



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

*Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων*

# Εκτίμηση της ζήτησης του νερού για αστική χρήση στην Αθήνα

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ SYSTEM DYNAMICS ΜΕ ΒΑΣΗ  
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ  
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΑΡΚΑΤΟΣ ΙΑΣΟΝΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ**

Αθήνα, Σεπτέμβρης 2024

# Εκτίμηση της ζήτησης του νερού για αστική χρήση στην Αθήνα

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ SYSTEM DYNAMICS ΜΕ ΒΑΣΗ  
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΥΣ  
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΑΡΚΑΤΟΣ ΙΑΣΟΝΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ

Αθήνα, Σεπτέμβρης 2024

## Ευχαριστίες

*Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων κατά το έτος 2024.*

*Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την υποστήριξη του επιβλέποντα καθηγητή, κ. Χρήστο Μακρόπουλο. Χρωστάω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Νίκο Παππά για την διάθεση των απαραίτητων δεδομένων καθώς και την Σάντρα Μπακή για την πολύτιμη βοήθειά της στην κατανόηση της μεθόδου μοντελοποίησης System Dynamics.*

*Ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου Χριστίνα και Νίκο και την αδερφή μου Κατερίνα, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα στήριγμα για μένα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.*

*Θέλω επίσης να ευχαριστήσω θερμά την Κυριακή, που αυτά τα δύο και πλέον χρόνια ήταν πάντα δίπλα μου στις πιο δύσκολες και όμορφες στιγμές αυτής της πορείας και τον φίλο μου το Νίκο για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών. Ευχαριστώ και όλους εκείνους τους ανθρώπους που αυτά τα χρόνια βρέθηκαν στο πλευρό μου με τον οποιονδήποτε τρόπο και που δυστυχώς αυτή η σελίδα δεν μπορεί να χωρέσει όλα τα ονόματά τους.*

*Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους παλιούς συντρόφους και συντρόφισσες της ΑΝΑΡΠΑ ΕΑΑΚ και τους/τις τωρινούς/ες της Στρέψη Attack που με έμαθαν και συνεχίζουν να με μαθαίνουν να αγωνίζομαι για ό,τι έχει αξία σε αυτή τη ζωή.*

*Για μια παιδεία στο ύψος των αναγκών μας και μια κοινωνία στο μπόι των ονείρων μας.*



## Περιεχόμενα

|       |                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | Εισαγωγή.....                                                               | 1  |
| 1.1   | Διατύπωση του προβλήματος.....                                              | 1  |
| 1.2   | Σημασία μελέτης.....                                                        | 2  |
| 1.3   | Μεθοδολογία.....                                                            | 2  |
| 2.    | Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....                                               | 3  |
| 2.1   | Σχετικά με τη μεθοδολογία System Dynamics- Ιστορική ανασκόπηση .....        | 3  |
| 2.2   | Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού .....           | 6  |
| 2.3   | Εφαρμογή της μεθόδου System Dynamics στην πρόβλεψη της ζήτησης του νερού    | 8  |
| 3     | Περιοχή Μελέτης .....                                                       | 10 |
| 3.1   | Γενικά στοιχεία .....                                                       | 10 |
| 3.2   | Γεωγραφική Έκταση και Αστική Ανάπτυξη .....                                 | 10 |
| 3.3   | Υδρευση στην Αθήνα.....                                                     | 12 |
| 3.4   | Ιστορική ανασκόπηση .....                                                   | 12 |
| 3.5   | Περιγραφή του υδροδοτικού δικτύου της Αθήνας .....                          | 15 |
| 3.6   | Σημερινά δεδομένα και προκλήσεις .....                                      | 16 |
| 3.7   | Το ζήτημα της έλλειψης νερού στην Αττική .....                              | 17 |
| 4     | Παραδοχές και ανάλυση ιστορικών δεδομένων για την εκπόνηση του μοντέλου ... | 18 |
| 4.1   | Παραδοχές .....                                                             | 18 |
| 4.2   | Πληθυσμιακά δεδομένα .....                                                  | 19 |
| 4.3   | Οικονομικά δεδομένα .....                                                   | 20 |
| 4.3.1 | ΑΕΠ .....                                                                   | 20 |
| 4.3.2 | Ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ .....                                               | 22 |
| 4.3.3 | Κόστος και τιμή του νερού .....                                             | 22 |
| 4.4   | Κλιματικά δεδομένα .....                                                    | 23 |
| 4.5   | Δεδομένα κατανάλωσης.....                                                   | 27 |
| 4.6   | Απώλειες συστήματος .....                                                   | 29 |
| 4.7   | Τεχνολογικές βελτιώσεις στις οικιακές συσκευές.....                         | 30 |
| 4.8   | Επίδραση της περιβαλλοντικής συνείδησης.....                                | 31 |
| 5     | Εκπόνηση του μοντέλου .....                                                 | 32 |
| 5.1   | Σχετικά με το λογισμικό AnyLogic.....                                       | 32 |
| 5.2   | Διαγράμματα συσχέτισης .....                                                | 34 |
| 5.2.1 | Causal Loop Diagram.....                                                    | 34 |
| 5.2.2 | Stock and Flow Diagram.....                                                 | 36 |
| 5.3   | Σενάρια .....                                                               | 38 |



|       |                                                                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.1 | SSP1: Διαδρομή Αειφορίας .....                                                                                | 39 |
| 5.3.2 | SSP2: Διαδρομή Μεσαίου Δρόμου .....                                                                           | 39 |
| 5.3.3 | SSP3: Διαδρομή Περιφερειακής Αντιπαλότητας .....                                                              | 39 |
| 5.3.4 | SSP4: Διαδρομή Ανισοτήτων .....                                                                               | 39 |
| 5.3.5 | SSP5: Διαδρομή Εντατικής Ανάπτυξης.....                                                                       | 40 |
| 5.4   | Διατύπωση των εξισώσεων συσχέτισης .....                                                                      | 40 |
| 5.4.1 | Εξίσωση συσχέτισης πληθυσμού στην Ελλάδα και πληθυσμού στην Αθήνα<br>40                                       |    |
| 5.4.2 | Εξίσωση συσχέτισης παραμέτρων με την κατά κεφαλήν κατανάλωση .....                                            | 42 |
| 5.4.3 | Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης περιβαλλοντικής συνειδησης στην<br>κατανάλωση του νερού .....                     | 46 |
| 5.4.4 | Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης εξέλιξης της τεχνολογίας των οικιακών<br>συσκευών στην κατανάλωση του νερού ..... | 48 |
| 5.4.5 | Υπολογισμός απωλειών νερού στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ .....                                                         | 51 |
| 5.4.6 | Υπολογισμός τιμής του νερού και συσχέτισης με τη ζήτηση.....                                                  | 52 |
| 5.4.7 | Σύνοψη και διατύπωση όλων των εξισώσεων και δεδομένων για την<br>εκτέλεση του μοντέλου .....                  | 53 |
| 6     | Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....                                                                             | 55 |
| 6.1   | Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά σενάριο.....                                                                     | 55 |
| 6.1.1 | SSP1.....                                                                                                     | 55 |
| 6.1.2 | SSP2.....                                                                                                     | 58 |
| 6.1.3 | SSP5.....                                                                                                     | 61 |
| 6.2   | Σύνοψη αποτελεσμάτων .....                                                                                    | 64 |
| 6.3   | Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου .....                                                                            | 67 |
| 6.3.1 | Ανάλυση ευαισθησίας στη στοχαστικότητα .....                                                                  | 67 |
| 6.3.2 | Ανάλυση σημαντικότητας παραμέτρων .....                                                                       | 71 |
| 7     | Συμπεράσματα και προτάσεις.....                                                                               | 72 |
| 7.1   | Συμπεράσματα .....                                                                                            | 72 |
| 7.2   | Συζήτηση-προτάσεις.....                                                                                       | 73 |
| 8     | Βιβλιογραφία .....                                                                                            | 76 |
| 9     | Παράρτημα πινάκων .....                                                                                       | 80 |
| 9.1   | Ιστορικά δεδομένα.....                                                                                        | 80 |
| 9.2   | Δεδομένα πρόβλεψης SSP.....                                                                                   | 92 |
| 9.3   | Αναλυτικά αποτελέσματα .....                                                                                  | 97 |

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Διατύπωση του προβλήματος

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι προβλέψεις σχετικά με τα προβλήματα που αφορούν το νερό έχουν καταστεί αναπόφευκτα δυσχερείς καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται και οι κλιματικές αλλαγές επιταχύνονται. Η έλλειψη νερού και η υπερκατανάλωση των υδάτινων πόρων αποτελούν ζητήματα που επιβαρύνουν ήδη εύθραυστα οικοσυστήματα και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια. Προβλήματα όπως η ρύπανση των υδάτινων πηγών, η ερημοποίηση και οι συγκρούσεις για τον έλεγχο υδατικών πόρων αναδεικνύονται ως σημαντικές προκλήσεις. Η διεθνής κοινότητα καλείται να αναπτύξει βιώσιμες πολιτικές για την ισορροπημένη διαχείριση των υδάτων, προάγοντας τεχνολογίες όπως η απολύμανση και η ανακύκλωση νερού, για να αποφύγουμε μια πιθανή μελλοντική κρίση. Σημαντικό εργαλείο σε αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η δυνατότητα πρόβλεψης των τάσεων της ζήτησης του νερού προκειμένου να μπορέσουν να αναδιαμορφωθούν τα υδροδοτικά δίκτυα αναλόγως και να αναπτυχθούν εκείνες οι πολιτικές που θα είναι ικανές να αντιστρέψουν πιθανά προβλήματα λειψυδρίας στο μέλλον.

Η διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης νερού αποτελεί τον κορμό για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης σε κάθε κοινωνία. Μια αποτελεσματική διαχείριση περιλαμβάνει την εξέλιξη στρατηγικών πολιτικών που εξασφαλίζουν αρκετό νερό για να καλύψουν κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές ανάγκες. Προβλέπεται ότι μέχρι το 2030, περίπου 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα επηρεαστούν από την έλλειψη νερού. Περίπου το 45% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε περιοχές με ζητήματα λειψυδρίας μέχρι το 2050, και περίπου 250 εκατομμύρια άνθρωποι δεν θα έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό [61]. Αυτό καθιστά τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων θεμελιώδη πυλώνα για την κοινωνική βιωσιμότητα. Η αυξανόμενη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη ενός αυξανόμενου πληθυσμού και οι εμπορικές δραστηριότητες οδηγούν σε αυξημένη ζήτηση νερού. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επιδεινώνουν αυτό το πρόβλημα, ειδικά σε ξηρές περιοχές, όπου τα υπόγεια νερά υπερεκμεταλλεύονται λόγω ανεπαρκών στρατηγικών διαχείρισης νερού μακροπρόθεσμα. Αυτό οδηγεί σε πιθανότητα εξάντλησης των υπογείων υδάτων, εισροή θαλασσινού νερού και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, καθώς και σε αυξημένο ανταγωνισμό μεταξύ των διαφόρων χρηστών στον υδάτινο τομέα. Η μελέτη συνεπώς και η προσπάθεια διαμόρφωσης ενός μοντέλου πρόβλεψης της μελλοντικής ζήτησης σε νερό από τον πληθυσμό αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σωστή διαχείριση των υδάτων και την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων.

## 1.2 Σημασία μελέτης

Η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί συνεπώς μία από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις του 21ου αιώνα, ιδιαίτερα σε αστικά κέντρα όπως η Αθήνα, όπου η αυξημένη πίεση λόγω υψηλής πυκνότητας πληθυσμού και τουριστικής επισκεψιμότητας συναντά τα όρια της διαθεσιμότητας φυσικών πόρων. Η πρόβλεψη της ζήτησης νερού με ακρίβεια και συνέπεια είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή ελλείψεων και την εξασφάλιση της βιώσιμης χρήσης των υδατικών πόρων.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των System Dynamics, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα να αναλυθούν και να προσομοιωθούν οι δυναμικές σχέσεις μεταξύ των κυρίαρχων παραμέτρων που επηρεάζουν την αστική ζήτηση του νερού σε μια πόλη. Σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής είναι η ανάλυση ιστορικών δεδομένων της περιοχής, τα οποία περιλαμβάνουν στατιστικές κατανάλωσης νερού, δημογραφικές αλλαγές και άλλες τάσεις που επηρεάζουν τη ζήτηση.

Είναι αναγκαίο να αναφέρουμε ότι η διαχείριση των υδατικών πόρων στην Αθήνα δεν αποτελεί μόνο μία τεχνική ή οικονομική πρόκληση αλλά συνδέεται άμεσα με την κοινωνική ευημερία και την πολιτική σταθερότητα. Κατά συνέπεια, το μοντέλο που αναπτύσσεται πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο τεχνικούς όσο και κοινωνικούς παράγοντες, ώστε να προσφέρει ρεαλιστικές και εφαρμόσιμες προτάσεις για τη βιώσιμη διαχείριση του νερού.

Η σημασία της μελέτης αυτής αναδεικνύεται μέσα από την ανάγκη για ανανεωμένες πολιτικές διαχείρισης που θα μπορούν να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις που φέρνει η κλιματική αλλαγή και η αστικοποίηση. Επίσης, το μοντέλο θα προσπαθήσει να προβλέψει πιθανές μελλοντικές ανάγκες νερού, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία μιας πολιτικής και δυνητικά ενός δικτύου ικανού να καλύψει αυτές τις ανάγκες και στην ενίσχυση της δημόσιας υγείας και ασφάλειας.

Η δυνατότητα πρόβλεψης των μελλοντικών συνθηκών στην διαχείριση υδάτων παρέχει τα εργαλεία για να ληφθούν προληπτικά μέτρα και να προσαρμοστούν σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, αντί να υπάρχει αντίδραση σε κρίσεις μόνο αφότου έχουν ήδη εκδηλωθεί. Μέσω της ενσωμάτωσης των δεδομένων και της μοντελοποίησης, αυτή η εργασία επιδιώκει να προσφέρει μια διαφορετική οπτική για το πώς η ζήτηση νερού μπορεί να διαμορφωθεί και να διαχειριστεί πιο αποτελεσματικά στο μέλλον.

## 1.3 Μεθοδολογία

Τα μοντέλα System Dynamics (SDM) είναι ικανά να υποστηρίξουν την ολοκλήρωση και την αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων. Έτσι, μια ολοκληρωμένη κατανόηση αυτών των συστημάτων απαιτεί μια μεθοδολογία που ενσωματώνει τα απαραίτητα υποσυστήματα, μοντελοποιεί τις σύνθετες

ανατροφοδοτήσεις κάθε συστήματος, εντοπίζει τις βασικές αιτίες των προβλημάτων και βοηθά την πολιτεία να σχεδιάσει αποτελεσματικές στρατηγικές για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτων. Το System Dynamics μοντέλο, όντας μια ολιστική προσέγγιση συστημάτων και χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοίωσης, μπορεί να ενσωματώσει το υδρολογικό υποσύστημα μιας περιοχής και τα κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά υποσυστήματα της μέσα από stock and flow diagrams (SFD) για να μελετήσει τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των πολιτικών υδάτινων πόρων από τα υδατικά ισοτιμύτα διακυβέρνησης της περιοχής.

Απαιτείται μια σφαιρική κατανόηση του συστήματος για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση νερού. Η συμμετοχή των ενδιαφερομένων στη διαχείριση των υδάτων είναι ουσιαστική για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση στρατηγικών με ελάχιστη ή καθόλου κοινωνική αντίσταση. Η κατανόηση και η εννοιολόγηση ενός καθολικού συστήματος υδατικών πόρων είναι μια περίπλοκη πρόκληση, καθώς συμπεριλαμβάνει αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων υποσυστημάτων και παραγόντων. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ υποσυστημάτων είναι μη γραμμική και δυναμική και δεν μπορεί να πλαισιωθεί και να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας γραμμικές προσεγγίσεις ή μηχανιστικές τεχνικές. Τα γραμμικά μοντέλα δεν έχουν το απαραίτητο πλαίσιο για να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα της μελέτης φυσικών συστημάτων, όπως είναι και η παρούσα.

Για την ασφάλεια των προβλέψεων και των εκτιμήσεων αξιοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα που αφορούν στο κλίμα, την οικονομία και τον πληθυσμό τόσο της Ελλάδας όσο και της Αθήνας και αναλύθηκαν οι τάσεις αυτών. Για τα δεδομένα πρόβλεψης αξιοποιήθηκαν τα σενάρια Shared Socioeconomic Pathways (SSP), τα οποία είναι διεθνώς αναγνωρισμένα και αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα [\[53,56\]](#). Στο τέλος ακολουθεί ανάλυση ευαισθησίας και συμβολής της κάθε παραμέτρου του μοντέλου.

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Σχετικά με τη μεθοδολογία System Dynamics- Ιστορική ανασκόπηση

Η μεθοδολογία System Dynamics (SD) αναπτύχθηκε από τον Jay Forrester τη δεκαετία του 1950 στο MIT, με στόχο τη διερεύνηση της δυναμικής των επιχειρηματικών συστημάτων, και έκτοτε επεκτάθηκε σε πλήθος επιστημονικών πεδίων. Η αρχική προσέγγιση του Forrester για την ανάλυση των σύνθετων σχέσεων και των μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων εντός συστημάτων αναδείχθηκε ως ένα ισχυρό εργαλείο, όχι μόνο για τον ιδιωτικό τομέα, αλλά και για το δημόσιο και το περιβαλλοντικό πεδίο (Forrester, 1961 [\[20\]](#)).

Τη δεκαετία του 1960, το System Dynamics χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη μοντελοποίηση εταιρικών συστημάτων. Το πρώτο μεγάλο έργο του Forrester, το Industrial Dynamics (1961), εισήγαγε μια μαθηματική προσέγγιση μοντελοποίησης για να εξεταστούν οι επιχειρηματικοί κύκλοι, η διαχείριση αποθεμάτων και οι διαδικασίες παραγωγής. Η βασική ιδέα ήταν ότι οι εταιρείες είναι δυναμικά συστήματα με αλληλεξαρτώμενες διαδικασίες, όπως η παραγωγή, οι πωλήσεις και τα αποθέματα. Αυτές οι διαδικασίες παρουσιάζουν πολύπλοκους κύκλους ανατροφοδότησης, οι οποίοι δεν ήταν κατανοητοί από τις παραδοσιακές τεχνικές διοίκησης. Μέσω της μοντελοποίησης αυτών των κύκλων, ο Forrester κατάφερε να δείξει πώς οι καθυστερήσεις, οι μη γραμμικότητες και η ανατροφοδότηση μπορούν να οδηγήσουν σε επιχειρηματικούς κύκλους και ταλαντώσεις στην παραγωγή, φαινόμενο που σήμερα είναι γνωστό ως το "φαινόμενο του μαστιγίου".

Το έργο του Urban Dynamics (1969) ήταν το επόμενο σημαντικό βήμα του Forrester, όπου εφάρμοσε τις ίδιες αρχές ανατροφοδότησης και μη γραμμικότητας στην αστική ανάπτυξη. Το μοντέλο του προσομοίωσε το πώς παράγοντες όπως η στέγαση, οι θέσεις εργασίας και ο πληθυσμός αλληλοεπιδρούν σε μια πόλη, δείχνοντας πώς οι πολιτικές μπορούν να έχουν ανεπιθύμητες συνέπειες μακροπρόθεσμα.

Τη δεκαετία του 1970, η εμβέλεια του System Dynamics επεκτάθηκε σημαντικά. Ίσως η πιο διάσημη εφαρμογή της ήταν στον περιβαλλοντικό τομέα, με τη δημοσίευση της σημαντικής αναφοράς "Τα Όρια της Ανάπτυξης" το 1972 των Meadows et al., η οποία ανατέθηκε από το Club of Rome [25]. Χρησιμοποιώντας μοντέλα SD, η μελέτη προέβλεψε το μέλλον της παγκόσμιας πληθυσμιακής ανάπτυξης, της βιομηχανικής δραστηριότητας, της παραγωγής τροφίμων και της εξάντλησης των πόρων, τονίζοντας ότι η συνεχιζόμενη εκθετική ανάπτυξη θα οδηγήσει σε υπέρβαση και κατάρρευση των συστημάτων της Γης, εκτός αν γίνουν σημαντικές αλλαγές.

Αυτό το έργο έκανε τη SD παγκοσμίως γνωστή και απέδειξε την αξία της για την αντιμετώπιση σύνθετων, μακροπρόθεσμων προβλημάτων σε κοινωνικά και περιβαλλοντικά πεδία. Το μοντέλο World Dynamics, που αναπτύχθηκε από τον Forrester το 1971, αποτέλεσε τον πρόδρομο του έργου "Τα Όρια της Ανάπτυξης", προσφέροντας πρώιμες πληροφορίες για τις προκλήσεις της βιωσιμότητας και των περιορισμένων πόρων.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1980 και του 1990, η Δυναμική Συστημάτων εδραιώθηκε ως ακαδημαϊκό πεδίο, με πολλά πανεπιστήμια να την εντάσσουν στα προγράμματά τους. Σημαντικές προσωπικότητες, όπως ο Peter Senge, προώθησαν την προσέγγιση στον οργανωσιακό τομέα και τη διοίκηση με το βιβλίο του The Fifth Discipline (1990) [38]. Το έργο του Senge επεξέτεινε τη χρήση της SD πέρα από τα τεχνικά συστήματα, εισάγοντας την ευρύτερη έννοια της σκέψης συστημάτων και της σημασίας της για την ηγεσία και τη λήψη αποφάσεων.

Παράλληλα, η SD βρήκε εφαρμογές στη δημόσια πολιτική, την οικονομία και τη διαχείριση πόρων. Ερευνητές άρχισαν να χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία για να εξερευνήσουν ζητήματα όπως τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, οι μεταφορές, η περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τα εκπαιδευτικά συστήματα. Η μέθοδος αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πολιτικές μπορούν να έχουν καθυστερημένες, μη γραμμικές και, σε ορισμένες περιπτώσεις, αντιφατικές επιπτώσεις στα συστήματα που επιδιώκουν να βελτιώσουν.

Με την έλευση των προηγμένων υπολογιστικών συστημάτων τον 21ο αιώνα, η μοντελοποίηση SD έγινε πιο προσιτή και ισχυρή. Η ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού, όπως το Vensim και το AnyLogic, επέτρεψε σε ευρύτερη ομάδα χρηστών, από ακαδημαϊκούς έως φορείς χάραξης πολιτικής, να προσομοιώνουν σύνθετα συστήματα και να διερευνούν διάφορα μελλοντικά σενάρια.

Τα τελευταία χρόνια, η μεθοδολογία έχει χρησιμοποιηθεί σε τομείς όπως η κλιματική αλλαγή, η διαχείριση υδατικών πόρων, τα ενεργειακά συστήματα και η δημόσια υγεία. Για παράδειγμα, τα κλιματικά μοντέλα έχουν εφαρμόσει τη μεθοδολογία αυτή για να προσομοιώσουν τις ανατροφοδοτήσεις μεταξύ της οικονομικής δραστηριότητας, των εκπομπών άνθρακα και των κλιματικών επιπτώσεων, βοηθώντας τους ερευνητές και τους πολιτικούς να κατανοήσουν τις μακροπρόθεσμες συνέπειες των τρεχουσών συμπεριφορών.

Μια σημαντική πτυχή του SD είναι η χρήση του για τη μοντελοποίηση των υδατικών πόρων, ιδιαίτερα λόγω της πολύπλοκης φύσης των υδρολογικών και κοινωνικών συστημάτων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα και τη χρήση νερού. Όπως επισημαίνεται από τους Bala, Arshad και Noh (2017) [\[11\]](#), η μέθοδος αυτή αποτυπώνει τις πολυδιάστατες σχέσεις μεταξύ των υποσυστημάτων, όπως η κατανάλωση νερού, οι φυσικοί πόροι και οι κλιματικές μεταβολές. Τα αποτελέσματα των εφαρμογών αυτών υποδεικνύουν ότι το SD επιτρέπει την πρόβλεψη της ζήτησης νερού υπό διάφορα σενάρια πολιτικής και περιβαλλοντικών αλλαγών, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων.

Μια κεντρική έννοια του SD είναι τα διαγράμματα αιτιότητας (Causal Loop Diagrams - CLD), τα οποία παρέχουν ποιοτική ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών ενός συστήματος. Στη διαχείριση υδάτινων πόρων, τα CLD επιτρέπουν την κατανόηση των ανατροφοδοτούμενων σχέσεων μεταξύ της κατανάλωσης, της διαθεσιμότητας και της κλιματικής αλλαγής (Ford, 1999 [\[14\]](#); Sterman, 2003 [\[26\]](#)). Παράλληλα, η ποσοτική ανάλυση γίνεται με τη χρήση διαγραμμάτων αποθεμάτων και ροών (Stock and Flow Diagrams - SFD), τα οποία αποτυπώνουν τις ροές υδάτινων πόρων και τη διαχείριση τους από τα συστήματα (Sterman, 2003 [\[26\]](#); Albin, 1997 [\[3\]](#)).

Η συμβολή της μεθοδολογίας SD στη διαχείριση υδάτων καταδεικνύεται από τις μελέτες των Gohari et al. (2013) [\[16\]](#), που επισημαίνουν ότι το SD είναι ένα από

τα πιο ισχυρά εργαλεία για την προσομοίωση της ζήτησης και προσφοράς νερού σε περιβαλλοντικά συστήματα. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η εφαρμογή του SD μπορεί να μειώσει τη ζήτηση νερού μέσω της ορθολογικής κατανομής των πόρων και της χρήσης τεχνολογιών εξοικονόμησης.

Η ιστορική πορεία της μεθοδολογίας αποδεικνύει τη χρησιμότητά της στην ανάλυση των μακροχρόνιων δυναμικών σε διάφορους τομείς, από τη βιομηχανία και την υγειονομική περίθαλψη έως τη διαχείριση φυσικών πόρων. Η μελέτη του Randers (1997) [25] επισημαίνει την ικανότητα του SD να διευκολύνει την ανάλυση των αιτιών και των επιπτώσεων σε μακροχρόνιες προοπτικές, ενώ τα αποτελέσματα των μελετών που αφορούν τη διαχείριση υδάτων υπογραμμίζουν τη δυνατότητα του SD να ενσωματώσει σύνθετες αλληλεπιδράσεις για τη διαμόρφωση στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης.

## 2.2 Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού

Η ζήτηση νερού αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα, που επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, την αύξηση του πληθυσμού, την αστική ανάπτυξη, την οικονομική δραστηριότητα, την τιμολόγηση του νερού, τις τεχνολογικές προόδους και τις περιβαλλοντικές πολιτικές κ.ά. Η μελέτη των παραγόντων αυτών είναι καθοριστική για την κατανόηση των διαφοροποιήσεων στη ζήτηση νερού και τη διαμόρφωση πολιτικών διαχείρισης. Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση του νερού παρατίθενται στη συνέχεια.

- Οι κλιματικές συνθήκες είναι ένας από τους κύριους καθοριστικούς παράγοντες της διαθεσιμότητας νερού. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η συχνότητα των ξηρασιών έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της εξάτμισης και τη μείωση των επιφανειακών υδάτων (Smith et al., 2020 [19]). Οι μελέτες επισημαίνουν ότι η κλιματική αλλαγή αυξάνει την ανάγκη για τεχνολογικές λύσεις όπως οι τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, οι οποίες μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις της μειωμένης διαθεσιμότητας (Kumar, 2020 [22]).
- Η αύξηση του πληθυσμού είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας. Η αυξημένη ζήτηση για οικιακή, γεωργική και βιομηχανική χρήση δημιουργεί έντονες πιέσεις στους υδάτινους πόρους. Σημειώνεται ότι η αύξηση του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες εντείνει τη ζήτηση για νερό, ενώ στις ανεπτυγμένες χώρες, η αστική ανάπτυξη και η εκβιομηχάνιση αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την αύξηση των αναγκών (Davis, 2019) [24].
- Η οικονομική δραστηριότητα αποτελεί έναν ακόμη κρίσιμο παράγοντα, καθώς κάθε παραγωγική διαδικασία απαιτεί νερό. Οι Lee et al. (2018) καταδεικνύουν ότι η οικονομική ανάπτυξη σε τομείς όπως η βιομηχανία και η γεωργία αυξάνει τη ζήτηση για υδατικούς πόρους, με αποτέλεσμα την ανάγκη για καλύτερη διαχείριση και υποδομές για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης νερού [37].

- Η τιμολόγηση του νερού είναι καθοριστική για την κατανάλωση, καθώς μπορεί να επηρεάσει την καταναλωτική συμπεριφορά. Οι Grafton et al. (2023) σημειώνουν ότι η ορθολογική τιμολόγηση μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ζήτησης, ενώ παράλληλα προωθεί την αποδοτική χρήση του νερού [34].
- Η αστική ανάπτυξη αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη ζήτηση του νερού, καθώς οι αυξανόμενες ανάγκες των αστικών κέντρων απαιτούν νέες υποδομές για την καθαρισμό, διανομή και αποθήκευση του νερού. Σύμφωνα με τον Davis (2019), η επέκταση των αστικών κέντρων επιβάλλει την ανάγκη για βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδατικών πόρων, κάτι που γίνεται ολοένα πιο δύσκολο λόγω των αυξανόμενων δημογραφικών πιέσεων [24]. Επιπλέον, η επέκταση των αστικών δικτύων αυξάνει τη ζήτηση για καθαρό νερό και επιδεινώνει τις προκλήσεις της υποδομής, ενώ παράλληλα περιορίζει την πρόσβαση σε φυσικούς υδάτινους πόρους.
- Στο πλαίσιο της τεχνολογικής προόδου, πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι νέες τεχνολογίες στη διαχείριση νερού μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα στη χρήση υδατινών πόρων. Οι Kumar (2020) και Baki et al. (2018) αναφέρουν ότι η χρήση τεχνολογιών όπως η ανακύκλωση νερού, η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων και τα "έξυπνα" συστήματα διαχείρισης νερού έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις απώλειες και να εξασφαλίσουν πιο βιώσιμες πρακτικές στη διαχείριση των υδατινών πόρων [22,10]. Αυτές οι τεχνολογίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας ή αυξανόμενης ζήτησης.
- Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που υιοθετούνται από διάφορες κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς στοχεύουν στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την υπερβολική κατανάλωση. Ο Morales (2021) επισημαίνει ότι οι πολιτικές αυτές έχουν διαμορφωθεί για να προωθήσουν τη βιωσιμότητα και την ορθολογική χρήση του νερού, εστιάζοντας τόσο στην αύξηση της αποδοτικότητας όσο και στη μείωση της σπατάλης [23]. Αυτές οι πολιτικές περιλαμβάνουν κανονισμούς για την εξοικονόμηση νερού, κίνητρα για την υιοθέτηση τεχνολογιών εξοικονόμησης και ανακύκλωσης, καθώς και αυστηρούς ελέγχους στη χρήση νερού από βιομηχανίες και γεωργικές δραστηριότητες.

Η σύνοψη των παραπάνω παραγόντων καθώς και ο αριθμός που αυτές εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού [5, 18, 7, 8, 12, 27, 40]

| Παράγοντας                                       | Περιγραφή                                                                                                                                                           | Αριθμός Μελετών | Παράδειγμα Πολυαναφερόμενης Έρευνας                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Κλιματικές Συνθήκες</b>                       | Η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου είναι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη ζήτηση νερού.                                  | 30+             | <a href="#">Al-Zahrani &amp; Abo-Monasar (2015): Predicting water demand: a review of the methods employed and future possibilities</a> |
| <b>Αύξηση Πληθυσμού</b>                          | Η αυξανόμενη πληθυσμιακή ανάπτυξη αυξάνει άμεσα τη ζήτηση νερού, καθώς περισσότερα άτομα χρησιμοποιούν τους υδάτινους πόρους.                                       | 20+             | <a href="#">Herrera et al. (2010): Short-term water demand forecasting using data-centric machine learning approaches.</a>              |
| <b>Αστική Ανάπτυξη</b>                           | Η αστικοποίηση επηρεάζει τη ζήτηση νερού μέσω της αυξημένης πυκνότητας, η οποία επηρεάζει την οικιακή χρήση νερού και την ανάπτυξη υποδομής.                        | 18+             | <a href="#">Xuemei Bai (2014): Towards sustainable urban water resource management: A case study in Tianjin China</a>                   |
| <b>Οικονομική Δραστηριότητα</b>                  | Η βιομηχανική ανάπτυξη, η αύξηση του ΑΕΠ και οι ρυθμοί απασχόλησης είναι οικονομικοί δείκτες που αντανακλούν τη ζήτηση νερού λόγω βιομηχανικής και οικιακής χρήσης. | 15+             | <a href="#">Azadeh et al. (2012): A comprehensive review of energy forecasting: Tools and methodologies</a>                             |
| <b>Τιμολόγηση Νερού και Δομές Τιμών</b>          | Οι μηχανισμοί τιμολόγησης νερού μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των καταναλωτών και τη συνολική ζήτηση νερού.                                                  | 12+             | <a href="#">Caiado (2010): Assessment of residential water demand determinants using an econometric approach.</a>                       |
| <b>Τεχνολογικές Πρόοδοι στη Διαχείριση Νερού</b> | Καινοτομίες όπως το IoT και τα ψηφιακά δίκτυα επιτρέπουν πιο ακριβή διαχείριση της ζήτησης νερού μέσω της παρακολούθησης και πρόβλεψης των μοτίβων χρήσης.          | 10+             | <a href="#">Narayan et al. (2020): IoT-based water demand forecasting and distribution design for smart city</a>                        |
| <b>Περιβαλλοντικές Πολιτικές και Ρυθμίσεις</b>   | Οι κανονισμοί και οι πολιτικές που στοχεύουν στη βιώσιμη χρήση νερού επηρεάζουν τα μοτίβα κατανάλωσης και τις πρακτικές διατήρησης.                                 | 8+              | <a href="#">C Tortajada et al. (2019): Water demand management strategies for water-scarce cities: The case of Spain</a>                |

## 2.3 Εφαρμογή της μεθόδου System Dynamics στην πρόβλεψη της ζήτησης του νερού

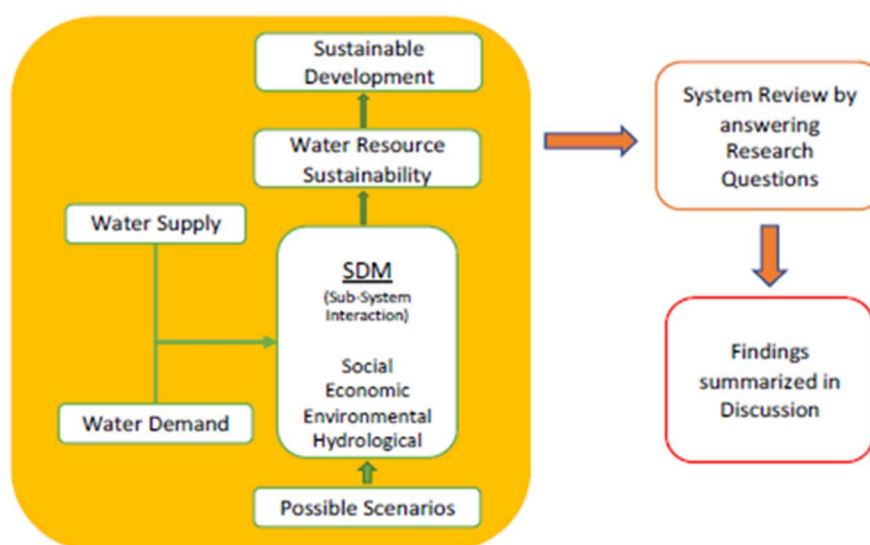
Η μεθοδολογία System Dynamics (SD) έχει εφαρμοστεί ευρέως στη διαχείριση των υδατικών πόρων για τη μοντελοποίηση της ζήτησης και της προσφοράς νερού. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ενσωμάτωση σύνθετων σχέσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των φυσικών, οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων που αναλύθηκαν παραπάνω και επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα και τη χρήση νερού.

Μια σημαντική μελέτη για την εφαρμογή του SD στη διαχείριση νερού είναι αυτή των Chen και Wei (2015), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το SD για να αναλύσουν τη διαχείριση υδατικών πόρων σε περιβαλλοντικά και οικονομικά ασταθή

περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους έδειξαν ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης νερού μπορούν να κατανοηθούν καλύτερα μέσω της χρήσης των διαγραμμάτων αιτιότητας (CLD), τα οποία επιτρέπουν την ανάλυση των ανατροφοδοτούμενων σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος [44]. Οι Wang et al. (2011) παρουσίασαν παρόμοια ευρήματα, χρησιμοποιώντας το SD για την πρόβλεψη της ζήτησης νερού σε αστικές περιοχές, καταλήγοντας ότι η προσομοίωση με βάση σενάρια πολιτικής μπορεί να βοηθήσει τους φορείς χάραξης πολιτικής να κατανοήσουν τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των πολιτικών διαχείρισης [43].

Οι μελέτες αυτές τονίζουν επίσης τη σημασία της ποσοτικής ανάλυσης με τη χρήση διαγραμμάτων αποθεμάτων και ροών (SFD). Αυτά τα διαγράμματα αποτυπώνουν τις ροές νερού εντός του συστήματος, επιτρέποντας την ποσοτική εκτίμηση της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στη διαθεσιμότητα και κατανάλωση νερού. Οι Sterman (2003) και Bala et al. (2017) επισημαίνουν ότι τα SFD επιτρέπουν τη μοντελοποίηση σύνθετων συστημάτων και την πρόβλεψη των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν διαφορετικά σενάρια στη ζήτηση και την προσφορά νερού [11].

