

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ**



ATHENS UNIVERSITY
OF ECONOMICS
AND BUSINESS

**ΣΧΟΛΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**

SCHOOL OF
BUSINESS

**ΤΜΗΜΑ
ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

DEPARTMENT OF
MANAGEMENT
SCIENCE &
TECHNOLOGY

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΠΑΤΖΙΑΚΟΥΔΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

AM: 8150091



Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Επιλογή και Δημιουργία Dataset | 2 |
| Αναπαράσταση και ανάλυση των δεδομένων | 4 |
| Basic topological properties..... | 5 |
| Components measures..... | 5 |
| Degree measures | 6 |
| Weighted degree..... | 8 |
| Betweenness centrality | 10 |
| Closeness centrality και Harmonic centrality | 11 |
| Eigenvector centrality..... | 13 |
| Eccentricity | 14 |
| Clustering coefficient..... | 15 |
| Number of triangles | 15 |
| Triadic closure phenomenon | 16 |
| Bridges..... | 16 |
| Homophily και Modularity..... | 17 |
| PageRank algorithm | 20 |
| Συμπεράσματα | 21 |

Επιλογή και Δημιουργία Dataset

Το δίκτυο που επέλεξα να αναλύσω αφορά τα δρομολόγια πλοίων εντός Ελλάδος. Αφορμή για την επιλογή του στάθηκε μία εμπειρία που είχα κατά τη διάρκεια των περασμένων Χριστουγέννων, όποτε και ήθελα να επισκεφτώ τη Σαμοθράκη. Εκείνη την περίοδο το μοναδικό πλοίο που εκτελεί το δρομολόγιο Αλεξανδρούπολη- Σαμοθράκη παρουσίασε βλάβη, με αποτέλεσμα η Σαμοθράκη να αποκλειστεί καθώς δεν υπάρχει δρομολόγιο που να την συνδέει με άλλο λιμάνι. Συνειδητοποίησα ότι θα μπορούσαμε να φανταστούμε τα δρομολόγια των πλοίων σαν ένα κοινωνικό δίκτυο, με τα λιμάνια να αποτελούν τους κόμβους(nodes) και τα δρομολόγια των πλοίων να αναπαριστούν τις συνδέσεις(edges) μεταξύ τους. Με την πραγματοποίηση της ανάλυσης, σκοπεύω να δω ποια λιμάνια συνδέονται μεταξύ τους, σε πόσα διαφορετικά λιμάνια μπορεί να φτάσει ένας επιβάτης για παράδειγμα ξεκινώντας από τον Πειραιά, ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός δρομολογίων που πρέπει να πραγματοποιήσει κάποιος προκειμένου να φτάσει από ένα λιμάνι σε κάποιο άλλο, ποια λιμάνια αποτελούν συνδυαστικούς σταθμούς μεταξύ προορισμών, μεταξύ ποιων λιμανιών πραγματοποιούνται τα περισσότερα δρομολόγια και μεταξύ ποιων τα λιγότερα.

Εφόσον δεν βρήκα κάποιο αρχείο online που να περιέχει τα λιμάνια της χώρας και τα δρομολόγια που τα συνδέουν, έγραψα ένα πρόγραμμα σε python. Χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Beautiful Soup, η οποία εξαγεί δεδομένα από σελίδες html, έκανα requests στην ιστοσελίδα www.vrisko.gr ώστε να συγκεντρώσω δρομολόγια από τα 93 λιμάνια της χώρας που πραγματοποιούνται δρομολόγια αυτήν την εποχή. Αρχικός σκοπός μου ήταν να συγκεντρώσω δεδομένα διάρκειας ενός μήνα, ώστε να θέσω ως βάρος στις συνδέσεις την μηνιαία συχνότητα κάθε δρομολογίου. Λόγω όμως του ότι μπορείς να κάνεις περιορισμένο αριθμό requests την ημέρα σε μία σελίδα, στο συγκεκριμένο site περίπου 100, συγκέντρωσα τα δεδομένα δρομολογίων μόνο για μία εβδομάδα, σύνολο 665 requests. Έπειτα δημιούργησα ένα αρχείο csv ώστε να αποθηκεύσω εκεί τα δεδομένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται screenshot από τον κώδικα.

```
6 harbors = ["agios-eystratios", "agkistri", "agkistri-myloi", "aigina", "aidipsos", "aleksandroypoli", "alonnisos", "amorgos-aigiali",
7 "amorgos-katapola", "anafi", "andros", "antikythira", "astypalaia", "aylona", "bolos",
8 "gytheio", "donoyssa", "ermioni", "eyboia-agia-marina", "eyboia-mantoydi", "eyboia-marmari", "eyboia-nea-styra", "zakynthos"
9 "igoumenitsa", "irakleia", "irakleio", "thirasia", "ikaria-agios-kirykos", "ikaria-eydilos", "ios", "kabala",
10 "kalymnos", "karpathos", "karpathos-diafani", "kasos", "kastelorizo", "kea", "kerkyra", "kefallonia-poros", "kefallonia-sami",
11 "kimolos", "koyfonisia", "kythira", "kythnos", "kos", "kos-kardamaina", "kos-mastixari", "leipsoi",
12 "leros", "lesbos-mytlini", "limnos", "marmaris", "methana", "milos", "mpari", "mprintizi", "mykonos",
13 "naksos", "nisyros", "oinoysses", "paksoi", "paros", "patmos", "poros", "porto-xeli", "peiraias",
14 "rafina", "layrio", "patra", "kyllini", "agathonisi", "rethymno", "rodos", "samothraki",
15 "samos-bathy", "samos-karlobasi", "samos-pythagoreio", "santorini-thira", "serifos"
16 "siteia", "sikinos", "sifnos", "skiathos", "skopelos", "skopelos-glossa", "spetses", "syros",
17 "syros", "sxoinoyssa", "tilos", "tilos", "tydra", "folegandros", "foyrnoi", "xania", "xania-kissamos", "xios" ]
18
19 dates = ["2019-02-01", "2019-02-02", "2019-02-03", "2019-02-04", "2019-02-05", "2019-02-06", "2019-02-07"]
```

Εικόνα 1 Λίστα με τα λιμάνια και τις ημερομηνίες έτσι όπως αναγράφονται στα url

```
20
21 timetables = []
22 for harbor in harbors:
23     for date in dates:
24         url = "https://www.vrisko.gr/dromologia-ploion/"+ harbor +"/all/"+ date +"/"
25         timetables.append(url)
26
```

Εικόνα 2 Δημιουργία λίστας με τα url που έπρεπε να γίνουν requests ώστε να συγκεντρωθούν τα δεδομένα

```

27 data = []
28 for pg in timetables:
29     page = requests.get(pg)
30     soup = BeautifulSoup(page.text.encode('utf-8').strip(), 'lxml')
31     for tr in soup.find_all('tr')[2:]:
32         tds = tr.find_all('td')
33         date = tds[0].text
34         harbors = tds[2].text
35         data.append((date, harbors))
36

```

Εικόνα 3 Χρήση της βιβλιοθήκης BeautifulSoup για την συγκέντρωση δεδομένων από τις σελίδες html

```

36
37 with open("timetables.csv", 'a', newline='') as csv_file:
38     writer = csv.writer(csv_file)
39     for date, harbors in data:
40         writer.writerow([date, harbors])
41

```

Εικόνα 4 Εισαγωγή των δεδομένων σε αρχείο csv

| | A | B | C | D | E | F |
|----|---------------------|---------------------------|---|---|---|---|
| 1 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Καβάλα | | | | |
| 2 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λήμνος | | | | |
| 3 | Κυριακή, 3/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λαύριο | | | | |
| 4 | Τρίτη, 5/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Καβάλα | | | | |
| 5 | Τρίτη, 5/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λήμνος | | | | |
| 6 | Τρίτη, 5/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λαύριο | | | | |
| 7 | Πέμπτη, 7/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Καβάλα | | | | |
| 8 | Πέμπτη, 7/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λήμνος | | | | |
| 9 | Πέμπτη, 7/2/2019 | Άγιος Ευστράτιος - Λαύριο | | | | |
| 10 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Αγκίστρι Μύλοι - Αίγινα | | | | |
| 11 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Αγκίστρι Μύλοι - Πειραιάς | | | | |
| 12 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Αγκίστρι - Αίγινα | | | | |
| 13 | Παρασκευή, 1/2/2019 | Αγκίστρι - Πειραιάς | | | | |

Εικόνα 5 Το αρχείο timetables.csv που δημιουργήθηκε.

Έπειτα δημιούργησα έναν συγκεντρωτικό πίνακα στο excel ώστε να βρω την εβδομαδιαία συχνότητα ανα δρομολόγιο. Στη συνέχεια μορφοποίησα κατάλληλα τα δεδομένα ώστε να εισαχθούν στο gerhi, κάνοντας ένα αρχείο nodes.csv που περιείχε μία στήλη με το id και μία με το όνομα(label) κάθε λιμανιού και ένα αρχείο edges.csv που περιείχε τρεις στήλες, το id του λιμανιού αναχώρησης(Target), το id του λιμανιού άφιξης(Source) και τον αριθμό των δρομολογίων που πραγματοποιούνται ανά εβδομάδα(Weight). Τέλος πρόσθεσα τις συντεταγμένες, latitude και longitude, στο αρχείο nodes.csv, για κάθε λιμάνι, χρησιμοποιώντας την ιστοσελίδα <https://www.latlong.net/>.

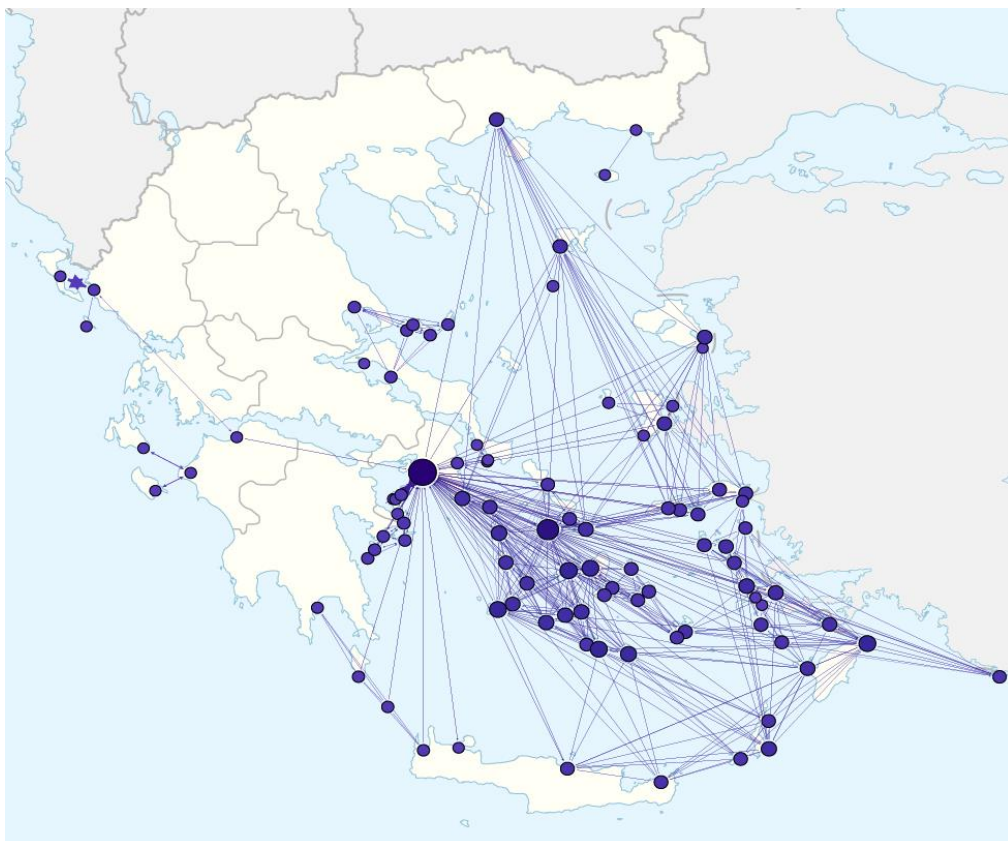
| | A | B | C | D |
|----|--------|--------|--------|---|
| 1 | Source | Target | Weight | |
| 2 | 1 | 33 | 2 | |
| 3 | 1 | 46 | 1 | |
| 4 | 1 | 50 | 2 | |
| 5 | 1 | 51 | 2 | |
| 6 | 1 | 65 | 1 | |
| 7 | 1 | 71 | 1 | |
| 8 | 1 | 75 | 1 | |
| 9 | 1 | 85 | 1 | |
| 10 | 2 | 32 | 2 | |

