



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

# Ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης με χρήση τεχνολογιών Γράφων Γνώσης

*Μελέτη και υλοποίηση*

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΡΑΦΤΗ**

**Επιβλέπων:** Συμεών Παπαβασιλείου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2025

---





# Ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης με χρήση τεχνολογιών Γράφων Γνώσης

*Μελέτη και υλοποίηση*

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΡΑΦΤΗ**

**Επιβλέπων:** Συμεών Παπαβασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 4 Μαρτίου 2025.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Συμεών Παπαβασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννα Ρουσάκη  
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....  
Γεώργιος Ματσόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2025



Copyright © – All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Κωνσταντίνος Ράφτης, 2025.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνος Ράφτης,

Διπλωματούχος

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

και Μηχανικός

Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

4 Μαρτίου 2025

*στους γονείς μου*



## Περίληψη

---

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) είναι 17 παγκόσμιοι Στόχοι που έχουν καθοριστεί από τα Ηνωμένα Έθνη για την επίτευξη ενός βιωσιμότερου μέλλοντος μέσω της αντιμετώπισης κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η ανάλυση των αλληλεξαρτήσεων των δεδομένων των ΣΒΑ διευκολύνεται σημαντικά από την αναπαράστασή τους σε μορφή γράφου.

Το SustainGraph είναι ένας γράφος γνώσης βασισμένος στο μοντέλο Labeled Property Graph (LPG) που αναπτύχθηκε με σκοπό τη διενέργεια αναλύσεων γύρω από τους ΣΒΑ. Στο SustainGraph αναπαριστώνται οι Δείκτες μαζί με χρονοσειρές δεδομένων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Στην παρούσα εργασία, ο ιεραρχικός συντελεστής συσχέτισης Spearman αποτελεί το κριτήριο της αλληλεξάρτησης τόσο μεταξύ των Δεικτών ενός Στόχου όσο και μεταξύ Δεικτών διαφορετικών Στόχων, με σκοπό τον εντοπισμό Συνεργειών και Αντισταθμίσεων. Η δομή του γράφου επιτρέπει τη διενέργεια της ανάλυσης συσχετίσεων σε διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες καθώς και την ομαδοποίηση των γεωπεριοχών. Επιπλέον, εφαρμόζεται το αυτοπαλινδρομικό μοντέλο ARIMA για την πρόβλεψη της πορείας των Δεικτών έως το 2030.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχετίσεων ενισχύουν την πεποίθηση ότι οι ΣΒΑ αποτελούν αλληλεξαρτώμενους στόχους, με ορισμένα ζεύγη στόχων να είναι ισχυρότερα συσχετισμένα από άλλα. Οι ΣΒΑ 8, 9, 10 και 16 εμφανίζονται συσχετισμένοι με σημαντικό αριθμό στόχων σε σχέση με άλλους ενώ συνολικά ανιχνεύονται 94 Συνέργειες σε αντίθεση με 16 Αντισταθμίσεις μεταξύ Δεικτών. Η ανάλυση ανά ομάδες χωρών με βάση το κατά κεφαλήν ΑΕΠ κατέδειξε ότι ο βαθμός της αλληλεξάρτησης των ΣΒΑ επηρεάζεται από τα οικονομικά δεδομένα των περιοχών που εξετάζονται. Οι προβλέψεις για τους Στόχους πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης επίσης έδειξαν ότι ορισμένες χώρες της Ευρώπης είναι πιθανότερο να πετύχουν τους καθορισμένους στόχους σε σχέση με άλλες ενώ οι στόχοι που αφορούν την ενέργεια και την κατανάλωση είναι λιγότερο επιτεύξιμοι συνολικά.

## Λέξεις Κλειδιά

Γράφοι Γνώσης, Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης, SustainGraph, Συνέργειες, Αντισταθμίσεις, Neo4j, Διασυνδέσεις ΣΒΑ, Ανάλυση κοινωνικών δικτύων, ARIMA



## Abstract

---

The Sustainable Development Goals (SDGs) are 17 global objectives set by the United Nations to foster a more sustainable future by addressing key social, economic, and environmental challenges. Representing SDG data in a graph structure significantly enhances the ability to analyze their complex interlinkages.

The SustainGraph is a knowledge graph based on the Labeled Property Graph (LPG) model, developed to facilitate SDG-related analysis. It includes indicators and time-series data linked to specific geographic areas. In this study, the Spearman correlation coefficient is employed to evaluate the interlinkages both among indicators within a single SDG and between indicators of different SDGs, in order to identify synergies and trade-offs. The structure of the SustainGraph allows for analysis at various geographic scales as well as grouping geographical areas together. Additionally, the ARIMA model is used to forecast the progression of indicators up to 2030.

The results confirm the highly interconnected nature of the SDGs, with some goal pairs showing stronger correlations than others. Goals 8, 9, 10, and 16 are particularly interlinked with multiple other goals. Overall, 94 synergies and 16 trade-offs were identified between indicators. Correlation analysis focusing on different country groups based on their GDP per capita demonstrated that SDG interlinkages are influenced by regional economic conditions. Forecasts for the European Union's policy targets also indicate that some European countries are more likely to meet their targets than others. However, goals related to energy and consumption appear to be the most challenging to achieve overall.

## Keywords

Knowledge Graphs, Sustainable Development Goals (SDGs), SustainGraph, Synergies, Trade-offs, Neo4j, SDG Interlinkages, Social Network Analysis, ARIMA



## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα αρχικά να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Συμεών Παπαβασιλείου για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την ευκαιρία που μου έδωσε να την εκπονήσω στο Εργαστήριο Διαχείρισης και Βέλτιστου Σχεδιασμού Δικτύων (NETMODE). Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρα Αναστάσιο Ζαφειρόπουλο καθώς και τις Ιωάννα Μανδηλαρά, Χριστίνα-Μαρία Ανδρωνά και Ελένη Φωτοπούλου για την καθοδήγησή τους και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε κατά την υλοποίηση. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την αδερφή μου και τους φίλους μου για την ψυχική και ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν καθώς και την ψυχοθεραπεύτρια μου, Αναστασία, που με βοήθησε σε δύσκολες στιγμές.

Αθήνα, Μάρτιος 2025

*Κωνσταντίνος Ράφτης*



# Περιεχόμενα

---

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Περίληψη</b>                                                                 | <b>7</b>  |
| <b>Abstract</b>                                                                 | <b>9</b>  |
| <b>Ευχαριστίες</b>                                                              | <b>11</b> |
| <b>1 Εισαγωγή</b>                                                               | <b>21</b> |
| 1.1 Δομή της Εργασίας . . . . .                                                 | 22        |
| <b>I Θεωρητικό Μέρος</b>                                                        | <b>23</b> |
| <b>2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση</b>                                               | <b>25</b> |
| 2.1 Αναπαράσταση Δεδομένων σε Γράφους Γνώσης . . . . .                          | 25        |
| 2.1.1 Το μοντέλο RDF . . . . .                                                  | 26        |
| 2.1.2 Οι Labeled Property Graphs . . . . .                                      | 26        |
| 2.1.3 Neo4j . . . . .                                                           | 27        |
| 2.1.4 Από τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων στις βάσεις δεδομένων γράφων . . . . . | 28        |
| 2.2 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs) . . . . .                                  | 28        |
| 2.2.1 Υφιστάμενες μελέτες των διασυνδέσεων μεταξύ ΣΒΑ . . . . .                 | 30        |
| <b>3 SustainGraph</b>                                                           | <b>33</b> |
| 3.1 Εισαγωγή στο SustainGraph . . . . .                                         | 33        |
| 3.2 Περιγραφή της δομής του SustainGraph . . . . .                              | 35        |
| 3.2.1 Αναπαράσταση Χρονοσειρών . . . . .                                        | 35        |
| 3.2.2 Αναπαράσταση Γεωχωρικών Δεδομένων . . . . .                               | 36        |
| 3.2.3 Αναπαράσταση Πολιτικών σχετικών με την κλιματική αλλαγή . . . . .         | 37        |
| <b>II Πρακτικό Μέρος</b>                                                        | <b>41</b> |
| <b>4 Μηχανισμοί Ανάλυσης Δεδομένων</b>                                          | <b>43</b> |
| 4.1 Μηχανισμοί Ελέγχου Ποιότητας των Δεδομένων . . . . .                        | 43        |
| 4.1.1 Εξαγωγή και Ομαδοποίηση . . . . .                                         | 43        |
| 4.1.2 Επιλογή και Έλεγχος Πληρότητας . . . . .                                  | 44        |
| 4.2 Μηχανισμοί Συμπλήρωσης Ελλιπών Τιμών . . . . .                              | 49        |
| 4.3 Ανάλυση Συσχετίσεων . . . . .                                               | 49        |
| 4.3.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Συσχετίσεων . . . . .                               | 49        |

|            |                                                    |           |
|------------|----------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2      | Συσχετίσεις ανάμεσα σε Δείκτες ίδιων ΣΒΑ . . . . . | 50        |
| 4.3.3      | Συσχετίσεις Δεικτών ανάμεσα σε ΣΒΑ . . . . .       | 55        |
| 4.3.4      | Διαγράμματα Διασποράς . . . . .                    | 61        |
| 4.4        | Ανάλυση Συσχετίσεων ανά ομάδες Χωρών . . . . .     | 62        |
| 4.5        | Εντοπισμός Συνεργειών και Αντισταθμίσεων . . . . . | 66        |
| 4.6        | Μηχανισμοί Πρόβλεψης Τιμών . . . . .               | 67        |
| <b>III</b> | <b>Επίλογος</b>                                    | <b>75</b> |
| <b>5</b>   | <b>Επίλογος</b>                                    | <b>77</b> |
| 5.1        | Συμπεράσματα . . . . .                             | 77        |
| 5.2        | Μελλοντικές Επεκτάσεις . . . . .                   | 78        |
| <b>6</b>   | <b>Παράρτημα</b>                                   | <b>81</b> |
|            | <b>Βιβλιογραφία</b>                                | <b>91</b> |

## Κατάλογος Σχημάτων

---

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Απλό παράδειγμα γράφου γνώσης, πηγή: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_graph">https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_graph</a> . . . . .                                                                                                                                                                                                     | 25 |
| 2.2  | Παράδειγμα RDF γράφου με τριπλέτες κόμβου-ακμής-κόμβου, πηγή: [1] . .                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 26 |
| 2.3  | Σχηματικό παράδειγμα Labeled Property Graph, πηγή: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Labeled-Property-Graph-LPG-Ontology-based-context-models-represent-knowledge-concepts_fig1_360885089">https://www.researchgate.net/figure/Labeled-Property-Graph-LPG-Ontology-based-context-models-represent-knowledge-concepts_fig1_360885089</a> . . . . . | 27 |
| 2.4  | Σχηματική σύγκριση υλοποίησης σε σχεσιακή βάση δεδομένων και αντίστοιχης σε βάση δεδομένων γράφου, <a href="https://memgraph.com/blog/graph-database-vs-relational-database">https://memgraph.com/blog/graph-database-vs-relational-database</a> . . . . .                                                                                                   | 28 |
| 3.1  | Περιγραφή της Οντολογίας του SustainGraph, πηγή: [2] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 34 |
| 3.2  | Μια υψηλού επιπέδου άποψη του SustainGraph, πηγή: [3] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 34 |
| 3.3  | Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τους Δείκτες και τις Παρατηρήσεις . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                           | 36 |
| 3.4  | Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τις Γεωπεριοχές .                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 37 |
| 3.5  | Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τις πολιτικές, πηγή: [3] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                    | 39 |
| 3.6  | Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τις Μελέτες Περίπτωσης, πηγή: [3] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                           | 39 |
| 4.1  | Κατανομή των Δεικτών προς ανάλυση ανά SDG . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 48 |
| 4.2  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_01: No Poverty . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 51 |
| 4.3  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_02: Zero Hunger . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 51 |
| 4.4  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_03: Good Health and Well-Being . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 51 |
| 4.5  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_04: Quality Education . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 51 |
| 4.6  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_05: Gender Equality . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 51 |
| 4.7  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_06: Clean Water and Sanitation . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 51 |
| 4.8  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_07: Affordable and Clean Energy . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 52 |
| 4.9  | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_08: Decent Work and Economic Growth .                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 52 |
| 4.10 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_09: Industry, Innovation and Infrastructure                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 52 |
| 4.11 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_10: Reduced Inequalities . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 52 |
| 4.12 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_11: Sustainable Cities and Communities .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 52 |
| 4.13 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_12: Responsible Consumption and Production . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                           | 52 |
| 4.14 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_13: Climate Action . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 53 |

|      |                                                                                                                                                                                            |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.15 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_15: Life on Land . . . . .                                                                                                                                   | 53 |
| 4.16 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_16: Peace, Justice and Strong Institutions                                                                                                                   | 53 |
| 4.17 | Χάρτης θερμότητας για τον SDG_17: Partnership for the Goals . . . . .                                                                                                                      | 53 |
| 4.18 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_01 . . . . .                                                                                                                             | 55 |
| 4.19 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_02 . . . . .                                                                                                                             | 55 |
| 4.20 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_03 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.21 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_04 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.22 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_05 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.23 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_06 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.24 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_07 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.25 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_08 . . . . .                                                                                                                             | 56 |
| 4.26 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_09 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.27 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_10 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.28 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_11 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.29 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_12 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.30 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_13 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.31 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_14 . . . . .                                                                                                                             | 57 |
| 4.32 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_15 . . . . .                                                                                                                             | 58 |
| 4.33 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_16 . . . . .                                                                                                                             | 58 |
| 4.34 | Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG_17 . . . . .                                                                                                                             | 58 |
| 4.35 | Χάρτης θερμότητας υψηλών συσχετίσεων μεταξύ των 17 SDGs . . . . .                                                                                                                          | 59 |
| 4.36 | Διάγραμμα διασποράς για τους sdg_08_10: Real Gdp Per Capita και sdg_10_10: Purchasing Power Adjusted Gdp Per Capita . . . . .                                                              | 62 |
| 4.37 | Διάγραμμα διασποράς για τους sdg_01_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion και sdg_08_20: Young People Neither In Employment Nor In Education And Training By Sex . . . . .     | 62 |
| 4.38 | Διάγραμμα διασποράς για τους sdg_04_60: Adult Participation In Learning In The Past Four Weeks By Sex και sdg_11_52: Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particulate Matter . . . . . | 62 |
| 4.39 | Διάγραμμα διασποράς για τους sdg_01_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion και sdg_10_50: Income Share Of The Bottom 40% Of The Population . . . . .                            | 62 |
| 4.40 | Ποσοστά Υψηλής Συσχέτισης μεταξύ ΣΒΑ για τις χώρες με χαμηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ . . . . .                                                                                                    | 64 |
| 4.41 | Ποσοστά Υψηλής Συσχέτισης μεταξύ ΣΒΑ για τις χώρες με μέτριο κατά κεφαλήν ΑΕΠ . . . . .                                                                                                    | 64 |
| 4.42 | Ποσοστά Υψηλής Συσχέτισης μεταξύ ΣΒΑ για τις χώρες με υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ . . . . .                                                                                                     | 65 |
| 4.43 | Γράφημα Συνεργειών μεταξύ ΣΒΑ . . . . .                                                                                                                                                    | 67 |
| 4.44 | Γράφημα Αντισταθμίσεων μεταξύ ΣΒΑ . . . . .                                                                                                                                                | 67 |
| 4.45 | Πρόβλεψη για τον sdg_08_20: Young People Neither In Employment Nor In Education. . . . .                                                                                                   | 69 |
| 4.46 | Πρόβλεψη για τον sdg_01_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion. . . . .                                                                                                         | 70 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.47 | Πρόβλεψη για τον sdg_08_30: Employment Rate By Sex. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 70 |
| 4.48 | Πρόβλεψη για τον sdg_05_30: Gender Employment Gap, By Type Of Em-<br>ployment. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 71 |
| 4.49 | Πρόβλεψη για τον sdg_07_10: Primary Energy Consumption. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 71 |
| 4.50 | Πρόβλεψη για τον sdg_07_40: Share Of Renewable Energy In Gross Final<br>Energy. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 72 |
| 4.51 | Πρόβλεψη για τον sdg_11_52: Premature Deaths Due To Exposure To Fine<br>Particles. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 72 |
| 4.52 | Πρόβλεψη για τον sdg_11_40: Road Traffic Deaths, By Type Of Roads. . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 73 |
| 4.53 | Πρόβλεψη για τον sdg_12_41: Circular Material Use Rate. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 73 |
| 6.1  | Οι 27 χώρες μέλη της ΕΕ: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus,<br>Czechia, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary,<br>Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland,<br>Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, πηγή: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EU27-2020_European_Union_map.svg">https://<br/>commons.wikimedia.org/wiki/File:EU27-2020_European_Union_map.svg</a> . . . . . | 81 |



## Κατάλογος Πινάκων

---

|     |                                                                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) . . . . .                                                              | 29 |
| 2.2 | Πίνακας Υφιστάμενων Αναλύσεων, πηγή: [24] . . . . .                                                       | 31 |
| 4.1 | Πίνακας δεικτών που κρίθηκαν ακατάλληλοι για συμμετοχή στην ανάλυση .                                     | 44 |
| 4.2 | Ποσοστά πληρότητας δεδομένων ανά δείκτη . . . . .                                                         | 45 |
| 4.3 | Δείκτες και χώρες με ελλιπείς τιμές για όλα τα έτη . . . . .                                              | 48 |
| 4.4 | Κατάταξη χωρών βάσει του κατά κεφαλήν ΑΕΠ τους . . . . .                                                  | 63 |
| 4.5 | Πίνακας ταξινόμησης ζευγών Δεικτών σε Συνέργειες και Αντισταθμίσεις . . . .                               | 66 |
| 4.6 | Πίνακας Δεικτών με EU Policy Target στο SustainGraph . . . . .                                            | 68 |
| 6.1 | Δείκτες και Περιγραφές τους στο Συσταίνγραφη . . . . .                                                    | 82 |
| 6.2 | Πίνακας ισχυρά συσχετισμένων ζευγών Δεικτών και κατάταξή τους σε Συνέρ-<br>γειες/Αντισταθμίσεις . . . . . | 85 |



## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

---

**Ο**ι γράφοι γνώσης έχουν αναδειχθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο για την αναπαράσταση, διαχείριση και ανάλυση σύνθετων αλληλένδετων δεδομένων. Η οργάνωση της πληροφορίας σε κόμβους και σχέσεις παρέχει ένα ευέλικτο και διαισθητικό πλαίσιο για τη μοντελοποίηση συνδέσεων μεταξύ οντοτήτων. Η χρήση γράφων για την αναπαράσταση δεδομένων συνοδεύεται από μία καλά ορισμένη σημασιολογία, δηλαδή ένα ρητό τρόπο αναπαράστασης της γνώσης, ο οποίος επιτρέπει τόσο την ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές όσο και τη διεπισημονική ανάλυσή τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η εφαρμογή των γράφων γνώσης στην περιβαλλοντική επιστήμη και συγκεκριμένα στην ανάλυση των διασυνδέσεων μεταξύ των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) καθώς και στην παρακολούθηση της προόδου προς την επίτευξή τους.

Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης αποτελούν ένα παγκόσμιο πλαίσιο για την αντιμετώπιση κρίσιμων κοινωνικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων με στόχο τη θεμελίωση ενός βιώσιμότερου μέλλοντος για όλους έως το 2030. Περιλαμβάνουν στόχους όπως η εξάλειψη της παγκόσμιας φτώχειας, η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και η προώθηση της ισότητας. Το SustainGraph είναι ένας LPG γράφος γνώσης που αναπτύχθηκε για να αναπαραστήσει τους 17 ΣΒΑ, την ιεραρχική σύνδεσή τους με υποστόχους, Δείκτες και Σειρές δεδομένων και τελικά να αξιοποιηθεί για την αποτελεσματικότερη αναπαράσταση των διασυνδέσεων μεταξύ των Στόχων. Η δομή και ο τρόπος οργάνωσης των δεδομένων στο SustainGraph διευκολύνει την ανάλυση χρονοσειρών δεδομένων, την ανίχνευση συνεργειών (synergies) και αντισταθμίσεων (trade-offs) και μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στη δημιουργία ολοκληρωμένων στρατηγικών για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Για την ανίχνευση των διασυνδέσεων μεταξύ των ΣΒΑ μέσα από χρονοσειρές έχει εφαρμοστεί μία πληθώρα από μεθόδους ανάλυσης. Σε αυτή την εργασία, εφαρμόζεται ανάλυση συσχετίσεων με τον ιεραρχικό μη-παραμετρικό συντελεστή Spearman και εστιάζεται στις 27 χώρες μέλη της ΕΕ, και στις Παρατηρήσεις για αυτές που είναι διαθέσιμες από τη Eurostat. Η ανάλυση στοχεύει στην αναγνώριση μοτίβων θετικής ή αρνητικής εξάρτησης μεταξύ διάφορων μετρικών και στην τελική ομαδοποίηση τους με γνώμονα τους 17 ΣΒΑ, για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

## 1.1 Δομή της Εργασίας

Η εργασία οργανώνεται σε τρία μέρη (Θεωρητικό Μέρος, Πρακτικό Μέρος, Επίλογος) και τέσσερα κεφάλαια, τα οποία καλύπτουν πλήρως το θεωρητικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για την κατανόησή της και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της.

Στο κεφάλαιο 2 περιέχεται μία επισκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με θεμελιώδεις έννοιες της εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα αναπαράστασης γνώσης σε μορφή γράφων καθώς και οι τεχνολογίες για την υλοποίηση τους, εστιάζοντας στο μοντέλο της βάσης δεδομένων γράφων του Neo4j. Γίνεται εισαγωγή στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) και στην αλληλένδετη φύση τους και τέλος παρουσιάζονται συνοπτικά υφιστάμενες αναλύσεις που μελετούν τις διασυνδέσεις μεταξύ των ΣΒΑ.

Το κεφάλαιο 3 παρέχει μία πλήρη και αναλυτική περιγραφή του SustainGraph. Ορίζονται οι στόχοι και το πλαίσιο της ανάπτυξης του καθώς και η οντολογία που αναπτύχθηκε με σκοπό τη συνοχή στην αναπαράσταση γνώσης στο γράφο. Ακολουθεί η περιγραφή της δομής του SustainGraph σε όλα τα επίπεδα, που αφορούν την οργάνωση των Υποστόχων, των Δεικτών και των χρονοσειρών Παρατηρήσεων και την αναπαράσταση Γεωπεριοχών, των υποδιαιρέσεών τους και των σχέσεων τους με τις Παρατηρήσεις. Η δομή του SustainGraph ολοκληρώνεται με την ενσωμάτωση οντοτήτων που αφορούν τις Πολιτικές σε παγκόσμιο, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, τις Μελέτες Περίπτωσης και τις Καινοτομίες.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται βηματικά οι Μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά δίνεται έμφαση στην επιλογή και προεπεξεργασία των δεδομένων του SustainGraph προς ανάλυση. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της ανάλυσης συσχετίσεων σε εθνικό επίπεδο που εφαρμόστηκε, πρώτα σε επίπεδο Στόχου και ακολούθως στις σχέσεις μεταξύ Στόχων. Έπειτα, η υλοποίηση εστιάζει στα αποτελέσματα μιας εναλλακτικής ανάλυσης συσχετίσεων μετά από ομαδοποίηση των χωρών σε τρεις υποομάδες. Στην επόμενη υποενότητα ταξινομούνται τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχετίσεων των προηγούμενων βημάτων σε Συνέργειες (Synergies) και Αντισταθμίσεις (Trade-offs) και τέλος, περιγράφεται η εφαρμογή του αυτοπαλινδρομικού μοντέλου ARIMA για την πρόβλεψη παρατηρήσεων σε σχέση με τους Στόχους Πολιτικής της ΕΕ.

Στο κεφάλαιο 5 περιέχεται ο επίλογος της διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τις αναλύσεις που διενεργήθηκαν και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις τους.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει επιπλέον ένα Παράρτημα, όπου παρατίθενται αναλυτικά οι πίνακες των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Στο τέλος, παρατίθεται η βιβλιογραφία και οι πηγές που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας.

## Μέρος I

### Θεωρητικό Μέρος

---



## Κεφάλαιο 2

### Βιβλιογραφική Επισκόπηση

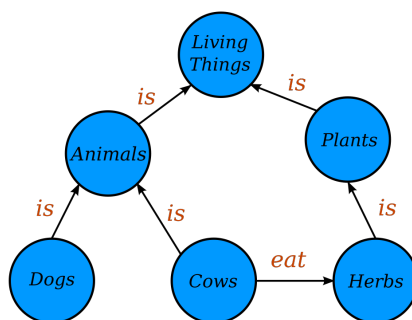
---

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται και εξηγείται αναλυτικά το θεωρητικό υπόβαθρο, που είναι αναγκαίο για την κατανόηση του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής.

Συγκεκριμένα, περιγράφεται η αναπαράσταση και η διαχείριση της πληροφορίας σε γράφους γνώσης με εργαλεία όπως το Neo4j. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παραδείγματα γράφων γνώσης ενώ παράλληλα εξετάζονται και υφιστάμενες μελέτες που αφορούν τις σχέσεις μεταξύ των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs).

#### 2.1 Αναπαράσταση Δεδομένων σε Γράφους Γνώσης

Ως Γράφος Γνώσης (Knowledge Graph) [4] ορίζεται μία δομημένη αναπαράσταση πληροφορίας που περιγράφει σχέσεις μεταξύ οντοτήτων. Σε ένα γράφο γνώσης οι οντότητες αναπαριστώνται ως κόμβοι και οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων-κόμβων αναπαριστώνται ως ακμές που ενώνουν τους κόμβους αυτούς. Ένας γράφος γνώσης είναι επίσης ένας κατευθυνόμενος γράφος καθώς οποιαδήποτε σχέση μεταξύ οντοτήτων οφείλει να έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση.



Σχήμα 2.1: Απλό παράδειγμα γράφου γνώσης, πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge\\_graph](https://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_graph)

Τα 2 κυρίαρχα μοντέλα για την οργάνωση δεδομένων σε μορφή γράφου είναι:

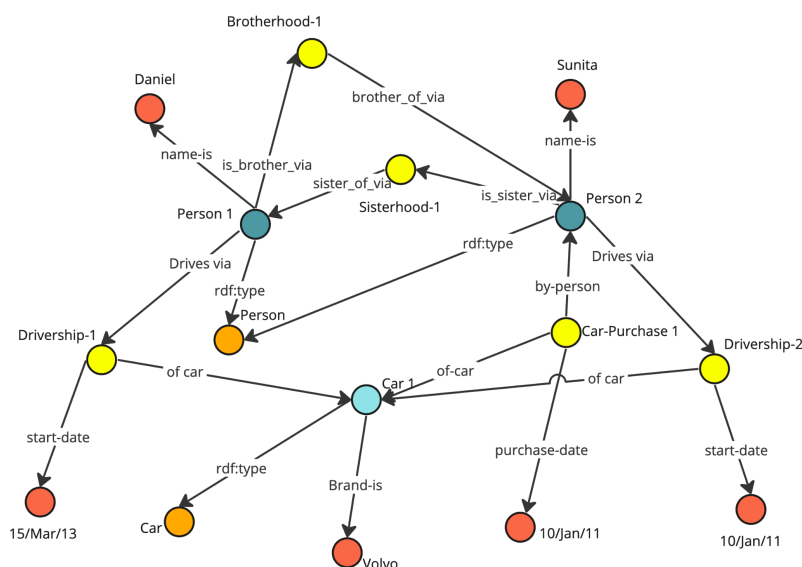
- το Resource Description Framework (RDF)
- οι Labeled Property Graphs (LPG)

### 2.1.1 Το μοντέλο RDF

Το Resource Description Framework (RDF) δημιουργήθηκε από το World Wide Web Consortium (W3C) ως πρότυπο μοντέλο για την ανταλλαγή δεδομένων στον παγκόσμιο ιστό [5], στα πλαίσια της πρωτοβουλίας του Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web). Στο RDF, ο γράφος αποτελείται από τριπλέτες της μορφής:

⟨υποκείμενο⟩ ⟨κατηγορημα⟩ ⟨αντικείμενο⟩

όπου το υποκείμενο και το αντικείμενο αποτελούν κόμβους που συνδέονται μέσω της ακμής-κατηγορήματος. Η πρόσβαση στα δεδομένα γράφων που ακολουθούν το μοντέλο RDF επιτυγχάνεται με ερωτήματα γραμμένα στη γλώσσα ερωτημάτων (query language) SPARQL.