Η έρευνα του Khawar Naeem et al. (2023) προσφέρει μια ανασκόπηση της χρήσης του SD στη διαχείριση των υδατικών πόρων, εστιάζοντας στις εφαρμογές του SD για τη βιώσιμη διαχείριση της ζήτησης και προσφοράς νερού. Από τα αποτελέσματα της μελέτης, προκύπτει ότι οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποίησαν την ανάλυση σεναρίων για να κατανοήσουν τις αλλαγές στη ζήτηση νερού υπό διαφορετικές πολιτικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Η μελέτη κατέληξε ότι το 88% των άρθρων χρησιμοποίησε προσεγγίσεις σεναρίων για την αξιολόγηση των πολιτικών διαχείρισης, ενώ μόνο το 12% ενσωμάτωσε πιο σύνθετες υβριδικές μεθόδους, όπως πολυκριτηριακή ανάλυση και μοντελοποίηση πράκτορα-βάσης (Agent-Based Modelling) [26].



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής εφαρμογής SDM στην αναθεώρηση στρατηγικής βιωσιμότητας υδατικών πόρων. [Khawar Naeem κ.ά]

Η ανάλυση των Baki et al. (2012) για την Αθήνα υποστηρίζει ότι οι τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη ζήτηση, ειδικά σε αστικά συστήματα με υψηλή κατανάλωση [9]. Οι μελέτες που χρησιμοποιούν το SD παρέχουν πληροφορίες για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της προσφοράς νερού, της τεχνολογίας και της οικονομικής δραστηριότητας, επιτρέποντας στους φορείς χάραξης πολιτικής να προβλέψουν τις μελλοντικές απαιτήσεις και να αναπτύξουν στρατηγικές για την αποδοτική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Συνολικά, η εφαρμογή του SD στη διαχείριση νερού επιτρέπει την κατανόηση της πολύπλοκης φύσης της προσφοράς και ζήτησης, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Η χρήση της μεθοδολογίας SDM στην πρόβλεψη της ζήτησης νερού έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική για την κατανόηση των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ φυσικών, οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων. Οι μελέτες δείχνουν ότι το SDM διευκολύνει τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη, ιδιαίτερα υπό την επίδραση των κλιματικών αλλαγών και της οικονομικής δραστηριότητας, παρέχοντας τη δυνατότητα ανάλυσης διαφορετικών σεναρίων διαχείρισης. Η μέθοδος ενισχύει την ανάπτυξη βέλτιστων πολιτικών διαχείρισης νερού μέσω της προσομοίωσης και της ανάλυσης ανατροφοδοτούμενων σχέσεων, ενώ παράλληλα προωθεί τη συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών στη λήψη αποφάσεων. Συνολικά, η SDM συμβάλλει στη διαμόρφωση πιο βιώσιμων και αποδοτικών στρατηγικών για τη διαχείριση υδάτινων πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο.

### 3 Περιοχή Μελέτης

#### 3.1 Γενικά στοιχεία

Η Αθήνα, όντας η πρωτεύουσα της Ελλάδας, αποτελεί τον κορμό της πολιτιστικής, οικονομικής και πολιτικής ζωής της χώρας, με έναν πληθυσμό που αγγίζει τα 3,1 εκατομμύρια κατοίκους, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία. Η πόλη απλώνεται σε μια γεωγραφική έκταση περίπου 412 τετραγωνικά χιλιόμετρα και έχει υψηλή πυκνότητα πληθυσμού [47].

#### 3.2 Γεωγραφική Έκταση και Αστική Ανάπτυξη

Η Αθήνα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τοπογραφίας, από τις πεδινές περιοχές μέχρι τα ορεινά συνοικιακά της περιθώρια. Η παρούσα μελέτη ορίζεται στα όρια της μητροπολιτικής Αθήνας που περιλαμβάνει τον κεντρικό αστικό πυρήνα της πόλης καθώς και την ευρύτερη ζώνη προαστίων και περιοχών. Πιο συγκεκριμένα:

Η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας περιλαμβάνει τον κεντρικό αστικό πυρήνα της πόλης καθώς και μια ευρύτερη ζώνη προαστίων και περιοχών που εξυπηρετούνται από την αστική υποδομή της Αθήνας. Τα γεωγραφικά όρια της μητροπολιτικής περιοχής διαμορφώνονται κυρίως από τα φυσικά και διοικητικά

**Metropolitan Athens Area**

**Prefecture of Athens**

- N/NA/NW suburbs
- W suburbs
- S suburbs
- Central suburbs

**Prefecture of Piraeus**

- SW suburbs

- Βόρεια Όρια: Βόρεια της Αθήνας εκτείνονται περιοχές όπως η Κηφισιά, η Νέα Ερυθραία και η Εκάλη, φτάνοντας μέχρι τα πρόποδα του ορεινού όγκου της Πάρνηθας.
- Ανατολικά Όρια: Ανατολικά, η Αθήνα εκτείνεται μέχρι τις παραλιακές περιοχές της Αρτέμιδας (Λούτσα) και της Ραφήνας, καθώς και τα προάστια προς την πλευρά του Υμηττού όπως η Γλυφάδα και το Λαγονήσι.
- Νότια Όρια: Στα νότια, τα όρια περιλαμβάνουν το Φάληρο, τον Άλιμο, τη Βούλα και τη Βάρκιζα, επεκτείνοντας την αστική περιοχή μέχρι το Σούνιο.
- Δυτικά Όρια: Δυτικά, η μητροπολιτική Αθήνα φτάνει μέχρι τις βιομηχανικές και λιμενικές ζώνες του Πειραιά, της Δραπετσώνας, του Κερατσινίου και της Ελευσίνας.

11

υποδομές, ενώ παράλληλα ασκούν πίεση στα φυσικά αποθέματα και τη διαχείριση των πόρων της πόλης [\[48\]](#).

### 3.3 Ύδρευση στην Αθήνα

Η παροχή και διαχείριση του νερού στην Αθήνα είναι ένας κρίσιμος τομέας λόγω του ξηρού κλίματος της περιοχής και της αυξημένης κατανάλωσης νερού που σχετίζεται με τον υψηλό πληθυσμό. Η πόλη αντλεί νερό κυρίως από τρία μεγάλα υδραγωγεία: το υδραγωγείο Μόρνου, το υδραγωγείο Εύηνου και τη Λίμνη Μαραθώνα. Τα συστήματα αυτά καλύπτουν τις ανάγκες της μεγαλύτερης μέρους του πληθυσμού για πόσιμο νερό και άρδευση.

Οι ετήσιες ανάγκες για νερό στην Αθήνα έχουν αυξηθεί σημαντικά, με την κατανάλωση να εκτιμάται περίπου στα 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ανά έτος. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάγκη για διαρκείς επενδύσεις σε υποδομές ύδρευσης και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την αποδοτικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η συνολική ετήσια ικανότητα παροχέτευσης νερού για αστική χρήση στη μητροπολιτική Αθήνα ανέρχεται σε περίπου 500 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Αυτή η ποσότητα προέρχεται κυρίως από τα φράγματα και τις λίμνες Μαραθώνα, Υλικής, Μόρνου και Εύηνου, καθώς και από υπόγεια ύδατα και άλλες πηγές που διαχειρίζεται η ΕΥΔΑΠ. Παράλληλα, η πόλη ενισχύει τις προσπάθειες για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού, ειδικά για μη πόσιμες χρήσεις, όπως άρδευση και βιομηχανικές εφαρμογές [\[36,45\]](#).

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την Αθήνα είναι η βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων της. Η αστική ανάπτυξη και η πληθυσμιακή αύξηση έχουν οδηγήσει σε πιέσεις στα διαθέσιμα αποθέματα νερού, ειδικά κατά τους μήνες του καλοκαιριού, όταν η ζήτηση αυξάνεται. Η ανάγκη για αποδοτική και βιώσιμη χρήση του νερού είναι πιο επιτακτική από ποτέ, καθώς οι περιβαλλοντικές αλλαγές απαιτούν την προσαρμογή των υπάρχουσών πολιτικών και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών.

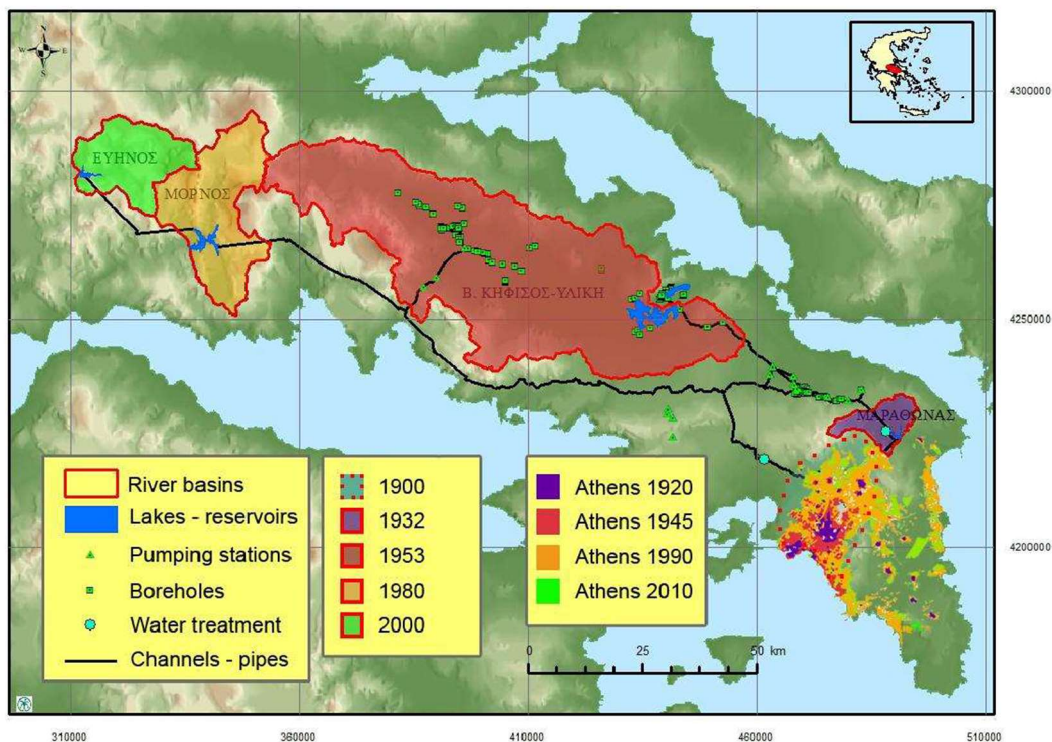
Η Αθήνα, με την ιστορική της κληρονομιά και την δυναμική της ανάπτυξη, συνεχίζει να αποτελεί σημείο αναφοράς στην Ευρώπη για τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που συνεπάγεται η αστική και περιβαλλοντική διαχείριση. Η συνεχής ενασχόληση με τη βελτίωση των υποδομών και η ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων για τα αστικά προβλήματα είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της και της διατήρησης της πολιτιστικής της ταυτότητας.

### 3.4 Ιστορική ανασκόπηση

Στην μελέτη «The Development of the Athens Water Supply System and Inferences for Optimizing the Scale of Water Infrastructures» (2019) των Σαργέντη, Ιωαννίδη, Καρακατσάνη, Σιγούρου, Λαγαρού και Κουτσογιάννη γίνεται μια χρήσιμη ιστορική ανασκόπηση των πληθυσμιακών και υδρολογικών δεδομένων της Αθήνας από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα [\[36\]](#). Εκτιμάται ότι η Αθήνα τον 4ο αιώνα π.Χ. είχε 160.000 κατοίκους. Κατά την εποχή του Αδριανού,

στον 1ο αιώνα μ.Χ., ο πληθυσμός εκτιμήθηκε σε 30.000. Οι Αθηναίοι της κλασικής εποχής έπιναν νερό από πηγάδια, μερικές πηγές και από υδραγωγεία, από τα οποία το υδραγωγείο του Πεισίστρατου χτίστηκε περίπου το 530 π.Χ. και λειτουργεί μέχρι σήμερα. Το μακρύτερο υδραγωγείο του Αδριανού χτίστηκε το 134 μ.Χ. Μέχρι τις αρχές του 20ού αιώνα, η υδροδότηση της πόλης βασιζόταν στα αρχαία υδραυλικά έργα, κυρίως το υδραγωγείο του Αδριανού, πηγάδια και άλλες μικρότερης κλίμακας υδραυλικές υποδομές. Η τιμή του νερού καθοριζόταν με υποκειμενικά κριτήρια και η διαχείριση του νερού γινόταν με βάση τα κριτήρια και τις παραδόσεις της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας (π.χ., η αυξημένη διαφθορά σήμαινε ότι σε πολλές περιπτώσεις ο διαχειριστής θα άλλαζε τις τιμές ανάλογα με τη σχέση με τους πελάτες, δωροδοκίες κ.λπ.). Εκτιμάται επίσης ότι, τότε, χάνονταν περισσότερο από το μισό των εσόδων από τις πωλήσεις νερού.

Καθώς ο πληθυσμός άρχισε να αυξάνεται, το παλιό σύστημα έγινε ανεπαρκές και έπρεπε να κατασκευαστούν μεγάλα υδραυλικά έργα. Η εικόνα 3 και ο Πίνακας 2 δείχνουν την ανάπτυξη μεγάλων υδραυλικών έργων κατά τον 20ο αιώνα στην Αθήνα. Η Αττική είναι μια ξηρή περιοχή, με ετήσια μέση βροχόπτωση περίπου 400 χιλιοστά, επομένως η πόλη πρέπει να εφοδιάζεται με νερό από λεκάνες απορροής, των οποίων η απόσταση από την Αθήνα αυξάνεται συνεχώς, κυμαινόμενη από 25 έως 180 χιλιόμετρα (ευθεία απόσταση). Σήμερα, οι κάτοικοι της Αθήνας ζουν σε μια περιοχή 462 τετραγωνικών χιλιομέτρων και καταναλώνουν νερό από μια περιοχή 3906 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η ανάπτυξη της πόλης συνοδεύτηκε από εκτεταμένη αστικοποίηση τοπικών ρυακιών.



Εικόνα 3: Ανάπτυξη δικτύου της Αθήνας, [36]

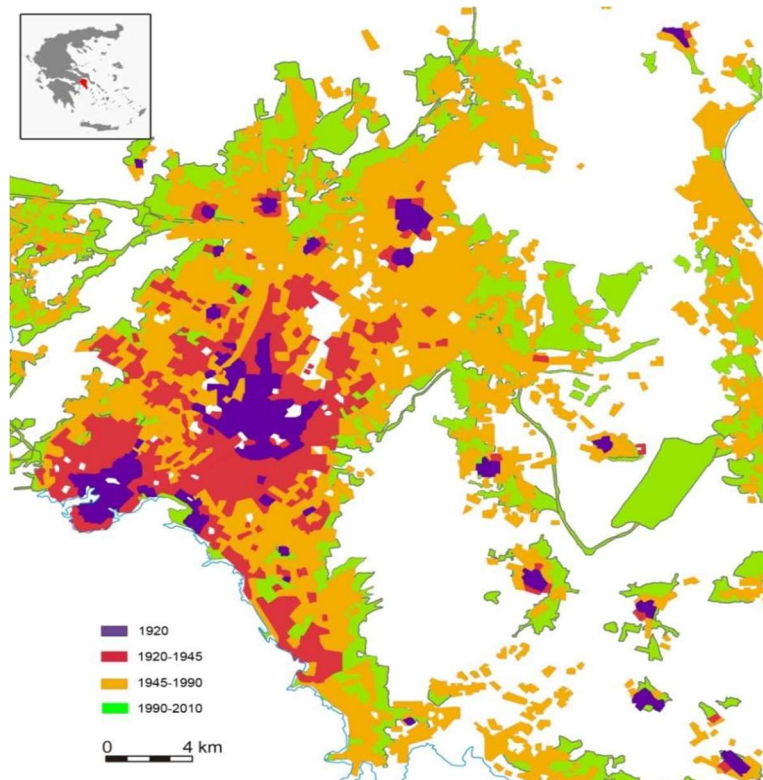
Πίνακας 2: Χωρητικότητα πηγών της Αττικής, [36]

| Χρονολογία | Υποδομές                              | Εμβαδόν<br>Λεκάνης<br>(Km <sup>2</sup> ) | Εισροές<br>(Hm <sup>3</sup> ) | Χωρητικότητα<br>Αποθήκευσης<br>(Hm <sup>3</sup> ) | Συνολική<br>Χωρητικότητα<br>Συστήματος<br>(Σωρευτικά)<br>(Hm <sup>3</sup> /Ετος) |
|------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1900       | Πηγάδια και<br>Υδραγωγείο<br>Αδριανού | 381                                      | 10                            | -                                                 | 10                                                                               |
| 1932       | Μαραθώνας                             | 118                                      | 14                            | 32                                                | 24                                                                               |
| 1953       | Υλίκη                                 | 2467                                     | 295                           | 585                                               | 244                                                                              |
| 1980       | Μόρνος                                | 588                                      | 235                           | 630                                               | 300                                                                              |
| 1990       | Γεωτρήσεις                            | -                                        | 55                            | -                                                 | 326                                                                              |
| 2000       | Εύηνος                                | 352                                      | 278                           | 112                                               | 513                                                                              |

Όπως και στην αρχαιότητα, οι σύγχρονοι Αθηναίοι πρέπει να προσαρμοστούν στον τρόπο ζωής σε ένα ξηρό κλίμα χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία για τη μεταφορά νερού από λιγότερο ξηρές περιοχές. Η διαφορά όμως είναι στην κλίμακα, καθώς τώρα μπορούν να μεταφέρουν νερό σε μεγαλύτερες ποσότητες και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, από το πιο υγρό δυτικό τμήμα της Ελλάδας. Ενδεικτικά, το μεγαλύτερο μήκος του υδραγωγείου από τον Εύηνο έως την Αθήνα (Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού Αχαρνών) είναι περίπου 217 χιλιόμετρα.

Η μεγάλη αλλαγή στην κλίμακα της πόλης της Αθήνας έλαβε χώρα μόλις επιλέχθηκε να γίνει η πρωτεύουσα του νέου ελληνικού κράτους. Η καθιέρωση της πρωτεύουσας προκάλεσε μεγάλη εισροή νέων κατοίκων. Από περίπου 12.000 το 1834, ο αριθμός τους διπλασιάστηκε την επόμενη δεκαετία. Ωστόσο, η πρόβλεψη για 40.000 κατοίκους από τους αρχιτέκτονες που σχεδίασαν τη νέα πόλη δεν υλοποιήθηκε πριν τη δεκαετία του 1860 και το "ορόσημο" των 100.000 κατοίκων δεν ξεπεράστηκε πριν τα τέλη του 1880.

Οι αιτίες αυτής της ανάπτυξης συνδέονται με τη λειτουργία της πόλης ως κυρίως διοικητικού και δευτερευόντως βιομηχανικού-παραγωγικού κέντρου. Η εξέλιξη της Αθήνας στον 20ο αιώνα συνδέεται με την ιστορία της σύγχρονης Ελλάδας με τις χαρακτηριστικές φάσεις μετάλλαξης: τη Μικρασιατική Καταστροφή (1922), τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο (1939–1945) και την εσωτερική



Εικόνα 4: Εξέλιξη του πληθυσμού της Αθήνας, [36]

μετανάστευση του πληθυσμού μετά τον εμφύλιο πόλεμο (1946–1949), καθώς η ανωνυμία της μεγάλης πόλης βοήθησε να κρυφτούν οι πολιτικές τριβές και τα τραγικά περιστατικά του εμφύλιου πολέμου καθώς και οι ίδιοι οι αντιστασιακοί που διώκονταν ακόμα από το μετεμφυλιακό καθεστώς.

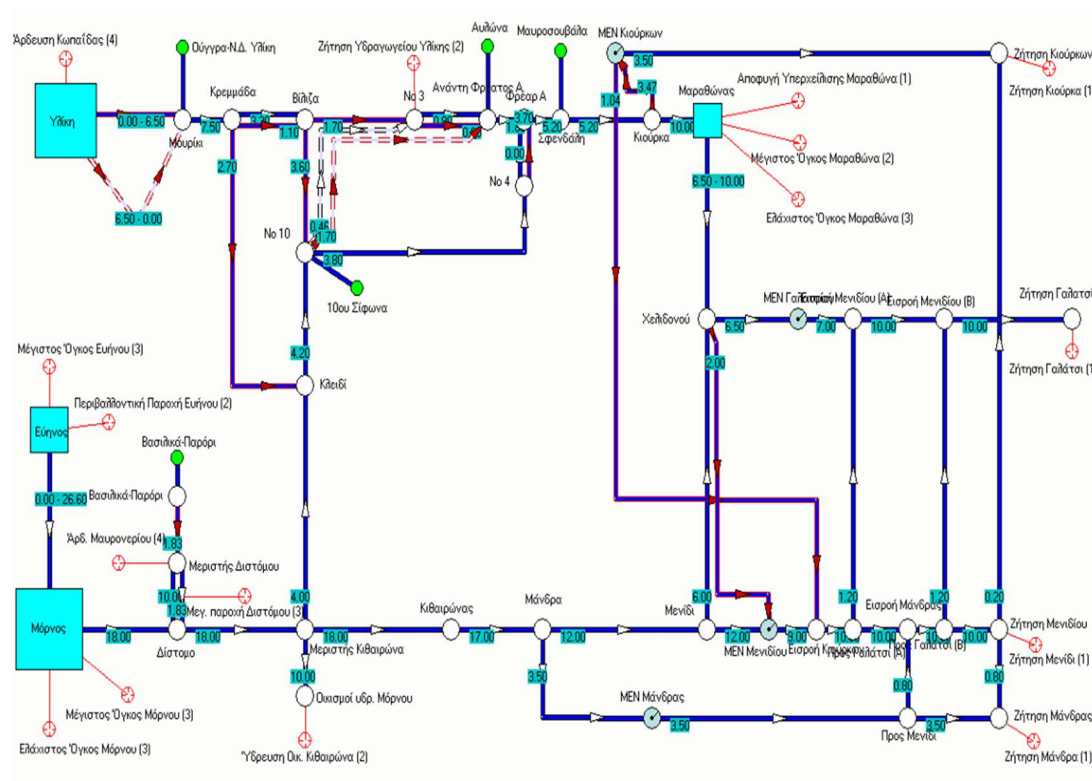
Κατά τον 20ο αιώνα, η Αθήνα αναπτύχθηκε ως το κέντρο της Ελλάδας, παράγοντας το 47,3% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος της Ελλάδας.

### 3.5 Περιγραφή του υδροδοτικού δικτύου της Αθήνας

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας είναι ένα εκτεταμένο και πολύπλοκο δίκτυο που περιλαμβάνει πολλαπλές πηγές, μεθόδους αποθήκευσης, και συστήματα μεταφοράς. Οι πρωταρχικές πηγές νερού περιλαμβάνουν τόσο επιφανειακούς υδάτινους πόρους, όπως οι ποταμοί Μόρνος και Εύηνος, όσο και υπόγειους υδροφορείς. Σημαντικές υποδομές όπως ταμιευτήρες και φράγματα, όπως αυτά των Μόρνου και Μαραθώνα, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποθήκευση και διαχείριση των υδατικών πόρων.

Τα έργα μεταφοράς του νερού συμπεριλαμβάνουν ένα εκτεταμένο δίκτυο υδραγωγείων, που εκτείνεται σε πάνω από 438 χιλιόμετρα. Αυτό το δίκτυο περιλαμβάνει κύρια, ενωτικά και βοηθητικά υδραγωγεία, τα οποία διασφαλίζουν την αποτελεσματική μεταφορά του νερού από τις πηγές στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και τελικά στους καταναλωτές. Κομβικά αντλιοστάσια βοηθούν στη μεταφορά του νερού κατά μήκος αυτού του δικτύου, ενώ επίσης διαχειρίζονται τη ροή και την πίεση του νερού.

Οι εργασίες επεξεργασίας νερού και τα συστήματα διασύνδεσης συμπληρώνουν το σύστημα, επιτρέποντας την τελική επεξεργασία και κατανομή του επεξεργασμένου νερού στις αστικές και περιαστικές περιοχές της Αθήνας. Η διαχείριση και λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε ένα θεσμικό πλαίσιο που καθορίζεται από την ελληνική νομοθεσία και την αντίστοιχη σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της ΕΥΔΑΠ, εγγυώμενη την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της πόλης [49]. Στην μελέτη «Κοστολόγηση αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας» (2010) του Χ. Μακρόπουλου σχηματίζεται το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, ως ένα δίκτυο που αποτελείται από κόμβους και κλάδους [2]. Στην εικόνα 5 «οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, σημεία διακλάδωσης καθώς και σημεία αλλαγής των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αγωγών. Οι κλάδοι ορίζουν τις δυνατές διαδρομές του νερού και ταυτίζονται με τους πραγματικούς αγωγούς του δικτύου, ήτοι τους αγωγούς βαρύτητας (υδραγωγεία) και τους καταθλιπτικούς αγωγούς (αντλιοστάσια).»



Εικόνα 5 Αναπαράσταση του δικτύου της Αθήνας, [2]

### 3.6 Σημερινά δεδομένα και προκλήσεις

Η Αθήνα, όπως πολλές άλλες μεγάλες πόλεις, αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά την παροχή νερού για τον αυξανόμενο πληθυσμό της. Σύμφωνα με πρόσφατες στατιστικές, η κατανάλωση νερού στην Αθήνα έχει αυξηθεί κατά 15% την τελευταία δεκαετία, φτάνοντας περίπου τα 350 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως [50]. Αυτή η αύξηση οφείλεται τόσο στην αύξηση του πληθυσμού όσο και στην αυξημένη ζήτηση λόγω των υψηλών

θερμοκρασιών, που συχνά ξεπερνούν τους 40 βαθμούς Κελσίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την κατάσταση, καθώς οι περίοδοι ξηρασίας γίνονται πιο συχνές και έντονες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αποθεμάτων νερού στους ταμιευτήρες και τις πηγές που τροφοδοτούν την πόλη. Η ΕΥΔΑΠ έχει ήδη προχωρήσει σε επενδύσεις άνω των 500 εκατομμυρίων ευρώ για την ενίσχυση του δικτύου παροχής νερού και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού [\[50\]](#).

Παρά τις προσπάθειες αυτές, η Αθήνα συνεχίζει να αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα στην κάλυψη της ζήτησης νερού, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Η ενίσχυση της ευαισθητοποίησης του κοινού για την εξοικονόμηση νερού και η εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης της ζήτησης είναι κρίσιμες για τη βιώσιμη διαχείριση του πολύτιμου αυτού πόρου. Επιπλέον, η αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών, όπως η ανακύκλωση νερού και η χρήση θαλασσινού νερού μετά από αφαλάτωση, μπορεί να προσφέρει λύσεις μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας.

### 3.7 Το ζήτημα της έλλειψης νερού στην Αττική

Σύμφωνα με άρθρο της Καθημερινής που δημοσιεύτηκε στις 28/08/2024, η Αττική έχει αποθέματα νερού για τα επόμενα τέσσερα χρόνια, αν συνεχιστεί η ανομβρία των τελευταίων δύο ετών, σύμφωνα με το υπουργείο Περιβάλλοντος και την ΕΥΔΑΠ [\[50\]](#). Οι ταμιευτήρες του Ευήνου και του Μόρνου έχουν φτάσει σε ιστορικά χαμηλά επίπεδα.

Τον μήνα Αύγουστο, η πτώση της στάθμης στη λίμνη Μόρνου αποκάλυψε τα ερείπια του χωριού Κάλλιο, το οποίο κατακλύστηκε το 1980 κατά τη σταδιακή πλήρωση του φράγματος. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σοβαρότητα της κατάστασης, με το υπουργείο Περιβάλλοντος να προσπαθεί να διατηρήσει καθησυχαστικούς τόνους, παρά τη δραματική μείωση των υδατικών αποθεμάτων.

Η ανομβρία των δύο τελευταίων ετών έχει μειώσει τα αποθέματα νερού στους ταμιευτήρες της Αττικής από 1.158.127 εκατ. κυβικά μέτρα τον Αύγουστο του 2022 σε 703.339 εκατ. κυβικά μέτρα τον Αύγουστο του 2024, δηλαδή κατά περίπου 225 εκατ. κυβικά μέτρα ετησίως. Η ΕΥΔΑΠ έχει ενεργοποιήσει γεωτρήσεις και έχει ξεκινήσει τη χρήση της Υλίκης, ενώ εξετάζει την εκτροπή νερού από ποταμούς και τη δημιουργία εργοστασίου αφαλάτωσης για να καλύψει την προβλεπόμενη έλλειψη των 150 εκατ. κυβικών μέτρων ετησίως, αν η ανομβρία συνεχιστεί.

Τα τρέχοντα αποθέματα των ταμιευτήρων βρίσκονται σε ανησυχητικά χαμηλά επίπεδα, με τον ταμιευτήρα του Ευήνου να έχει σήμερα 41,6 εκατ. κυβικά μέτρα νερού έναντι 48,9 εκατ. πέρυσι, και τον ταμιευτήρα του Μόρνου 344,2 εκατ. κυβικά έναντι 522,8 εκατ. πέρυσι. Η ΕΥΔΑΠ προσπαθεί να ενισχύσει τα αποθέματα με νέες γεωτρήσεις και επαναχρησιμοποίηση νερού από επεξεργασία λυμάτων, μια πρακτική που μέχρι στιγμής δεν έχει εφαρμοστεί λόγω κόστους.



Εικόνα 6: Εξέλιξη αποθέματος ταμιευτήρων Αττικής  
Πηγή: Καθημερινή

## 4 Παραδοχές και ανάλυση ιστορικών δεδομένων για την εκπόνηση του μοντέλου

### 4.1 Παραδοχές

Για την εκπόνηση του μοντέλου έχουν ληφθεί υπόψη τα βασικά αίτια που προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία ως οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού. Έχουν προσκομισθεί και αναλυθεί τα δεδομένα της τελευταίας 50ετίας για την Ελλάδα και την Αθήνα (1973-2023 με χρονικό βήμα ανά έτος) προκειμένου να ελεγχθούν οι τάσεις και να διαμορφωθούν οι σχέσεις αλληλεπίδρασης των παραγόντων μεταξύ τους. Συγκεκριμένα έχουν ληφθεί υπόψη πληθυσμιακά δεδομένα για την Αθήνα και την Ελλάδα [58], οικονομικά και κλιματικά δεδομένα για την Ελλάδα [2,57,58], καθώς και δεδομένα για την κατανάλωση του νερού στην Αθήνα [45]. Για τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας αξιοποιήθηκαν διαθέσιμα δεδομένα από τις μετρήσεις στην περιοχή του Μαρκόπουλου την περίοδο 1980-2020 [56]. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στην διαμόρφωση της αστικής ζήτησης στην Αθήνα που καταλαμβάνει περίπου το 60% της συνολικής χρήσης του νερού. Ένα 20% κατανέμεται σε βιομηχανική χρήση, 10-15% σε γεωργική χρήση ενώ τα υπόλοιπα ποσοστά αφορούν άλλες χρήσεις όπως αναψυχή, πάρκα και χώρους πρασίνου[1]. Όσα δεδομένα έχουν ληφθεί για την Ελλάδα και όχι για την Αθήνα έχουν ληφθεί λόγω της αδυναμίας εύρεσης των συγκεκριμένων δεδομένων για την περιοχή μελέτης με την παραδοχή ότι

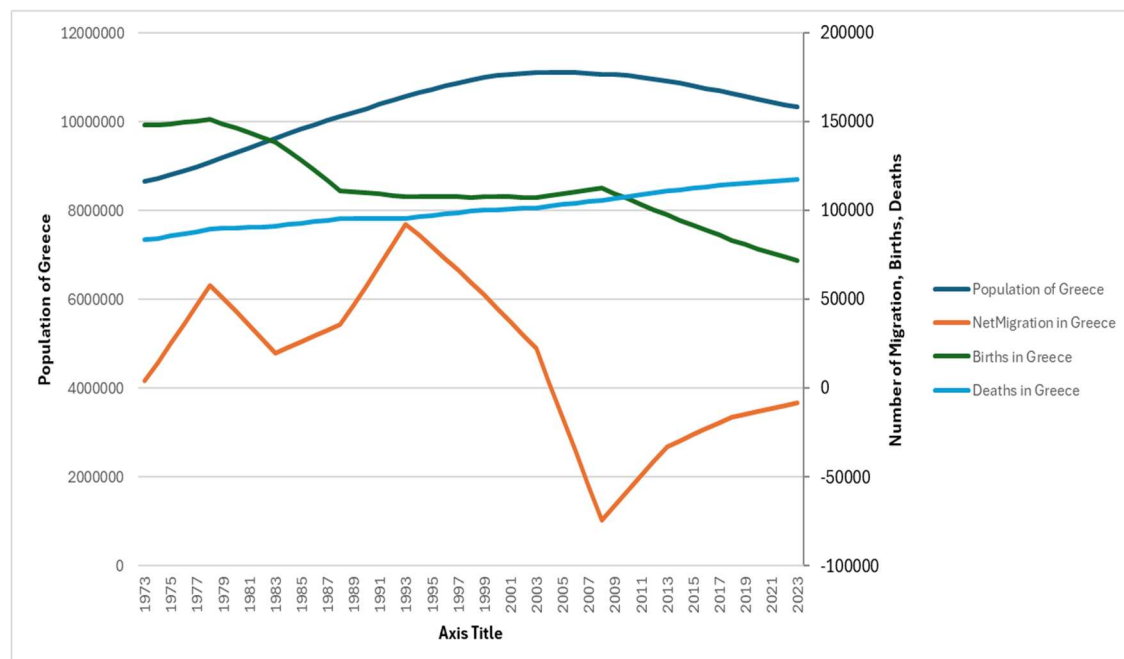
ακολουθούν τις ίδιες τάσεις όσον αφορά την πρόβλεψη της ζήτησης της κατά κεφαλή κατανάλωσης του νερού (πχ. ΑΕΠ). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα Excel. (βλ. [Παράρτημα 9.1](#))

## 4.2 Πληθυσμιακά δεδομένα

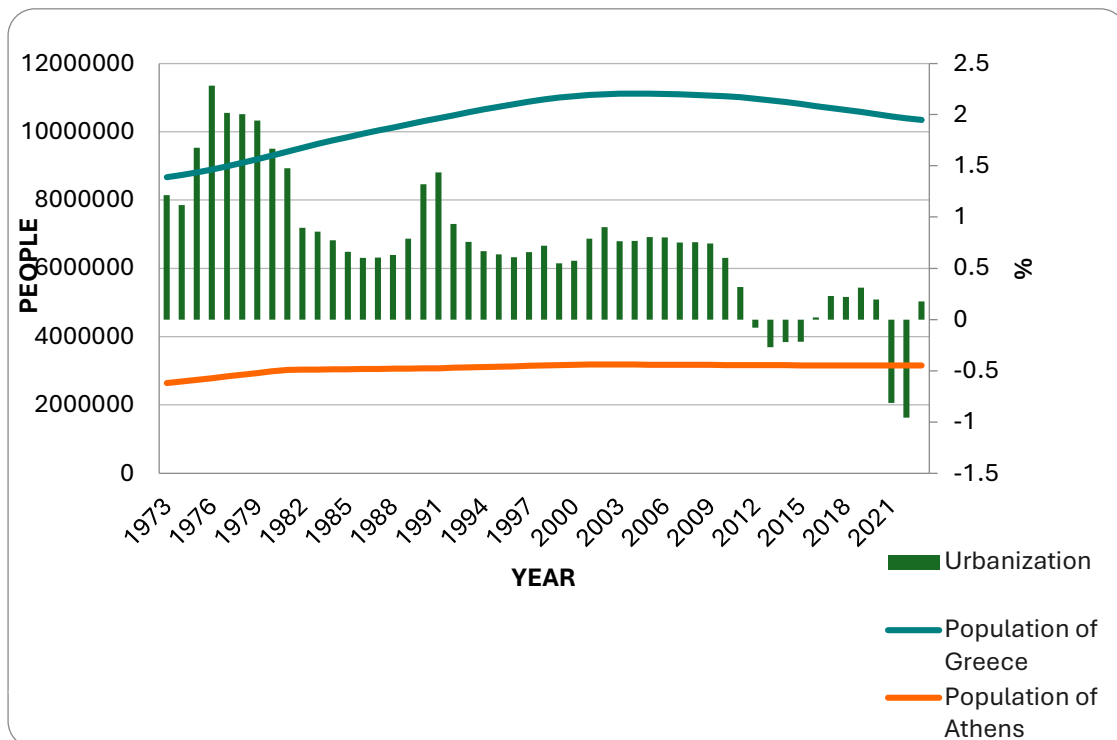
Τα τελευταία 50 χρόνια παρατηρείται μια ανάπτυξη του πληθυσμού της Αθήνας της τάξης του 20% με μια τάση σταθεροποίησης τα τελευταία χρόνια γεγονός που στοιχειοθετείται στην μείωση του αριθμού των γεννήσεων στην Ελλάδα. Είναι ασφαλής η εκτίμηση ότι οι ρυθμοί αυτοί είναι ίσοι για την Αθήνα και για το σύνολο της επικράτειας καθώς ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στον πληθυσμό της Αθήνας και της Ελλάδας προκύπτει περίπου ίσος με 0.93.

