



ΑΣΙ

Χώρος

Κείμενα Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Ανάπτυξης

Ειδικό τεύχος – Αφιέρωμα

Μεταφορικές Υποδομές, Δίκτυα και Ανάπτυξη

2019

28



Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Ειδικό τεύχος – Αφιέρωμα

Μεταφορικές Υποδομές, Δίκτυα και Ανάπτυξη

Επιμέλεια

Σεραφείμ Πολύζος

Επιστημονικό Περιοδικό

αιχλώρος

Διεύθυνση:
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης
Περιοδικό ΑΕΙΧΩΡΟΣ
Πεδίον Άρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ
<http://www.aeihoros.gr>, e-mail: aeihoros@prd.uth.gr
τηλ.: 24210 – 74486

Επιμέλεια έκδοσης: Εύη Κολοβού
Λαγού: Παναγιώτης Μανέτος
Σχεδιασμός εξωφύλλου: Γιώργος Παρασκευάς-Παναγιώτης Μανέτος

	Πολύζος, Σ.	4
	Μεταφορικές Υποδομές, Δίκτυα και Ανάπτυξη	
	Πολύζος, Σ.	14
	Θεωρητική ανάλυση της συμβολής των μεταφορικών υποδομών στην περιφερειακή ανάπτυξη	
	Τσιώτας, Δ., Ραπτόπουλος, Κ.	40
	Η ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία ως πολύπλοκο δίκτυο: Η περίπτωση της Ελλάδας	
	Στεφανούλη, Μ.	76
	Αστικά και οικονομικά δίπολα στην Ελλάδα βάσει ημερήσιων μετακινήσεων με σκοπό την εργασία	
	Τσιώτας, Δ., Γεράκη Μ., Νιαβής, Σ.	98
	Τα δίκτυα μεταφορών στην Ελλάδα και η σημασία τους για την οικονομική ανάπτυξη	
	Νιαβής, Σ.	157
	Αξιολόγηση της επίδρασης του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος στις προοπτικές ανάπτυξης των ελληνικών λιμένων κρουαζιέρας	
	Τσιώτας, Δ.	182
	Μοντελοποίηση του οδικού διαπεριφερειακού δικτύου της Ελλάδας με χρήση ανάλυσης σύνθετων δικτύων (complex network analysis)	
	Καρύδη, Η., Θεοφανόπουλος, Π.	216
	Η ανάκτηση της σιδηροδρομικής υποδομής ως εργαλείο σχεδιασμού για την ανάπτυξη της ελληνικής περιφέρειας: Η περίπτωση της Πελοποννήσου	
	Ψαθά, Ε., Λουροντζή, Ε., Πεταχτή, Σ.	250
	Επιλογή του ποδηλάτου ως μέσου αστικής μετακίνησης: Χρηστικές και Μεταχρηστικές Διαστάσεις	
	Τζούρας, Π., Κυριακίδης, Χ., Μπακογιάννης, Ε., Βλαστός, Θ.	276
	Προσεγγίζοντας το ζήτημα της βιωσιμότητας περιαστικών ποδηλατικών υποδομών μεγάλου μήκους με χρήση Κοινωνικής Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους: Η ποδηλατική σύνδεση Ναυπλίου-Άργους	

Η ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία ως πολύπλοκο δίκτυο: Η περίπτωση της Ελλάδας

Δημήτριος Τσιώτας

Δρ. Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κωνσταντίνος Ραπτόπουλος

Υπ. Διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Αυτό το άρθρο μελετά το ελληνικό διαπεριφερειακό δίκτυο των ημερήσιων μετακινήσεων με σκοπό την εργασία (Greek commuting network - GRN), χρησιμοποιώντας μέτρα και τεχνικές της ανάλυσης σύνθετων δικτύων και εμπειρικές μεθόδους. Η μελέτη αποσκοπεί στην ανίχνευση των δομικών χαρακτηριστικών του φαινομένου commuting και του τρόπου με τον οποίο το δίκτυο αυτό υπηρετεί και προάγει την περιφερειακή ανάπτυξη. Στην εμπειρική ανάλυση κατασκευάζεται ένα πολλαπλό υπόδειγμα γραμμικής παλινδρόμησης για τον αριθμό των commuters, το οποίο δομείται με βάση το σημασιολογικό πλαίσιο της έννοιας του δικτύου, ως μία προσπάθεια προώθησης του διεπιστημονικού διαλόγου. Η ανάλυση αναδεικνύει την επίδραση των χωρικών περιορισμών στο δίκτυο, παρέχει πληροφορία σχετικά με τα μεγαλύτερα έργα υποδομής που συντελέστηκαν στον τομέα των οδικών μεταφορών και επηρέασαν τη μεταφορική ικανότητα της χώρας, και σκιαγραφεί τη βαρυτική διάσταση του φαινομένου, μέσα από την ελκτική δράση των πολυπληθών πόλεων που διατηρούν ένα μεγάλο ποσό δραστηριότητας commuting εντός των αστικών τους ορίων, περιορίζοντας έτσι τις διαπεριφερειακές διαρροές εργατικού δυναμικού και συνεπώς αυξάνοντας την ενδογενή τους παραγωγικότητα. Συνολικά, το άρθρο αναδεικνύει την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ανάλυσης των σύνθετων δικτύων στη μοντελοποίηση των χωρικών δικτύων και ειδικότερα των συστημάτων μεταφορών και επιδιώκει την προώθηση χρήσης του παραδείγματος των δικτύων στις χωρικές και περιφερειακές εφαρμογές.

Λέξεις κλειδιά

χωρικά δίκτυα, ανάλυση σύνθετων δικτύων, διαπεριφερειακή μετακίνηση με σκοπό την εργασία

The commuting phenomenon as a complex network: The case of Greece

Abstract

This article studies the Greek interregional commuting network (GRN) by using measures and methods of complex network analysis and empirical techniques. The study aims to detect structural characteristics of the commuting phenomenon, which are configured by the functionality of the land transport infrastructures, and to interpret how this network serves and promotes the regional development. In the empirical analysis, a multiple linear regression model for the number of commuters is constructed, which is based on the conceptual framework of the term “network”, in effort to promote the interdisciplinary dialogue. The analysis highlights the effect of the spatial constraints on the network’s structure, provides information on the major road transport infrastructure projects that constructed recently and influenced the country capacity, and outlines a gravity pattern describing the commuting phenomenon, which expresses that cities of high population attract large volumes of commuting activity within their boundaries, a fact that contributes to the reduction of their outgoing commuting and consequently to the increase of their inbound productivity. Overall, this paper highlights the effectiveness of complex network analysis in the modeling of spatial and particularly of transportation network and promotes the use of the network paradigm in the spatial and regional research.

Keywords

spatial networks, complex network analysis, interregional commuting

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία (*commuting*) αποτελεί ένα πολυδιάστατο φαινόμενο που αφορά την τακτική κινητικότητα των εργαζομένων για εργασία, η οποία διενεργείται σε θέσεις εκτός των αστικών ορίων του τόπου διαμονής τους (Πολύζος, 2011). Το θεωρητικό πλαίσιο του φαινομένου εμπεριέχει κοινωνικές, οικονομικές, γεωγραφικές και πολιτικές διαστάσεις, με αποτέλεσμα η μελέτη και η σε βάθος γνώση του να συνιστά μία ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία που είναι δυνατό να παρέχει χρήσιμες ιδέες προς την κατεύθυνση άσκησης αποτελεσματικότερης πολιτικής, ιδιαίτερα στους τομείς της εργασίας και των μεταφορών, αλλά και στην προαγωγή του αειφόρου σχεδιασμού των μεταφορών (Evans et al., 2002; Van Ommeren and Rietveld, 2005). Μέχρι σήμερα, έχει μελετηθεί

από τους Περιφερειολόγους και τους Συγκοινωνιολόγους μία ευρεία γκάμα θεμάτων commuting, όπως είναι ενδεικτικά το μεταφορικό (χωρικό και χρονικό) κόστος (Van Ommeren and Fosgerau, 2009; Tsiotas and Polyzos, 2013a) η ψυχολογία της μετακίνησης (Koslowsky et al., 1995), η πιθανότητα τροχαίου ατυχήματος (Ozbay et al., 2007), διάφορα ζητήματα επιλογής του τρόπου (μέσου) μετακίνησης (transportation modes) και των εναλλακτικών δυνατών διαδρομών (Murphy, 2009; Liu and Nie, 2011), καθώς και θέματα που αφορούν τη σχέση του φαινομένου με μορφές της παραγωγικότητας (Van Ommeren and Rietveld, 2005).

Ωστόσο, η μακροσκοπική μελέτη του commuting δεν έχει τύχει της ανάλογης προσοχής, τόσο διεθνώς όσο στην περίπτωση της Ελλάδας (Tsiotas and Polyzos, 2013a; Polyzos et al., 2014). Ένας από τους σύγχρονους επιστημονικούς τομείς που καθίσταται ικανός στην παροχή μεθόδων μοντελοποίησης προς αυτήν την ολιστική κατεύθυνση είναι η αποκαλούμενη ανάλυση σύνθετων δικτύων (complex network analysis) (Brandes and Erlebach, 2005; Easley και Kleinberg, 2010; Barthelemy, 2011) ή Επιστήμη των Δικτύων (Brandes et al., 2013), όπως έχει μετονομαστεί πρόσφατα. Αυτή η προσέγγιση αναπαριστά τα συστήματα επικοινωνίας ως γράφους (Easley and Kleinberg, 2010; Borgatti and Halgin, 2011; Tsiotas and Polyzos, 2013a), δηλαδή ως διμερή σύνολα που αποτελούνται από μία συλλογή διασυνδεδεμένων μονάδων (τους κόμβους) και από τις μεταξύ τους συνδέσεις (τις ακμές). Σύμφωνα με αυτήν την οπτική, ένα σύστημα ημερήσιας μετακίνησης εργαζομένων (commuters) μπορεί να αναπαρασταθεί ως δίκτυο (γράφος), στο οποίο, σε διαπεριφερειακή κλίμακα, οι κόμβοι εκφράζουν τις περιοχές προέλευσης και προορισμού και οι ακμές πληροφορίες απόστασης και ροών.

Εντός του παραπάνω εννοιολογικού πλαισίου, το άρθρο αυτό περιγράφει τη διαπεριφερειακή μετακίνηση commuting στην Ελλάδα ως πολύπλοκο δίκτυο, η οποία αναπτύσσεται μεταξύ των πρωτεύουσών των χερσαίων νομών της χώρας. Τα χαρακτηριστικά του φαινομένου εξετάζονται τόσο μεμονωμένα, ως προς την τοπολογία και τη λειτουργικότητα του δικτύου που κατασκευάζεται, όσο και σε σχέση με το ευρύτερο κοινωνικοοικονομικό τους περιβάλλον. Περαιτέρω, στην εμπειρική ανάλυση προτείνεται ένα πολλαπλό υπόδειγμα γραμμικής παλινδρόμησης που περιγράφει τη διαπεριφερειακή ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία, βασισμένο στις σημασιολογικές συνιστώσες της έννοιας του δικτύου, όπως αυτές περιγράφηκαν από τους Berners-Lee et al. (2007) και Easley and Kleinberg (2010) και αναθεωρήθηκαν από τους Tsiotas and Polyzos (2015c). Απώτερο σκοπό της μελέτης αποτελεί η ανίχνευση των δομικών χαρακτηριστικών του φαινομένου commuting, όπως αυτά αποτυπώνονται στις δυνατότητες μετακίνησης που παρέχονται μέσω των χερσαίων μεταφορικών υποδομών.

Το υπόλοιπο του εγγράφου δομείται ως εξής: στην 2η ενότητα παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο και ειδικότερα ο τρόπος και οι παραδοχές μοντελοποίησης του διαπεριφερειακού δικτύου σε γράφο, τα μέτρα ανάλυσης δικτύου που χρησιμοποιούνται και το εμπειρικό υπόδειγμα που κατασκευάζεται. Στην 3η ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των επιμέρους αναλύσεων και σχολιάζονται υπό το πρίσμα της ανάλυσης σύνθετων δικτύων και της περιφερειακής επιστήμης, με έμφαση στον τομέα των μεταφορών. Τέλος, στην παράγραφο 4 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1. Μοντελοποίηση του Δικτύου

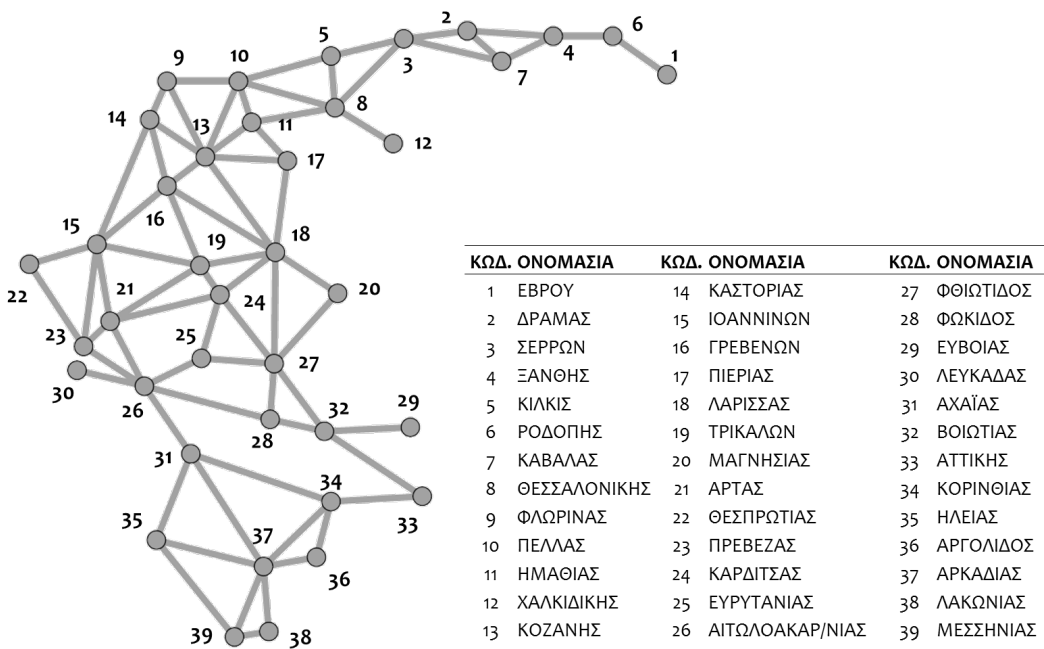
Το GCN (σχήμα 1) αποτελεί ένα δίκτυο με περισσότερο οικονομική και λιγότερο φυσική ερμηνεία. Αυτό το χωρικό μοντέλο αντιπροσωπεύει μία πτυχή του εθνικού οδικού δικτύου, εκφρασμένη σε διαπεριφερειακή κλίμακα (σε επίπεδο νομών), στην οποία δεν διατηρείται η πληροφορία της γεωμετρίας των οδών, αλλά μόνο η γεωγραφική κλίμακα των θέσεων των κόμβων. Με την κατασκευή του GCN ουσιαστικά επιχειρείται η αναπαράσταση των λειτουργιών και των σχέσεων οδικής επικοινωνίας που αναπτύσσονται μεταξύ των νομών της Ελλάδας, με σκοπό τη μελέτη της τοπολογίας και των οικονομικών δυναμικών που διαμορφώνονται από αυτό το σύστημα των χωρικών και οικονομικών αλληλεπιδράσεων.