| | A | B | C | D |
|----|----|------------------|-----------|-----------|
| 1 | id | Label | Latitude | Longitude |
| 2 | 1 | Αγαθονήσι | 37.458120 | 26.972240 |
| 3 | 2 | Άγιος Ευστράτιος | 39.538090 | 24.990430 |
| 4 | 3 | Αγκίστρι | 37.710890 | 23.346710 |
| 5 | 4 | Αγκίστρι Μύλοι | 37.708211 | 23.370169 |
| 6 | 5 | Αίγινα | 37.746799 | 23.426769 |
| 7 | 6 | Αιδηψός | 38.879501 | 23.046379 |
| 8 | 7 | Αλεξανδρούπολη | 40.848869 | 25.845470 |
| 9 | 8 | Αλόνησος | 39.212273 | 23.909552 |
| 10 | 9 | Αμοργός Αιγιάλη | 36.900950 | 25.976750 |

Αξίζει να σημειωθεί ότι το δρομολόγιο ενός πλοίου το οποίο για παράδειγμα ξεκινάει από την Ραφήνα και περνά από Άνδρο, Τήνο και καταλήγει στην Μύκονο, δεν αναπαριστάτε ως ένα μονοπάτι που ξεκινάει από την Ραφήνα και καταλήγει στην Μύκονο, αλλά ως όλες οι δυνατές συνδέσεις μεταξύ αυτών των προορισμών, δηλαδή έχουμε 6 δρομολόγια αντί για ένα, Ραφήνα-Άνδρος, Ραφήνα-Τήνος, Ραφήνα-Μύκονος, Άνδρος-Τήνος, Άνδρος-Μύκονος και Τήνος-Μύκονος. Δηλαδή κάθε σύνδεση δεν αναπαριστά το λιμάνι αρχικής αναχώρησης και τελικής άφιξης ενός πλοίου, αλλά τη δυνατή μεταφορά από ένα λιμάνι σε ένα άλλο, παρόλο που μπορούν να υπάρχουν και ενδιάμεσες στάσεις.

Αναπαράσταση και ανάλυση των δεδομένων

Παρακάτω φαίνονται τα λιμάνια από και προς τα οποία πραγματοποιούνται δρομολόγια την χειμερινή περίοδο, με βάση τις συντεταγμένες latitude και longitude.



Εικόνα 5 Απεικόνιση δικτύου στον χάρτη της Ελλάδος

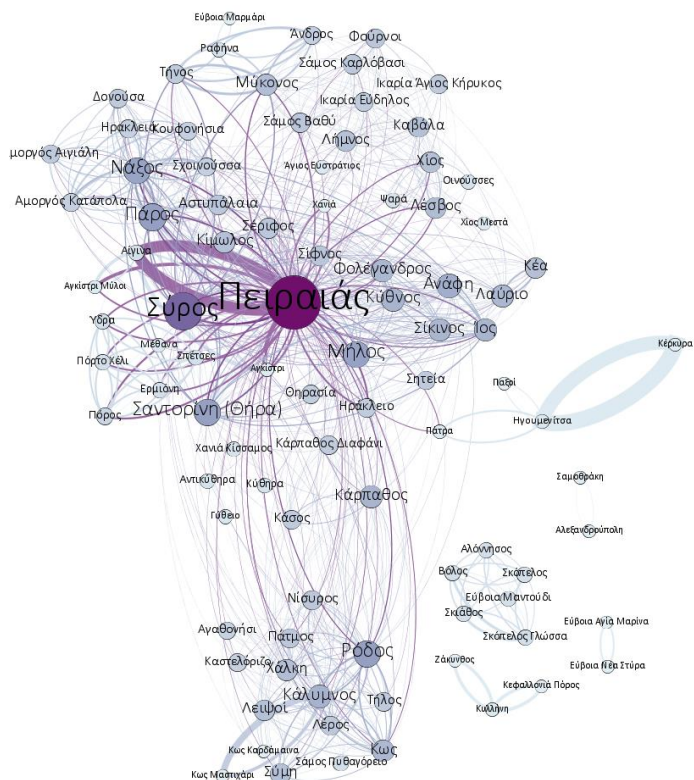
Basic topological properties

Τα δεδομένα των δρομολογιών αποτελούνται από 93 κόμβους-λιμάνια και 893 συνδέσεις-δρομολόγια. Η διάμετρος του δικτύου είναι ίση με 6, δηλαδή στο χειρότερο σενάριο για να μετακινηθεί κάποιος από ένα λιμάνι σε κάποιο άλλο, στην συντομότερη διαδρομή θα κάνει 6 δρομολόγια. Το μέσο μήκος μονοπατιού (Average Path length) είναι ίσο περίπου με 2,2.

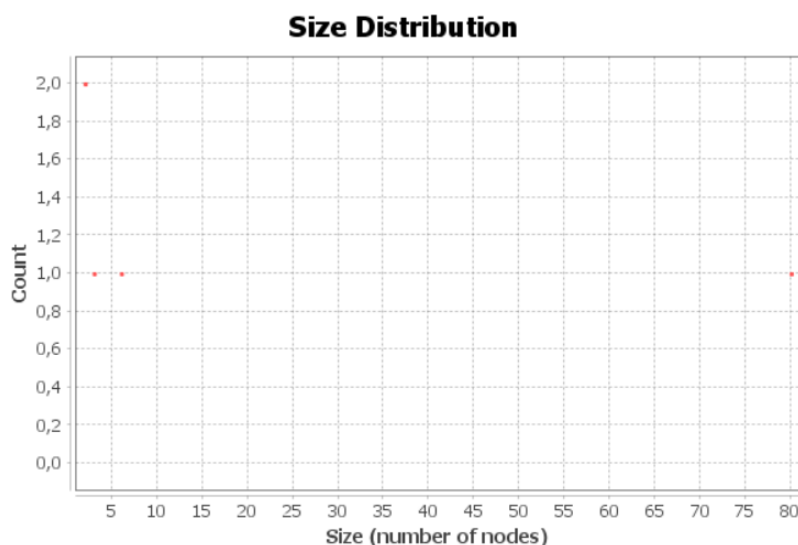
Components measures

Όπως φαίνεται από την γραφική αναπαράσταση του δικτύου και από το διάγραμμα Size distribution, τα δρομολόγια πλοίων που πραγματοποιούνται τη χειμερινή περίοδο στην Ελλάδα, χωρίζονται σε 5 components. Το πρώτο και μεγαλύτερο περιλαμβάνει 80 λιμάνια και πιο συγκεκριμένα τα δρομολόγια που πραγματοποιούνται από την

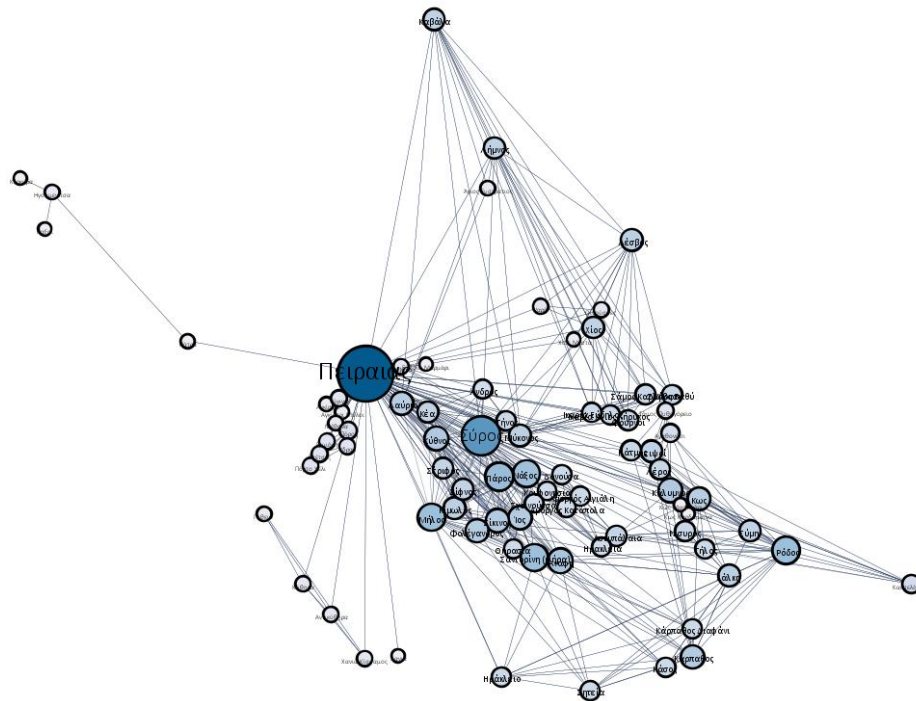
Ηπειρωτική Ελλάδα στα νησιά του Σαρωνικού, τις Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα, το Βόρειο Ιόνιο, τα νησιά του Βορείου Αιγαίου και την Κρήτη. Το δεύτερο περιλαμβάνει 6 λιμάνια, συγκεκριμένα τις Σποράδες, τον Βόλο και τη βόρεια Εύβοια, το τρίτο 3 λιμάνια με τα δρομολόγια μεταξύ Κυλλήνης – Ζακύνθου και Κυλλήνης-Κεφαλονιάς, το τέταρτο 2 λιμάνια με το δρομολόγιο μεταξύ της Αγίας Μαρίνας και της Νέας Στύρας στην Εύβοια και το τελευταίο επίσης 2 λιμάνια με το δρομολόγιο Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη.



Εικόνα 6 Απεικόνιση δικτύου με βάση το degree των κόμβων



Χρησιμοποίησα τα φίλτρα του Gephi για να βρω την ύπαρξη giant component. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία giant component θεωρείτε ένα συνδεδεμένο component ενός γράφου, το οποίο περιέχει ένα πεπερασμένο κλάσμα των κορυφών ολόκληρου του γραφήματος. Όπως ήταν λογικό το πρώτο και μεγαλύτερο component που περιέχει και το λιμάνι του Πειραιά αποτελεί giant component, καθώς είναι το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας από το οποίο πραγματοποιούνται δρομολόγια από και προς τα περισσότερα λιμάνια της χώρας.