Συνολικά, η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας περιλαμβάνει περίπου 3,15 εκατομμύρια κατοίκους, κάνοντάς την τη μεγαλύτερη πόλη στην Ελλάδα. Παρά την πληθυσμιακή αύξηση που παρατηρήθηκε σε ορισμένες περιοχές τα προηγούμενα χρόνια, τα τελευταία δεδομένα δείχνουν μια μικρή μείωση στον κεντρικό τομέα της Αθήνας, η οποία αποδίδεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η οικονομική κρίση και η μετανάστευση προς τα προάστια.

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η ανάπτυξη του πληθυσμού της Ελλάδας σε σχέση με τον αριθμό των θανάτων, των γεννήσεων και της μετανάστευσης (Εικόνα 7), καθώς και η σχέση μεταξύ της ανάπτυξης του πληθυσμού σε Ελλάδα και Αθήνα και ο μέσος ετήσιος ρυθμός αστικοποίησης (Εικόνα 8).



Εικόνα 7: Συσχέτιση πληθυσμιακών χαρακτηριστικών, [58]



Εικόνα 8: Συσχέτιση αστικοποίηση, πληθυσμού Ελλάδας και Αθήνας, [58]

### 4.3 Οικονομικά δεδομένα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα βασικά οικονομικά δεδομένα που θα αξιοποιηθούν τόσο όσον αφορά τον ίδιο τον πληθυσμό, όσο και για την τιμή και το κόστος του νερού στην Αθήνα. Για όλα τα οικονομικά μεγέθη επιλέχθηκε η μονάδα US \$ καθώς οι συγκρίσεις του ΑΕΠ και άλλων οικονομικών δεικτών με αυτόν τον τρόπο είναι πιο αντιπροσωπευτικές και μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους πιο εύκολα.

#### 4.3.1 ΑΕΠ

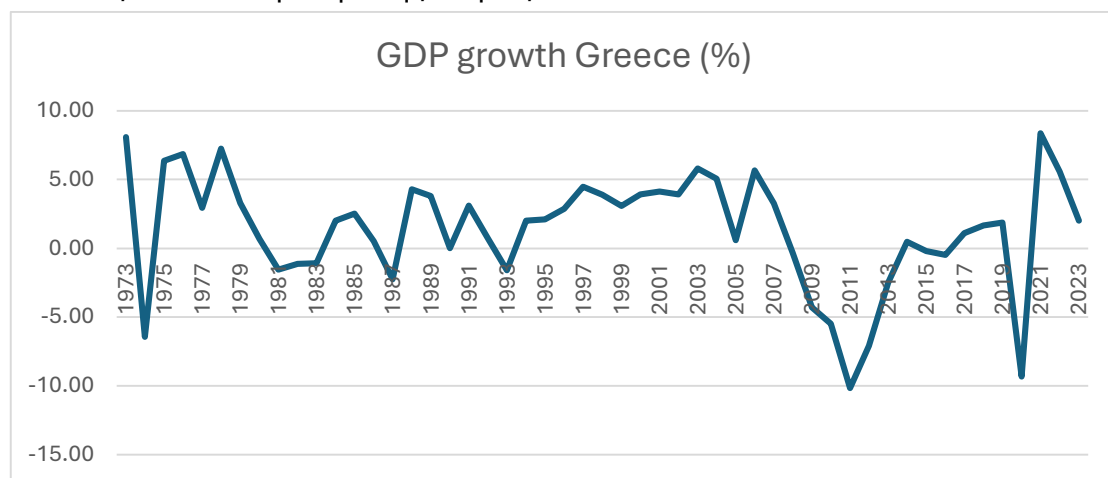
Το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) της Ελλάδας για το 2024 αναμένεται να φτάσει περίπου τα 250 δισεκατομμύρια δολάρια σε ονομαστικές τιμές, σύμφωνα με τις προβλέψεις του Διεθνούς Νομισματικού Ταμείου (IMF). Παρόλο που η ελληνική οικονομία ανακάμπτει μετά την κρίση, ο ρυθμός ανάπτυξης παραμένει μέτριος, με προβλεπόμενη αύξηση του ΑΕΠ κατά 2,2% το 2024 και 2,3% το 2025 [57].

Ιστορικά, η ελληνική οικονομία έχει αντιμετωπίσει σημαντικές προκλήσεις, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης της προηγούμενης δεκαετίας. Μετά από χρόνια ύφεσης, η οικονομία εμφάνισε σημάδια ανάκαμψης, κυρίως λόγω της ιδιωτικής κατανάλωσης, των επενδύσεων και των εξαγωγών. Ωστόσο, η ανεργία παραμένει υψηλή, με το ποσοστό να αναμένεται να μειωθεί από 11,1% το 2023 σε 10,3% το 2024 και 9,7% το 2025. Ο πληθωρισμός, αν και μειώνεται, εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση, με τις τιμές να αναμένεται να αυξηθούν κατά 2,8% το 2024 και 2,1% το 2025. Παράλληλα, το δημοσιονομικό έλλειμμα της

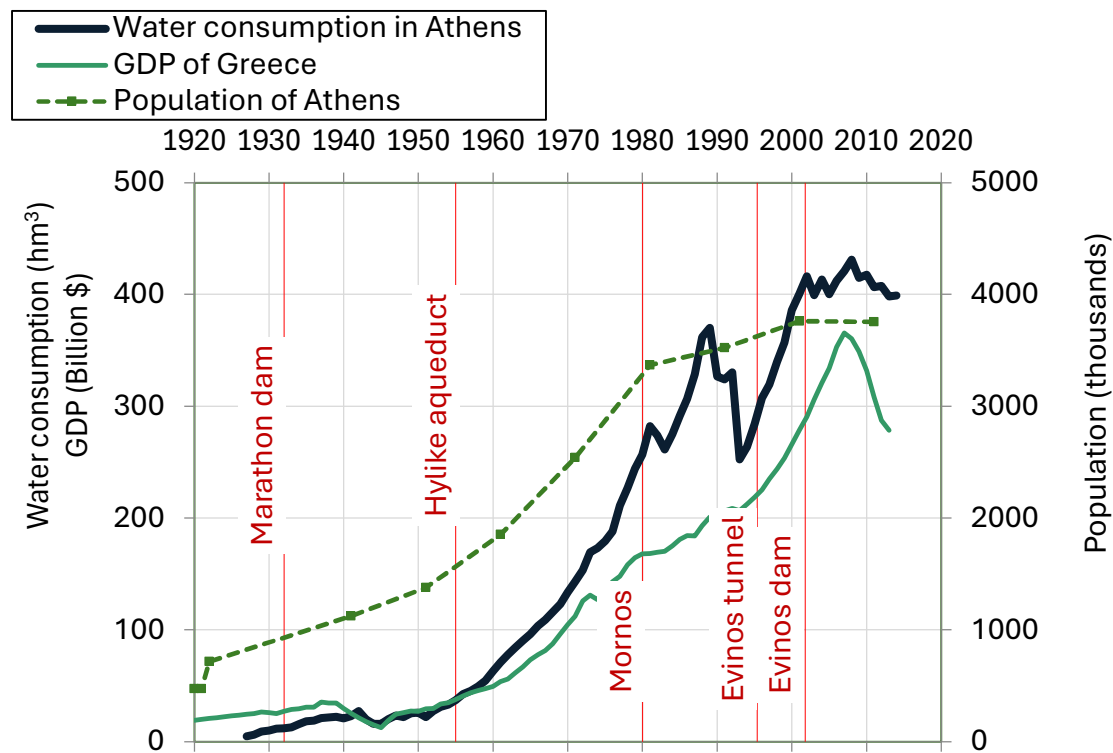
χώρας, αν και μειώνεται, παραμένει ανησυχητικό, με προβλεπόμενη μείωση από 1,6% του ΑΕΠ το 2023 σε 1,2% το 2024.

Ιστορικά, η Ελλάδα έχει δει τις περιόδους οικονομικής ανάπτυξης να συνδέονται με αυξημένη κατανάλωση νερού, ιδίως στον αστικό και βιομηχανικό τομέα. Με την ανάκαμψη της οικονομίας μετά την κρίση, η κατανάλωση νερού έχει επίσης αυξηθεί, αντανακλώντας τη μεγαλύτερη οικονομική δραστηριότητα και την άνοδο του επιπέδου διαβίωσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα για τον ρυθμό ανάπτυξης του ΑΕΠ καθώς και της σχέσης ανάμεσα στην κατανάλωση του νερού στην Αθήνα, το ΑΕΠ της Ελλάδας και τον πληθυσμό της Αθήνας:



Εικόνα 9: Ρυθμός ανάπτυξης ΑΕΠ, [57]

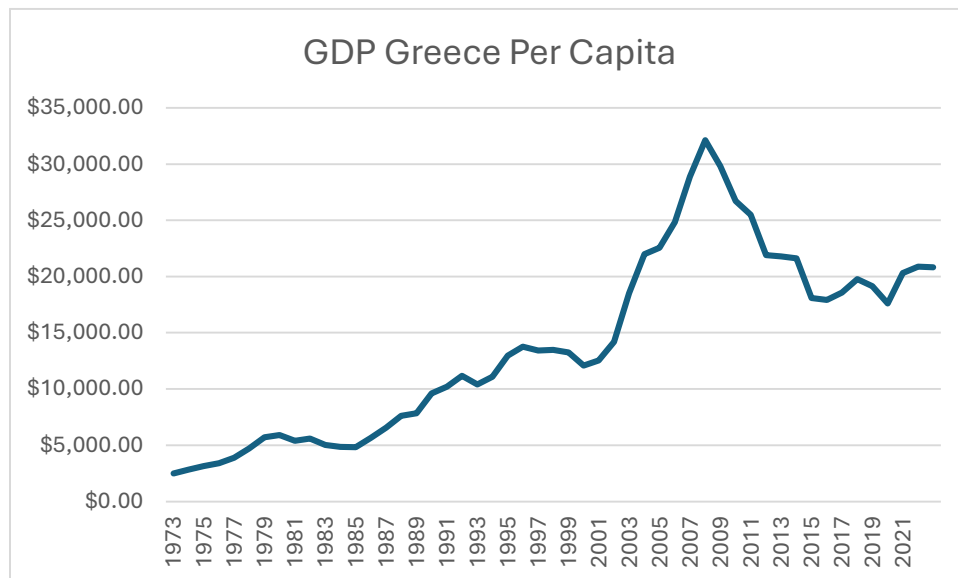


Εικόνα 11: Σχέση μεταξύ ΑΕΠ, κατανάλωσης νερού και πληθυσμού Αθήνας, [36]

#### 4.3.2 Ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ

Το κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα για το 2024 αναμένεται να φτάσει τα 23,966 δολάρια σε ονομαστικές τιμές. Η αύξηση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη ζήτηση για νερό, καθώς υψηλότερα εισοδήματα συχνά οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση, τόσο σε οικιακό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο.

Ιστορικά, καθώς το εισόδημα των Ελλήνων αυξανόταν, αυξάνονταν και οι απαιτήσεις για υψηλότερη ποιότητα ζωής, περιλαμβάνοντας μεγαλύτερη χρήση νερού για καθημερινές ανάγκες, καλλωπισμό κλπ.



Εικόνα 12: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα, [57]

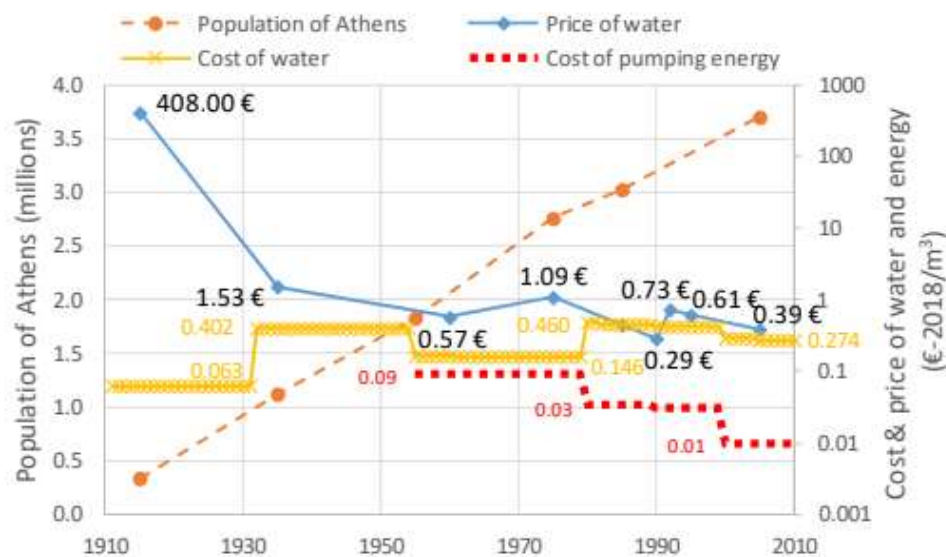
#### 4.3.3 Κόστος και τιμή του νερού

Όσον αφορά το κόστος και την τιμή του νερού, σύμφωνα με την εργασία «The Development of the Athens Water Supply System and Inferences for Optimizing the Scale of Water Infrastructures» των Σαργέντη, Ιωαννίδη κ.ά. η τιμή του νερού στην Αθήνα έχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων [36]. Από το 1910 έως το 1935, σημειώθηκε δραματική πτώση στην τιμή του νερού, η οποία οφείλεται κυρίως στην κατασκευή του φράγματος Μαραθώνα και την ανάπτυξη του δικτύου διανομής νερού. Μετά από αυτήν την περίοδο, η τιμή του νερού μειώθηκε με βραδύτερο ρυθμό. Ωστόσο, πριν από την κατασκευή του φράγματος Μόρνου, περίπου από το 1970 έως το 1980, η τιμή αυξήθηκε λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής του φράγματος. Κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης ξηρασίας από το 1988 έως το 1995, η τιμή του νερού αυξήθηκε επίσης για να αποθαρρυνθεί η υπερκατανάλωση, ενώ εφαρμόστηκαν μέτρα διαχείρισης της ζήτησης.

Η εργασία αυτή ακόμη υποστηρίζει ότι εάν οι Αθηναίοι είχαν επιλέξει να κατασκευάσουν μικρότερα φράγματα αντί για τα μεγάλα υπάρχοντα, το κόστος του νερού θα ήταν σημαντικά υψηλότερο. Τα μεγάλα έργα υδροδομής εκμεταλλεύονται τις οικονομίες κλίμακας, καθιστώντας το κόστος του νερού πιο

προσιτό για τους κατοίκους της πόλης. Η προτίμηση μεγάλων υδροδοτικών έργων συμβάλλει επίσης στη σταθερότητα της παροχής νερού και την αντιμετώπιση περιόδων ξηρασίας. Με την κατάλληλη μελλοντική σχεδίαση, το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας μπορεί ακόμη και να επεκταθεί για να καλύψει τις ανάγκες άλλων πόλεων κοντά στην Αθήνα, όπως η Κόρινθος.

Στο παρακάτω διάγραμμα αυτής της εργασίας φαίνονται οι σχέσεις ανάμεσα στην τιμή, το κόστος του νερού, το κόστος της ενέργειας άντλησης και του πληθυσμού της Αθήνας.



Εικόνα 13: «The Development of the Athens Water Supply System and Inferences for Optimizing the Scale of Water Infrastructures», [36]

Ενώ στο [Παράρτημα 9.1](#) γίνονται οι κατάλληλες μετατροπές σε \$ για τη διάρκεια ενδιαφέροντος.

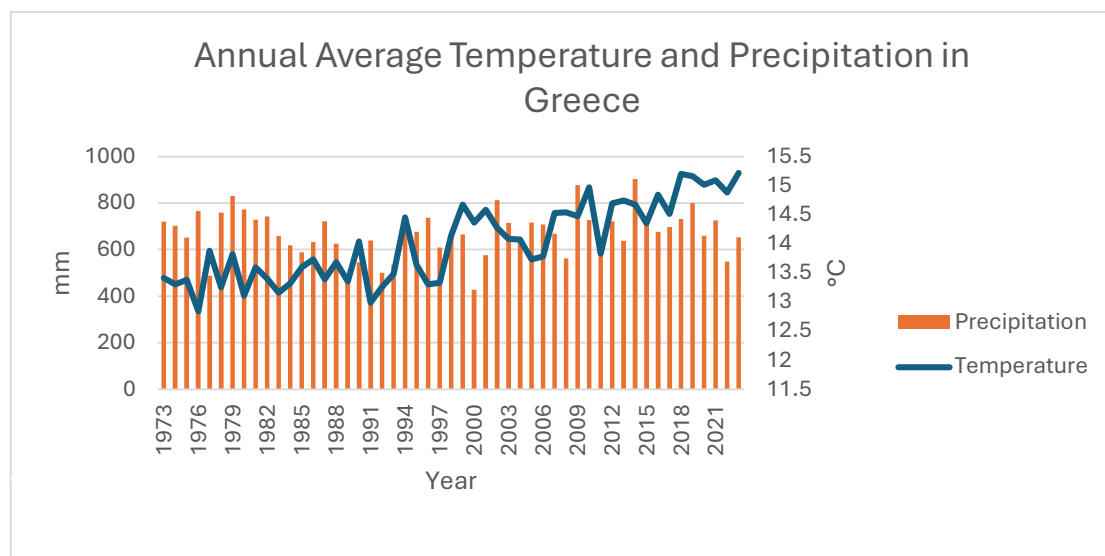
Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι η τιμή του νερού δεν έχει άμεση συσχέτιση με το κόστος άντλησης και μεταφοράς του, πέρα από το ότι η τιμή (με εξαίρεση το 1990 βρίσκεται πάνω από το κόστος) καθώς η τιμή του νερού εξαρτάται από πολυπαραγοντικές παραμέτρους και είναι άμεση απόρροια των πολιτικών που εφαρμόζονται σε σχέση με τη διαχείριση του νερού.

#### 4.4 Κλιματικά δεδομένα

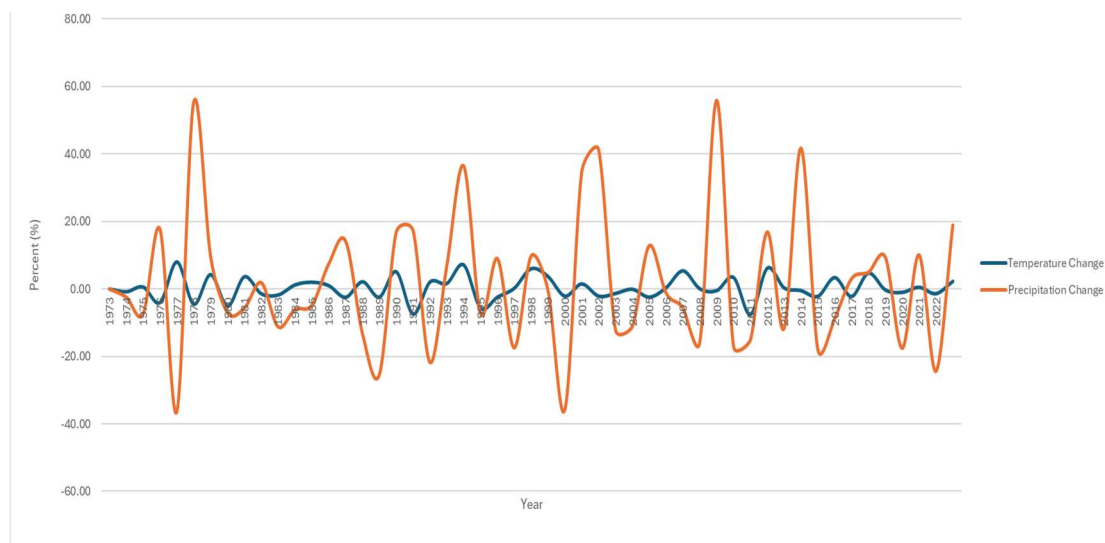
Το κλίμα επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση του νερού, με τις θερμοκρασίες και τις κατακρημνίσεις να παίζουν πρωτεύοντα ρόλο. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε αυξημένη εξάτμιση και διαπνοή, αυξάνοντας την ανάγκη για νερό τόσο για την άρδευση των καλλιεργειών όσο και για την καθημερινή χρήση από τους ανθρώπους. Οι αυξημένες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών οδηγούν επίσης σε αυξημένη κατανάλωση νερού για ψύξη και κλιματισμό, καθώς οι άνθρωποι προσπαθούν να διατηρήσουν τις κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης.

Από την άλλη πλευρά, οι κατακρημνίσεις επηρεάζουν άμεσα την διαθεσιμότητα του νερού. Σε περιόδους ξηρασίας ή χαμηλής βροχοπτώσης, τα αποθέματα νερού μειώνονται, δημιουργώντας ανάγκη για πιο συντηρητική διαχείριση και αυξημένη χρήση των υπόγειων υδάτων. Οι συχνές και άφθονες βροχοπτώσεις μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για άρδευση και να ενισχύσουν τα αποθέματα των υδάτινων πόρων, αλλά ταυτόχρονα οι έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν πλημμύρες και να καταστρέψουν τις υποδομές υδροδότησης.

Για την παρούσα μελέτη λήφθηκε υπόψη η μέση ετήσια θερμοκρασία της Ελλάδας (1973-2023) και της Αθήνας (1980-2020), αγνοώντας τις εποχιακές μεταβολές καθώς και την εποχιακή κατανάλωση και κατανομή της ζήτησης. Εξετάστηκε και παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της σχέσης ανάμεσα στην θερμοκρασία και την κατακρήμνιση (Εικόνα 14) καθώς και η σχέση ανάμεσα στις ποσοστιαίες ετήσιες μεταβολές τους (Εικόνα 15) για την Ελλάδα.



Εικόνα 14: Μέση ετήσια θερμοκρασία και κατακρήμνιση στην Ελλάδα, [54,58]



Εικόνα 15: Ποσοστιαία ετήσια μεταβολή θερμοκρασίας και κατακρήμνισης, [54,58]

Για τα δεδομένα της Αθήνας προστέθηκε η παράμετρος του δείκτη ξηρασίας  $S_{pei}$  12 για λόγους πληρότητας του μοντέλου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση της κλίμακας SPEI:

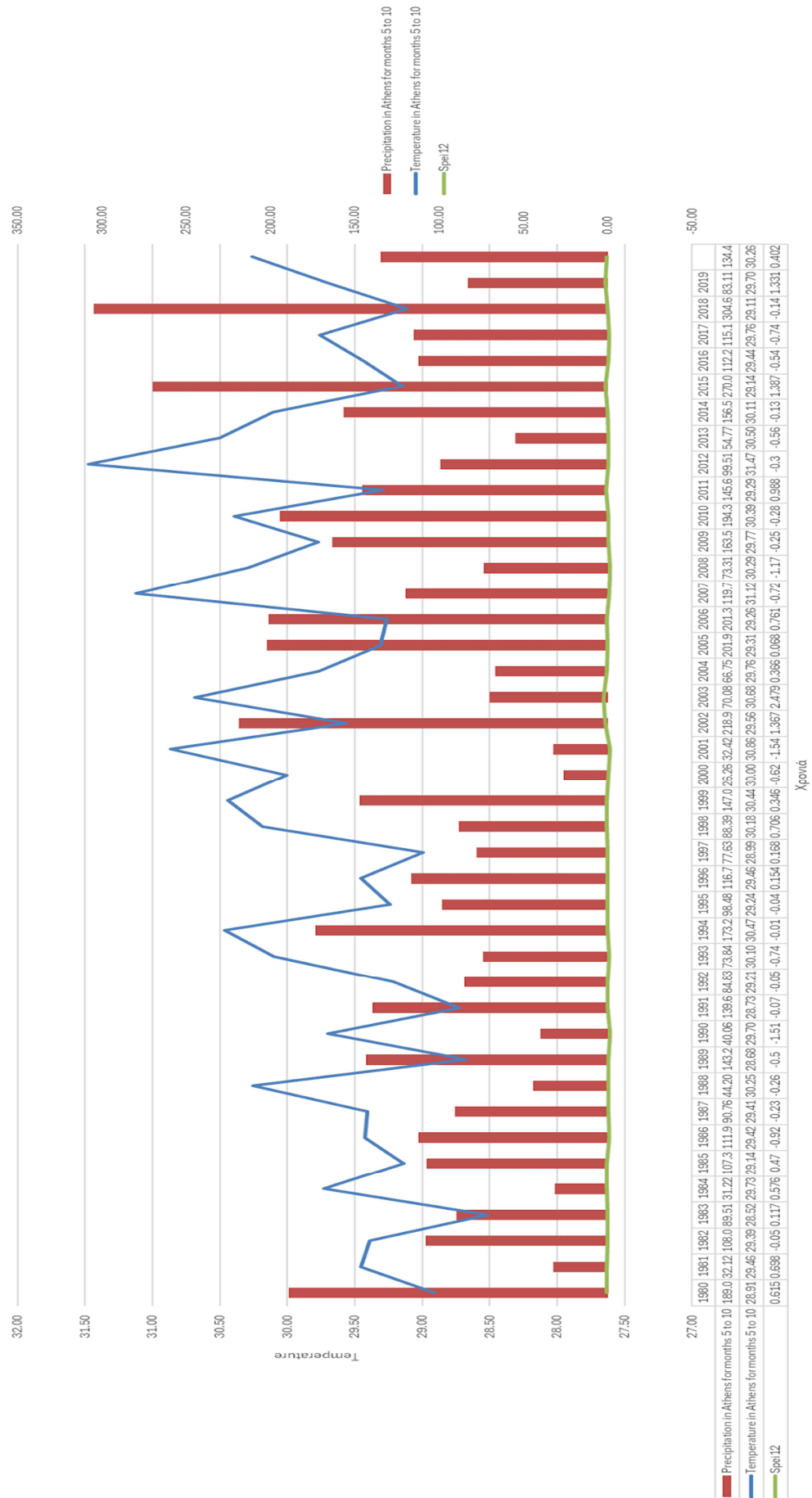
Πίνακας 3: Δείκτης ξηρασίας

### Κλίμακα SPEI

| Κατηγορία      | Τιμή                  |
|----------------|-----------------------|
| Ακραία υγρασία | $SPEI \geq 2$         |
| Έντονη υγρασία | $1.5 \leq SPEI < 2$   |
| Μέτρια υγρασία | $1 \leq SPEI < 1.5$   |
| Μέτρια ξηρασία | $-1.5 < SPEI \leq -1$ |
| Έντονη ξηρασία | $-2 < SPEI \leq -1.5$ |
| Ακραία ξηρασία | $SPEI \leq -2$        |

Στην επόμενη σελίδα παρατίθενται λοιπόν τα αντίστοιχα συγκεντρωτικά κλιματικά δεδομένα για την Αθήνα.

Εικόνα 16: Συγκεντρωτικά κλιματικά δεδομένα στην Αθήνα: Θερμοκρασία (μπλε), κατακρίμνηση (κόκκινο), δείκτης Spei 12 (πράσινο)



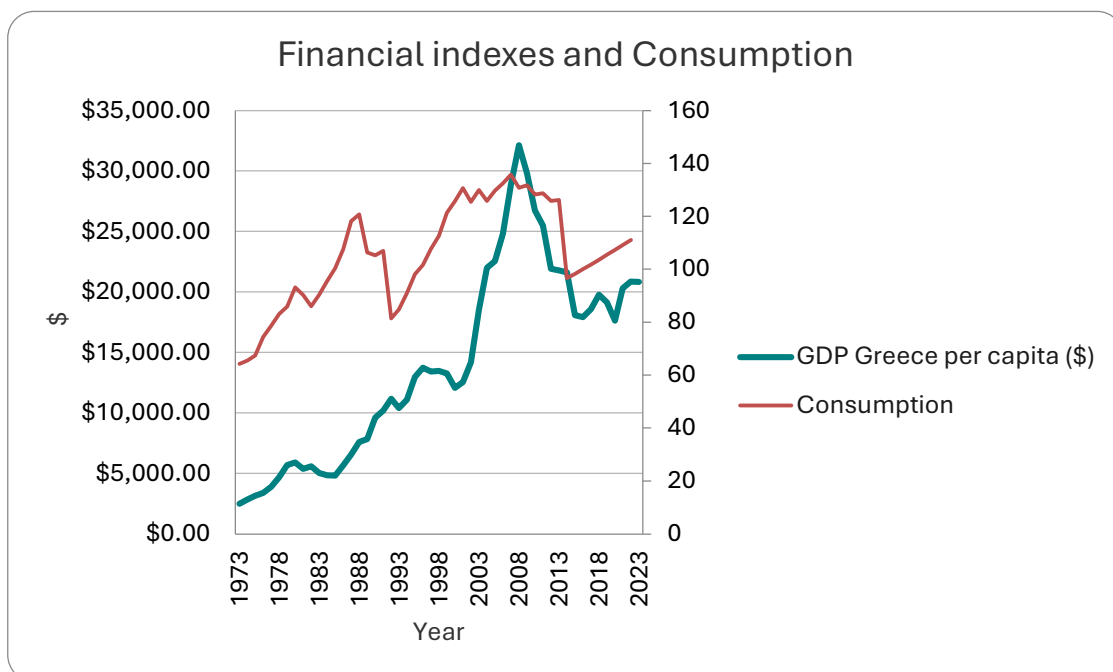
## 4.5 Δεδομένα κατανάλωσης

Οι κατά κεφαλήν τιμές κατανάλωσης νερού στην Ελλάδα από το 1973 έως το 2023 παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις, οι οποίες αντικατοπτρίζουν διάφορους παράγοντες όπως η οικονομική ανάπτυξη, οι αλλαγές στην τεχνολογία και οι κλιματικές μεταβολές. Αρχικά, οι τιμές δείχνουν μια ήπια αύξηση από τα 64 λίτρα το 1973 στα 67 λίτρα το 1977. Από το 1978 έως το 1980 παρατηρείται μια πιο έντονη αύξηση φτάνοντας τα 74 λίτρα, υποδηλώνοντας βελτιώσεις στις υποδομές και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Η περίοδος από το 1981 έως το 1991 χαρακτηρίζεται από σταδιακή αύξηση της κατανάλωσης, με τις τιμές να αγγίζουν τα 120 λίτρα το 1991. Αυτή η αύξηση μπορεί να αποδοθεί σε αυξημένες ανάγκες λόγω οικονομικής ανάπτυξης και βιομηχανικής παραγωγής. Ωστόσο, από το 1992 έως το 2000, παρατηρείται μια σχετικά σταθερή τάση με μικρές αυξομειώσεις, αντικατοπτρίζοντας ίσως την εξισορρόπηση μεταξύ βελτιωμένης διαχείρισης και αυξημένης ζήτησης.

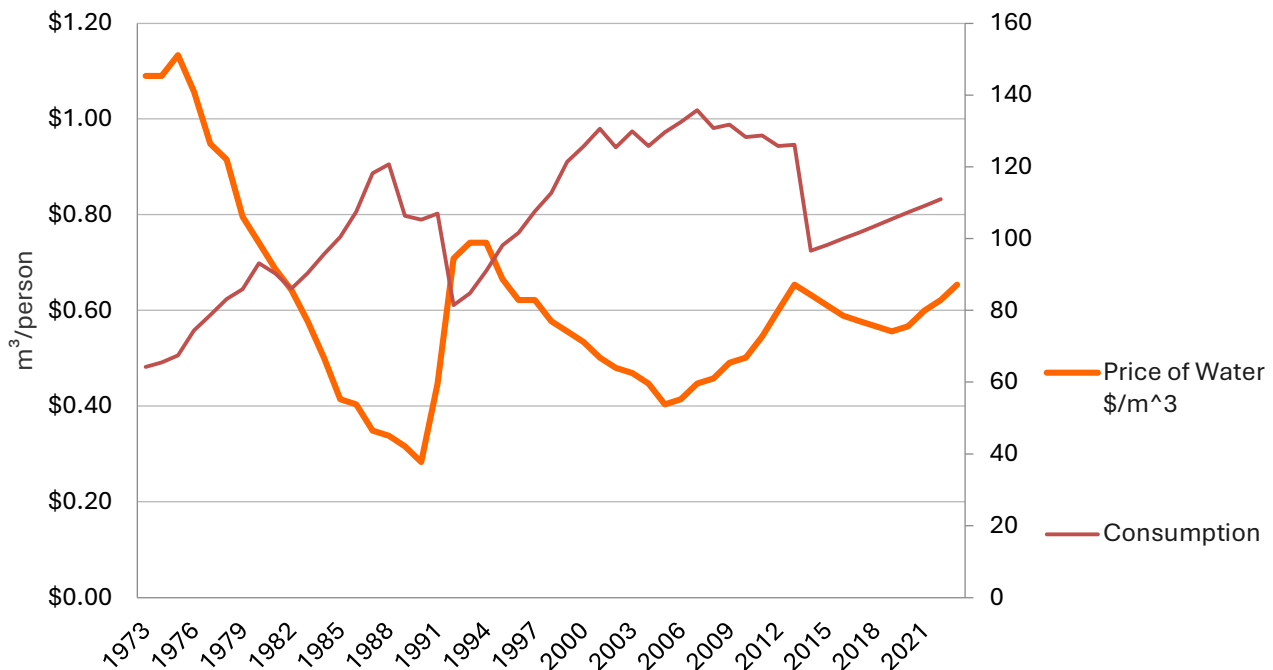
Στην επόμενη δεκαετία, από το 2001 έως το 2010, οι τιμές συνεχίζουν να αυξάνονται, με τις τιμές να φτάνουν τα 135 λίτρα το 2010, υποδεικνύοντας περαιτέρω αύξηση της ζήτησης για νερό. Ωστόσο, από το 2011 έως το 2020, η κατανάλωση σταθεροποιείται και μειώνεται ελαφρώς σε ορισμένα έτη, φτάνοντας τα 125 λίτρα το 2020, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε οικονομικές κρίσεις και προσπάθειες για εξοικονόμηση νερού. Τέλος, η κατανάλωση από το 2021 έως το 2023 δείχνει σημάδια σταθερής αύξησης, φτάνοντας τα 111 λίτρα το 2023, πιθανώς λόγω ανάκαμψης της οικονομίας και αυξημένων αναγκών.

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα συσχέτισης οικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων με την κατά κεφαλήν κατανάλωση.



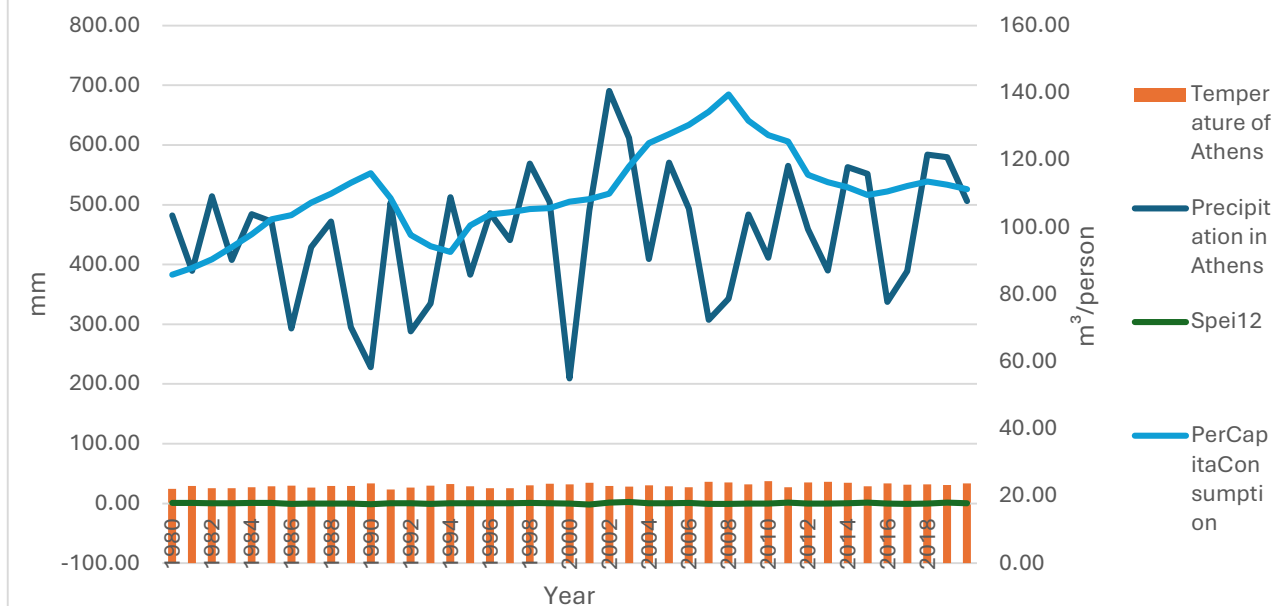
Εικόνα 17: ΑΕΠ και κατανάλωση νερού, [36,57]

### Financial indexes and Consumption

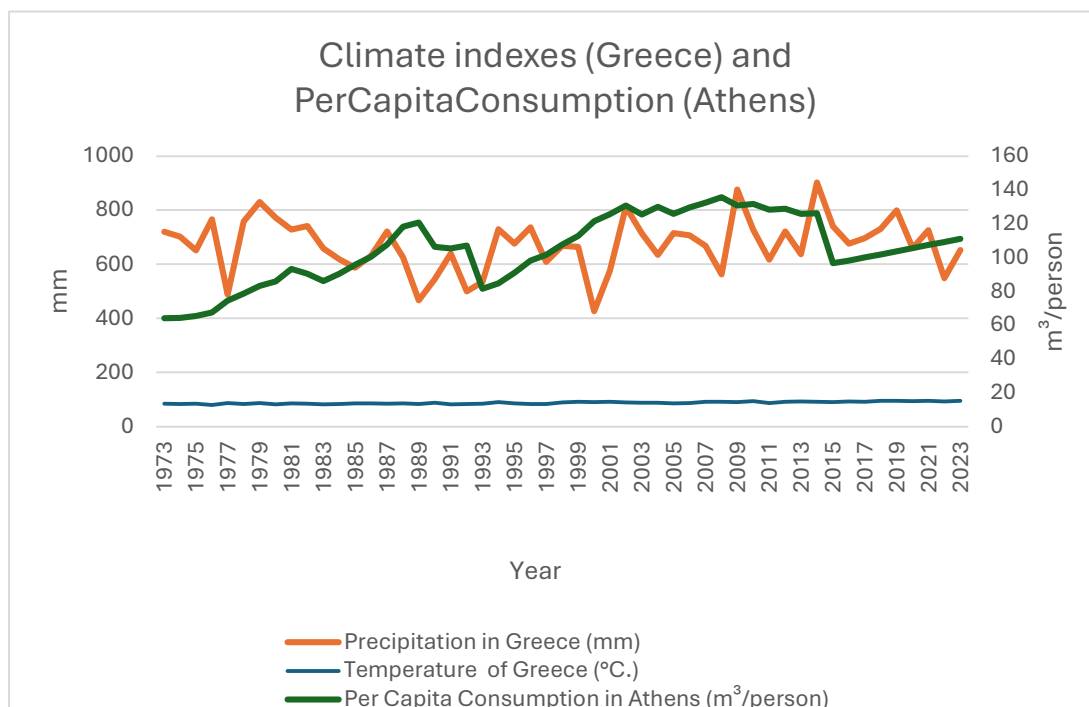


Εικόνα 18: Τιμή νερού και κατανάλωση, [36,57]

### Climate indexes (Athens) and PerCapitaConsumption (Athens)



Εικόνα 19: Κλιματικά δεδομένα και κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού στην Αθήνα, [36,53,58]



Εικόνα 20: Κλιματικά δεδομένα Ελλάδας και κατά κεφαλήν κατανάλωση Αθήνας

## 4.6 Απώλειες συστήματος

Οι απώλειες νερού στο σύστημα της ΕΥΔΑΠ, γνωστές και ως μη ανταποδοτικό νερό, περιλαμβάνουν διάφορες μορφές απωλειών όπως διαρροές, μη εξουσιοδοτημένη κατανάλωση (π.χ. παράνομες συνδέσεις), καθώς και σφάλματα στους μετρητές. Σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ η εταιρεία προσπαθεί να μειώσει αυτές τις απώλειες μέσω διαχείρισης και τεχνολογικών αναβαθμίσεων. Ο στόχος είναι η μείωση του νερού που χάνεται ή καταλήγει σε μη τιμολογούμενη κατανάλωση [49].