Σχήμα 2.2: Παράδειγμα RDF γράφου με τριπλέτες κόμβου-ακμής-κόμβου, πηγή: [1]

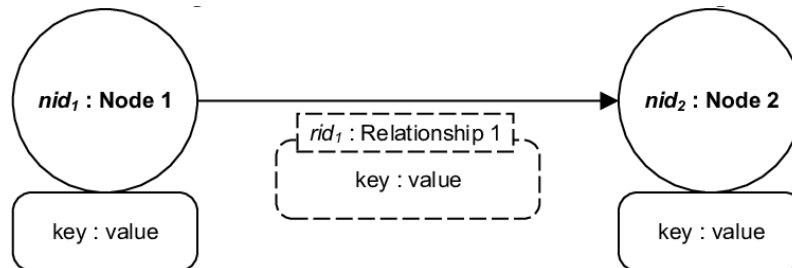
Μια επέκταση του πλαισίου RDF, το RDF Schema (RDFS) [6] παρέχει ένα πρότυπο λεξιλόγιο για τη μοντελοποίηση δεδομένων, που διευκολύνει την οργάνωση των πόρων σε ομάδες καθώς και την περιγραφή σχέσεων μεταξύ πόρων. Η σημαντικότητα του RDFS έγκειται στην καλά ορισμένη σημασιολογία του, η οποία χρησιμοποιεί ένα σύστημα κλάσεων (Classes) και ιδιοτήτων (Properties) παρόμοιο με εκείνο των αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τα δεδομένα αναγνώσιμα από μηχανές.

Παρά την ευελιξία του, το μοντέλο RDF δεν είναι πάντα η βέλτιστη επιλογή για την αναπαράσταση δεδομένων σε μορφή γράφου [1]. Οι συχνότερες προκλήσεις στην εφαρμογή του RDF είναι η δυσκολία του να αναπαραστήσει πολλαπλές σχέσεις ίδιου τύπου μεταξύ δύο κόμβων ή σχέσεις Many-to-Many, οι οποίες εμφανίζονται συχνά σε κοινωνικά δίκτυα. Για αυτό το λόγο, πολλές φορές κρίνεται αναγκαίο να προστεθούν επιπλέον κόμβοι ή τριπλέτες, που αυξάνουν τον πληθυσμό του γράφου χωρίς να προσθέτουν ουσιαστικό περιεχόμενο.

### 2.1.2 Οι Labeled Property Graphs

Οι Γράφοι Ιδιοτήτων ή Labeled Property Graphs (LPG) [7] χρησιμοποιούν κόμβους και κατευθυνόμενες ακμές για να αναπαραστήσουν οντότητες και τις μεταξύ τους σχέσεις. Εδώ,

οι κόμβοι αλλά και οι ακμές του γράφου έχουν δομή που αποτελείται από ένα μοναδικό αναγνωριστικό (ID), μία ετικέτα (Label) που δηλώνει τον τύπο ή την κλάση της οντότητας που παριστάνει, καθώς και μία σειρά από ιδιότητες (Properties). Οι ιδιότητες αυτές έχουν τη μορφή ζευγαριού κλειδιού-τιμής (key-value pair) διευκολύνοντας έτσι την προσπέλασή τους.



Σχήμα 2.3: Σχηματικό παράδειγμα *Labeled Property Graph*, πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Labeled-Property-Graph-LPG-Ontology-based-context-models-represent-knowledge-concepts\\_fig1\\_360885089](https://www.researchgate.net/figure/Labeled-Property-Graph-LPG-Ontology-based-context-models-represent-knowledge-concepts_fig1_360885089)

### 2.1.3 Neo4j

Το Neo4j [8] είναι ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων γράφων (GDBMS), βασισμένο στο μοντέλο LPG. Στο Neo4j, οι βάσεις δεδομένων γράφων (Graph Databases) έχουν τα βασικά χαρακτηριστικά ενός LPG, όπως αυτά παρουσιάζονται και στο 2.3:

- Οι κόμβοι-οντότητες μπορούν να έχουν είτε καμία είτε περισσότερες **ετικέτες** που περιγράφουν τι είδους κόμβοι είναι.
- Κάθε σχέση-ακμή έχει μοναδική **κατευθύνση**, από ένα κόμβο-πηγή (source node) σε ένα κόμβο-στόχο (target node)
- Κάθε σχέση έχει ένα μοναδικό **τύπο** (type) που την περιγράφει
- Τόσο οι κόμβοι όσο και οι σχέσεις μπορούν να έχουν πολλές **ιδιότητες** στη μορφή ζευγών κλειδιού-τιμής.

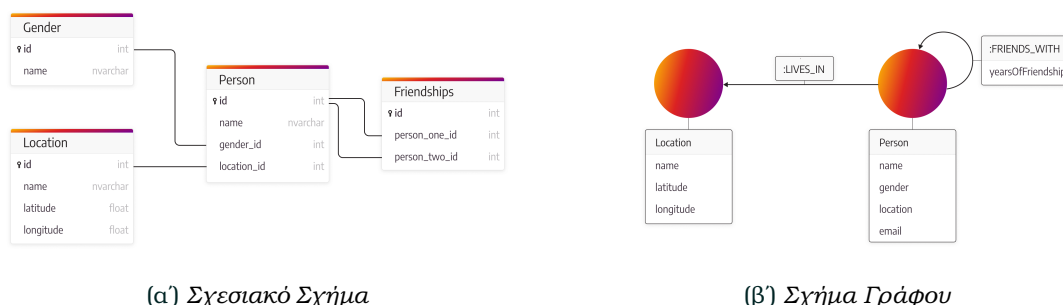
Το Neo4j συχνά περιγράφεται ως *schema-optional* [8] μοντέλο, το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητη η χρήση δεικτών (indexes) ή περιορισμών (constraints) κατά τη δημιουργία του γράφου. Η χρήση δείκτη σε κάποια ιδιότητα κόμβου ή σχέσης μπορεί να βελτιώσει το χρόνο εκτέλεσης ερωτημάτων. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις βάσεων δεδομένων όπου συχνά θέλουμε να αναζητήσουμε ένα κόμβο ή σχέση με μία συγκεκριμένη τιμή σε κάποια ιδιότητά του. Για παράδειγμα σε ένα γράφο όπου οι κόμβοι παριστάνουν άτομα και δεδομένου ότι η βάση διερωτάται συχνά για άτομα βάσει του ονόματός τους, η εισαγωγή δείκτη στην ιδιότητα *name* αποτελεί μία πιθανή τεχνική βελτιστοποίησης. Οι περιορισμοί επιβάλλουν συγκεκριμένους κανόνες στις ιδιότητες των κόμβων ή σχέσεων που συνθέτουν ένα γράφο. Για παράδειγμα, περιορισμοί είναι χρήσιμοι σε περιπτώσεις όπου θέλουμε να διασφαλίσουμε τη μοναδικότητα κάποιας ιδιότητας [9].

Η δηλωτική γλώσσα ερωτημάτων Cypher είναι η γλώσσα που χρησιμοποιείται για τη διάσχιση γράφων γνώσης στο Neo4j [10]. Στη Cypher βασίστηκε το διεθνές σημασιολογικό πρότυπο (GQL) για γλώσσες ερωτημάτων σε βάσεις δεδομένων γράφων [11], που διατήρησε τη βασική δομή MATCH/RETURN των ερωτημάτων. Για την απάντηση στα ερωτήματα, η εντολή MATCH στη Cypher διασχίζει το γράφο και αναγνωρίζει αποδοτικά αλληλουχίες κόμβων-ακμών (patterns) μέσα σε αυτόν.

#### 2.1.4 Από τις σχεσιακές βάσεις δεδομένων στις βάσεις δεδομένων γράφων

Η σχεσιακή βάση δεδομένων (Relational Database) αποτελεί τον επικρατέστερο τύπο συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων στις εφαρμογές λογισμικού. Στο μοντέλο αυτό τα δεδομένα οργανώνονται ως ένα σύνολο πινάκων με στήλες και σειρές. Για να περιγράψουν σχέσεις μεταξύ οντοτήτων, οι πίνακες μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους με τη χρήση πρωτεύοντων κλειδιών (primary keys) ή εξωτερικών κλειδιών (foreign keys). Για την αναπαράσταση σχέσεων Many-to-Many σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων, χρησιμοποιούνται πίνακες JOIN. Συνεπώς, σε αναλύσεις μεγάλου σχεσιακού βάθους που απαιτούν πολλαπλές διεργασίες ένωσης (JOIN), η απόδοση στην εκτέλεση ερωτημάτων ενδέχεται να μην είναι ικανοποιητική.

Το μοντέλο της βάσης δεδομένων γράφου (Graph Database) [12] διευκολύνει σημαντικά τη διάσχιση των μονοπατιών που δημιουργούνται από διαδοχικούς κόμβους-οντότητες και ακμές-σχέσεις, και συναντάται, μεταξύ άλλων, σε εφαρμογές κοινωνικών δικτύων, συστημάτων συστάσεων (recommender systems) ή σε συστήματα ανίχνευσης απάτης (fraud detection systems).



(α') Σχεσιακό Σχήμα

(β') Σχήμα Γράφου

Σχήμα 2.4: Σχηματική σύγκριση υλοποίησης σε σχεσιακή βάση δεδομένων και αντίστοιχης σε βάση δεδομένων γράφου, <https://memgraph.com/blog/graph-database-vs-relational-database>

## 2.2 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs)

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης, διεθνώς γνωστοί ως Sustainable Development Goals ή συντομότερα SDGs, αποτελούν ένα σύνολο από 17 παγκόσμιους στόχους που διαμορφώθηκαν από τη Γενική Συνέλευση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) το 2015 και στοχεύουν σε ένα βιώσιμο μέλλον για όλους [13, 14]. Οι ΣΒΑ σχετίζονται με μία σειρά από κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά θέματα διεθνούς εύρους, για τα οποία έχουν τεθεί συγκεκριμένοι στόχοι που αναμένονται να ικανοποιηθούν μέχρι το 2030. Αναλυτικότερα [15], οι 17 στόχοι παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1:

Table 2.1: Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ)

|                              | Title                                   | Εξήγηση                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG_01                       | No Poverty                              | Καταπολέμηση της παγκόσμιας φτώχειας                                                              |
| SDG_02                       | Zero Hunger                             | Καταπολέμηση της παγκόσμιας πείνας, βελτίωση της διατροφής, προώθηση της βιώσιμης γεωργίας.       |
| SDG_03                       | Good Health and Well-Being              | Διασφάλιση της υγείας και της υγειονομικής περιθαλψης για όλους                                   |
| SDG_04                       | Quality Education                       | Διασφάλιση της πρόσβασης σε ποιοτική εκπαίδευση και προώθηση ευκαιριών δια βίου μάθησης για όλους |
| SDG_05                       | Gender Equality                         | Επίτευξη της ισότητας των φύλων και ενδυνάμωση των γυναικών παγκοσμίως                            |
| SDG_06                       | Clean Water and Sanitation              | Διασφάλιση της πρόσβασης στο νερό και βιώσιμη διαχείρισή του                                      |
| SDG_07                       | Affordable and Clean Energy             | Διάσφαλιση της πρόσβασης στην ενέργεια για όλους                                                  |
| SDG_08                       | Decent Work and Economic Growth         | Διασφάλιση της απασχόλησης, της αξιοπρεπούς εργασίας και της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης       |
| SDG_09                       | Industry, Innovation and Infrastructure | Ενίσχυση της καινοτομίας και των βιώσιμων υποδομών                                                |
| SDG_10                       | Reduced Inequalities                    | Μείωση των ανισοτήτων παγκοσμίως                                                                  |
| SDG_11                       | Sustainable Cities and Communities      | Διασφάλιση συμπεριληπτικών, ασφαλών και βιώσιμων πόλεων                                           |
| SDG_12                       | Responsible Consumption and Production  | Διασφάλιση της βιώσιμης κατανάλωσης και παραγωγής                                                 |
| SDG_13                       | Climate Action                          | Καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών της                                         |
| SDG_14                       | Life below Water                        | Προστασία των ωκεανών και των θαλασσών                                                            |
| SDG_15                       | Life on Land                            | Προστασία των επίγειων οικοσυστημάτων, των δασών και διατήρηση της βιοποικιλότητας                |
| συνέχεια στην επόμενη σελίδα |                                         |                                                                                                   |

|        | Title                                  | Εξήγηση                                                                                      |
|--------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDG_16 | Peace, Justice and Strong Institutions | Διασφάλιση της ειρήνης και της πρόσβασης στη δικαιοσύνη και σε αξιόπιστους θεσμούς για όλους |
| SDG_17 | Partnership for the Goals              | Πρωτόκληση της διεθνούς συνεργασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη                                  |

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης θεωρούνται αλληλένδετοι [13, 16], δηλαδή μπορούν να υπάρχουν συνέργειες (synergies) ή αντισταθμίσεις (trade-offs) μεταξύ ζευγών διαφορετικών στόχων. Οι διασυνδέσεις αυτές μεταξύ των ΣΒΑ αποτελούν αντικείμενο πολλών αναλύσεων, που στοχεύουν στον καθορισμό των καταλληλότερων και πιο αποτελεσματικών στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης, που θα μεγιστοποιούν τις θετικές επιπτώσεις και θα ελαχιστοποιούν τις αντισταθμίσεις μεταξύ ΣΒΑ.

Ωστόσο, παρά τη γενική συναίνεση ότι οι ΣΒΑ είναι αλληλένδετοι και πρέπει να εξετάζονται ως ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο, προκύπτουν ορισμένες προκλήσεις στην εφαρμογή της ανάλυσης δικτύων σε κάποιο πλαίσιο ανάλυσης των Στόχων [17]. Μία από τις κυριότερες προκλήσεις αφορούν την έλλειψη δεδομένων σε πολλούς από τους Δείκτες (indicators) που ορίζουν οι ΣΒΑ. Ενώ μία μερίδα των δεικτών είναι διαθέσιμοι μέσω της Στατιστικής Επιτροπής του ΟΗΕ [18], πολλοί δείκτες παραμένουν μη-διαθέσιμοι, μειώνοντας έτσι τις δυνατότητες ανάλυσης που προσφέρουν τα πλαίσια αξιολόγησης των ΣΒΑ. Μία δεύτερη πρόκληση σχετίζεται με την ανάπτυξη λύσεων που υποστηρίζουν την ανάλυση των ΣΒΑ σε διαφορετικά χωρικά επίπεδα. Για παράδειγμα, για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, δεν αρκεί ανάλυση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης μόνο σε εθνικό επίπεδο, αλλά και σε περιφερειακό επίπεδο, αν όχι και σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. συγκεκριμένες αστικές ή επαρχιακές περιοχές). Ο γεωχωρικός χάρτης των ΣΒΑ [19] που παρέχεται από το Τμήμα Στατιστικής του ΟΗΕ επισημαίνει επίσης την πρόκληση της ανάλυσης των Στόχων ανάλογα με τη διαίρεσή τους σε γεωγραφικό επίπεδο.

### 2.2.1 Υφιστάμενες μελέτες των διασυνδέσεων μεταξύ ΣΒΑ

Έχουν δημοσιευτεί πολλές διαφορετικές μελέτες ανάλυσης των δεικτών των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, οι οποίες ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις και στρατηγικές ανάλυσης.

Στο άρθρο [18], οι διασυνδέσεις μεταξύ ΣΒΑ εξετάζονται με βάση τα δεδομένα που παρέχει η Βάση Δεδομένων για τους ΣΒΑ των Ηνωμένων Εθνών [20]. Με την εφαρμογή των τεχνικών της Ανάλυσης Πολλαπλών Παραγόντων (Multiple Factor Analysis) και της Ιεραρχικής Ομαδοποίησης (Hierarchical Clustering), η μελέτη οδηγείται στο συμπέρασμα ότι η πορεία πολλών χωρών προς την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης σχετίζεται με το επίπεδο εισοδήματος. Επίσης εξετάζονται οι συνέργειες (synergies) και οι αντισταθμίσεις (trade-offs) μεταξύ των Δεικτών, όπου η συνέργεια αφορά θετική συσχέτιση μεταξύ ενός ζεύγους δεικτών, ενώ αντιστάθμιση αφορά αρνητική συσχέτιση. Σε άλλες μελέτες όπως η [21] εξετάζονται συνέργειες και αντισταθμίσεις υπό το πρίσμα της αστικοποίησης, της κατανάλωσης ενέργειας, της οικονομικής ανάπτυξης, της δημόσιας υγείας και της διεθνούς συνεργασίας για

τη βιωσιμότητα.

Στο [22] παρέχεται μία επισκόπηση από 51 επιστημονικά άρθρα που εξετάζουν τις διασυνδέσεις μεταξύ ΣΒΑ, όπου παρατηρούνται επαλαμβανόμενα μοτίβα σε όλες τις αναλύσεις, όπως συνέργειες ή αντισταθμίσεις μεταξύ συγκεκριμένων ζευγών στόχων.

Στο [23] εφαρμόζεται μία Ανάλυση Σημασιολογικού Δικτύου (Semantic Network Analysis) που χρησιμοποιεί τεχνολογίες μηχανικής μάθησης Word2Vec και εξόρυξης κειμένου (text-mining) για να εξετάσει τις διασυνδέσεις μεταξύ ΣΒΑ. Η ανάλυση αυτή αποκαλύπτει την ύπαρξη κοινοτήτων στενά συνδεδεμένων δεικτών, οι οποίοι όμως μπορεί να προέρχονται από πολλούς διαφορετικούς Στόχους, ενώ ταυτόχρονα οι δείκτες ενός Στόχου μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικές κοινότητες.

Στο [24] παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με υφιστάμενες αναλύσεις των διασυνδέσεων των ΣΒΑ μαζί με τα αποτελέσματά τους, ο οποίος παρατίθεται εν συντομία παρακάτω.

Πίνακας 2.2: Πίνακας Υφιστάμενων Αναλύσεων, πηγή: [24]

| Έρευνα                   | Δεδομένα           | Πεδίο Έρευνας       | Μέθοδος                                 | Αποτελέσματα                                                                                                  |
|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pradhan et al. (2017)    | 227 χώρες          | Όλοι οι ΣΒΑ         | Συσχέτιση Spearman                      | Κυριαρχούν θετικές συσχετίσεις. Οι ΣΒΑ 1 και 3 συνδέονται με τους 4, 5, 6 και 10.                             |
| Singh et al. (2018)      | Θαλάσσιες περιοχές | Εστίαση στον ΣΒΑ 14 | Rapid assessment methodology            | Θετική σχέση του ΣΒΑ 14 με τους ΣΒΑ 1, 2, 11, 13, 15 και 16.                                                  |
| Kroll et al. (2019)      | 193 χώρες          | Όλοι οι ΣΒΑ         | Συσχέτιση Spearman                      | Συνέργειες για τους ΣΒΑ 1, 3, 7, 8, 9. Αντισταθμίσεις για τους ΣΒΑ 11, 13, 14, 16, 17.                        |
| Miola and Schiltz (2019) | EU28               | Όλοι οι ΣΒΑ         | Τρεις τρόποι μέτρησης των ΣΒΑ           | Η σχετική θέση μιας χώρας εξαρτάται από την επιλεγμένη μέθοδο και τους δείκτες.                               |
| Fonseca et al. (2020)    | 193 χώρες          | Όλοι οι ΣΒΑ         | Συσχέτιση Spearman                      | Κυριαρχούν θετικές συσχετίσεις. Ισχυρές συσχετίσεις για τους ΣΒΑ 2, 3, 4, 7, 8, 11. Αρνητικές για τον ΣΒΑ 12. |
| Yang et al. (2020)       | Παγκόσμια έρευνα   | Όλοι οι ΣΒΑ         | Σύνδεση ΣΒΑ με οικοσυστημικές υπηρεσίες | Κυριαρχούν συνέργειες. Οι ΣΒΑ 1, 5, 14 σχετίζονται με άλλους στόχους.                                         |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

| Έρευνα                                        | Δεδομένα          | Πεδίο Έρευνας | Μέθοδος                    | Αποτελέσματα                                                                        |
|-----------------------------------------------|-------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Halkos and Gkampoura (2021)                   | Δεδομένα ΟΗΕ      | Όλοι οι ΣΒΑ   | Βιβλιογραφική επισκόπηση   | Πρόοδος στους ΣΒΑ 8, 9, 12, 14. Υπέρβαση στους ΣΒΑ 2, 6, 11, 13, 16.                |
| Sompolska-Rzechuła and Kurdys-Kujawska (2021) | Χώρες της Ευρώπης | ΣΒΑ 3 και 13  | Μέθοδος TOP-SIS            | Συμπεράσματα σχετικά με τους ΣΒΑ 3 και 13.                                          |
| Warchold et al. (2021)                        | 247 χώρες         | Όλοι οι ΣΒΑ   | Ανάλυση συσχετίσεων        | Κυριαρχούν συνέργειες και γραμμικές σχέσεις μεταξύ ΣΒΑ.                             |
| Bellantuono et al. (2022)                     | Επιλεγμένες χώρες | Όλοι οι ΣΒΑ   | Πολυεπίπεδο γράφημα        | Ισχυρές συνδέσεις για τους ΣΒΑ 9, 17, 12, 13, 8, 14. Ασθενείς για τους ΣΒΑ 5, 7, 6. |
| Elavarasan et al. (2022)                      | 40 χώρες Ευρώπης  | ΣΒΑ 7         | Analytic Hierarchy Process | Καθαρή ενέργεια και ενεργειακή ασφάλεια οι πιο σημαντικοί παράγοντες.               |
| Zhang et al. (2022)                           | Κίνα              | Όλοι οι ΣΒΑ   | Σύνθετος δείκτης (CI)      | Εστίαση σε Αντισταθμίσεις και συμβιβασμούς ανά περιοχή.                             |

# SustainGraph

---

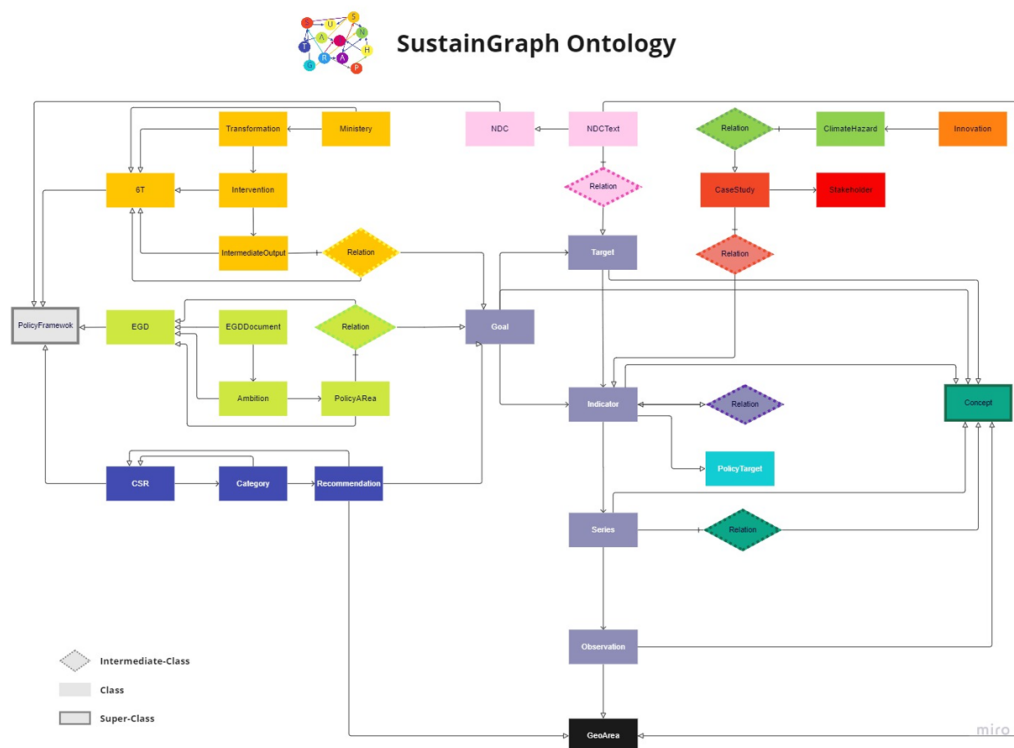
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά οι στόχοι, η δομή και το περιεχόμενο του SustainGraph.

### 3.1 Εισαγωγή στο SustainGraph

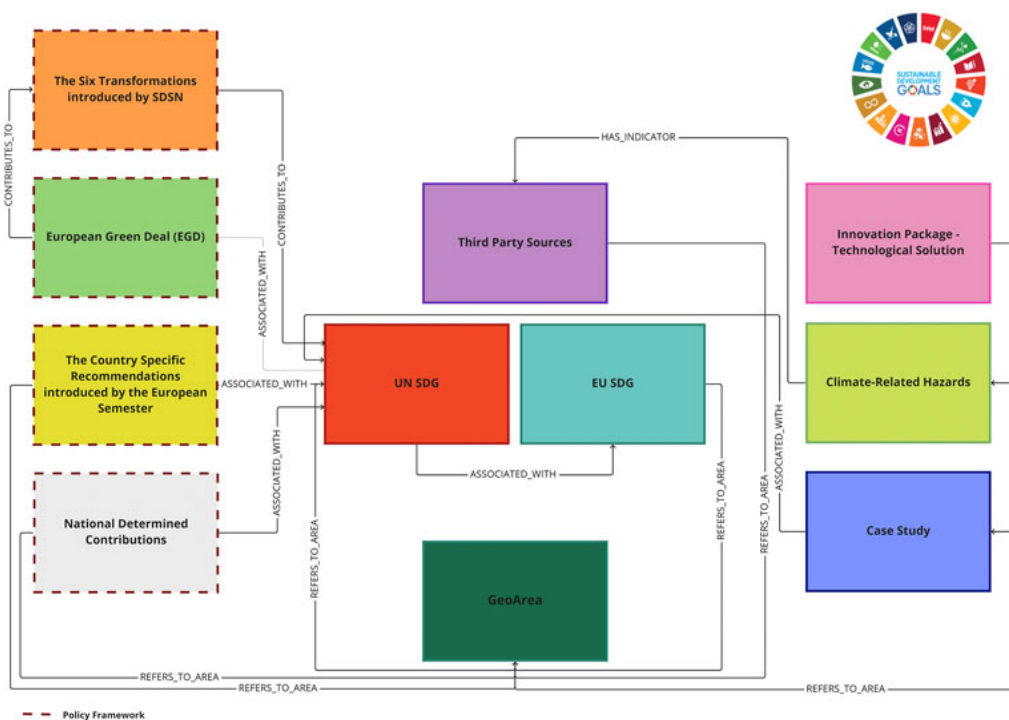
Το SustainGraph [3] είναι ένας γράφος γνώσης που αναπτύχθηκε με σκοπό την καταγραφή και παρακολούθηση πληροφοριών σχετικών με την πρόοδο προς την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs) που έχουν οριστεί από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο. Το όραμα πίσω από το SustainGraph είναι η δημιουργία μίας ενοποιημένης πηγής γνώσης με πληροφορίες που αφορούν τους ΣΒΑ, αξιοποιώντας τις τεχνολογίες που παρέχει μία βάση δεδομένων γράφου, καθώς και τις τεχνικές Μηχανικής Μάθησης που προσφέρονται για τον εμπλουτισμό της με δεδομένα, την παραγωγή γνώσης από αυτά και την ανάλυσή τους. Το SustainGraph ακολουθεί το μοντέλο LPG και είναι διαθέσιμο στο [25].

Η υιοθέτηση του LPG μοντέλου παρουσιάζει μία σειρά από πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών δεδομένων που περιλαμβάνονται στο SustainGraph, όπως την υψηλή απόδοση στην εκτέλεση ερωτημάτων [3]. Αυτό συμβαίνει επειδή το LPG μοντέλο επιτρέπει τη μοναδική ταυτοποίηση κάθε διακριτής εμφάνισης (instance) μίας οντότητας ή σχέσης μεταξύ οντοτήτων. Συνεπώς, σε ένα γράφο γνώσης διευκολύνεται η αναπαράσταση επαναλαμβανόμενων γεγονότων ή οντοτήτων με δυναμικές ιδιότητες [26].

Ωστόσο, το LPG μοντέλο δεν υποστηρίζει μία τυπική γλωσσική αναπαράσταση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οργάνωση της γνώσης σε μία βάση δεδομένων γράφου. Για την ορθή διαχείριση της σημασιολογίας των δεδομένων των κόμβων και των ακμών στο SustainGraph, έχει αναπτυχθεί μία συγκεκριμένη οντολογία SustainGraph [2]. Η οντολογία αυτή αναπτύχθηκε με βάση τη Γλώσσα Οντολογίας Ιστού (Web Ontology Language ή OWL), η οποία είναι μία γλώσσα για την αναπαράσταση γνώσης σχεδιασμένη στα πλαίσια του Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web). Η οντολογία του SustainGraph παρουσιάζεται αναλυτικά στο 3.1, ενώ στο Σχήμα 3.2 παρέχεται μία υψηλού επιπέδου άποψη του SustainGraph.