Εικόνα 7 Giant Component

Degree measures

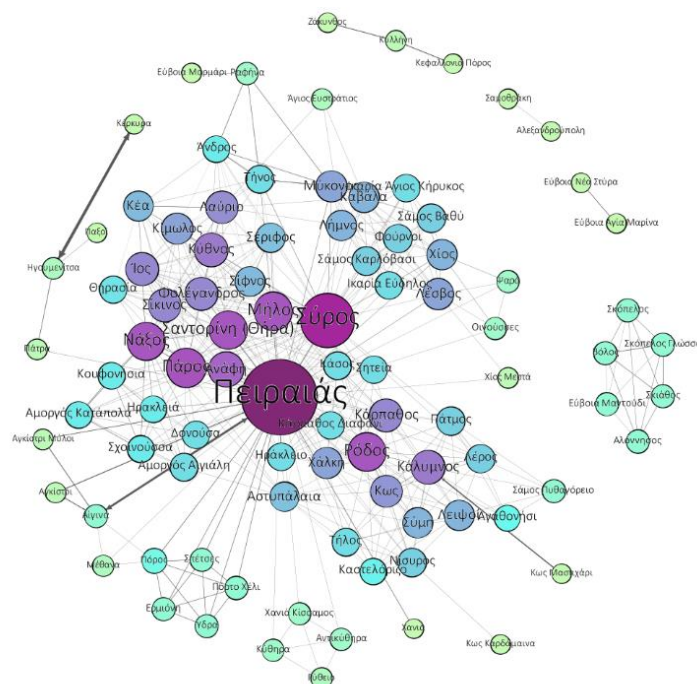
Ο μέγιστος βαθμός ενός κόμβου στο δίκτυο είναι 128 και αφορά το λιμάνι του Πειραιά, δηλαδή στο διάστημα μίας εβδομάδας στο λιμάνι του Πειραιά έρχονται δρομολόγια που έχουν περάσει από 64 λιμάνια (in-degree) και φεύγουν δρομολόγια που περνάνε από 64 λιμάνια (out-degree), προσθέτοντας αυτές τις δύο μετρικές προκύπτει ο βαθμός 128 που συγκεντρώνει ο Πειραιάς. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλα τα δρομολόγια που φεύγουν και έρχονται στο λιμάνι, αλλά όλες οι δυνατές συνδέσεις με τα άλλα λιμάνια ασχέτως της συχνότητας των δρομολογίων, η οποία υπολογίζεται μέσω του βάρους. Στον πρώτο πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα 10 λιμάνια με το μεγαλύτερο degree, ταξινομημένα με φθίνουσα σειρά και στο δεύτερο τα λιμάνια με το μικρότερο degree. Ο μέσος βαθμός κόμβου είναι 9,4 δρομολόγια ανά εβδομάδα.

| Λιμάνι | Degree | In-degree | Out-degree |
|-----------|--------|-----------|------------|
| Πειραιάς | 128 | 64 | 64 |
| Σύρος | 79 | 39 | 40 |
| Πάρος | 46 | 23 | 23 |
| Σαντορίνη | 44 | 21 | 23 |
| Μήλος | 44 | 22 | 22 |
| Ρόδος | 44 | 22 | 22 |
| Νάξος | 43 | 22 | 21 |
| Ανάφη | 37 | 17 | 20 |
| Κύθνος | 34 | 18 | 16 |
| Κάλυμνος | 34 | 17 | 17 |

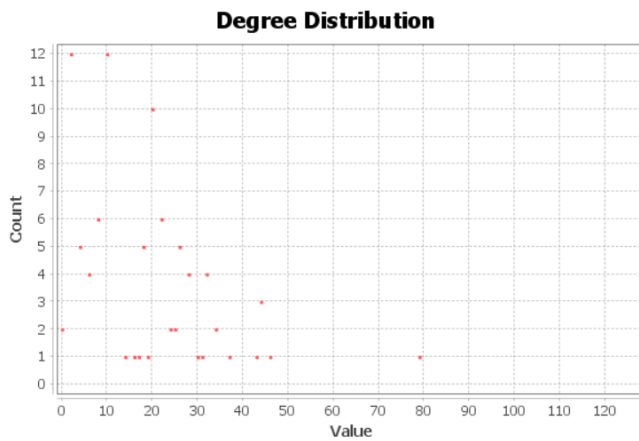
| Λιμάνι | Degree | In-degree | Out-degree |
|--------------------|--------|-----------|------------|
| Αλεξανδρούπολη | 2 | 1 | 1 |
| Εύβοια Αγία Μαρίνα | 2 | 1 | 1 |
| Εύβοια Μαρμάρι | 2 | 1 | 1 |
| Εύβοια Νέα Στύρα | 2 | 1 | 1 |
| Ζάκυνθος | 2 | 1 | 1 |
| Κέρκυρα | 2 | 1 | 1 |
| Κεφαλλονιά Πόρος | 2 | 1 | 1 |
| Κως Καρδάμaina | 2 | 1 | 1 |
| Κως Μαστιχάρι | 2 | 1 | 1 |
| Παξοί | 2 | 1 | 1 |

Πίνακας 2 Λιμάνια με το μικρότερο degree

Μελετώντας τους δύο πίνακες συμπεραίνουμε ότι μεγάλα λιμάνια, όπως ο Πειραιάς καθώς και λιμάνια σε νησιά που εκτελούνται πολλά δρομολόγια, είτε λόγω του ότι ανήκουν σε ένα δρομολόγιο με πολλές στάσεις, όπως τα λιμάνια που συμπεριλαμβάνονται στο δρομολόγιο Πειραιάς-Σύρος-Τήνος-Μύκονος, είτε επειδή βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από πολλά λιμάνια, όπως συμβαίνει στις Κυκλάδες, παρουσιάζουν μεγάλο degree. Παράλληλα λιμάνια που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως της Αλεξανδρούπολης, μικρά λιμάνια που συνυπάρχουν στο ίδιο νησί με μεγαλύτερα, όπως τα Καρδάμaina και το Μαστιχάρι στη Κω και λιμάνια που ανήκουν σε δρομολόγια μεταξύ μόνο δύο προορισμών, όπως η Ζάκυνθος που συνδέεται μόνο με την Κυλλήνη, εμφανίζουν πολύ μικρό degree. Επίσης παρατηρούμε ότι όλα τα λιμάνια παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές στα πεδία in-degree και out-degree. Η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ in-degree και out-degree είναι 4 βαθμοί στο λιμάνι της Τήνου, στο οποίο έρχονται από 12 λιμάνια και φεύγουν για 8. Το μέγεθος και το χρώμα των κόμβων του δικτύου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8, έχει προσαρμοστεί ανάλογα με το degree κάθε κόμβου, οι κόμβοι με μεγαλύτερο degree απεικονίζονται με αποχρώσεις του μωβ, ενώ αυτοί με μικρότερο με αποχρώσεις του πράσινου.



Εικόνα 8 Απεικόνιση δικτύου με βάση το degree κάθε λιμανιού



Βλέποντας το διάγραμμα για το degree distribution παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται κατά κύριο λόγο από 2 έως 45 με το λιμάνι του Πειραιά και της Σύρου να ξεφεύγουν κατά πολύ από τα υπόλοιπα με 128 και 79 δρομολόγια από και προς αυτά.

Weighted degree

| Λιμάνι | Weighted Degree | Weighted In-degree | Weighted Out-degree |
|------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Πειραιάς | 947 | 490 | 457 |
| Ηγουμενίτσα | 303 | 160 | 143 |
| Αίγινα | 298 | 165 | 133 |
| Σύρος | 257 | 119 | 138 |
| Νάξος | 257 | 134 | 123 |
| Κέρκυρα | 257 | 120 | 137 |
| Κάλυμνος | 227 | 129 | 98 |
| Πάρος | 213 | 110 | 103 |
| Ρόδος | 179 | 91 | 88 |
| Σαντορίνη (Θήρα) | 179 | 85 | 94 |

Πίνακας 3 Λιμάνια με μεγαλύτερο weighted degree

Αναλύοντας το δίκτυό μας ως προς το Weighted Degree, το οποίο δείχνει το βαθμό ενός κόμβου με βάση το άθροισμα των βαρών των συνδέσεων με τους γείτονές του, βλέπουμε το πλήθος των δρομολογίων με τα οποία συνδέεται ένα λιμάνι με ένα άλλο στη διάρκεια μίας εβδομάδας. Το λιμάνι του Πειραιά και με αυτή την ανάλυση, όπως είναι λογικό, εμφανίζεται πρώτο με 947 δρομολόγια από και προς άλλα λιμάνια. Ακολουθεί το λιμάνι της Ηγουμενίτσας, το οποίο πάρα το γεγονός ότι δεν εμπεριέχεται στο giant component και συνδέεται μόνο με τα λιμάνια της Κέρκυρας και των Παξών, το weighted degree της είναι ίσο με 303, γεγονός που οφείλεται στα πολύ συχνά δρομολόγια μεταξύ Κέρκυρας και Ηγουμενίτσας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4. Μπορούμε να αποδόσουμε την τόσο μεγάλη συχνότητα σε τρεις παράγοντες. Πρώτον στο ότι η Κέρκυρα δεν συνδέεται με άλλο λιμάνι, όποτε η κύρια πρόσβαση στο νησί γίνεται αν όχι αεροπορικά μόνο με το λιμάνι της Ηγουμενίτσας, δεύτερον στο ότι η απόσταση μεταξύ των δύο λιμανιών είναι μικρή, άρα και τα πλοία δεν έχουν μεγάλη χωρητικότητα και τρίτων στο ότι η Κέρκυρα έχει μεγάλο πληθυσμό για νησί καθώς και αρκετό τουρισμό, οπότε μετακινούνται καθημερινά πολλοί άνθρωποι.