Σήμερα οι απώλειες των δικτύων της ΕΥΔΑΠ φτάνουν στο 25% δηλαδή σχεδόν ένα στα τέσσερα κυβικά μέτρα χάνεται. Συγκριτικά το Ντουμπάι καταγράφει τις χαμηλότερες απώλειες νερού στον κόσμο, με ποσοστό μόλις 5.36%, σύμφωνα με την Dubai Electricity and Water Authority (DEWA).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με εκτιμήσεις του ΕΜΠ για τις απώλειες στο εσωτερικό δίκτυο της ΕΥΔΑΠ έχουμε:

- Ποσοστό απωλειών κατά μέσο όρο 2011-20: 23.6%
- Ποσοστό απωλειών το 2020: 21.3 - 22.0%
- Ποσοστό πραγματικών απωλειών 2011-20: 10.6% - 17.6%
- Ποσοστό πραγματικών απωλειών 2020: 14.6%

Παρατηρούμε ότι ένα μεγάλο κομμάτι των απωλειών δεν είναι πραγματικές απώλειες αλλά φαινομενικές λόγω σφάλματος σε παλιούς υδρομετρητές που δεν έχουν αντικατασταθεί. Παρόλα αυτά από τη στιγμή που η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται μαζί με αυτό το σφάλμα για το μοντέλο μας θα αξιοποιήσουμε σαν αρχική τιμή των απωλειών το 22%.

## 4.7 Τεχνολογικές βελτιώσεις στις οικιακές συσκευές

Για τις τεχνολογικές βελτιώσεις στις οικιακές συσκευές με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα η Environmental Protection Agency (EPA) [\[55\]](#) και άλλοι οργανισμοί προτείνουν τα παρακάτω στοιχεία (με αναγωγή ανά έτος) για τις παρακάτω οικιακές συσκευές:

- Ντους Χαμηλής Ροής

Οι ντους χαμηλής ροής αποτελούν μια από τις πιο αποδοτικές τεχνολογικές βελτιώσεις για τη μείωση της κατανάλωσης νερού στις οικιακές χρήσεις. Με την εισαγωγή τους στην αγορά, οι ντους αυτές έχουν συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση των υδάτινων πόρων, προσφέροντας παράλληλα ποιοτική και ικανοποιητική εμπειρία στους χρήστες.

- Τεχνολογία: Αεριζόμενη ροή, αποδοτικός σχεδιασμός.
- Εξοικονόμηση Νερού: Μειώνει τη χρήση νερού από περίπου 9,5 λίτρα ανά λεπτό σε 5,7 λίτρα ανά λεπτό.
- Επίπτωση: Μια τετραμελής οικογένεια μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 41.640 λίτρα νερού ετησίως.

- Υψηλής Απόδοσης Τουαλέτες (HET)

Οι τουαλέτες υψηλής αποδοτικότητας (High-Efficiency Toilets - HET) αποτελούν μια από τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογικές βελτιώσεις για τη μείωση της κατανάλωσης νερού στις οικιακές και εμπορικές χρήσεις. Οι τουαλέτες αυτές είναι σχεδιασμένες να χρησιμοποιούν σημαντικά λιγότερο νερό σε κάθε έκπλυση, διατηρώντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα και την καθαριότητα.

- Τεχνολογία: Συστήματα διπλής ροής, έκπλυση με πίεση.
- Εξοικονόμηση Νερού: Χρησιμοποιεί 4,85 λίτρα ανά έκπλυση σε σύγκριση με παλαιότερα μοντέλα που χρησιμοποιούν 13,25 έως 26,5 λίτρα ανά έκπλυση.
- Επίπτωση: Ένα μέσο νοικοκυριό μπορεί να εξοικονομήσει 49.210 λίτρα νερού ετησίως.

- Πλυντήρια Ρούχων Μπροστινής Φόρτωσης

Τα πλυντήρια ρούχων έχουν εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, με τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες να επικεντρώνονται στη μείωση της κατανάλωσης νερού. Οι παραδοσιακές πλυντικές μηχανές κατανάλωναν μεγάλες ποσότητες νερού για κάθε κύκλο πλύσης. Ωστόσο, οι νέες πλυντικές μηχανές με μπροστινή φόρτωση (front-loading) χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο νερό σε σύγκριση με τις παλαιότερες μεθόδους πλύσης. Σύμφωνα με έρευνες, η χρήση νερού ανά κάτοικο για πλύσιμο ρούχων αναμένεται να μειωθεί καθώς οι παλαιές μηχανές αντικαθίστανται.



- Τεχνολογία: Σχεδιασμός οριζόντιου άξονα, αποδοτική χρήση νερού.
  - Εξοικονόμηση Νερού: Χρησιμοποιεί περίπου 49 λίτρα ανά φόρτωση έναντι 87 λίτρων για μοντέλα άνω φόρτωσης.
  - Επίπτωση: Μπορεί να εξοικονομήσει έως και 26.500 λίτρα νερού ετησίως ανά νοικοκυριό.
- Πλυντήρια Πιάτων Υψηλής Απόδοσης
    - Τεχνολογία: Αισθητήρες εδάφους, αποδοτικοί βραχίονες ψεκασμού, βελτιωμένη διήθηση.
    - Εξοικονόμηση Νερού: Χρησιμοποιεί περίπου 15-23 λίτρα ανά κύκλο σε σύγκριση με παλαιότερα μοντέλα που χρησιμοποιούν 38-57 λίτρα.
    - Επίπτωση: Εξοικονομεί περίπου 3.785 λίτρα νερού ετησίως ανά νοικοκυριό.
- Αεριστές Βρύσης

Η εγκατάσταση μειωτήρων πίεσης και αεριστήρων στις βρύσες μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση νερού. Οι μειωτήρες πίεσης διατηρούν την πίεση του νερού σε χαμηλά επίπεδα, αποτρέποντας την περιττή κατανάλωση, ενώ οι αεριστήρες μειώνουν την ποσότητα νερού που εκρέει από τη βρύση προσθέτοντας αέρα, καθιστώντας τη ροή πιο αποδοτική .

    - Τεχνολογία: Ανάμιξη αέρα, μειωμένος ρυθμός ροής.
    - Εξοικονόμηση Νερού: Μειώνει τη ροή από περίπου 8,3 λίτρα ανά λεπτό σε 5,7 λίτρα ή λιγότερο.
    - Επίπτωση: Ένα νοικοκυριό μπορεί να εξοικονομήσει έως και 2.650 λίτρα ετησίως.

Με βάση αυτά τα δεδομένα θα εξάγουμε τα ποσοστά μείωσης της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ανά έτος στο κεφάλαιο 5.

## 4.8 Επίδραση της περιβαλλοντικής συνείδησης

Στον καθορισμό της επίπτωσης της περιβαλλοντικής συνείδησης από τον πληθυσμό, μέσω καμπάνιας ευαισθητοποίησης και άλλων μέτρων εκπαίδευσης του κοινού, θα ακολουθήσουμε αντίστοιχη μεθοδολογία με βάση δεδομένα από την EPA.

- Συντομότερα Ντους:
  - Πηγή Δεδομένων: Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) και διάφοροι οδηγοί συντήρησης νερού υποδεικνύουν ότι η μείωση του χρόνου ντους μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 10 γαλόνια νερού ανά ντους.
  - Υπολογισμός: Υποθέτει ότι ένα τυπικό ντους χρησιμοποιεί περίπου 10 γαλόνια ανά λεπτό. Η μείωση κατά 2 λεπτά ανά ντους εξοικονομεί περίπου

20 γαλόνια (75.71 λίτρα) ανά ντους. Σε ένα χρόνο, αυτό οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση.

- Κλείσιμο της Βρύσης:
  - Πηγή Δεδομένων: Η ΕΡΑ και οι συμβουλές συντήρησης νερού συχνά αναφέρουν ότι το κλείσιμο της βρύσης κατά το βούρτσισμα των δοντιών ή το ξύρισμα εξοικονομεί περίπου 4 γαλόνια (15.14 λίτρα) την ημέρα.
  - Υπολογισμός: Αυτή η απλή αλλαγή συνήθειας μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 1.460 γαλόνια (5526.70 λίτρα) ανά άτομο ετησίως (4 γαλόνια/ημέρα \* 365 ημέρες/έτος).
- Μόνο Πλήρη Φορτία:
  - Πηγή Δεδομένων: Οι αναφορές του Energy Star και των προγραμμάτων συντήρησης νερού δείχνουν ότι η χρήση πλυντηρίων πιάτων και πλυντηρίων ρούχων μόνο όταν είναι πλήρη μπορεί να μειώσει σημαντικά τη χρήση νερού.
  - Υπολογισμός: Η διαφορά στη χρήση νερού μεταξύ μερικών και πλήρων φορτίων εκτιμάται ότι εξοικονομεί αρκετά γαλόνια ανά κύκλο, προσθέτοντας έως περίπου 3.400 γαλόνια (12870.39 λίτρα) ετησίως για ένα νοικοκυριό.
- Επισκευή διαρροών:
  - Πηγή Δεδομένων: Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (ΕΡΑ) και διάφοροι οδηγοί συντήρησης νερού υποδεικνύουν ότι η διόρθωση μικροδιαρροών μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικές ποσότητες νερού
  - Υπολογισμός: Οι διαρροές στο νοικοκυριό, συμπεριλαμβανομένων των τουαλετών και των σωληνώσεων, μπορεί να ευθύνονται για χιλιάδες γαλόνια νερού που σπαταλώνται ετησίως. Η επισκευή αυτών των διαρροών μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 10,000 γαλόνια (37854.10 λίτρα) ανά νοικοκυριό κάθε χρόνο.

Γίνεται η παραδοχή πως αυτά τα μέτρα υιοθετούνται σταδιακά από ένα κομμάτι του πληθυσμού, ανάλογα με το ποσοστό της περιβαλλοντικής συνείδησης. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα θα προκύψει στη συνέχεια ένας συντελεστής ευαισθητοποίησης (κεφάλαιο 5).

## 5 Εκπόνηση του μοντέλου

### 5.1 Σχετικά με το λογισμικό AnyLogic

Το AnyLogic είναι ένα ισχυρό λογισμικό μοντελοποίησης και προσομοίωσης που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν σύνθετα μοντέλα για την ανάλυση και βελτιστοποίηση διαφόρων συστημάτων. Αναπτύχθηκε από την εταιρεία The

AnyLogic Company και χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η βιομηχανία, η υγειονομική περίθαλψη, η εφοδιαστική αλυσίδα και τα χρηματοοικονομικά. Το AnyLogic προσφέρει υποστήριξη για διάφορες μεθοδολογίες μοντελοποίησης, όπως η agent-based προσομοίωση, system dynamics και η προσομοίωση διακριτών γεγονότων.

Το AnyLogic παρέχει ένα ισχυρό περιβάλλον για τη δημιουργία μοντέλων System Dynamics, επιτρέποντας στους χρήστες να επωφεληθούν από τις προηγμένες δυνατότητες προσομοίωσης και ανάλυσης του λογισμικού. Μέσω της χρήσης διαγραμμάτων ροής και αποθεμάτων, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τη δυναμική των συστημάτων και να αναλύσουν την επίδραση των διαφορετικών παραμέτρων και πολιτικών.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης του AnyLogic για System Dynamics είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης διαφόρων μεθοδολογιών μοντελοποίησης σε ένα ενιαίο μοντέλο. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία υβριδικών μοντέλων που συνδυάζουν την agent-based προσομοίωση και την προσομοίωση διακριτών γεγονότων με τη συστημική δυναμική, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην ανάλυση σύνθετων συστημάτων.

Το AnyLogic είναι χτισμένο πάνω στην πλατφόρμα Java, επιτρέποντας στους χρήστες να επωφεληθούν από την ευελιξία και την ισχύ αυτής της γλώσσας προγραμματισμού. Η χρήση της Java εξασφαλίζει ότι το AnyLogic μπορεί να εκτελείται σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, macOS και Linux, καθιστώντας το ένα πολυπλατφορμικό εργαλείο. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να ενσωματώσουν δικό τους κώδικα Java στα μοντέλα τους για να επεκτείνουν τις δυνατότητες του λογισμικού και να προσαρμόσουν τις προσομοιώσεις τους σύμφωνα με τις συγκεκριμένες ανάγκες τους.

Το AnyLogic παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή με drag-and-drop στοιχεία, διευκολύνοντας τη δημιουργία σύνθετων μοντέλων χωρίς την ανάγκη εκτεταμένων γνώσεων προγραμματισμού. Ωστόσο, για πιο προχωρημένους χρήστες, η δυνατότητα γραφής και ενσωμάτωσης Java κώδικα προσφέρει απεριόριστες δυνατότητες.

Παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την προσομοίωση σεναρίων δημόσιας υγείας και την ανάλυση πολιτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης. Οι χρήστες μπορούν να δοκιμάσουν διαφορετικά σενάρια και να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των αποφάσεών τους σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας έτσι τη λήψη αποφάσεων και τη στρατηγική σχεδίαση.

## 5.2 Διαγράμματα συσχέτισης

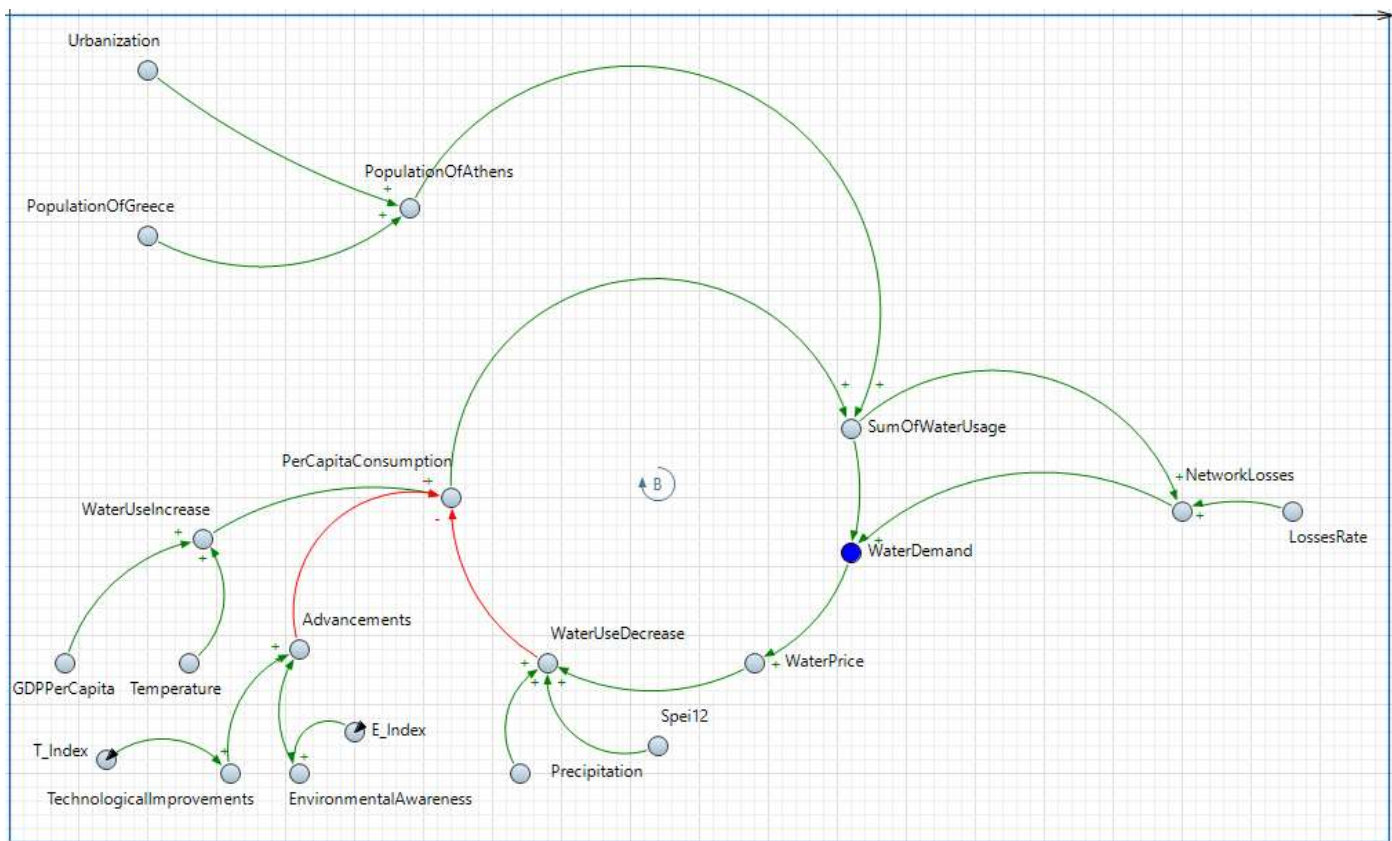
### 5.2.1 Causal Loop Diagram

Τα Causal Loop Diagrams (CLD) χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και ανάλυση των αιτιακών σχέσεων μεταξύ διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος. Στο AnyLogic, τα CLD βοηθούν τους χρήστες να κατανοήσουν πώς οι αλλαγές σε μία μεταβλητή μπορεί να επηρεάσουν άλλες μεταβλητές μέσω ενός δικτύου αιτιακών βρόχων. Αυτά τα διαγράμματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την ανάλυση των ενισχυτικών (reinforcing) και εξισορροπητικών (balancing) βρόχων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος.

Ένα άλλο απλό παράδειγμα ενός Causal Loop Diagram (CLD) είναι η σχέση μεταξύ της μελέτης και των βαθμών ενός μαθητή. Όσο περισσότερο χρόνο αφιερώνει ο μαθητής στη μελέτη, τόσο περισσότερες γνώσεις αποκτά, κάτι που συνήθως οδηγεί σε καλύτερους βαθμούς στις εξετάσεις (θετική σχέση). Οι καλύτεροι βαθμοί αυξάνουν την αυτοπεποίθηση του μαθητή, κάτι που μπορεί να τον ενθαρρύνει να αφιερώσει ακόμα περισσότερο χρόνο στη μελέτη (θετική σχέση). Αυτός είναι ένας θετικός βρόχος ενίσχυσης (reinforcing loop), όπου η αύξηση στη μελέτη οδηγεί σε αύξηση της αυτοπεποίθησης και περαιτέρω αύξηση στη μελέτη, δημιουργώντας έναν αυτοενισχυόμενο κύκλο βελτίωσης των επιδόσεων.

Ένα παράδειγμα ενός balancing loop (εξισορροπητικού βρόχου) είναι η διαδικασία διατήρησης μιας ιδανικής θερμοκρασίας δωματίου με ένα θερμοστάτη. Όταν η θερμοκρασία του δωματίου πέσει κάτω από το καθορισμένο επίπεδο, ο θερμοστάτης ενεργοποιεί τη θέρμανση για να αυξήσει τη θερμοκρασία (αρνητική σχέση). Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται και πλησιάζει την επιθυμητή τιμή, ο θερμοστάτης απενεργοποιεί τη θέρμανση (αρνητική σχέση), διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερή. Αυτός είναι ένας εξισορροπητικός βρόχος γιατί η αρχική αλλαγή (μείωση της θερμοκρασίας) προκαλεί αντίθετη δράση (αύξηση της θερμοκρασίας μέσω θέρμανσης), με στόχο να επιτευχθεί μια σταθερή κατάσταση.

Παρακάτω απεικονίζεται το CLD για την πρόβλεψη της ζήτησης νερού αστικής χρήσεις με μεταβλητές που έχουν προκύψει από τη βιβλιογραφία και την ανάλυση δεδομένων παραπάνω:



Εικόνα 21: Causal Loop Diagram

Όπου:

- Urbanization: Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αστικοποίησης της Ελλάδας (%)
- PopulationOfGreece: Ο πληθυσμός της Ελλάδας
- PopulationOfAthens: Ο πληθυσμός της Αθήνας
- Per Capita Consumption: Κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού στην Αθήνα ( $m^3$ )
- WaterUseIncrease: Αύξηση της χρήσης νερού ( $m^3$ )
- GDPPerCapita: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα (\$)
- Temperature: Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Αθήνα ( $^{\circ}C$ )
- WaterUseDecrease: Μείωση της χρήσης νερού ( $m^3$ )
- Precipitation: Ετήσια κατακρήμνιση στην Αθήνα (mm)
- Spei12: Δείκτης ξηρασίας στην Αθήνα
- WaterPrice: Τιμή του νερού της ΕΥΔΑΠ (\$)
- Advancements: Επίδραση της ανάπτυξης στη χρήση νερού ( $m^3$ )
- TechnologicalImprovements: Επίδραση της τεχνολογικής ανάπτυξης στις οικιακές συσκευές κατανάλωσης νερού ( $m^3$ )
- T\_Index: τεχνολογική παράμετρος, ο ρυθμός ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών στα νοικοκυριά

- **EnvironmentalAwareness:** Επίδραση της περιβαλλοντικής συνείδησης στην κατανάλωση νερού
- **E\_Index:** περιβαλλοντική παράμετρος, ο ρυθμός ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών πολιτικών
- **SumOfWaterUsage:** Το σύνολο της αστικής χρήσης νερού στην Αθήνα χωρίς τις απώλειες δικτύου ( $m^3$ )
- **NetworkLosses:** Οι απώλειες δικτύου της ΕΥΔΑΠ, εκφρασμένες σε ποσοστό της συνολικής αστικής χρήσης νερού
- **LossesRate:** Ο ρυθμός μείωσης/ αύξησης των απωλειών
- **WaterDemand:** Η ζήτηση του νερού για αστική χρήση στην Αθήνα ( $m^3$ )-τελικό αποτέλεσμα

Στην εικόνα έχει σημειωθεί η θετική (πράσινο) και η αρνητική (κόκκινο) επίδραση του ενός παράγοντα στον άλλο. Ακόμη έχει δημιουργηθεί ένας βρόγχος εξισορρόπησης (balancing loop), ανάμεσα στην τιμή του νερού, τη ζήτηση στην Αθήνα και την κατά κεφαλήν κατανάλωση. Αυτό διότι θέλουμε να εξετάσουμε στη συνέχεια την εφαρμογή σεναρίου αύξησης της τιμής του νερού σε περίπτωση που η συνολική ζήτηση του νερού στην Αθήνα ξεπεράσει ένα αποδεκτό όριο και την επίδραση αυτής της αύξησης της τιμής στην κατανάλωση.

Πιο συγκεκριμένα, από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας επιλέχθηκαν μεταβλητές που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και παράγουν αλυσιδωτές αντιδράσεις. Ο τρόπος με τον οποίο αυτές αλληλεπιδρούν (θετικά ή αρνητικά) στην αρχή επιλέχθηκαν με βάση τη βιβλιογραφία και λογικές παραδοχές και στη συνέχεια επιβεβαιώθηκαν μέσα από μαθηματικά μοντέλα παλινδρόμησης με βάση τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Κατά αυτό τον τρόπο:

- Ο πληθυσμός της Αθήνας αυξάνεται και μειώνεται ανάλογα με την αυξομείωση του πληθυσμού της Ελλάδας και το ρυθμό αστικοποίησης.
- Η κατά κεφαλήν κατανάλωση αυξάνεται όσο αυξάνεται η μέση ετήσια θερμοκρασία αλλά και το κατά κεφαλήν ΑΕΠ, ενώ μειώνεται όσο αυξάνεται η κατακρήμνιση, ο δείκτης ξηρασίας, η τιμή του νερού η περιβαλλοντική συνείδηση και η τεχνολογία στις συσκευές.
- Η συνολική ζήτηση με τη σειρά της αυξάνεται/ μειώνεται όσο αυξάνεται/ μειώνεται ο πληθυσμός της Αθήνας, η κατά κεφαλήν κατανάλωση και οι απώλειες του δικτύου της ΕΥΔΑΠ.

### 5.2.2 Stock and Flow Diagram

Τα Stock and Flow Diagrams (SFD) είναι ένα από τα βασικά εργαλεία στο System Dynamics. Χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της ροής και της συσσώρευσης πόρων μέσα σε ένα σύστημα. Στο AnyLogic, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν SFD χρησιμοποιώντας στοιχεία όπως αποθέματα (stocks), ροές (flows), και βοηθητικά στοιχεία (auxiliaries). Αυτά τα διαγράμματα επιτρέπουν την απεικόνιση της δυναμικής των συστημάτων και την ανάλυση των επιπτώσεων διαφόρων μεταβλητών στην απόδοση του συστήματος.



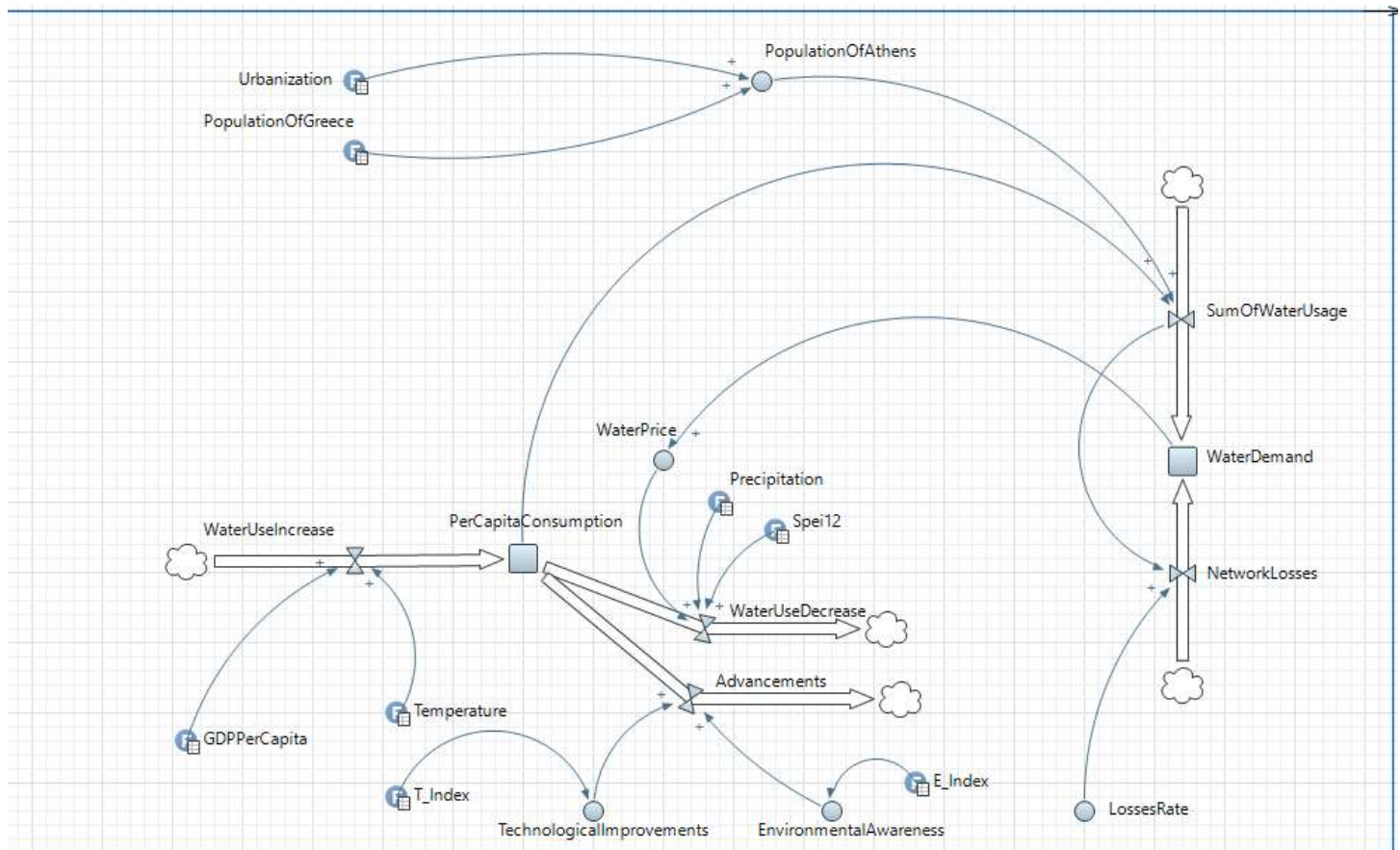
Ένα παράδειγμα Stock and Flow Diagram είναι η περιγραφή της αλλαγής του πληθυσμού μιας πόλης. Στην περίπτωση αυτή, το stock είναι ο συνολικός πληθυσμός της πόλης. Ο πληθυσμός αυτός αλλάζει μέσω δύο βασικών flows: οι γεννήσεις και οι μεταναστεύσεις αποτελούν τις εισερχόμενες ροές (inflows) που αυξάνουν τον πληθυσμό, ενώ οι θάνατοι και οι μεταναστεύσεις προς άλλες περιοχές είναι οι εξερχόμενες ροές (outflows) που μειώνουν τον πληθυσμό. Οι βοηθητικές μεταβλητές (auxiliaries) μπορεί να περιλαμβάνουν παράγοντες όπως το ποσοστό γεννήσεων και θανάτων, το οποίο επηρεάζει το ρυθμό των ροών. Για παράδειγμα, ένα υψηλότερο ποσοστό γεννήσεων αυξάνει τη ροή των γεννήσεων, αυξάνοντας έτσι τον πληθυσμό. Με τον ίδιο τρόπο, η μεταβλητή του ποσοστού θανάτων επηρεάζει το outflow. Το διάγραμμα δείχνει πώς αυτές οι ροές επηρεάζουν το stock του πληθυσμού με την πάροδο του χρόνου, προσφέροντας μια δυναμική εικόνα του συστήματος.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της παρούσας μελέτης:

- Stocks: PerCapitaConsumption, WaterDemand
- Flows: WaterUseIncrease, SumOfWaterUsage, NetworkLosses, WaterUseDecrease, Advancements
- Auxiliaries: Urbanization, PopulationOfGreece, Population of Athens, GDPPerCapita, Temperature, T\_Index, TechnologicalImprovements, E\_Index, EnvironmentalAwareness, Precipitation, Spei12, WaterPrice, LossesRate

Τα flows είναι διαδικασίες που «γεμίζουν» τα stocks ενώ τα auxiliaries επηρεάζουν το ρυθμό με τον οποίο λαμβάνει χώρα αυτή η διαδικασία.

Παρακάτω αναλυτικά το διάγραμμα:



Εικόνα 22: Stock and Flow Diagram

### 5.3 Σενάρια

Για τα σενάρια πρόβλεψης της ζήτησης του νερού θα αξιοποιήσουμε τα σενάρια SSP (Shared Socioeconomic Pathways- Κοινές Κοινωνικοοικονομικές Διαδρομές) [55]. Αυτά τα σενάρια αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των πολιτικών για την αντιμετώπισή της. Οι SSP είναι πέντε διαδρομές που περιγράφουν διαφορετικές οδούς μελλοντικής κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης. Τα SSP είναι: SSP1- Διαδρομή Αειφορίας, SSP2- Διαδρομή Μεσαίου Δρόμου, SSP3- Διαδρομή Περιφερειακής Αντιπαλότητας, SSP4- Διαδρομή Ανισοτήτων, SSP5- Διαδρομή Εντατικής Ανάπτυξης. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή όλων των σεναρίων, ενώ στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τα σενάρια SSP1, SSP2 και SSP5 προκειμένου να αποκτήσουμε αποτελέσματα για το καλύτερο (SSP1) και το χειρότερο σενάριο (SSP5) καθώς και για το σενάριο που ακολουθεί τις σημερινές τάσεις (SSP2). Με βάση τα δεδομένα πρόβλεψης για το κάθε σενάριο και εύλογες τεκμηριωμένες παραδοχές για τις τιμές για τις οποίες δεν προσφέρονται δεδομένα θα τροφοδοτήσουμε τη πλατφόρμα της Anylogic για να πάρουμε τα αποτελέσματα.

Για τα SSP1, SSP2 και SSP5 παρατίθενται τα πληθυσμιακά, οικονομικά και κλιματικά δεδομένα πρόβλεψης (2024-2074) και οι παραδοχές για το καθένα.

### 5.3.1 SSP1: Διαδρομή Αειφορίας

Η διαδρομή αυτή υποθέτει έναν κόσμο με έμφαση στην αειφόρο ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Σε αυτό το σενάριο, οι κοινωνίες και οι κυβερνήσεις δίνουν προτεραιότητα στην εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών και την προώθηση πολιτικών που μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η αειφορία και η κοινωνική ισότητα είναι κεντρικοί άξονες σε αυτό το σενάριο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια γενική τάση προς την βελτίωση της ποιότητας ζωής και της περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Οι κυβερνήσεις συνεργάζονται σε διεθνές επίπεδο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ενώ οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιώσιμες πρακτικές αυξάνονται συνεχώς. Αυτό το σενάριο προβλέπει χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και σημαντικές προόδους στην τεχνολογία καθαρής ενέργειας.

Τα δεδομένα αυτού του σεναρίου παρατίθενται στο [Παράρτημα 9.2](#)

### 5.3.2 SSP2: Διαδρομή Μεσαίου Δρόμου

Το σενάριο αυτό υποθέτει ότι οι τρέχουσες τάσεις συνεχίζονται χωρίς σημαντικές αλλαγές στην πολιτική ή την κοινωνική συμπεριφορά. Η ανάπτυξη είναι μέτρια και η πρόοδος προς την αειφορία είναι αργή και ανομοιογενής. Η οικονομική ανάπτυξη και οι περιβαλλοντικές προκλήσεις παραμένουν σε ισορροπία, χωρίς να υπάρχει έντονη πίεση για δραστικές αλλαγές.

Σε αυτό το σενάριο, οι πολιτικές για την κλιματική αλλαγή εφαρμόζονται με αργό ρυθμό και οι κοινωνικές ανισότητες παραμένουν. Η διεθνής συνεργασία υπάρχει, αλλά δεν είναι τόσο ισχυρή όσο στο σενάριο της αειφορίας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι επίσης μέτριες, και η χρήση των ορυκτών καυσίμων συνεχίζεται.

Τα δεδομένα αυτού του σεναρίου παρατίθενται στο [Παράρτημα 9.2](#)

### 5.3.3 SSP3: Διαδρομή Περιφερειακής Αντιπαλότητας

Αυτό το σενάριο περιγράφει έναν κόσμο με ισχυρές περιφερειακές διαφορές και ανταγωνισμό. Η παγκοσμιοποίηση περιορίζεται και οι χώρες δίνουν έμφαση στην εθνική ασφάλεια και την αυτάρκεια. Η διεθνής συνεργασία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής είναι περιορισμένη και οι χώρες εστιάζουν περισσότερο στην προστασία των δικών τους συμφερόντων.

Οι ανισότητες μεταξύ των χωρών αυξάνονται και η ανταγωνιστικότητα μεταξύ των εθνών εντείνεται. Οι περιφερειακές συγκρούσεις είναι συχνές και η οικονομική ανάπτυξη είναι άνιση. Οι επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες είναι περιορισμένες, και η χρήση ορυκτών καυσίμων παραμένει υψηλή.

