόματα των συγγραφέων και των κριτών δεν είναι σε καμία περίπτωση ανακοινώσιμα.
- 20.** Μετά την ολοκλήρωση όλων των σταδίων προετοιμασίας εκτυπώνονται τα δοκίμια, τα οποία στέλνονται στον συγγραφέα για τελική διόρθωση. Κατά την διόρθωση των δοκιμίων δεν επιτρέπονται αλλαγές κειμένου. Η σειρά δημοσίευσης εξαρτάται πλέον από την ταχύτητα διόρθωσης και επιστροφής των δοκιμίων από τον συγγραφέα.
- 21.** Δεν επιτρέπεται η δημοσίευση εργασιών οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε άλλα περιοδικά ή πρακτικά συνεδρίων.
- 22.** Τέλος σ' ότι αφορά το περιεχόμενο του κάθε τεύχους, παρ' ότι η Σ.Ε. επιδιώκει να υπάρχουν εργασίες όλων των κλάδων, συχνά ολοκληρώνεται η απαραίτητη ύλη για έκδοση τεύχους με περισσότερες εργασίες από ένα κλάδο. Αυτό δεν αποτελεί εμπόδιο για την Σ.Ε. στην προώθηση της έκδοσης των τευχών.