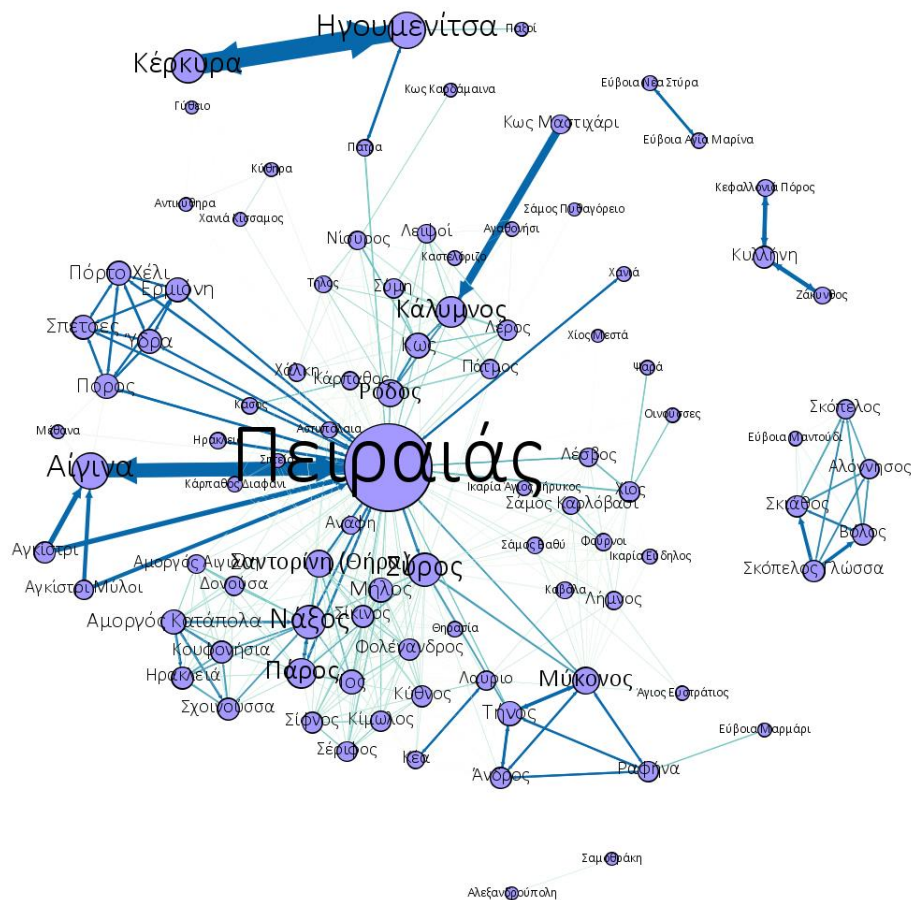
| Λιμάνι Αναχώρησης | Λιμάνι Προορισμού | Βάρος |
|-------------------|-------------------|-------|
| Ηγουμενίτσα | Κέρκυρα | 120 |
| Κέρκυρα | Ηγουμενίτσα | 120 |
| Αίγινα | Πειραιάς | 97 |
| Πειραιάς | Αίγινα | 97 |
| Κως Μαστιχάρι | Κάλυμνος | 56 |
| Αγκίστρι | Αίγινα | 36 |
| Αγκίστρι | Πειραιάς | 36 |
| Αγκίστρι Μύλοι | Αίγινα | 28 |
| Αγκίστρι Μύλοι | Πειραιάς | 28 |
| Ζάκυνθος | Κυλλήνη | 28 |
| Κάλυμνος | Κως Μαστιχάρι | 28 |
| Κεφαλλονιά Πόρος | Κυλλήνη | 28 |
| Κυλλήνη | Ζάκυνθος | 28 |
| Κυλλήνη | Κεφαλλονιά Πόρος | 28 |
| Σκόπελος Γλώσσα | Βόλος | 24 |
| Σκόπελος Γλώσσα | Σκιάθος | 24 |
| Μύκονος | Τήνος | 21 |
| Τήνος | Μύκονος | 21 |

Πίνακας 4 Δρομολόγια με μεγαλύτερο βάρος

Παρατηρώντας τα λιμάνια που εμφανίζονται να έχουν μεγαλύτερο weighted degree και βλέποντας τον Πίνακα 1, με τα λιμάνια με το μεγαλύτερο degree, και τον Πίνακα 4, με τα δρομολόγια με το μεγαλύτερο βάρος βλέπουμε ότι ο Πίνακας 3, που απεικονίζει το weighted degree είναι ένας συνδυασμός. Αυτό είναι λογικό, καθώς το μεγαλύτερο weighted degree εμφανίζεται είτε σε λιμάνια με μεγάλο degree από τα οποία έρχονται και φεύγουν πλοία που περνούν από πολλά λιμάνια, όπως στη Σύρο, είτε σε λιμάνια που παρόλο που δεν συνδέονται με πολλά άλλα πραγματοποιούνται πολύ συχνά δρομολόγια από και προς αυτά, όπως συμβαίνει με την Αίγινα, την Ηγουμενίτσα και την Κάλυμνο.

Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει αισθητή διαφορά μεταξύ του weighted in-degree και του weighted out-degree. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν ένα πλοίο εκτελεί ένα δρομολόγιο για παράδειγμα από τον Πειραιά, περνάει από κάποια λιμάνια και καταλήγει ξανά στον Πειραιά δεν περνάει απαραίτητα από τα ίδια νησιά μέχρι να γυρίσει, με αποτέλεσμα το weighted in-degree και weighted out-degree να διαφοροποιούνται σε κάποιες περιπτώσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια απεικόνιση του δικτύου μας, στην οποία το μέγεθος των κόμβων έχει προσαρμοστεί με βάση το weighted degree και τα χρώματα και το πάχος των συνδέσεων απεικονίζουν το βάρος, δηλαδή των αριθμό των δρομολογίων από ένα λιμάνι σε ένα άλλο κατά τη διάρκεια της εβδομάδας. Παρατηρούμε ότι τα συχνότερα δρομολόγια πραγματοποιούνται συνήθως μεταξύ προορισμών που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους.



Εικόνα 9 Απεικόνιση δικτύου με βάση το weighted degree

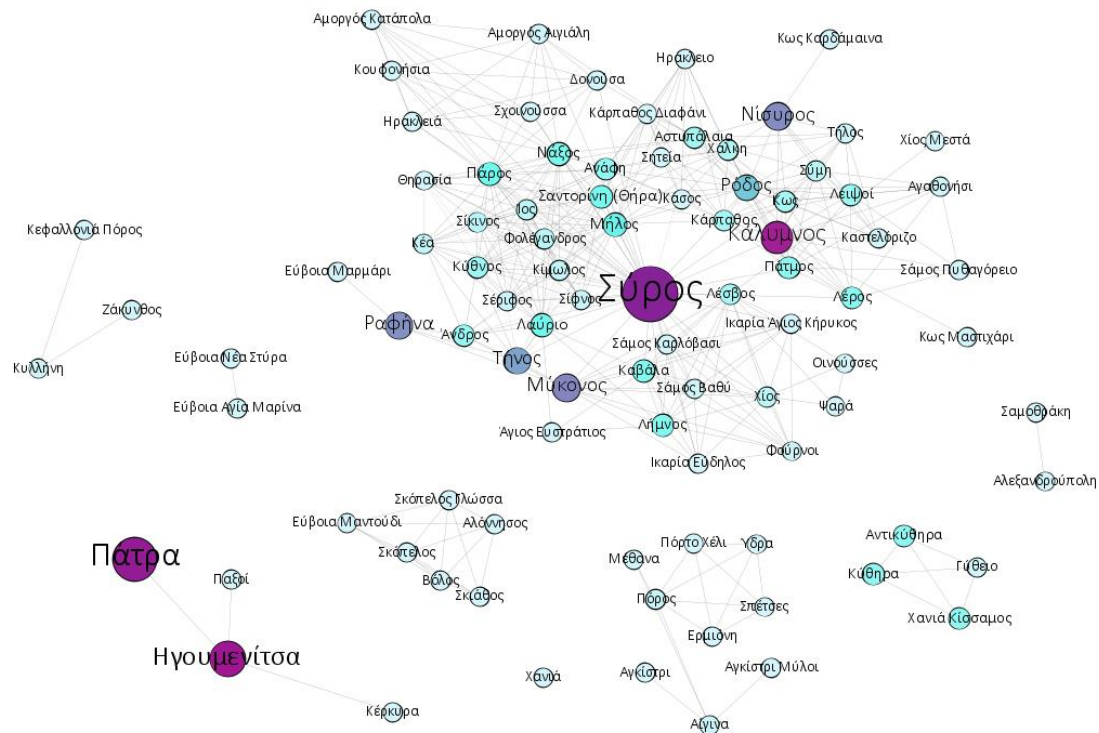
Betweenness centrality

| Λιμάνι | Betweenness centrality |
|-------------|------------------------|
| Πειραιάς | 3901 |
| Σύρος | 676 |
| Πάτρα | 456 |
| Ήγουμενίτσα | 310 |
| Κάλυμνος | 236 |
| Μύκονος | 163 |
| Νίσυρος | 158 |
| Ραφήνα | 156 |
| Τήνος | 142 |
| Ρόδος | 117 |

Πίνακας 5 Μεγαλύτερο Betweenness Centrality

Στη θεωρία των γράφων, η μετρική betweenness centrality προσδιορίζει τον αριθμό των φορών που ένας κόμβος λειτουργεί ως γέφυρα στο συντομότερο μονοπάτι (shortest path) μεταξύ δύο κόμβων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε από τον Linton Freeman ως μετρική για τον προσδιορισμό του ελέγχου ενός ανθρώπου στην επικοινωνία του με άλλους σε ένα κοινωνικό δίκτυο. Επομένως στο δίκτυο που εξετάζουμε μεγάλο betweenness centrality εμφανίζεται σε λιμάνια που αποτελούν γέφυρες για να βρεθεί κάποιος από ένα λιμάνι σε κάποιο άλλο. Όπως ήταν φυσικό ο Πειραιάς εμφανίζει το μεγαλύτερο betweenness centrality 3901, μιας και αποτελεί το μεγαλύτερο λιμάνι και βρίσκεται στο κέντρο της χώρας. Αν αφαιρέσουμε τον Πειραιά από το δίκτυο (Εικόνα 10), δημιουργούνται 4 νέα

component με τα νησιά του Αργοσαρωνικού, τα Χανιά, τη Πάτρα με την Ήγουμενίτσα και την Κέρκυρα και το Γύθειο με τα Κύθηρα, τα Αντικύθηρα και τον Κίσαμο. Η απομόνωση αυτών των ομάδων λιμανιών επιβεβαιώνει το μεγάλο betweenness centrality του Πειραιά, αφού ο μόνος τρόπος να συνδεθούν αυτά τα λιμάνια με τα υπόλοιπα 61 που ανήκουν στο giant component είναι μέσω του Πειραιά.



Εικόνα 10 Το δίκτυό μας χωρίς το λιμάνι του Πειραιά

Παρατηρούμε επίσης ότι εκτός από τα κεντρικά λιμάνια υψηλό betweenness centrality εμφανίζουν τα λιμάνια που έχουν δρομολόγια προς κάποιο λιμάνι, το οποίο δεν είναι προσιτό από κάποιο άλλο. Για παράδειγμα η Πάτρα είναι ο μοναδικός δρόμος για να πάει κάποιος στην Ηγουμενίτσα, η Ηγουμενίτσα ο μοναδικός δρόμος για να πάει κάποιος στην Κέρκυρα και τους Παξούς, η Ραφήνα ο μοναδικός θαλάσσιος δρόμος για να πάει κάποιος στο Μαρμαρί στην Εύβοια.

Closeness centrality και Harmonic centrality

| Λιμάνι | Harmonic centrality |
|------------------|---------------------|
| Πειραιάς | 0.899 |
| Σύρος | 0.738 |
| Σαντορίνη (Θήρα) | 0.623 |
| Ρόδος | 0.621 |
| Πάρος | 0.621 |
| Μήλος | 0.618 |
| Νάξος | 0.609 |
| Ανάφη | 0.604 |
| Κάλυμνος | 0.590 |
| Κάρπαθος | 0.581 |

Πίνακας 6 Harmonic Closeness centrality κόμβων του giant component

Το closeness centrality υπολογιζόμενο ως το άθροισμα του μήκους των μικρότερων διαδρομών μεταξύ του κόμβου και όλων των άλλων κόμβων στο γράφημα. Έτσι, όσο πιο κεντρικός είναι ο κόμβος, τόσο πιο κοντά είναι σε όλους τους άλλους κόμβους, και τόσο μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει στο closeness centrality. Όταν ένας γράφος δεν είναι συνδεδεμένος, όπως συμβαίνει στη δική μας περίπτωση που έχουμε 5 components, προτείνεται από τη βιβλιογραφία ως εναλλακτική η χρήση του harmonic closeness centrality.