Σχήμα 3.1: Περιγραφή της Οντολογίας του SustainGraph, πηγή: [2]



Σχήμα 3.2: Μια υψηλού επιπέδου άποψη του SustainGraph, πηγή: [3]

## 3.2 Περιγραφή της δομής του SustainGraph

### 3.2.1 Αναπαράσταση Χρονοσειρών

Οι κύριες οντότητες του SustainGraph σχετίζονται με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs) του ΟΗΕ και παριστάνονται στο γράφο ως κόμβοι με τις κατάλληλες ετικέτες. Οι οντότητες αυτές έχουν μοντελοποιηθεί με βάση ένα υπάρχον σύστημα οργάνωσης γνώσης [27]. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα:

- κάθε ένας από τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης παριστάνεται από ένα κόμβο με ετικέτα **Goal**.
- κάθε **Goal** συνδέεται με ένα σύνολο από υπο-στόχους, κόμβους με ετικέτα **Target**.
- κάθε **Target** συνδέεται με έναν ή περισσότερους κόμβους-Δείκτες με ετικέτα **Indicator**.
- κάθε **Indicator** συνδέεται με ένα κόμβο **Series** που αντιπροσωπεύει μία χρονοσειρά δεδομένων.
- κάθε Σειρά **Series** συνδέεται με κόμβους Μεταδεδομένων Σειράς **Series Metadata** που παρέχουν λεπτομέρειες σχετικά με την εκάστοτε μετρική.
- κάθε κόμβος **Series Metadata** συνδέεται με ένα σύνολο από κόμβους-παρατηρήσεις **Observations**, κάθε μία από τις οποίες περιέχει μία μέτρηση (ιδιότητα *value*) για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ιδιότητα *time*).
- κάθε παρατήρηση **Observation** συνδέεται με τη γεωγραφική περιοχή **GeoArea** στην οποία αναφέρεται μέσω της σχέσης *REFERS\_TO\_AREA*.

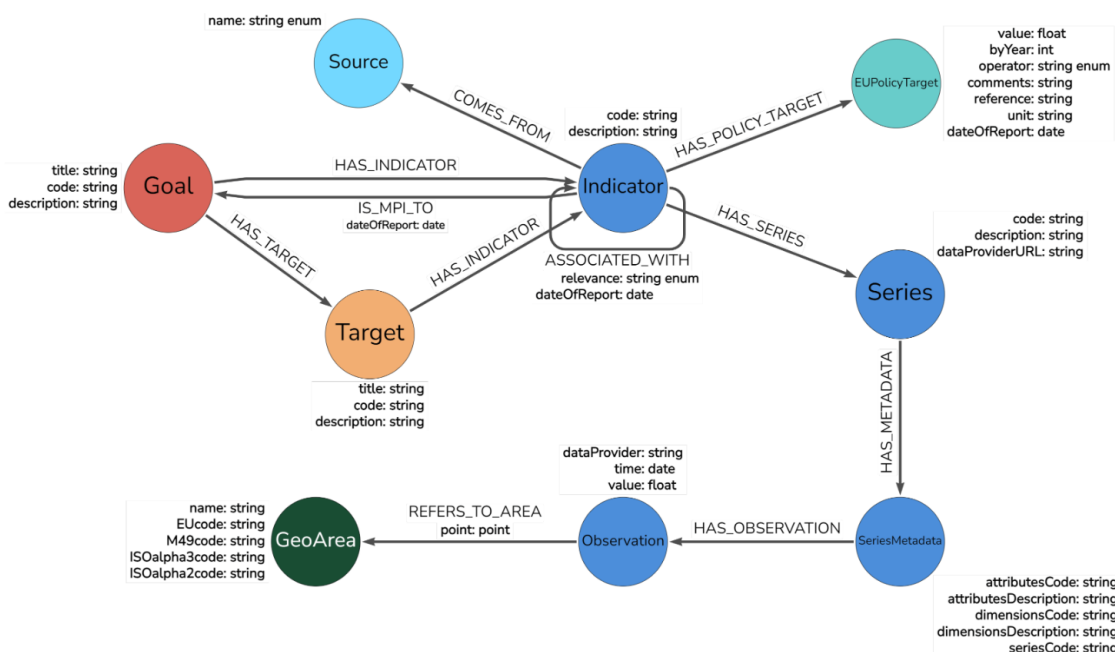
Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ που παρατέθηκαν αναλυτικά στην ενότητα 2.2 παρακολουθούνται μέσα από συνολικά 169 υπο-στόχους (Targets), 8-12 ανά Στόχο [28]. Παράλληλα, κάθε Target συνδέεται με έναν έως τέσσερις Δείκτες.

Το μοντέλο που περιγράφεται παραπάνω αναπτύχθηκε για να αναπαραστήσει τους Δείκτες των ΣΒΑ, όπως τους έχει ορίσει ο ΟΗΕ στα πλαίσια της Agenda 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη. Ωστόσο, η ίδια δομή μπορεί να γενικευθεί για να υποστηρίξει παρόμοιους Δείκτες από άλλες πηγές. Πιο συγκεκριμένα, σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο, οι Δείκτες της ΕΕ παρέχονται από την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) και μπορούν να συσχετιστούν μέσω σχέσεων τύπου *ASSOCIATED\_WITH* με τους Δείκτες του ΟΗΕ. Δεδομένα από τρίτες πηγές μπορούν επίσης να αναπαρασταθούν στο SustainGraph, όπως Δείκτες που δεν έχουν οριστεί ούτε από τον ΟΗΕ ή την ΕΕ, αλλά παραμένουν απαραίτητοι στις κοινωνικο-περιβαλλοντικές αναλύσεις. Δεδομένου ότι στο SustainGraph περιλαμβάνονται δεδομένα από μία πληθώρα διαφορετικών πηγών, είναι κρίσιμη η ένταξη και μίας οντότητας με ετικέτα **Source**, που ορίζει την πηγή από την οποία προέρχεται κάποιος Δείκτης.

Ένα επιπλέον στοιχείο που αφορά τους Δείκτες που προέρχονται από την ΕΕ είναι οι κόμβοι με ετικέτα **EU Policy Target**, οι οποίοι αναπαριστούν στους στόχους πολιτικής που έχει

θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2030. Επομένως, στο SustainGraph ορισμένοι κόμβοι-Δείκτες συνδέονται μέσω σχέσεων *HAS\_POLICY\_TARGET* με τους αντίστοιχους Στόχους Πολιτικής.

Η παραπάνω δομή, καθώς και οι ετικέτες των σχέσεων μεταξύ των κόμβων, περιγράφονται σχηματικά στο 3.3.



Σχήμα 3.3: Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τους Δείκτες και τις Παρατηρήσεις

### 3.2.2 Αναπαράσταση Γεωχωρικών Δεδομένων

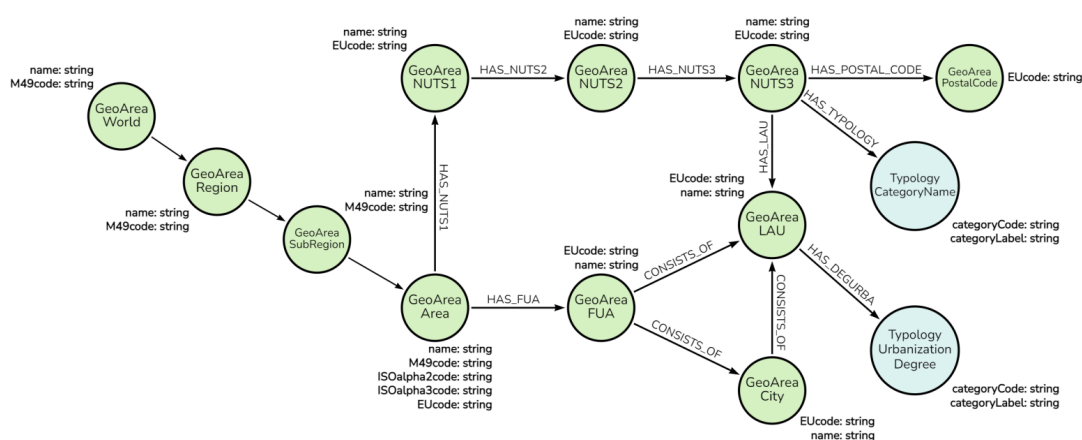
Ένα σημαντικό κομμάτι του SustainGraph σχετίζεται με την αναπαράσταση γεωχωρικής πληροφορίας και τη δυνατότητα ανάλυσης των συλλεγόμενων δεδομένων σε πολλαπλές χωρικές κλίμακες [29]. Όπως προαναφέρθηκε, οι κόμβοι Γεωπεριοχής με ετικέτα **GeoArea** χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι μέσα στην οντότητα GeoArea συμπεριλαμβάνονται πολλά γεωγραφικά επίπεδα, από ηπείρους μέχρι μικρότερες διοικητικές περιοχές κρατών. Η διάκριση αυτών των γεωγραφικών περιοχών δηλώνεται με ιεραρχικό τρόπο, με τη χρήση δευτερευουσών ετικετών. Η ιεραρχία ορίζεται με βάση το πρότυπο M49 των Ηνωμένων Εθνών, σύμφωνα με το οποίο οι γεωγραφικές περιοχές διακρίνονται σε: ηπείρους (ετικέτα **Region**), οι οποίες αποτελούνται από υπο-διαίρεσεις ηπείρων (ετικέτα **SubRegion**), οι οποίες περιλαμβάνουν χώρες (ετικέτα **Area**).

Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιείται μία επιπλέον διαίρεση, σύμφωνα με την κοινή ονοματολογία των εδαφικών στατιστικών μονάδων της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) ή NUTS). Κάθε χώρα της ΕΕ διαιρείται σε μικρότερες περιοχές NUTS τριών διαδοχικών επιπέδων, οι οποίες στο SustainGraph αντιστοιχούν στις ετικέτες **NUTS1**, **NUTS2** και **NUTS3**. Η Eurostat [30]

περιγράφει τις υποδιαίρεσεις αυτές ως :

- *NUTS1*: μεγάλες κοινωνικοοικονομικές περιφέρειες
- *NUTS2*: περιφέρειες κατάλληλες για την εφαρμογή περιφερειακών πολιτικών
- *NUTS3*: μικρές περιφέρειες για ειδικές διαγνώσεις

Οι διαφορετικοί τύποι Γεωπεριοχών και οι μεταξύ τους σχέσεις παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4. Στο αριστερότερο άκρο του σχήματος βρίσκεται ο κόμβος World που παριστάνει τον κόσμο, στον οποίο εμφωλεύονται διαδοχικά οι υπόλοιπες γεωγραφικές υποδιαίρεσεις μέχρι το επίπεδο *NUTS3*.



Σχήμα 3.4: Η δομή του τμήματος του SustainGraph που σχετίζεται με τις Γεωπεριοχές

### 3.2.3 Αναπαράσταση Πολιτικών σχετικών με την κλιματική αλλαγή

Στο SustainGraph έχει ενταχθεί ένα ακόμη σύνολο οντοτήτων, που σχετίζεται με πολιτικές που έχουν οριστεί για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Μία από αυτές, η Συμφωνία του Παρισιού θέτει ως στόχο την παγκόσμια μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και δομείται από εθνικά καθορισμένες συνεισφορές (Nationally Determined Contributions ή NDCs), οι οποίες παριστάνονται μέσω της οντότητας NDC. Οι συνεισφορές συνδέονται με συγκεκριμένους υπο-στόχους (Targets) των ΣΒΑ καθώς και με μία γεωπεριοχή (GeoArea).

Παράλληλα, στο επίπεδο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν οριστεί ποικίλες πολιτικές για την επίτευξη των ΣΒΑ. Μία από αυτές είναι η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal ή EGD) κύριος στόχος της οποίας είναι η μετάβαση σε μία Ευρώπη με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα ως το 2050. Έτσι, στο γράφο περιλαμβάνονται οι οντότητες EGD και Ambitions, δηλαδή φιλοδοξίες της Συμφωνίας σε συγκεκριμένους τομείς. Οι τομείς αυτοί στο SustainGraph αντιστοιχούν σε κόμβους Policy Area, κάθε ένας από τους οποίους μπορεί να συνδέεται με έναν ή περισσότερους ΣΒΑ.

Επιπλέον, έχει οριστεί ένα σύνολο από Ειδικές Συστάσεις ανά Χώρα (Country Specific Recommendations ή CSRs) για τα κράτη-μέλη της ΕΕ. Για αυτές έχει δημιουργηθεί

στο γράφο η οντότητα CSRecommendation. Κάθε Σύσταση σχετίζεται με μία γεωπεριοχή (GeoArea) και με έναν ή περισσότερους ΣΒΑ.

Με σκοπό την κατηγοριοποίηση των ΣΒΑ, έχουν προταθεί από τον ΟΗΕ 6 Μετασχηματισμοί απαραίτητοι για κάθε χώρα στην πορεία προς τη βιωσιμότητα [31]. Οι 6 Μετασχηματισμοί στο [31] παρουσιάζονται ως: *Education, Gender, and Inequality; Health, Well-being, and Demography; Energy Decolonization and Sustainable Industry; Sustainable Food, Land, Water, and Oceans; Sustainable Cities and Communities* και *Digital Revolution for Sustainable Development*. Στο SustainGraph, οι Μετασχηματισμοί ορίζονται από την οντότητα Transformation και συνδέονται με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία μέσω ενδιάμεσων κόμβων με ετικέτα EGD Policy Document. Η οντότητα Intervention έχει δημιουργηθεί για να αναπαραστήσει τις προτεινόμενες παρεμβάσεις για κάθε Μετασχηματισμό. Τα αναμενόμενα αποτελέσματα κάθε παρέμβασης φαίνονται στους κόμβους Intermediate Output, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται με το σχετικό ΣΒΑ.

Τέλος, το SustainGraph περιλαμβάνει ένα επιπλέον τμήμα σχετικό με την αναπαράσταση Μελετών Περίπτωσης (Case Studies) για τη δημιουργία περιοχών ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή μέσω συστημικών λύσεων ή καινοτομιών. Ως οντότητες στο γράφο συναντάμε τις Μελέτες Περίπτωσης (Case Studies), τους σχετικούς με το κλίμα Κινδύνους (Hazards) και τις Καινοτομίες (Innovations) που μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε Μελέτη Περίπτωσης. Για κάθε Μελέτη Περίπτωσης καταγράφονται στο SustainGraph πληροφορίες για τις προκλήσεις, τις δράσεις, τις αναμενόμενες επιπτώσεις, τους εμπλεκόμενους φορείς (Stakeholders) και τη γεωγραφική περιοχή εφαρμογής (GeoArea). Κάθε Μελέτη Περίπτωσης συνδέεται επίσης με τους Στόχους, τους υποστόχους και τους Δείκτες των ΣΒΑ, ενώ παρέχει πληροφορίες για επιπρόσθετους δείκτες από εξωτερικές πηγές. Οι Κίνδυνοι ταξινομούνται σύμφωνα με την τυπολογία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency) και περιλαμβάνουν 32 δείκτες που οργανώνονται σε 16 κατηγορίες κινδύνων και έξι βασικούς τύπους (ζέστη και κρύο, υγρασία και ξηρασία, άνεμος, χιόνι και πάγος, παράκτιες περιοχές, ανοικτός ωκεανός) [32]. Οι Καινοτομίες συνδέονται με συγκεκριμένους Κινδύνους και έχουν διαφορετικούς τομείς εφαρμογής. Επίσης, διαθέτουν πληροφορίες για τον ιδιοκτήτη τους και το Επίπεδο Τεχνολογικής Ετοιμότητας (Technology Readiness Level ή TRL). Το TRL αποτελεί μία μέθοδο εκτίμησης της ωριμότητας των καινοτομιών και οι τιμές του κυμαίνονται από το 1 (αρχικό στάδιο) έως το 9 (πλήρως λειτουργικό σύστημα).

Η σχηματοποίηση των πολιτικών και των Μελετών Περίπτωσης στο SustainGraph, που λειτουργούν συμπληρωματικά στην κεντρική δομή των Στόχων, Δεικτών και Γεωπεριοχών, φαίνονται στα σχήματα 3.5 και 3.6 αντίστοιχα.





## Μέρος **II**

### Πρακτικό Μέρος

---



## Κεφάλαιο 4

# Μηχανισμοί Ανάλυσης Δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής, σχετικά με την ανάλυση των διασυνδέσεων μεταξύ των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης και των Δεικτών αυτών. Στο υπόλοιπο της εργασίας, η αναφορά στους Δείκτες ως οντότητες του SustainGraph θα γίνεται με τον όρο *Indicator*, που αποτελεί και την ετικέτα των κόμβων Δεικτών στο γράφο.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ των χρονοσειρών που παρέχονται από την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) και αφορούν τις χώρες μέλη της ΕΕ.

## 4.1 Μηχανισμοί Ελέγχου Ποιότητας των Δεδομένων

### 4.1.1 Εξαγωγή και Ομαδοποίηση

Το πρωταρχικό βήμα για να προχωρήσουμε στην ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ των Δεικτών των ΣΒΑ είναι η επιλογή των δεδομένων προς ανάλυση και ο έλεγχος της καταλληλότητάς τους για ανάλυση.

Όπως εξηγήθηκε στην υποενότητα 3.2.1, στο SustainGraph κάθε κόμβος *Indicator* ακολουθείται διαδοχικά από κόμβους *Series* και *SeriesMetadata*. Αυτό συμβαίνει επειδή έχουν εφαρμοστεί διαφορετικά κριτήρια κατά τη μέτρηση της μετρικής που αντιπροσωπεύει κάθε δείκτης, με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλαπλά σύνολα μεταδεδομένων (Παρατηρήσεων) ανά δείκτη, ομαδοποιημένα με βάση το φύλο, την ηλικία, τη μονάδα μέτρησης κ.α. Αυτές οι διαφορές εντοπίζονται στις εξής ιδιότητες των κόμβων *SeriesMetadata*: *attributesCode* και *dimensionsCode*. Επομένως, θα πρέπει να επιλεγεί μία σειρά ανά δείκτη, σύμφωνα με αυτές τις ιδιότητες. Στη διαδικασία της επιλογής, προτιμούνται μεταδεδομένα εκφρασμένα σε ποσοστά (τιμή *PC* στην ιδιότητα *attributesCode*) και που παρουσιάζουν κάποια συνολική μέτρηση (δηλώνεται από ένα *T* στην ιδιότητα *dimensionsCode*).

Επίσης, επιλέγονται μόνο οι 106 Δείκτες για τους οποίους παρέχει δεδομένα η Eurostat, δηλαδή τους *Indicators* που συνδέονται στο γράφο με τον κόμβο *Source* με όνομα (*name*) *EU\_SDG*. Είναι απαραίτητο να ιχνηλατούμε και τις Γεωπεριοχές (*GeoArea*) στις οποίες αναφέρονται οι παρατηρήσεις που εξάγουμε. Δεδομένου ότι η ανάλυση που ακολουθεί γίνεται σε επίπεδο χώρας, θέλουμε να συγκεντρώσουμε τις Παρατηρήσεις που αναφέρονται σε χώρες, οι οποίες στο γράφο φέρουν την ετικέτα *Area* όπως εξηγήθηκε στην υποενότητα 3.2.2.

Όλα τα παραπάνω εκφράζονται στο ακόλουθο Cypher query:

```

MATCH (i:Indicator {code: $indicator_code}) -[:HAS_SERIES]->(s:Series)
-[:HAS_METADATA]->(sm:SeriesMetadata {attributesCode: $attributes_code,
dimensionsCode: $dimensions_code})
-[:HAS_OBSERVATION]->(o) -[:REFERS_TO_AREA]->(country:Area)
RETURN o.time.year AS Year, country.name AS Country, o.value AS Value
ORDER BY Year, Country

```

Κατά την επιλογή των μεταδεδομένων για κάθε δείκτη, παρατηρούμε την ύπαρξη δεικτών που είτε έχουν ανεπαρκή αριθμό παρατηρήσεων (συνήθως αναφέρονται σε συγκεκριμένες χώρες ή σε μικρότερες γεωπεριοχές *NUTS*), είτε περιγράφονται από τη Eurostat [33] ως EU aggregate, δηλαδή περιέχουν συνολικές μετρήσεις για ολόκληρη την ΕΕ. Αυτοί οι δείκτες είναι οι εξής:

Table 4.1: Πίνακας δεικτών που κριθηκαν ακατάλληλοι για συμμετοχή στην ανάλυση

|           | Description                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| sdg_2_10  | Obesity rate by body mass index (BMI)                             |
| sdg_4_70  | Share of individuals having at least basic digital skills, by sex |
| sdg_12_10 | Consumption of chemicals by hazardousness - EU aggregate          |
| sdg_14_10 | Surface of the marine protected areas                             |
| sdg_14_21 | Estimated trends in fish stock biomass, by fishing areas          |
| sdg_14_30 | Estimated trends in fishing pressure, by fishing area             |
| sdg_14_50 | Global mean surface seawater acidity                              |
| sdg_15_60 | Common bird index by type of species - EU aggregate               |
| sdg_15_61 | Grassland butterfly index - EU aggregate                          |

Η πλειάδα (Year, Country) χρησιμοποιείται ως MultiIndex στην ομαδοποίηση των δεδομένων των χρονοσειρών που εξάχθηκαν. Αυτό σημαίνει ότι οι Παρατηρήσεις ομαδοποιούνται σε πρώτο επίπεδο με βάση το έτος της παρατήρησης και σε δεύτερο επίπεδο με βάση τη χώρα στην οποία αναφέρονται, και συνθέτουν ενιαίες ανά δείκτη χρονοσειρές.

#### 4.1.2 Επιλογή και Έλεγχος Πληρότητας

Μετά από την επιλογή των Δεικτών, Σειρών και Μεταδεδομένων Σειράς προς ανάλυση, είναι απαραίτητη μία αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων, όσο αφορά τη διαθεσιμότητα δεδομένων ανά δείκτη, χώρα και έτος. Έτσι, είναι χρήσιμο να μετρήσουμε για κάθε χρονοσειρά που αντιστοιχεί σε Indicator:

- για πόσες χώρες υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα
- για πόσα έτη υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα
- πόσες παρατηρήσεις υπάρχουν συνολικά διαθέσιμες

Αυτά μας επιτρέπουν να συγκρίνουμε τον πραγματικό αριθμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων με το μέγιστο αναμενόμενο αριθμό παρατηρήσεων ανά Indicator, ο οποίος δίνεται από τη φόρμουλα:

$$\text{maximum\_number\_of\_observations} = \text{number\_of\_years} * \text{number\_of\_countries} * (\text{max\_year} - \text{min\_year} + 1)$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα ποσοστά πληρότητας ανά Δείκτη, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Για να επιλέξουμε το εύρος ετών της ανάλυσης υπολογίζουμε και τα ποσοστά κάλυψης ανά έτος.

Table 4.2: Ποσοστά πληρότητας δεδομένων ανά δείκτη

|            | Years Range  | Countries Count | Completeness (%) |
|------------|--------------|-----------------|------------------|
| sdg_01_10  | (2015, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_01_10a | (2015, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_01_20  | (2000, 2022) | 27              | 88.73            |
| sdg_01_20a | (2009, 2022) | 26              | 98.63            |
| sdg_01_31  | (2015, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_01_40  | (2015, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_01_41  | (2003, 2022) | 27              | 92.04            |
| sdg_01_50  | (2003, 2022) | 27              | 89.81            |
| sdg_02_20  | (2001, 2022) | 27              | 99.33            |
| sdg_02_30  | (2004, 2022) | 27              | 97.47            |
| sdg_02_40  | (2000, 2021) | 27              | 90.07            |
| sdg_02_60  | (1990, 2021) | 27              | 96.64            |
| sdg_03_11  | (2004, 2021) | 27              | 94.86            |
| sdg_03_20  | (2005, 2022) | 27              | 98.77            |
| sdg_03_30  | (2006, 2020) | 27              | 39.75            |
| sdg_03_41  | (2000, 2020) | 27              | 93.65            |
| sdg_03_42  | (2011, 2020) | 27              | 100.00           |
| sdg_03_60  | (2008, 2022) | 27              | 99.26            |
| sdg_04_10  | (2000, 2022) | 27              | 97.91            |
| sdg_04_10a | (2006, 2022) | 21              | 74.79            |
| sdg_04_20  | (2000, 2022) | 27              | 99.03            |
| sdg_04_31  | (2013, 2021) | 27              | 98.77            |
| sdg_04_40  | (2000, 2018) | 27              | 32.75            |
| sdg_04_60  | (2000, 2022) | 27              | 97.58            |
| sdg_05_20  | (2002, 2021) | 27              | 79.07            |
| sdg_05_30  | (2009, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_05_40  | (2000, 2022) | 27              | 95.17            |
| sdg_05_50  | (2003, 2022) | 27              | 98.52            |
| sdg_05_60  | (2003, 2022) | 27              | 98.52            |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

|            | Years Range  | Countries Count | Completeness (%) |
|------------|--------------|-----------------|------------------|
| sdg_06_10  | (2003, 2020) | 27              | 90.74            |
| sdg_06_20  | (2000, 2021) | 27              | 74.24            |
| sdg_06_30  | (2000, 2020) | 16              | 100.00           |
| sdg_06_40  | (2000, 2020) | 14              | 100.00           |
| sdg_06_50  | (2000, 2020) | 16              | 100.00           |
| sdg_06_60  | (2000, 2019) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_10  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_11  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_20  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_30  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_40  | (2004, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_50  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_07_60  | (2003, 2022) | 27              | 92.22            |
| sdg_08_10  | (2000, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_08_11  | (2000, 2022) | 27              | 98.71            |
| sdg_08_20  | (2003, 2022) | 27              | 71.11            |
| sdg_08_20a | (2006, 2022) | 23              | 84.40            |
| sdg_08_30  | (2009, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_08_30a | (2000, 2022) | 27              | 90.18            |
| sdg_08_40  | (2009, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_08_60  | (2010, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_09_10  | (2000, 2022) | 27              | 94.20            |
| sdg_09_30  | (2000, 2022) | 27              | 92.43            |
| sdg_09_40  | (2004, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_09_50  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_09_60  | (2005, 2021) | 25              | 100.00           |
| sdg_09_70  | (2008, 2021) | 27              | 93.39            |
| sdg_10_10  | (2000, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_10_20  | (2000, 2022) | 25              | 98.96            |
| sdg_10_30  | (2000, 2022) | 27              | 88.57            |
| sdg_10_41  | (2003, 2022) | 27              | 92.04            |
| sdg_10_50  | (2000, 2022) | 27              | 83.90            |
| sdg_10_60  | (2008, 2022) | 27              | 98.77            |
| sdg_11_11  | (2003, 2020) | 27              | 90.95            |
| sdg_11_20  | (2003, 2020) | 27              | 91.15            |
| sdg_11_31  | (2009, 2018) | 27              | 37.78            |
| sdg_11_40  | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_11_52  | (2005, 2020) | 27              | 93.75            |
| sdg_11_60  | (2000, 2021) | 27              | 97.81            |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

|           | Years Range  | Countries Count | Completeness (%) |
|-----------|--------------|-----------------|------------------|
| sdg_12_21 | (2000, 2022) | 27              | 67.79            |
| sdg_12_30 | (2000, 2021) | 27              | 88.38            |
| sdg_12_41 | (2010, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_12_51 | (2004, 2020) | 27              | 52.94            |
| sdg_12_61 | (2001, 2021) | 27              | 41.09            |
| sdg_13_10 | (1990, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_13_21 | (2000, 2020) | 27              | 100.00           |
| sdg_13_40 | (1980, 2021) | 27              | 44.36            |
| sdg_13_50 | (2014, 2021) | 27              | 94.44            |
| sdg_13_60 | (2010, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_14_60 | (2000, 2022) | 22              | 100.00           |
| sdg_15_10 | (2009, 2018) | 27              | 37.78            |
| sdg_15_41 | (2006, 2018) | 27              | 38.46            |
| sdg_15_50 | (2000, 2016) | 27              | 17.65            |
| sdg_16_10 | (2000, 2020) | 27              | 97.35            |
| sdg_16_20 | (2003, 2020) | 27              | 90.95            |
| sdg_16_30 | (2000, 2021) | 27              | 98.32            |
| sdg_16_40 | (2016, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_16_50 | (2012, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_16_60 | (2000, 2023) | 27              | 91.98            |
| sdg_17_10 | (2000, 2021) | 27              | 86.53            |
| sdg_17_20 | (2000, 2021) | 27              | 90.07            |
| sdg_17_30 | (2000, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_17_40 | (2000, 2022) | 27              | 100.00           |
| sdg_17_50 | (2000, 2021) | 27              | 100.00           |
| sdg_17_60 | (2013, 2021) | 27              | 100.00           |

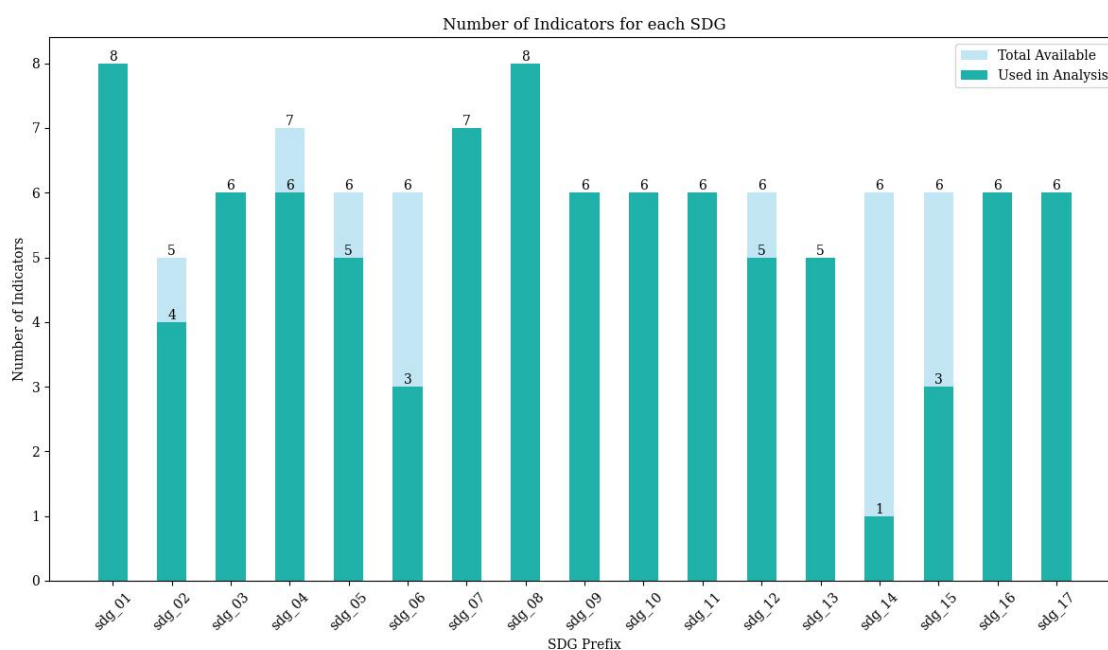
Συμπερασματικά, θεωρούμε κρίσιμο να περιληφθούν στην ανάλυση και οι 27 χώρες μέλη της ΕΕ, γνωστών ως EU27, και να χρησιμοποιηθεί το (2006, 2022) ως εύρος ετών. Ο χάρτης των 27 χωρών μελών της ΕΕ παρουσιάζεται στο Παράρτημα (κεφάλαιο 6).