Αναλυτικότερα, το GCN αναπαρίσταται στον *L-χώρο* (Barthelemy, 2011; Tsiotas and Polyzos, 2015a,b) ως ένας μη κατευθυνόμενος γράφος $G(V,E)$ με χωρικά βάρη (spatial network), του οποίου το σύνολο των κόμβων V αντιπροσωπεύει τις *πρωτεύουσες των ελληνικών νομών*, ενώ το σύνολο των ακμών E εκφράζει την *ύπαρξη δυνατότητας απευθείας οδικών συνδέσεων* μεταξύ των νομών της Ελλάδας. Οι θέσεις των κόμβων του GCN στο χάρτη (σχήμα 1) αντιστοιχούν στις γεωγραφικές συντεταγμένες των πρωτεύουσών των ελληνικών νομών και τα μήκη των ακμών αναπαριστούν, υπό κλίμακα, τις ευκλείδειες χιλιομετρικές αποστάσεις των κόμβων. Η επιλογή του συγκεκριμένου είδους των κόμβων πραγματοποιείται λόγω της οικονομικής σημασίας που έχουν στην Περιφερειακή Επιστήμη οι πρωτεύουσες των νομών, ως χώροι σημαντικών πληθυσμιακών συγκεντρώσεων (Polyzos et al., 2013; Tsiotas and Polyzos, 2013a,b), με απώτερο σκοπό το χωρικό δίκτυο που θα προκύψει να αποτελεί ένα υπόδειγμα με σημαντικό οικονομικό αντίκρισμα.

Το GCN είναι συνδετικό (connective) δίκτυο (μία συνιστώσα), συναποτελούμενο από τους $n=39$ νομούς (κόμβους) της ηπειρωτικής χώρας και από τις $m=71$ μεταξύ τους οδικές συνδέσεις (ακμές) (σχήμα 1). Τα χωρικά βάρη $w_{s,ij}=d(e_{ij})$ των ακμών εκφράζουν τις πραγματικές χιλιομετρικές αποστάσεις των συντομότερων διαδρομών (σε χιλιόμετρα) που συνδέουν τις πρωτεύουσες των νομών. Κάθε ακμή αντιστοιχεί σε τμήματα διπλής

οδικής κατεύθυνσης, με αποτέλεσμα ο πίνακας των συνδέσεων του δικτύου να προκύπτει συμμετρικός. Ως περαιτέρω βάρη στο GCN θεωρούνται οι χρονοαποστάσεις (spacetime distances) μεταξύ των κόμβων, οι οποίες εκφράζουν τον απαιτούμενο χρόνο (σε min) κάλυψης μιας δεδομένης χιλιομετρικής απόστασης μεταξύ δύο θέσεων του δικτύου. Οι τιμές αυτές αποτελούν και έναν έμμεσο δείκτη της αποτελεσματικότητας του οδικού διαπεριφερειακού δικτύου, καθόσον ο μέσος χρόνος διέλευσης μίας διαδρομής αντιπροσωπεύει την ποιότητα των οδικών υποδομών του δικτύου (Τσιώτας κá., 2012; Tsiotas and Polyzos, 2013a,b).

Σχήμα 1. Το διαπεριφερειακό δίκτυο των ημερησίων μετακινουμένων με σκοπό την εργασία (Greek Commuters Network - GCN), αναπαριστώμενο στον L-χώρο ως μη κατευθυνόμενος γράφος με $n=39$ κόμβους και $m=71$ ακμές (οι κόμβοι στο γράφο αντιπροσωπεύουν τις πρωτεύουσες των Καποδιστριακών νομών)



Πηγή: Ϊδια επεξεργασία

Τα χωρικά δεδομένα (γεωγραφικές συντεταγμένες) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του GCN αντλήθηκαν από τις υπηρεσίες ψηφιακής χαρτογράφησης της Google (2013), ενώ τα δεδομένα των χιλιομετρικών αποστάσεων και των χρονοαποστάσεων από τις εργασίες των Τσιώτας κá. (2012) και Tsiotas and Polyzos (2013a,b) και (2015c). Τα

διαθέσιμα δεδομένα των χρονοαποστάσεων αντιστοιχούν σε δύο χρονικές καταστάσεις (στιγμιότυπα) του διανομαρχιακού ελληνικού οδικού δικτύου. Η πρώτη περιλαμβάνει στοιχεία του έτους 1988, τα οποία περιγράφουν την κατάσταση του εθνικού δικτύου οδικών μεταφορών στο πιο πρόσφατο παρελθόν του, δηλαδή στο αρχικό στάδιο της σύγχρονης μορφής του. Η δεύτερη περιλαμβάνει στοιχεία του έτους 2010, τα οποία αντιπροσωπεύουν τη σημερινή εικόνα του δικτύου, έπειτα από την ενσωμάτωση στις οδικές υποδομές της χώρας ενός αριθμού έργων αναβάθμισης, όπως είναι ενδεικτικά η γέφυρα *Ρίου-Αντιρρίου* και η *Εγνατία Οδός*.

Τέλος, η πληροφορία που αφορά τους commuters του GCN ενσωματώθηκε στο χωρικό υπόδειγμα με τη μορφή βάρους κόμβων (node weight) και όχι βάρους ακμών (edge weight) (Tsiotas and Polyzos, 2013a,b). Δηλαδή, τα διαθέσιμα στοιχεία commuting δεν περιγράφουν τον αριθμό των μετακινούμενων με τη μορφή κυκλοφοριακού φόρτου (ροές commuters) στις ακμές του δικτύου, αλλά ως το πλήθος των εργαζομένων που ξεκινούν το ημερήσιο ταξίδι τους από μία συγκεκριμένη πρωτεύουσα νομού, με αποτέλεσμα το δίκτυο GCN να αποτελεί μη κατευθυνόμενο γράφο. Η περιγραφή της πληροφορίας commuting ως βάρη κόμβων θεωρήθηκε αντιπροσωπευτικότερη σε σχέση με την προσάρτηση βαρών στις ακμές του GCN, καθώς η πρώτη περιγράφει το σύνολο των μετακινούμενων με σκοπό την εργασία, ενώ η δεύτερη μόνο το ποσοστό των commuters που μετακινείται μεταξύ των πρωτευουσών των νομών.

2.2. Μέτρα ανάλυσης δικτύου

Τα μέτρα χώρου και τοπολογίας που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του GRN παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1 (βλ. Παράρτημα). Εκτός από τα βασικά αυτά μέτρα, στην ανάλυση του GCN υπολογίζεται ο *ωμέγα* (ω) *δείκτης* των Telesford et al. (2011), με σκοπό την ανίχνευση της ιδιότητας του μικρού-κόσμου (small-world) *S-W* (Watts and Strogatz, 1998) και της ύπαρξης χαρακτηριστικών δικτυώματος (lattice-like characteristics) ή τυχαίου γράφου (random-like characteristics). Το μέτρο συγκρίνει τη μέση συγκέντρωση του εξεταζόμενου δικτύου $\langle c \rangle$ με αυτήν ενός ισοδύναμου δικτυώματος $\langle c \rangle_{latt}$ και το μέσο μήκος μονοπατιού $\langle l \rangle$ του δικτύου με το αντίστοιχο μέγεθος ενός ισοδύναμου τυχαίου γράφου $\langle l \rangle_{rand}$, με βάση τη σχέση:

$$\omega = \left(\frac{\langle l \rangle_{rand}}{\langle l \rangle} \right) - \left(\frac{\langle c \rangle}{\langle c \rangle_{latt}} \right) \quad (1)$$

Τιμές του ω δείκτη που βρίσκονται κοντά στο μηδέν περιγράφουν την ιδιότητα του μικρού-κόσμου, ενώ οι θετικές τιμές υποδηλώνουν την ύπαρξη τυχαίων χαρακτηριστικών στο δίκτυο και οι αρνητικές την ύπαρξη χαρακτηριστικών δικτυώματος (Tsiotas and Polyzos,

2015β). Τα μηδενικά πρότυπα (null models) που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της παραπάνω σχέσης δημιουργούνται με χρήση των αλγορίθμων παραγωγής τυχαίων γράφων, των Maslov and Sneppen (2002), και δικτύωματος, των Sporns and Kotter (2004), οι οποίοι είναι *επαναληπτικοί (iterative)* και διατηρούν την κατανομή βαθμού του πρότυπου (εμπειρικού) δικτύου. Ο πρώτος εφαρμόζεται σε δύο βήματα, αρχικά επιλέγονται τυχαία τέσσερις κόμβοι των οποίων οι ακμές διχοτομούνται, αντιστοιχίζοντας μισή ακμή σε κάθε κόμβο, και στη συνέχεια οι μισές ακμές ενώνονται με τυχαίο τρόπο μεταξύ τους (Rubinov and Sporns, 2010). Ο αλγόριθμος παραγωγής του ισοδύναμου δικτύωματος των Sporns and Kotter (2004) (*latticeization algorithm*) εφαρμόζει την ίδια διαδικασία, θέτοντας τον περιορισμό ότι η εναλλαγή των μισών ακμών πραγματοποιείται μόνο όταν ο προκύπτων πίνακας συνδέσεων έχει τις μη μηδενικές του καταχωρήσεις εγγύτερα στην κύρια διαγώνιο σε σύγκριση με την αρχική του κατάσταση (Sporns and Kotter, 2004; Rubinov and Sporns, 2010). Με τη συνθήκη αυτή προσεγγίζεται η τοπολογία δικτύωματος, καθόσον στα δίκτυωματα είναι απίθανο να πραγματοποιηθούν συνδέσεις απομακρυσμένων κορυφών (Sporns and Kotter (2004; Rubinov and Sporns, 2010).

Γενικά, η *S-W* ιδιότητα εξετάζεται με μαθηματική αυστηρότητα σε μια διαθέσιμη οικογένεια γράφων, όταν ανιχνευθεί πως το $\langle l \rangle$ δεν αυξάνεται γρηγορότερα από λογαριθμικά καθώς ο αριθμός των κόμβων τείνει στο άπειρο, όταν δηλαδή $\langle l \rangle_{bin} = O(\log n)$ καθώς $n \rightarrow \infty$ (Porter, 2012). Επειδή δεν καθίσταται εφικτή η συλλογή μιας οικογένειας διαφορετικών διαχρονικών εκδοχών του GCN για τον έλεγχο της *S-W* ιδιότητας με την εφαρμογή του ορισμού (Tsiotas and Polyzos, 2015b), επιλέγεται η εξέταση της ιδιότητας του μικρού-κόσμου προσεγγιστικά, με χρήση του ω δείκτη. Η προσέγγιση αυτή παρέχει περαιτέρω ενδείξεις για το αν η τυπολογία του εξεταζόμενου δικτύου διέπεται από χαρακτηριστικά τυχαίου δικτύου (random network) ή δικτύωματος (lattice network).

2.3. Εμπειρική ανάλυση

Στην ενότητα αυτή κατασκευάζεται ένα εμπειρικό υπόδειγμα για τον υπολογισμό του αριθμού των ημερησίως μετακινούμενων του GCN, χρησιμοποιώντας μεταβλητές των κόμβων του δικτύου. Κάθε μεταβλητή αποτελεί, δηλαδή, συλλογή τιμών που εμφανίζουν οι κόμβοι του δικτύου σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό p , η οποίες αποτελούνται από n το πλήθος στοιχεία (ίσα με τον αριθμό των κόμβων του δικτύου). Για παράδειγμα, το σύνολο $k = \{k_i, i=1, \dots, n\}$ με τις τιμές που έχουν οι $n=39$ κόμβοι του GCN στο μέγεθος του βαθμού k , αντιμετωπίζεται ως μία διανυσματική στατιστική *μεταβλητή (vector variable)* βαθμού που ονομάζεται DEG (Tsiotas and Polyzos, 2013a, 2015c). Με δεδομένο ότι οι κόμβοι στο GCN αντιστοιχούν στους ελληνικούς νομούς, δημιουργούνται $p=30$ διανυσματικές μεταβλητές (Y, X_1, \dots, X_{29}) (όπου δεν υφίσταται κίνδυνος σύγχυσης θα καλούνται εφεξής

απλώς μεταβλητές), οι οποίες συμμετέχουν στην εμπειρική ανάλυση. Η επιλογή του είδους των μεταβλητών πραγματοποιείται με κριτήριο την κατά το δυνατόν εξάντληση της θεματολογίας σχετικά με τη μελέτη του φαινομένου του commuting (Glaeser and Kohlhase, 2003; Clark et al., 2003; Ozbay et al., 2007; Van Ommeren and Fosgerau, 2009; Murphy, 2009; Liu and Nie, 2011; Polyzos, 2011; Tsiotas and Polyzos, 2015c), και ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των στοιχείων. Περαιτέρω, οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του υποδείγματος ομαδοποιούνται σε τρεις θεματικές κατηγορίες, σε *δομικές (structural) S*, *λειτουργικές (functional or behavioral) B* και *οντολογικές (ontological) O* μεταβλητές, ώστε να καλύπτουν και τις τρεις πτυχές που περιγράφουν εννοιολογικά ένα δίκτυο, όπως προτάθηκε από τους Tsiotas and Polyzos (2015c).

Με βάση τα παραπάνω, το σύνολο των 30 μεταβλητών που συμμετέχουν στην εμπειρική ανάλυση του GCN παρουσιάζονται στον πίνακα 2 (βλ. Παράρτημα). Στη συνέχεια κατασκευάζεται ένα εμπειρικό υπόδειγμα για τον προσδιορισμό του αριθμού των commuters που μετακινούνται εντός του GCN. Για την κατασκευή του υποδείγματος χρησιμοποιούνται ο *διμεταβλητός συντελεστής συσχέτισης του Pearson (Pearson's bivariate coefficient of correlation)* και η μέθοδος της *πολυμεταβλητής γραμμικής παλινδρόμησης (multivariate linear regression analysis)* (Norusis, 2004; Devore and Berk, 2012; Tsiotas and Polyzos, 2015c).

Ο αλγόριθμος της κατασκευής του υποδείγματος αποτελείται από τρία βήματα. Το πρώτο περιλαμβάνει την ομαδοποίηση των διαθέσιμων μεταβλητών, ανάλογα με τη θεματική τους συνάφεια, στις τρεις κατηγορίες (δομικές, συμπεριφορικές ή λειτουργικές και οντολογικές) του πίνακα 2. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στη διαμόρφωση τριών συνόλων μεταβλητών (XS, XB και XO), σύμφωνα με τη σχέση (Tsiotas and Polyzos, 2015b):

$$\begin{aligned} X &\equiv \{X_k, k = 1, \dots, p\} \\ (X &\equiv X_S \cup X_B \cup X_O) \wedge (X_i \cap X_j = \emptyset) \wedge (j \neq i, j = \{S, B, O\}) \end{aligned} \quad (2)$$

όπου τα σύνολα XS, XB και XO αντιπροσωπεύουν τη δομική, τη λειτουργική και την οντολογική ομάδα αντίστοιχα.