### 5.3.4 SSP4: Διαδρομή Ανισοτήτων

Στην διαδρομή αυτή, οι ανισότητες μεταξύ και εντός των χωρών είναι έντονες. Οι τεχνολογικές εξελίξεις ευνοούν κυρίως τις ανεπτυγμένες χώρες, ενώ οι

αναπτυσσόμενες χώρες αγωνίζονται να προσαρμοστούν. Η κοινωνική και οικονομική ανισότητα αυξάνεται, καθιστώντας την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής πιο δύσκολη.

Οι ανεπτυγμένες χώρες επενδύουν σε τεχνολογίες αιχμής και απολαμβάνουν υψηλά επίπεδα διαβίωσης, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες αντιμετωπίζουν αυξανόμενα προβλήματα φτώχειας και έλλειψης πόρων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι έντονες, καθώς η κλιματική αλλαγή επιδεινώνεται λόγω των ανισορροπιών στην παγκόσμια οικονομία.

### 5.3.5 SSP5: Διαδρομή Εντατικής Ανάπτυξης

Το σενάριο αυτό περιγράφει έναν κόσμο με έντονη οικονομική ανάπτυξη βασισμένη στις παραδοσιακές μορφές ενέργειας. Η τεχνολογική πρόοδος είναι ραγδαία, αλλά η αειφορία και η προστασία του περιβάλλοντος δεν είναι προτεραιότητες. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι υψηλές, αυξάνοντας τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής.

Σε αυτό το σενάριο, η οικονομική ανάπτυξη είναι ο κύριος στόχος και η χρήση των ορυκτών καυσίμων αυξάνεται για να υποστηρίξει την βιομηχανική επέκταση. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές είναι περιορισμένες και η κλιματική αλλαγή προχωρά με ταχύτερους ρυθμούς, δημιουργώντας σοβαρές προκλήσεις για το μέλλον.

Τα δεδομένα αυτού του σεναρίου παρατίθενται στο [Παράρτημα 9.2](#)

## 5.4 Διατύπωση των εξισώσεων συσχέτισης

Για τις εξισώσεις που διέπουν τις σχέσεις ανάμεσα στις παραμέτρους αυτές που απεικονίζονται στο Stock and Flow Diagram παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης ενώ στη συνέχεια προσαρμόστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στη μορφή:

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t [Inflow(s) - Outflow(s)]ds + Stock(t_0)$$

$$\frac{d(Stock)}{dt} = Inflow(t) - Outflow(t)$$

### 5.4.1 Εξίσωση συσχέτισης πληθυσμού στην Ελλάδα και πληθυσμού στην Αθήνα

Τα δεδομένα πρόβλεψης που προσφέρονται από τα SSP είναι δεδομένα για τον πληθυσμό στην Ελλάδα, καθώς και για τον ρυθμό αστικοποίησης. Με βάση αυτά λοιπόν θα εξαχθεί μια εξίσωση που να σχετίζει αυτές τις δύο παραμέτρους με τον πληθυσμό την Αθήνας. Και πράγματι με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης προκύπτει το παρακάτω:

Πίνακας 4: Γραμμική παλινδρόμηση (πληθυσμός)

| Στατιστικά παλινδρόμησης       |                   |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Πολλαπλό R                     | 0.9995153982      |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
| R Τετράγωνο                    | 0.9990310312      |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
| Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο      | 0.978603093       |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
| Τυπικό σφάλμα                  | 97927.52835       |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
| Μέγεθος δείγματος              | 51                |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
| ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ            |                   |                 |                 |               |                 |               |                |                 |
|                                | βαθμοί ελευθερίας | SS              | MS              | F             | Σημαντικότητα F |               |                |                 |
| Παλινδρόμηση                   | 2                 | 484478867760408 | 242239433880204 | 25260.1111    | 0               |               |                |                 |
| Υπόλοιπο                       | 49                | 469900239592    | 9589800808      |               |                 |               |                |                 |
| Σύνολο                         | 51                | 484948768000000 |                 |               |                 |               |                |                 |
|                                | Συντελεστές       | Τυπικό σφάλμα   | t               | τιμή-P        | Κατώτερο 95%    | Υψηλότερο 95% | Κατώτερο 95.0% | Υψηλότερο 95.0% |
| Τεταγμένη επί την αρχή         | 0                 | #N/A            | #N/A            | #N/A          | #N/A            | #N/A          | #N/A           | #N/A            |
| Urbanization (Annual growth %) | 78342.756         | 20080.07693     | 3.901516727     | 0.00029152059 | 37990.33065     | 118695.1814   | 37990.33065    | 118695.1814     |
| Population of Greece (people)  | 0.2918943668      | 0.001877190525  | 155.4953335     | 0             | 0.2881220112    | 0.2956667224  | 0.2881220112   | 0.2956667224    |

Παρατηρείται ότι το Προσαρμοσμένο  $R^2$  είναι περίπου ίσο με 0.98 το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση και η τιμή P και για τις δύο μεταβλητές είναι μικρότερες του 0.05 το οποίο σημαίνει πως είναι στατιστικά σημαντικές. Άρα προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\begin{aligned}
 PopulationOfAthens &= 78342.756 \times Urbanization \\
 &+ 0.291894367 \times PopulationOfGreece
 \end{aligned}$$

Όπου:

PopulationOfAthens: Πληθυσμός της Αθήνας ανά έτος [άτομα]

Urbanization: ετήσιος ρυθμός αστικοποίησης [%]

PopulationofGreece: Πληθυσμός της Ελλάδας [άτομα]

### 5.4.2 Εξίσωση συσχέτισης παραμέτρων με την κατά κεφαλήν κατανάλωση

Για τον υπολογισμό της εξίσωσης της κατά κεφαλήν κατανάλωσης χρησιμοποιήθηκαν δύο προσεγγίσεις. Η μια αφορά τη συσχέτιση στην οποία τα κλιματικά δεδομένα αφορούν την Ελλάδα καθώς είναι διαθέσιμα για μεγαλύτερο χρονικό εύρος (1973-2023), ενώ στην άλλη τα κλιματικά δεδομένα είναι περισσότερα και συγκεκριμένα για την Αθήνα, αλλά με μικρότερο χρονικό εύρος (1980- 2020).

#### Εξίσωση 1

Για την εξίσωση 1 αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα (1973-2023) για:

- Το ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα[\$]
- Την μέση ετήσια τιμή του νερού [\$]
- Την μέση ετήσια θερμοκρασία της Ελλάδας [°C]
- Την μέση ετήσια κατακρήμνιση στην Ελλάδα [mm]

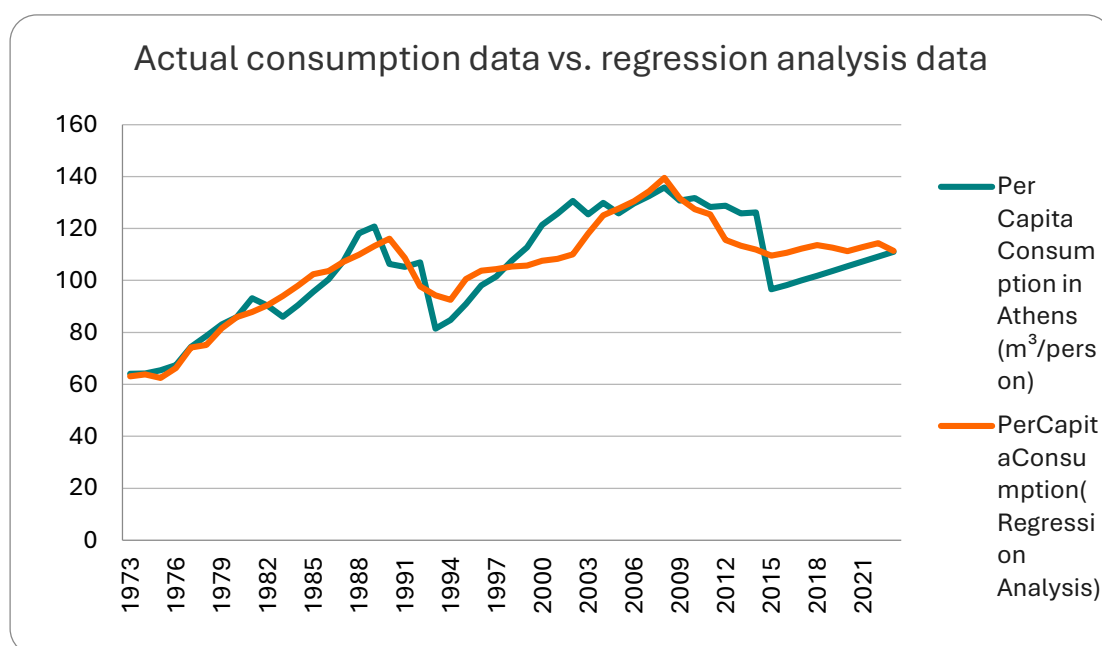
Και με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης προκύπτει το παρακάτω:

Πίνακας 5: Γραμμική παλινδρόμηση (κατανάλωση)

| Στατιστικά παλινδρόμησης  |                   |               |          |                 |                 |               |                |                 |
|---------------------------|-------------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Πολλαπλό R                | 0.9143897661      |               |          |                 |                 |               |                |                 |
| R Τετράγωνο               | 0.8361086443      |               |          |                 |                 |               |                |                 |
| Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο | 0.8218572221      |               |          |                 |                 |               |                |                 |
| Τυπικό σφάλμα             | 8.494720472       |               |          |                 |                 |               |                |                 |
| Μέγεθος δείγματος         | 51                |               |          |                 |                 |               |                |                 |
| ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ       |                   |               |          |                 |                 |               |                |                 |
|                           | βαθμοί ελευθερίας | SS            | MS       | F               | Σημαντικότητα F |               |                |                 |
| Παλινδρόμηση              | 4                 | 16934.12      | 4233.530 | 58.6684353      | 0               |               |                |                 |
| Υπόλοιπο                  | 46                | 3319.372      | 72.16027 |                 |                 |               |                |                 |
| Σύνολο                    | 50                | 20253.49      |          |                 |                 |               |                |                 |
|                           | Συντελεστές       | Τυπικό σφάλμα | t        | τιμή-P          | Κατώτερο 95%    | Υψηλότερο 95% | Κατώτερο 95.0% | Υψηλότερο 95.0% |
| Τεταγμένη επί την αρχή    | 135.3212516       | 33.420        | 4.049054 | 0.0001953825402 | 68.04935494     | 202.593148    | 68.04935494    | 202.593148      |

|                                  |               |        |          |             |               |            |               |             |
|----------------------------------|---------------|--------|----------|-------------|---------------|------------|---------------|-------------|
| GDP Greece per capita (\$)       | 0.0014695185  | 0.0002 | 6.597459 | 0.00000003  | 0.0010211661  | 0.00191787 | 0.0010211661  | 0.001917871 |
| Price of Water \$/m <sup>3</sup> | -51.48299695  | 6.9859 | -7.36948 | 0.000000002 | -65.54502801  | -37.420965 | -65.54502801  | -37.420965  |
| Temperature of Greece (°C.)      | -0.9799965397 | 2.4650 | -0.39756 | 0.69279212  | -5.941817903  | 3.98182482 | -5.941817903  | 3.98182482  |
| Precipitation in Greece (mm)     | -0.0092063585 | 0.0127 | -0.72298 | 0.47335018  | -0.0348382529 | 0.01642553 | -0.0348382529 | 0.01642553  |

Και απεικονίζοντας γραφικά τη σχέση μεταξύ των πραγματικών δεδομένων για την κατά κεφαλήν κατανάλωση του νερού και τα δεδομένα που προκύπτουν από την παλινδρόμηση προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 23: Συσχέτιση πραγματικών δεδομένων με δεδομένα από παλινδρόμηση (1)

## Εξίσωση 2

Για την Εξίσωση 2 αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα (1980-2020) για:

- Το ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα [\$]
- Την μέση ετήσια τιμή του νερού [\$]
- Την μέση ετήσια θερμοκρασία της Αθήνας [°C]
- Την μέση ετήσια κατακρήμνιση στην Αθήνα [mm]
- Τον ετήσιο δείκτη ξηρασίας Sprei12 για την Αθήνα

Και με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης προκύπτει το παρακάτω:

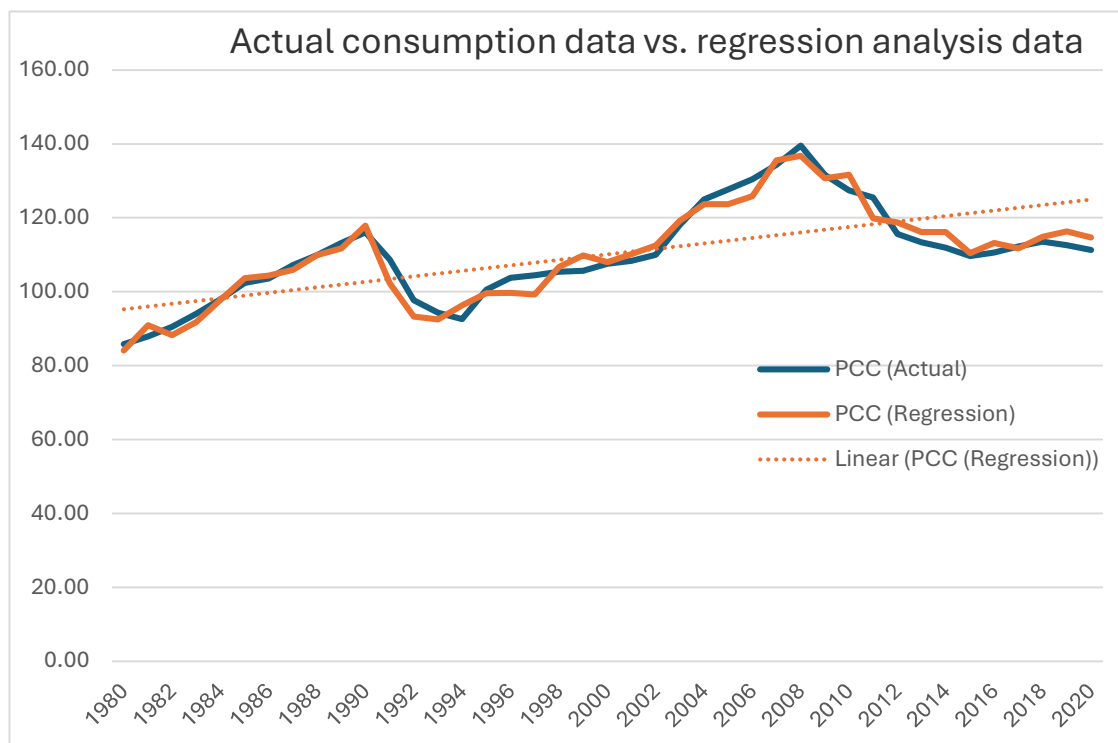
Πίνακας 6: Γραμμική Παλινδρόμηση (κατανάλωση) (2)

| Στατιστικά παλινδρόμησης |             |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Πολλαπλό R               | 0.999650511 |  |  |  |  |  |  |  |



|                                        |                          |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
|----------------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------|---------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| R Τετράγωνο                            | 0.999301145              |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
| Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο              | 0.971445717              |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
| Τυπικό σφάλμα                          | 3.128805112              |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
| Μέγεθος δείγματος                      | 41                       |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
| ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ                    |                          |                      |              |               |                        |                      |                       |                        |
|                                        | <i>βαθμοί ελευθερίας</i> | <i>SS</i>            | <i>MS</i>    | <i>F</i>      | <i>Σημαντικότητα F</i> |                      |                       |                        |
| Παλινδρόμηση                           | 5                        | 503928.8777          | 100785.77    | 10295.376     | 0                      |                      |                       |                        |
| Υπόλοιπο                               | 36                       | 352.4191715          | 9.7894214    |               |                        |                      |                       |                        |
| Σύνολο                                 | 41                       | 504281.2969          |              |               |                        |                      |                       |                        |
|                                        | <i>Συντελεστές</i>       | <i>Τυπικό σφάλμα</i> | <i>t</i>     | <i>τιμή-P</i> | <i>Κατώτερο 95%</i>    | <i>Υψηλότερο 95%</i> | <i>Κατώτερο 95.0%</i> | <i>Υψηλότερο 95.0%</i> |
| Τεταγμένη επί την αρχή                 | 0                        | #N/A                 | #N/A         | #N/A          | #N/A                   | #N/A                 | #N/A                  | #N/A                   |
| Annual average precipitation in Athens | -0.003419434711          | 0.006358810779       | 0.5377475175 | 0.5940603603  | 0.01631570071          | 0.009476831284       | 0.01631570071         | 0.009476831284         |
| Δείκτης ξηρασίας Spei12                | 1.781140503              | 0.891578786          | 1.9977376    | 0.0533442     | -0.0270650             | 3.589346091          | -0.0270650            | 3.589346091            |
| GDP Greece per capita (\$)             | 0.001168534              | 0.000067598          | 17.286440    | 0             | 0.00103143             | 0.001305630          | 0.00103143            | 0.001305630            |
| Price of Water \$/m^3                  | -52.6176450              | 4.259142859          | -12.354045   | 0             | -61.255587             | -43.9797029          | -61.255587            | -43.9797029            |
| Annual average temperature in Athens   | 5.277052579              | 0.163259090          | 32.323177    | 0             | 4.94594779             | 5.608157361          | 4.94594779            | 5.608157361            |

Και απεικονίζοντας γραφικά τη σχέση μεταξύ των πραγματικών δεδομένων για την κατά κεφαλήν κατανάλωση του νερού και τα δεδομένα που προκύπτουν από την παλινδρόμηση προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 24: Συσχέτιση πραγματικών δεδομένων με δεδομένα από παλινδρόμηση (2)

Όπου το Προσαρμοσμένο  $R^2$  είναι περίπου ίσο με 0.97 και το τυπικό σφάλμα 3.13. Εν τέλει θα προτιμηθεί αυτή η εξίσωση τόσο διότι παρουσιάζει καλύτερα στατιστικά μεγέθη και κυρίως διότι αναφέρεται σε κλιματικά δεδομένα όπου είναι συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης. Άρα τελικά προκύπτει η εξίσωση:

*PerCapitaConsumption*

$$= 0.001168534 \times GDPPerCapita - 52.61764501 \times WaterPrice - 0.003419435 \times Precipitation + 1.781140503 \times Spei12 + 5.277052579 \times Temperature$$

Όπου:

- *PerCapitaConsumption*: Μέση ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού στην Αθήνα [ $m^3$ ]
- *GDPPerCapita*: Ετήσιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ στην Ελλάδα [€]
- *WaterPrice*: Μέση ετήσια τιμή του νερού [€]
- *Precipitation*: Μέση ετήσια κατακρήμνιση στην Αθήνα [mm]
- *Spei12*: Ετήσιος δείκτης ξηρασίας στην Αθήνα
- *Temperature*: Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Αθήνα [°C]

### 5.4.3 Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης περιβαλλοντικής συνείδησης στην κατανάλωση του νερού

Από τα δεδομένα της ενότητας 4.8 ακολουθεί η μετατροπή και ο υπολογισμός των μεγεθών:

Μέγεθος νοικοκυριού: Το μέσο νοικοκυριό στην Αθήνα είναι 2.6 άνθρωποι (ΕΛΣΤΑΤ). Στις ΗΠΑ στην οποία αναφέρονται τα στοιχεία της EPA είναι 2.63 οπότε λαμβάνεται περίπου ίσο.

Μετατροπή γαλόνια → κυβικά μέτρα

$$1 \text{ gallon} = 0.00378541 \text{ m}^3$$

- Συντομότερα ντους

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 7,300 γαλόνια. (με παραδοχή καθημερινού ντους και μείωση 2 λεπτών της διάρκειας)

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $3,650 \times 0.00378541 = 27.63 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $27.63 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 10.63 \text{ m}^3$

- Κλείσιμο της βρύσης

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 1,460 γαλόνια.

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $1,460 \times 0.00378541 = 5.53 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $5.53 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 2.13 \text{ m}^3$

- Μόνο Πλήρη Φορτία

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 3,400 γαλόνια.

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $3,400 \times 0.00378541 = 12.87 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $12.87 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 4.95 \text{ m}^3$

- Διόρθωση διαρροών

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 10,000 γαλόνια.

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $10,000 \times 0.00378541 = 37.85 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $37.85 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 14.56 \text{ m}^3$

Άρα η μέγιστη αθροιστική κατά κεφαλήν εξοικονόμηση νερού λόγω περιβαλλοντικής συνείδησης προκύπτει  $32.27 \text{ m}^3$  ετησίως

Ακολουθεί η δημιουργία μιας παραμέτρου περιβαλλοντικής συνείδησης E (Environmental consciousness factor) από 0 μέχρι 1 με το 0 να αποτυπώνει την μηδενική περιβαλλοντική συνείδηση και το 1 πλήρη. Έτσι προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$EnvironmentalAwareness = 32.27 \times E\_Index$$

Η παράμετρος αυτή είναι προσεγγιστική και λαμβάνει υπόψη την μέση περιβαλλοντική συνείδηση με αναγωγή στο σύνολο του πληθυσμού στην Αθήνα. Για παράδειγμα ένα νοικοκυριό μπορεί να υιοθετεί μέρος αυτών των πρακτικών (πχ. χωρίς τη διόρθωση των διαρροών) και άρα να εξοικονομεί  $12.39 \text{ m}^3$  ετησίως. Άρα το  $E\_Index$  προκύπτει 0.46. Για το σύνολο του πληθυσμού προφανώς λαμβάνουμε ένα μέσο όρο ανάλογα με το SSP και εύλογες παραδοχές. Από τη στιγμή που η εξίσωση παλινδρόμησης για τον υπολογισμό της κατά κεφαλήν κατανάλωσης δεν έχουν συνυπολογίσει μεταβλητές που αφορούν στην περιβαλλοντική συνείδηση θα κάνουμε την παραδοχή ότι για το έτος εκκίνησης (2024), ο συντελεστής αυτός είναι μηδενικός ενώ φτάνει την μέγιστη τιμή του το έτος στόχο (2074). Έτσι για τα 3 σενάρια που εξετάζουμε έχουμε:

- SSP1: Σε αυτό το σενάριο έχουμε τη μέγιστη εξοικονόμηση νερού. Μέσω προγραμμάτων εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης οι πολίτες εκπαιδεύονται στις τεχνικές μείωσης της κατανάλωσης νερού ενώ προσφέρονται επιδοτήσεις για τον συνεχή έλεγχο και μείωση των διαρροών. Άρα για το έτος στόχο επιτυγχάνεται  $E\_Index=0.8$

Με την παραδοχή της γραμμικής αύξησης της περιβαλλοντικής συνείδησης προκύπτει:

Πίνακας 7: Μεταβολή  $E\_Index$

|      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 2024 | 0     | 2029 | 0.03  | 2034 | 0.06  | 2039 | 0.09  | 2044 | 0.12  |
| 2025 | 0.006 | 2030 | 0.036 | 2035 | 0.066 | 2040 | 0.096 | 2045 | 0.126 |
| 2026 | 0.012 | 2031 | 0.042 | 2036 | 0.072 | 2041 | 0.102 | 2046 | 0.132 |
| 2027 | 0.018 | 2032 | 0.048 | 2037 | 0.078 | 2042 | 0.108 | 2047 | 0.138 |
| 2028 | 0.024 | 2033 | 0.054 | 2038 | 0.084 | 2043 | 0.114 | 2048 | 0.144 |
| 2049 | 0.4   | 2054 | 0.48  | 2059 | 0.56  | 2064 | 0.64  | 2069 | 0.72  |
| 2050 | 0.416 | 2055 | 0.496 | 2060 | 0.576 | 2065 | 0.656 | 2070 | 0.736 |
| 2051 | 0.432 | 2056 | 0.512 | 2061 | 0.592 | 2066 | 0.672 | 2071 | 0.752 |
| 2052 | 0.448 | 2057 | 0.528 | 2062 | 0.608 | 2067 | 0.688 | 2072 | 0.768 |
| 2053 | 0.464 | 2058 | 0.544 | 2063 | 0.624 | 2068 | 0.704 | 2073 | 0.784 |
| 2074 | 0.8   |      |       |      |       |      |       |      |       |

- SSP2: Σε αυτό το σενάριο υπάρχει αναιμική πρόοδος στην περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών. Η πολιτεία δεν μεριμνά για την εκπαίδευση των πολιτών ενώ η μείωση των διαρροών έγκειται μονάχα στην ατομική ευθύνη του καθενός. Έτσι στο έτος στόχο επιτυγχάνεται ένα  $E\_Index$  μόλις στο 0.3

Με την παραδοχή της γραμμικής αύξησης της περιβαλλοντικής συνείδησης προκύπτει:

Πίνακας 8: Μεταβολή E\_Index

|      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 2024 | 0     | 2029 | 0.03  | 2034 | 0.06  | 2039 | 0.09  | 2044 | 0.12  |
| 2025 | 0.006 | 2030 | 0.036 | 2035 | 0.066 | 2040 | 0.096 | 2045 | 0.126 |
| 2026 | 0.012 | 2031 | 0.042 | 2036 | 0.072 | 2041 | 0.102 | 2046 | 0.132 |
| 2027 | 0.018 | 2032 | 0.048 | 2037 | 0.078 | 2042 | 0.108 | 2047 | 0.138 |
| 2028 | 0.024 | 2033 | 0.054 | 2038 | 0.084 | 2043 | 0.114 | 2048 | 0.144 |
| 2049 | 0.15  | 2054 | 0.18  | 2059 | 0.21  | 2064 | 0.24  | 2069 | 0.27  |
| 2050 | 0.156 | 2055 | 0.186 | 2060 | 0.216 | 2065 | 0.246 | 2070 | 0.276 |
| 2051 | 0.162 | 2056 | 0.192 | 2061 | 0.222 | 2066 | 0.252 | 2071 | 0.282 |
| 2052 | 0.168 | 2057 | 0.198 | 2062 | 0.228 | 2067 | 0.258 | 2072 | 0.288 |
| 2053 | 0.174 | 2058 | 0.204 | 2063 | 0.234 | 2068 | 0.264 | 2073 | 0.294 |
| 2074 | 0.3   |      |       |      |       |      |       |      |       |

- SSP5: Σε αυτό το σενάριο η ανθρωπότητα έχει εγκαταλείψει την προοπτική της αειφόρου ανάπτυξης και της προστασίας του περιβάλλοντος. Έτσι υπάρχει αύξηση των απωλειών λόγω αυξημένης σπατάλης και προκύπτει ένα μηδενικό E\_Index

#### 5.4.4 Μεθοδολογία ποσοτικοποίησης εξέλιξης της τεχνολογίας των οικιακών συσκευών στην κατανάλωση του νερού

Από τα δεδομένα της ενότητας 4.7 και με το ίδιο σκεπτικό της ενότητας 5.4.3 ακολουθεί η μετατροπή και τον υπολογισμό των μεγεθών:

Μετατροπή λίτρα → κυβικά μέτρα

$$1 \text{ λίτρο} = 0.001 \text{ m}^3$$

- Ντους Χαμηλής Ροής

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά τετραμελή οικογένεια: 41,640 λίτρα
2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $41,640 \times 0.001 = 41.64 \text{ m}^3$
3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $41.64 \text{ m}^3 / 4 \approx 10.41 \text{ m}^3$

- Υψηλής Απόδοσης Τουαλέτες (HET)

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 49,210 λίτρα
2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $49,210 \times 0.001 = 49.21 \text{ m}^3$
3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $49.21 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 21.39 \text{ m}^3$

- Πλυντήρια Ρούχων Μπροστινής Φόρτωσης

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 26.500 λίτρα
2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $26,500 \times 0.001 = 26.5 \text{ m}^3$
3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $26.5 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 10.19 \text{ m}^3$

- Πλυντήρια Πιάτων Υψηλής Απόδοσης

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 3,785 λίτρα

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $3,785 \times 0.001 = 3.79 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $3.79 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 1.46 \text{ m}^3$

- Αεριστές Βρύσης

1. Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση ανά νοικοκυριό: 2,650 λίτρα ετησίως

2. Μετατροπή σε κυβικά μέτρα:  $2,650 \times 0.001 = 2.65 \text{ m}^3$

3. Μετατροπή σε κατά κεφαλήν:  $2.65 \text{ m}^3 / 2.6 \approx 1.02 \text{ m}^3$

Άρα η μέγιστη αθροιστική κατά κεφαλήν εξοικονόμηση νερού λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας στις οικιακές συσκευές προκύπτει  $44.47 \text{ m}^3$  ετησίως.

Δημιουργείται συνεπώς μια παράμετρος τεχνολογικής ανάπτυξης  $T$  (Technological advancement factor) από 0 μέχρι 1 με το 0 να αποτυπώνει την μηδενική ενσωμάτωση τεχνολογικά προηγμένων συσκευών και το 1 την πλήρη. Έτσι προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$TechnologicalImprovements = 44.47 \times T\_Index$$

Και εδώ θα ακολουθηθεί η ίδια μεθοδολογία και τις παραδοχές ανάλογες με αυτές για τον δείκτη περιβαλλοντικής συνείδησης. Έτσι για τα 3 σενάρια προκύπτει:

- SSP1: Σε αυτό το σενάριο, η έμφαση στη βιωσιμότητα και τη βελτιωμένη διαχείριση των πόρων αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική τεχνολογική ανάπτυξη στις οικιακές συσκευές που καταναλώνουν νερό. Αναμένεται ότι οι κατασκευαστές θα επενδύσουν σε πράσινες τεχνολογίες και καινοτομίες για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των συσκευών, μειώνοντας την κατανάλωση νερού και ενέργειας. Επομένως, σε αυτό το σενάριο, η τεχνολογική ανάπτυξη στις οικιακές συσκευές που καταναλώνουν νερό θα είναι σημαντική και θα στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης. Έτσι στο έτος στόχο επιτυγχάνεται ένα  $T\_Index = 0.8$

Με την παραδοχή της γραμμικής αύξησης της τεχνολογικής ανάπτυξης προκύπτει:

Πίνακας 9: Μεταβολή  $T\_Index$

|      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 2024 | 0     | 2029 | 0.03  | 2034 | 0.06  | 2039 | 0.09  | 2044 | 0.12  |
| 2025 | 0.006 | 2030 | 0.036 | 2035 | 0.066 | 2040 | 0.096 | 2045 | 0.126 |
| 2026 | 0.012 | 2031 | 0.042 | 2036 | 0.072 | 2041 | 0.102 | 2046 | 0.132 |
| 2027 | 0.018 | 2032 | 0.048 | 2037 | 0.078 | 2042 | 0.108 | 2047 | 0.138 |
| 2028 | 0.024 | 2033 | 0.054 | 2038 | 0.084 | 2043 | 0.114 | 2048 | 0.144 |
| 2049 | 0.4   | 2054 | 0.48  | 2059 | 0.56  | 2064 | 0.64  | 2069 | 0.72  |
| 2050 | 0.416 | 2055 | 0.496 | 2060 | 0.576 | 2065 | 0.656 | 2070 | 0.736 |
| 2051 | 0.432 | 2056 | 0.512 | 2061 | 0.592 | 2066 | 0.672 | 2071 | 0.752 |

|      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 2052 | 0.448 | 2057 | 0.528 | 2062 | 0.608 | 2067 | 0.688 | 2072 | 0.768 |
| 2053 | 0.464 | 2058 | 0.544 | 2063 | 0.624 | 2068 | 0.704 | 2073 | 0.784 |
| 2074 | 0.8   |      |       |      |       |      |       |      |       |

- SSP2: Σε αυτό το σενάριο, η τεχνολογική ανάπτυξη θα συνεχίσει με ρυθμούς παρόμοιους με τους σημερινούς. Η καινοτομία και η βελτίωση των οικιακών συσκευών θα συνεχιστούν, αλλά ίσως όχι με την ίδια ένταση όπως στο SSP1. Οι καταναλωτές και οι κατασκευαστές θα είναι πιθανό να ακολουθήσουν πιο μετριοπαθείς στρατηγικές, με στόχο την σταδιακή βελτίωση της αποδοτικότητας των συσκευών. Συνεπώς, η τεχνολογική ανάπτυξη στις οικιακές συσκευές που καταναλώνουν νερό θα συνεχίσει να προοδεύει, αλλά με μέτριο ρυθμό. Έτσι στο έτος στόχο επιτυγχάνεται ένα  $E\_Index=0.5$

Με την παραδοχή της γραμμικής αύξησης της τεχνολογικής ανάπτυξης προκύπτει:

Πίνακας 10: Μεταβολή  $T\_Index$

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2024 | 0    | 2029 | 0.05 | 2034 | 0.1  | 2039 | 0.15 | 2044 | 0.2  |
| 2025 | 0.01 | 2030 | 0.06 | 2035 | 0.11 | 2040 | 0.16 | 2045 | 0.21 |
| 2026 | 0.02 | 2031 | 0.07 | 2036 | 0.12 | 2041 | 0.17 | 2046 | 0.22 |
| 2027 | 0.03 | 2032 | 0.08 | 2037 | 0.13 | 2042 | 0.18 | 2047 | 0.23 |
| 2028 | 0.04 | 2033 | 0.09 | 2038 | 0.14 | 2043 | 0.19 | 2048 | 0.24 |
| 2049 | 0.25 | 2054 | 0.3  | 2059 | 0.35 | 2064 | 0.4  | 2069 | 0.45 |
| 2050 | 0.26 | 2055 | 0.31 | 2060 | 0.36 | 2065 | 0.41 | 2070 | 0.46 |
| 2051 | 0.27 | 2056 | 0.32 | 2061 | 0.37 | 2066 | 0.42 | 2071 | 0.47 |
| 2052 | 0.28 | 2057 | 0.33 | 2062 | 0.38 | 2067 | 0.43 | 2072 | 0.48 |
| 2053 | 0.29 | 2058 | 0.34 | 2063 | 0.39 | 2068 | 0.44 | 2073 | 0.49 |
| 2074 | 0.5  |      |      |      |      |      |      |      |      |

- SSP3: Σε αυτό το σενάριο, η έμφαση δίνεται στην οικονομική ανάπτυξη και την παραγωγικότητα, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ταχείς ρυθμούς τεχνολογικής ανάπτυξης. Ωστόσο, η καινοτομία πιθανόν θα επικεντρωθεί στην αποδοτικότητα και την απόδοση των συσκευών, παρά στη μείωση της κατανάλωσης νερού. Ενώ θα υπάρξουν τεχνολογικές βελτιώσεις, αυτές μπορεί να είναι περισσότερο κατευθυνόμενες από την ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας παρά από περιβαλλοντικούς στόχους. Επομένως, η τεχνολογική ανάπτυξη στις οικιακές συσκευές που καταναλώνουν νερό θα είναι σημαντική, αλλά ίσως δεν θα επικεντρωθεί τόσο στη μείωση της κατανάλωσης νερού. Έτσι στο έτος στόχο επιτυγχάνεται ένα  $E\_Index$  μόλις στο 0.2.

Με την παραδοχή της γραμμικής αύξησης της τεχνολογικής ανάπτυξης προκύπτει:

Πίνακας 9: Μεταβολή  $T_{Index}$

|      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 2024 | 0     | 2029 | 0.02  | 2034 | 0.04  | 2039 | 0.06  | 2044 | 0.08  |
| 2025 | 0.004 | 2030 | 0.024 | 2035 | 0.044 | 2040 | 0.064 | 2045 | 0.084 |
| 2026 | 0.008 | 2031 | 0.028 | 2036 | 0.048 | 2041 | 0.068 | 2046 | 0.088 |
| 2027 | 0.012 | 2032 | 0.032 | 2037 | 0.052 | 2042 | 0.072 | 2047 | 0.092 |
| 2028 | 0.016 | 2033 | 0.036 | 2038 | 0.056 | 2043 | 0.076 | 2048 | 0.096 |
| 2049 | 0.1   | 2054 | 0.12  | 2059 | 0.14  | 2064 | 0.16  | 2069 | 0.18  |
| 2050 | 0.104 | 2055 | 0.124 | 2060 | 0.144 | 2065 | 0.164 | 2070 | 0.184 |
| 2051 | 0.108 | 2056 | 0.128 | 2061 | 0.148 | 2066 | 0.168 | 2071 | 0.188 |
| 2052 | 0.112 | 2057 | 0.132 | 2062 | 0.152 | 2067 | 0.172 | 2072 | 0.192 |
| 2053 | 0.116 | 2058 | 0.136 | 2063 | 0.156 | 2068 | 0.176 | 2073 | 0.196 |
| 2074 | 0.2   |      |       |      |       |      |       |      |       |

#### 5.4.5 Υπολογισμός απωλειών νερού στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θα εκφραστούν οι απώλειες του νερού στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ σαν ποσοστό του συνόλου της αστικής χρήσης νερού στην Αθήνα με την παραδοχή ότι οι απώλειες κατανέμονται ομοιόμορφα σε αστική, βιομηχανική και αγροτική χρήση του νερού. Για το ποσοστό εισάγεται η παράμετρος «LossesRate» η οποία δεν είναι σταθερή και γίνεται η παραδοχή ότι μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο ανάλογα με το SSP σενάριο. Έτσι για το έτος βάσης 2024 είναι γνωστό ότι οι απώλειες αυτές αγγίζουν το 22% ενώ θα ληφθούν παραδοχές για τα 3 σενάρια για το έτος στόχο 2074.