Στον πίνακα 6 βλέπουμε την μετρική harmonic closeness centrality για το giant component. Με βάση αυτόν και το διάγραμμα στην Εικόνα 11, παρατηρούμε ότι ο Πειραιάς έχει την υψηλότερη τιμή ίση με 0,899, πολύ κοντά στο 1. Αυτό συμβαίνει διότι τα περισσότερα λιμάνια έχουν δρομολόγια από και προς τον Πειραιά μιας και αποτελεί το μεγαλύτερο λιμάνι και δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ της νησιωτικής και ηπειρωτικής Ελλάδας. Ακολουθεί η Σύρος με 0,738, καθώς η Ερμούπολη, πρωτεύουσα της Σύρου, είναι και πρωτεύουσα του Νομού Κυκλάδων και έδρα της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου. Αυτό συνεπάγεται την άμεση σύνδεση του νησιού με δρομολόγια προς όλα τα νησιά των Κυκλάδων, τα μεγαλύτερα των Δωδεκανήσων και του βορείου Αιγαίου καθώς και με το Ηράκλειο της Κρήτης. Γενικότερα παρατηρούμε ότι μεγαλύτερο harmonic closeness centrality εμφανίζουν νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων καθώς τα περισσότερα δρομολόγια με προορισμό τα δύο νησιωτικά συμπλέγματα πραγματοποιούν στάσεις σε πολλά νησιά, με αποτέλεσμα την άμεση σύνδεση των λιμανιών μεταξύ τους και την εύκολη πρόσβαση από το ένα νησί στο άλλο, εξού και το υψηλό harmonic closeness centrality.

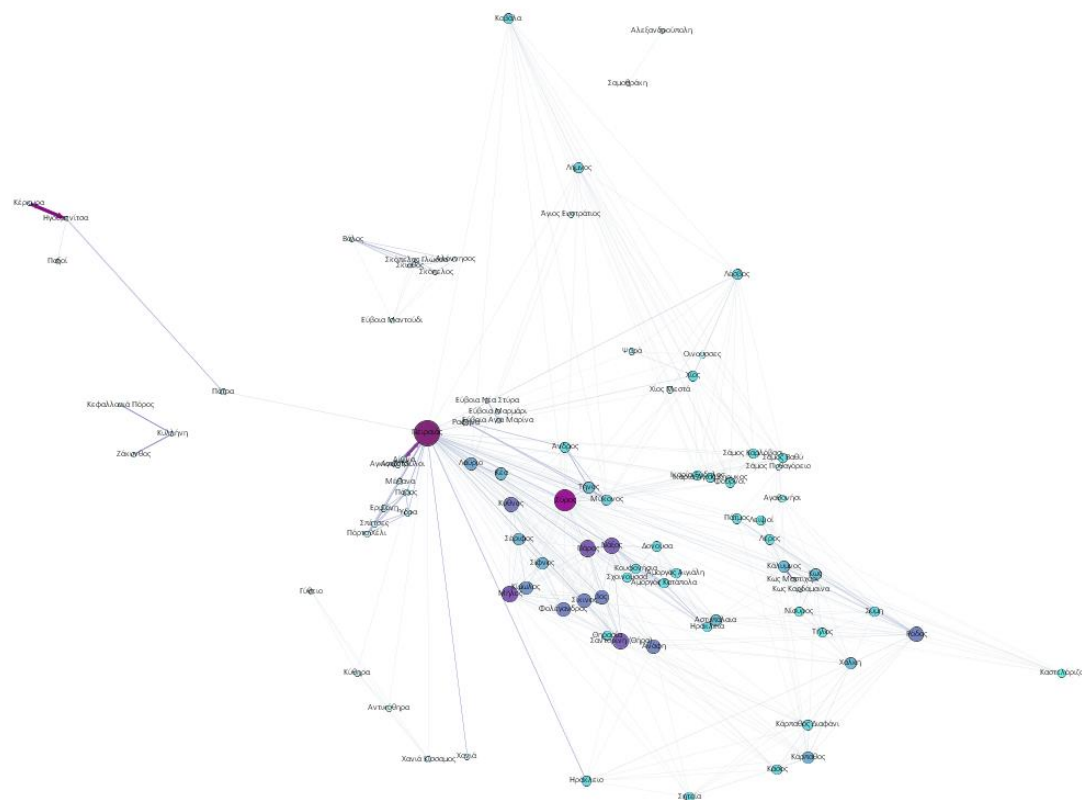
Eigenvector centrality

Στη θεωρία των γράφων, η μετρική eigenvector centrality, είναι ένα μέτρο της επιρροής ενός κόμβου στο δίκτυο. Οι σχετικές βαθμολογίες αντιστοιχίζονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου βάσει της λογικής ότι οι συνδέσεις με κόμβους υψηλής βαθμολογίας συμβάλλουν περισσότερο στην βαθμολογία του εν λόγω κόμβου από ό,τι οι συνδέσεις με τους κόμβους χαμηλής βαθμολογίας. Ένας υψηλός βαθμός eigenvector centrality σημαίνει ότι ένας κόμβος συνδέεται με πολλούς κόμβους οι οποίοι έχουν υψηλά αποτελέσματα.

| Λιμάνι | Eigenvector centrality |
|-----------|------------------------|
| Πειραιάς | 1.0 |
| Σύρος | 0.804 |
| Μήλος | 0.563 |
| Πάρος | 0.554 |
| Σαντορίνη | 0.537 |
| Νάξος | 0.536 |
| Κύθνος | 0.485 |
| Ρόδος | 0.463 |
| Ίος | 0.454 |
| Σίκινος | 0.454 |

Πίνακας 7 Λιμάνια με το μεγαλύτερο Eigenvector Centrality

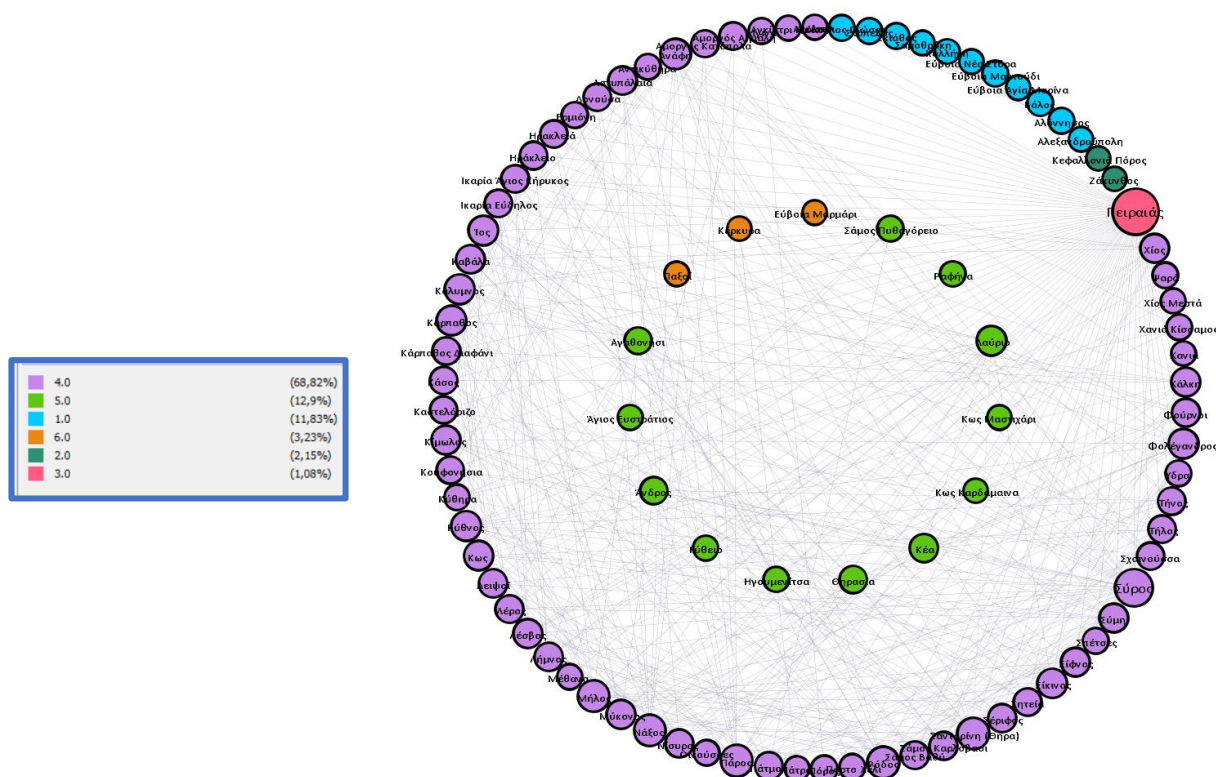
Όπως φαίνεται από την Εικόνα 12 και τον Πίνακα 7, ο Πειραιάς συγκεντρώνει την υψηλότερη βαθμολογία και σε αυτή τη μετρική, αποτελώντας το λιμάνι με τη μεγαλύτερη επιρροή στο δίκτυό μας. Ακολουθεί η Σύρος, άλλα νησιά των Κυκλάδων και η Ρόδος, μιας και αυτά τα λιμάνια εκτός από το ότι συνδέονται μεταξύ τους αυξάνοντας το eigenvector centrality εμφανίζουν και μεγάλο degree, δηλαδή συνδέονται με αρκετά λιμάνια. Η Ίος και η Σίκινος παρά το γεγονός ότι δεν είναι στα λιμάνια που εμφανίζουν ούτε ιδιαίτερα υψηλές τιμές σε καμία από της μετρικές που αναλύσαμε προηγουμένως, έχουν ιδιαίτερα υψηλό eigenvector centrality. Υποθέτουμε ότι αυτό συμβαίνει λόγω του ότι ανήκουν στο ίδιο δρομολόγιο ή /και πραγματοποιούν αρκετά δρομολόγια στους κόμβους με την υψηλότερη βαθμολογία όπως στον Πειραιά, στη Σύρο, στην Πάρο, στη Νάξο και στη Σαντορίνη. Χαμηλότερες τιμές εμφανίζουν τα λιμάνια που δεν ανήκουν στο giant component, καθώς και αυτά που συνδέονται μόνο με ένα λιμάνι.