Περιορίζοντας τα δεδομένα στις επιλεγμένες παρατηρήσεις, το νέο ποσοστό πληρότητας υπολογίζεται στα 77.84%. Ωστόσο, σύμφωνα με τη στήλη Countries Count του πίνακα 4.2, ορισμένοι δείκτες δεν περιέχουν παρατηρήσεις για κάποιες χώρες για όλα τα έτη. Αυτό καθιστά δύσκολη την εφαρμογή οποιασδήποτε τεχνικής συμπλήρωσης ελλিপών δεδομένων στο επόμενο βήμα. Οι 9 τέτοιοι Δείκτες με μεγάλο πλήθος ελλিপών τιμών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.

Table 4.3: Δείκτες και χώρες με ελλειπείς τιμές για όλα τα έτη

|            | Countries with all values missing                                                                                     | #  |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| sdg_01_20a | Romania                                                                                                               | 1  |
| sdg_04_10a | Bulgaria, Hungary, Lithuania, Poland, Romania, Slovakia                                                               | 6  |
| sdg_06_30  | Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Luxembourg, Malta, Netherlands, Portugal, Sweden                  | 11 |
| sdg_06_40  | Croatia, Denmark, Finland, Greece, Hungary, Italy, Lithuania, Luxembourg, Netherlands, Poland, Romania, Spain, Sweden | 13 |
| sdg_06_50  | Cyprus, Germany, Greece, Hungary, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Spain                      | 11 |
| sdg_08_20a | Bulgaria, Lithuania, Romania, Slovakia                                                                                | 4  |
| sdg_09_60  | Cyprus, Malta                                                                                                         | 2  |
| sdg_10_20  | Malta, Romania                                                                                                        | 2  |
| sdg_14_60  | Austria, Czechia, Hungary, Luxembourg, Slovakia                                                                       | 5  |

Συνεπώς, προχωρούμε στην απόρριψη από την ανάλυση συσχετίσεων των δεικτών εκείνων που δεν περιέχουν παρατηρήσεις για μεγάλο πλήθος χωρών. Το νέο ποσοστό πληρότητας υπολογίζεται στα 82.34%. Στο ακόλουθο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων Δεικτών σε σύγκριση με τον τελικό αριθμό Δεικτών που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση, ομαδοποιημένων ανάλογα με τον Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDG) στον οποίο υπάγονται. Από τους συνολικά 106 διαθέσιμους Δείκτες της Eurostat, επιλέγουμε τους 91 πληρέστερους.



Σχήμα 4.1: Κατανομή των Δεικτών προς ανάλυση ανά SDG

## 4.2 Μηχανισμοί Συμπλήρωσης Ελλιπών Τιμών

Αφού επιλέξαμε τους κατάλληλους δείκτες και μεταδεδομένα με μικρά ποσοστά ελλιπών τιμών (missing values), είναι απαραίτητο να εφαρμόσουμε τεχνικές συμπλήρωσης των ελλιπών τιμών για να προχωρήσουμε σε ανάλυση συσχετίσεων. Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές όπως η γραμμική παρεμβολή και η μέθοδος των  $k$  πλησιέστερων γειτόνων, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν και μέθοδοι Backward και Forward Fill.

Η γραμμική παρεμβολή linear interpolation [34] είναι μία μέθοδος προσέγγισης μίας ελλιπούς τιμής, η οποία βασίζεται στην κατασκευή μίας πολυωνυμικής συνάρτησης παρεμβολής μέσα σε ένα εύρος καθορισμένο από ένα σύνολο γνωστών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη στη διαχείριση μεμονωμένων ελλιπών τιμών που βρίσκονται ανάμεσα σε υπάρχουσες τιμές.

Ο αλγόριθμος των  $k$  πλησιέστερων γειτόνων (KNN imputer) [35] αποτελεί μία μέθοδο μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται πρωταρχικά για την ταξινόμηση παρατηρήσεων σε ομάδες (KNN ταξινομητής). Η ιδέα των πλησιέστερων γειτόνων μπορεί να αξιοποιηθεί και στην εκτίμηση ελλιπών παρατηρήσεων μέσω ενός υπάρχοντος δείγματος από τις  $k$  κοντινότερες τιμές.

Μετά από την εφαρμογή των ανωτέρω τεχνικών συμπλήρωσης, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι το σύνολο των δεδομένων είναι κατάλληλο για ανάλυση συσχετίσεων, εφόσον έχει ποσοστό πληρότητας 100.00%.

## 4.3 Ανάλυση Συσχετίσεων

### 4.3.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Συσχετίσεων

Συσχέτιση ή συνάφεια (correlation) ονομάζεται το στατιστικό μέγεθος που ποσοτικοποιεί το βαθμό στον οποίο δύο μεταβλητές μεταβάλλονται ταυτόχρονα [36]. Η ποσότητα που εκφράζει τόσο την ισχύ όσο και την κατεύθυνση της συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) και παίρνει τιμές μεταξύ -1 και 1. Το πρόσημο του συντελεστή συσχέτισης υποδηλώνει την κατεύθυνση ενώ η απόλυτη τιμή του υποδηλώνει την ισχύ της συσχέτισης δύο μεταβλητών. Τυπικά, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης συνοδεύεται από μία τιμή στατιστικής σημαντικότητας  $p$ -value. Για να θεωρηθεί ένα αποτέλεσμα στατιστικά σημαντικό, απαιτούμε η  $p$ -value να είναι μικρότερη από ένα επίπεδο σημαντικότητας. Στην ανάλυση συσχετίσεων που ακολουθεί χρησιμοποιείται η τιμή 0.05 ως κριτήριο σημαντικότητας των αποτελεσμάτων.

Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  του Pearson (Pearson product-moment correlation coefficient ή PPMCC) είναι ένας συντελεστής συσχέτισης που χρησιμοποιείται για να μετρήσει την ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο συνόλων δεδομένων. Ονομάζεται παραμετρικός συντελεστής επειδή αξιοποιεί ως παραμέτρους τις μέσες τιμές των δειγμάτων. Ο συντελεστής Pearson υπολογίζεται από τον τύπο:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Αντίθετα, ο ιεραρχικός συντελεστής συσχέτισης του Spearman  $\rho$  (Spearman's rank correlation coefficient) είναι ένας μη-παραμετρικός συντελεστής που αξιολογεί πόσο καλά μπορεί η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών να περιγραφεί από μία μονότονη συνάρτηση [37]. Ονομάζεται ιεραρχικός επειδή λαμβάνει υπόψη την ιεραρχία των τιμών των μεταβλητών, δηλαδή τις θέσεις των τιμών, όταν αυτές διατάσσονται σε σειρά. Ο συντελεστής Spearman δίνεται από τον τύπο :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

όπου  $n$  είναι το πλήθος των σημείων-δεδομένων και  $d_i$  είναι οι διαφορές στις θέσεις των σημείων-δεδομένων μεταξύ των μεταβλητών.

Λεδομένου ότι οι χρονοσειρές αποτελούν ιεραρχικά σύνολα δεδομένων και εφόσον δεν αναμένονται μόνο γραμμικές σχέσεις ανάμεσα στις χρονοσειρές Παρατηρήσεων των Δεικτών των ΣΒΑ, επιλέγουμε να εφαρμόσουμε συσχέτιση Spearman στην ανάλυσή μας.

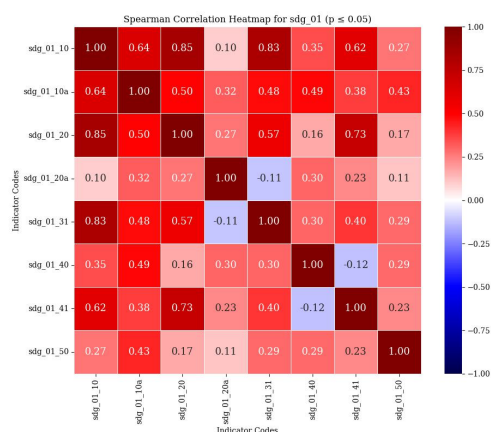
### 4.3.2 Συσχετίσεις ανάμεσα σε Δείκτες ίδιων ΣΒΑ

Ένα πρώτο βήμα στην ανάλυση είναι ο υπολογισμός των συσχετίσεων μεταξύ Δεικτών που υπάγονται στον ίδιο Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDG). Όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 4.1, σε κάθε έναν από τους 17 SDGs αντιστοιχούν ένας έως 8 Δείκτες οι οποίοι αναμένεται να έχουν υψηλές τιμές συσχετίσεων μεταξύ τους, καθώς αφορούν συναφείς κοινωνικές ή περιβαλλοντικές μετρικές. Όπως εξηγείται αναλυτικότερα στην υποενότητα 4.5, οι Δείκτες των οποίων οι χρονοσειρές παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση δεν είναι απαραίτητα αντικρουόμενοι Δείκτες.

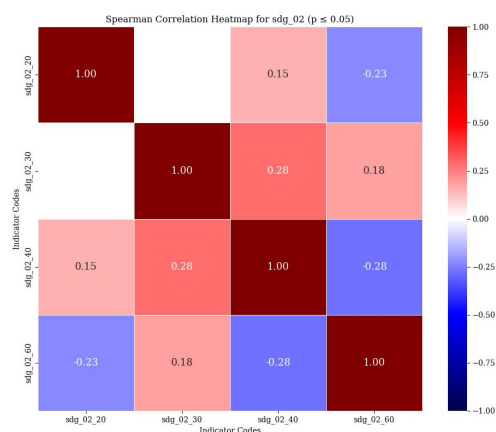
Η οπτικοποίηση των συσχετίσεων μεταξύ ζευγών Δεικτών κοινού ΣΒΑ (SDG) γίνεται με τη χρήση χαρτών θερμότητας (Heatmap). Κάθε πλακίδιο ενός χάρτη θερμότητας αντιστοιχεί στη συσχέτιση ενός ζεύγους Δεικτών και χρωματίζεται ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης του ζεύγους αυτού. Συγκεκριμένα, οι υψηλές θετικές συσχετίσεις συμβολίζονται με σκούρο κόκκινο (θερμό) ενώ οι κατά απόλυτη τιμή υψηλές αρνητικές συσχετίσεις συμβολίζονται με σκούρο μπλε χρώμα (ψυχρό). Στους ακόλουθους χάρτες θερμότητας (Σχήματα 4.2 έως 4.17), σημειώνεται ότι

- οπτικοποιούνται μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με  $p < 0.05$  ενώ οι μη-σημαντικές αποτελούν κενά (λευκά) πλακίδια,
- παραλείπεται ο χάρτης που αντιστοιχεί στο Στόχο SDG\_14: *Life below Water*, ο οποίος εκπροσωπείται από μόνο έναν Δείκτη στην ανάλυση, που έχει τετριμμένη συσχέτιση με τον εαυτό του ίση με 1.00,
- οι χάρτες είναι συμμετρικοί ως προς τη διαγώνιό τους, καθώς η μετρική της συσχέτισης αφορά μη-διατεταγμένα ζεύγη χρονοσειρών.

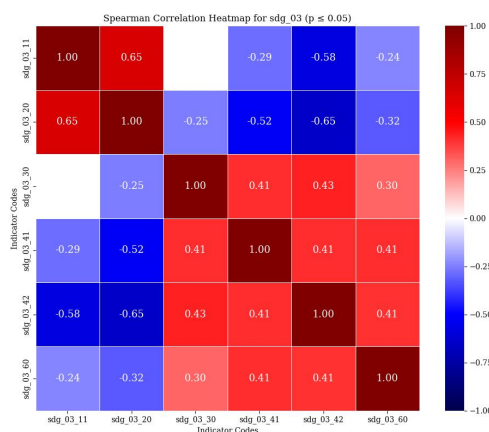
Οι χάρτες θερμότητας επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ισχυρά συσχετισμένων ζευγών Δεικτών που υπάγονται στον ίδιο ΣΒΑ. Τις υψηλότερες τιμές συσχέτισης παρουσιάζουν Δείκτες οι οποίοι αντιστοιχούν σε παρεμφερείς μετρικές και έχουν χαρακτηριστεί ως όμοιοι.



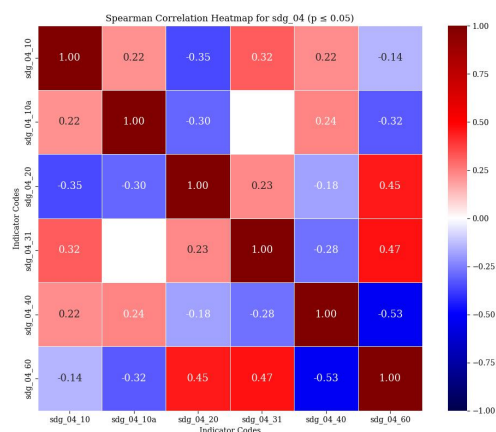
Σχήμα 4.2: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_01: No Poverty



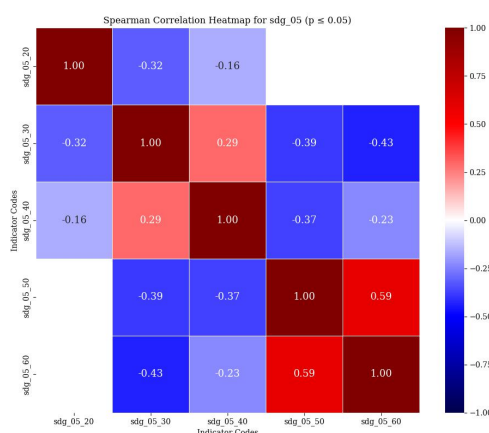
Σχήμα 4.3: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_02: Zero Hunger



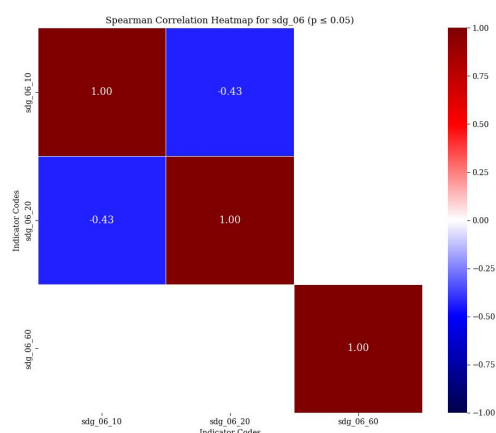
Σχήμα 4.4: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_03: Good Health and Well-Being



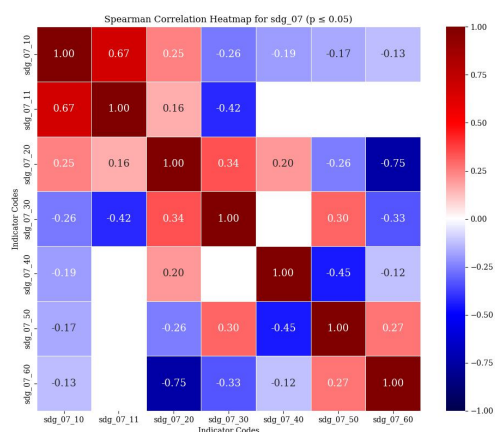
Σχήμα 4.5: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_04: Quality Education



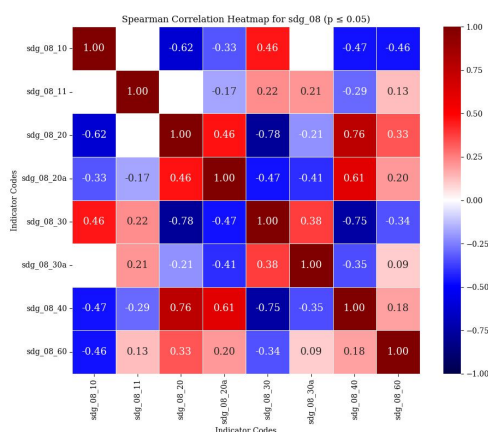
Σχήμα 4.6: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_05: Gender Equality



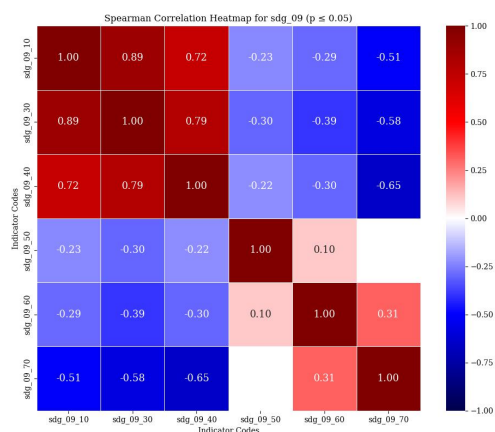
Σχήμα 4.7: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_06: Clean Water and Sanitation



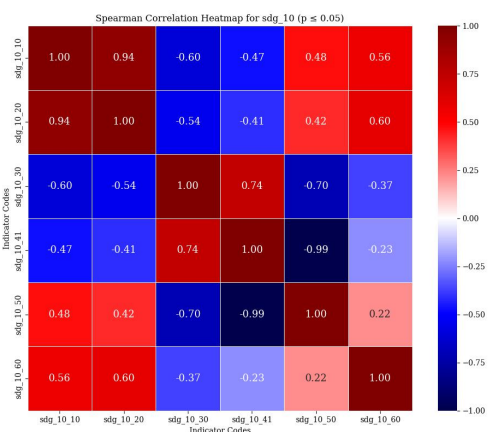
Σχήμα 4.8: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_07: Affordable and Clean Energy



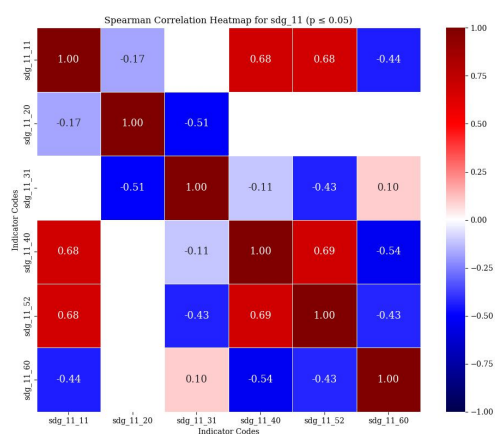
Σχήμα 4.9: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_08: Decent Work and Economic Growth



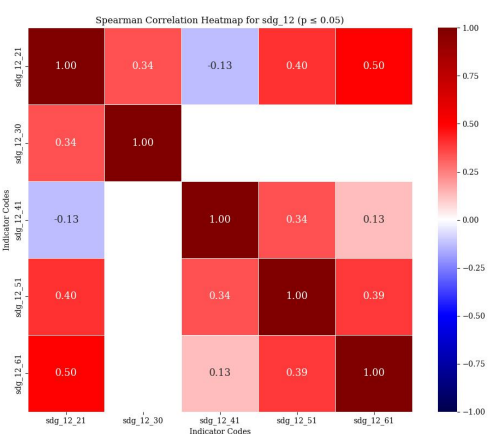
Σχήμα 4.10: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_09: Industry, Innovation and Infrastructure



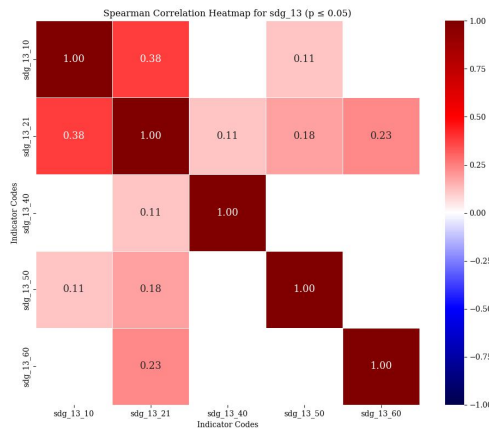
Σχήμα 4.11: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_10: Reduced Inequalities



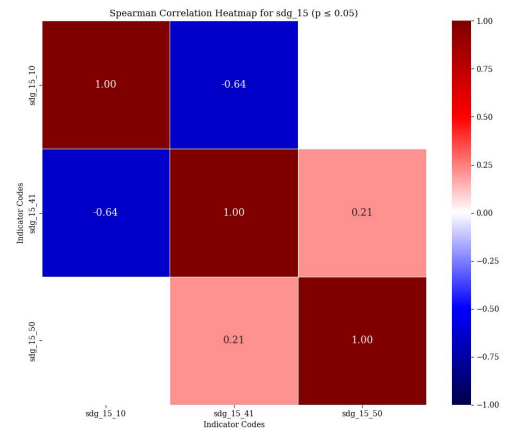
Σχήμα 4.12: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_11: Sustainable Cities and Communities



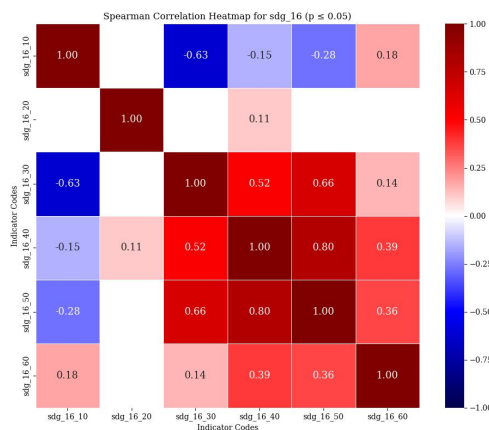
Σχήμα 4.13: Χάρτης θερμότητας για τον SDG\_12: Responsible Consumption and Production



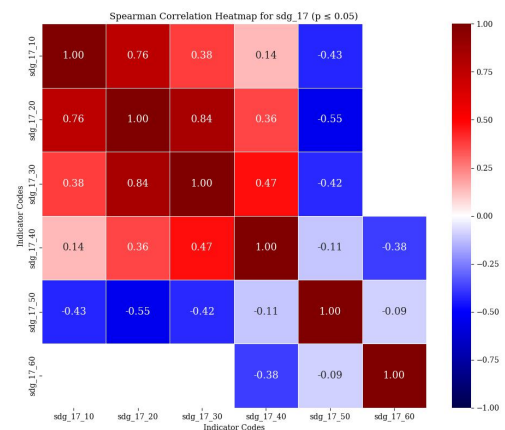
Σχήμα 4.14: Χάρτης θερμότητας για τον *SDG\_13: Climate Action*



Σχήμα 4.15: Χάρτης θερμότητας για τον *SDG\_15: Life on Land*



Σχήμα 4.16: Χάρτης θερμότητας για τον *SDG\_16: Peace, Justice and Strong Institutions*



Σχήμα 4.17: Χάρτης θερμότητας για τον *SDG\_17: Partnership for the Goals*

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι στόχοι *SDG\_01: No Poverty*, *SDG\_09: Industry, Innovation and Infrastructure* και *SDG\_10: Reduced Inequalities* για τους οποίους παρατηρούνται υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των Δεικτών τους. Συγκεκριμένα,

- στο Σχήμα 4.2 του *SDG\_01: No Poverty*, είναι λογικό να εμφανίζονται υψηλές τιμές συσχετίσεων εφόσον σε αυτόν ανήκουν πολλά ζεύγη Δεικτών τα οποία χαρακτηρίζονται ανά δύο όμοια. Οι Δείκτες αυτοί αφορούν μετρικές σχετικές με τα επίπεδα φτώχειας ανά χώρα όπως ενδεικτικά: *Άτομα σε κίνδυνο φτώχειας ή κοινωνικού αποκλεισμού (sdg\_01\_10)*, *Ποσοστό σοβαρής υλικής και κοινωνικής στέρησης ανά ηλικιακή ομάδα και φύλο (sdg\_01\_31)*, *Ποσοστό εργαζομένων σε κίνδυνο φτώχειας (sdg\_01\_41)*.
- στο Σχήμα 4.10 του *SDG\_09: Industry, Innovation and Infrastructure* διακρίνονται τρεις Δείκτες που είναι ανά δύο ισχυρά συσχετισμένοι. Σημειώνεται ότι η επένδυση κάθε χώρας στην Έρευνα και Ανάπτυξη τόσο σε πόρους όσο και σε προσωπικό (Δείκτες *sdg\_09\_10* και *sdg\_09\_30*) φαίνεται να συνδέεται με τον αριθμό των Αιτήσεων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας στο Ευρωπαϊκό Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας (Δείκτης *sdg\_09\_40*).
- στο Σχήμα 4.11 του *SDG\_10: Reduced Inequalities* παρατηρούνται επίσης ζεύγη υψηλών συσχετίσεων λόγω ομοιότητας. Αφορούν Δείκτες που εκφράζουν τις κοινωνικές ανισότητες με οικονομικά δεδομένα, όπως: *κατά κεφαλή ΑΕΠ σε ισοδύναμο Αγοραστικής Δύναμης (sdg\_10\_10)*, *κατά κεφαλή Ακαθάριστο Διαθέσιμο Εισόδημα Νοικοκυριών (sdg\_10\_20)*, *Κατανομή Εισοδήματος (sdg\_10\_41)* και *Σχετική απόσταση από το διάμεσο εισόδημα για άτομα σε κίνδυνο φτώχειας (sdg\_10\_30)*.

Στους θερμικούς χάρτες των στόχων *SDG\_02: Zero Hunger*, *SDG\_16: Peace, Justice and Strong Institutions* και *SDG\_17: Partnership for the Goals* παρατηρούνται μεμονωμένα ζεύγη ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελούν ο Δείκτης για την *Αντίληψη της ανεξαρτησίας του δικαστικού συστήματος (sdg\_16\_40)* και ο Δείκτης *Διαφθοράς (sdg\_16\_50)*. Η θετική συσχέτιση υποδηλώνει ότι σε χώρες όπου το σύστημα δικαιοσύνης θεωρείται από τους πολίτες πιο ανεξάρτητο, ο δείκτης διαφθοράς τείνει να είναι χαμηλότερος.

Επιπλέον, οι στόχοι με τα μεγαλύτερα ποσοστά στατιστικά μη-σημαντικών ζευγών είναι οι *SDG\_06: Clean Water and Sanitation*, *SDG\_07: Affordable and Clean Energy*, *SDG\_11: Sustainable Cities and Communities*, *SDG\_13: Climate Action* και *SDG\_16: Peace, Justice and Strong Institutions*. Ειδικότερα, στα μη-σημαντικά ζεύγη φαίνεται να συμμετέχουν συγκεκριμένοι Δείκτες ανά ΣΒΑ, οι οποίοι αντιστοιχούν σε πολύ ειδικές μετρικές με μη εμφανείς τάσεις. Παραδείγματα τέτοιων Δεικτών είναι: *Νοικοκυριά που θεωρούν ότι υποφέρουν από θόρυβο (sdg\_11\_20)* και *Μέσες εκπομπές CO2 ανά χλμ. από επιβατικά αυτοκίνητα (sdg\_13\_31)*.