Στο δεύτερο βήμα, ο αλγόριθμος ξεχωρίζει τις αντιπροσωπευτικότερες μεταβλητές ανά κατηγορία, χρησιμοποιώντας το διμεταβλητό συντελεστή συσχέτισης του Pearson, ο οποίος δίδεται από τη σχέση:

$$r(x, y) \equiv r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \cdot \text{var}(y)}} \equiv \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (3)$$

όπου το $\text{cov}(x,y) \equiv s_{xy}$ εκφράζει τη συμμεταβλητότητα των μεταβλητών x,y , ενώ τα $\sqrt{\text{var}(x)} \equiv s_x$, $\sqrt{\text{var}(y)} \equiv s_y$ αντιπροσωπεύουν τις τυπικές τους αποκλίσεις. Ως αντιπροσωπευτικές μεταβλητές για την κάθε κατηγορία επιλέγονται αυτές που έχουν το μεγαλύτερο άθροισμα τετραγώνων των συντελεστών συσχέτισης, οι οποίοι υπολογίζονται στις στατιστικά σημαντικές (επιλεγμένο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha \leq 10\%$) μεταβλητές, διακρίνοντας δύο περιπτώσεις: αρχικά υπολογίζονται αποκλειστικά μεταξύ των μεταβλητών που βρίσκονται εντός μίας συγκεκριμένης ομάδας $X_{k=\{S,B,O\}}$ (within-groups calculations) και έπειτα για το σύνολο των $p=30$ διαθέσιμων μεταβλητών του πίνακα 10 (global calculations). Η μαθηματική έκφραση της διαδικασίας υπολογισμού των αντιπροσώπων κάθε ομάδας δίδεται από τη σχέση (Tsiotas and Polyzos, 2015c):

$$\begin{aligned} X_k &\equiv \text{αντιπροσωπος} \{X_k\}_{k=S,B,O} \equiv \text{rep} \{X_k\}_{k=S,B,O} : \\ &(X_k \in X_k) \wedge (\forall X_i, X_j \in X_k) : \\ &\sum_i^k r^2(X_k, X_i) = \max \left\{ \sum_i r^2(X_i, X_j) : P[r(X_i, X_j) = 0] \leq 0,10 \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Στο τελευταίο στάδιο, οι μεταβλητές που επιλέγονται από την παραπάνω διαδικασία, ως αντιπρόσωποι των κατηγοριών X_S , X_B και X_O , τοποθετούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές (X_j) σε ένα υπόδειγμα πολυμεταβλητής γραμμικής παλινδρόμησης (Tsiotas and Polyzos, 2015c), με εξαρτημένη μεταβλητή Y τον αριθμό των ημερησίως μετακινουμένων με σκοπό την εργασία (commuters) (πίνακας 2).

Με το υπόδειγμα της γραμμικής παλινδρόμησης εκτιμάται η μορφή της γραμμικής σχέσης που περιγράφει καλύτερα τη σχέση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών, η οποία στηρίζεται στη μέθοδο βελτιστοποίησης των ελαχίστων τετραγώνων (ordinary least squares method), υπό τον περιορισμό ότι τα τυποποιημένα λάθη ακολουθούν την κανονική κατανομή (Norusis, 2004). Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα, το εμπειρικό υπόδειγμα που κατασκευάστηκε για τον αριθμό των μετακινουμένων στο διαπεριφερειακό δίκτυο commuting της Ελλάδας περιγράφεται από την παρακάτω σχέση (Tsiotas and Polyzos, 2015c):

$$\begin{aligned}
 X &\equiv \{X_k, k = 1, \dots, p\} \\
 (X &\equiv X_S \cup X_B \cup X_O) \wedge (X_i \cap X_j = \emptyset) \wedge (j \neq i, j = \{S, B, O\}) \\
 GCN(V, E): \\
 Y &= f(X_{structural}, X_{functional}, X_{ontological}) = \\
 &= f(X_S, X_B, X_O) = b_S \cdot X_S + b_B \cdot X_B + b_O \cdot X_O + c \quad (5) \\
 \dot{A} \dot{A} X_k &\equiv rep\{X_k\}_{k=S,B,O}: \\
 X_k &\in X_k \wedge \forall X_i, X_j \in X_k: \\
 \sum_i^k r^2(X_k, X_i) &= \max\{\sum_i r^2(X_i, X_j): P[r(X_i, X_j) = 0] \leq 0, 10\}
 \end{aligned}$$

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.1. Υπολογισμός των μέτρων δικτύου (network measures)

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης υπολογίζονται τα μέτρα δικτύου του GCN, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Συγκριτικός πίνακας με τα αποτελέσματα του υπολογισμού των μέτρων δικτύου για το GCN και το GRN

Μετρική/ Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα	Τιμή GCN
Αριθμός κόμβων	n	#(a)	39
Αριθμός ακμών	m	#	71
Κόμβοι με αυτοσυνδέσεις	$n(e_{ii} \in E)$	#	0
Πλήθος απομονωμένων κόμβων	$n_{k=0}$	#	0
Συνδετικές συνιστώσες	α	#	1
Μέγιστος βαθμός κόμβων	k_{max}	#	7
Ελάχιστος βαθμός κόμβων	k_{min}	#	1
Μέσος βαθμός κόμβων	$\langle k \rangle$	#	3,641
Μέσος (χωρικά) σταθμισμένος βαθμός κόμβων	$\langle k_w \rangle$	km	322,264
Μέσος βαθμός εγγύτερων γειτόνων	$\langle k_{N(v)} \rangle$	#	3,641
Μέσος σταθμισμένος βαθμός εγγύτερων γειτόνων	$\langle k_{N(v),w} \rangle$	km	322,26

Μέσο μήκος ακμών	$\langle d(e_{ij}) \rangle$	km	85,497
Συνολικό μήκος ακμών	$\sum_{ij} d(e_{ij})$	km	3.334,4
Μέσο μήκος μονοπατιού	$\langle l \rangle$	#	4,58
Μέσο μήκος μονοπατιού	$d(\langle l \rangle)$	km	389,045
Διάμετρος δικτύου (δυαδική)	$dbin(G)$	#	14
Μήκος διαμέτρου δικτύου	$dw(G)$	km	1.124,4
Πυκνότητα γράφου (επίπεδου)	ρ	net(d)	0,640
Πυκνότητα γράφου (μη επίπεδου)	ρ	net	0,097
Συντελεστής συγκέντρωσης(c)	C	net	0,47
Μέσος συντελεστής συγκέντρωσης(c)	$\langle C \rangle$	net	0,422
Συναρμολογησιμότητα	Q	net	0,566

- Πλήθος στοιχείων
- NaN = not a number (απροσδιοριστία)
- n/a = not available (μη διαθέσιμο)
- Αδιάστατος αριθμός

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Εξ' ορισμού, το GCN δε διαθέτει κόμβους με αυτοσυνδέσεις ($n(e_{ii} \in E) = 0$), ούτε απομονωμένους κόμβους (isolated nodes - $n_k = 0$), ούτε περισσότερες από μία συνιστώσες ($\alpha_{GCN} = 1$). Ο μέγιστος βαθμός του GCN είναι $k_{GCN, \max} = 7$, ενώ η ελάχιστη τιμή του $k_{GCN, \min} = 1$ και οφείλεται προφανώς στη συνεκτικότητά του (δηλαδή στην απουσία κόμβων με μηδενικό βαθμό). Περαιτέρω, η μέση τιμή του βαθμού του διαπεριφερειακού δικτύου ισούται με $\langle k \rangle_{GCN} = 3,641$ και είναι κοντά στην περιοχή που εμφανίζεται η μεγαλύτερη συχνότητα τιμών της κατανομής βαθμού των αστικών οδικών συστημάτων, σύμφωνα με τη μελέτη των Courtat et al. (2010). Το μέσο μήκος μονοπατιού (average path length) εκφράζει γενικά το χωρικό κόστος (σε πλήθος ακμών) που απαιτείται για τη διενέργεια των μετακινήσεων στο εν λόγω δίκτυο (Tsiotas and Polyzos, 2015a,b). Για το GCN το κόστος αυτό υποδηλώνει ότι η διαδρομή που πρέπει να διανυθεί μεταξύ δύο τυχαίων κόμβων του δικτύου αποτελείται από $\langle l \rangle_{GCN} = 4,58$ χωρικές μονάδες (ακμές ή βήματα διαχωρισμού).

Η τιμή του $\langle l \rangle_{GCN}$ βρίσκεται κοντά στη τάξη μεγέθους $O(\sqrt{n}) = \sqrt{39} \approx 6,245$ του μέσου μήκους μονοπατιού ενός ισοκομβικού δικτυώματος $\langle l \rangle_{lat}$, παρέχοντας ενδείξεις για τη συνάφεια του GCN με το θεωρητικό πρότυπο. Επιπρόσθετα, η χωρική (χιλιομετρική)

εκδοχή του μέσου μήκους μονοπατιού του GCN ισούται με $d(\langle l \rangle)_{GCN} = 389,045\text{km}$ και εκφράζει τη μέση χιλιομετρική απόσταση που απαιτείται για να διανυθούν τυχαία δύο κόμβοι στο δίκτυο. Ακολουθώς, το μέγεθος της δυαδικής (τοπολογικής) διαμέτρου εκφράζει ότι η πιο απομακρυσμένη δυαδική οδική απόσταση που δύναται να διανυθεί διαπεριφερειακά αποτελείται από 14 ακμές, ενώ απέχει $d(GCN)=1.124,40\text{km}$ (δίχως να υφίσταται απαραίτητα ταύτιση των δύο). Η τιμή της πυκνότητας ρ του GCN, θεωρούμενου ως επίπεδου γράφου (αφαιρουμένων των ανισόπεδων κόμβων) ισούται με $\rho_{1,GCN}=0,64$, ενώ για τη μη επίπεδη περίπτωση (συμπεριλαμβανομένων των ανισόπεδων κόμβων) ισούται με $\rho_{2,GCN}=0,097$, τιμές που είναι εξαιρετικά μικρές σε σχέση με τις αντίστοιχες εμπειρικές τιμές των αστικών οδικών δικτύων (Barthelemy, 2011).

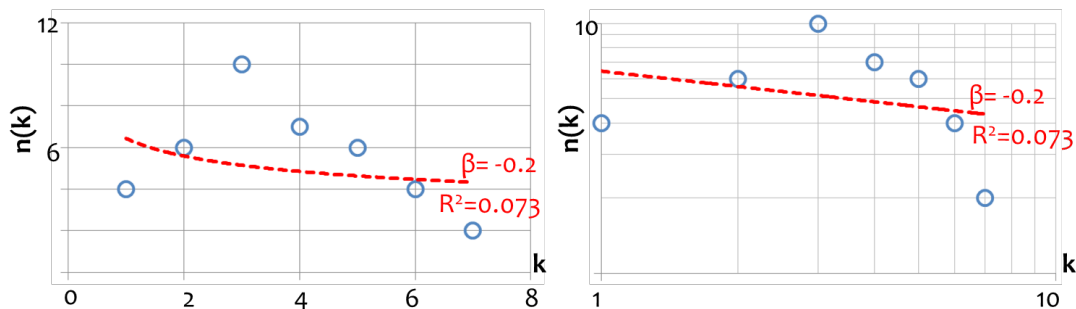
Η τιμή του συντελεστή συγκέντρωσης (clustering coefficient) του GCN (αριθμός τριγώνων/ αριθμός τριπλετών στο δίκτυο) ισούται με $C_{GCN}=0,47$ και υποδηλώνει ικανοποιητική ομαδοποίηση στη δομή του δικτύου. Περαιτέρω, ο μέσος συντελεστής συγκέντρωσης (ο αντίστοιχος λόγος υπολογισμένος στη γειτονιά κάθε κόμβου) ισούται με $\langle C \rangle_{GCN} = 0,422$, ο οποίος προκύπτει εντυπωσιακά μεγαλύτερος από την αντίστοιχη τιμή ενός τυχαίου δικτύου $ER \langle C \rangle_{ER} \sim 1/n=1/39=0,026$, εκφράζοντας ότι το δίκτυο απέχει από το να αποτελεί αποτέλεσμα τυχαίων διεργασιών.

Τέλος, η τιμή της συναρμολογησιμότητας (modularity) του GCN ισούται με $Q_{GCN}=0,566$, εκφράζοντας την ικανότητα επιμερισμού του δικτύου σε κοινότητες. Η τιμή αυτή περιγράφει μία ικανοποιητική ικανότητα διαίρεσης σε κοινότητες, καλύτερη τουλάχιστον από τις περιπτώσεις διαμερισμού οδικών δικτύων, οι οποίες στην πράξη εμφανίζονται συνήθως της τάξεως του $Q_{bipart} < 0,4$.

3.2. Μελέτη της τοπολογίας του διαπεριφερειακού δικτύου των commuters της Ελλάδας

Για τη μελέτη της κατανομής του βαθμού (degree distribution) των κόμβων του GCN εξετάζονται από τα διαγράμματα διασποράς (k , $n(k)$) του σχήματος 2. Τα διαγράμματα αυτά εμφανίζουν οξυμμένο πρότυπο (peaked distribution), η τυπολογία του οποίου διαφοροποιείται από το πρότυπο κανόνα-δύναμης (power-law). Επίσης, η όξυνση (peak) που παρατηρείται γύρω από τη μέση τιμή $\langle k \rangle_{GCN} \sim 3$ της κατανομής υποδηλώνει την παρουσία ισχυρών χωρικών περιορισμών (Barthelemy, 2011) στη δομή του GCN.

Σχήμα 2. Διαγράμματα διασποράς (k , $n(k)$) της κατανομής βαθμού του GCN σε μετρωτή (αφ.) και λογαριθμική (δεξ.) κλίμακα

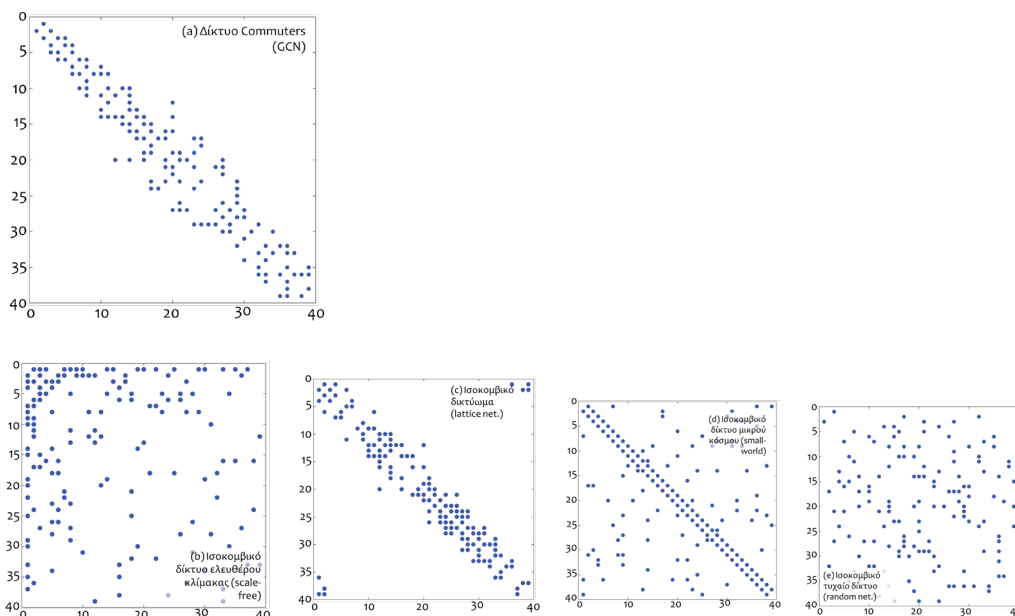


Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Στο επόμενο στάδιο, εξετάζονται τα διαγράμματα σποραδικότητας (spy plots) (σχήμα 3) (Χατζίκος, 2007) (α) του πίνακα συνδέσεων του GCN και τεσσάρων ισοκομβικών ($n=39$ =σταθ) μηδενικών προτύπων (null models), με τις ιδιότητες (b) *ελευθέρου κλίμακας* (scale-free network), (c) *δικτύωματος* (lattice network), (d) *μικρού κόσμου* (small-world) και (e) *τυχαίου δικτύου* (random network) αντίστοιχα. Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων, προκύπτει εμφανώς ότι η τυπολογία του προτύπου σποραδικότητας του GCN είναι παρόμοια με αυτή του (c) ισοκομβικού δικτύωματος (lattice network), αλλά οι τιμές του πίνακα συνδέσεων του GCN εμφανίζονται ελαφρώς πιο απομακρυσμένες από την κύρια διαγώνιο, σε σχέση με την πρότυπη περίπτωση.