Εικόνα 12 Απεικόνιση με βάση το eigenvector centrality

Eccentricity

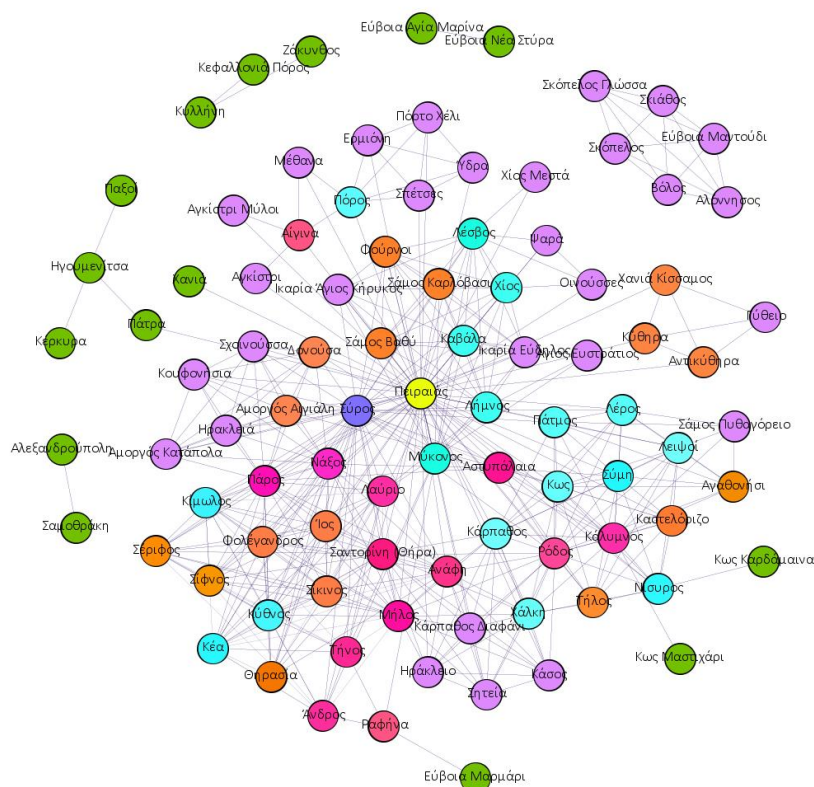
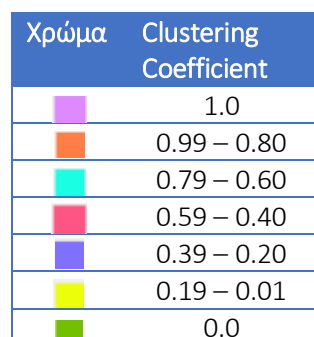
Ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση μιας κορυφής από άλλη κορυφή. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ μιας κορυφής και όλων των άλλων κορυφών θεωρείται ως η εκκεντρότητα (eccentricity) της κορυφής.



Εικόνα 13 Απεικόνιση με βάση τη μετρική eccentricity

Στο διάγραμμα της Εικόνας 13 βλέπουμε την μέγιστη απόσταση που έχει ένα λιμάνι με τα υπόλοιπα λιμάνια του ίδιου component, με μεγαλύτερη δυνατή απόσταση ίση με τη διάμετρο, δηλαδή 6. Απόσταση ίση με 1 εμφανίζουν τα λιμάνια που ανήκουν σε component όπου συνδέονται όλα τα λιμάνια μεταξύ τους, όπως στις Σποράδες και στο component με την Αλεξανδρούπολη και τη Σαμοθράκη. Απόσταση ίση με 2 εμφανίζουν τα λιμάνια της Ζακύνθου και της Κεφαλλονιάς, αφού για να πάει κάποιος από την Κεφαλλονιά στην Ζάκυνθο πρέπει να κάνει δύο δρομολόγια, Κεφαλλονιά-Κυλλήνη και Κυλλήνη-Ζάκυνθο. Απόσταση ίση με 3, την μικρότερη στο giant component, εμφανίζει το λιμάνι του Πειραιά, αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη απόσταση για να φτάσει κάποιος στο λιμάνι του Πειραιά είναι τρία δρομολόγια. Αυτή η απόσταση αφορά τη μεταφορά κάποιου από την Κέρκυρα, τους Παξούς ή το Μαρμάρι στον Πειραιά και το αντίστροφο. Απόσταση ίση με 4 έχουν όλα τα λιμάνια του giant component που έχουν απευθείας σύνδεση με τον Πειραιά. Απόσταση ίση με 5 έχουν τα λιμάνια που ανήκουν στο giant component αλλά δεν έχουν απευθείας σύνδεση με τον Πειραιά. Τέλος την μέγιστη απόσταση, ίση με 6, έχουν τα λιμάνια τα οποία η μόνη σύνδεση που έχουν με το giant component είναι ένα λιμάνι με μέγιστη απόσταση 5. Συγκεκριμένα η μέγιστη απόσταση αφορά την μεταφορά κάποιου από την Κέρκυρα ή τους Παξούς προς το Μαρμάρι στην Εύβοια και το αντίστροφο.

Clustering coefficient



Εικόνα 14 Απεικόνιση με βάση το Clustering Coefficient

Στη θεωρεία των γράφων, clustering coefficient είναι μία μετρική που δείχνει το βαθμό στον οποίο κάποιοι κόμβοι τείνουν να ομαδοποιηθούν μαζί. Συγκεκριμένα clustering coefficient ενός κόμβου A ορίζεται η πιθανότητα δύο τυχαία επιλεγμένοι «φίλοι» του A να είναι φίλοι μεταξύ τους, δηλαδή στην περίπτωση που μελετάμε είναι η πιθανότητα δύο λιμάνια με τα οποία συνδέεται ένα λιμάνι να συνδέονται και μεταξύ τους. Αν κάθε λιμάνι με το οποίο συνδέεται ένα λιμάνι A συνδέεται με όλα τα λιμάνια που συνδέεται και το A τότε το clustering coefficient του λιμανιού A είναι ίσο με 1. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα στην Εικόνα 13, το οποίο δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τη λειτουργία partition με βάση το διάστημα που βρίσκεται το clustering coefficient για κάθε κόμβο, οι κόμβοι που εμφανίζονται να έχουν clustering coefficient ίσο με 1 είναι λιμάνια που θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι ανήκουν στο ίδιο δρομολόγιο με τους γείτονες τους με αποτέλεσμα να συνδέονται όλοι μεταξύ τους. Για παράδειγμα λιμάνια που αυτή η μετρική είναι ίση με ένα είναι τα νησιά του Αργοσαρωνικού και οι Σποράδες. Εάν κανένας κόμβος στη γειτονιά ενός λιμανιού δεν συνδέεται με κανέναν άλλον, τότε το clustering coefficient του λιμανιού είναι ίσο με 0. Στο δίκτυό μας αυτό συμβαίνει σε λιμάνια που συνδέονται μόνο με ένα λιμάνι, όπως αυτό των Χανίων που συνδέεται μόνο με τον Πειραιά καθώς και σε λιμάνια που κανένα από τα λιμάνια που πραγματοποιούν δρομολόγια δεν συνδέεται με τα άλλα, όπως συμβαίνει με την Κυλλήνη, τη Ζάκυνθο και την Κεφαλλονιά. Το Average Clustering Coefficient του δικτύου μας είναι ίσο με 0,686.

Number of triangles

Σύμφωνα με τη θεωρία, εάν οι κόμβοι B και Γ έχουν έναν κοινό φίλο A, τότε ο σχηματισμός μιας ακμής μεταξύ B και Γ δημιουργεί μια κατάσταση στην οποία και οι τρεις κόμβοι A, B και Γ έχουν ακμές που συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα τρίγωνο. Ο αριθμός των τριγώνων στο δίκτυο είναι 1377, για να βρω τον αριθμό των τριγώνων που υπάρχουν στο δίκτυο εγκατέστησα το plugin clustering coefficient. Ένα παράδειγμα τριγώνου στο δίκτυο σχηματίζεται μεταξύ της Σκιάθου, της Σκόπελου και του Βόλου.

Triadic closure phenomenon

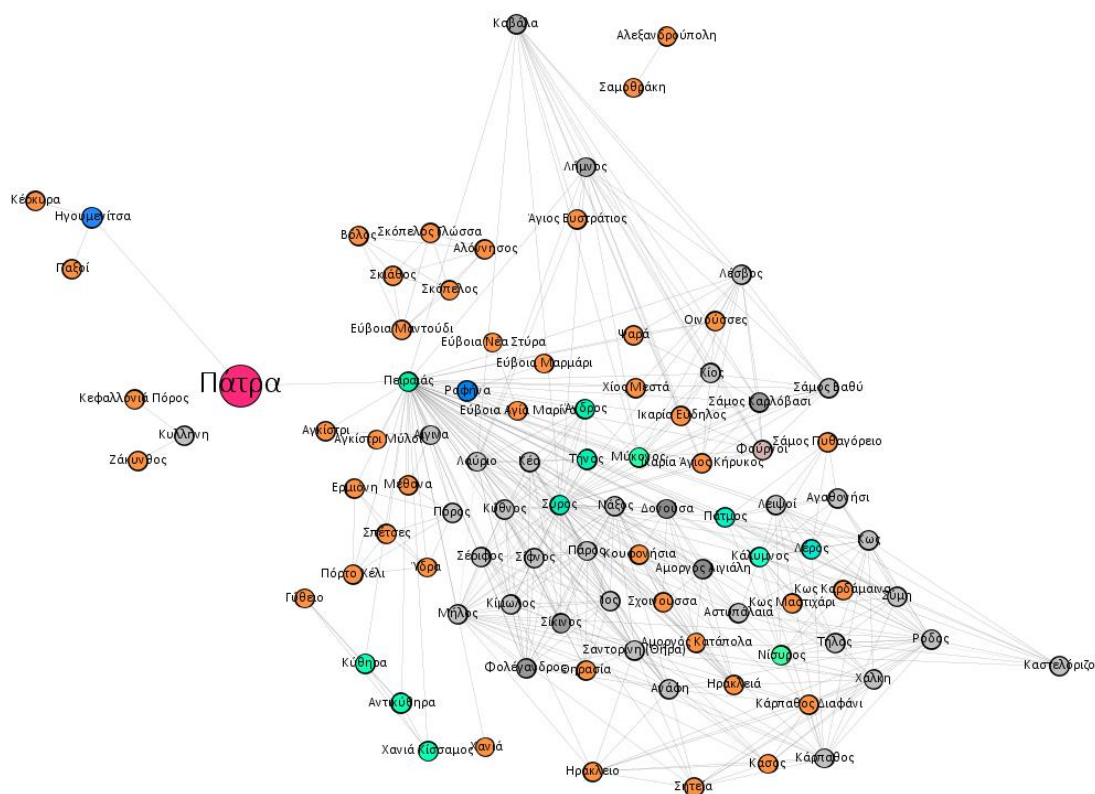


Σύμφωνα με το φαινόμενο του triadic closure όταν δύο λιμάνια στο δίκτυό μας έχουν ένα δρομολόγιο προς κάποιο κοινό λιμάνι, τότε αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα να δημιουργηθεί στο μέλλον και ένα δρομολόγιο μεταξύ των δύο αυτών λιμανιών. Για παράδειγμα, σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, η Κεφαλλονιά είναι πολύ πιθανό να συνδεθεί απευθείας με τη Ζάκυνθο στο μέλλον κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου.

Bridges

Μια γέφυρα ενώνει μια ομάδα με μια άλλη μέσω μια ακμής δύο κόμβων. Συγκεκριμένα όταν μια ομάδα κόμβων συνδέονται στενά μεταξύ τους κι ένας κόμβος α συνδέεται με έναν κόμβο β ο οποίος συνδέεται στενά με άλλους κόμβους, τότε η ακμή που συνδέει τα α και β αποτελεί γέφυρα μεταξύ των δύο ομάδων. Δύο ομάδες μπορεί να συνδέονται κι από έναν κόμβο που να αποτελεί αυτός την γέφυρα μεταξύ τους.

Για να βρούμε τις γέφυρες στο δίκτυο μας, εγκαταστήσαμε το plugin bridging centrality. Σύμφωνα με τη θεωρία των γράφων ένας κόμβος αποτελεί γέφυρα, δηλαδή έχει υψηλό bridging centrality όταν συνδέει στενά συνδεδεμένα components. Το bridges centrality αποτελεί συνάρτηση του betweenness centrality, στο οποίο έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, και του bridging coefficient, τα οποία μετρούν τα καθολικά και τοπικά χαρακτηριστικά ενός κόμβου αντίστοιχα.