Η γενική παρατήρηση που προκύπτει από το πρώτο βήμα της ανάλυσης συσχετίσεων και της οπτικοποίησης τους σε χάρτες θερμότητας είναι ότι σε επίπεδο SDG, η πλειονότητα των ζευγών Δεικτών παρουσιάζουν από μέτρια έως ισχυρή συσχέτιση. Το άλλοτε θετικό και αρνητικό πρόσημο στις τιμές των συντελεστών οφείλεται στη φύση των μετρικών που αντιπροσωπεύουν οι Δείκτες.

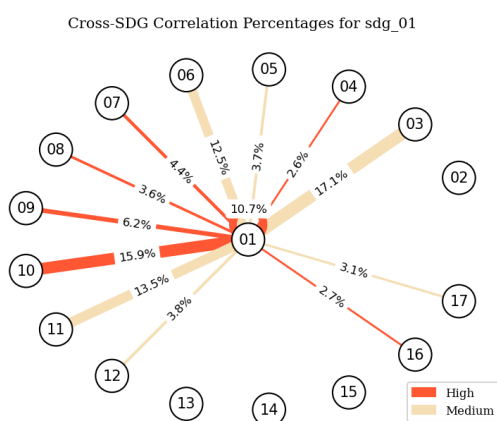
### 4.3.3 Συσχετίσεις Δεικτών ανάμεσα σε ΣΒΑ

Είναι σημαντικό να επεκταθεί η παραπάνω ανάλυση και σε ζεύγη Δεικτών που ανήκουν σε διαφορετικούς Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης. Το πλήθος των πιθανών ζευγών Δεικτών, συμπεριλαμβανομένου των ζευγών Δεικτών με κοινό πρόθεμα, δίνεται από το συνδυασμό

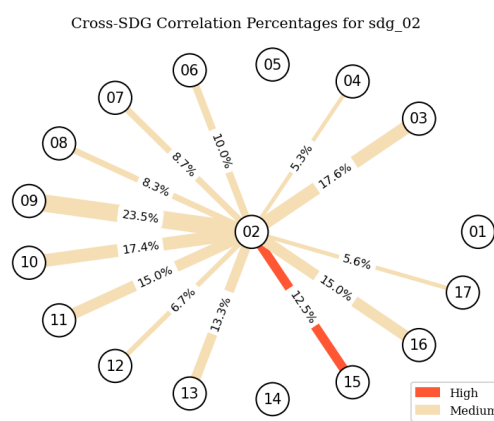
$$total\_pairs = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$$

ο οποίος αποτιμάται στα 4095 ζεύγη Δεικτών. Για την ευανάγνωστη οπτικοποίηση των συσχετίσεων 4095 ζευγών Δεικτών και την ευκολότερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ακολουθείται διαφορετική προσέγγιση:

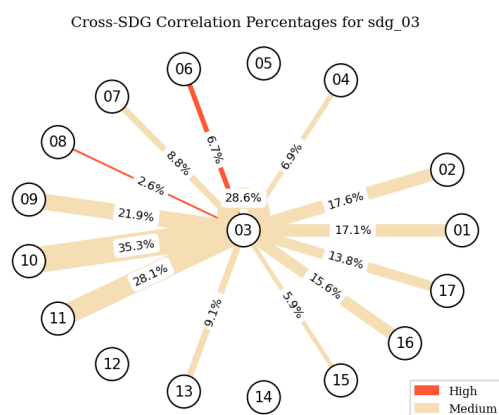
- αγνοείται η κατεύθυνση των συσχετίσεων εφόσον παίρνουμε την απόλυτη τιμή των συντελεστών συσχέτισης  $\rho$ ,
- κάθε στατιστικά σημαντική ( $p < 0.05$ ) τιμή συσχέτισης κατατάσσεται σε μία από τις κατηγορίες: Υψηλής Συσχέτισης για τιμές  $|\rho| > 0.7$ , Μέτριας Συσχέτισης για τιμές  $0.7 > |\rho| > 0.5$  και Χαμηλής για όλες τις υπόλοιπες τιμές,
- τα ζεύγη Δεικτών ομαδοποιούνται σε ζεύγη Στόχων σύμφωνα με τα προθέματα τους,
- για κάθε ζεύγος Στόχων, υπολογίζονται τα Υψηλά και Μέτρια συσχετισμένα ζεύγη Δεικτών ως ποσοστό των στατιστικά σημαντικών ζευγών Δεικτών ανά ζεύγος Στόχων.
- τα ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης οπτικοποιούνται με τη μορφή ενός μη κατευθυνόμενου γραφήματος ανά Στόχο όπου οι κόμβοι αποτελούν τους 17 ΣΒΑ (SDGs) και το χρώμα και το πάχος των ακμών δηλώνουν το είδος (*High* ή *Medium Correlation*) και το μέγεθος του ποσοστού.



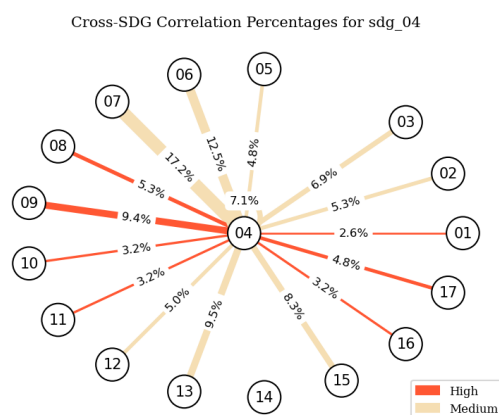
Σχήμα 4.18: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_01



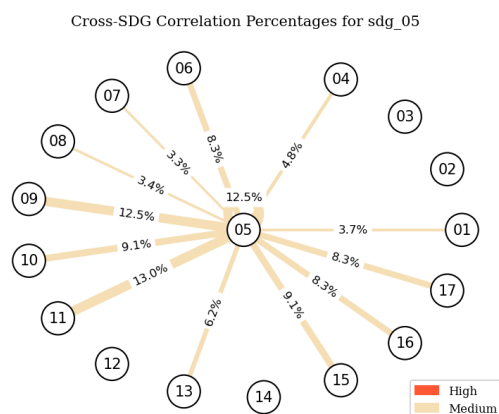
Σχήμα 4.19: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_02



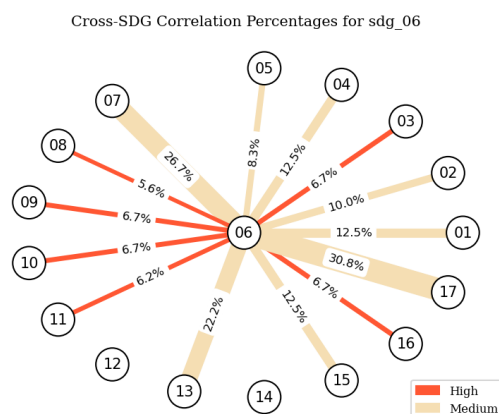
Σχήμα 4.20: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_03



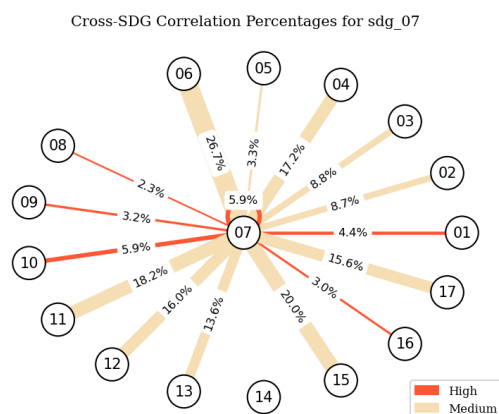
Σχήμα 4.21: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_04



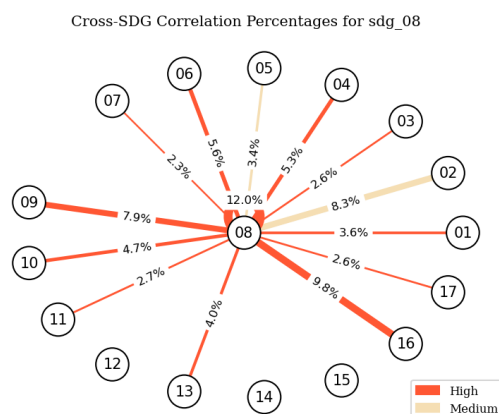
Σχήμα 4.22: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_05



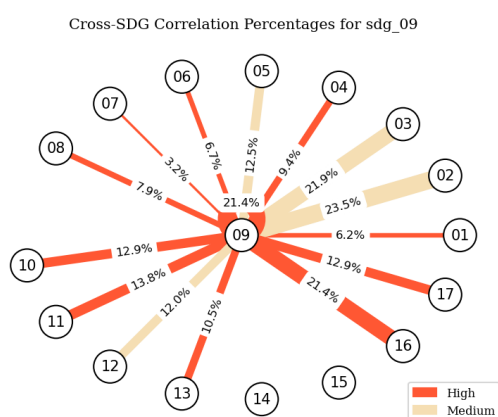
Σχήμα 4.23: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_06



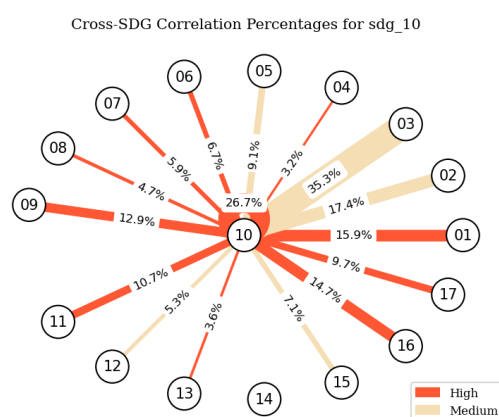
Σχήμα 4.24: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_07



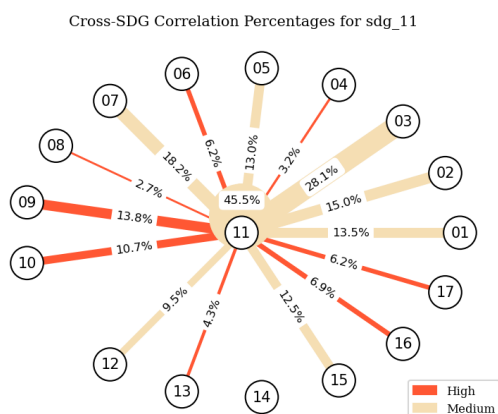
Σχήμα 4.25: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_08



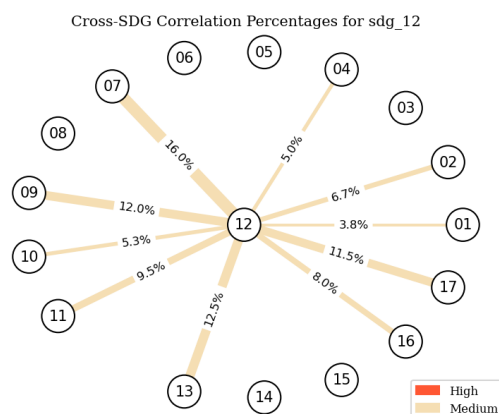
Σχήμα 4.26: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_09



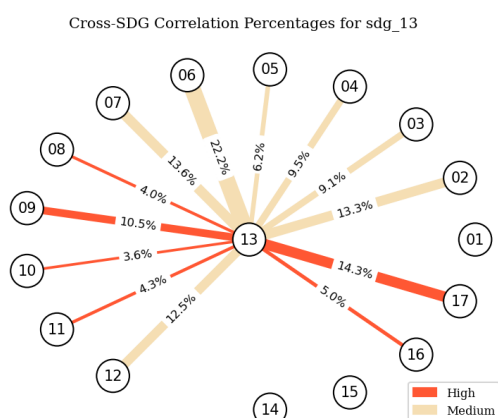
Σχήμα 4.27: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_10



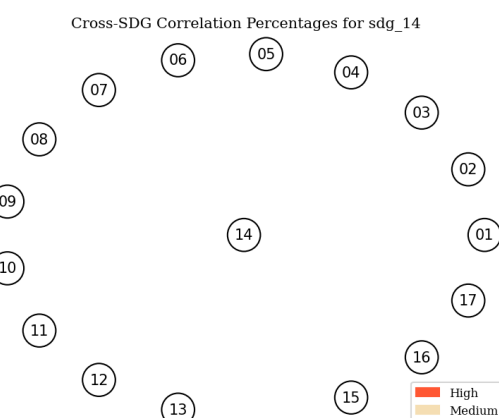
Σχήμα 4.28: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_11



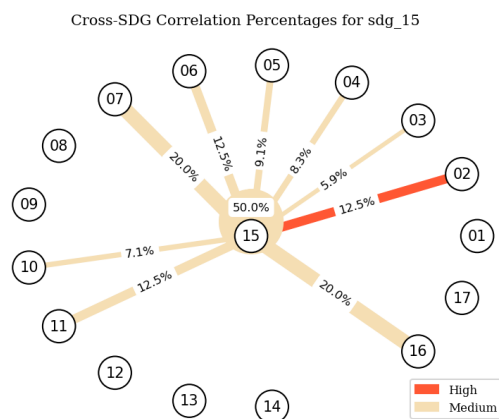
Σχήμα 4.29: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_12



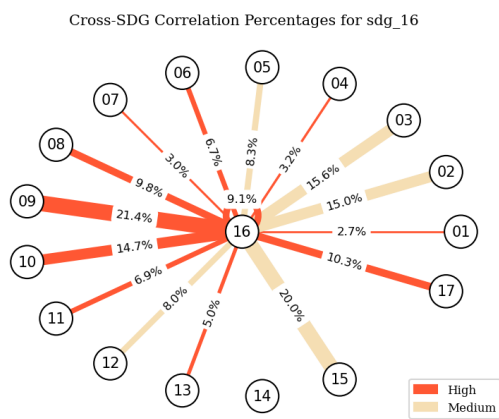
Σχήμα 4.30: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_13



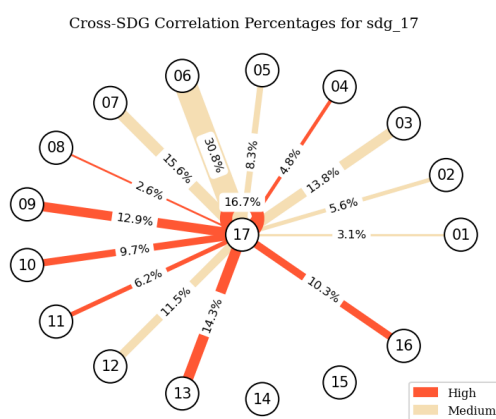
Σχήμα 4.31: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_14



Σχήμα 4.32: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_15

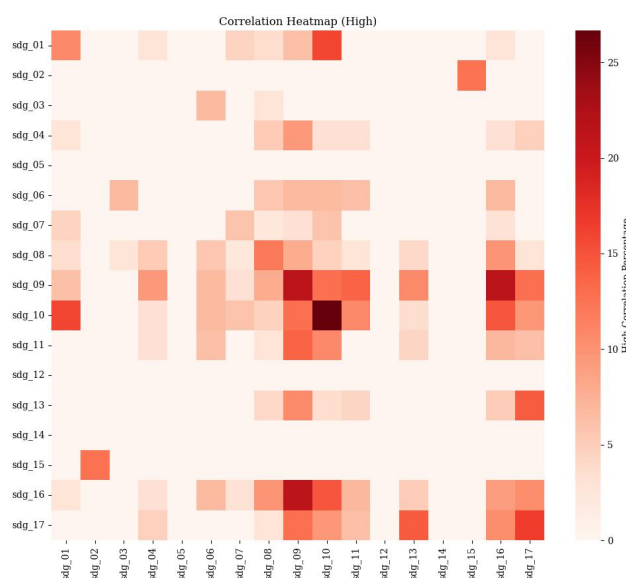


Σχήμα 4.33: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_16



Σχήμα 4.34: Ποσοστά Υψηλής και Μέτριας Συσχέτισης για τον SDG\_17

Συγκεντρωτικά, τα ποσοστά Υψηλών Συσχετίσεων μπορούν να αναπαρασταθούν με τη χρήση ενός θερμικού χάρτη 17x17, όπου αυτή τη φορά τα πλακίδια θα αντιστοιχούν σε ζεύγη Στόχων και ο χρωματισμός θα συμβολίζει το ποσοστό Υψηλών Συσχετίσεων μεταξύ κάθε ζεύγους ΣΒΑ.



Σχήμα 4.35: Χάρτης θερμότητας υψηλών συσχετίσεων μεταξύ των 17 SDGs

Η ανωτέρω ανάλυση καταδεικνύει ότι οι Δείκτες δεν εμφανίζουν συσχέτιση μόνο σε επίπεδο Στόχου αλλά μπορεί να συσχετίζονται με άλλους Δείκτες από διαφορετικούς Στόχους. Συνολικά, προέκυψαν 110 ζεύγη Δεικτών με υψηλή συσχέτιση ( $|ρ| > 0.7$ ).

Ο στόχος *SDG\_09: Industry, Innovation and Infrastructure* φαίνεται να είναι ο περισσότερο συνδεδεμένος στόχος με άλλους ΣΒΑ καθώς εμφανίζει τουλάχιστον ένα ζεύγος ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών με τους στόχους: *SDG\_02*, *SDG\_04*, *SDG\_06*, *SDG\_07*, *SDG\_08*, *SDG\_10*, *SDG\_11*, *SDG\_13*, *SDG\_16* και *SDG\_17*.

Υψηλές συσχετίσεις με μεγάλο πλήθος ΣΒΑ εμφανίζουν και οι στόχοι *SDG\_10: Reduced Inequalities*, *SDG\_08: Decent Work and Economic Growth* και *SDG\_16: Peace, Justice and Strong Institutions*.

Όπως γίνεται φανερό από τα γραφήματα, έχουν καταγραφεί Υψηλές ή Μέτριες συσχετίσεις ανάμεσα στη συντριπτική πλειονότητα των συνολικά 136 πιθανών ζευγών ΣΒΑ. Ο μοναδικός Δείκτης που ανήκει στο στόχο *SDG\_14*, *sdg\_14\_60: Marine Waters Affected By Eutrophication*, δεν εμφανίζει συνάφεια με κανέναν από τους υπόλοιπους Δείκτες των άλλων ΣΒΑ. Αξιοσημείωτοι είναι οι στόχοι *SDG\_04: Quality Education*, *SDG\_07: Affordable and Clean Energy*, *SDG\_11: Sustainable Cities and Communities*, *SDG\_10* και *SDG\_16* οι οποίοι παρουσιάζουν τουλάχιστον Μέτρια συσχέτιση με όλους τους υπόλοιπους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης πλην του *SDG\_14*.

Ως περισσότερο απομονωμένοι εκτός του *SDG\_14* εμφανίζονται οι Στόχοι *SDG\_05: Gender Equality* και *SDG\_12: Responsible Consumption and Production*, για τους οποίους δεν καταγράφεται κανένα ζεύγος ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών με άλλους ΣΒΑ.

Μπορούμε να αξιολογήσουμε την ευστάθεια των αποτελεσμάτων της ανάλυσης εάν επικεντρωθούμε σε επιλεγμένα ζεύγη ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών για να ερμηνεύσουμε τις διασυνδέσεις μεταξύ των ΣΒΑ. Είναι εύλογο ζεύγη Στόχων όπως οι ΣΒΑ 1 και 10 να συνδέονται από ισχυρές συσχετίσεις δεδομένου ότι τα ποσοστά φτώχειας συνδέονται άρρηκτα με τα οικονομικά δεδομένα μίας χώρας και τις κοινωνικές ανισότητες.

#### **Διασύνδεση μεταξύ των ΣΒΑ 1 και 8** Η υψηλή θετική συσχέτιση των Δεικτών

- *sdg\_01\_10: Άτομα σε κίνδυνο φτώχειας ή κοινωνικού αποκλεισμού και*
- *sdg\_01\_31: Ποσοστό σοβαρής υλικής και κοινωνικής στέρησης ανά ηλικιακή ομάδα και φύλο*

με το Δείκτη *sdg\_08\_20*: Άτομα ούτε σε απασχόληση ούτε στην εκπαίδευση ανά φύλο αποδεικνύει μεγάλο ποσοστό επικάλυψης μεταξύ των ατόμων σε κίνδυνο φτώχειας ή κοινωνικού αποκλεισμού και του άνεργου πληθυσμού. Επιβεβαιώνεται πώς η εκπαίδευση και η ένταξη στην αγορά εργασίας μπορεί να βοηθήσει τα νεαρά άτομα να ξεπεράσουν τη φτώχεια. Στο ίδιο πλαίσιο, παρατηρείται συσχέτιση των παραπάνω Δεικτών με τον *sdg\_04\_60*: Συμμετοχή ενηλίκων στη δια βίου μάθηση, ο οποίος ανήκει στο ΣΒΑ 4.

**Διασύνδεση μεταξύ των ΣΒΑ 1 και 9** Αντίστοιχα, οι Δείκτες *sdg\_01\_10* και *sdg\_01\_31* παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τους

- *sdg\_09\_30: Προσωπικό στην Έρευνα και Ανάπτυξη ανά τομέα και*
- *sdg\_09\_40: Αιτήσεις Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας στο Ευρωπαϊκό Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας,*

γεγονός που υποδηλώνει ότι σε περιοχές με υψηλά ποσοστά πληθυσμού που δεν μπορεί να καλύψει τις βασικές ανάγκες του, εμποδίζεται η έρευνα και ανάπτυξη, και παρατηρείται μειωμένη καινοτομία μέσω διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Από την άλλη, η καινοτομία και η τεχνολογία μπορούν να βοηθήσουν τους πληθυσμούς να ξεπεράσουν τη φτώχεια.

**Διασύνδεση μεταξύ των ΣΒΑ 8 και 9** Είναι λογική απόρροια των παραπάνω διασυνδέσεων να εμφανίζονται διασυνδεδεμένοι και οι ΣΒΑ 8 και 9 μεταξύ τους μέσω των Δεικτών *sdg\_09\_30*, *sdg\_09\_40* και *sdg\_08\_10*. Οι συσχετίσεις αυτές είναι ενδεικτικές της αμοιβαίας σχέσης μεταξύ οικονομικής απόδοσης μιας χώρας με την έρευνα, την ανάπτυξη και την καινοτομία.

**Διασύνδεση μεταξύ των ΣΒΑ 9 και 11** Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συσχετίσεις που ανιχνεύονται μεταξύ των Δεικτών του ΣΒΑ 9 και ορισμένων Δεικτών του ΣΒΑ 11, όπως *sdg\_11\_60*: Ποσοστό ανακύκλωσης αστικών αποβλήτων. Είναι εύλογο οι στόχοι σχετικοί με τις Υποδομές και την Καινοτομία (ΣΒΑ 9) να παρουσιάζουν σχέσεις συνέργειας με τη βιωσιμότητα των πόλεων (ΣΒΑ 11).

**Διασύνδεση μεταξύ των ΣΒΑ 8 και 16** Η συσχέτιση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ (*sdg\_08\_10*) με τους Δείκτες

- *sdg\_16\_40: Αντίληψη της ανεξαρτησίας του δικαστικού συστήματος και*
- *sdg\_16\_50: Δείκτης Διαφθοράς*

είναι ενδεικτική μίας καλά εδραιωμένης πραγματικότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση: οι χώρες μέλη με υψηλά ΑΕΠ φαίνεται να έχουν πιο ακέραιους θεσμούς σε σχέση με χώρες χαμηλών ΑΕΠ, όπου ενδεχομένως συναντάται διαφθορά και αναξιοπιστία στους θεσμούς του κράτους.

**Διασύνδεση μεταξύ του ΣΒΑ 7 και των ΣΒΑ 1 και 10** Σε συνέχεια των ισχυρών συσχετίσεων, παρατηρούμε μεμονωμένες συσχετίσεις ανάμεσα στο Δείκτη *sdg\_07\_30: Παραγωγικότητα της Ενέργειας* και στους Δείκτες οικονομικής φύσης *sdg\_08\_10* και *sdg\_10\_10* των ΣΒΑ 8 και 10. Η Παραγωγικότητα της Ενέργειας εκφράζει την οικονομική απόδοση που παράγεται ανά μονάδα συνολικής διαθέσιμης ενέργειας [38]. Συνεπώς, η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας ευνοεί την οικονομία και την ευημερία των νοικοκυριών.

**Λοιπές συσχετίσεις** Κάποιες επιπρόσθετες μεμονωμένες συσχετίσεις μεταξύ Δεικτών διαφορετικών ΣΒΑ παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Η συσχέτιση που ανιχνεύθηκε μεταξύ των:

- *sdg\_02\_60: Εκπομπές Αμμωνίας από τη γεωργία*
- *sdg\_15\_41: Δείκτης Κάλυψης Εδάφους*

σημαίνει ότι σε περιοχές με καλύτερη διαχείριση της γης –και συνεπώς μικρότερο δείκτη κάλυψης εδάφους–, παρατηρούνται μικρότερα ποσοστά αμμωνίας από τη γεωργία στο έδαφος. Αυτό συνδέει το δείκτη κάλυψης εδάφους με βιωσιμότερες καλλιεργητικές πρακτικές.

Τέλος, αναφέρουμε και τις συσχετίσεις μεταξύ του *sdg\_13\_50: Συμβολή στη Διεθνή Δέσμευση για δαπάνες που αφορούν το κλίμα* και των

- *sdg\_17\_10: Αναπτυξιακή Βοήθεια ως ποσοστό του Ακαθάριστου Εθνικού Εισοδήματος*
- *sdg\_17\_20: Χρηματοδότηση της ΕΕ προς αναπτυσσόμενες χώρες*

Αυτές δείχνουν πως χώρες της ΕΕ που λαμβάνουν Αναπτυξιακή Βοήθεια συνεισφέρουν λιγότερα στους παγκόσμιους περιβαλλοντικούς στόχους, ενώ χώρες της ΕΕ οι οποίες συνεισφέρουν περισσότερο, συνεισφέρουν περισσότερο και στις οικονομίες των αναπτυσσόμενων χωρών.

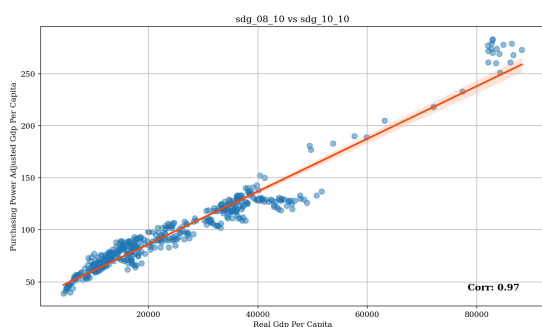
#### 4.3.4 Διαγράμματα Διασποράς

Για να γίνει και διαισθητικά κατανοητή η έννοια της συσχέτισης μεταξύ δύο χρονοσειρών, είναι χρήσιμο να αναπαραστήσουμε τις χρονοσειρές αυτές σε ένα κοινό διάγραμμα. Την οπτικοποίηση της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών διευκολύνουν τα διαγράμματα διασποράς ή Scatter plots [36], όπου κάθε μεταβλητή αντιστοιχίζεται σε έναν άξονα και τα δεδομένα παρουσιάζονται ως ένα νέφος σημείων στο επίπεδο.

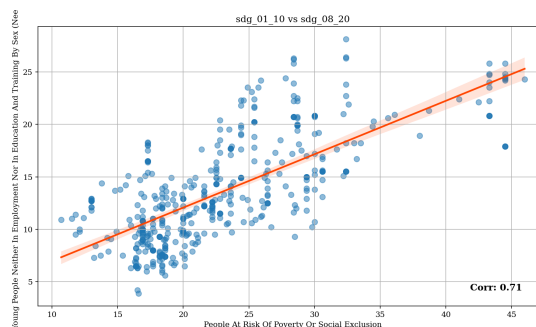
Η καμπύλη παλινδρόμησης (regression curve) είναι μία καμπύλη που χρησιμοποιείται για να περιγράψει προσεγγιστικά τη σχέση μεταξύ δύο συσχετισμένων συνόλων δεδομένων

και μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα διάγραμμα διασποράς. Στις περιπτώσεις μεταβλητών όπου μπορούμε να ανιχνεύσουμε γραμμική σχέση, η καμπύλη παλινδρόμησης έχει τη μορφή ευθείας γραμμής.