Η ανάλυση των διαγραμμάτων σποραδικότητας φαίνεται να επαληθεύεται από τα αποτελέσματα υπολογισμού του *ωμέγα* (ω) *δείκτη* (Telesford et al., 2011), τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Όπως προκύπτει, το GCN έχει χαρακτηριστικά δικτύωματος (lattice-like characteristics), γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο για περιπτώσεις δικτύων που υποβάλλονται σε έντονους χωρικούς περιορισμούς.

Σχήμα 3. Διαγράμματα σποραδικότητας (spy plots) των πινάκων συνδέσεων (adjacency matrices) (a) του οδικού δικτύου της Ελλάδας (GRN) (b) Ενός ισοκομβικού δικτύου με την ίδια κατανομή βαθμού και την ιδιότητα ελευθέρου κλίμακας (scale-free) (c) Ενός ισοκομβικού δικτύωματος (lattice network) με την ίδια κατανομή βαθμού (d) Ενός ισοκομβικού δικτύου με την ίδια κατανομή βαθμού και την ιδιότητα του μικρού κόσμου (small-world) και (e) Ενός ισοκομβικού τυχαίου δικτύου (random network) με την ίδια κατανομή βαθμού



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Πίνακας 4. Αποτελέσματα της προσεγγιστικής ανάλυσης ανίχνευσης της ιδιότητας μικρού-κόσμου (small-world) για το GCN

Μέγεθος	$\langle c \rangle$	$\langle c \rangle_{latt}$	$\langle l \rangle$	$\langle l \rangle_{rand}$	ω^*
GCN	0.422	0.312	4.580	2.889	-0.7218
Ένδειξη	Συμπεριφορά δικτύωματος (lattice-like characteristics)				

*. Σύμφωνα με τη σχέση (1)

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Στο επόμενο βήμα υπολογίζονται τα βασικά μέτρα τοπολογίας και κεντρικότητας (βαθμός, ενδιαμεσότητα, εγγύτητα, συγκέντρωση, συναρμολογησιμότητα και χωρική

ισχύς) κόμβων του GCN, τα οποία παρουσιάζονται στις χωρικές κατανομές που απεικονίζονται στους τοπολογικούς χάρτες του σχήματος 4. Αρχικά, εξετάζεται η χωρική κατανομή του βαθμού (k) (σχήμα 4.a), η οποία σχηματίζει ένα ευδιάκριτο πρότυπο, με μία συστάδα ισχυρά συνδεδεμένων κόμβων που τοποθετείται στον κεντρικό κορμό του δικτύου commuters, αλλά και μία μεμονωμένη πλήμνη που βρίσκεται στο υποδίκτυο της Πελοποννήσου. Η συστάδα του κεντρικού κορμού διαμορφώνεται με βασικές τις πλήμνες των νομών Λάρισας, Λαμίας, Κοζάνης, Αιτωλοακαρνανίας και Ιωαννίνων, ενώ η πλήμνη της Πελοποννήσου βρίσκεται στο νομό Αρκαδίας.

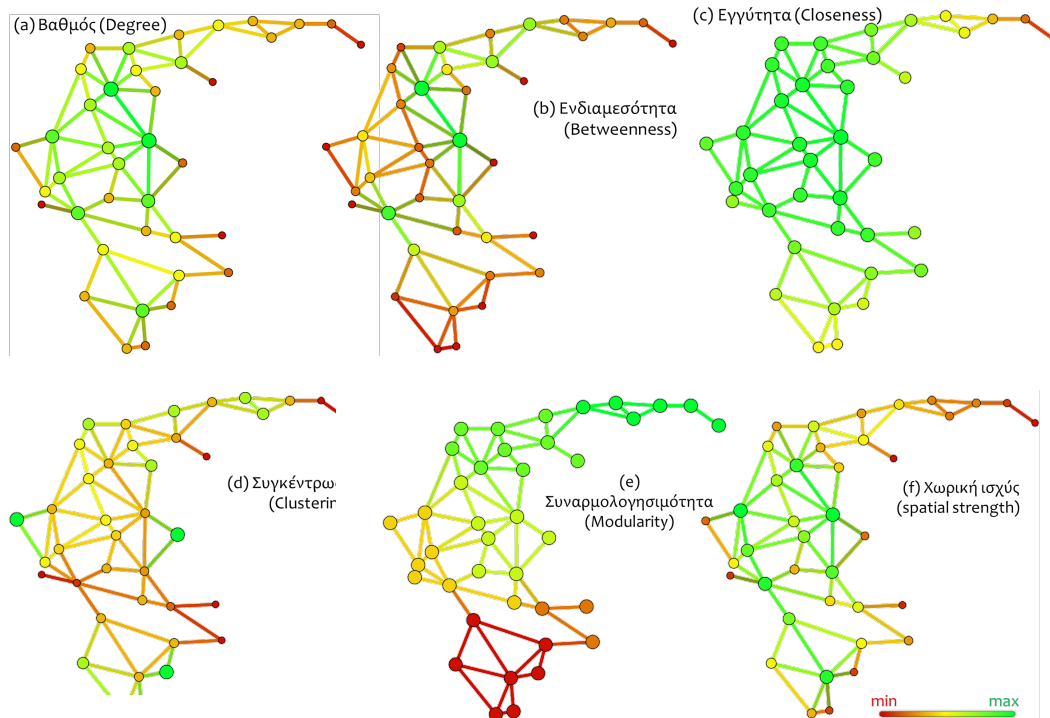
Δευτερευόντως, αξιοσημείωτη συνδετικότητα παρουσιάζουν οι νομοί της Πέλλας και της Θεσσαλονίκης στη Βόρεια Ελλάδα, καθώς και οι νομοί που διαμορφώνουν το τόξο Γρεβενά-Τρίκαλα-Καρδίτσα-Άρτα στην Κεντρική Ελλάδα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μέγεθος του βαθμού εκφράζει τη συνδετικότητα και συνεπώς τη δυνατότητα επικοινωνίας των κόμβων του δικτύου, προκύπτει ότι η χωρική κατανομή του βαθμού (σχήμα 4.a) επισημαίνει τους κόμβους του GCN που εμφανίζουν πλεονέκτημα σύνδεσης έναντι των υπολοίπων. Το πλεονέκτημα αυτό οφείλεται στη γεωγραφική διευθέτηση των νομών της Ελλάδας, η οποία ευνοεί τη δημιουργία συνδέσεων περισσότερο στους κεντρικούς κόμβους και λιγότερο στους περιφερειακούς.

Έπειτα, η χωρική κατανομή της ενδιάμεσου κεντρικότητας (betweenness centrality) C^b (σχήμα 4.b) παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση των μεγιστοβάθμιων τιμών στην ανατολική πλευρά της χώρας, στην οποία υφίστανται σαφέστερα περισσότερο αναβαθμισμένες υποδομές (Τσιώτας κá, 2012). Αντίθετα, η κατανομή των τιμών της κεντρικότητας εγγύτητας (closeness centrality) C^c (σχήμα 4.c) παρουσιάζει μικρές τιμές στις μεθόριες περιοχές (Ανατολική Μακεδονία, Θράκη, Δυτική Πελοπόννησος), ενώ οι μεγάλες τιμές συγκεντρώνονται στον κεντρικό (ηπειρωτικό) κορμό της χώρας, επιβεβαιώνοντας το σαφές πλεονέκτημα που έχουν οι κεντρικές περιοχές στα χωρικά δίκτυα.

Ακολούθως, η χωρική κατανομή του συντελεστή συγκέντρωσης (clustering coefficient) C (σχήμα 4.d) παρουσιάζει τους μεγιστοβάθμιους κόμβους να διατάσσονται στην περιφέρεια του διοικητικού πλέγματος, ήτοι στους νομούς Ηλείας, Μεσσηνίας, Λακωνίας και Αργολίδας στην Πελοπόννησο, στους νομούς Θεσπρωτίας και Μαγνησίας στο κεντρικό τμήμα της χώρας και στους νομούς Πιερίας, Φλώρινας, Κιλκίς, Δράμας και Καβάλας στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας. Η κατάσταση αυτή εκφράζει γενικά ότι οι περιφερειακοί νομοί της χώρας έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να σχετίζονται με αλληλοσυνδεδεμένους γείτονες, περιγράφοντας το προνόμιο των πρώτων να απολαμβάνουν κατά τις αλληλεπιδράσεις τους στο δίκτυο πληροφορία μεγαλύτερης συνάφειας στο περιεχόμενό της. Όμως, αυτό το προνόμιο αρκετές φορές μετατρέπεται σε μειονέκτημα, διότι υποδηλώνει την εξάρτηση των εν λόγω κόμβων στους γείτονές τους, ως προς την ποικιλία των εισερχόμενων σημάτων.

Για το GCN η ικανότητα πρόσβασης στο δίκτυο των κόμβων με μεγάλο συντελεστή συγκέντρωσης εξαρτάται από τις υποδομές οδικής επικοινωνίας των γειτόνων τους, οι οποίες, λόγω του υψηλού βαθμού αλληλεξάρτησης μεταξύ των γειτόνων, ενδέχεται να εμφανίζουν παρόμοια ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Σχήμα 4. Χωρική κατανομή των μέτρων κόμβου για το GCN: (a) Βαθμός (degree) (b) Ενδιαμεσότητα (betweenness) (c) Εγγύτητα (closeness) (d) Συγκέντρωση (clustering) (e) Συναρμολογησιμότητα (modularity classification) και (f) Χωρική ισχύς (spatial strength)



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Έπειτα, η χωρική κατανομή των τιμών της συναρμολογησιμότητας και ακριβέστερα της *Q-κατηγοριοποίησης* (modularity classification) (σχήμα 4.e) παρουσιάζεται συνεπής τόσο με τη θεωρία (Guimera et al., 2005; Kaluza et al., 2010; Barthelemy, 2011). Ειδικότερα, η κατανομή αυτή ακολουθεί έναν ευδιάκριτο επιμερισμό σε ζώνες γεωγραφικής συνάφειας,

ο οποίος είναι αναμενόμενος για ένα δίκτυο με χαρακτηριστικά δικτύωματος, όπως είναι το διαπεριφερειακό των commuters.

Τέλος, η κατανομή της χωρικής ισχύος (spatial strength) s (σχήμα 4.f) παρουσιάζεται εντατικότερη στο κέντρο, σχηματίζοντας μία διάταξη σε μορφή «πετάλου» που αποτελείται από τους νομούς Φθιώτιδας, Λάρισας, Κοζάνης, Ιωαννίνων, Άρτας, Αιτωλοακαρνανίας και Αρκαδίας. Αυτή η παρατήρηση οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι το μικρό πλήθος κόμβων και ακμών του GCN, σε συνδυασμό με τη διατήρηση της γεωγραφικής του κλίμακας, προσδίδει στα μήκη των ακμών την ίδια, περίπου, τάξη μεγέθους, με αποτέλεσμα η ισχύς $s=f(k,d(e))$ να εξαρτάται περισσότερο από το βαθμό k και λιγότερο από τις αποστάσεις $d(e)$.

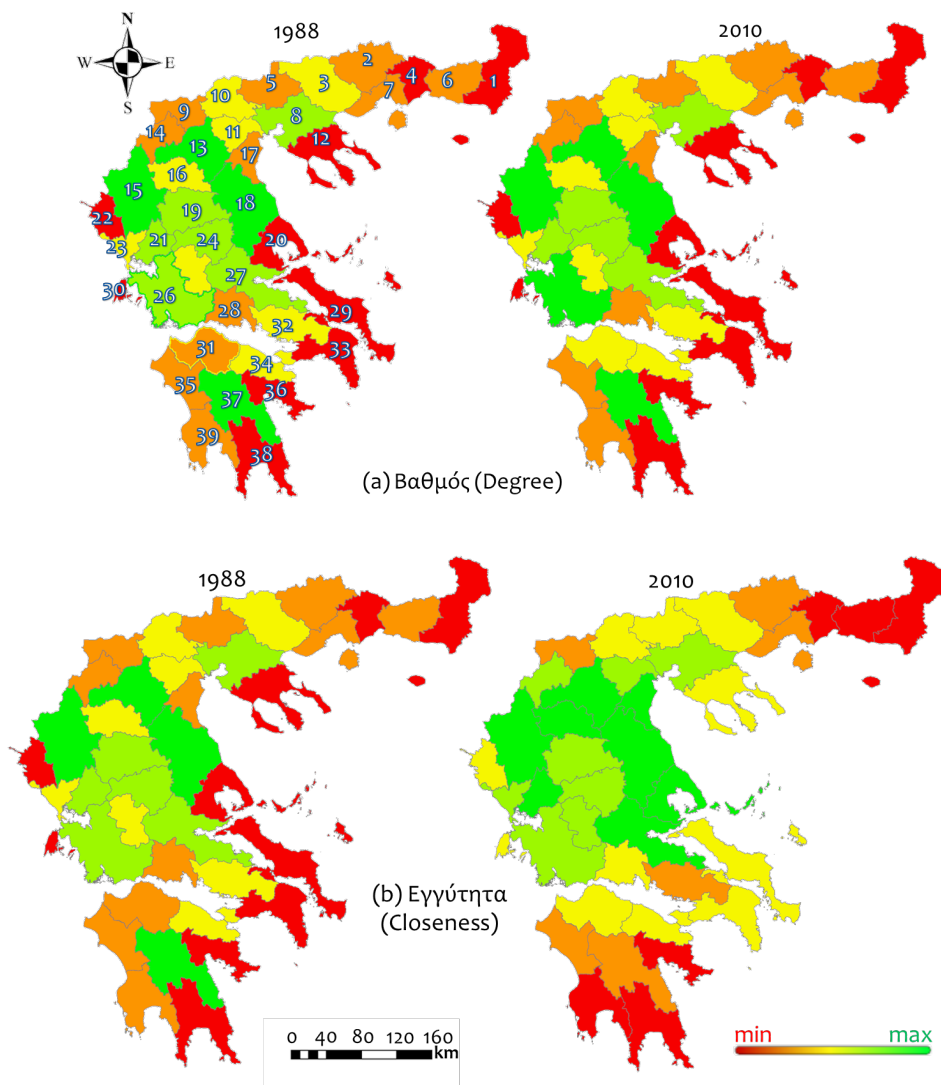
Έχοντας διαθέσιμα για το GCN εκτός από τα χωρικά δεδομένα και τα στοιχεία των χρονοαποστάσεων, μελετάται ακολούθως συγκριτικά (σχήμα 5) η διαχρονική μεταβολή της χωρικής κατανομής των μεγεθών (α) της συνδετικότητας (βαθμός k) και (β) της εγγύτητας (κεντρικότητα εγγύτητας C^c) του διαπεριφερειακού δικτύου commuters, για τα έτη 1988 και 2010.