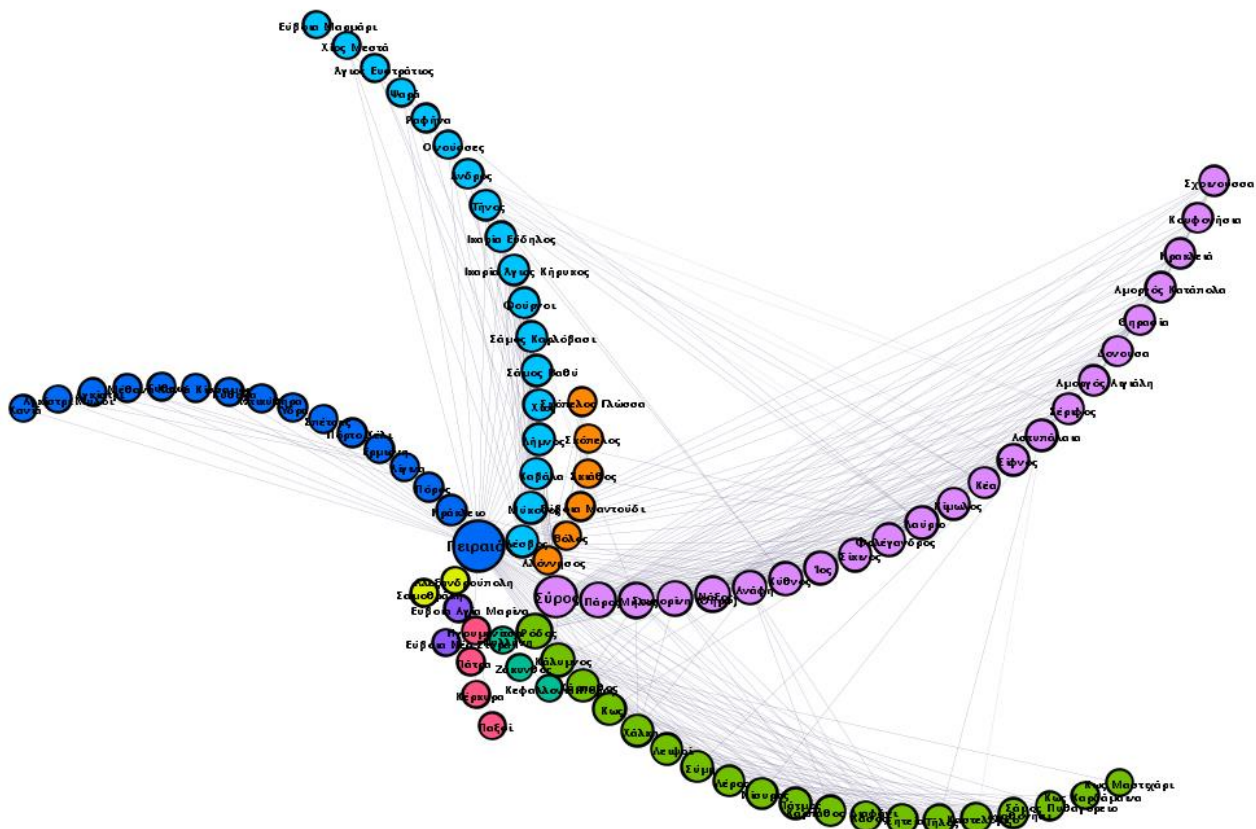
Εικόνα 15 Απεικόνιση με βάση το bridging centrality

Όπως φαίνεται από την απεικόνιση του δικτύου μας στην εικόνα 14, η Πάτρα εμφανίζεται να έχει το μεγαλύτερο bridging centrality, αποτελώντας γέφυρα μεταξύ της ομάδας των δρομολογίων που πραγματοποιούνται από την Ηγουμενίτσα και των δρομολογίων που πραγματοποιούνται από τον Πειραιά. Αν δεν υπήρχε δρομολόγιο μεταξύ Ηγουμενίτσας και Πάτρας ή μεταξύ Πάτρας και Πειραιά θα δημιουργούνταν ένα νέο component. Άλλα λιμάνια που αποτελούν γέφυρες στο δίκτυο μας είναι αυτά της Ηγουμενίτσας, επειδή συνδέει την Κέρκυρα και τους Παξούς με το giant component, καθώς και της Ραφήνας, της Νισύρου και της Καλύμνου αφού μέσω αυτών των λιμανιών συνδέονται άλλα λιμάνια στο component. Με πορτοκαλί εμφανίζονται τα λιμάνια που έχουν bridging centrality ίσο με το 0, δηλαδή η αφαίρεσή τους από το δίκτυο δεν θα επηρέαζε τα υπόλοιπα.

Η πιθανότητα ύπαρξης local bridges στο δίκτυο μας είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι ένα πλοίο σε ένα δρομολόγιο περνάει συνήθως από πολλά λιμάνια δημιουργώντας συνδέσεις σε ένα λιμάνι όχι μόνο με το προηγούμενο και το επόμενο λιμάνι αλλά με όλα τα λιμάνια που θα περάσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αν αφαιρέσουμε το δρομολόγιο μεταξύ ενός λιμανιού Α με ένα λιμάνι Β, η απόσταση μεταξύ των δύο θα αυξηθεί μόνο κατά μία μονάδα. Για να θεωρηθεί ο σύνδεσμος τοπική γέφυρα θα πρέπει να αυξηθεί τουλάχιστον κατά δύο η απόσταση μεταξύ δύο λιμανιών, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με καμία σύνδεση στο δίκτυό μας.

Homophily και Modularity

Ομοφυλία είναι η αρχή με βάση την οποία τείνουμε να μοιάζουμε με τους φίλους μας. Σύμφωνα με τη επιστήμη των δικτύων η ομοφυλία αναφέρεται στη θεωρία που υποστηρίζει ότι με βάση τα χαρακτηριστικά κόμβων, παρόμοιοι κόμβοι μπορεί να είναι πιο πιθανό να συνδέονται μεταξύ τους από τους ανόμοιους.



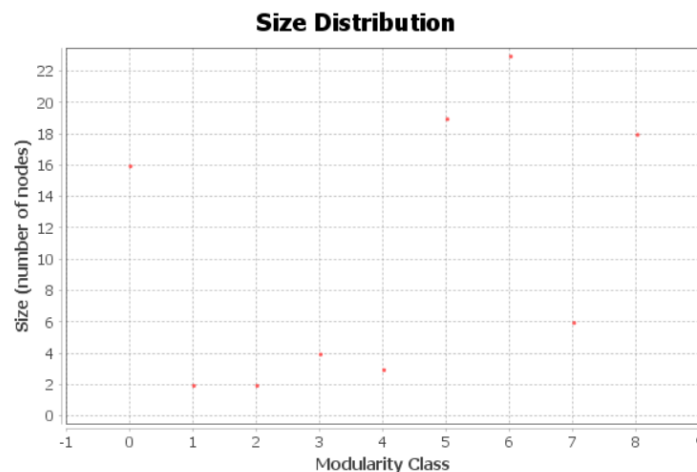
Εικόνα 16 Απεικόνιση με σκοπό την ανάλυση ομοφυλίας στο δίκτυο

Η ύπαρξη ομοφυλίας στο δίκτυο, μπορεί να απαιτήσει μια πιο προσεκτική εξέταση των χαρακτηριστικών των κόμβων σε αντίθεση με άλλες θεωρίες για την εξέλιξη του δικτύου οι οποίες επικεντρώνονται στις ιδιότητες του δικτύου. Συχνά υποτίθεται ότι οι κόμβοι είναι πανομοιότυποι και η εξέλιξη των δικτύων καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του ευρύτερου δικτύου όπως το degree. Προκειμένου να αναλύσουμε την ύπαρξη ομοφυλίας στο δίκτυό μας, χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα radial axis layout, ομαδοποιώντας τους κόμβους με βάση το modularity και ταξινομώντας τους με βάση το degree.

Προτού αναλύσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης, θα εξηγήσουμε την έννοια του modularity στο δίκτυό μας. Modularity είναι μία μετρική της δομής των δικτύων ή των γραφημάτων. Σχεδιάστηκε για να μετρήσει τη δύναμη της διαίρεσης ενός δικτύου σε ομάδες. Τα δίκτυα με υψηλές τιμές στο modularity έχουν πυκνές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων εντός των ενοτήτων, αλλά αραιές συνδέσεις μεταξύ κόμβων σε διαφορετικές ενότητες. Στο δίκτυό μας η τιμή του είναι 0,645 και δημιουργούνται 9 ομάδες λιμανιών.

Results:

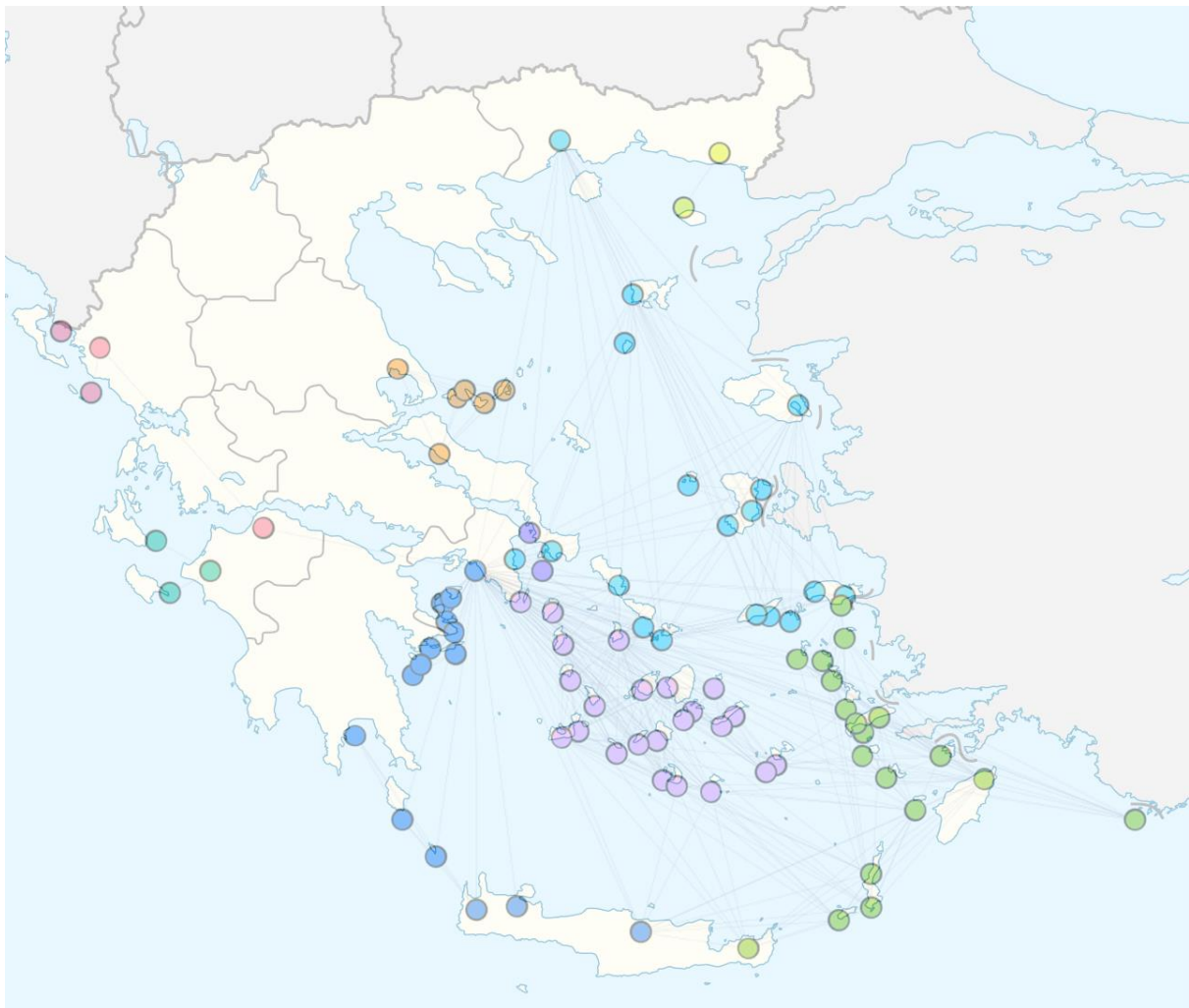
Modularity: 0,645
Modularity with resolution: 0,645
Number of Communities: 9