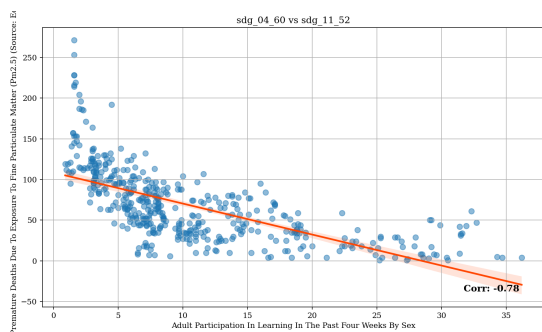
Παρακάτω παρατίθενται κάποια ενδεικτικά Διαγράμματα Διασποράς μαζί με τις αντίστοιχες ευθείες παλινδρόμησης για επιλεγμένα ζεύγη ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.36 οπτικοποιείται η γραμμική σχέση που έχουν δύο Δείκτες που κατατάσσονται ως όμοιοι με συντελεστή συσχέτισης 0.97 ενώ στο 4.37 βλέπουμε ένα ζεύγος ασθενέστερα συσχετισμένων Δεικτών. Στα Σχήματα 4.38 και 4.39 παρουσιάζονται ζεύγη Δεικτών με αρνητικό συντελεστή συσχέτισης.



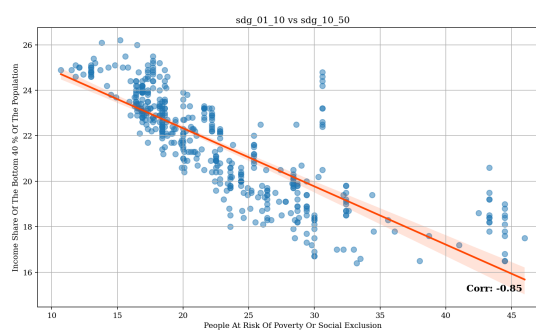
Σχήμα 4.36: Διάγραμμα διασποράς για τους *sdg\_08\_10: Real Gdp Per Capita* και *sdg\_10\_10: Purchasing Power Adjusted Gdp Per Capita*



Σχήμα 4.37: Διάγραμμα διασποράς για τους *sdg\_01\_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion* και *sdg\_08\_20: Young People Neither In Employment Nor In Education And Training By Sex*



Σχήμα 4.38: Διάγραμμα διασποράς για τους *sdg\_04\_60: Adult Participation In Learning In The Past Four Weeks By Sex* και *sdg\_11\_52: Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particulate Matter*



Σχήμα 4.39: Διάγραμμα διασποράς για τους *sdg\_01\_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion* και *sdg\_10\_50: Income Share Of The Bottom 40% Of The Population*

## 4.4 Ανάλυση Συσχετίσεων ανά ομάδες Χωρών

Έχοντας κατανοήσει τις διασυνδέσεις των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης συνολικά σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, είναι κρίσιμο να εξετάσουμε τις πιθανές ομαδοποιήσεις των δεδομένων και να αναλύσουμε τις συσχετίσεις των Δεικτών ανά ομάδα. Υπάρχουν πολλές εναλλακτικές ομαδοποιήσεις των 27 χωρών, κυρίως γεωγραφικές. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας

επιλέχθηκε μια ομαδοποίηση με βάση οικονομικά δεδομένα, και συγκεκριμένα με το κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Η ανάλυση συσχετίσεων σε 3 διαφορετικά επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης θα μας βοηθήσει να διακρίνουμε πώς αποτυπώνονται οι διαφορές στους πόρους, στις πολιτικές προτεραιότητες και στις κοινωνικές δομές στις προκύπτουσες διασυνδέσεις μεταξύ των ΣΒΑ.

Η ομαδοποίηση των EU27 χωρών σε 3 ομάδες των 9 χωρών έγινε με κριτήριο δεδομένα που υπάρχουν στο SustainGraph. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις του Δείκτη *sdg\_08\_10: Real GDP per capita* για την κατάταξη των χωρών σε ομάδες Χαμηλού (Low GDP Countries), Μέτριου ΑΕΠ (Medium GDP Countries) και Υψηλού (High GDP Countries) κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Η κατάταξη έγινε με βάση τις παρατηρήσεις για το έτος 2022. Προέκυψαν οι ομάδες που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4.

Table 4.4: Κατάταξη χωρών βάσει του κατά κεφαλήν ΑΕΠ τους

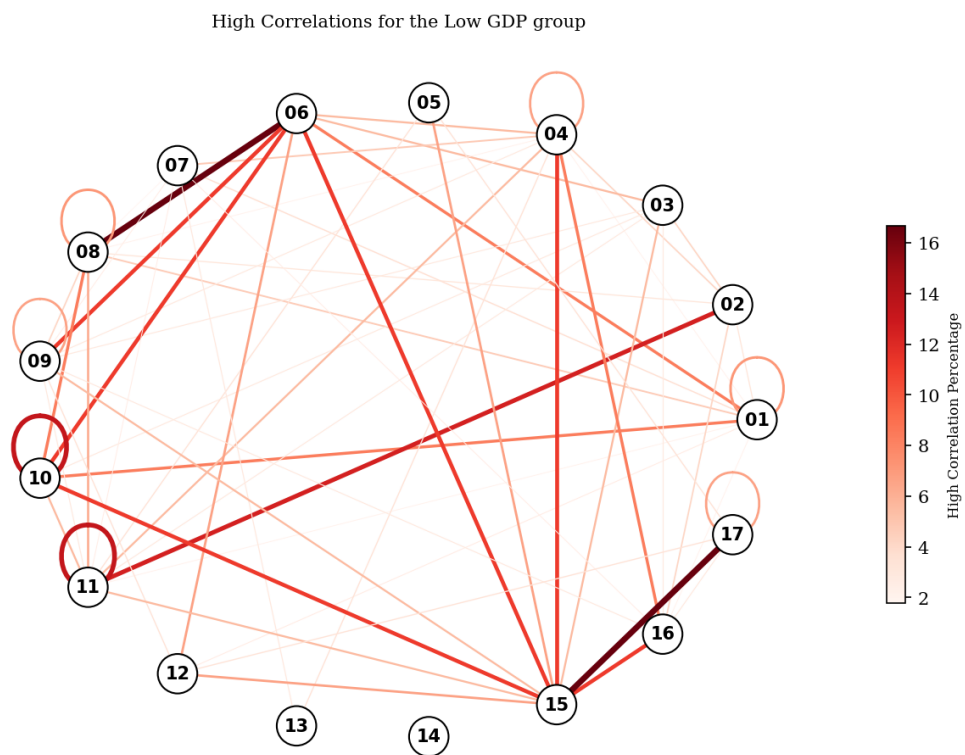
| Low GDP Countries | Medium GDP Countries | High GDP Countries |
|-------------------|----------------------|--------------------|
| Bulgaria          | Czechia              | Germany            |
| Romania           | Greece               | Belgium            |
| Latvia            | Portugal             | Finland            |
| Hungary           | Slovenia             | Austria            |
| Poland            | Malta                | Netherlands        |
| Croatia           | Spain                | Sweden             |
| Lithuania         | Cyprus               | Denmark            |
| Estonia           | Italy                | Ireland            |
| Slovakia          | France               | Luxembourg         |

Για κάθε μία από τις ομάδες, απομονώνονται οι αντίστοιχες Παρατηρήσεις του αρχικού dataset και γίνεται εκ νέου ανάλυση συσχετίσεων παρόμοια με αυτή της υποενότητας 4.3.3, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πιθανά ζεύγη Δεικτών. Για την παρουσίαση ευανάγνωστων αποτελεσμάτων, επιλέγεται να οπτικοποιηθούν τα Ποσοστά Υψηλών συσχετίσεων ανά ομάδα ως ακμές κυμαινόμενου πάχους και έντασης σε ένα μη-κατευθυνόμενο γράφημα με κόμβους τους 17 SDGs. Τα τρία αυτά γραφήματα για τις ομάδες Χαμηλού, Μέτριου και Υψηλού ΑΕΠ παρατίθενται στα Σχήματα 4.40, 4.41 και 4.42 αντίστοιχα.

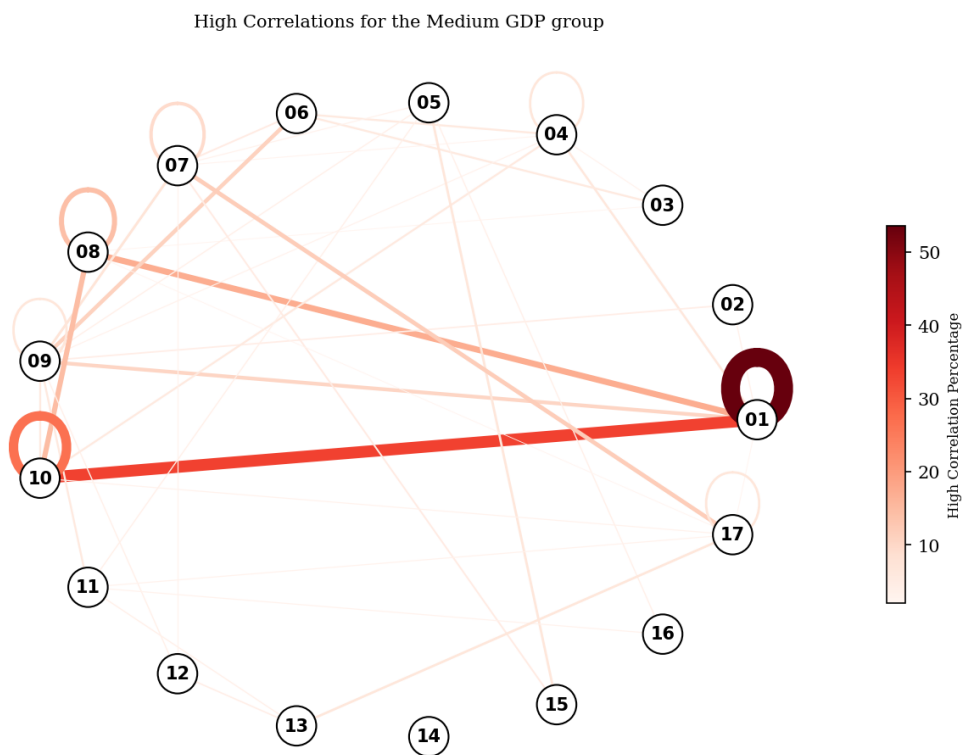
Ως πρώτο βήμα στην ερμηνεία των γραφημάτων που ακολουθούν, εξετάζουμε τα self-loops των κόμβων-Στόχων, που αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά των υψηλών συσχετίσεων μεταξύ Δεικτών του ίδιου Στόχου. Είναι αξιοσημείωτη η ύπαρξη self-loop στους Στόχους *SDG\_03: Good Health and Well-Being*, *SDG\_05: Gender Equality* και *SDG\_17: Partnership for the Goals* για την ομάδα χωρών υψηλού ΑΕΠ, ενώ στις άλλες δύο ομάδες χωρών αυτοί οι Στόχοι εμφανίζονται ασθενέστερα συσχετισμένοι. Αντίστοιχα, για την ομάδα Low GDP Group βλέπουμε υψηλές συσχετίσεις εσωτερικά ανάμεσα στους Δείκτες των Στόχων *SDG\_10* και *SDG\_11*, ενώ για την ομάδα Low GDP Group στους Στόχους *SDG\_01*, *SDG\_10* και *SDG\_08*.

Τα ίδια γραφήματα φανερώνουν διαφορές και στις μεταξύ των Στόχων διασυνδέσεις ανάμεσα στις διαφορετικές ομάδες χωρών. Συγκεκριμένα,

- στο Low GDP Group, παρατηρούνται διασυνδέσεις στα ζεύγη στόχων: *SDG\_06: Clean*



Σχήμα 4.40: Ποσοστά Υψηλής Συσχέτισης μεταξύ ΣΒΑ για τις χώρες με χαμηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ



Σχήμα 4.41: Ποσοστά Υψηλής Συσχέτισης μεταξύ ΣΒΑ για τις χώρες με μέτριο κατά κεφαλήν ΑΕΠ

*Water and Sanitation – SDG\_08: Decent Work and Economic Growth και SDG\_15: Life on Land – SDG\_17: Partnership for the Goals.*

- στο Medium GDP Group, παρατηρείται αξιοσημείωτα υψηλό ποσοστό συσχετίσεων ανάμεσα στους Στόχους *SDG\_01: No Poverty* και *SDG\_10: Reduced Inequalities* καθώς και στα ζεύγη τους με το Στόχο *SDG\_08*.
- στο High GDP Group, εμφανίζονται διασυνδέσεις μεταξύ του Στόχου *SDG\_15* και των *SDG\_02*, *SDG\_11* και *SDG\_12*.

## 4.5 Εντοπισμός Συνεργειών και Αντισταθμίσεων

Για να αξιολογήσουμε αν οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης είναι επιτεύξιμοι μέσα στα χρονικά όρια που έχουν θεσμοθετηθεί, είναι απαραίτητο να εντοπίσουμε πιθανές Συνέργειες (Synergies) και Αντισταθμίσεις (Trade-offs) μεταξύ Δεικτών και, τελικά, Στόχων. Συνέργεια ονομάζεται η σχέση όπου η πρόοδος σε ένα στόχο επηρεάζει θετικά έναν άλλο, ενώ Αντιστάθμιση καλείται η σχέση όπου η πρόοδος σε ένα στόχο ενδέχεται να εμποδίσει την πρόοδο σε έναν άλλο.

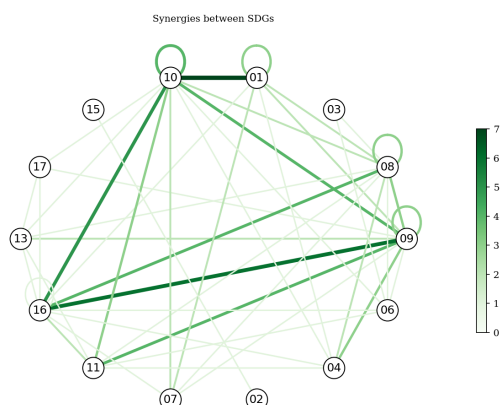
Στην παρούσα εργασία αξιοποιούμε την ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ των επιλεγμένων χρονοσειρών Δεικτών για να αποφανθούμε αν κάποιο ζεύγος Δεικτών έχει σχέση Συνέργειας ή Αντιστάθμισης. Λαμβάνονται υπόψη μόνο τα ισχυρά συσχετισμένα ζεύγη Δεικτών, δηλαδή αυτά με συντελεστή συσχέτισης  $|\rho| > 0.7$ , ως υποψήφια για κατάταξη σε Συνέργειες και Αντισταθμίσεις.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόσημο του συντελεστή συσχέτισης  $\rho$  δεν αποτελεί κριτήριο στο χαρακτηρισμό ενός ζεύγους ως Synergy ή Trade-off, αφού οι μετρικές των Δεικτών μπορεί να διαφέρουν ως προς την επιθυμητή ή αναμενόμενη κατεύθυνση προόδου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε μία boolean μεταβλητή, η οποία ονομάστηκε *progressDirection*, για να αναπαραστήσει την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε χρονοσειράς Δείκτη: η τιμή True (1) αντιστοιχίζεται στην επιθυμητή αύξηση ενώ η τιμή False (0) αντιστοιχίζεται στην επιθυμητή μείωση. Οι τιμές των δύο μεταβλητών *progressDirection* ενός ζεύγους Δεικτών σε συνδυασμό με το συντελεστή συσχέτισης Spearman  $\rho$  ταξινομούν κατάλληλα τα υψηλά συσχετισμένα ζεύγη σε Synergies και trade-offs. Αν οι μετρικές των δύο Δεικτών έχουν ίδια επιθυμητή κατεύθυνση και οι χρονοσειρές είναι θετικά συσχετισμένες, τότε ο ένας Δείκτης συνεισφέρει στον άλλον, επομένως ταξινομείται ως Συνέργεια. Αντίστοιχα, αν οι μετρικές έχουν αντίθετη κατεύθυνση και οι χρονοσειρές έχουν αρνητικό συντελεστή συσχέτισης, τότε αποτελούν επίσης Συνέργεια. Στις περιπτώσεις θετικής συσχέτισης-αντίθετης κατεύθυνσης και αρνητικής συσχέτισης-ίδιας κατεύθυνσης, το ζεύγος ταξινομείται ως trade-off. Τα κριτήρια αυτά συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα 4.5

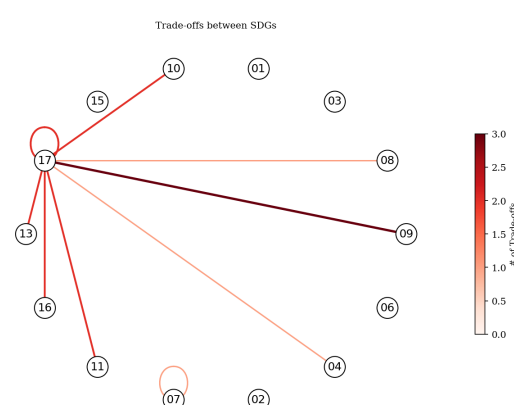
Table 4.5: Πίνακας ταξινόμησης ζευγών Δεικτών σε Συνέργειες και Αντισταθμίσεις

| corr. $\rho$ | progress Directions | Classification |
|--------------|---------------------|----------------|
| $> 0$        | same                | Synergy        |
| $> 0$        | different           | Trade-off      |
| $< 0$        | same                | Trade-off      |
| $< 0$        | different           | Synergy        |

Έχοντας ταξινομήσει όλα τα ζεύγη των ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών, οπτικοποιούμε τα αποτελέσματα σε δύο διαφορετικά γραφήματα, ένα για τις Συνέργειες και ένα για τις Αντισταθμίσεις. Σε κάθε γράφημα, οι κόμβοι αποτελούν τους 17 ΣΒΑ και οι ακμές μεταξύ τους έχουν πάχος και ένταση ανάλογα με το πλήθος των Συνεργειών, ή αντίστοιχα Αντισταθμίσεων, μεταξύ των Στόχων που συνδέουν.



Σχήμα 4.43: Γράφημα Συνεργειών μεταξύ ΣΒΑ



Σχήμα 4.44: Γράφημα Αντισταθμίσεων μεταξύ ΣΒΑ

Από την καταμέτρηση των Συνεργειών και των Αντισταθμίσεων προκύπτει ότι το γράφημα των Συνεργειών (Synergies) είναι πολύ πιο πυκνά συνδεδεμένο. Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλο αριθμό Δεικτών η θετική πρόοδος συσχετίζεται και, επομένως, ενδέχεται να συνεισφέρει στη θετική πρόοδο άλλων Δεικτών είτε του ίδιου είτε διαφορετικών ΣΒΑ. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μεγάλος αριθμός Συνεργειών ανάμεσα στα ζεύγη στόχων *SDG\_01 - SDG\_10*, *SDG\_09 - SDG\_16* και *SDG\_10 - SDG\_16* επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της υποενότητας 4.3.3 για τις διασυνδέσεις μεταξύ ΣΒΑ. Οι Συνέργειες ανάμεσα στους *SDG\_01 - SDG\_10* καταδεικνύουν ότι η εξάλειψη της φτώχειας μπορεί να συνεισφέρει θετικά στην εξάλειψη και άλλων κοινωνικών ανισοτήτων ενώ οι Συνέργειες μεταξύ *SDG\_09 - SDG\_16* μαρτυρούν μία σχέση συνεισφοράς ανάμεσα στον τομέα της Καινοτομίας-Τεχνολογίας και στην αντίληψη της Δικαιοσύνης και ακεραιότητας των κρατικών θεσμών.

Αντίθετα, από την ανάλυση προκύπτει περιορισμένος αριθμός Αντισταθμίσεων (Trade-offs), οι οποίες εστιάζονται γύρω από το Στόχο *SDG\_17*. Συγκεκριμένα, εντοπίζονται στο σύνολο 3 Αντισταθμίσεις ανάμεσα στο Στόχο *SDG\_17* και στον *SDG\_09*. Επίσης, ανιχνεύεται μία Αντιστάθμιση μεταξύ δύο Δεικτών του Στόχου *SDG\_07: Affordable and Clean Energy*. Η μη ύπαρξη αξιοσημείωτων Αντισταθμίσεων αποτελεί ένα ελπιδοφόρο μήνυμα ως προς την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, εφόσον η πρόοδος στους περισσότερους Δείκτες εμποδίζει ελάχιστα έως καθόλου την πρόοδο στους άλλους.

Η κυριαρχία των Συνεργειών έναντι των Αντισταθμίσεων επιβεβαιώνεται από την έκφραση των Συνεργειών ως ποσοστό των συνολικών ισχυρά συσχετισμένων ζευγών Δεικτών, το οποίο είναι 85.45%, σε αντίθεση με το 14.55% των Αντισταθμίσεων.

## 4.6 Μηχανισμοί Πρόβλεψης Τιμών

Στο SustainGraph ανιχνεύονται συνολικά 9 Δείκτες που συνδέονται με κόμβους τύπου EU Policy Target, οι οποίοι αντιστοιχούν στους Στόχους Πολιτικής της ΕΕ για το 2030, όπως αυτοί διατυπώνονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [39]. Οι Δείκτες αυτοί καθώς και τα χαρακτηριστικά των σχετικών Στόχων Πολιτικής παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6. Κάθε

Στόχος Πολιτικής έχει ένα συγκριτικό τελεστή (Operator) ο οποίος δηλώνει τον τύπο της εξέλιξης που αναμένεται (Μικρότερο ή ίσο με, Μεγαλύτερο ή ίσο με, Αύξηση κατά, Μείωση κατά), ενώ οι στήλες Unit και Value δηλώνουν αντίστοιχα τη μονάδα μέτρησης και την τιμή της αναμενόμενης αύξησης ή ελάττωσης. Οι διαφορετικοί Operators καθιστούν φανερή την ύπαρξη απόλυτων και σχετικών στόχων. Απόλυτοι στόχοι είναι εκείνοι για τους οποίους η τιμή-στόχος είναι κοινή για όλες τις χώρες των παρατηρήσεων. Σχετικοί ονομάζονται οι στόχοι για τους οποίους η τιμή-στόχος εκφράζεται ως ποσοστό μιας παρελθοντικής τιμής αναφοράς (baseline value). Το έτος αναφοράς καταγράφεται επιπρόσθετα στους κόμβους EU Policy Target του SustainGraph ως σχόλιο. Για τους σχετικούς στόχους του πίνακα 4.6 λαμβάνεται το 2019 ως έτος αναφοράς.

Table 4.6: Πίνακας Δεικτών με EU Policy Target στο SustainGraph

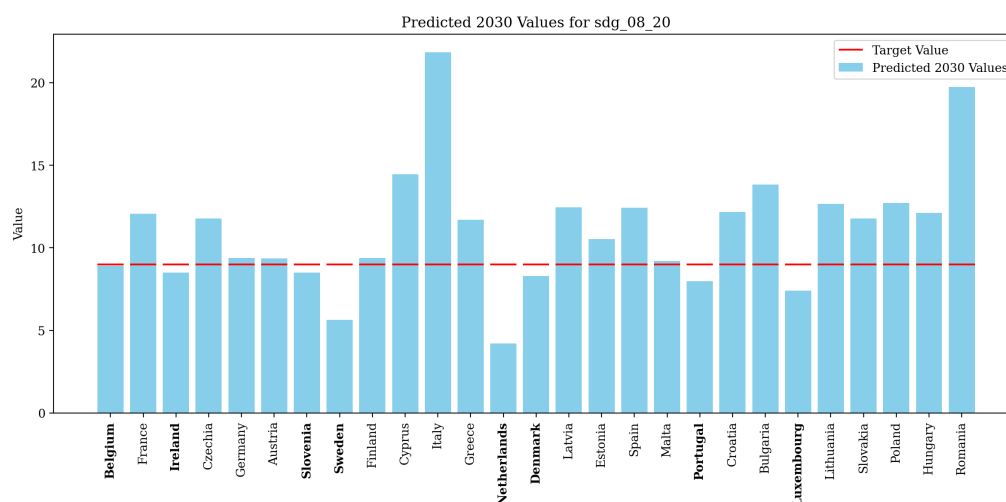
|           | Description                                         | Operator                 | Unit    | Value |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------------------------|---------|-------|
| sdg_08_20 | Young People Neither In Employment Nor In Education | Less than or equal to    | PERCENT | 9.0   |
| sdg_01_10 | People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion       | Reduce by                | MILLION | 15.0  |
| sdg_08_30 | Employment Rate By Sex                              | Greater than or equal to | PERCENT | 78.0  |
| sdg_05_30 | Gender Employment Gap, By Type Of Employment        | Reduce by                | PERCENT | 50.0  |
| sdg_07_10 | Primary Energy Consumption                          | Reduce by                | PERCENT | 11.7  |
| sdg_07_40 | Share Of Renewable Energy In Gross Final Energy     | Greater than or equal to | PERCENT | 42.5  |
| sdg_11_52 | Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particles  | Reduce by                | PERCENT | 55.0  |
| sdg_11_40 | Road Traffic Deaths, By Type Of Roads               | Reduce by                | PERCENT | 50.0  |
| sdg_12_41 | Circular Material Use Rate                          | Increase by              | PERCENT | 100.0 |

Είναι σημαντικό να παράγουμε αξιόπιστες προβλέψεις για την επίτευξη ή μη των Στόχων της ΕΕ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη ως το 2030. Η παρούσα ανάλυση αξιοποιεί τα ιστορικά δεδομένα που παρέχονται από το SustainGraph για κάθε χώρα και επιδιώκει να εκτιμήσει πόσο πιθανό είναι να επιτευχθούν οι προκαθορισμένοι στόχοι έως το 2030.

Οι δύο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις για την πρόβλεψη χρονοσειρών είναι το μοντέλο της εκθετικής εξομάλυνσης (Exponential Smoothing) και το αυτοπαλινδρομικό μοντέλο κινητού μέσου όρου (Auto-Regressive Integrated Moving Average ή ARIMA) [36]. Ενώ τα μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης βασίζονται στην περιγραφή της τάσης και της εποχικότητας των δεδομένων, τα μοντέλα ARIMA στοχεύουν στην περιγραφή της αυτοσυσχέτισης

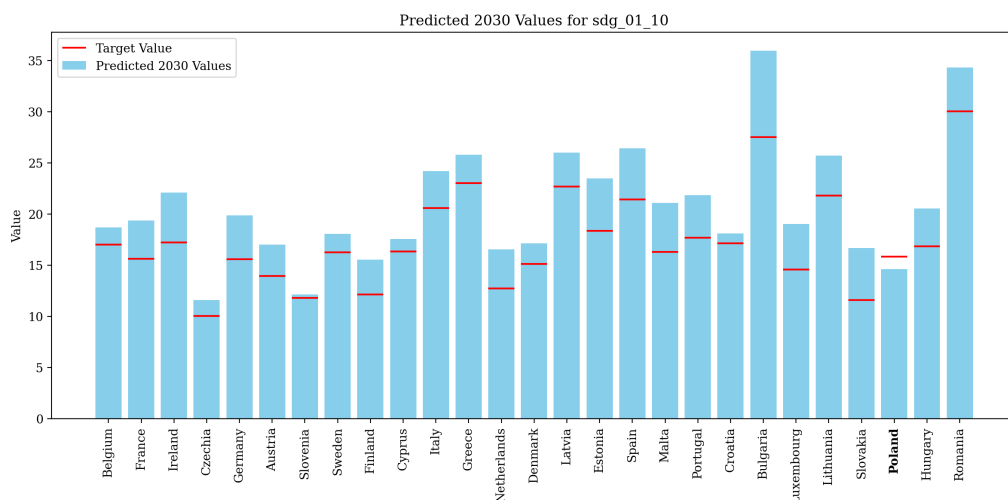
των δεδομένων. Η παραγωγή των προβλέψεων για τη μελλοντική πορεία των Δεικτών του πίνακα 4.6 έγινε με τη χρήση μοντέλου ARIMA.

Στα ακόλουθα σχήματα οπτικοποιούνται ανά Δείκτη οι προβλεπόμενες τιμές για το 2030 για κάθε χώρα και ταυτόχρονα αντιπαραβάλλονται με τις τιμές-στόχους (κόκκινες γραμμές). Σύμφωνα με όσα εξηγήθηκαν παραπάνω, στους απόλυτους στόχους οι κόκκινες γραμμές σχηματίζουν ευθεία ενώ στους σχετικούς στόχους σε κάθε χώρα αντιστοιχεί μία ανεξάρτητη τιμή-στόχος. Στα διαγράμματα, οι ετικέτες των χωρών για τις οποίες ικανοποιείται ο στόχος έως το 2030 εμφανίζονται με έντονη γραφή.