- SSP1: Ειδικά επενδυτικά προγράμματα για τον εκσυγχρονισμό του δικτύου υιοθετούνται ενώ τοποθετούνται σύγχρονοι υδρομετρητές για την δραστική μείωση των φαινομενικών απωλειών. Έτσι επιτυγχάνεται η σταδιακή μείωση των απωλειών στο 10%. Και προκύπτει:

Πίνακας 12: Μεταβολή απωλειών

|      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 2024 | 0.22   | 2029 | 0.208  | 2034 | 0.196  | 2039 | 0.184  | 2044 | 0.172  |
| 2025 | 0.2176 | 2030 | 0.2056 | 2035 | 0.1936 | 2040 | 0.1816 | 2045 | 0.1696 |
| 2026 | 0.2152 | 2031 | 0.2032 | 2036 | 0.1912 | 2041 | 0.1792 | 2046 | 0.1672 |
| 2027 | 0.2128 | 2032 | 0.2008 | 2037 | 0.1888 | 2042 | 0.1768 | 2047 | 0.1648 |
| 2028 | 0.2104 | 2033 | 0.1984 | 2038 | 0.1864 | 2043 | 0.1744 | 2048 | 0.1624 |
| 2049 | 0.16   | 2054 | 0.148  | 2059 | 0.136  | 2064 | 0.124  | 2069 | 0.112  |
| 2050 | 0.1576 | 2055 | 0.1456 | 2060 | 0.1336 | 2065 | 0.1216 | 2070 | 0.1096 |
| 2051 | 0.1552 | 2056 | 0.1432 | 2061 | 0.1312 | 2066 | 0.1192 | 2071 | 0.1072 |
| 2052 | 0.1528 | 2057 | 0.1408 | 2062 | 0.1288 | 2067 | 0.1168 | 2072 | 0.1048 |
| 2053 | 0.1504 | 2058 | 0.1384 | 2063 | 0.1264 | 2068 | 0.1144 | 2073 | 0.1024 |
| 2074 | 0.1    |      |        |      |        |      |        |      |        |

- SSP2: Δεν υπάρχει καμία δράση για την μείωση των απωλειών του δικτύου παρά μόνο για την συντήρησή του στην υπάρχουσα κατάσταση και άρα οι απώλειες παραμένουν ίδιες και σταθερές στο 22%
- SSP5: Σε αυτό το σενάριο, η έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη και την παραγωγικότητα μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες επενδύσεις στις υποδομές γενικά, αλλά αυτές οι επενδύσεις θα επικεντρώνονται περισσότερο στην υποστήριξη της αυξημένης κατανάλωσης και ανάπτυξης παρά στη μείωση των απωλειών. Η αυξημένη πίεση και η εντατική χρήση των υποδομών προκαλούν φθορά και αυξημένες απώλειες νερού και οι επενδύσεις στη συντήρηση και την αποκατάσταση δεν είναι επαρκείς. Συνεπώς, σε αυτό το σενάριο οι απώλειες του δικτύου της ΕΥΔΑΠ αυξάνονται λόγω της αυξημένης πίεσης στο σύστημα και της προτεραιότητας στην οικονομική ανάπτυξη έναντι της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Έτσι το έτος στόχο οι απώλειες φτάνουν το 35%. Και προκύπτει:

Πίνακας 13 : Μεταβολή απωλειών

|      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 2024 | 0.22   | 2029 | 0.233  | 2034 | 0.246  | 2039 | 0.259  | 2044 | 0.272  |
| 2025 | 0.2226 | 2030 | 0.2356 | 2035 | 0.2486 | 2040 | 0.2616 | 2045 | 0.2746 |
| 2026 | 0.2252 | 2031 | 0.2382 | 2036 | 0.2512 | 2041 | 0.2642 | 2046 | 0.2772 |
| 2027 | 0.2278 | 2032 | 0.2408 | 2037 | 0.2538 | 2042 | 0.2668 | 2047 | 0.2798 |
| 2028 | 0.2304 | 2033 | 0.2434 | 2038 | 0.2564 | 2043 | 0.2694 | 2048 | 0.2824 |
| 2049 | 0.285  | 2054 | 0.298  | 2059 | 0.311  | 2064 | 0.324  | 2069 | 0.337  |
| 2050 | 0.2876 | 2055 | 0.3006 | 2060 | 0.3136 | 2065 | 0.3266 | 2070 | 0.3396 |
| 2051 | 0.2902 | 2056 | 0.3032 | 2061 | 0.3162 | 2066 | 0.3292 | 2071 | 0.3422 |
| 2052 | 0.2928 | 2057 | 0.3058 | 2062 | 0.3188 | 2067 | 0.3318 | 2072 | 0.3448 |
| 2053 | 0.2954 | 2058 | 0.3084 | 2063 | 0.3214 | 2068 | 0.3344 | 2073 | 0.3474 |
| 2074 | 0.35   |      |        |      |        |      |        |      |        |

Έτσι προκύπτει η εξίσωση της μορφής:

$$NetworkLosses = LossesRate \times SumOfWaterUsage$$

#### 5.4.6 Υπολογισμός τιμής του νερού και συσχέτισης με τη ζήτηση

Για τον υπολογισμό του νερού λαμβάνεται σαν αρχική τιμή για το έτος βάσης το 2024 την τιμή του 2023, ήτοι τα \$0.65. Θα συσχετιστεί η τιμή με την ζήτηση του νερού της Αθήνας. Συγκεκριμένα θα ληφθεί σαν δεδομένη μια τιμή για την ζήτηση η οποία αν ξεπεραστεί ενδέχεται να δημιουργήσει κίνδυνο και έλλειμα παροχетеυτικότητας. Στην αρχή του 2024 τα αποθέματα νερού στους ταμιευτήρες που τροφοδοτούν την Αθήνα υπολογίστηκαν στα 950 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Γνωρίζουμε ότι η αστική ζήτηση του νερού αφορά περίπου το 60% της συνολικής ζήτησης δηλαδή με βάση τα δεδομένα του 2024, 570 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Υπέρ της ασφαλείας θα οριστεί το μέγιστο επιτρεπτό όριο για τη συνολική ζήτηση

του νερού στην Αθήνα περίπου στο 80% αυτής της τιμής δηλαδή στα 450 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Μετά από αυτό το όριο θα αυξηθεί η τιμή του νερού κατά 20% μέχρι να πέσει η ζήτηση κάτω από τα 400 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Στο σημείο εκείνο θα μειωθεί η τιμή του νερού στην αρχική (\$0.65). Αν η τιμή της ζήτησης πέσει κάτω από 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα θα μειωθεί η τιμή του νερού κατά 20% ακολουθώντας αντίστοιχη μεθοδολογία μέχρι να προσεγγίσει η ζήτηση τα 350 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, στο οποίο σημείο θα αυξηθεί η τιμή στην αρχική (\$0.65).

Αυτή η διαδικασία σε κώδικα Java που χρησιμοποιεί η AnyLogic γράφεται ως εξής και κωδικοποιείται ως ένα επαναλαμβανόμενο event “PriceAdjustment”:

```
if (WaterDemand > 450000000) {
    WaterPrice = 1.2 * WaterPrice;
} else if (WaterDemand < 300000000) {
    WaterPrice = 0.8 * WaterPrice;
} else if (WaterDemand < 400000000) {
    WaterPrice = 0.65;
} else if (WaterDemand > 350000000) {
    WaterPrice = 0.65;
}
```

#### 5.4.7 Σύνοψη και διατύπωση όλων των εξισώσεων και δεδομένων για την εκτέλεση του μοντέλου

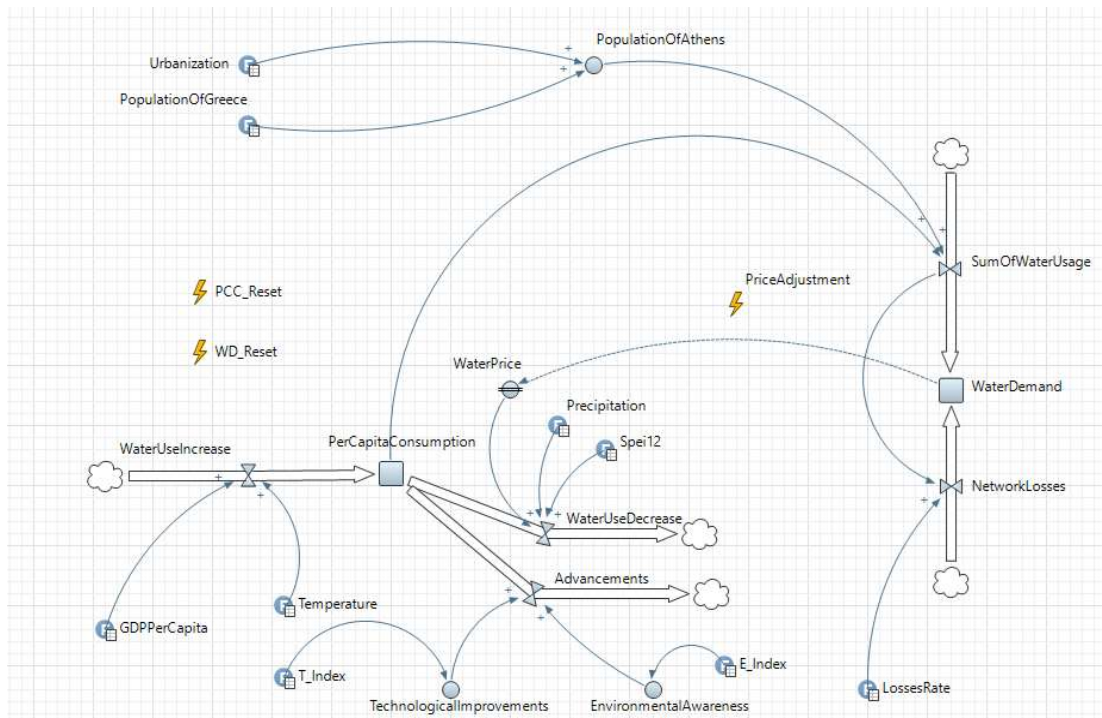
Πίνακας 14: Σύνοψη εξισώσεων και δεδομένων

| Όνομα                 | Εξίσωση                                                                                                                             | Παραδοχή/Πηγή         |      |      |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|
|                       |                                                                                                                                     | SSP1                  | SSP2 | SSP5 |
| Urbanization          |                                                                                                                                     | SSP Database          |      |      |
| Population OfGreece   |                                                                                                                                     | SSP Database          |      |      |
| PopulationOfAthens    | $\begin{aligned} PopulationOfAthens &= 78342.756 \times Urbanization \\ &+ 0.291894367 \\ &\times PopulationOfGreece \end{aligned}$ | Γραμμική Παλινδρόμηση |      |      |
| PerCapita Consumption | $\begin{aligned} PerCapitaConsumption &= WaterUseIncrease \\ &- WaterUseDecrease \\ &- Advancements \end{aligned}$                  | Εξίσωση SD            |      |      |

|                                   |                                                                                                                    |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>WaterUse Increase</b>          | $WaterUseIncrease = 0.001168534 \times GDPPerCapita + 5.277052579 \times Temperature$                              | Γραμμική Παλινδρόμηση          |
| <b>GDPPer Capita</b>              |                                                                                                                    | SSP Database                   |
| <b>Temperature</b>                |                                                                                                                    | ΕΜΠ                            |
| <b>WaterUse Decrease</b>          | $WaterUseDecrease = -52.61764501 \times WaterPrice - 0.003419435 \times Precipitation + 1.781140503 \times Spei12$ | Γραμμική Παλινδρόμηση          |
| <b>Precipitation</b>              |                                                                                                                    | ΕΜΠ                            |
| <b>Spei12</b>                     |                                                                                                                    | ΕΜΠ                            |
| <b>WaterPrice</b>                 | $PriceAdjustment$                                                                                                  | Κεφάλαιο 5.4.6                 |
| <b>Advancements</b>               | $Advancements = TechnologicalImprovements + EnvironmentalAwareness$                                                | Εξίσωση SD                     |
| <b>Environmental Awareness</b>    | $EnvironmentalAwareness = 32.27 \times E\_Index$                                                                   | EPA data, παραδοχές συντελεστή |
| <b>E_Index</b>                    |                                                                                                                    |                                |
| <b>Technological Improvements</b> | $TechnologicalImprovements = 44.47 \times T\_Index$                                                                | EPA data, παραδοχές συντελεστή |
| <b>T_Index</b>                    |                                                                                                                    |                                |
| <b>SumOfWater Usage</b>           | $SumOfWaterUsage = Population \times PerCapitaConsumption$                                                         | Εξίσωση SD                     |
| <b>Network Losses</b>             | $NetworkLosses = LossesRate \times SumOfWaterUsage$                                                                | Εξίσωση SD                     |
| <b>LossesRate</b>                 |                                                                                                                    | ΕΜΠ, παραδοχές πρόβλεψης       |
| <b>WaterDemand</b>                | $WaterDemand = SumOfWaterUsage + NetworkLosses$                                                                    | Εξίσωση SD                     |

Και τελικώς δημιουργούμε τρία events στην πλατφόρμα της Anylogic για το Simulation Run:

- PriceAdjustment: Ρυθμίζει την τιμή του νερού
- PCC\_Reset: Μηδενίζει την τιμή της κατά κεφαλήν κατανάλωσης του νερού με βήμα ένα έτος
- WD\_Reset: Μηδενίζει την τιμή της συνολικής ζήτησης του νερού στην Αθήνα με βήμα ένα έτος



Εικόνα 25 : SFD με events

## 6 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

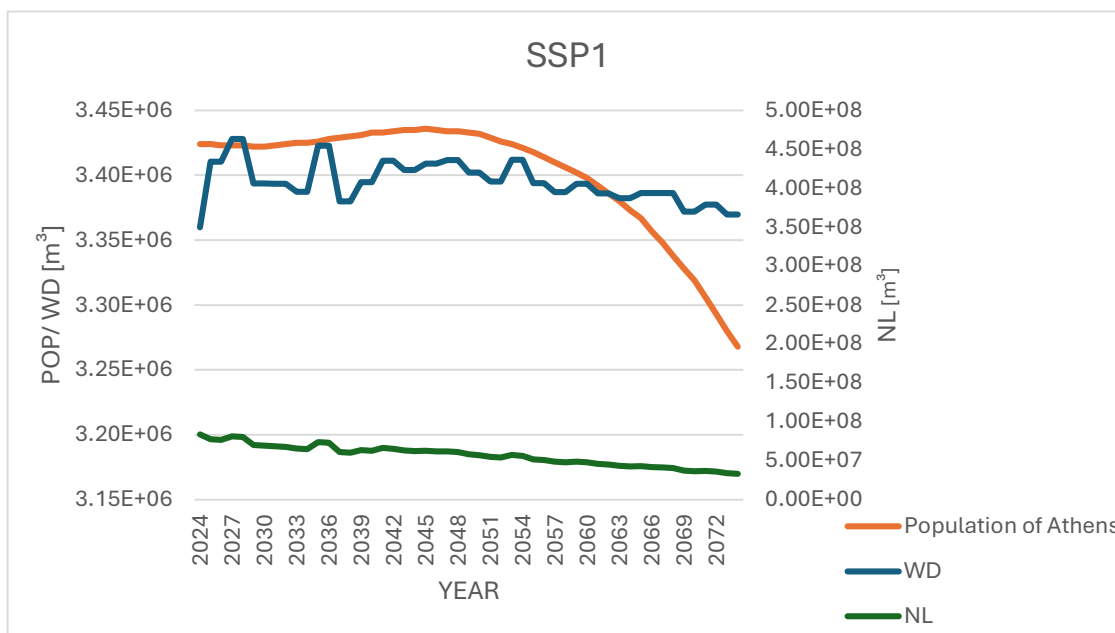
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου που αναπτύχθηκε, εντοπίζοντας τα βασικά σημεία μεταβολής της ζήτησης και της συσχέτισης των παραγόντων μεταξύ τους, εξάγοντας κάποια βασικά συμπεράσματα.

### 6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά σενάριο

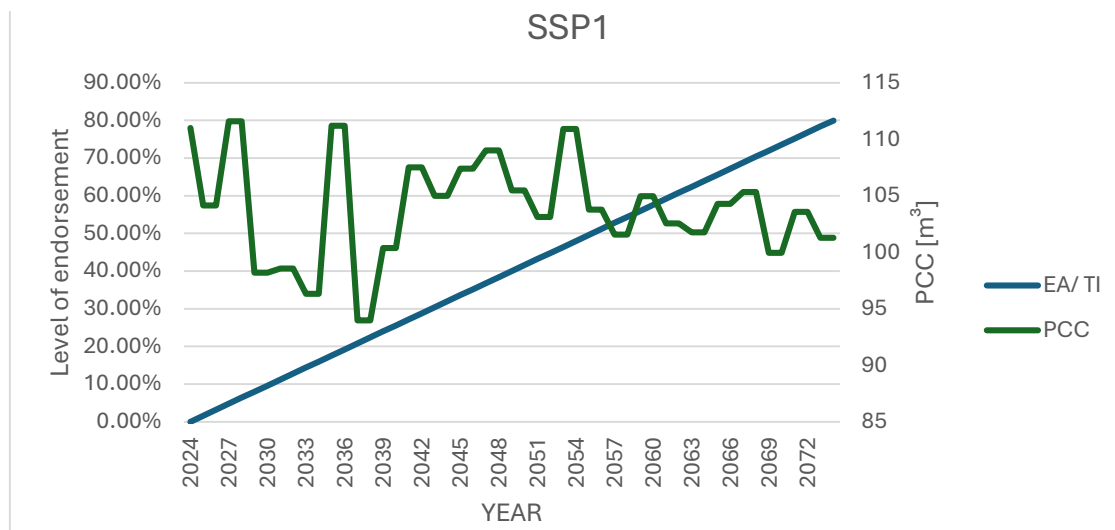
#### 6.1.1 SSP1

1. Τιμή Νερού (WP): Στο σενάριο SSP1, η τιμή του νερού ξεκινά από 0.65 δολάρια το 2024 και φτάνει στα 0.85 δολάρια το 2028. Στη συνέχεια παραμένει σταθερή σε αυτά τα επίπεδα μέχρι το 2038 όπου επιστρέφει στην αρχική τιμή. Αυτή η αύξηση κατά περίπου 30% έχει σημαντική επίδραση στη συνολική ζήτηση νερού (WD), καθώς όταν η τιμή του νερού αυξάνεται, η ζήτηση φαίνεται να περιορίζεται. Παρά την τεχνολογική ανάπτυξη, η αυξημένη τιμή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της κατανάλωσης σε μακροπρόθεσμο επίπεδο.
2. Θερμοκρασία (Temp): Η θερμοκρασία στην Αθήνα στο SSP1 αυξάνεται ελαφρώς, ξεκινώντας από 24.20°C το 2024 και φτάνοντας στα 24.99°C το 2074, σημειώνοντας μια συνολική αύξηση περίπου 3.27%. Η αύξηση αυτή είναι μικρή και δεν φαίνεται να επηρεάζει δραστικά τη ζήτηση νερού, αν και οι πιο θερμές περιόδους μπορεί να αυξήσουν τη ζήτηση, ειδικά σε περιόδους ξηρασίας.

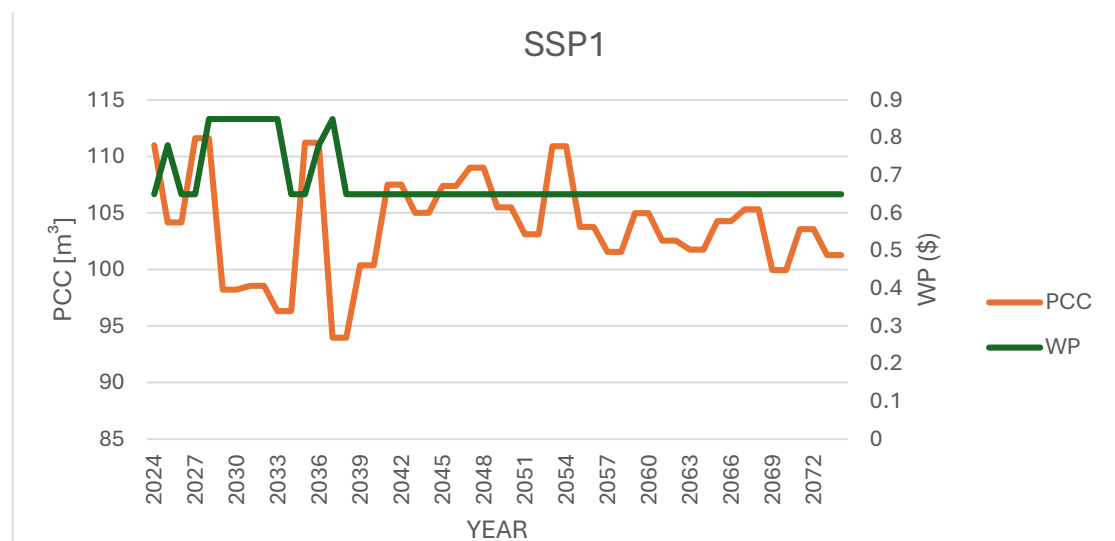
3. Βροχόπτωση (Precipitation): Η βροχόπτωση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, με χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων το 2025 στα 264.22 mm και υψηλότερα επίπεδα το 2061 στα 486.39 mm. Όταν οι βροχοπτώσεις μειώνονται, η ζήτηση για νερό αυξάνεται για άρδευση και άλλες χρήσεις, ενώ υψηλές βροχοπτώσεις μειώνουν τη ζήτηση για άρδευση, διατηρώντας τη συνολική ζήτηση νερού πιο σταθερή, μεταβολές που γίνονται εύκολα αντιληπτές στο αντίστοιχο διάγραμμα παρακάτω.
4. Δείκτης Ξηρασίας (SPEI12): Ο δείκτης ξηρασίας (SPEI12) παραμένει σε αρνητικές τιμές τις περισσότερες χρονιές, με τη χαμηλότερη τιμή να φτάνει το -2.14 το 2050. Σε περιόδους έντονης ξηρασίας, όπως αυτές με αρνητικές τιμές SPEI, η ζήτηση νερού αυξάνεται, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για υδάτινους πόρους λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας φυσικών αποθεμάτων.
5. ΑΕΠ ανά Κάτοικο (GDP per capita): Το ΑΕΠ ανά κάτοικο αυξάνεται από \$15,984 το 2024 σε \$54,043 το 2074, σημειώνοντας αύξηση περίπου 238%. Αυτή η οικονομική ανάπτυξη οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση νερού, καθώς το υψηλότερο βιοτικό επίπεδο ενισχύει την κατανάλωση νερού για καθημερινές ανάγκες και βιομηχανικές δραστηριότητες.
6. Δείκτης Περιβαλλοντικής Συνείδησης (EA): Ο δείκτης περιβαλλοντικής συνείδησης (EA) αυξάνεται σταδιακά, από 0% το 2024 σε 80% το 2074. Αυτή η αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση ενισχύει την υιοθέτηση πολιτικών για τη μείωση της κατανάλωσης νερού και την καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων, περιορίζοντας έτσι τη συνολική ζήτηση νερού (WD).
7. Δείκτης Τεχνολογικής Ανάπτυξης (TI): Ο δείκτης τεχνολογικής ανάπτυξης (TI) αυξάνεται από 0.00 το 2024 σε 0.80 το 2074, υποδεικνύοντας την εισαγωγή νέων τεχνολογιών που βελτιώνουν την αποδοτικότητα της χρήσης νερού. Οι τεχνολογίες αυτές συμβάλλουν στη μείωση της ζήτησης νερού, παρά την αύξηση των κλιματικών και πληθυσμιακών πιέσεων.



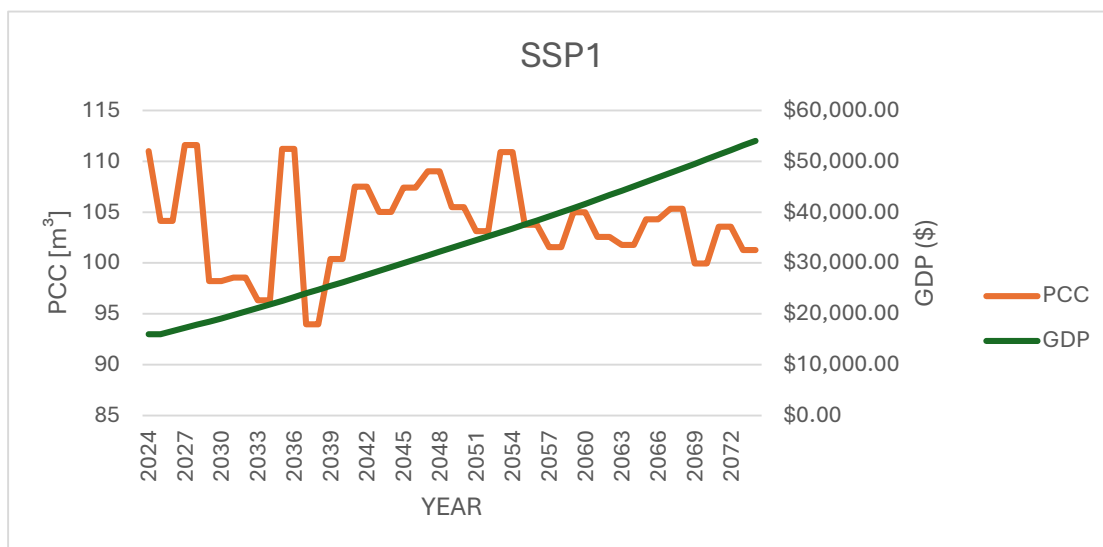
Εικόνα 26: Πληθυσμός, Ζήτηση νερού, απώλειες δικτύου



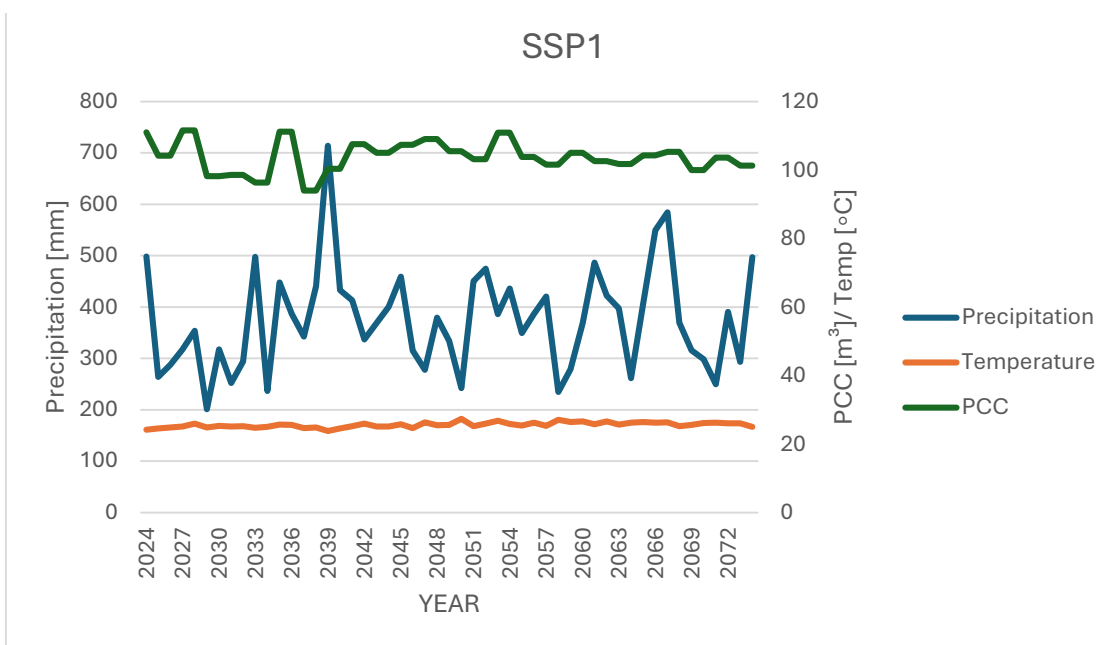
Εικόνα 27: Συντελεστές περιβαλλοντικής συνείδησης, τεχνολογικής ανάπτυξης και κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού



Εικόνα 28: Κατά κεφαλήν κατανάλωση και τιμή νερού



Εικόνα 29: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ και κατανάλωση νερού

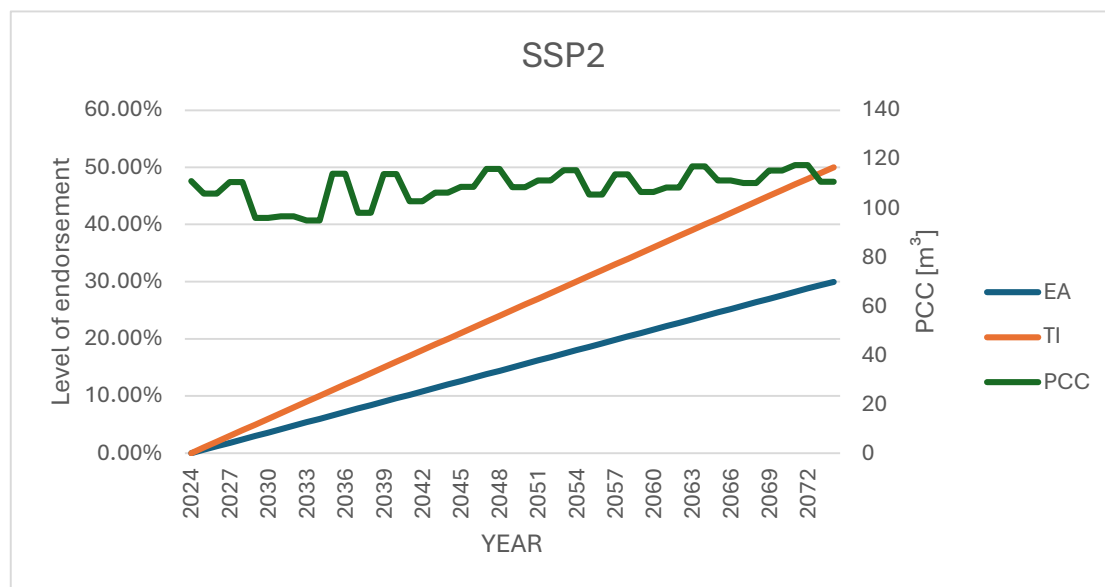


Εικόνα 30: Κλιματικά δεδομένα και κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού

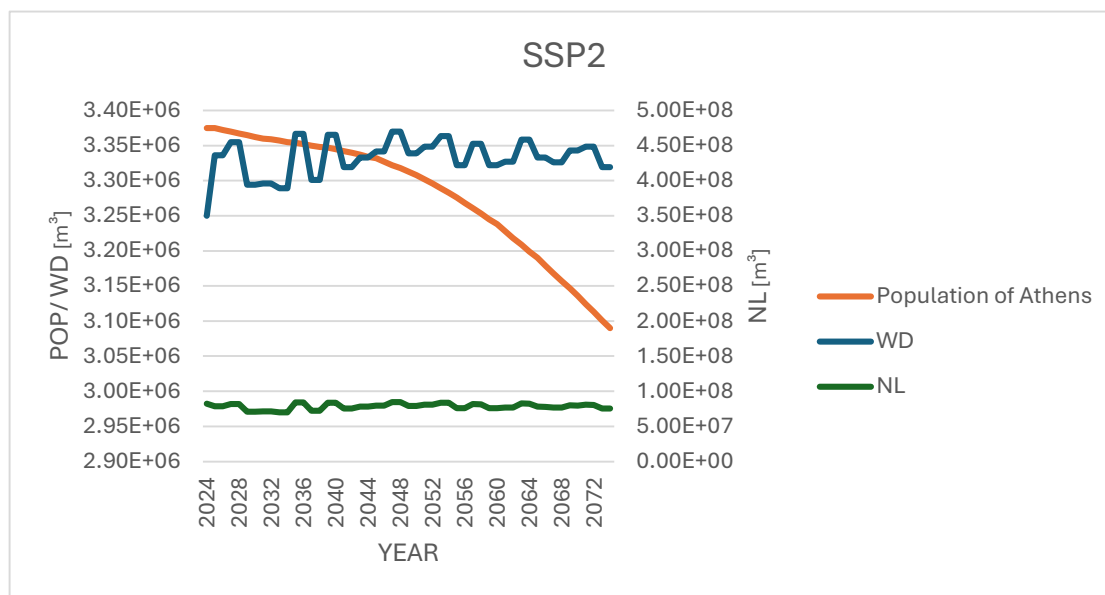
### 6.1.2 SSP2

1. Τιμή Νερού (WP): Στο σενάριο SSP2, η τιμή του νερού ξεκινά από 0.65 δολάρια το 2024, αυξάνεται στα 0.85 δολάρια το 2028 και στη συνέχεια φτάνει το 1.20 δολάριο το 2074, σημειώνοντας συνολική αύξηση περίπου 85% κατά την περίοδο αυτή. Αυτή η σημαντική αύξηση της τιμής επηρεάζει τη συνολική ζήτηση νερού (WD), καθώς οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις περιορίζουν τη χρήση νερού προκειμένου να μειώσουν το κόστος. Ωστόσο, η ζήτηση παραμένει υψηλή λόγω κλιματικών και δημογραφικών πιέσεων.
2. Θερμοκρασία (Temp): Η θερμοκρασία αυξάνεται από 23.85°C το 2024 σε 28.51°C το 2074, σημειώνοντας συνολική αύξηση περίπου 19.5%. Αυτή η

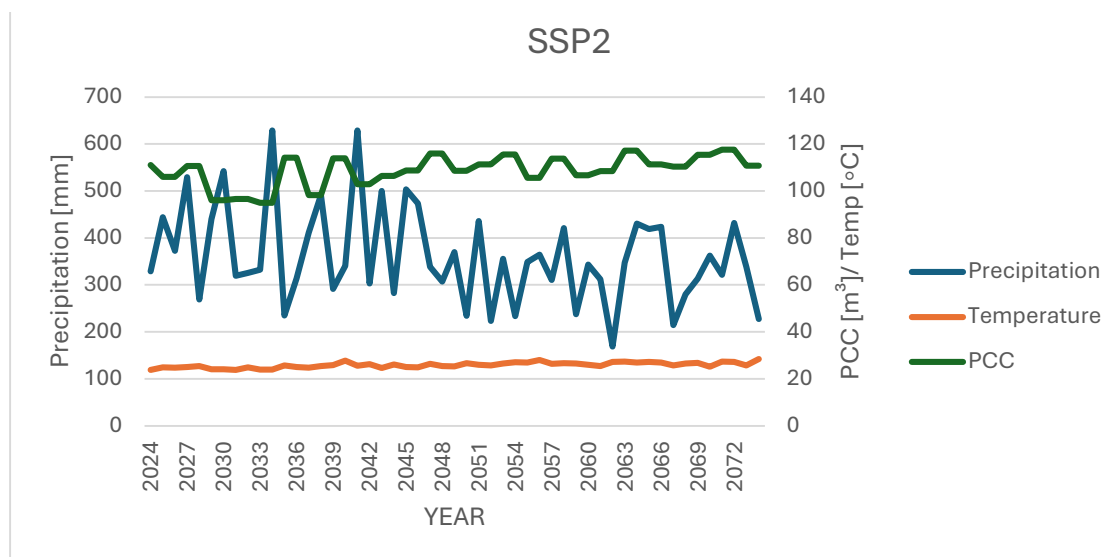
- σημαντική αύξηση οδηγεί σε μεγαλύτερη ζήτηση νερού, καθώς οι πιο ζεστές κλιματικές συνθήκες αυξάνουν την ανάγκη για δροσισμό και άρδευση.
3. Βροχόπτωση (Precipitation): Η βροχόπτωση κυμαίνεται έντονα στο SSP2, με τα επίπεδα βροχόπτωσης να μειώνονται σε ορισμένες περιόδους (π.χ. 2074: 227.60 mm). Η μείωση αυτή ενισχύει τη ζήτηση νερού για άρδευση και άλλες ανάγκες, ιδιαίτερα σε γεωργικές περιοχές.
  4. Δείκτης Ξηρασίας (SPEI12): Σημαντικές διακυμάνσεις στον δείκτη SPEI12 παρατηρούνται στο SSP2, με την ξηρασία να αυξάνεται σε περιόδους όπως το 2054, όπου το SPEI12 φτάνει το -2.61. Οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας αυξάνουν τη ζήτηση νερού για γεωργικές και αστικές χρήσεις, δημιουργώντας πίεση στους υδάτινους πόρους.
  5. ΑΕΠ ανά Κάτοικο (GDP per capita): Το ΑΕΠ αυξάνεται από \$15,231 το 2024 σε \$38,078 το 2074, σημειώνοντας αύξηση 150%. Αυτή η αύξηση ενισχύει τη ζήτηση νερού, καθώς οι βελτιωμένες οικονομικές συνθήκες οδηγούν σε μεγαλύτερη κατανάλωση νερού ανά κάτοικο, παρά τις προσπάθειες για περιορισμό λόγω της τιμής του νερού.
  6. Δείκτης Περιβαλλοντικής Συνείδησης (EA): Ο δείκτης περιβαλλοντικής συνείδησης αυξάνεται από 0.60% το 2024 σε 30.00% το 2074. Παρότι η περιβαλλοντική συνείδηση βελτιώνεται, η υψηλή ζήτηση νερού λόγω κλιματικών πιέσεων περιορίζει τη δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης.
  7. Δείκτης Τεχνολογικής Ανάπτυξης (TI): Ο δείκτης τεχνολογικής ανάπτυξης (TI) αυξάνεται από 0.00 το 2024 σε 0.50 το 2074, ενισχύοντας τη δυνατότητα αποδοτικής χρήσης νερού και περιορίζοντας την υπερκατανάλωση, παρά τις κλιματικές πιέσεις.