Οι ομάδες που προέκυψαν με βάση την ύπαρξη κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ τους, φαίνεται ότι ομαδοποιήθηκαν με βάση τα λιμάνια που ανήκουν σε συγκεκριμένα δρομολόγια πλοίων και κατά συνέπεια με βάση τη γεωγραφική τους θέση. Κάθε component, όπως ήταν λογικό αποτελεί ξεχωριστή ομάδα, εκτός από το giant component, το οποίο έχει χωριστεί σε 5 ομάδες. Θα αναλύσουμε τις ομάδες ξεκινώντας από την γαλάζια και θα συνεχίσουμε με τη φορά του ρολογιού. Η πρώτη ομάδα, που είναι χρωματισμένη με γαλάζιο περιλαμβάνει κυρίως τα δρομολόγια μεταξύ των λιμανιών του Βορείου Αιγαίου τα οποία πραγματοποιούν δρομολόγια από και προς την Καβάλα, καθώς και τα λιμάνια που συνδέονται στενά με το λιμάνι της Ραφήνας, όπως η Άνδρος, η Τήνος, η Μύκονος και το Μαρμάρι στην Εύβοια. Η δεύτερη ομάδα, που είναι χρωματισμένη με πορτοκαλί, περιλαμβάνει λιμάνια που ανήκουν στο component και περιλαμβάνουν δρομολόγια με τα νησιά των Σποράδων, το Βόλο και ένα λιμάνι της Εύβοιας. Η Τρίτη ομάδα, η οποία είναι χρωματισμένη με ροζ, περιλαμβάνει τα νησιά των Κυκλάδων με επίκεντρο τη Σύρο. Η τέταρτη ομάδα, που είναι χρωματισμένη με λαχανί, περιλαμβάνει τα λιμάνια που ανήκουν στα νησιά των Δωδεκανήσων καθώς και το λιμάνι της Σητείας, καθώς μέσω αυτού πραγματοποιούνται κυρίως δρομολόγια από και προς τα Δωδεκάνησα. Η πέμπτη ομάδα, που είναι χρωματισμένη με σκούρο πράσινο, περιλαμβάνει τα δρομολόγια που ανήκουν στο component με τα δρομολόγια που πραγματοποιούνται από την Κυλλήνη με προορισμούς τη Ζάκυνθο και την Κεφαλλονιά. Η έκτη ομάδα, η οποία είναι χρωματισμένη με κόκκινο, περιλαμβάνει τα δρομολόγια μεταξύ του λιμανιού της Πάτρας με της Ηγουμενίτσας και της

Ηγουμένισσας με την Κέρκυρα και τους Παξούς. Η έβδομη ομάδα, η οποία είναι χρωματισμένη με μωβ, περιλαμβάνει τα λιμάνια της Εύβοιας, Αγία Μαρίνα και Νέα Στύρα, τα οποία πραγματοποιούν μόνο δρομολόγια μεταξύ τους. Η όγδοη ομάδα, η οποία είναι χρωματισμένη με κίτρινο, περιλαμβάνει το δρομολόγιο Αλεξανδρούπολη – Σαμοθράκη. Τέλος η ένατη ομάδα περιλαμβάνει λιμάνια που έχουν πολύ στενή σχέση με τον Πειραιά, δηλαδή πραγματοποιούν τα περισσότερα και συχνότερα δρομολόγια από και προς αυτό το λιμάνι, όπως το Ηράκλειο, τα Χανιά τα Κύθηρα και τα νησιά του Αργοσαρωνικού.

Παρακάτω παρουσιάζεται η απεικόνιση των ομάδων που προέκυψαν στον χάρτη της Ελλάδος. Όπως διακρίνουμε η ομάδες έχουν σαφή γεωγραφικό προσδιορισμό, ο οποίος προκύπτει από το γεγονός ότι όπως είναι φυσικό τα περισσότερα δρομολόγια πραγματοποιούνται με λιμάνια τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο.



Εικόνα 17 Γεωγραφική απεικόνιση ομοφυλίας στο δίκτυο

PageRank algorithm

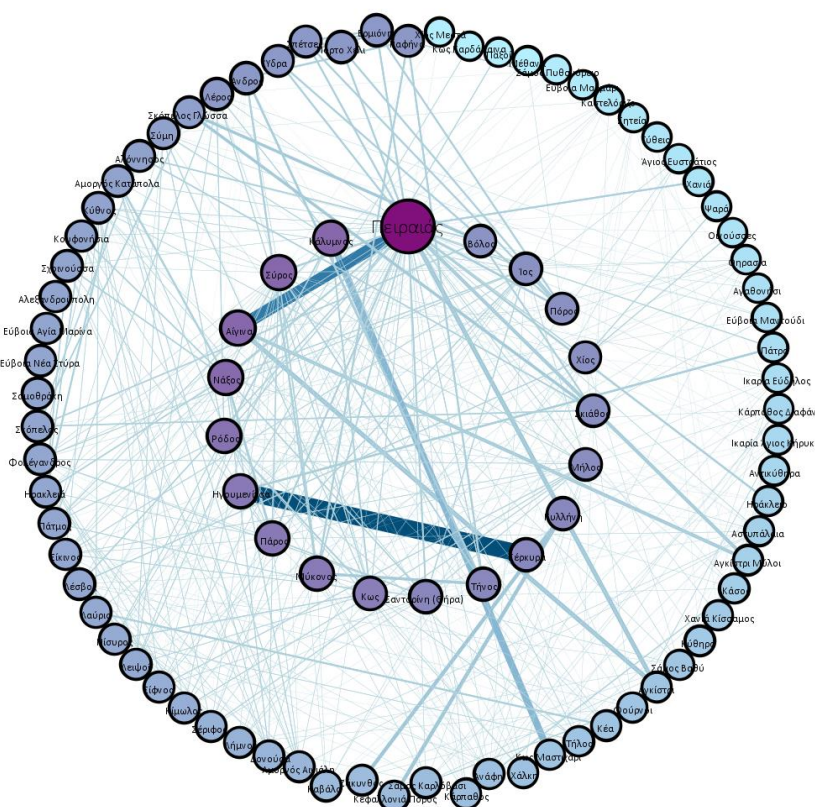
PageRank είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από την Google για την ταξινόμηση ιστότοπων στα αποτελέσματα των μηχανών αναζήτησης. Λειτουργεί με τον υπολογισμό του αριθμού και του βάρους των συνδέσεων σε έναν κόμβο για να καθορίσει μια εκτίμηση για το πόσο σημαντικός είναι. Η υποκείμενη υπόθεση είναι ότι οι πιο σημαντικοί κόμβοι ενδέχεται να λαμβάνουν περισσότερες συνδέσεις, δηλαδή να έχουν μεγαλύτερο in-degree ή/και weighted in-degree, από άλλους κόμβους.

| Λιμάνι | Page Rank |
|----------|-----------|
| Πειραιάς | 0.087 |
| Κάλυμνος | 0.024 |
| Αίγινα | 0.024 |
| Σύρος | 0.024 |
| Νάξος | 0.023 |

Πίνακας 8 Λιμάνια με μεγαλύτερο Page Rank

| Λιμάνι | Page Rank |
|------------------|-----------|
| Χίος Μεστά | 0.0020 |
| Κως Καρδάμaina | 0.0024 |
| Παξοί | 0.0024 |
| Μέθανα | 0.0025 |
| Σάμος Πυθαγόρειο | 0.0028 |

Πίνακας 9 Λιμάνια με μικρότερο Page Rank



Εικόνα 18 Απεικόνιση με βάση το Page Rank

Ο Πειραιάς λαμβάνει και σε αυτή την μετρική τη μεγαλύτερη τιμή. Αποτελώντας κεντρικό και το μεγαλύτερο λιμάνι της Ελλάδος, προς το οποίο πραγματοποιούνται καθημερινά πολλές δεκάδες δρομολόγια. Υψηλή βαθμολογία εμφανίζουν λιμάνια τα οποία έχουν είτε υψηλό in-degree, δηλαδή πραγματοποιούνται δρομολόγια προς αυτά από πολλά λιμάνια, όπως συμβαίνει με τη Σύρο, τη Νάξο και τη Ρόδο, είτε υψηλό weighted in-degree, δηλαδή πραγματοποιούνται πολύ συχνά δρομολόγια προς αυτά τα λιμάνια, όπως συμβαίνει με την Αίγινα, την Ηγουμενίτσα και την Κέρκυρα. Παρατηρούμε ότι τα λιμάνια που εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές στο page rank, είναι λιμάνια στα οποία πάνε δρομολόγια από μόνο ένα λιμάνι και όχι τόσο συχνά μέσα στην εβδομάδα.

Συμπεράσματα

Έχοντας πραγματοποιήσει αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις για την ανάλυση και την οπτικοποίηση του δικτύου μας μπορούμε να βγάλουμε αρκετά συμπεράσματα για τα δρομολόγια των πλοίων στην Ελλάδα. Καταρχήν η σημασία του λιμανιού του Πειραιά είναι καθοριστική, καθώς αποτελεί γέφυρα μεταξύ πολλών προορισμών και η απουσία του από το δίκτυο θα απομόνωνε αρκετά λιμάνια. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και το λιμάνι της Σύρου, το οποίο συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό δρομολογίων προς τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, όπως επίσης και της Πάτρας που επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ Πειραιά και Ηγουμενίτσας. Επιπλέον παρατηρούμε ότι τα συχνότερα δρομολόγια πραγματοποιούνται μεταξύ πολυπληθών προορισμών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και δεν υπάρχει άλλος τρόπος μεταφοράς, όπως μεταξύ Κέρκυρας και Ηγουμενίτσας ή Πειραιά και Αίγινας. Αυτό συμβαίνει ίσως και λόγω του ότι η μικρή απόσταση δεν μπορεί να υποστηρίξει μεγάλα πλοία και άρα η συχνή μεταφορά είναι απαραίτητη για την κάλυψη της ζήτησης. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τα δρομολόγια που αναλύσαμε αφορούν όλα τη χειμερινή περίοδο. Αν η ανάλυση πραγματοποιούνταν ξανά κατά τους θερινούς μήνες τα αποτελέσματα θα ήταν διαφορετικά, καθώς τότε τα δρομολόγια των πλοίων αυξάνονται και πολλαπλασιάζονται, με το πιο πιθανό σενάριο είναι να είχαμε μόνο ένα component.