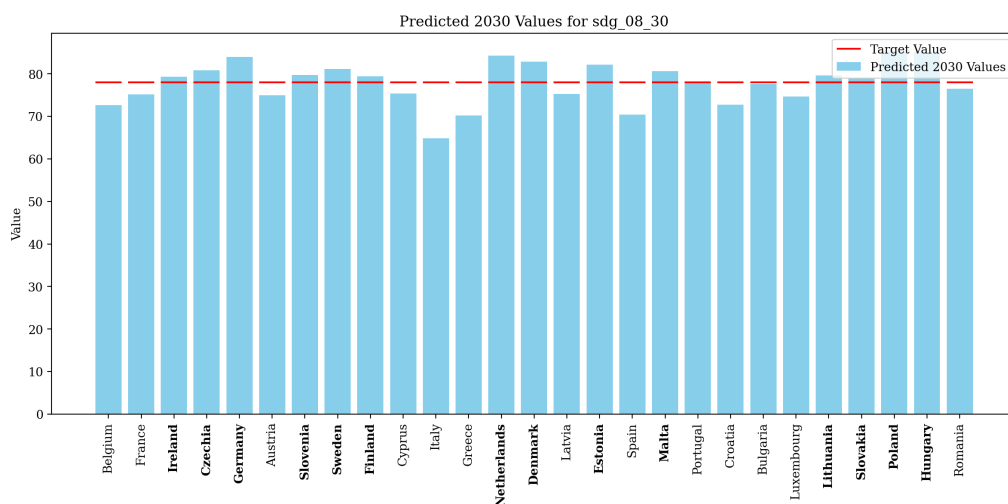
Σχήμα 4.45: Πρόβλεψη για τον *sdg\_08\_20: Young People Neither In Employment Nor In Education*.

Ο Δείκτης *sdg\_08\_20* αφορά τα επίπεδα ανεργίας ανά χώρα και έχει κοινή τιμή-στόχο για όλη την ΕΕ. Στο Σχήμα 4.45 βλέπουμε πως ενώ κάποιες χώρες ικανοποιούν απόλυτα το στόχο (Βέλγιο, Ιρλανδία, Σλοβενία, Σουηδία, Κάτω Χώρες, Δανία, Πορτογαλία, Λουξεμβούργο), μία σημαντική μερίδα των χωρών προβλέπεται να τον ικανοποιούν οριακά έως το 2030 (Γερμανία, Αυστρία, Φινλανδία, Μάλτα). Είναι εύλογο να παρατηρήσουμε ότι οι χώρες που ικανοποιούν το στόχο είτε απόλυτα είτε οριακά ανήκουν κατά πλειοψηφία στην ομάδα χωρών υψηλού κατά κεφαλήν ΑΕΠ για το 2022. Τέλος, σημειώνουμε ότι για χώρες όπως η Ιταλία και η Ρουμανία προβλέπονται τα επίπεδα ανεργίας να είναι διπλάσια της τιμής-στόχου.



Σχήμα 4.46: Πρόβλεψη για τον *sdg\_01\_10*: *People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion*.

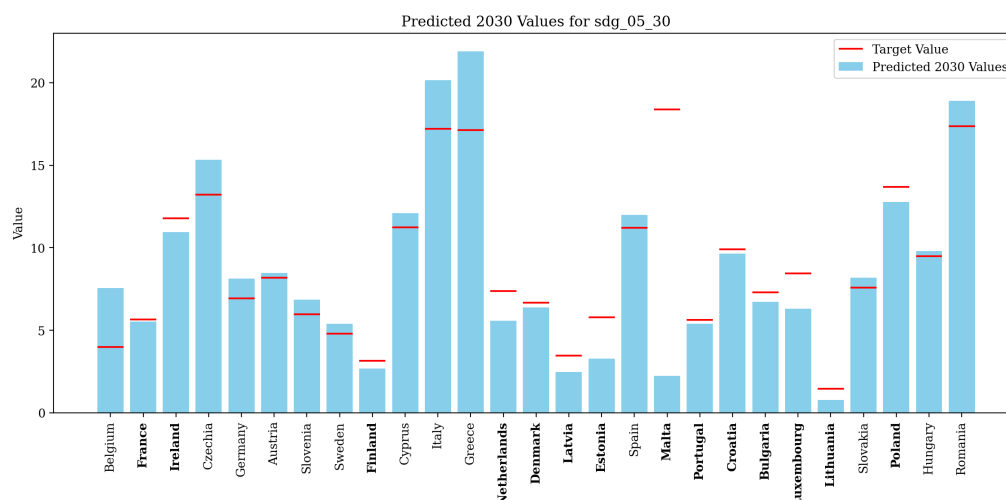
Στις προβλέψεις του σχήματος 4.46 για το Δείκτη *sdg\_01\_10* που μετράει τα Άτομα σε κίνδυνο φτώχειας ή κοινωνικού αποκλεισμού είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η Πολωνία είναι η μόνη χώρα της ΕΕ που φαίνεται να ικανοποιεί απόλυτα το στόχο. Ταυτόχρονα όμως ένα πλήθος χωρών ικανοποιούν οριακά το στόχο (Βέλγιο, Τσεχία, Σλοβενία, Σουηδία, Κύπρος, Δανία, Κροατία). Για τις χώρες που ανήκουν στην ομάδα χαμηλού ΑΕΠ σύμφωνα με τις μετρήσεις του έτους 2022 παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ της προβλεπόμενης τιμής και της τιμής-στόχου. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στο Σχήμα 4.46 από τις προβλέψεις που αφορούν τη Βουλγαρία και τη Ρουμανία.



Σχήμα 4.47: Πρόβλεψη για τον *sdg\_08\_30*: *Employment Rate By Sex*.

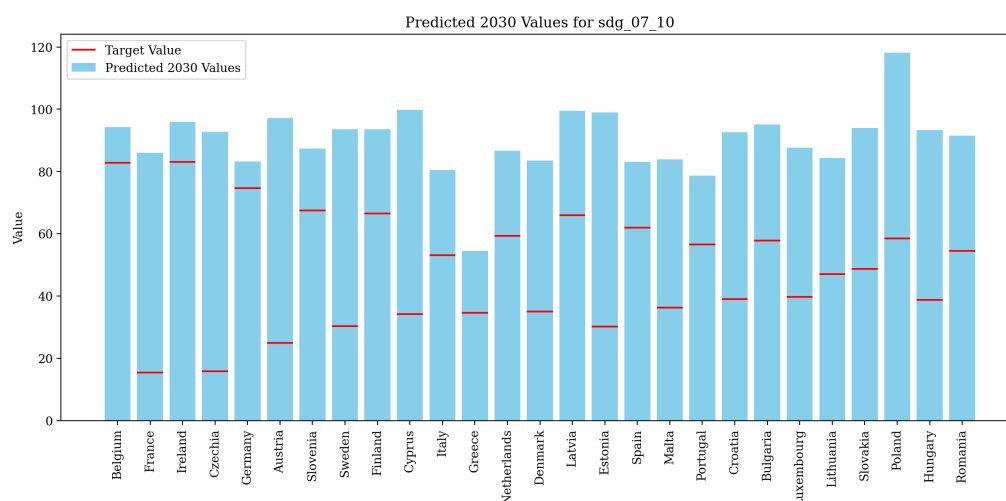
Ο Δείκτης *sdg\_08\_30*: Ποσοστά Απασχόλησης ανά φύλο παρουσιάζει ομοιότητα με τον *sdg\_08\_20*. Αυτή η ομοιότητα επιβεβαιώνεται από την αντιπαραβολή των Σχημάτων 4.47 και 4.45, αφού οι χώρες για τις οποίες προβλέπεται ικανοποίηση του στόχου απόλυτα ή οριακά είναι κοινές μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, για τον *sdg\_08\_30* προβλέπεται ότι ως το 2030 οι χώρες Ιρλανδία, Τσεχία, Γερμανία, Σλοβενία, Σουηδία, Φινλανδία, Κάτω Χώρες, Δανία, Εσθονία, Μάλτα, Λιθουανία, Σλοβακία, Πολωνία και Ουγγαρία θα έχουν ξεπεράσει το

επιθυμητό ποσοστό απασχόλησης, ενώ η Βουλγαρία και η Πορτογαλία θα το προσεγγίσουν οριακά.



Σχήμα 4.48: Πρόδλεψη για τον *sdg\_05\_30*: Gender Employment Gap, By Type Of Employment.

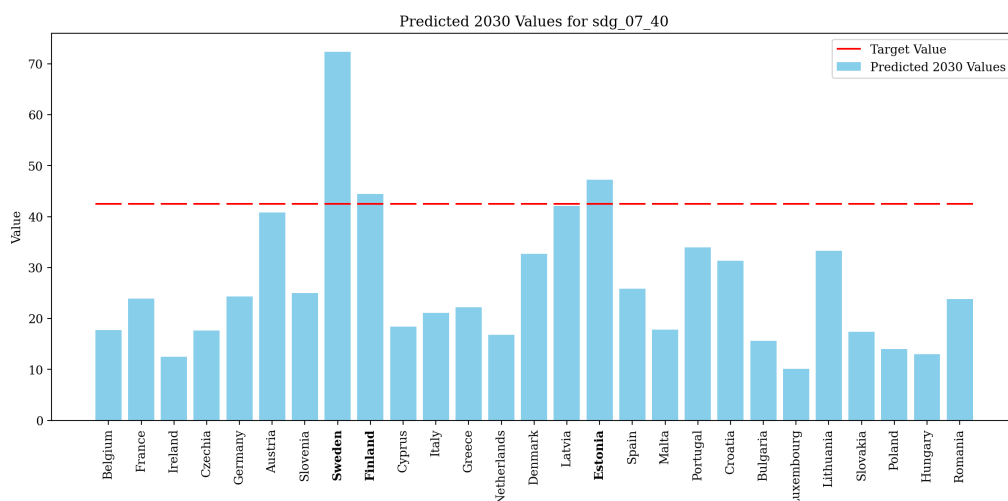
Στο Σχήμα 4.48 παρουσιάζονται οι προβλέψεις για το Δείκτη *sdg\_05\_30*: Διαφορά στα ποσοστά απασχόλησης ανά φύλο. Εδώ, παρατηρείται η τάση να ικανοποιείται ο στόχος στις χώρες με χαμηλή διαφορά απασχόλησης ήδη από το έτος αναφοράς 2019. Τέτοιες χώρες αποτελούν η Γαλλία, η Φινλανδία, οι Κάτω Χώρες, η Δανία, η Λετονία, η Εσθονία, η Πορτογαλία και η Λιθουανία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η Μάλτα προβλέπεται να ικανοποιήσει το στόχο ενώ το 2019 είχε τη μεγαλύτερη διαφορά σε ποσοστά απασχόλησης ανά φύλο. Την πιο απαισιόδοξη προβλεπόμενη τιμή για το Δείκτη *sdg\_05\_30* το 2030 φαίνεται να έχει η Ελλάδα.



Σχήμα 4.49: Πρόδλεψη για τον *sdg\_07\_10*: Primary Energy Consumption.

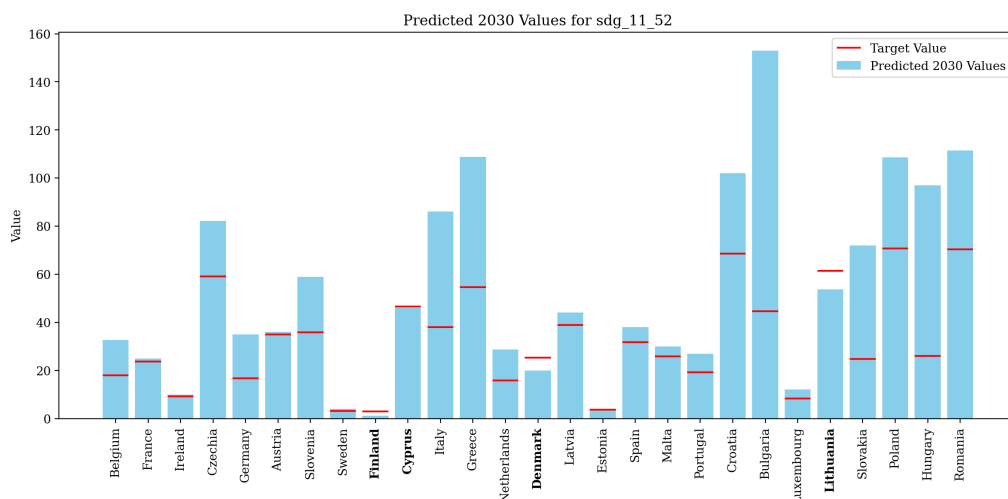
Ο Δείκτης *sdg\_07\_10* συγκεντρώνει παρατηρήσεις για την Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρατηρείται ότι καμία χώρα δεν προβλέπεται να ικανοποιεί το σχετικό στόχο. Ένα τέτοιο αποτέλεσμα υποδηλώνει τη δυσκολία

εφαρμογής πολιτικών που σχετίζονται με τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, η οποία επεκτείνεται και εκτός της Ευρώπης σε παγκόσμιο επίπεδο.



Σχήμα 4.50: Πρόβλεψη για τον *sdg\_07\_40*: *Share Of Renewable Energy In Gross Final Energy*.

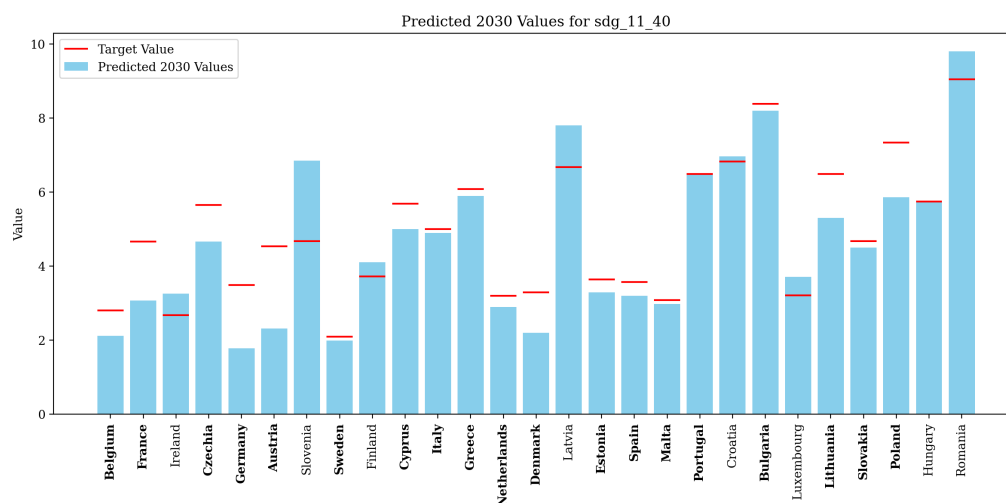
Ο δεύτερος σχετικός με την ενέργεια Δείκτης είναι ο *sdg\_07\_40*: Ποσοστό ανανεώσιμης Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση Ενέργειας για τον οποίο η ΕΕ θέτει το 42.5% ως κοινό ελάχιστο στόχο για όλα τα κράτη μέλη. Ωστόσο, σύμφωνα με τα προβλεπτικά μοντέλα που αναπτύξαμε, η πλειονότητα των χωρών αδυνατούν να ικανοποιήσουν το συγκεκριμένο στόχο έως το 2030 με εξαίρεση τη Σουηδία, τη Φινλανδία, την Εσθονία και οριακά τη Λετονία και την Αυστρία.



Σχήμα 4.51: Πρόβλεψη για τον *sdg\_11\_52*: *Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particles*.

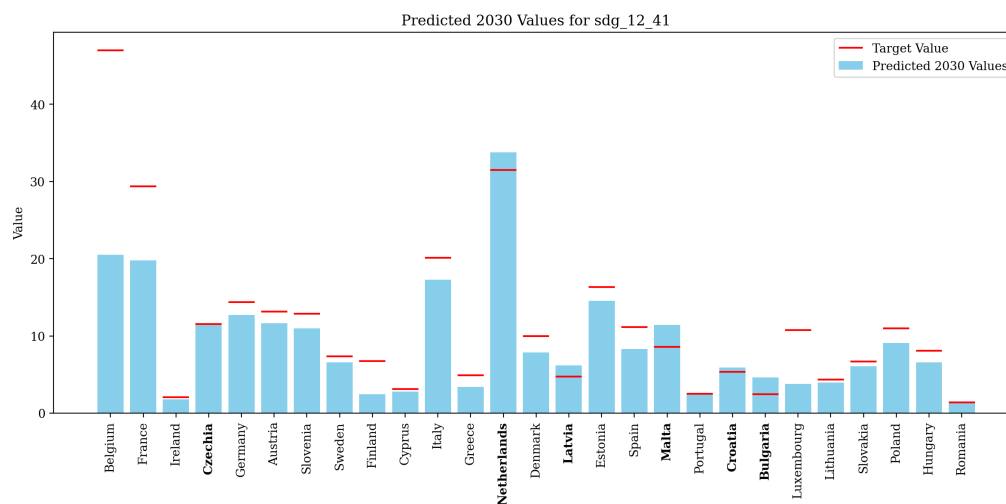
Στο Σχήμα 4.51 παρατηρείται ότι, ενώ λίγες χώρες ικανοποιούν απόλυτα το στόχο για τον *sdg\_11\_52* (Φινλανδία, Κύπρος, Δανία, Λιθουανία), μεγάλο μέρος των χωρών τον ικανοποιούν οριακά (Γαλλία, Ιρλανδία, Αυστρία, Σουηδία, Λετονία, Ισπανία, Μάλτα, Λουξεμβούργο). Συνεπώς, μπορούμε να κατατάξουμε τον *sdg\_11\_52*: Πρόωροι Θάνατοι λόγω έκθεσης σε

λεπτά σωματίδια στους επιτεύξιμους στόχους.



Σχήμα 4.52: Πρόβλεψη για τον *sdg\_11\_40*: Road Traffic Deaths, By Type Of Roads.

Σε αντιστοιχία με το Δείκτη *sdg\_11\_52*, για το Δείκτη *sdg\_11\_40*: Θάνατοι από τροχαία ατυχήματα φαίνεται να έχουν τεθεί επιτεύξιμοι στόχοι. Έως το 2030 προβλέπεται ότι οι στόχοι αυτοί θα έχουν επιτευχθεί από την πλειονότητα των χωρών μελών της ΕΕ: Βέλγιο, Γαλλία, Τσεχία, Γερμανία, Αυστρία, Σουηδία, Κύπρος, Ιταλία, Ελλάδα, Κάτω Χώρες, Δανία, Εσθονία, Ισπανία, Μάλτα, Πορτογαλία, Βουλγαρία, Λιθουανία, Σλοβακία, Πολωνία.



Σχήμα 4.53: Πρόβλεψη για τον *sdg\_12\_41*: Circular Material Use Rate.

Στο ανωτέρω Σχήμα 4.53 παρουσιάζονται οι προβλεπόμενες τιμές για το 2030 για το Δείκτη *sdg\_12\_41*: Ποσοστό κυκλικής χρήσης υλικών, ο οποίος ποσοτικοποιεί τη συνεισφορά ανακυκλωμένων υλικών στη συνολική κατανάλωση. Παρατηρούμε ότι λίγες χώρες προβλέπεται να ξεπεράσουν το σχετικό στόχο ενώ περισσότερες προβλέπεται να τον προσεγγίσουν οριακά. Το μεγαλύτερο προβλεπόμενο ποσοστό κυκλικής χρήσης υλικών για το 2030 αντιστοιχεί στις Κάτω Χώρες και ξεπερνάει το 30%.

Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από τη σύγκριση των στοχευμένων τιμών με τις προβλεπόμενες τιμές για το 2030 ανά χώρα υποδηλώνουν ότι ορισμένοι Στόχοι Πολιτικής ΕΥ

Policy Targets είναι περισσότερο επιτεύξιμοι από άλλους. Συνυπολογίζοντας τις χώρες για τις οποίες οριακά δεν επιτυγχάνεται κάποιος στόχος, προκύπτει ότι οι στόχοι για τους Δείκτες

- sdg\_08\_20: Young People Neither In Employment Nor In Education
- sdg\_08\_30: Employment Rate By Sex
- sdg\_05\_30: Gender Employment Gap, By Type Of Employment
- sdg\_11\_52: Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particles
- sdg\_11\_40: Road Traffic Deaths, By Type Of Roads

είναι πιο επιτεύξιμοι από τους στόχους για τους

- sdg\_01\_10: People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion
- sdg\_07\_10: Primary Energy Consumption
- sdg\_07\_40: Share Of Renewable Energy In Gross Final Energy
- sdg\_12\_41: Circular Material Use Rate.

Είναι εύκολο να ερμηνεύσουμε τις παρατηρήσεις αυτές ως εξής: Οι Στόχοι που σχετίζονται με τους ΣΒΑ *SDG\_08: Decent Work and Economic Growth*, *SDG\_05: Gender Equality* και *SDG\_11: Sustainable Cities and Communities* είναι πιθανότερο να επιτευχθούν έως το 2030. Αυτή η ερμηνεία προβλέπει ένα βιωσιμότερο μέλλον για την Ευρώπη. Αντιθέτως, οι Στόχοι για τους ΣΒΑ *SDG\_07: Affordable and Clean Energy* και *SDG\_12: Responsible Consumption and Production* φαίνονται λιγότερο επιτεύξιμοι. Επομένως, σύμφωνα με τις προβλεπτικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν, αναμένεται υστέρηση της ΕΕ ως προς τους Στόχους Πολιτικής που σχετίζονται με την Ενέργεια και την Κατανάλωση.

Ένα άλλο επίπεδο ερμηνείας των αποτελεσμάτων των προβλέψεων αποτελεί η ανάλυση των χωρών για τις οποίες ικανοποιούνται οι Στόχοι και η αντιπαράβολή τους με τις ομάδες χωρών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση 4.4. Σημειώνεται ότι οι χώρες για τις οποίες ικανοποιούνται ή οριακά ικανοποιούνται οι καθορισμένοι Στόχοι έως το 2030 ανήκουν κατά πλειονότητα στην ομάδα High GDP Group, δηλαδή την ομάδα χωρών με υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Οι χώρες αυτές ανήκουν παραδοσιακά στο Βορρά της Ευρώπης και μερικά παραδείγματα αυτών, όπως προκύπτουν από συγκριτική ανάλυση των Σχημάτων προβλέψεων, είναι: οι Κάτω Χώρες (Netherlands), η Σουηδία (Sweden), ή Φινλανδία (Finland), η Δανία (Denmark), η Γερμανία (Germany) καθώς και οι χώρες της Βαλτικής Λετονία (Latvia), Λιθουανία (Lithuania) και Εσθονία (Estonia).

## Μέρος **III**

### Επίλογος

---



## Κεφάλαιο 5

### Επίλογος

---

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, τα οποία προκύπτουν από την ανάλυση των διασυνδέσεων μεταξύ των ΣΒΑ και της προόδου των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕU27) προς την επίτευξη των ΣΒΑ. Παράλληλα συζητούνται οι προοπτικές για μελλοντικές επεκτάσεις της μελέτης των διασυνδέσεων.

Τα εργαλεία που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της υλοποίησης σε συνδυασμό με το SustainGraph, που αποτέλεσε τον πυρήνα της ανάλυσης, διευκόλυναν σημαντικά τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των χρονοσειρών Δεικτών και τη γενίκευσή τους σε διασυνδέσεις μεταξύ των ΣΒΑ ενώ αποκάλυψαν και Συνέργειες (Synergies) και Αντισταθμίσεις (Trade-offs) που επηρεάζουν την πορεία προς τη βιωσιμότητα.

#### 5.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει τη σύνθετη αλληλένδετη φύση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) σε Ευρωπαϊκό επίπεδο καθώς και τις προκλήσεις που προκύπτουν στην εφαρμογή τους από τις χώρες μέλη της ΕΕ. Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν συνοψίζονται ως εξής:

1. **Διασυνδέσεις εντός και μεταξύ ΣΒΑ:** Η ανάλυση συσχετίσεων ανέδειξε ότι οι Δείκτες που ανήκουν στον ίδιο ΣΒΑ είναι συχνά θετικά συσχετισμένοι, γεγονός που αντανακλά τη συνοχή που υπάρχει εντός των στόχων. Επιπλέον, ανιχνεύθηκαν διασυνδέσεις μεταξύ διαφορετικών ΣΒΑ, που αποδεικνύουν ότι οι στόχοι σχηματίζουν ένα αλληλένδετο δίκτυο. Για παράδειγμα, εντοπίζεται διασύνδεση ανάμεσα στους ΣΒΑ 9, 10 και 8, οι οποίοι σχετίζονται με τη βελτίωση των υποδομών και την καινοτομία, την οικονομική ανάπτυξη και την εξάλειψη των ανισοτήτων. Οι κυκλικοί γράφοι που δημιουργήθηκαν για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αποδείχθηκαν εξαιρετικά εργαλεία για την απεικόνιση των πολύπλοκων αυτών διασυνδέσεων.
2. **Επίδραση του οικονομικού πλαισίου στις διασυνδέσεις των ΣΒΑ:** Σε επόμενο στάδιο της ανάλυσης, διαπιστώθηκε πως τα οικονομικά δεδομένα για κάθε χώρα (διαχωρισμός με βάση το κατά κεφαλήν ΑΕΠ) επηρεάζουν σημαντικά τις διασυνδέσεις μεταξύ των διαφορετικών ΣΒΑ και κατ' επέκταση τις προτεραιότητες που πρέπει να τεθούν στην εφαρμογή πολιτικών. Στις χώρες με υψηλό ΑΕΠ, οι διασυνδέσεις επικεντρώνο-

νται σε Στόχους σχετικούς με το οικοσύστημα, τις υποδομές, τη βιώσιμη κατανάλωση και την ποιότητα ζωής. Από την άλλη, οι χώρες με χαμηλότερο ΑΕΠ παρουσιάζουν διασυνδέσεις σχετικές με την οικονομική ανάπτυξη, την εργασία και την υγιεινή.

3. **Συνέργειες και Αντισταθμίσεις:** Στη συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι οι Συνέργειες (Synergies) υπερτερούν σημαντικά των Αντισταθμίσεων (Trade-offs) μεταξύ ΣΒΑ, γεγονός που υποδηλώνει ότι η πρόοδος σε ένα στόχο συχνά συνδέεται με πρόοδο και σε άλλους. Από την άλλη, είναι σημαντική η εστίαση στην εξισορρόπηση των όποιων Αντισταθμίσεων κατά τη δημιουργία ολοκληρωμένων πολιτικών.
4. **Προβλέψεις Προόδου έως το 2030:** Εκτιμήθηκε η πιθανότητα των κρατών της ΕΕ να επιτύχουν τους καθορισμένους Στόχους Πολιτικής έως το 2030. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αρκετές χώρες βρίσκονται σε καλό δρόμο για την επίτευξη αυτών των στόχων. Ωστόσο, μεγάλο μέρος των χωρών αντιμετωπίζει προκλήσεις στην ικανοποίηση των στόχων που σχετίζονται με την ενέργεια και τη βιώσιμη κατανάλωση. Οι προβλέψεις αυτές υπογραμμίζουν την ανάγκη για πολιτικές εξισορρόπησης της προόδου προς τη βιωσιμότητα τόσο σε επίπεδο χώρας όσο και σε επίπεδο στόχων.

Συμπερασματικά, οι προκλήσεις προς την επίτευξη των ΣΒΑ δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ανεξάρτητα, καθώς αποτελούν κομμάτια ενός αλληλένδετου δικτύου. Η ανάλυση αυτών των διασυνδέσεων μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη λήψη θεσμικών αποφάσεων και, τελικά, στη βιώσιμη ανάπτυξη.

## 5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η ανάλυση που διενεργήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας θέτει τις βάσεις για περαιτέρω έρευνα ή ανάπτυξη εργαλείων για τη μελέτη των ΣΒΑ και των διασυνδέσεών τους. Ορισμένες επεκτάσεις που προτείνονται είναι:

1. **Διεύρυνση ή Σμίκρυνση του γεωγραφικού πλαισίου:** Η ανάλυση συσχετίσεων που εφαρμόστηκε για τα 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποκλειστικά σε εθνικό επίπεδο δύναται να διευρυνθεί σε μεγαλύτερη γεωγραφική κλίμακα, μιας και οι ΣΒΑ αποτελούν παγκόσμιους στόχους. Μία ανάλυση που λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες και προκλήσεις ανά ήπειρο θα ήταν ιδιαίτερα διαφωτιστική για τη μελέτη της επιτευξιμότητας των ΣΒΑ. Αντίστοιχα, το SustainGraph επιτρέπει την ανάλυση και σε μικρότερες γεωγραφικές κλίμακες (περιφερειακό ή τοπικό επίπεδο), με χρονοσειρές παρατηρήσεων που αναφέρονται σε συγκεκριμένες περιοχές σε αντίθεση με τις συνολικές τιμές ανά χώρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο κατά το σχηματισμό τοπικών πολιτικών. Από την ανάλυση συσχετίσεων μεταξύ συγκεκριμένων Δεικτών εντός μίας χώρας μπορούν να προκύψουν οι τομείς της βιώσιμης ανάπτυξης στους οποίους προοδεύει ή υστερεί η εκάστοτε χώρα.
2. **Συγκεκριμενοποίηση του τομέα υπό ανάλυση:** Δεδομένου ότι οι ΣΒΑ καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων εφαρμογής, η ανάλυση μπορεί να περιοριστεί σε τομείς όπως η εκπαίδευση, η υγεία, η ενέργεια. Η ανάλυση σε βάθος των διασυνδέσεων των ΣΒΑ

βάσει επιλεγμένων Δεικτών αποτελεί ένα ακόμη εργαλείο για τη διαμόρφωση πολιτικών στρατηγικών που αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα προβλήματα.