Αρχικά, στο σχήμα 5(a) παρουσιάζεται η διαχρονική (1988 vs 2010) χωρική μεταβολή του βαθμού (k), η οποία εκφράζει τη μεταβολή στη συνδεσιμότητα του διαπεριφερειακού διοικητικού δικτύου της Ελλάδας κατά τις δύο αυτές περιόδους. Από τη σύγκριση των χρονικών στιγμιότυπων, η μοναδική διαφοροποίηση στη συνδετικότητα του δικτύου διακρίνεται για τους νομούς Αιτωλοακαρνανίας και Αχαΐας, οι οποίοι αύξησαν το βαθμό τους κατά μία σύνδεση. Η μεταβολή αυτή οφείλεται προφανώς στην κατασκευή της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου, η οποία προσέδωσε άμεση οδική πρόσβαση στους εν λόγω νομούς (Τσιώτας κ.α., 2012).

Στη συνέχεια, η χωρική κατανομή της κεντρικότητας εγγύτητας του έτους 1988 (σχήμα 5.a) περιγράφει την προσβασιμότητα του δικτύου μεταφορών εκείνης της περιόδου, η οποία εμφανίζεται γενικά δυσχερής για τους ακριτικούς νομούς. Οι περισσότερο προνομιούχοι σε συνδέσεις νομοί το 1988 φαίνεται πως ήταν οι Κοζάνης, Λάρισας, Ιωαννίνων και Αρκαδίας, προφανώς λόγω της κεντρικής γεωγραφικής τους θέσης, ενώ σε δευτερεύουσα θέση βρίσκονται οι νομοί της ευρύτερης Κεντρικής Ελλάδας και της Θεσσαλονίκης. Ιδιαίτερα, ο νομός της Θεσσαλονίκης φαίνεται πως κατείχε αξιόσημο μειωτορόλο στην τότε προσβασιμότητα, διότι αποτελούσε ήδη από το 1988 μητροπολιτικό πυρήνα της χώρας (Τσιώτας κ.α., 2012).

Από τη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμιότυπων (1988 vs 2010) της χωρικής κατανομής της κεντρικότητας εγγύτητας σκιαγραφείται η ποιοτική μεταβολή που υπέστησαν οι μεταφορικές υποδομές της Ελλάδας στο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα (Τσιώτας κ.α., 2012). Όπως προκύπτει, η αναβάθμιση του οδικού δικτύου που συντελέστηκε την περίοδο 1988-2010 ευνόησε την ευρύτερη Κεντρική Ελλάδα, στην οποία συσπειρώνονται οι

Σχήμα 5. Χωρική κατανομή των κεντρικότητων (a) βαθμού (degree centrality) και (b) εγγύτητας (closeness centrality) του ελληνικού διαπεριφερειακού δικτύου commuters (GCN), κατά τα έτη 1988 και 2010 (στην περίπτωση της εγγύτητας η χρωματική διαβάθμιση απεικονίζει σχετικές θέσεις και όχι απόλυτες τιμές κεντρικότητας)



Πηγή: Τσιώτας κ.ά. (2012)

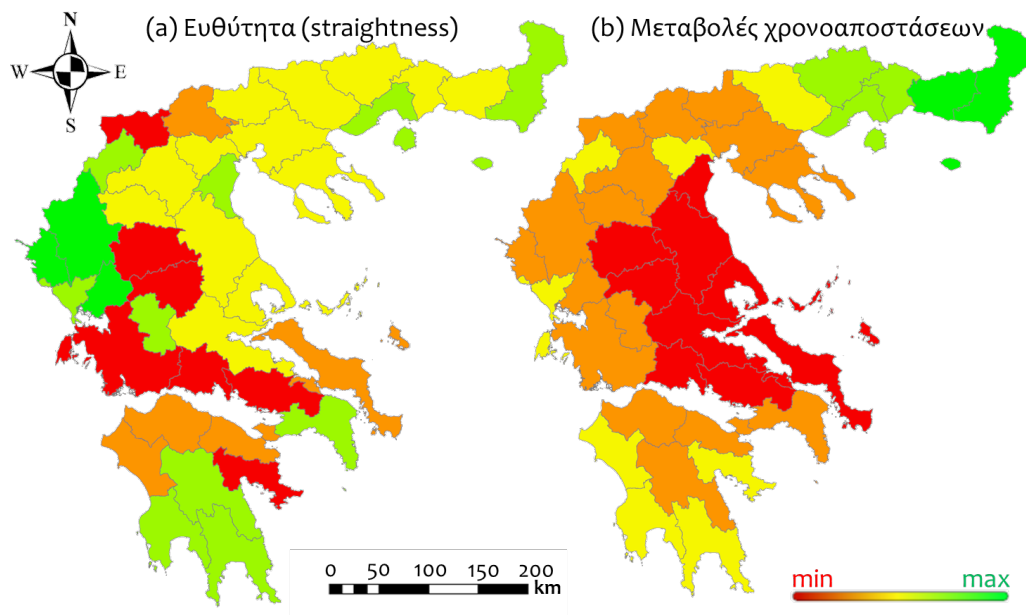
περιοχές με τη μεγαλύτερη προσβασιμότητα. Η ομοιομορφία που εμφανίζεται στο πρότυπο του 2010 υποδηλώνει τη σύγκλιση της μεταβλητότητας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οδικών υποδομών της χώρας, γεγονός που εκφράζει ότι η προσβασιμότητα στη σημερινή μορφή του δικτύου αποτελεί κυρίως θέμα γεωγραφικής θέσης και λιγότερο υποδομών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση της σχετικής θέσης των νομών *Ροδόπης και Βοιωτίας*, καθεμία εκ των οποίων αποδίδεται σε διαφορετικούς λόγους. Αφενός, η μείωση που παρατηρείται στην περίπτωση της Ροδόπης οφείλεται προφανώς στην ακριτική γεωγραφική θέση του νομού, καθόσον η προσβασιμότητα του οδικού δικτύου της χώρας αυξήθηκε σε απόλυτα μεγέθη για το σύνολο των τμημάτων του. Αφετέρου, η μείωση της σχετικής θέσης στην προσβασιμότητα του νομού Βοιωτίας σχετίζεται πιθανότατα με την ανταγωνιστική δράση του νομού Αττικής, η οποία σκιαγραφεί μία σχέση βαρυντικής αλληλεξάρτησης μεταξύ αυτών των δύο νομών, με κυρίαρχο τον πολυπληθέστερο νομό Αττικής.

Περαιτέρω, στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή (α) της κεντρικότητας ευθύτητας (C^S) για το έτος 2010 και (β) της διαφοράς των μέσων χρονοαποστάσεων ανά νομό για τις περιόδους 1988 και 2010. Αρχικά, η χωρική κατανομή των τιμών της κεντρικότητας ευθύτητας (σχήμα 6.α) εκφράζει το ποσοστό της απόκλισης από την πλήρη ευθυγραμμία που εμφανίζει η οδική πρόσβαση ενός κόμβου προς τους υπολοίπους, αποτελώντας δείκτη της ποιότητας των οδικών υποδομών (στη σύγχρονη μορφή τους) που απολαμβάνει ο κάθε νομός της Ελλάδας κατά την επικοινωνία του με τους υπόλοιπους (Τσιώτας κ.α., 2012).

Οι χρωματικές διαβαθμίσεις του σχήματος 6(α) αντιπροσωπεύουν το μέγεθος της ωφέλειας που εισέπραξαν οι νομοί της χώρας από την κατανομή των έργων υποδομής και γενικά από την πολιτική των μεταφορικών υποδομών της περιόδου 1988-2010, με κριτήριο την πρόσβασή τους στο διαπεριφερειακό δίκτυο GCN. Υπό το πρίσμα αυτό, οι νομοί που ωφελήθηκαν περισσότερο από τη χωρική κατανομή των έργων υποδομής στην Ελλάδα είναι οι Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας και Άρτας. Η γεωγραφική τους θέση υποδηλώνει ότι επωφελήθηκαν τόσο από το έργο της γέφυρας Ρίου-Αντιρίου (που συνδέει το νομό Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας παρέχοντας πρόσβαση από και προς την Πελοπόννησο από τη Δυτική Ελλάδα) όσο και της Εγνατίας Οδού (η οποία συνδέει το νομό Θεσπρωτίας με τον Έβρο).

Σχήμα 6. Χωρική κατανομή (α) της κεντρικότητας ευθύτητας το έτος 2010 και (β) των μεταβολών των χρονοαποστάσεων ανά νομό για τις περιόδους 1988 και 2010



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

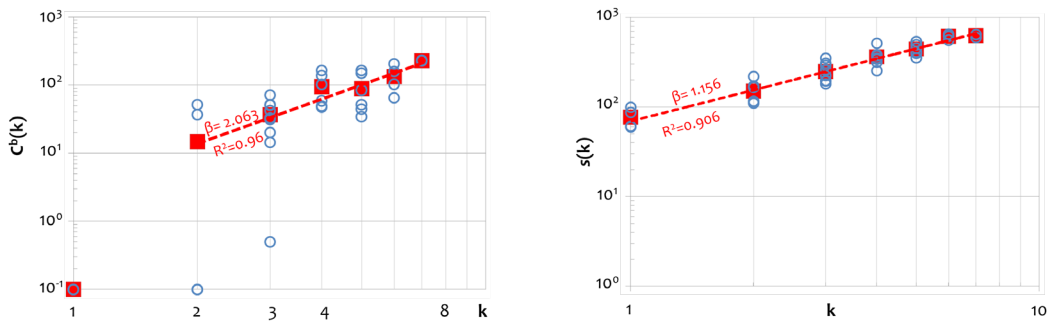
Δευτερευόντως, την υψηλότερη κεντρικότητα ευθύτητας εμφανίζουν:

- Η συστάδα των νομών Καστοριάς, Πρέβεζας, Ευρυτανίας, οι οποίοι πρόσκεινται στους νομούς με τη μεγαλύτερη C_s , με αποτέλεσμα η ωφέλεια που αποκόμισαν να είναι αντίστοιχη της προαναφερόμενης περίπτωσης.
- Η συστάδα των νομών Αρκαδίας και Λακωνίας και Μεσσηνίας στην Πελοπόννησο, οι οποίοι προφανώς ευνοήθηκαν περισσότερο από τη ζεύξη Ρίου-Αντιρίου,
- Ο νομός Αττικής, ο οποίος ευνοήθηκε από το σύνολο σχεδόν των έργων αναβάθμισης του οδικού δικτύου, καθώς και
- Οι νομοί Καβάλας και Έβρου στη βόρεια Ελλάδα, οι οποίοι φαίνεται πως ευνοήθηκαν κατά βάση από την κατασκευή της Εγνατίας Οδού.

Έπειτα, η γεωγραφική κατανομή των της μεταβολής των χρονοαποστάσεων (σχήμα 6.β) παρουσιάζει τους νομούς που ωφελήθηκαν περισσότερο σε χρόνο ταξιδιού από την ελληνική πολιτική των μεταφορών της περιόδου 1988-2010 (Τσιώτας κ.α., 2012). Όπως φαίνεται στο χάρτη, η κατανομή των διαφορών των χρονοαποστάσεων εμφανίζει μία σαφή χωρική ομαδοποίηση που έχει τις μεγάλες τιμές της στην περιφέρεια και τις

μικρότερες στο κέντρο. Ειδικότερα, οι νομοί που εμφάνισαν μεγαλύτερο χρονικό κέρδος στις διαπεριφερειακές τους μετακινήσεις είναι κυρίως οι μεθοριακοί νομοί του Έβρου και της Ροδόπης και δευτερευόντως οι νομοί της Ξάνθης, της Καβάλας και της Δράμας. Στον αμέσως επόμενο βαθμό σημαντικότητας (με κίτρινο χρώμα) οι νομοί που ευνοήθηκαν σε χρόνο διαπεριφερειακής μετακίνησης είναι οι Σερρών, Ημαθίας, και Φλώρινας, στη Βόρεια Ελλάδα, οι νομοί Πρέβεζας και Λευκάδος στη Δυτική και η συστάδα των νομών Ηλείας, Μεσσηνίας, Λακωνίας και Αργολίδας στην Πελοπόννησο. Προφανώς, οι θέσεις των νομών που εντάσσονται στις παραπάνω περιπτώσεις οδηγεί στην εξαγωγή πρόδηλων συμπερασμάτων σχετικά με τα έργα υποδομής (κατασκευή της Εγνατίας Οδού, αναβάθμιση της ΠΑΘΕ, ζεύξη Ρίου-Αντιρρίου) που επέδρασαν κατά περίπτωση στη μείωση των χρόνων διαπεριφερειακών μετακινήσεων.

Σχήμα 7. Διαγράμματα διασποράς (scatter plots) (α.) βαθμού- ενδιαμέσου κεντρικότητας (k, C^b) και (δεξ.) βαθμού-χωρικής ισχύος (k, s) για το GCN. Τα κόκκινα τετράγωνα αντιστοιχούν στις μέσες τιμές για κάθε κατηγορία βαθμού



Πηγή: Ίδια επεξεργασία

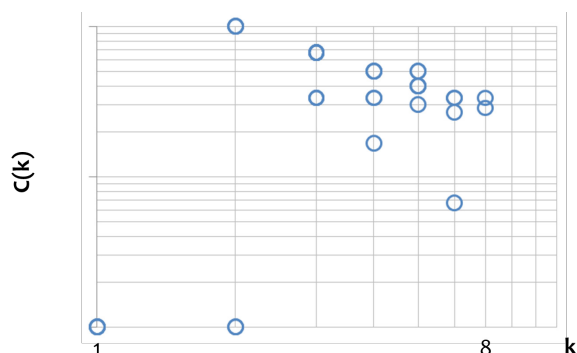
Στο τελευταίο στάδιο της μελέτης της τοπολογίας του GCN εξετάζονται οι συσχετίσεις των μεγεθών της ενδιαμέσου κεντρικότητας $C^b(k)$ και της χωρικής ισχύος $s(k)$ ως προς το μέγεθος του βαθμού k , με σύγκριση των διαγραμμάτων του σχήματος 7. Από την προσαρμογή καμπυλών παρεμβολής (fitting curves) στα δεδομένα διασποράς των ζευγών (k, C^b) και (k, s) , προκύπτει η ύπαρξη αξιοσημείωτης γραμμικότητας και για τις δύο περιπτώσεις, έχοντας συντελεστές προσδιορισμού $R^2_{C^b,k}=0.96$ και $R^2_{s,k}=0.906$ αντίστοιχα.

Η σχέση $\langle C^b |_{k=k_i} \rangle = f(k)$, μεταξύ βαθμού k και μέσης τιμής της ενδιαμέσου κεντρικότητας ανά βαθμό $\langle C^b |_{k=k_i} \rangle$, με $i=2,3,\dots,7$, έχει εκθέτη του προτύπου κανόνα δύναμης $\beta_{GCN}=1.94$ και εκφράζει ότι οι ισχυρά συνδετικοί κόμβοι στο δίκτυο (πλήμνες, hubs) αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο φορτίο της κυκλοφορίας του. Αντίθετα, ο εκθέτης

$\beta_{GCN}=1.156$ της σχέσης $\langle s |_{k=k_i} \rangle = f(k)$, μεταξύ βαθμού k και μέσης ισχύος $\langle s |_{k=k_i} \rangle$, βρίσκεται κοντά στη μονάδα (~ 1) και υποδηλώνει μία σχετική ομοιογένεια στην ανάληψη του φορτίου των απόμακρων συνδέσεων, η οποία είναι σχεδόν γραμμική.