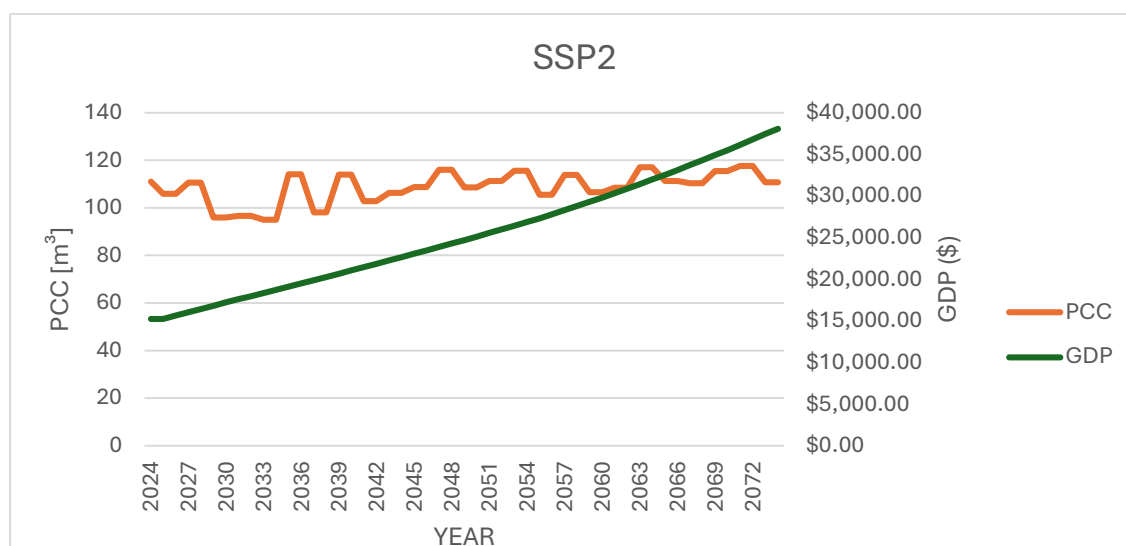
Εικόνα 30: Συντελεστές περιβαλλοντικής συνείδησης, τεχνολογικής ανάπτυξης και κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού



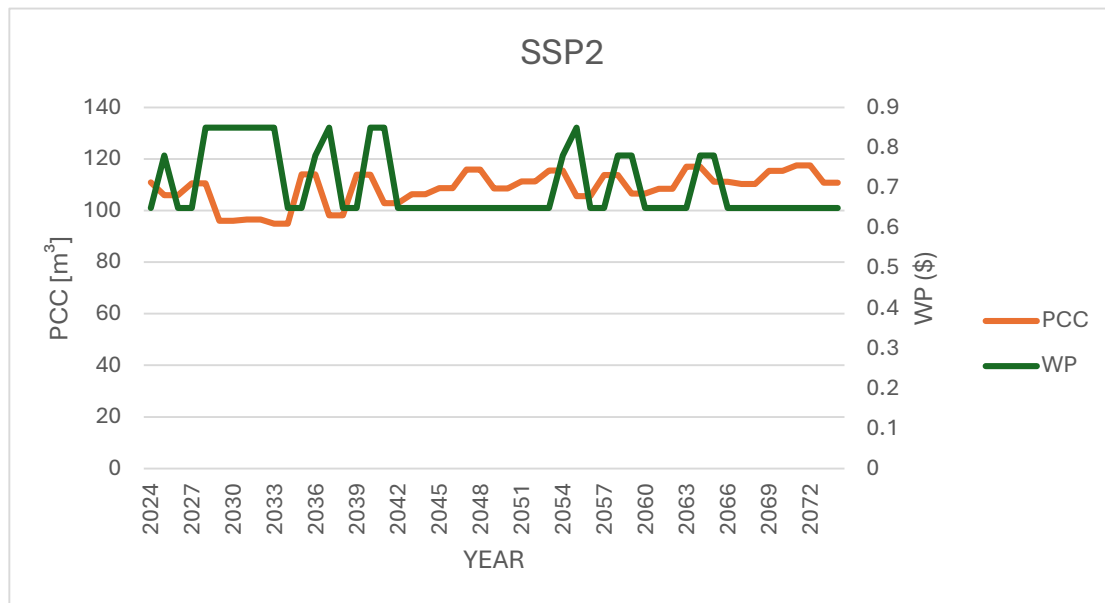
Εικόνα 31: Πληθυσμός, Ζήτηση νερού, απώλειες δικτύου



Εικόνα 32 Κλιματικά δεδομένα και κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού



Εικόνα 33: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ και κατανάλωση νερού

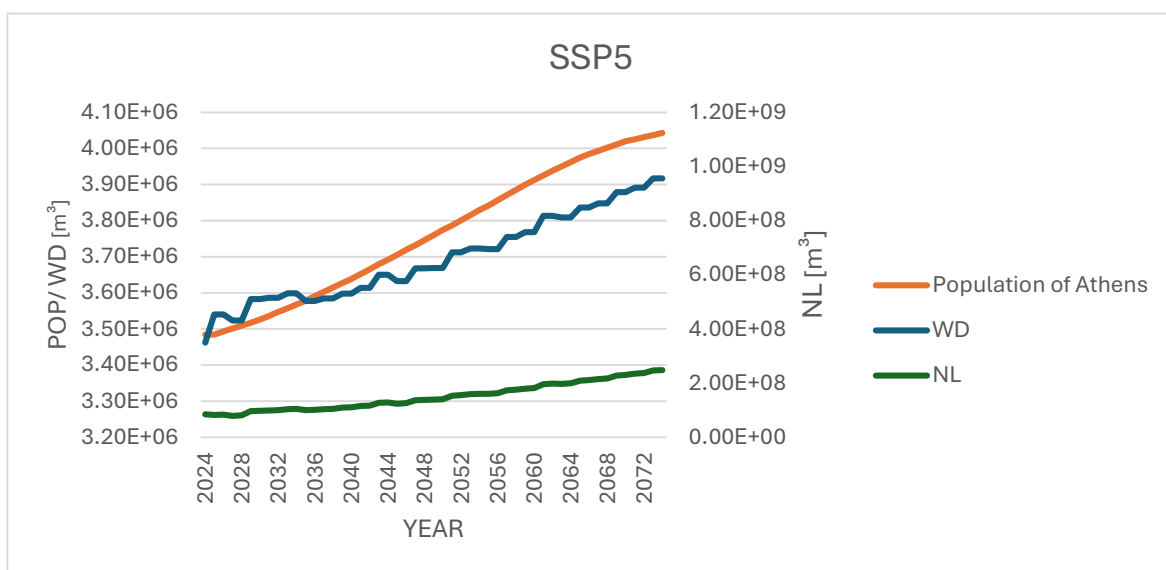


Εικόνα 34: Κατά κεφαλήν κατανάλωση και τιμή νερού

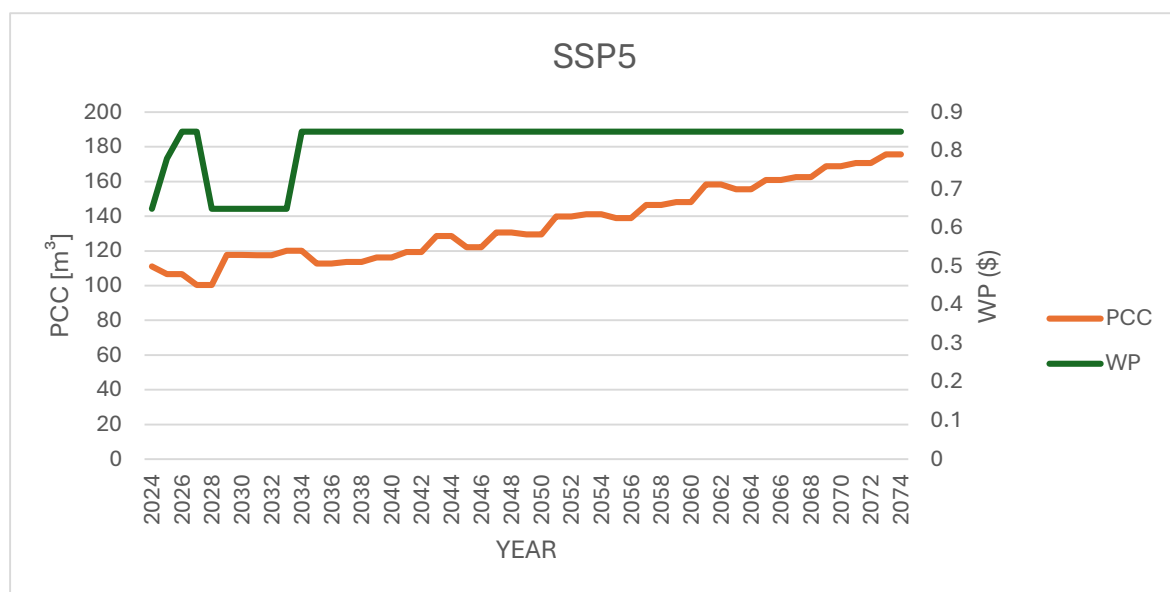
### 6.1.3 SSP5

1. Τιμή Νερού (WP): Στο σενάριο SSP5, η τιμή του νερού αυξάνεται από 0.65 δολάρια το 2024 σε 0.85 δολάρια το 2034 και στη συνέχεια φτάνει το 1.20 δολάριο το 2074. Η αύξηση κατά 85% στην τιμή του νερού επηρεάζει δραστικά τη ζήτηση νερού, καθώς οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις μειώνουν την κατανάλωση για να περιορίσουν το κόστος. Ωστόσο, η υψηλή οικονομική ανάπτυξη και ο πληθυσμιακός παράγοντας διατηρούν υψηλή τη συνολική ζήτηση.
2. Θερμοκρασία (Temp): Η θερμοκρασία αυξάνεται από 24.39°C το 2024 σε 28.21°C το 2074, με συνολική αύξηση 16.8%. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες ενισχύουν τη ζήτηση νερού, ιδιαίτερα για άρδευση και δροσισμό, καθώς οι θερμές κλιματικές συνθήκες αυξάνουν την ανάγκη για πόσιμο νερό.
3. Βροχόπτωση (Precipitation): Η βροχόπτωση μειώνεται δραματικά στο SSP5, φτάνοντας από 541.14 mm το 2024 σε μόλις 207.72 mm το 2070, σημειώνοντας μείωση 61.6%. Η μείωση αυτή αυξάνει τη ζήτηση νερού για άρδευση και άλλες χρήσεις, καθώς οι υδάτινοι πόροι γίνονται λιγότερο διαθέσιμοι.
4. Δείκτης Ξηρασίας (SPEI12): Ο δείκτης SPEI12 παραμένει σε αρνητικές τιμές, υποδεικνύοντας έντονη ξηρασία κατά τη διάρκεια της περιόδου. Η ξηρασία ενισχύει τη ζήτηση νερού, καθώς οι υδάτινοι πόροι γίνονται πιο σπάνιοι και η ανάγκη για άρδευση αυξάνεται.
5. ΑΕΠ ανά Κάτοικο (GDP per capita): Το ΑΕΠ αυξάνεται δραματικά από \$16,643 το 2024 σε \$77,816 το 2074, σημειώνοντας αύξηση 367%. Η υψηλή οικονομική ανάπτυξη οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, καθώς το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων αυξάνεται.

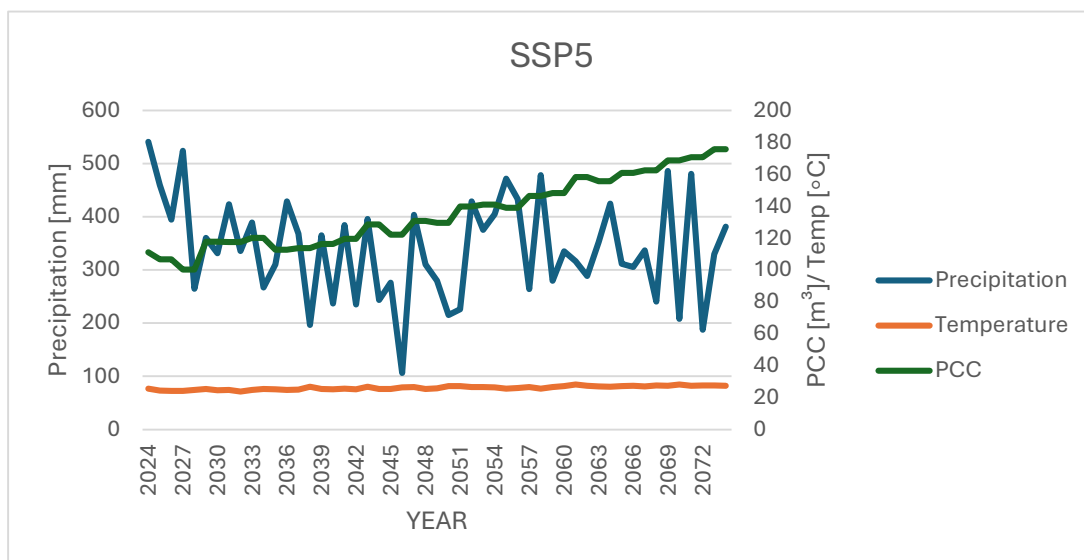
6. Δείκτης Περιβαλλοντικής Συνείδησης (EA): Η περιβαλλοντική συνείδηση στο SSP5 παραμένει στο 0% καθ' όλη την περίοδο, κάτι που περιορίζει τις πολιτικές εξοικονόμησης νερού. Παρά τις κλιματικές πιέσεις, η απουσία περιβαλλοντικής συνείδησης αυξάνει τη συνολική ζήτηση νερού.
7. Δείκτης Τεχνολογικής Ανάπτυξης (TI): Η τεχνολογική ανάπτυξη στις οικιακές συσκευές είναι χαμηλή στο SSP5, με τον δείκτη να φτάνει στο 0.2 το 2074, κάτι που δεν βελτιώνει την αποδοτικότητα στη χρήση νερού.



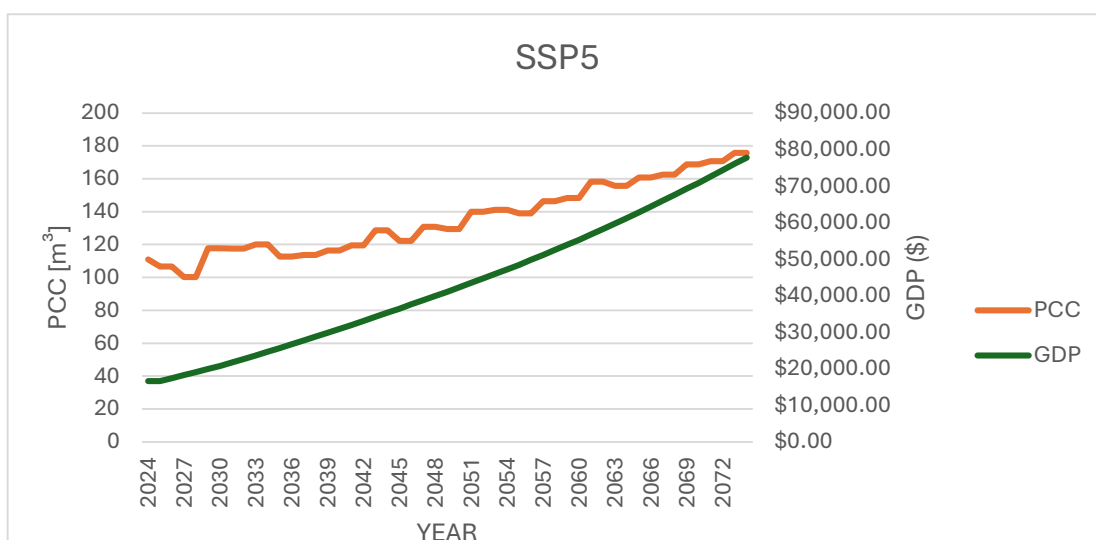
Εικόνα 35: Πληθυσμός, Ζήτηση νερού, απώλειες δικτύου



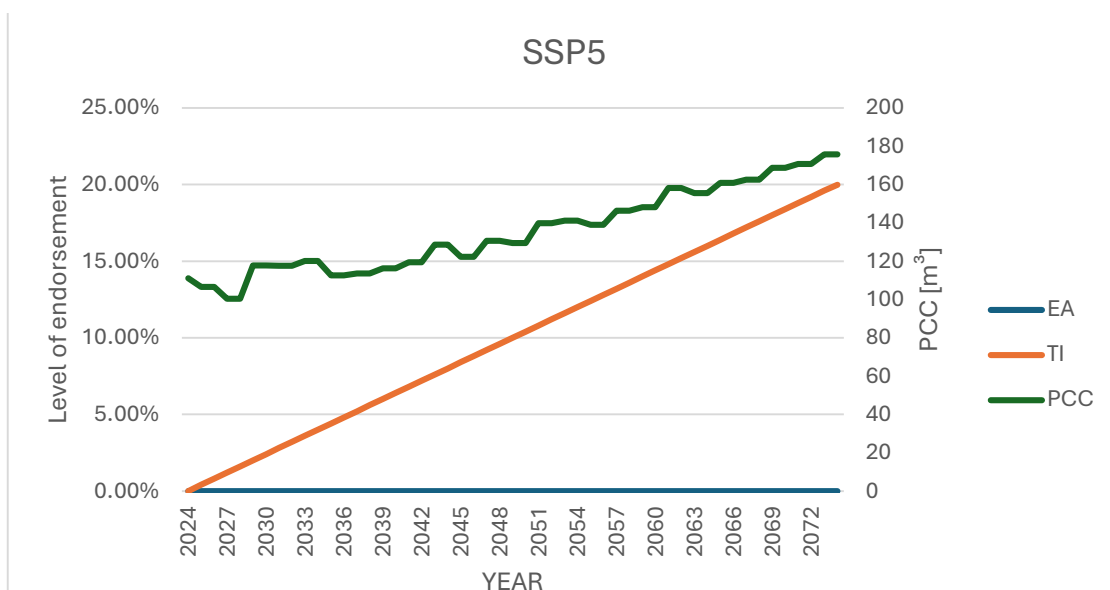
Εικόνα 36: Κατά κεφαλήν κατανάλωση και τιμή νερού



Εικόνα 37 : Κλιματικά δεδομένα και κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού



Εικόνα 38: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ και κατανάλωση νερού



Εικόνα 39 : Συντελεστές περιβαλλοντικής συνείδησης, τεχνολογικής ανάπτυξης και κατά κεφαλήν κατανάλωσης

## 6.2 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Από τη συνολική ανάλυση των δεδομένων στα τρία σενάρια SSP1, SSP2 και SSP5, προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση νερού (PCC) και στη συνολική ζήτηση νερού (WD). Κάθε σενάριο παρουσιάζει διαφορετικές τάσεις με βάση τις δημογραφικές, κλιματικές και οικονομικές συνθήκες που το χαρακτηρίζουν, οδηγώντας σε διαφορετικές προβλέψεις σχετικά με τη ζήτηση νερού στις επόμενες δεκαετίες.

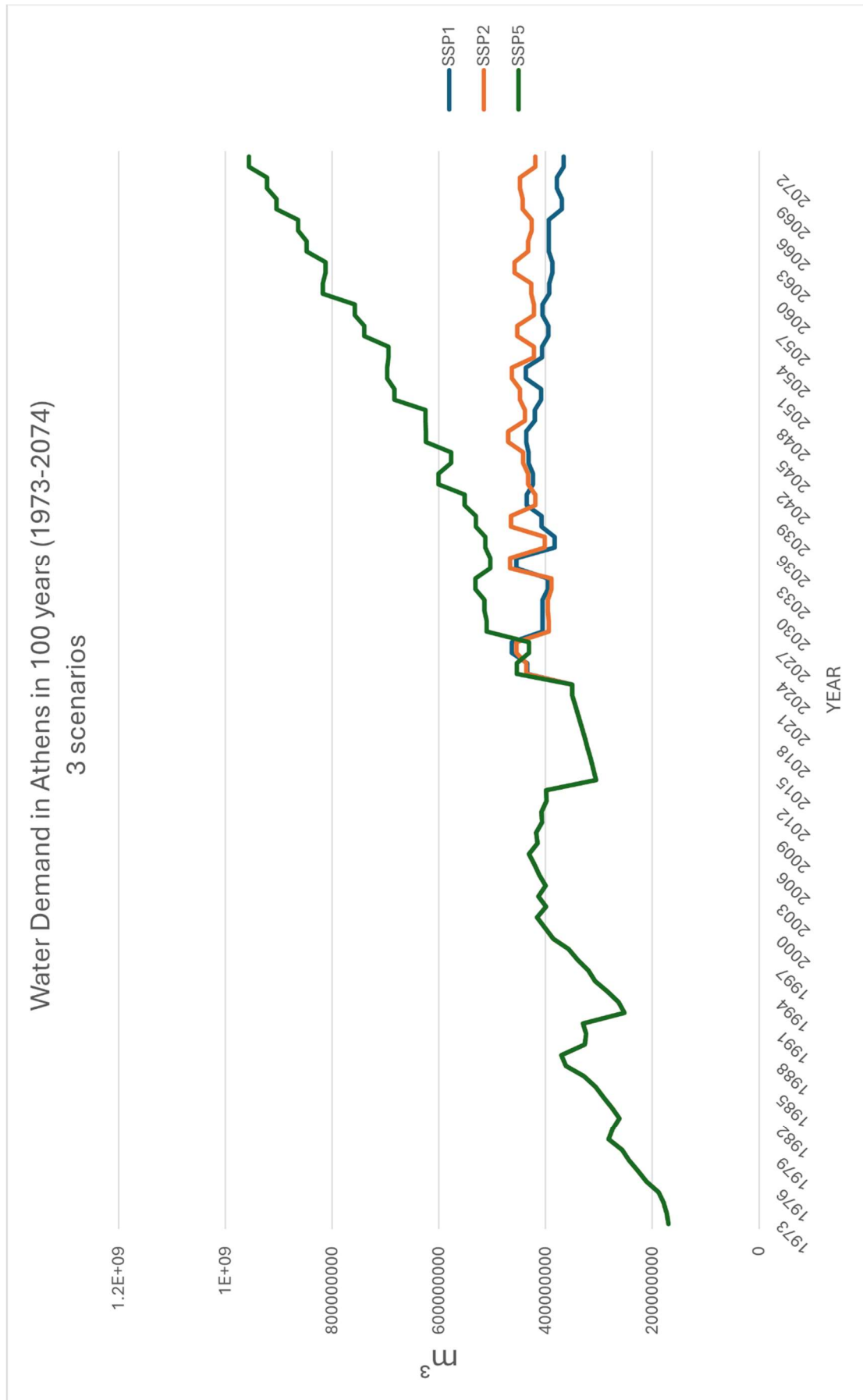
Στο σενάριο SSP1, παρατηρείται μια ελαφρά μείωση του πληθυσμού της Αθήνας, περίπου κατά 4.5%, από το 2024 έως το 2074. Παρά τη μείωση αυτή, η κατανάλωση νερού ανά κάτοικο (PCC) δεν μειώνεται σημαντικά, ενώ οι αλλαγές στην αστικοποίηση, η οποία μειώνεται δραστικά κατά 74%, δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στη ζήτηση νερού. Η θερμοκρασία στην Αθήνα παραμένει σχετικά σταθερή, με μικρές διακυμάνσεις, κάτι που δεν αυξάνει τη ζήτηση νερού λόγω κλιματικών συνθηκών. Παράλληλα, η βροχόπτωση παρουσιάζει μεταβολές, αλλά οι ανάγκες για νερό παραμένουν σταθερές λόγω τεχνολογικών εξελίξεων και βελτιωμένων υποδομών. Η οικονομική ανάπτυξη στο σενάριο αυτό, με αύξηση του ΑΕΠ ανά κάτοικο κατά 238%, ενισχύει τη ζήτηση για νερό, καθώς οι βελτιωμένες συνθήκες διαβίωσης οδηγούν σε μεγαλύτερες καταναλωτικές ανάγκες. Η περιβαλλοντική συνείδηση και η ανάπτυξη τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού παίζουν κομβικό ρόλο. Συνολικά, η συνολική ζήτηση νερού (WD) παραμένει σχετικά σταθερή με τάση για μείωση, με τη ζήτηση να συγκρατείται σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τα άλλα σενάρια.

Στο σενάριο SSP2, η μείωση του πληθυσμού της Αθήνας είναι μεγαλύτερη, περίπου 8.4%, αλλά και πάλι η κατανάλωση νερού ανά κάτοικο (PCC) παραμένει σταθερή ή και αυξάνεται σε ορισμένες περιόδους, κυρίως λόγω της αύξησης των κλιματικών αναγκών. Η αστικοποίηση μειώνεται κατά 66%, χωρίς όμως να επηρεάζει δραστικά τη ζήτηση νερού, καθώς οι ανάγκες στις αστικές περιοχές συνεχίζουν να είναι υψηλές. Η θερμοκρασία αυξάνεται πιο αισθητά σε σχέση με το SSP1, φτάνοντας τα 28.51°C στο τέλος της περιόδου, κάτι που αυξάνει τη ζήτηση νερού λόγω της αυξημένης ανάγκης για δροσισμό και άρδευση. Παράλληλα, η μείωση της βροχόπτωσης σε κρίσιμες περιόδους ενισχύει περαιτέρω τη ζήτηση για νερό. Το ΑΕΠ αυξάνεται κατά 150%, γεγονός που βελτιώνει το βιοτικό επίπεδο, αλλά δεν περιορίζει τη ζήτηση νερού, καθώς οι αυξημένες ανάγκες για κατανάλωση νερού σε νοικοκυριά διατηρούν τη ζήτηση υψηλή. Συνολικά, η ζήτηση νερού στο SSP2 είναι υψηλότερη από το SSP1, κυρίως λόγω των κλιματικών αλλαγών και της ανάγκης για μεγαλύτερη χρήση νερού στις αστικές περιοχές.

Στο σενάριο SSP5, παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού της Αθήνας κατά 16%, κάτι που οδηγεί σε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης νερού ανά κάτοικο (PCC). Η μεγαλύτερη αύξηση του πληθυσμού σε σχέση με τα άλλα σενάρια ενισχύει τη ζήτηση νερού, καθώς οι περισσότερες καθημερινές ανάγκες απαιτούν αυξημένη κατανάλωση. Παράλληλα, η αστικοποίηση μειώνεται κατά 74%, ωστόσο αυτό δεν επηρεάζει αρνητικά τη ζήτηση νερού, αφού η οικονομική ανάπτυξη και η αυξημένη δραστηριότητα στην Αθήνα κρατούν τη ζήτηση σε υψηλά επίπεδα. Η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 16.8%, γεγονός που προκαλεί αύξηση στη ζήτηση νερού για δροσισμό και άρδευση. Η μείωση της βροχόπτωσης κατά 61.6% αυξάνει ακόμα περισσότερο τη ζήτηση, καθώς οι υδάτινοι πόροι μειώνονται, ειδικά μετά το 2050. Το ΑΕΠ ανά κάτοικο αυξάνεται κατά 367%, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση νερού λόγω αυξημένων βιομηχανικών και οικιακών αναγκών. Η συνολική ζήτηση νερού (WD) στο SSP5 είναι η υψηλότερη από όλα τα σενάρια, με τις μεγαλύτερες ανάγκες για νερό να προκύπτουν λόγω της αυξημένης οικονομικής ανάπτυξης και του πληθυσμού.

Συγκρίνοντας τα τρία σενάρια, στο SSP1 η ζήτηση νερού παραμένει σταθερή ή παρουσιάζει μικρή μείωση, ενώ στο SSP2 η ζήτηση αυξάνεται ελαφρώς λόγω των κλιματικών παραγόντων, αλλά παραμένει χαμηλότερη σε σχέση με το SSP5. Στο SSP5, η ζήτηση νερού αυξάνεται δραματικά, κυρίως λόγω της σημαντικής αύξησης του πληθυσμού και της έντονης οικονομικής ανάπτυξης σε συνδυασμό με την παντελή έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης. Η συνολική διαφορά στη ζήτηση νερού μεταξύ του SSP1 και του SSP5 φτάνει περίπου το 30% έως 40%, ενώ το SSP2 έχει ζήτηση περίπου 10% έως 20% υψηλότερη από το SSP1 αλλά χαμηλότερη από το SSP5. Το σενάριο SSP5 εμφανίζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού και πίεση στους υδάτινους πόρους, ενώ το SSP1 είναι το πιο βιώσιμο σενάριο από την άποψη της ζήτησης νερού.

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση της ζήτησης του νερού στην Αθήνα και για τα τρία σενάρια:

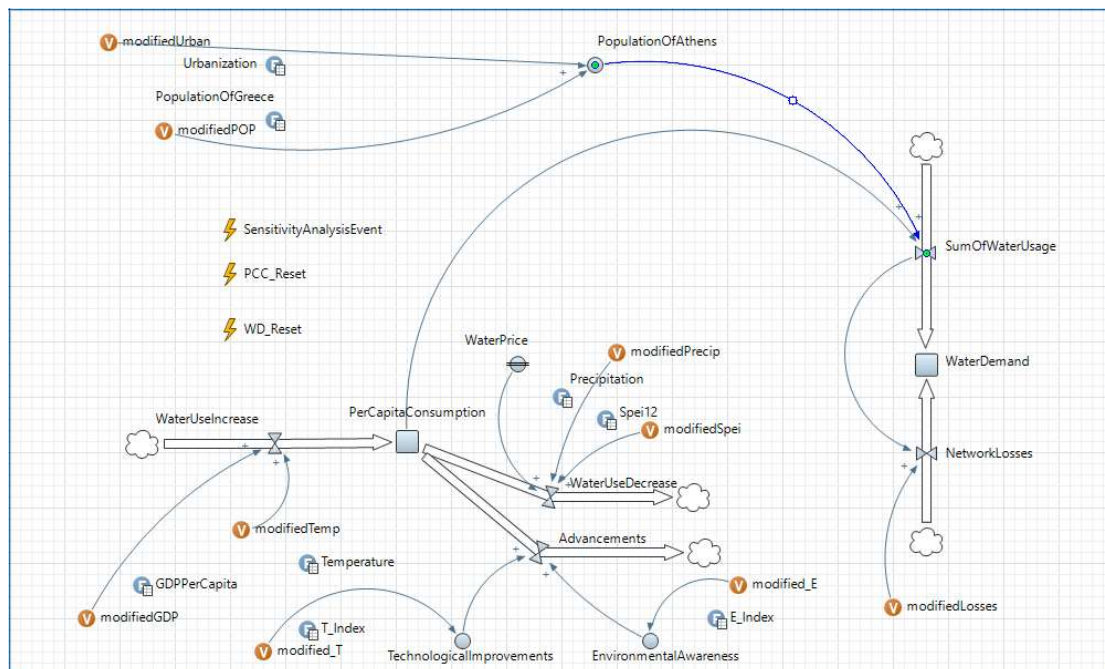


Εικόνα 40: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

## 6.3 Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου

### 6.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας στη στοχαστικότητα

Για την ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου θα αξιοποιηθεί το σενάριο SSP2 το οποίο είναι και το πιο κοντινό στα σημερινά δεδομένα. Σε αυτό θα προστεθεί στοχαστικότητα με κανονική κατανομή (2%,5%,10% και 20%). Για την τιμή του νερού θα επιλεγεί μέση τιμή 0,7 δολάρια, απόκλιση ανάλογα με το ποσοστό στοχαστικότητας, ελάχιστη τιμή τα 0,4 δολάρια και μέγιστη τα 1,5. Αντίστοιχα για τις απώλειες δικτύου θα τεθεί μέση τιμή το 22% (σημερινή τιμή), απόκλιση ανάλογη με τη στοχαστικότητα, ελάχιστη τιμή το 15% και μέγιστη το 40%. Θα δημιουργηθούν οι αντίστοιχες τροποποιημένες παράμετροι (*modifiedValues*) και ένα event που θα προσθέτει στοχαστικότητα κανονικής κατανομής στις αρχικές τιμές. Έτσι προκύπτει το παρακάτω τροποποιημένο SFD της SSP2:



Εικόνα 41: SFD με *modifiedVariables* και *SensitivityAnalysisEvent*

Και για το *SensitivityAnalysisEvent* έχουμε:

$$\text{modifiedGDP} = \text{GDPPerCapita}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(x));$$

$$\text{modifiedTemp} = \text{Temperature}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(x));$$

$$\text{modified\_T} = \text{T\_Index}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{modified\_E} = \text{E\_Index}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{modifiedLosses} = \min(0.4, \max(0.15, \text{normal}(0.22, x)));$$

$$\text{modifiedSpei} = \text{Spei12}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{modifiedPrecip} = \text{Precipitation}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{modifiedPOP} = \text{PopulationOfGreece}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{modifiedUrban} = \text{Urbanization}(\text{time}()) * (1 + \text{normal}(0, x));$$

$$\text{WaterPrice} = \min(1.5, \max(0.4, \text{normal}(0.7, x)));$$

Όπου  $x=0.02, 0.05, 0.1, 0.2$  αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο προστίθεται η στοχαστικότητα σε όλες τις παραμέτρους.

Για κάθε μία περίπτωση, αφού προστεθεί το ποσοστό στοχαστικότητας σε όλες τις παραμέτρους, εξετάζονται τα αποτελέσματα στη συνολική ζήτηση νερού στην Αθήνα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 15 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

|      | SSP2(0%) | SSP2(2%) | SSP2(5%) | SSP2(10%) | SSP2(20%) |
|------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 2024 | 3.50E+08 | 3.50E+08 | 3.50E+08 | 3.50E+08  | 3.50E+08  |
| 2025 | 4.36E+08 | 4.85E+08 | 3.92E+08 | 5.30E+08  | 7.91E+08  |
| 2026 | 4.36E+08 | 4.85E+08 | 3.92E+08 | 5.30E+08  | 7.91E+08  |
| 2027 | 4.55E+08 | 5.03E+08 | 5.35E+08 | 5.79E+08  | 4.57E+08  |
| 2028 | 4.55E+08 | 5.03E+08 | 5.35E+08 | 5.79E+08  | 4.57E+08  |
| 2029 | 3.94E+08 | 4.23E+08 | 6.05E+08 | 5.10E+08  | 7.44E+08  |
| 2030 | 3.94E+08 | 4.23E+08 | 6.05E+08 | 5.10E+08  | 7.44E+08  |
| 2031 | 3.96E+08 | 4.84E+08 | 5.16E+08 | 5.70E+08  | 6.88E+08  |
| 2032 | 3.96E+08 | 4.84E+08 | 5.16E+08 | 5.70E+08  | 6.88E+08  |
| 2033 | 3.89E+08 | 4.92E+08 | 5.77E+08 | 5.16E+08  | 6.98E+08  |
| 2034 | 3.89E+08 | 4.92E+08 | 5.77E+08 | 5.16E+08  | 6.98E+08  |
| 2035 | 4.67E+08 | 4.82E+08 | 4.96E+08 | 3.61E+08  | 8.30E+08  |
| 2036 | 4.67E+08 | 4.82E+08 | 4.96E+08 | 3.61E+08  | 8.30E+08  |
| 2037 | 4.01E+08 | 4.90E+08 | 4.40E+08 | 5.77E+08  | 7.54E+08  |
| 2038 | 4.01E+08 | 4.90E+08 | 4.40E+08 | 5.77E+08  | 7.54E+08  |
| 2039 | 4.65E+08 | 5.06E+08 | 5.46E+08 | 7.25E+08  | 5.28E+08  |
| 2040 | 4.65E+08 | 5.06E+08 | 5.46E+08 | 7.25E+08  | 5.28E+08  |
| 2041 | 4.19E+08 | 6.16E+08 | 5.26E+08 | 6.43E+08  | 8.69E+08  |
| 2042 | 4.19E+08 | 6.16E+08 | 5.26E+08 | 6.43E+08  | 8.69E+08  |
| 2043 | 4.33E+08 | 5.17E+08 | 3.91E+08 | 6.08E+08  | 8.51E+08  |
| 2044 | 4.33E+08 | 5.17E+08 | 3.91E+08 | 6.08E+08  | 8.51E+08  |
| 2045 | 4.42E+08 | 5.11E+08 | 5.44E+08 | 4.62E+08  | 6.90E+08  |
| 2046 | 4.42E+08 | 5.11E+08 | 5.44E+08 | 4.62E+08  | 6.90E+08  |
| 2047 | 4.70E+08 | 3.79E+08 | 5.16E+08 | 4.87E+08  | 6.88E+08  |
| 2048 | 4.70E+08 | 3.79E+08 | 5.16E+08 | 4.87E+08  | 6.88E+08  |
| 2049 | 4.39E+08 | 4.94E+08 | 5.26E+08 | 5.81E+08  | 5.86E+08  |
| 2050 | 4.39E+08 | 4.94E+08 | 5.26E+08 | 5.81E+08  | 5.86E+08  |
| 2051 | 4.48E+08 | 6.19E+08 | 6.59E+08 | 4.77E+08  | 5.49E+08  |
| 2052 | 4.48E+08 | 6.19E+08 | 6.59E+08 | 4.77E+08  | 5.49E+08  |
| 2053 | 4.64E+08 | 4.92E+08 | 5.22E+08 | 4.73E+08  | 7.49E+08  |
| 2054 | 4.64E+08 | 4.92E+08 | 5.22E+08 | 4.73E+08  | 7.49E+08  |
| 2055 | 4.22E+08 | 3.18E+08 | 5.41E+08 | 4.14E+08  | 7.20E+08  |
| 2056 | 4.22E+08 | 3.18E+08 | 5.41E+08 | 4.14E+08  | 7.20E+08  |

|      |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2057 | 4.53E+08 | 5.27E+08 | 5.84E+08 | 6.20E+08 | 9.08E+08 |
| 2058 | 4.53E+08 | 5.27E+08 | 5.84E+08 | 6.20E+08 | 9.08E+08 |
| 2059 | 4.22E+08 | 5.95E+08 | 3.82E+08 | 5.91E+08 | 7.25E+08 |
| 2060 | 4.22E+08 | 5.95E+08 | 3.82E+08 | 5.91E+08 | 7.25E+08 |
| 2061 | 4.27E+08 | 4.81E+08 | 5.12E+08 | 5.66E+08 | 7.16E+08 |
| 2062 | 4.27E+08 | 4.81E+08 | 5.12E+08 | 5.66E+08 | 7.16E+08 |
| 2063 | 4.58E+08 | 5.01E+08 | 5.34E+08 | 6.49E+08 | 8.44E+08 |
| 2064 | 4.58E+08 | 5.01E+08 | 5.34E+08 | 6.49E+08 | 8.44E+08 |
| 2065 | 4.33E+08 | 5.58E+08 | 5.26E+08 | 6.20E+08 | 8.05E+08 |
| 2066 | 4.33E+08 | 5.58E+08 | 5.26E+08 | 6.20E+08 | 8.05E+08 |
| 2067 | 4.33E+08 | 4.94E+08 | 4.85E+08 | 4.20E+08 | 5.06E+08 |
| 2068 | 4.26E+08 | 4.94E+08 | 4.85E+08 | 4.20E+08 | 5.06E+08 |
| 2069 | 4.26E+08 | 3.40E+08 | 5.07E+08 | 5.61E+08 | 6.76E+08 |
| 2070 | 4.43E+08 | 3.40E+08 | 5.07E+08 | 5.61E+08 | 6.76E+08 |
| 2071 | 4.43E+08 | 4.09E+08 | 4.30E+08 | 5.37E+08 | 7.35E+08 |
| 2072 | 4.48E+08 | 4.09E+08 | 4.30E+08 | 5.37E+08 | 7.35E+08 |
| 2073 | 4.48E+08 | 3.58E+08 | 5.21E+08 | 5.85E+08 | 6.30E+08 |
| 2074 | 4.19E+08 | 3.58E+08 | 5.21E+08 | 5.85E+08 | 6.30E+08 |

Η μεταβολή στους μέσους όρους της ζήτησης σε σχέση με την αρχική είναι 10.9% για στοχαστικότητα 2%, 17.58% για 5%, 25.28% για 10% και 62.16% για 20%. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η στοχαστικότητα αυξάνεται και η απόκλιση-αποτέλεσμα λογικό και αναμενόμενο.