3. **Εμπλουτισμός του SustainGraph με δεδομένα από περισσότερες πηγές:** Το SustainGraph είναι ένας γράφος γνώσης στον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν δεδομένα από πολλαπλές πηγές και να αναπαρασταθούν ομοιόμορφα σύμφωνα με το καθορισμένο μοντέλο αναπαράστασης γνώσης για τους ΣΒΑ. Η συμπερίληψη και σύγκριση Παρατηρήσεων από διαφορετικές πηγές μπορεί να αναδείξει διασυνδέσεις που δεν εντοπίζονται με τα υφιστάμενα δεδομένα.

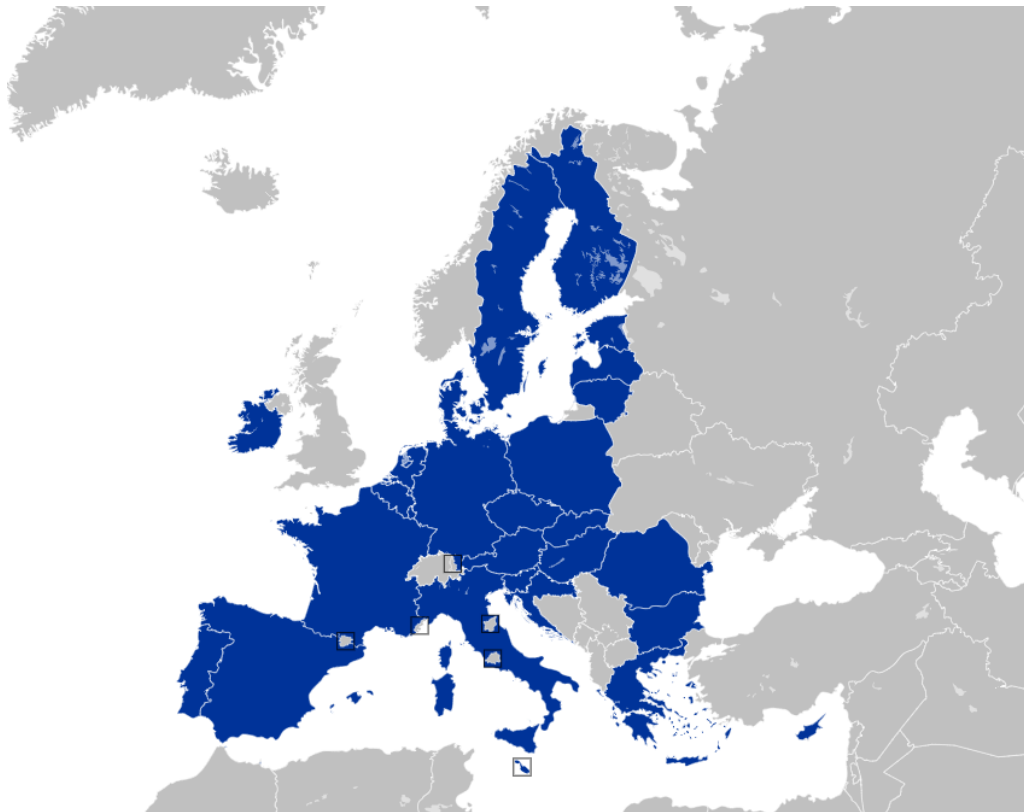


## Κεφάλαιο 6

### Παράρτημα

---

Παρατίθεται ένας χάρτης της Ευρώπης όπου επισημαίνονται οι 27 χώρες που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση συσχετίσεων της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 6.1: Οι 27 χώρες μέλη της ΕΕ: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czechia, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, πηγή: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EU27-2020\\_European\\_Union\\_map.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EU27-2020_European_Union_map.svg)

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένας επεξηγηματικός πίνακας με τους κωδικούς και τις περιγραφές των Δεικτών των ΣΒΑ, όπως αυτοί καταγράφονται στο SustainGraph (Πίνακας 6.1). Επίσης παρατίθενται και οι αναλυτικοί πίνακες που προέκυψαν από την ανάλυση συσχετίσεων, των ισχυρά συσχετισμένων Δεικτών συμπεριλαμβανομένου της ταξινόμησής τους σε Συνέργειες και Αντισταθμίσεις (Πίνακας 6.2).

Table 6.1: Δείκτες και Περιγραφές τους στο *Sustainingraph*

|            | Description                                                                           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| sdg_01_10  | People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion                                         |
| sdg_01_10a | People At Risk Of Poverty Or Social Exclusion By Degree Of Urbanisation               |
| sdg_01_20  | Persons At Risk Of Monetary Poverty After Social Transfers - Eu-Silc And Echp Surveys |
| sdg_01_20a | Persons At Risk Of Monetary Poverty After Social Transfers By Citizenship             |
| sdg_01_31  | Severe Material And Social Deprivation Rate By Age Group And Sex                      |
| sdg_01_40  | People Living In Households With Very Low Work Intensity, By Age Group                |
| sdg_01_41  | In Work At-Risk-Of-Poverty Rate                                                       |
| sdg_01_50  | Housing Cost Overburden Rate By Poverty Status                                        |
| sdg_02_10  | Obesity Rate By Body Mass Index (Bmi)                                                 |
| sdg_02_20  | Agricultural Factor Income Per Annual Work Unit (Awu) (Source: Eurostat, Dg Agri)     |
| sdg_02_30  | Government Support To Agricultural Research And Development                           |
| sdg_02_40  | Area Under Organic Farming                                                            |
| sdg_02_60  | Ammonia Emissions From Agriculture (Source: Eea)                                      |
| sdg_03_11  | Healthy Life Years At Birth By Sex                                                    |
| sdg_03_20  | Share Of People With Good Or Very Good Perceived Health By Sex                        |
| sdg_03_30  | Smoking Prevalence By Sex (Source: Dg Sante)                                          |
| sdg_03_41  | Standardised Death Rate Due To Tuberculosis, Hiv And Hepatitis By Type Of Disease     |
| sdg_03_42  | Standardised Preventable And Treatable Mortality                                      |
| sdg_03_60  | Self-Reported Unmet Need For Medical Examination And Care By Sex                      |
| sdg_04_10  | Early Leavers From Education And Training By Sex                                      |
| sdg_04_10a | Early Leavers From Education And Training, By Citizenship                             |
| sdg_04_20  | Tertiary Educational Attainment By Sex                                                |
| sdg_04_31  | Participation In Early Childhood Education By Sex (Children Aged 3 And Over)          |
| sdg_04_40  | Low Achieving 15-Year-Olds In Reading, Mathematics Or Science (Source: Oecd)          |
| sdg_04_60  | Adult Participation In Learning In The Past Four Weeks By Sex                         |
| sdg_04_70  | Share Of Individuals Having At Least Basic Digital Skills, By Sex                     |
| sdg_05_10  | Physical And Sexual Violence To Women By Age Group (2012 Data) (Source: Fra)          |
| sdg_05_20  | Gender Pay Gap In Unadjusted Form                                                     |
| sdg_05_30  | Gender Employment Gap, By Type Of Employment                                          |
| sdg_05_40  | Persons Outside The Labour Force Due To Caring Responsibilities By Sex                |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

|            | Description                                                                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| sdg_05_50  | Seats Held By Women In National Parliaments And Governments (Source: Eige)                                        |
| sdg_05_60  | Positions Held By Women In Senior Management Positions (Source: Eige)                                             |
| sdg_06_10  | Population Having Neither A Bath, Nor A Shower, Nor Indoor Flushing Toilet In Their Household By Poverty Status   |
| sdg_06_20  | Population Connected To At Least Secondary Wastewater Treatment                                                   |
| sdg_06_30  | Biochemical Oxygen Demand In Rivers (Source: Eea)                                                                 |
| sdg_06_40  | Nitrate In Groundwater (Source: Eea)                                                                              |
| sdg_06_50  | Phosphate In Rivers (Source: Eea)                                                                                 |
| sdg_06_60  | Water Exploitation Index, Plus (Wei+) (Source: Eea)                                                               |
| sdg_07_10  | Primary Energy Consumption                                                                                        |
| sdg_07_11  | Final Energy Consumption                                                                                          |
| sdg_07_20  | Final Energy Consumption In Households Per Capita                                                                 |
| sdg_07_30  | Energy Productivity                                                                                               |
| sdg_07_40  | Share Of Renewable Energy In Gross Final Energy Consumption By Sector                                             |
| sdg_07_50  | Energy Import Dependency By Products                                                                              |
| sdg_07_60  | Population Unable To Keep Home Adequately Warm By Poverty Status                                                  |
| sdg_08_10  | Real Gdp Per Capita                                                                                               |
| sdg_08_11  | Investment Share Of Gdp By Institutional Sectors                                                                  |
| sdg_08_20  | Young People Neither In Employment Nor In Education And Training By Sex (Neet)                                    |
| sdg_08_20a | Young People Neither In Employment Nor In Education And Training (Neet), By Citizenship                           |
| sdg_08_30  | Employment Rate By Sex                                                                                            |
| sdg_08_30a | Employment Rate, By Citizenship                                                                                   |
| sdg_08_40  | Long-Term Unemployment Rate By Sex                                                                                |
| sdg_08_60  | Fatal Accidents At Work Per 100 000 Workers, By Sex                                                               |
| sdg_09_10  | Gross Domestic Expenditure On R&D By Sector                                                                       |
| sdg_09_30  | R&D Personnel By Sector                                                                                           |
| sdg_09_40  | Patent Applications To The European Patent Office By Applicants' / Inventors' Country Of Residence (Source: Eipo) |
| sdg_09_50  | Share Of Buses And Trains In Inland Passenger Transport                                                           |
| sdg_09_60  | Share Of Rail And Inland Waterways In Inland Freight Transport                                                    |
| sdg_09_70  | Air Emission Intensity From Industry                                                                              |
| sdg_10_10  | Purchasing Power Adjusted Gdp Per Capita                                                                          |
| sdg_10_20  | Adjusted Gross Disposable Income Of Households Per Capita                                                         |
| sdg_10_30  | Relative Median At-Risk-Of-Poverty Gap                                                                            |
| sdg_10_41  | Income Distribution                                                                                               |
| sdg_10_50  | Income Share Of The Bottom 40 % Of The Population                                                                 |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

|           | Description                                                                                                    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| sdg_10_60 | Asylum Applications By State Of Procedure                                                                      |
| sdg_11_11 | Severe Housing Deprivation Rate By Poverty Status                                                              |
| sdg_11_20 | Population Living In Households Considering That They Suffer From Noise, By Poverty Status                     |
| sdg_11_31 | Settlement Area Per Capita                                                                                     |
| sdg_11_40 | Road Traffic Deaths, By Type Of Roads (Source: Dg Move)                                                        |
| sdg_11_52 | Premature Deaths Due To Exposure To Fine Particulate Matter (Pm2.5) (Source: Eea)                              |
| sdg_11_60 | Recycling Rate Of Municipal Waste                                                                              |
| sdg_12_10 | Consumption Of Chemicals By Hazardousness - Eu Aggregate                                                       |
| sdg_12_21 | Raw Material Consumption (Rmc)                                                                                 |
| sdg_12_30 | Average Co2 Emissions Per Km From New Passenger Cars (Source: Eea, Dg Clima)                                   |
| sdg_12_41 | Circular Material Use Rate                                                                                     |
| sdg_12_51 | Generation Of Waste By Hazardousness                                                                           |
| sdg_12_61 | Gross Value Added In Environmental Goods And Services Sector                                                   |
| sdg_13_10 | Net Greenhouse Gas Emissions (Source: Eea)                                                                     |
| sdg_13_21 | Net Greenhouse Gas Emissions Of The Land Use, Land Use Change And Forestry (Lulucf) Sector                     |
| sdg_13_40 | Climate Related Economic Losses (Source: Eea)                                                                  |
| sdg_13_50 | Contribution To The International 100Bn Usd Commitment On Climate Related Expending (Source: Dg Clima, Eionet) |
| sdg_13_60 | Population Covered By The Covenant Of Mayors For Climate & Energy Signatories (Source: Covenant Of Mayors)     |
| sdg_14_10 | Surface Of The Marine Protected Areas (Source: Dg Env; Eea)                                                    |
| sdg_14_21 | Estimated Trends In Fish Stock Biomass, By Fishing Areas (Source: Jrc-Stecf)                                   |
| sdg_14_30 | Estimated Trends In Fishing Pressure, By Fishing Area (Source: Jrc-Stecf)                                      |
| sdg_14_40 | Bathing Sites With Excellent Water Quality By Locality (Source: Eea)                                           |
| sdg_14_50 | Global Mean Surface Seawater Acidity (Source: Cmems)                                                           |
| sdg_14_60 | Marine Waters Affected By Eutrophication (Source: Cmems)                                                       |
| sdg_15_10 | Share Of Forest Area                                                                                           |
| sdg_15_20 | Surface Of The Terrestrial Protected Areas (Source: Dg Env; Eea)                                               |
| sdg_15_41 | Soil Sealing Index (Source: Eea)                                                                               |
| sdg_15_50 | Estimated Soil Erosion By Water - Area Affected By Severe Erosion Rate (Source: Jrc)                           |
| sdg_15_60 | Common Bird Index By Type Of Species - Eu Aggregate (Source: Ebcc)                                             |
| sdg_15_61 | Grassland Butterfly Index - Eu Aggregate (Source: Eea, Bce)                                                    |
| sdg_16_10 | Standardised Death Rate Due To Homicide By Sex                                                                 |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

|           | Description                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| sdg_16_20 | Population Reporting Occurrence Of Crime, Violence Or Vandalism In Their Area By Poverty Status |
| sdg_16_30 | General Government Total Expenditure On Law Courts                                              |
| sdg_16_40 | Perceived Independence Of The Justice System (Source: Dg Comm)                                  |
| sdg_16_50 | Corruption Perceptions Index (Source: Transparency International)                               |
| sdg_16_60 | Population With Confidence In Eu Institutions By Institution (Source: Dg Comm)                  |
| sdg_17_10 | Official Development Assistance As Share Of Gross National Income (Source: Dg Intpa, Oecd)      |
| sdg_17_20 | Eu Financing To Developing Countries By Financing Source (Source: Oecd)                         |
| sdg_17_30 | Eu Imports From Developing Countries By Country Income Groups                                   |
| sdg_17_40 | General Government Gross Debt                                                                   |
| sdg_17_50 | Share Of Environmental Taxes In Total Tax Revenues                                              |
| sdg_17_60 | High-Speed Internet Coverage, By Type Of Area (Source: Dg Cnect And Eurostat)                   |

Table 6.2: Πίνακας ισχυρά συσχετισμένων ζευγών Δεικτών και κατάταξή τους σε Συνέργειες/Αντισταθμίσεις

| indicator1 | indicator2 | corr. | Classification |
|------------|------------|-------|----------------|
| sdg_01_10  | sdg_01_20  | 0.85  | Synergy        |
| sdg_01_10  | sdg_01_31  | 0.83  | Synergy        |
| sdg_01_10  | sdg_07_60  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_01_10  | sdg_08_20  | 0.71  | Synergy        |
| sdg_01_10  | sdg_10_41  | 0.84  | Synergy        |
| sdg_01_10  | sdg_10_50  | -0.85 | Synergy        |
| sdg_01_20  | sdg_01_41  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_01_20  | sdg_10_30  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_01_20  | sdg_10_41  | 0.92  | Synergy        |
| sdg_01_20  | sdg_10_50  | -0.94 | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_04_60  | -0.79 | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_07_60  | 0.83  | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_08_20  | 0.77  | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_09_30  | -0.71 | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_09_40  | -0.73 | Synergy        |
| sdg_01_31  | sdg_16_50  | -0.73 | Synergy        |
| sdg_01_41  | sdg_10_41  | 0.77  | Synergy        |
| sdg_01_41  | sdg_10_50  | -0.76 | Synergy        |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

| indicator1 | indicator2 | corr. | Classification |
|------------|------------|-------|----------------|
| sdg_02_60  | sdg_15_41  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_03_42  | sdg_06_10  | 0.70  | Synergy        |
| sdg_03_42  | sdg_08_10  | -0.74 | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_08_10  | 0.75  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_08_20  | -0.73 | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_09_10  | 0.71  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_09_30  | 0.74  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_09_40  | 0.80  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_10_10  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_11_52  | -0.78 | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_16_50  | 0.80  | Synergy        |
| sdg_04_60  | sdg_17_10  | 0.71  | Trade-off      |
| sdg_06_10  | sdg_08_10  | -0.75 | Synergy        |
| sdg_06_10  | sdg_09_40  | -0.72 | Synergy        |
| sdg_06_10  | sdg_10_10  | -0.73 | Synergy        |
| sdg_06_10  | sdg_11_11  | 0.70  | Synergy        |
| sdg_06_10  | sdg_16_30  | -0.73 | Synergy        |
| sdg_07_20  | sdg_07_60  | -0.75 | Trade-off      |
| sdg_07_30  | sdg_08_10  | 0.82  | Synergy        |
| sdg_07_30  | sdg_10_10  | 0.76  | Synergy        |
| sdg_07_30  | sdg_10_20  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_07_30  | sdg_16_30  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_07_60  | sdg_09_30  | -0.72 | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_09_30  | 0.80  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_09_40  | 0.92  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_10_10  | 0.97  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_10_20  | 0.91  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_11_11  | -0.77 | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_13_50  | 0.70  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_16_30  | 0.83  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_16_40  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_16_50  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_08_10  | sdg_17_10  | 0.89  | Trade-off      |
| sdg_08_20  | sdg_08_30  | -0.78 | Synergy        |
| sdg_08_20  | sdg_08_40  | 0.76  | Synergy        |
| sdg_08_20  | sdg_09_40  | -0.71 | Synergy        |
| sdg_08_20  | sdg_16_50  | -0.71 | Synergy        |
| sdg_08_30  | sdg_08_40  | -0.75 | Synergy        |
| sdg_09_10  | sdg_09_30  | 0.89  | Synergy        |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

---

| indicator1 | indicator2 | corr. | Classification |
|------------|------------|-------|----------------|
| sdg_09_10  | sdg_09_40  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_09_10  | sdg_11_60  | 0.75  | Synergy        |
| sdg_09_10  | sdg_13_50  | 0.78  | Synergy        |
| sdg_09_10  | sdg_16_50  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_09_10  | sdg_17_10  | 0.71  | Trade-off      |
| sdg_09_10  | sdg_17_20  | 0.70  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_09_40  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_10_10  | 0.75  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_10_20  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_11_60  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_13_50  | 0.74  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_16_30  | 0.80  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_16_50  | 0.74  | Synergy        |
| sdg_09_30  | sdg_17_10  | 0.80  | Trade-off      |
| sdg_09_40  | sdg_10_10  | 0.92  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_10_20  | 0.89  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_11_11  | -0.75 | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_11_60  | 0.71  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_16_30  | 0.81  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_16_40  | 0.74  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_16_50  | 0.85  | Synergy        |
| sdg_09_40  | sdg_17_10  | 0.87  | Trade-off      |
| sdg_10_10  | sdg_10_20  | 0.94  | Synergy        |
| sdg_10_10  | sdg_11_11  | -0.77 | Synergy        |
| sdg_10_10  | sdg_16_30  | 0.81  | Synergy        |
| sdg_10_10  | sdg_16_40  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_10_10  | sdg_16_50  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_10_10  | sdg_17_10  | 0.88  | Trade-off      |
| sdg_10_20  | sdg_11_11  | -0.71 | Synergy        |
| sdg_10_20  | sdg_11_60  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_10_20  | sdg_13_50  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_10_20  | sdg_16_30  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_10_20  | sdg_16_50  | 0.75  | Synergy        |
| sdg_10_20  | sdg_17_10  | 0.86  | Trade-off      |
| sdg_10_20  | sdg_17_20  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_10_30  | sdg_10_41  | 0.74  | Synergy        |
| sdg_10_30  | sdg_10_50  | -0.70 | Synergy        |
| sdg_10_41  | sdg_10_50  | -0.99 | Synergy        |
| sdg_11_11  | sdg_17_10  | -0.70 | Trade-off      |

συνέχεια στην επόμενη σελίδα

| indicator1 | indicator2 | corr. | Classification |
|------------|------------|-------|----------------|
| sdg_11_52  | sdg_16_50  | -0.77 | Synergy        |
| sdg_11_60  | sdg_13_50  | 0.72  | Synergy        |
| sdg_11_60  | sdg_16_30  | 0.79  | Synergy        |
| sdg_11_60  | sdg_17_10  | 0.71  | Trade-off      |
| sdg_13_50  | sdg_16_30  | 0.73  | Synergy        |
| sdg_13_50  | sdg_17_10  | 0.75  | Trade-off      |
| sdg_13_50  | sdg_17_20  | 0.92  | Synergy        |
| sdg_13_50  | sdg_17_30  | 0.74  | Trade-off      |
| sdg_16_30  | sdg_17_10  | 0.82  | Trade-off      |
| sdg_16_30  | sdg_17_20  | 0.71  | Synergy        |
| sdg_16_40  | sdg_16_50  | 0.80  | Synergy        |
| sdg_16_50  | sdg_17_10  | 0.79  | Trade-off      |
| sdg_17_10  | sdg_17_20  | 0.76  | Trade-off      |
| sdg_17_20  | sdg_17_30  | 0.84  | Trade-off      |

## Βιβλιογραφία

---

- [1] Neo4j. *RDF vs Property Graphs*. <https://neo4j.com/blog/rdf-vs-property-graphs-knowledge-graphs/>, 2021.
- [2] I Mandilara, E Fotopoulou, A Zafeiropoulos και S Papavassiliou. *SustainGraph ontology Documentation*, 2022.
- [3] Eleni Fotopoulou, Ioanna Mandilara, Anastasios Zafeiropoulos, Chrysi Laspidou, Giannis Adamos, Phoebe Koundouri και Symeon Papavassiliou. *SustainGraph: A knowledge graph for tracking the progress and the interlinking among the sustainable development goals' targets*. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 2022.
- [4] Shaoxiong Ji, Shirui Pan, Erik Cambria, Pekka Marttinen και Philip S. Yu. *A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition, and Applications*. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33(2):494–514, 2022.
- [5] Tim Berners-Lee, James Hendler και Ora Lassila. *The Semantic Web*. *Scientific American*, 284(5):34–43, 2001.
- [6] W3C. *RDF Schema*, 2014.
- [7] Renzo Angles. *The Property Graph Database Model*. *Alberto Mendelzon Workshop on Foundations of Data Management*, 2018.
- [8] Neo4j. *Graph Database Concepts*. <https://neo4j.com/docs/getting-started/appendix/graphdb-concepts/>, 2024.
- [9] Neo4j. *Schema in Neo4j: Introduction to Cypher*. <https://neo4j.com/docs/getting-started/cypher-intro/schema/>, 2024.
- [10] Neo4j. *Cypher Introduction*. <https://neo4j.com/docs/getting-started/cypher/>.
- [11] Neo4j. *GQL Conformance - Cypher Manual Appendix*. <https://neo4j.com/docs/cypher-manual/current/appendix/gql-conformance/>.
- [12] Neo4j. *Graph Database vs Relational Database Management System (RDBMS)*. <https://neo4j.com/docs/getting-started/appendix/graphdb-concepts/graphdb-vs-rdbms/>.
- [13] Christina Maria Androna, Ioanna Mandilara, Eleni Fotopoulou, Anastasios Zafeiropoulos και Symeon Papavassiliou. *A Knowledge Graph-Driven Analysis of the Interlinkages among the Sustainable Development Goal Indicators in Different Spatial Resolutions*. *Sustainability*, 16(11), 2024.

- [14] United Nations Development Programme (UNDP). *The Sustainable Development Goals*.
- [15] United Nations. *The 17 Goals: Sustainable Development Goals*.
- [16] JHP Dawes. *SDG interlinkage networks: Analysis, robustness, sensitivities, and hierarchies*. *World Development*, 149:105693, 2022.
- [17] Lea Issa, Toufic Mezher και Mutasem El Fadel. *Can network analysis ascertain SDGs interlinkages towards evidence-based policy planning? A systematic critical assessment*. *Environmental Impact Assessment Review*, 104:107295, 2024.
- [18] Jean Pierre Cling και Clément Delecourt. *Interlinkages between the sustainable development goals*. *World Development Perspectives*, 25:100398, 2022.
- [19] United Nations Statistics Division. *The SDGs Geospatial Roadmap*. <https://unstats.un.org/unsd/statcom/53rd-session/documents/BG-3a-SDGs-Geospatial-Roadmap-E.pdf>, 2024.
- [20] United Nations. *UN Sustainable Development Goals Data Portal*.
- [21] Mingxing Chen, Liangkan Chen, Jiafan Cheng και Jianhui Yu. *Identifying interlinkages between urbanization and Sustainable Development Goals*. *Geography and Sustainability*, 3(4):339–346, 2022.
- [22] Therese Bennich, Asa Persson, Raphaelle Beaussart, Cameron Allen και Shirin Malekpour. *Recurring patterns of SDG interlinkages and how they can advance the 2030 Agenda*. *One Earth*, 6(11):1465–1476, 2023.
- [23] Jaemin Song και Chang Ho Jang. *Unpacking the sustainable development goals (SDGs) interlinkages: A semantic network analysis of the SDGs targets*. *Sustainable Development*, 31(4):2784–2796, 2023.
- [24] Marta Kuc-Czarnecka, Iwona Markowicz και Agnieszka Sompolska-Rzechuła. *SDGs implementation, their synergies, and trade-offs in EU countries – Sensitivity analysis-based approach*. *Ecological Indicators*, 146, 2023.
- [25] Eleni Fotopoulou, Ioanna Mandilara, Christina Maria Androna και Anastasios Zafeiropoulos. *ARSINOE SustainGraph (Knowledge Graph) Software*, 2023.
- [26] Sumit Purohit, Nhuy Van και George Chin. *Semantic property graph for scalable knowledge graph analytics*. *2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, σελίδες 2672–2677. IEEE, 2021.
- [27] Amit Joshi, Luis Gonzalez Morales, Szymon Klarman, Armando Stellato, Aaron Helton, Sean Lovell και Artur Haczek. *A knowledge organization system for the united nations sustainable development goals*. *The Semantic Web: 18th International Conference, ESWC 2021, Virtual Event, June 6–10, 2021, Proceedings 18*, σελίδες 548–564. Springer, 2021.

- [28] Bandy X Lee, Finn Kjaerulf, Shannon Turner, Larry Cohen, Peter D Donnelly, Robert Muggah, Rachel Davis, Anna Realini, Berit Kieselbach, Lori Snyder MacGregor και others. *Transforming our world: implementing the 2030 agenda through sustainable development goal indicators*. *Journal of public health policy*, 37:13–31, 2016.
- [29] Christina Maria Androna, Ioanna Mandilara, Eleni Fotopoulou, Kallia Giannakopoulou, Anastasios Zafeiropoulos και Symeon Papavassiliou. *Socio-environmental Spatial Data Reduction and Integration in Knowledge Graphs*. *2024 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2024.
- [30] European Commission. *NUTS - Nomenclature of Territorial Units for Statistics*.
- [31] Jeffrey D Sachs, Guido Schmidt-Traub, Mariana Mazzucato, Dirk Messner, Nebojsa Nakicenovic και Johan Rockström. *Six transformations to achieve the sustainable development goals*. *Nature sustainability*, 2(9):805–814, 2019.
- [32] Andrea Crespi, Serena Terzi, Stefano Cocuccioni, Marc Zebisch, Julie Berckmans και Hans Martin Füssel. *Climate-related hazard indices for Europe*. Τεχνική Αναφορά με αριθμό 2020/1, European Topic Centre on Climate Change impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA), 2020.
- [33] Eurostat. *Sustainable Development Goal Database Explorer*, 2025.
- [34] S. P. Venkateshan και Prasanna Swaminathan. *Computational Methods in Engineering*. Springer Cham, 1η έκδοση, 2023.
- [35] G Batista και MC Monard. *A Study of K-Nearest Neighbour as an Imputation Method*, Vol. 30, 2002.
- [36] Rob J. Hyndman και George Athanasopoulos. *Forecasting: Principles and Practice*. OTexts, Melbourne, Australia, 3η έκδοση, 2021.
- [37] C Spearman. *The Proof and Measurement of Association Between Two Things*, *American J. Psychol*, 1904.
- [38] Eurostat. *Energy productivity*. [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg\\_ind\\_ep\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_ind_ep_esmsip2.htm), 2025.
- [39] European Commission. *2030 Targets*. [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_en).