Τέλος, στο σχήμα 8 παρουσιάζεται η διασπορά των τιμών $(k, C(k))$, μεταξύ του συντελεστή συγκέντρωσης C και βαθμού k του GCN.

Σχήμα 8. Μεταβολή του συντελεστή συγκέντρωσης $C(k)$ σε σχέση με το βαθμό κόμβων k του διαπεριφερειακού δικτύου commuters της Ελλάδας (GCN). Η μορφή του διαγράμματος διασποράς υποδεικνύει λογαριθμική μείωση όσο μεγαλώνουν οι τιμές του k



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η σχέση $C=f(k)$ (σχήμα 8) υποδεικνύει την ύπαρξη ενός μηχανισμού λογαριθμικής μείωσης της συγκέντρωσης του GCN, με την αύξηση των τιμών του k , η οποία είναι σύμφωνη με την κοινή ερευνητική πρακτική (Sen et al., 2003, Barthelemy, 2011). Η σχέση αυτή εκφράζει ότι όσο η συνδετικότητα ενός κόμβου αυξάνει στο δίκτυο, τόσο περιορίζεται η πιθανότητα ο κόμβος αυτός να σχετίζεται με αλληλοσυνδεδεμένους γείτονες.

4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα αποτελέσματα υπολογισμού των μεταβλητών που προέκυψαν ως αντιπρόσωποι των ομάδων X_S , X_B και X_O , σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3, παρουσιάζονται στον πίνακα 5, στον οποίο η σχετική θέση (ιεραρχία) των εικονιζόμενων μεταβλητών εντός των ομάδων (within-groups calculations) παρουσιάζεται στην πρώτη στήλη, ενώ η ως προς στο σύνολο των διαθέσιμων μεταβλητών (global calculations) παρουσιάζεται στις στήλες με την ένδειξη “Rank”.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα της ανάλυσης για την εκλογή των αντιπροσωπευτικών μεταβλητών του υποδείγματος

Θέση μέσα στην ομάδα	Δομικές Μεταβλητές – XS				Λειτουργικές Μεταβλητές – XB				Οντολογικές Μεταβλητές – XO			
	Μέσα στην ομάδα (within-groups)		Συνολικά (global)		Μέσα στην ομάδα (within-groups)		Συνολικά (global)		Μέσα στην ομάδα (within-groups)		Συνολικά (global)	
	Σύμβ.(α)	$\Sigma_S(r^2)$ (b)	Rank(c)	$\Sigma_B(r^2)$	Συμβ.	$\Sigma_B(r^2)$	Rank	$\Sigma_B(r^2)$	Συμβ.	$\Sigma_O(r^2)$	Rank	$\Sigma(r^2)$
1	S6	2,746	2	12,116	Y(d)	5,285	1	12,181	O2	4,091	9	10,451
2	S5	2,738	3	12,058	B6	5,190	4	11,905	O6	3,990	7	11,703
3	S10	2,493	11	7,877	B7	5,152	6	11,730	O7	3,983	5	11,805
4	S1	2,448	23	2,596	B8	5,048	8	11,428	O4	3,256	13	6,443
5	S2	2,188	22	2,945	B3	3,910	10	9,400	O9	2,612	19	3,859
6	S9	1,777	25	2,137	B5	3,362	12	7,177	O1	2,507	14	5,169
7	S4	1,753	27	1,838	B4	2,622	16	4,883	O3	2,236	21	3,307
8	S11	1,576	17	4,404	B1	1,628	20	3,467	O5	1,935	18	3,898
9	S8	1,570	28	1,790	B2	1,000	30	1,206	O8	1,849	15	5,080
10	S3	1,569	24	2,169					O10	1,368	29	1,458
11	S7	1,158	26	1,931								

a. Σύμβολο μεταβλητής (βλ. αναλυτική περιγραφή στον πίνακα 10)

b. Άθροισμα τετραγώνων των συντελεστών συσχέτισης

c. Σχετική θέση του μεγέθους της κάθε μεταβλητής ως προς το σύνολο των υπολοίπων (global calculations)

d. Η μεταβλητή αυτή εξαιρείται από την ανάλυση γιατί χρησιμοποιείται στο υπόδειγμα ως εξαρτημένη μεταβλητή

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 5, οι αντιπροσωπευτικές μεταβλητές που προκύπτουν από την ανάλυση μέσα στις κατηγορίες (within-groups calculations) είναι η μεταβλητή S_6 (πληθυσμός) για την ομάδα των δομικών μεταβλητών, η B_6 (αριθμός ΙΧ οχημάτων) για την κατηγορία των λειτουργικών μεταβλητών και η O_2 (δείκτης εκπαίδευσης) για την οντολογική ομάδα. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη συνολική περίπτωση (global analysis) διαφέρουν ελαφρώς αναδεικνύοντας ως αντιπροσώπους τις μεταβλητές S_6 , B_6 και O_7 (αριθμός ατυχημάτων) αντί για O_2 , αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θέση της μεταβλητής O_2 για την περίπτωση εντός των ομάδων (within-class analysis) είναι μετατοπισμένη τρεις θέσεις χαμηλότερα σε σχέση με τη συνολική περίπτωση (global analysis), για χάρη πληρότητας εξετάζονται οι τρεις (αντί της μίας) ομάδες αντιπροσώπων (S_6, B_6, O_7), (S_6, B_6, O_7) και (S_6, B_6, O_7), συνυπολογίζοντας δηλαδή τις μεταβλητές της οντολογικής ομάδας που υπερτερούν στη συνολική περίπτωση από την O_2 .

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση που προκύπτει από τα αποτελέσματα του πίνακα 5 αφορά το γεγονός ότι η εξαρτημένη μεταβλητή Y (αριθμός commuters) τοποθετείται και στις δύο περιπτώσεις (within-class και global) της ανάλυσης στην πρώτη θέση της ταξινόμησης, εμφανίζοντας τα μεγαλύτερα αθροίσματα τετραγώνων των συντελεστών συσχέτισης. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται λογικό, δεδομένου ότι οι διαθέσιμες ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν επιλεγεί με κριτήριο την άμεση ή έμμεση συνάφειά τους με το φαινόμενο του commuting, με αποτέλεσμα πολλές από αυτές να αποτελούν προσδιοριστικούς παράγοντες της ημερήσιας μετακίνησης με σκοπό την εργασία. Επίσης ενδιαφέρουσα παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι η μεταβλητή του πληθυσμού (S_6) εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με το σύνολο των υπόλοιπων ανεξάρτητων μεταβλητών, προσδίδοντας στο φαινόμενο του commuting ένα βαρυντικό χαρακτήρα (Tsiotas and Polyzos, 2015b).

Στο τελευταίο στάδιο οι μεταβλητές που επιλέγονται από την παραπάνω διαδικασία ως αντιπρόσωποι των κατηγοριών X_S , X_B και X_O εισάγονται ως ανεξάρτητες μεταβλητές (X_i) σε ένα υπόδειγμα πολυμεταβλητής γραμμικής παλινδρόμησης, με εξαρτημένη μεταβλητή Y τον αριθμό των ημερησίως μετακινουμένων με σκοπό την εργασία (commuters). Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πολυμεταβλητής ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία εφαρμόζεται στα τρία διαφορετικά σύνολα των αντιπροσώπων μεταβλητών $Y_1=(S_6, B_6, O_2)$, $Y_2=(S_6, B_6, O_7)$ και $Y_3=(S_6, B_6, O_6)$ που αναδείχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα της πολυμεταβλητής ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης

Υπόδειγμα(a)		Μη τυποποιημένοι συντελεστές		Τυπ. συντελ			
Πληροφορίες υποδείγματος	Ανεξ. μεταβλητές	$b^{(b)}$	Τυπ. σφάλμα	$b^{(c)}$	$t^{(d)}$	$Sig.^{(e)}$	
(Y_1) Ανεξάρτητες μεταβλητές υποδείγματος: (Σταθερά), S_6, B_6, O_2							
$R^{(f)}$	0,999	(Σταθερά)	-881,91	174,10		-5,066	0,000
$R^2^{(g)}$	0,998	S6	0,011	0,002	0,600	4,840	0,000
Τυπ. σφάλμα εκτίμησης	600,75	B6	0,011	0,004	0,345	3,003	0,005
		O2	41,422	11,729	0,065	3,532	0,001
(Y_2) Ανεξάρτητες μεταβλητές υποδείγματος: (Σταθερά), S_6, B_6, O_7							
R	0,998	(Σταθερά)	-674,49	212,47		-3,174	0,003
R^2	0,997	S6	0,015	0,002	0,816	6,151	0,000
Τυπ. σφάλμα εκτίμησης	693,20	B6	0,02	0,005	0,049	0,335	0,740
		O7	1,198	1,482	0,134	0,809	0,424
(Y_3) Ανεξάρτητες μεταβλητές υποδείγματος: (Σταθερά), S_6, B_6, O_6							

R	0,999	(Σταθερά)	-532,81	199,46		-2,671	0,011
R^2	0,997	S_6	0,016	0,002	0,834	7,991	0,000
Τυπ. σφάλμα εκτίμησης	643,41	B_6	0,021	0,007	0,627	2,796	0,008
		O_6	-6,337	2,508	-0,462	-2,527	0,016

- a. Μέθοδος Enter (υπολογισμός του συνόλου των μεταβλητών)
- b. Μη τυποποιημένοι συντελεστές βήτα του υποδείγματος
- c. Τυποποιημένοι συντελεστές βήτα του υποδείγματος
- d. Στατιστικό t για τον έλεγχο της σημαντικότητας των συντελεστών
- e. Δίπλευρη σημαντικότητα (2-tailed)
- f. Πολλαπλός συντελεστής συσχέτισης
- g. Συντελεστής προσδιορισμού

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού (R^2) στον πίνακα 6 εκφράζουν ότι τα τρία υποδείγματα Y_1 , Y_2 και Y_3 διακρίνονται από σχεδόν άριστη ικανότητα περιγραφής της μεταβλητότητας των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής (αριθμός των μετακινουμένων με σκοπό την εργασία), με βάση τη μεταβλητότητα των τιμών των μεταβλητών πρόβλεψης στο κάθε πρότυπο. Η πολύ καλή ικανότητα προσδιορισμού των υποδειγμάτων συνάγεται και από την άθροιση των τυποποιημένων συντελεστών της παλινδρόμησης, η οποία σε κάθε περίπτωση αγγίζει τη μονάδα, υποδηλώνοντας την παρουσία αμελητέας συγγραμμικότητας (collinearity) μεταξύ των μεταβλητών (Tsiotas and Polyzos, 2015a). Το παραπάνω γεγονός επικυρώνει τη χρησιμότητα της μεθοδολογικής προσέγγισης που επιχειρήθηκε για τη μελέτη του διαπεριφερειακού δικτύου των commuters, ιδιαίτερα εφόσον ληφθεί υπόψη ότι μόνο το ~10% της διαθέσιμης πληροφορίας (3 από τις 29 μεταβλητές) χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των υποδειγμάτων.

Η διαδικασία επιλογής των αντιπροσωπευτικών μεταβλητών προσδίδει μια συστολική ιδιότητα στη μεθοδολογία κατασκευής των υποδειγμάτων της γραμμικής παλινδρόμησης, προσδιορίζοντάς τα, ταυτόχρονα, εντός του εννοιολογικού πλαισίου της Επιστήμης των Δικτύων. Ενδιαφέρουσα προοπτική για περαιτέρω έρευνα αποτελεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες μεθόδους, όπως η *ανάλυση σε κύριες συνιστώσες* (*principal component analysis*) (Norusis, 2004) ή η μέθοδος των αποβολών (Norusis, 2004; Tsiotas and Polyzos, 2015a,b).

Συνολικά, τα αποτελέσματα του πίνακα 6 υποδηλώνουν ότι η μεταβλητή του πληθυσμού (S_6) αποτελεί το σημαντικότερο προσδιοριστικό παράγοντα στην περιγραφή του φαινομένου commuting στην Ελλάδα. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τη θεωρία (Πολύζος, 2011; Polyzos et al., 2014, 2015), αναδεικνύοντας τη βαρυντική διάσταση της

ημερήσιας μετακίνησης με σκοπό την εργασία. Ειδικότερα, το ποσοστό της συμβολής της μεταβλητής S_6 στο υπόδειγμα, όπως αυτό συνάγεται από τις τιμές των τυποποιημένων συντελεστών βήτα, κυμαίνεται μεταξύ 60-83%. Περαιτέρω, η παρουσία της μεταβλητής του αριθμού των ΙΧ (B_6) στα υποδείγματα υποδηλώνει πως η χρήση ιδιόκτητων οχημάτων από τους εργαζόμενους διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του φαινομένου της ημερήσιας διαπεριφερειακής μετακίνησης με σκοπό την εργασία. Στην κλίμακα των διαπεριφερειακών μετακινήσεων φαίνεται πως η χρήση των εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς (λεωφορείο, τραίνο) δεν αποτελεί πρώτιστη επιλογή για την ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία, προφανώς λόγω του γεγονότος ότι τα χρονικά μεγέθη της μετακίνησης καθίστανται ήδη ιδιαίτερα κρίσιμα, ώστε να μην επιδέχονται την περαιτέρω χρονική επιβάρυνση από τη μετακίνηση προς και από τους σταθμούς, αλλά ούτε και από την αναμονή στο σταθμό μέχρι την αναχώρηση του μέσου μεταφοράς.

Για το υπόδειγμα Y_1 η συνεισφορά της μεταβλητής B_6 προσεγγίζεται στο 34,5%, λαμβάνοντας υπόψη ότι η δράση της μεταβλητής του επιπέδου εκπαίδευσης των εργαζομένων (O_2) περιορίζεται στο 6,5%. Στο υπόδειγμα Y_2 τόσο η συνεισφορά της μεταβλητής B_6 όσο και της αντίστοιχης O_7 (αριθμός τροχαίων ατυχημάτων) θεωρείται στατιστικά ασήμαντη, εκφράζοντας πιθανώς ότι ο αριθμός των ΙΧ οχημάτων (B_6) (στο βαθμό που συνδέεται με το ενδεχόμενο πρόκλησης ατυχήματος – O_7), δεν αποτελούν κριτήρια διεξαγωγής του φαινομένου commuting.

Τέλος, για το υπόδειγμα Y_1 η συνεισφορά της μεταβλητής B_6 προσεγγίζεται στο 62,7%, αλλά μαζί με τη μεταβλητή του πληθυσμού S_6 δρουν ανταγωνιστικά στη μεταβλητή S_6 που εκφράζει το προϊόν του νομού στον τομέα μεταφορών. Η εικόνα που σκιαγραφείται από το πρότυπο αυτό προφανώς αναδεικνύει μία βαρυστική πτυχή του commuting, καθόσον φαίνεται πως περιγράφει την ελκτική δράση των πολυπληθών πόλεων, οι οποίες διατηρούν ένα μεγάλο ποσό δραστηριότητας commuting και αριθμού εργαζομένων εντός των αστικών τους ορίων, περιορίζοντας έτσι τις διαπεριφερειακές μεταφορές και συνεπώς το παραγόμενο από αυτές προϊόν.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο άρθρο αυτό μελετήθηκε η τοπολογία του διαπεριφερειακού δικτύου των ημερησίως μετακινουμένων με σκοπό την εργασία (GCN). Στη μελέτη επιδιώχθηκε η εξόρυξη της κοινωνικοοικονομικής πληροφορίας που είναι ενσωματωμένη στην τοπολογία αυτού του δικτύου, υπό το πρίσμα της Ανάλυσης των Σύνθετων Δικτύων και της Στατιστικής Μηχανικής, με σκοπό τη διερεύνηση των παραμέτρων που διαμορφώνουν το πλαίσιο λειτουργίας των ημερήσιων διαπεριφερειακών μετακινήσεων στην Ελλάδα. Το GCN αναπαραστάθηκε στον L-χώρο αντιπροσώπευσης ως μη κατευθυνόμενος γράφος, του

οποίου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις *πρωτεύουσες των ελληνικών νομών*, ενώ οι ακμές την ύπαρξη δυνατότητας *απευθείας οδικών συνδέσεων* μεταξύ των νομών της Ελλάδας. Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε υπήρξε εμφανής η επίδραση των χωρικών περιορισμών, όπως προέκυψε από την συνδυασμένη ερμηνεία των παρακάτω παρατηρήσεων:

- από το οξυμένο πρότυπο στην κατανομή του βαθμού (peaked degree distribution), τα οποία αποκλίνουν από την περιγραφή του προτύπου κανόνα-δύναμης (power-law) που χαρακτηρίζει περιπτώσεις δικτύων με ηπιότερους χωρικούς περιορισμούς.
- μέσα από τη σημαντική συγκέντρωση των τιμών γύρω από την κύρια διαγώνιο στα πρότυπα σποραδικότητας (sparsity patterns – spy plots) του πίνακα συνδέσεων, η οποία ανέδειξε την ύπαρξη *χαρακτηριστικών δικτυώματος (lattice network)*.
- μέσα από τον υπολογισμό του ω -δείκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται για την προσεγγιστική ανίχνευση της τυπολογίας των δικτύων και κυρίως του *μικρού-κόσμου (small-world property)* και που περιέγραψε την ύπαρξη ιδιοτήτων δικτυώματος για το GCN.
- με την εμφάνιση των κεντρικών γεωγραφικών θέσεων του δικτύου να πλεονεκτούν στην κατανομή των μεγεθών του βαθμού και της ενδιάμεσου κεντρικότητας.
- με τον επιμερισμό του GCN σε κοινότητες γεωγραφικής συνάφειας (modularity optimization) και
- με τα πρότυπα *κανόνα-δύναμης (power-law)* που διαμορφώθηκαν κατά τις συσχετίσεις του μεγέθους του βαθμού (k) με την ενδιάμεσου κεντρικότητα (C^b), τη χωρική ισχύ (s) και το συντελεστή συγκέντρωσης (C).
- από τις μεγάλες διακυμάνσεις που εμφανίστηκαν στο μέγεθος της στην ενδιάμεσου κεντρικότητας (C^b), οι οποίες υποδηλώνουν ότι το μέγεθος αυτό αποκτά σαφή γεωγραφική υπόσταση, τείνοντας να ταυτιστεί με την έννοια του κέντρου βάρους των κόμβων του δικτύου.

Παρά την καθοριστική επίδραση των χωρικών περιορισμών στη διαμόρφωση της τοπολογίας του GCN, η μορφή της σχέσης $s=f(k)$ έδειξε την ύπαρξη συνδέσεων μεγάλου μήκους, οι οποίες ανιχνεύονται στην περίπτωση που ο εκθέτης του προτύπου κανόνα-δύναμης (power-law) είναι μεγαλύτερος της μονάδας ($\beta > 1$) (Barthelemy, 2011). Το γεγονός αυτό οφείλεται προφανώς στον κανόνα δημιουργίας του δικτύου, του οποίου οι ακμές έχουν εννοιολογική (εκφράζουν τη λειτουργία και τις σχέσεις οδικής επικοινωνίας που αναπτύσσονται στο διοικητικό πλέγμα των νομών της Ελλάδας) και όχι φυσική σημασία.

Περαιτέρω, μέσα από την αντιπαραβολή των μέτρων κεντρικότητας που υπολογίστηκαν για δύο διαφορετικές χρονικές εκφάνσεις (1988 και 2010) του GCN εξήχθηκε

πληροφορία σχετικά με τα μεγαλύτερα έργα υποδομής που συντελέστηκαν στον τομέα των οδικών μεταφορών και επηρέασαν τη μεταφορική ικανότητα της χώρας. Οι αλλαγές που εντοπίστηκαν στην κεντρικότητα των νομών την περίοδο 1988-2010 παρέχουν υλικό για την αξιολόγηση της πολιτικής που ασκήθηκε στον τομέα των μεταφορικών υποδομών, καθόσον αποκαλύφθηκαν οι νομοί που επωφελήθηκαν περισσότερο από τα έργα υποδομής της περιόδου 1988-2010. Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η πολιτική της Ελλάδας στις υποδομές των μεταφορών της περιόδου 1988-2010 εμφανίζεται να κατευθύνεται κάτω από ένα στοχοθετημένο προγραμματισμό και να παρουσιάζεται ευνοϊκή στις μεθόριες και απομακρυσμένες περιοχές, επιδιώκοντας την εξάλειψη των γεωγραφικών ανισοτήτων και τη δημιουργία αναπτυξιακών προοπτικών.

Στο μέρος της εμπειρικής ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε κατασκευή ενός (προτύπου) υποδείγματος πολυμεταβλητής γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο διαρθρώθηκε πάνω στις τρεις εννοιολογικές συνιστώσες που προτάθηκαν για τη μελέτη των χωρικών δικτύων από τους Tsiotas and Polyzos (2015c). Στην ανάλυση συμμετείχαν 30 διανυσματικές μεταβλητές που περιλαμβάνουν τις τιμές των νομών για κάθε χαρακτηριστικό, οι οποίες ομαδοποιήθηκαν ως προς τη θεματική τους συνάφεια. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τρεις ομάδες τριών αντιπροσώπων από κάθε κατηγορία, με τη μεγαλύτερη συσχέτιση μέσα σε κάθε ομάδα και ξεχωριστά, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές (μεταβλητές πρόβλεψης) για την κατασκευή ισάριθμων υποδειγμάτων παλινδρόμησης. Τα τρία υποδείγματα Y_1 , Y_2 και Y_3 που κατασκευάστηκαν εμφάνισαν άριστη ικανότητα προσδιορισμού και αμελητέα συγγραμμικότητα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ανέδειξαν τη βαρυτική διάσταση της ημερήσιας μετακίνησης με σκοπό την εργασία, μέσα από τη συμμετοχή της μεταβλητής του πληθυσμού στα τρία υποδείγματα σε ποσοστό 60-83%.

Τέλος, από την παρουσία των υπολοίπων μεταβλητών στο υπόδειγμα διαφάνηκε ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει η χρήση ιδιόκτητων οχημάτων από τους εργαζόμενους στη διαμόρφωση του φαινομένου της ημερήσιας διαπεριφερειακής μετακίνησης με σκοπό την εργασία, η συνεισφορά του οποίου κυμαίνεται περίπου από 5-63%. Στο δίκτυο των διαπεριφερειακών μετακινήσεων διαφάνηκε πως η χρήση των εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς (λεωφορείο, τραίνο) δεν αποτελεί πρώτη επιλογή για την ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία, ενώ το επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων αποτελεί κίνητρο που επηρεάζει το φαινόμενο σε ποσοστό 6.5%. Τέλος, η ανάλυση σκιαγράφησε την ελκτική δράση των πολυπληθών πόλεων, οι οποίες διατηρούν ένα μεγάλο ποσό δραστηριότητας commuting και αριθμού εργαζομένων εντός των αστικών τους ορίων, περιορίζοντας έτσι τις διαπεριφερειακές μεταφορές και συνεπώς το παραγόμενο από αυτές προϊόν.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος – ΕΣΥΕ (2007) *Ετήσια εθνικά στατιστικά στοιχεία*. Αθήνα: ΕΣΥΕ.
- Πολύζος, Σ. (2011) *Περιφερειακή ανάπτυξη*. Αθήνα: Κριτική.
- Τσιώτας, Δ., Πολύζος, Σ., και Αλεξίου, Α. (2012) «Ανάλυση του Διαπεριφερειακού Δικτύου Μεταφορών στην Ελλάδα με Χρήση Θεωρίας Γραφημάτων». *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης*. Βόλος, 27-30/9/2012. Θεσσαλονίκη: Γράφημα, σελ.1100-1106.
- Χατζίκος, Ε. (2007) *Matlab® για μηχανικούς*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

Ξενόγλωσση

- Barthelemy, M. (2011) “Spatial networks”. *Physics Reports*, 499, pp.1–101.
- Berners-Lee, T., Hall, W., Hendler, J., O’ Hara, K., Shadbolt, N. and Weitzner, D. (2007) *A framework for Web Science*. Netherlands: Now Publishers Inc.
- Brandes, U. and Erlebach, T. (2005) *Network analysis: Methodological foundations*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Brandes, U., Robins, G., McCranie, A. and Wasserman, S. (2013) “What is network Science?”, *Network Science*, 1, pp.1-15.
- Clark, W., Huang, Y. and Withers, S. (2003) “Does commuting distance matter?: Commuting tolerance and residential change”. *Regional Science and Urban Economics*, 33 (2), pp.199-221.
- Courtat, T., Gloaguen, C. and Douady, S., (2010) “Mathematics and morphogenesis of the city: a geometrical approach”. *Physical Review E*, 83 (3), 036106.
- Devore, J., and Berk, K. (2012) *Modern mathematical statistics with applications*. London: Springer-Verlag.
- Evans, G., Wener, R. and Phillips, D. (2002) “The morning rush Hour: Predictability and commuter stress”. *Environment and Behavior*, 34 (4), pp.521-530.
- Glaeser, E. and Kohlhase, J., (2003) “Cities, regions and the decline of transport costs”. *Papers in Regional Science*, 83 (1), pp.197-228.
- Google Maps (2013) “Google mapping services”. Available at: <http://www.google.gr/maps?hl=el> [last accessed: 29-8-2013].
- Guimera, R., Mossa, S. and Turttschi, A. (2005) “The worldwide air transportation network: anomalous centrality, community structure, and cities’ global roles”. *Proceedings of the National Academy of Science*, 102 (22), pp.7794–7799.

- Kaluza, P., Koelzsch, A., Gastner, M. T. and Blasius, B. (2010) “The complex network of global cargo ship movements”. *Journal of the Royal Society Interface*, 7, pp.1093–1103.
- Koschutzki, D., Lehmann, K., Peeters, L. and Richter, S. (2005) “Centrality indices”. In Brandes, U. and Erlebach, T., (eds.) *Network analysis*. Berlin: Springer–Verlag, pp.16-61.
- Koslowsky, M., Kluger, A. and Reich, M. (1995) *Commuting stress: Causes, effects, and methods of coping*. London: Plenum Press Publications.
- Liu, Y. and Nie, Y. (2011) “Morning commute problem considering route choice, user heterogeneity and alternative system optima”. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45 (4), pp.619-642.
- Maslov, S. and Sneppen, K. (2002) “Specificity and stability in topology of protein networks”. *Science*, 296, pp.910–913.
- Murphy, E. (2009) “Excess commuting and modal choice”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43 (8), pp.735-743.
- Norusis, M. (2004) *SPSS 13.0 Statistical procedures companion*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Ozbay, K., Bartin, B., Yanmaz-Tuzel, O. and Berechman, J. (2007) “Alternative methods for estimating full marginal costs of highway transportation”. *Transportation Research Part A*, 41, pp.768-786.
- Polyzos, S., Tsiotas, D. and Minetos, D. (2013) “Determining the driving factors of commuting: An empirical analysis from Greece”. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 6 (3), pp.46-55.
- Polyzos, S., Tsiotas, D. and Papagiannis, K. (2014) “Determining the changes in commuting after the Ionian Motorway’s construction”. *MIBES Transactions*, 8, pp.113-131.
- Porter, M.A. (2012) “Small-world network”. *Scholarpedia*, 7 (2), p.1739.
- Rubinov, M. and Sporns, O. (2010) “Complex network measures of brain connectivity: Uses and interpretations”. *Neuroimage*, 52, pp.1059–1069.
- Sen, P., Dasgupta, S., Chatterjee, A., Sreeram, P.A., Mukherjee, G. and Manna, S.S. (2003) “World properties of the Indian railway network”. *Physical Review E* 67, 036106.
- Sporns, O. and Kotter, R. (2004) “Motifs in brain networks”. *PLOS Biology*, 2 (11), e369.
- Telesford, Q., Joyce, K., Hayasaka, S., Burdette, J. and Laurienti, P. (2011) “The ubiquity of small-world networks”. *Brain Connectivity*, 1 (5), pp.367–375.
- Tsiotas, D. and Polyzos, S. (2013a) “Introducing a new centrality measure from the transportation network analysis in Greece”. *Annals of Operations Research*, 227 (1), pp.93-127.

- Tsiotas, D. and Polyzos, S. (2013b) “Interregional commuting under the Network Theoretical perspective: an empirical analysis from Greece”. *Proceedings of the Multidisciplinary Academic Conference on Transport, Logistics and Information Technology*. Prague, 9-10 May 2013 (ISBN 978-80-905442-0-8).
- Tsiotas, D. and Polyzos, S. (2015a) “Analyzing the maritime transportation system in Greece: A complex network approach”. *Networks and Spatial Economics*, 15 (4), pp.981-1010.
- Tsiotas, D. and Polyzos, S. (2015b) “Decomposing multilayer transportation networks using complex network analysis: A case study for the Greek aviation network”. *Journal of Complex Networks*, 3 (4), pp.642-670.
- Tsiotas, D. and Polyzos, S. (2015c) “Making the web-science operational for interregional commuting analysis: Evidence from Greece”. *Journal of the Knowledge Economy*, doi: 10.1007/s13132-015-0269-0.
- Van Ommeren, J. and Rietveld, P. (2005) “The commuting time paradox”. *Journal of Urban Economics*, 58 (3), pp.437–454.
- Van Ommeren, J. and Fosgerau, M. (2009) “Workers’ marginal costs of commuting”. *Journal of Urban Economics*, 65 (1), pp.38-47.
- Watts, D. and Strogatz, S. (1998) “Collective dynamics of small-world networks”. *Nature*, 393, pp.440–442.

Παράρτημα

Πίνακας 1. Μέτρα χώρου και τοπολογίας που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του GRN

Μέτρο(*)	Περιγραφή	Μαθηματική Έκφραση	Αναφορά
Πυκνότητα γράφου - <i>Graph density</i> (ρ)	Ο λόγος του αριθμού των υφιστάμενων συνδέσεων (ακμών) του δικτύου προς τον αριθμό των δυνατών συνδέσεων που μπορούν να σχηματιστούν από το σύνολο των κόμβων. Το μέγεθος της πυκνότητας αντιπροσωπεύει την πιθανότητα εμφάνισης μιας σύνδεσης μεταξύ δύο τυχαίων κόμβων στο δίκτυο.	$\rho = \frac{ E(G) }{ E(G_{complete}) } =$ $= m / \binom{n}{2} = \frac{2m}{n \cdot (n - 1)}$	(Tsiotas and Polyzos, 2015a)
Βαθμός κόμβου - <i>Node Degree</i> (k)	Ο αριθμός των προσκείμενων ακμών σε μία κορυφή του δικτύου, ο οποίος αντιπροσωπεύει τη συνδετικότητα και την ικανότητα επικοινωνίας του δικτύου.	$k_i = k(i) = \sum_{j \in V(G)} \delta_{ij},$ $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & e_{ij} \in E(G) \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$	(Koschutzki et al., 2005)
Χωρική ισχύς - <i>Node (spatial) strength</i> (s)	Το άθροισμα των χωρικών αποστάσεων των ακμών που πρόσκεινται σε έναν κόμβο.	$s_i = s(i) = \sum_{j \in V(G)} d_{ij},$ $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & e_{ij} \in E(G) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	(Barthelemy, 2011)
Μέσος βαθμός κόμβων - <i>Average Network's Degree</i> $\langle k \rangle$	Ο μέσος όρος των τιμών του βαθμού των κόμβων (k_i) για το σύνολο των κορυφών $V(G)$ του δικτύου.	$\langle k \rangle = \frac{1}{ V(G) } \cdot \sum_{i=1}^{ V(G) } k(i) =$ $= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k(i)$	(Barthelemy, 2011)

<p>Κεντρικότητα εγγύτητας - Closeness Centrality(*) (C_i^C)</p>	<p>Ισούται με το αντίστροφο μέσο μήκος των ελάχιστων μονοπατιών που ξεκινούν από έναν δεδομένο κόμβον $\in V(G)$ και εκφράζει την προσβασιμότητα του κόμβου αυτού προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.</p>	$C_i^c = \frac{ V - 1}{\sum_{j=1, i \neq j}^{ V } d_{ij}} = (\bar{d}_i)^{-1}$	<p>(Koschutski et al., 2005; Tsiotas and Polyzos, 2013a).</p>
<p>Ενδιαμέσου κεντρικότητα - Betweenness Centrality(*) (C_k^B)</p>	<p>Ισούται με το λόγο του αριθμού των ελάχιστων μονοπατιών $\sigma(k)$ του δικτύου, τα οποία περιλαμβάνουν μία δεδομένη κορυφή k, προς το συνολικό αριθμό σ των μονοπατιών του δικτύου.</p>	$C_k^b = \sigma(k) / \sigma$	<p>(Koschutski et al., 2005)</p>
<p>Συντελεστής συγκέντρωσης - Clustering Coefficient (C_v)</p>	<p>Εκφράζει την πιθανότητα εύρεσης συνδεδεμένων γειτόνων σε έναν τυχαίο κόμβο του δικτύου, η οποία ισοδυναμεί με το λόγο του αριθμού των συνδεδεμένων γειτόνων $E(v)$ της κορυφής, προς τον αριθμό των συνολικών τριπλετών που σχηματίζονται από τη συγκεκριμένη κορυφή.</p>	$c_v = \frac{\text{τριγωνα}(v)}{\text{τριπλετες}(v)} = \frac{E(v)}{k_v \cdot (k_v - 1)}$	<p>(Barthelemy, 2011; Tsiotas and Polyzos, 2015a)</p>
<p>Συναρμολογησιμότητα - Modularity (Q)</p>	<p>Αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει τη δυνατότητα διαχωρισμού του δικτύου σε κοινότητες, όπου το g_i αντιπροσωπεύει την κοινότητα του κόμβου v_i, το $[A_{ij} - P_{ij}]$ τη διαφορά του παρατηρούμενου μείον τον αναμενόμενο αριθμό των ακμών που προσπίπτουν σε ένα δεδομένο ζεύγος κορυφών v_i, v_j του δικτύου και $\delta(g_i, g_j)$ είναι η δείκτηρια συνάρτηση που επιστρέφει την τιμή 1 όταν $g_i = g_j$.</p>	$Q = \frac{\sum_{i,j} [A_{ij} - P_{ij}] \cdot \delta(g_i, g_j)}{2m}$	<p>(Blondel et al., 2008; Fortunato, 2010)</p>

Μέσο μήκος μονοπατιού - Average Path Length $\langle l \rangle$	Η μέση τιμή του ελάχιστου αριθμού των ακμών $d(v_i, v_j)$ που παρεμβάλλονται για τη σύνδεση δύο τυχαίων κορυφών του δικτύου.	$\langle l \rangle = \frac{\sum_{v \in V(G)} d(v_i, v_j)}{n \cdot (n - 1)}$	(Barthelemy, 2011)
---	--	---	--------------------

* Όταν το μέγεθος υπολογίζεται σε δυαδικές (τοπολογικές) αποστάσεις θεωρείται δυαδικό (binary measure) και συμβολίζεται με το δείκτη bin, ενώ όταν υπολογίζεται σε χωρικές αποστάσεις (μετρούμενες σε ναυτικά μίλια) θεωρείται χωρικά σταθμισμένο (weighted measure) και συμβολίζεται με το δείκτη wei)

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Πίνακας 2. Περιγραφή των διανυσματικών μεταβλητών που συμμετέχουν στην εμπειρική ανάλυση του GCN

Μεταβλητή*	Περιγραφή	Πηγή
<i>Ομάδα Δομικών Μεταβλητών (Structural Class) - XS</i>		
(S ₁) Βαθμός οδικού δικτύου	Ο αριθμός των συνδέσεων κάθε κόμβου του διαπεριφερειακού δικτύου commuting.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c; Google Maps, 2013)
(S ₂) Βαθμός Commuting	Ο αριθμός των προορισμών commuting που έχει κάθε κόμβος του GCN.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c; ESYE, 2007)
(S ₃) Διαφορά βαθμού	Η διαφορά S ₃ = S ₁ - S ₂	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(S ₄) Κεντρικότητα εγγύτητας (closeness centrality)	Δείκτης προσβασιμότητας που είναι αντιστρόφως ανάλογος της μέσης απόστασης μιας πόλης προς τις πόλεις του υπολοίπου του δικτύου.	(Tsiotas et al., 2013c)
(S ₅) Κεντρικότητα κινητικότητας (mobility centrality)	Δείκτης κεντρικότητας, ο οποίος αποτελεί ανάλογο της κινητικής ενέργειας σωματιδίου και μετρά το δυναμικό που μία ιδιότητα κόμβου προκαλεί στο δίκτυο.	(Tsiotas and Polyzos, 2013a, 2015a)
(S ₆) Πληθυσμός	Ο πληθυσμός των νομών με βάση την απογραφή του 2011.	(Tsiotas and Polyzos, 2015a,b,c)
(S ₇) Πρόσημο commuting	Τριχοτομική μεταβλητή που προκύπτει από τη στατιστική διαφορά του αριθμού των εξερχομένων μείων των εισερχομένων commuters ανά πόλη και που υποδηλώνει το ρόλο της κάθε πόλης στο πρότυπο του GCN (+: απωστικός, 0: ουδέτερος, -: ελκτικός)	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(S ₈) Ελάχιστη απόσταση commuting	Η απόσταση του εγγύτερου προορισμού commuting για κάθε πόλη.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(S ₉) Μέση απόσταση γειτόνων	Η μέση απόσταση μιας πόλης από τους commuting προορισμούς της.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)

(S ₁₀) Αριθμός υπεραστικών προορισμών ΚΤΕΛ	Το πλήθος των προορισμών των δρομολογίων του υπεραστικού ΚΤΕΛ για κάθε πόλη.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(S ₁₁) Αριθμός προορισμών ΟΣΕ	Το πλήθος των προορισμών των δρομολογίων ΟΣΕ για κάθε πόλη.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
<i>Ομάδα Λειτουργικών Μεταβλητών (Functional Class) - XB</i>		
(Y)** Αριθμός commuters	Ο αριθμός των ημερησίως μετακινουμένων με σκοπό την εργασία (commuters) για κάθε πόλη προορισμού.	(ΕΣΥΕ, 2007)
(B ₁) Κατευθυνόμενοι commuters	Σύνθετη μεταβλητή που προκύπτει από τη σχέση: $B_1 = \max\{\text{incoming, outgoing commuters}\} \cdot S_7$.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₂) Μέση συχνότητα υπεραστικών δρομολογίων ΚΤΕΛ	Ο μέσος όρος του αριθμού των εβδομαδιαίων δρομολογίων υπεραστικού ΚΤΕΛ για το σύνολο των δυνατών προορισμών της κάθε πόλης.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₃) Δείκτης ροής υπεραστικού ΚΤΕΛ	Προκύπτει από το γινόμενο των $B_3 = B_2 \cdot S_{10}$	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₄) Μέση συχνότητα δρομολογίων ΟΣΕ	Ο μέσος όρος του αριθμού των εβδομαδιαίων δρομολογίων ΟΣΕ για το σύνολο των δυνατών προορισμών της κάθε πόλης.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₅) Δείκτης ροής δρομολογίων ΟΣΕ	Προκύπτει από το γινόμενο των $B_5 = B_4 \cdot S_{11}$.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₆) Αριθμός ΙΧ	Αριθμός των ιδιωτικών οχημάτων για κάθε νομό για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₇) Αριθμός λεωφορείων	Αριθμός των λεωφορείων ΚΤΕΛ ανά νομό για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(B ₈) Αριθμός ταξί	Αριθμός των ταξί ανά νομό για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
<i>Ομάδα Οντολογικών Μεταβλητών (Ontological Class) - XO</i>		
(O ₁) Εργατικό πληθυσμιακό δυναμικό	Το ποσοστό του πληθυσμού που αναλογεί στις ηλικίες $20 < A < 65$, με βάση την απογραφή του 2011.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₂) Δείκτης εκπαίδευσης	Σύνθετος δείκτης που περιγράφει το επίπεδο εκπαίδευσης του κάθε νομού.	(Πολύζος, 2011)
(O ₃) GDP	Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Gross Domestic Product) κάθε νομού για το έτος 2006.	(Πολύζος, 2011; Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₄) Δείκτης ευημερίας	Σύνθετος δείκτης που περιγράφει το επίπεδο ευημερίας κάθε νομού για το έτος 2005.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₅) Εργατικό δυναμικό δημοσίου	Αριθμός των δημοσίων υπαλλήλων του κάθε νομού για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)

(O ₆) Προϊόν του τομέα μεταφορών	Η συμμετοχή κάθε νομού στη διαμόρφωση του προϊόντος στον τομέα των μεταφορών για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₇) Ατυχήματα	Αριθμός των καταγεγραμμένων από την Τροχαία ατυχημάτων ανά νομό, για το έτος 2006.	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₈) Κατά κεφαλήν ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων	Προκύπτει από το λόγο του αριθμού των ατυχημάτων διά τον πληθυσμό του κάθε νομού ($O_8=O_7/S_6$).	(Tsiotas and Polyzos, 2015c)
(O ₉) Παραγωγικός δυναμισμός	Σύνθετος δείκτης που εξαρτάται από τη μεταβολή του GDP, το ποσοστό ανεργίας, την παραγωγικότητα και το ποσοστό των εργαζομένων.	(Πολύζος, 2011)
(O ₁₀) Ανισότητες στην ανεργία	Τιμές του δείκτη ανισοτήτων του Theil στην ανεργία για το έτος 2007.	(Τσιώτας και Πολύζος, 2012)

*. Εντός των παρενθέσεων δίδονται οι συμβολισμοί των μεταβλητών

**.. Συμβολίζεται ξεχωριστά επειδή χρησιμοποιείται ως εξαρτημένη μεταβλητή στο υπόδειγμα

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Δημήτριος Τσιώτας

Δρ. Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 38 334, Βόλος

e-mail: tsiotas(AT)uth.gr

Κωνσταντίνος Ραπτόπουλος

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης

Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 38 334, Βόλος

e-mail: kosraptopoulos(AT)uth.gr

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΣΚΑΓΙΑΝΝΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ
ΓΟΣΠΟΔΙΝΗ ΑΣΠΑ
ΔΕΦΝΕΡ ΑΛΕΞΗΣ
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΟΛΓΑ
ΨΥΧΑΡΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ
ΚΑΛΛΙΩΡΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Αραβαντινός Αθανάσιος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Ανδρικόπουλος Ανδρέας	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασενχόβεν Λουδοβίκος	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Γιαννακούρου Τζίνα	- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιαννιάς Δημήτρης	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δελλαδέτσιμας Παύλος	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Ιωαννίδης Γιάννης	- Tufts University, USA
Καλογήρου Νίκος	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)
Καρύδης Δημήτρης	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Κοσμόπουλος Πάνος	- Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ)
Κουκλέλη Ελένη	- University of California, USA
Λαμπριανίδης Λόης	- Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Λουκάκης Παύλος	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Λουρή Ελένη	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μαλούτας Θωμάς	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Μαντουβάλου Μαρία	- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Μελαχροινός Κώστας	- Queen Mary, University of London
Μοδινός Μιχάλης	- Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΔΙΠΕ)
Μπριασούλη Ελένη	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπαθεοδώρου Ανδρέας	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Πρεβελάκης Γεώργιος-Στυλ.	- Université de Paris I, France
Φωτόπουλος Γιώργος	- Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Χαστάογλου Βίλμα	- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)

αιχώρος

ΤΕΥΧΟΣ 28 | ΕΤΟΣ 2019
ISSUE | YEAR

- Πολύζος, Σ. 4
Μεταφορικές Υποδομές, Δίκτυα και Ανάπτυξη
- Πολύζος, Σ. 14
Θεωρητική ανάλυση της συμβολής των μεταφορικών υποδομών στην περιφερειακή ανάπτυξη
- Τσιώτας, Δ., Ραπτόπουλος, Κ. 40
Η ημερήσια μετακίνηση με σκοπό την εργασία ως πολύπλοκο δίκτυο: Η περίπτωση της Ελλάδας
- Στεφανούλη Μ. 76
Αστικά και οικονομικά δίπολα στην Ελλάδα βάσει ημερήσιων μετακινήσεων με σκοπό την εργασία
- Τσιώτας, Δ., Γεράκη Μ., Νιαβής, Σ. 98
Τα δίκτυα μεταφορών στην Ελλάδα και η σημασία τους για την οικονομική ανάπτυξη
- Νιαβής, Σ. 157
Αξιολόγηση της επίδρασης του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος στις προοπτικές ανάπτυξης των ελληνικών λιμένων κρουαζιέρας
- Τσιώτας, Δ. 182
Μοντελοποίηση του οδικού διαπεριφερειακού δικτύου της Ελλάδας με χρήση ανάλυσης σύνθετων δικτύων (complex network analysis)
- Καρύδη, Η., Θεοφανόπουλος, Π. 216
Η ανάκτηση της σιδηροδρομικής υποδομής ως εργαλείο σχεδιασμού για την ανάπτυξη της ελληνικής περιφέρειας: Η περίπτωση της Πελοποννήσου
- Ψαθά, Ε., Λουροντζή Ε., Πεταχτή Σ. 250
Επιλογή του ποδηλάτου ως μέσου αστικής μετακίνησης: Χρηστικές και Μεταχρηστικές Διαστάσεις
- Τζούρας, Π., Κυριακίδης, Χ., Μπακογιάννης, Ε., Βλαστός, Θ. 276
Προσεγγίζοντας το ζήτημα της βιωσιμότητας περιαστικών ποδηλατικών υποδομών μεγάλου μήκους με χρήση Κοινωνικής Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους: Η ποδηλατική σύνδεση Ναυπλίου-Άργους