Η ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα έδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 16: Ανάλυση διακύμανσης

| Ομάδες                | Πλήθος   | Άθροισμα          | Μέσος όρος  | Διακύμανση  |          |             |
|-----------------------|----------|-------------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| SSP2(10%)             | 51       | 27673300000       | 542613725.5 | 7.38199E+15 |          |             |
| SSP2(0%)              | 51       | 22089500000       | 433127451   | 6.6497E+14  |          |             |
| SSP2(2%)              | 51       | 24496300000       | 480319607.8 | 6.07586E+15 |          |             |
| SSP2(5%)              | 51       | 25973500000       | 509284313.7 | 4.65826E+15 |          |             |
| SSP2(20%)             | 51       | 35820900000       | 702370588.2 | 1.56043E+16 |          |             |
| ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ   |          |                   |             |             |          |             |
| Προέλευση διακύμανσης | SS       | βαθμοί ελευθερίας | MS          | F           | τιμή-P   | κριτήριο F  |
| Μεταξύ ομάδων         | 2.15E+18 | 4                 | 5.36641E+17 | 78.03348134 | 7.25E-43 | 2.407751125 |
| Μέσα στις ομάδες      | 1.72E+18 | 250               | 6.87707E+15 |             |          |             |
| Σύνολο                | 3.87E+18 | 254               |             |             |          |             |

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων στοχαστικότητας (2%, 5%, 10%, 20%). Η πολύ μικρή τιμή-P (7.25E-43) δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στη ζήτηση νερού ανάλογα με το επίπεδο στοχαστικότητας που εισάγεται στο μοντέλο.

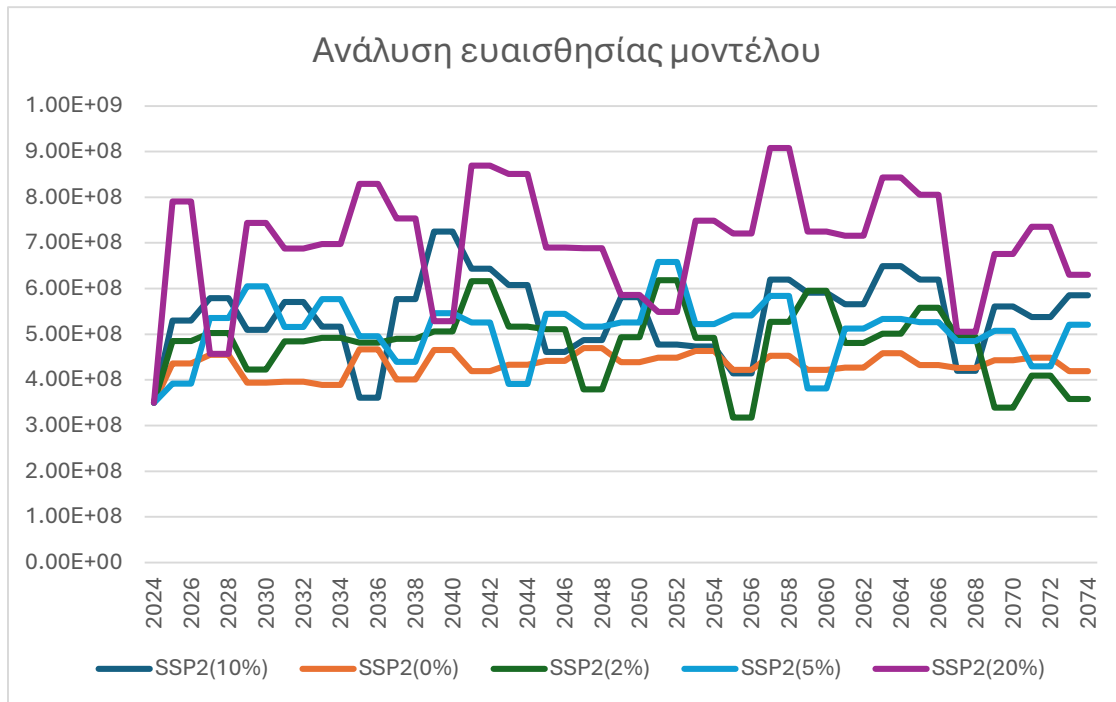
Από τους μέσους όρους των ομάδων (όπως παρουσιάζονται στον πίνακα), είναι εμφανές ότι η ζήτηση νερού αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της

στοχαστικότητα. Η μέγιστη απόκλιση παρατηρείται στο επίπεδο στοχαστικότητας 20%, όπου η ζήτηση είναι πολύ υψηλότερη σε σχέση με τα άλλα επίπεδα.

- Ο μέσος όρος για την ομάδα με 20% στοχαστικότητα είναι 702,370,588, που είναι αρκετά μεγαλύτερος από τις άλλες ομάδες (π.χ., ο μέσος όρος της ομάδας με 0% στοχαστικότητα είναι 433,127,451).
- Η διακύμανση της ζήτησης για κάθε ομάδα επίσης δείχνει ότι το μοντέλο είναι αρκετά ευαίσθητο. Η ομάδα με 20% στοχαστικότητα έχει διακύμανση  $1.56E+16$ , η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από τις άλλες ομάδες, υποδεικνύοντας ότι η αβεβαιότητα στη ζήτηση αυξάνεται δραματικά με την αύξηση της στοχαστικότητας.

Το μοντέλο παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην εισαγωγή στοχαστικότητας, καθώς παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στους μέσους όρους και στη διακύμανση των ομάδων. Αυτό σημαίνει ότι μικρές αλλαγές στα επίπεδα στοχαστικότητας (αβεβαιότητας) οδηγούν σε μεγάλες διαφορές στη ζήτηση νερού, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη χρήση του μοντέλου για προβλέψεις.

Αποτελεί γεγονός ότι δεν μπορεί να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που να προβλέπει με ακρίβεια το μέλλον, πόσο μάλλον σε πολυπαραγοντικά προβλήματα όπως είναι η ζήτηση του νερού. Για αυτό το λόγο το οποιοδήποτε μοντέλο οφείλει να βασίζεται σε δεδομένα που έχουν προκύψει από τάσεις με βάση τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα, εύλογες παραδοχές και προβλέψεις που είναι ευρέως αποδεκτές στην επιστημονική κοινότητα. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα της γραφικής απεικόνισης της ζήτησης ανά στοχαστικότητα:

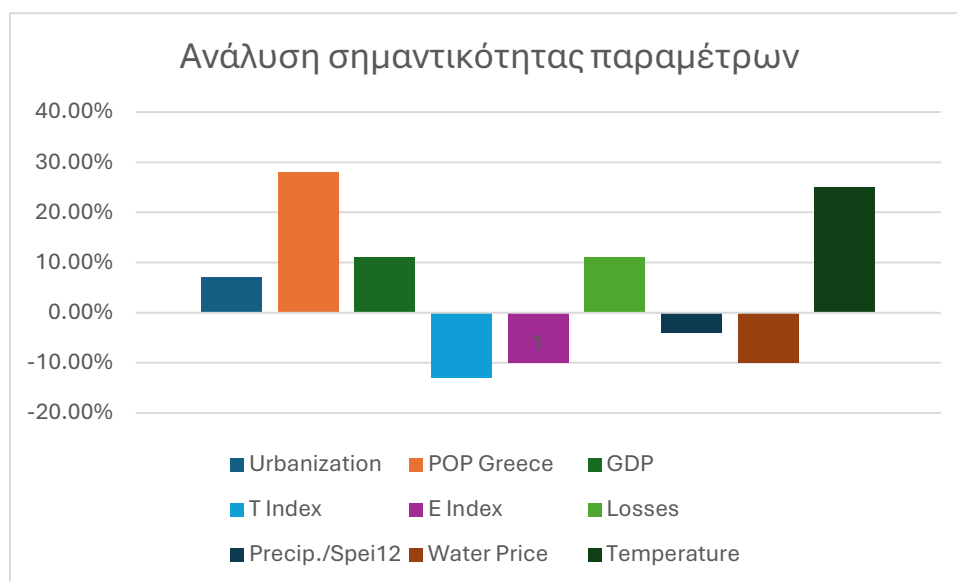


Εικόνα 42 :Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου

### 6.3.2 Ανάλυση σημαντικότητας παραμέτρων

Για την ανάλυση σημαντικότητας της κάθε παραμέτρου και συνεισφορά της στην διαμόρφωση της τελικής ζήτησης θα βασιστούμε στο μοντέλο SSP1. Ανάλογα με την κάθε παράμετρο που θα επιλεγεί για εξέταση, θα διατηρούνται οι υπόλοιπες σταθερές στην αρχική τους τιμή (για το 2024) και θα αυξάνεται γραμμικά ανά έτος η κάθε εξεταζόμενη παράμετρος έτσι ώστε το 2074 να παρουσιάζει μεταβολή 30% σε σχέση με το 2024. Για τον υπολογισμό της επίδρασης της κατακρήμνισης θα αυξηθούν ταυτόχρονα τα χιλιοστά βροχής όσο και ο δείκτης Sprei12 καθώς υπάρχει άμεση συσχέτιση αυτών των δύο παραμέτρων. Εξετάζοντας λοιπόν την ποσοστιαία μεταβολή στη ζήτηση του νερού σε κάθε περίπτωση προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

- Επίδραση ρυθμού αστικοποίησης στη συνολική ζήτηση: +7%
- Επίδραση πληθυσμού της Ελλάδας: +28%
- Επίδραση ΑΕΠ: +11%
- Επίδραση T index: -13%
- Επίδραση E Index: -10%
- Επίδραση απωλειών δικτύου: +11%
- Επίδραση κατακρήμνισης/ δείκτη ξηρασίας: -4%
- Επίδραση τιμής του νερού: -10%
- Επίδραση θερμοκρασίας: +25%



Εικόνα 43: Ανάλυση σημαντικότητας παραμέτρων

## 7 Συμπεράσματα και προτάσεις

### 7.1 Συμπεράσματα

Τα μέτρα που υιοθετήθηκαν στο μοντέλο μπορούν να παίξουν κομβικό ρόλο στην μείωση της κατανάλωσης του νερού. Ακόμα όμως και για το σενάριο αειφορίας (SSP1) παρατηρείται μικρή αύξηση της κατανάλωσης του νερού (από 315 hm<sup>3</sup> το 2023 στα 364 hm<sup>3</sup> το 2053), κυρίως λόγω μιας μικρής αύξησης του πληθυσμού. Στο σενάριο SSP2 και παρά την μείωση του πληθυσμού της Αθήνας η κατανάλωση του νερού θα συνεχίσει να έχει αυξητική τάση (φτάνοντας τα 417 hm<sup>3</sup> το 2053), ενώ για το σενάριο SSP5 τα πράγματα φαντάζουν καταστροφικά με την κατανάλωση να ξεπερνά τα 900 hm<sup>3</sup>.

Ακόμη, η αύξηση της τιμής του νερού σαν διορθωτικό μέτρο το οποίο θα χρειαστεί να αξιοποιηθεί σε όλα τα σενάρια, με μοναδική εξαίρεση ίσως το SSP1 σε περίπτωση αύξησης της στάθμης των ταμιευτήρων λόγω αντιμετώπισης των συνεπειών της κλιματικής κρίσης, αποτελεί ουσιαστικά ένα τιμωρητικό μέτρο-δηλωτικό της αποτυχίας της πολιτείας να προλαμβάνει την αύξηση της κατανάλωσης. Το νερό αποτελεί το πιο πολύτιμο δημόσιο αγαθό και ως τέτοιο θα πρέπει να είναι φθηνά προσβάσιμο σε όλο τον πληθυσμό.

Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στις οικιακές συσκευές μπορεί να μειώσει την κατανάλωση από 5- 37% μέσα σε διάρκεια 50ετίας ενώ η ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης μπορεί να μειώσει την κατανάλωση έως 27%. Για αυτό το λόγω και κρίνεται αναγκαία τόσο η επιδότηση συσκευών νέας τεχνολογίας αλλά και της έρευνας για νέες καινοτόμες τεχνολογίες, όσο και η σωστή εκπαίδευση και τα κίνητρα για την ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών.

Παρόλα αυτά, γίνεται ξεκάθαρο από την έρευνα ότι ο δεύτερος βασικός παράγοντας μετά τον πληθυσμό που επηρεάζει τη συνολική κατανάλωση του νερού είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες (σε ποσοστό που μπορεί να αγγίξει έως και το 65%). Αν λοιπόν δεν αρθεί η πορεία της κλιματικής κρίσης τα αποτελέσματα θα είναι καταστροφικά, είτε όσον αφορά την εποχιακή λειψυδρία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, είτε συνολικά την αδυναμία εξυπηρέτησης του πληθυσμού της Αθήνας από το υπάρχον δίκτυο.

## 7.2 Συζήτηση-προτάσεις

Η περιβαλλοντική συνείδηση στην κατανάλωση νερού είναι συνεπώς κρίσιμη για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων. Στο έγγραφο "Forecasting Urban Water Demand" του Clive Jones, περιγράφονται διάφορες στρατηγικές και πρακτικές που προωθούν τη μείωση της κατανάλωσης νερού μέσω της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και των τεχνολογικών και οικονομικών κινήτρων [21]. Ο ίδιος προτείνει τα εξής:

### 1. Εκπαίδευση και Δημόσια Ενημέρωση:

Εκπαιδευτικές προσπάθειες και δημοσιότητα σχετικά με τις ανάγκες και τα οφέλη της εξοικονόμησης νερού αποτελούν αναπόσπαστο μέρος ενός αποτελεσματικού προγράμματος. Για παράδειγμα, δημόσιες καμπάνιες μπορούν να ενθαρρύνουν τους πολίτες να υιοθετήσουν πρακτικές εξοικονόμησης νερού, όπως το να κλείνουν τη βρύση ενώ βουρτσίζουν τα δόντια τους.

### 2. Αλλαγές στις Συνήθειες Κατανάλωσης Νερού:

Η προώθηση της αλλαγής στις εσωτερικές συνήθειες χρήσης νερού, όπως η μείωση του χρόνου στο ντους και η χρήση πλήρους φορτίου στα πλυντήρια, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης. Επίσης, ξενοδοχεία μπορούν να ενθαρρύνουν τους πελάτες να χρησιμοποιούν τα ίδια σεντόνια και πετσέτες για αρκετές ημέρες.

### 3. Τεχνολογικές Λύσεις:

Η εγκατάσταση υδρομετρητών και η χρέωση του νερού βάσει της κατανάλωσης μπορεί να μειώσει σημαντικά τη χρήση νερού. Σε έρευνες που αναφέρθηκαν στο έγγραφο, η μετάβαση από σταθερές χρεώσεις σε μετρημένη κατανάλωση οδηγεί σε μείωση κατά 30 έως 50% της χρήσης νερού.

Οι τεχνολογικές λύσεις όπως οι αεριστήρες βρυσών, οι αισθητήρες βροχής και οι συστήματα ελέγχου εξατμισοδιαπνοής (ET) μπορούν να προσαρμόσουν την άρδευση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες, μειώνοντας έτσι την υπερβολική κατανάλωση νερού για αρδευτικούς σκοπούς.

### 4. Οικονομικά Κίνητρα και Αξιολόγηση

Η εφαρμογή προγραμμάτων εξοικονόμησης νερού συχνά συνοδεύεται από οικονομικά κίνητρα, όπως οι επιδοτήσεις για την εγκατάσταση αποδοτικών υδραυλικών συσκευών. Η αξιολόγηση των προγραμμάτων αυτών περιλαμβάνει

την εκτίμηση της αναμενόμενης μείωσης της κατανάλωσης νερού και του κόστους των πόρων, τόσο για τις υδατοπαροχές όσο και για τους καταναλωτές.

Μέχρι στιγμής τα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης όμως από τη διεθνή κοινότητα είναι είτε ανύπαρκτα είτε ανεπαρκή, καθώς εστιάζουν περισσότερο σε επικοινωνιακά μέτρα για το λεγόμενο «greenwashing» των εταιρειών παρά σε ουσιαστικά μέτρα μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος της ανθρωπότητας.

Η ανθρωπότητα έχει αποτύχει στην συντριπτική πλειοψηφία των στόχων που είχαν τεθεί ακόμη και από τον ΟΗΕ [\[51\]](#). Συγκεκριμένα:

1. Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

Σύμφωνα με την έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας (WMO) του 2023, οι παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανήλθαν σε 36,8 γιγατόνους το 2022, σημειώνοντας αύξηση κατά 0,8% σε σύγκριση με το 2021. Αυτό δείχνει ότι οι εκπομπές συνεχίζουν να αυξάνονται, παρά τις δεσμεύσεις για μείωση.

2. Προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής:

Μια έκθεση του ΟΗΕ το 2022 δείχνει ότι 2,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν επαρκή πρόσβαση σε ασφαλές νερό, κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο για εκατομμύρια κοινότητες παγκοσμίως.

3. Χρηματοδότηση για την κλιματική δράση:

Μέχρι το 2020, η χρηματοδότηση για την κλιματική δράση από ανεπτυγμένες χώρες έφτασε τα 83,3 δισεκατομμύρια δολάρια, κάτω από τον στόχο των 100 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Αυτό το έλλειμμα έχει δημιουργήσει σημαντικές προκλήσεις για την επίτευξη των στόχων κλιματικής δράσης στις αναπτυσσόμενες χώρες.

4. Αποτροπή της απώλειας βιοποικιλότητας:

Σύμφωνα με την έκθεση του WWF για τον πλανήτη το 2022, ο Παγκόσμιος Δείκτης Ζώντων Πλασμάτων δείχνει μείωση κατά 69% στους πληθυσμούς άγριων ζώων από το 1970 έως το 2022. Η κλιματική αλλαγή είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες αυτής της μείωσης, καθώς επηρεάζει τα οικοσυστήματα παγκοσμίως.

5. Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού:

Μια έρευνα του 2023 από το Pew Research Center δείχνει ότι μόνο 57% των πολιτών παγκοσμίως θεωρούν την κλιματική αλλαγή ως μείζον πρόβλημα, υποδεικνύοντας ότι η ευαισθητοποίηση για την κλιματική κρίση παραμένει περιορισμένη.

Οι εκτιμήσεις για την εξάντληση των αποθεμάτων νερού παγκοσμίως είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές, καθώς η κλιματική αλλαγή, η αύξηση του πληθυσμού, η υπερκατανάλωση και η μόλυνση έχουν σημαντικές επιπτώσεις στους υδάτινους



πόρους. Η συνεχής υπονόμηση των υδατικών πόρων από την κλιματική καταστροφή σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες σε νερό δημιουργούν ένα εκρηκτικό μείγμα που φτάνει την κατάσταση σε ένα οριακό σημείο. Ακόμα και οι πιο αισιόδοξοι εκτιμητές μιλούν για εξάντληση των υδάτινων πόρων τα επόμενα χρόνια αν η ανθρωπότητα δεν αλλάξει ρότα. Οι ειδικοί του ΟΗΕ έχουν προειδοποιήσει ότι αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα για την αειφόρο διαχείριση του νερού, μέχρι το 2040 το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού θα μπορούσε να αντιμετωπίζει σοβαρές ελλείψεις νερού.

Απαιτείται συνολική αλλαγή κοινωνικού προτύπου, από την παραγωγή στην κατανάλωση με μείωση της υπερσυσσώρευσης και της υπερκατανάλωσης, η οικοδόμηση εν τέλει μιας κοινωνίας που θα σέβεται τη φύση και τον άνθρωπο και δεν θα τα θυσιάζει όλα στο βωμό του κέρδους. Που θα αντιλαμβάνεται ότι η ανθρωπότητα δεν είναι πάνω από τη φύση, αλλά είναι ένα μέρος της και εξαρτάται από αυτήν. Μόνο έτσι θα μπορούμε να λογίζουμε τους φυσικούς πόρους -μέσα σε αυτούς και το νερό- σαν ένα ζωτικό αγαθό που οφείλουμε να καταναλώνουμε με σύνεση και σεβασμό και όχι σαν ένα προϊόν άκρατης εμπορευματοποίησης.

## 8 Βιβλιογραφία

- [1] Γιαννόπουλος, Στ. και Σπανοθύμιου, Μ. (2021) 'Πρόβλεψη της ζήτησης νερού αστικής χρήσης'. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Διαθέσιμο σε: <https://www.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/3-02-Giannopoulos.pdf>.
- [2] Μακρόπουλος, Χ., Ευστρατιάδης, Α. και Κουκουβίνος, Α. (2010) 'Κοστολόγηση αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας. Τεύχος 3: Εκτίμηση του χρηματοοικονομικού κόστους και προτάσεις ορθολογικής διαχείρισης του υδροσυστήματος'. Διαθέσιμο σε: [https://www.itia.ntua.gr/el/project\\_reports/159/](https://www.itia.ntua.gr/el/project_reports/159/)
- [3] Albin, S. (1997) 'Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization'. MIT System Dynamics in Education Project. Διαθέσιμο σε: [https://ocw.mit.edu/courses/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/1ba2bda320cfc48c71d04cb2cf42409b\\_building.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/1ba2bda320cfc48c71d04cb2cf42409b_building.pdf).
- [4] Alvi, M. S. Q., Sarjoughian, H., Mahmood, I., Javed, F. και Malik, A. W. (2018) 'Dynamic Behavioural Modeling, Simulation and Analysis of Household Water Consumption in an Urban Area: A Hybrid Approach'. Διαθέσιμο σε: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632309>.
- [5] Al-Zahrani, M. & Abo-Monasar, A., 2015. Predicting water demand: a review of the methods employed and future possibilities. *International Journal of Advanced Research*, 3(11), pp. 1094-1101.
- [6] Amadei, B. (2020) 'Agent-Based and System Dynamics Modeling of Water Field Services'. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-10-2045-2.pdf>.
- [7] Azadeh, A., Asadzadeh, S. M. & Abdolhossein, M., 2012. A comprehensive review of energy forecasting: Tools and methodologies. *Energy Economics*, 34(6), pp. 2332-2341.
- [8] Bai, X., 2014. Towards sustainable urban water resource management: A case study in Tianjin, China. *International Journal of Water Resources Development*, 30(2), pp. 234-243.
- [9] Baki, S., Koutiva, I. και Makropoulos, C. (2012) 'A hybrid artificial intelligence modelling framework for the simulation of the complete, socio-technical, urban water system'. National Technical University of Athens. Διαθέσιμο σε: [https://www.researchgate.net/publication/260134483\\_A\\_hybrid\\_artificial\\_intelligence\\_modelling\\_framework\\_for\\_the\\_simulation\\_of\\_the\\_complete\\_socio-technical\\_urban\\_water\\_system](https://www.researchgate.net/publication/260134483_A_hybrid_artificial_intelligence_modelling_framework_for_the_simulation_of_the_complete_socio-technical_urban_water_system).
- [10] Baki, S., Rozos, E. και Makropoulos, C. (2018) 'Designing water demand management schemes using a socio-technical modelling approach'. Elsevier. Διαθέσιμο σε: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv).
- [11] Bala, B. K., Arshad, F. M. και Noh, K. M. (2017) *System Dynamics Modelling and Simulation*. Springer. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-10-2045-2.pdf>.
- [12] Caiado, R. G. G., 2010. Assessment of residential water demand determinants using an econometric approach. *Water Resources Management*, 24(12), pp. 3155-3177.
- [13] Davahli, M. R., Karwowski, W. και Taiar, R. (2020) 'A System Dynamics Simulation Applied to Healthcare: A Systematic Review'. MDPI. Διαθέσιμο σε: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/16/5741>.
- [14] Ford, A. (1999) *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems*. Island Press.
- [15] Gardiner, V. και Herrington, P. (1986) *Water Demand Forecasting*. CRC Press. Διαθέσιμο σε: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781482275605/water-demand-forecasting-gardiner-herrington>.

- [16] Gohari (2013) 'Water Resources Management', An International Journal - Published for the European Water Resources Association (EWRA). Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/journal/11269>
- [17] Grigoryev, I. (2023) Anylogic in Three Days. Διαθέσιμο σε: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-in-3-days.pdf>.
- [18] Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J. & Pérez-García, R., 2010. Short-term water demand forecasting using data-centric machine learning approaches. *Water Resources Research*, 46(10), pp. 1-17.
- [19] J. Smith (2020) 'Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models'. Διαθέσιμο σε: <https://acp.copernicus.org/articles/20/9591/2020/>
- [20] J. Forrester (1961) 'Industrial Dynamics'. Διαθέσιμο σε: <https://systemdynamics.org/product/industrial-dynamics-1999/>
- [21] Jones, C. (2008) Forecasting Urban Water Demand. American Waterworks Association.
- [22] L. Kumar (2020) 'Climate Change and Impacts in the Pacific'. Διαθέσιμο σε: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-32878-8>
- [23] Manuel Morales-García, Miguel A. García-Rubio- University of Granada (2021) 'Sustainability of an economy from the water-energy-food nexus perspective'. Διαθέσιμο σε: [https://www.researchgate.net/publication/366837848\\_Sustainability\\_of\\_an\\_economy\\_from\\_the\\_water-energy-food\\_nexus\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/366837848_Sustainability_of_an_economy_from_the_water-energy-food_nexus_perspective)
- [24] Martinez-Moyano, I. J. και Richardson, G. P. (2013) 'Best practices in system dynamics modeling'. Wiley Online Library. Διαθέσιμο σε: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sdr.1495>.
- [25] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. and Behrens, W.W. III, 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- [26] Naeem, K., Zghibi, A., Elomri, A., Mazzoni, A. και Triki, C. (2023) 'A Literature Review on System Dynamics Modeling for Sustainable Management of Water Supply and Demand'. *MDPI*, 17(16), σελ. 5741. Διαθέσιμο σε: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/16/5741>.
- [27] Narayan, S., Vasudevan, S. & Narasimhan, A., 2020. IoT-based water demand forecasting and distribution design for smart city. *Journal of Cleaner Production*, 252, p. 119716.
- [28] O'Neill, B. C. et al. (2017) 'The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century'. *Global Environmental Change*, 42, σελ. 169-180. Διαθέσιμο σε: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378015000060>.
- [29] Phan, T. D., Bertone, E. και Stewart, R. A. (2013) 'Cleaner Environmental Systems'. Διαθέσιμο σε: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sdr.1495>.
- [30] Qi, C. και Chang, N.-B. (2011) 'System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts'. Διαθέσιμο σε: <https://www.researchgate.net/publication/49839258>.
- [31] Riahi, K. et al. (2017) 'The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview'. *Global Environmental Change*, 42, σελ. 153-168. Διαθέσιμο σε: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-2/>.
- [32] Rinaudo, J.-D. (2015) 'Long-Term Water Demand Forecasting. Understanding and Managing Urban Water in Transition'. Διαθέσιμο σε: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01183853>.
- [33] Rozos, E., Baki, S., Bouziotas, D. και Makropoulos, C. (2011) 'Exploring the link between urban development and water demand: The impact of water-aware technologies and options'. National Technical University of Athens. Διαθέσιμο σε: <https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/1152/>.
- [34] Rupert Quentin Grafton, Ana Manero, Long Chu, Paul Wyrwoll (2023) 'The price and value of water: An economic review'. Διαθέσιμο σε: <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-prisms->

[water/article/price-and-value-of-water-an-economic-review/340E30EA7586C861C7BBF50D33CE3C5A](https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2657)

- [35] S, J. (ed.) (2017) *Elements of the System Dynamics Method*. Taylor and Francis. Διαθέσιμο σε: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1057/palgrave.jors.2600456>.
- [36] Sargentis, G.-F., Ioannidis, R., Karakatsanis, G., Sigourou, S., Lagaros, N. D. και Koutsoyiannis, D. (2019) 'The Development of the Athens Water Supply System and Inferences for Optimizing the Scale of Water Infrastructures'. Διαθέσιμο σε: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2657>.
- [37] Seber, G. A. F. και Lee, A. J. (2003) *Linear Regression Analysis*. 2η έκδοση. Wiley Series in Probability and Statistics.
- [38] Senge, P.M., 1990. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday/Currency.
- [39] Sterman, J. D. (2003) *System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. MIT Sloan School of Management. Διαθέσιμο σε: <https://www.academia.edu/41333931>.
- [40] Tortajada, C., Biswas, A. K. & Joshi, Y. K., 2019. Water demand management strategies for water-scarce cities: The case of Spain. *Sustainable Cities and Society*, 45, pp. 53-62.
- [41] Van Vuuren, D. P. et al. (2014) 'A new scenario framework for Climate Change Research: scenario matrix architecture'. *Climatic Change*, 122(3), σελ. 373-386. Διαθέσιμο σε: <https://ideas.repec.org/p/ekd/009007/9625.html>.
- [42] Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P. και Wiberg, D. 'Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WfS) initiative and its approaches' (2019). Διαθέσιμο σε: <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/19/3/831/41417>.
- [43] Wang, X.-J., Zhang, J.-Y., Elmahdi, A., He, R.-M. και Zhang, L.-R. (2011) 'Water demand forecasting under changing environment: a system dynamics approach'. Διαθέσιμο σε: <https://www.researchgate.net/publication/287272027>.
- [44] Wei, S., Yang, H., Song, J., Abbaspour, K. C. και Xu, Z. (2012) 'System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe River Basin, China'. Διαθέσιμο σε: <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v221y2012i1p248-262.html>.
- [45] Xenos, D., Passios, I., Georgiades, S., Parlís, E. και Koutsoyiannis, D. (2019) 'Water Demand Management and the Athens Water Supply'. EYDAP - Athens Water Supply & Sewerage Company. Διαθέσιμο σε: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2657>.
- [46] Zhang, H., Zhang, X. και Zhang, B. (2011) 'System Dynamics Approach to Urban Water Demand Forecasting — A Case Study of Tianjin'. Διαθέσιμο σε: [https://www.researchgate.net/publication/226972156\\_System\\_dynamics\\_approach\\_to\\_urban\\_water\\_demand\\_forecasting\\_-\\_A\\_case\\_study\\_of\\_Tianjin](https://www.researchgate.net/publication/226972156_System_dynamics_approach_to_urban_water_demand_forecasting_-_A_case_study_of_Tianjin).
- [47] Βικιπαίδεια. Διαθέσιμο σε: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1>
- [48] Ελληνική Στατιστική Αρχή. Διαθέσιμο σε: <https://www.statistics.gr/>.
- [49] ΕΥΔΑΠ. Διαθέσιμο σε: <https://www.eydap.gr/>.
- [50] Καθημερινή (2024), 'Μέτρα για την έλλειψη νερού στην Αττική'. Διαθέσιμο σε: <https://www.kathimerini.gr/society/563190820/metra-gia-tin-elleipsi-neroy-stin-attiki/>
- [51] Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον. Διαθέσιμο σε: <https://unric.org/el/4312-2/>.
- [52] Πρώτο Θέμα (2014) 'Σπάταλη: Η Ελλάδα στη χρήση του νερού'. Διαθέσιμο σε: <https://www.protothema.gr/afieromata/nero/article/362569/-spatali-i-ellada-sti-hrisi-tou-nerou/>.
- [53] CMIP6 dataset. Διαθέσιμο σε: <https://wcrp-cmip.org/cmip6/>.



- [54] Data Commons. Διαθέσιμο σε:  
<https://datacommons.org/place/country/GRC>.
- [55] Environmental Protection Agency. Διαθέσιμο σε: <https://www.epa.gov/>.
- [56] ERA5 dataset Copernicus climate data store. Διαθέσιμο σε:  
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
- [57] GDP per capita of Greece. Διαθέσιμο σε:  
<https://statisticstimes.com/economy/country/greece-gdp-per-capita.php>.
- [58] Macrotrends. Διαθέσιμο σε: <https://www.macrotrends.net/global-metrics/cities/21113/athens/population>.
- [59] Newsbomb (2019) 'Παγκόσμια Ημέρα Νερού: Τα ποσοστά νερού και η καθαρότητα του νερού στην Αθήνα'. Διαθέσιμο σε:  
<https://www.newsbomb.gr/ellada/video/967764/pagkosmia-hmera-neroy-ta-pososta-neroy-kai-i-katharotita-toy-neroy-stin-athina-vid>.
- [60] Trading Economics. Διαθέσιμο σε:  
<https://tradingeconomics.com/greece/precipitation>.
- [61] UN World Water Development Report. Διαθέσιμο σε:  
<https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2020>
- [62] World Bank Group. Διαθέσιμο σε:  
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>.



## 9 Παράρτημα πινάκων

### 9.1 Ιστορικά δεδομένα

Πίνακας 17

| Year | FINANCIAL DATA                   |                                    |                                       |                                        |
|------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
|      | <u>GDP growth<br/>Greece (%)</u> | <u>GDP Greece<br/>(billion \$)</u> | <u>GDP Greece per<br/>capita (\$)</u> | <u>Price of Water \$/m<sup>3</sup></u> |
| 1973 | 8.09                             | \$22.35                            | \$2,502.81                            | \$1.09                                 |
| 1974 | -6.44                            | \$25.35                            | \$2,828.75                            | \$1.09                                 |
| 1975 | 6.37                             | \$28.53                            | \$3,153.24                            | \$1.13                                 |
| 1976 | 6.85                             | \$31.15                            | \$3,390.54                            | \$1.06                                 |
| 1977 | 2.94                             | \$36.18                            | \$3,886.37                            | \$0.95                                 |
| 1978 | 7.25                             | \$44.27                            | \$4,694.63                            | \$0.92                                 |
| 1979 | 3.28                             | \$54.48                            | \$5,705.95                            | \$0.80                                 |
| 1980 | 0.68                             | \$56.83                            | \$5,893.66                            | \$0.74                                 |
| 1981 | -1.55                            | \$52.35                            | \$5,380.27                            | \$0.69                                 |
| 1982 | -1.13                            | \$54.62                            | \$5,579.23                            | \$0.64                                 |
| 1983 | -1.08                            | \$49.43                            | \$5,019.88                            | \$0.58                                 |
| 1984 | 2.01                             | \$48.02                            | \$4,852.57                            | \$0.50                                 |
| 1985 | 2.51                             | \$47.82                            | \$4,813.71                            | \$0.41                                 |
| 1986 | 0.52                             | \$56.38                            | \$5,656.51                            | \$0.40                                 |
| 1987 | -2.26                            | \$65.65                            | \$6,564.88                            | \$0.35                                 |
| 1988 | 4.29                             | \$76.26                            | \$7,598.03                            | \$0.34                                 |
| 1989 | 3.80                             | \$79.17                            | \$7,846.68                            | \$0.32                                 |
| 1990 | 0.00                             | \$97.89                            | \$9,600.19                            | \$0.28                                 |
| 1991 | 3.10                             | \$105.14                           | \$10,188.37                           | \$0.45                                 |
| 1992 | 0.70                             | \$116.22                           | \$11,176.46                           | \$0.71                                 |
| 1993 | -1.60                            | \$108.81                           | \$10,401.98                           | \$0.74                                 |
| 1994 | 2.00                             | \$116.60                           | \$11,091.28                           | \$0.74                                 |
| 1995 | 2.10                             | \$136.88                           | \$12,959.32                           | \$0.66                                 |
| 1996 | 2.86                             | \$145.86                           | \$13,749.12                           | \$0.62                                 |
| 1997 | 4.48                             | \$143.16                           | \$13,427.83                           | \$0.62                                 |
| 1998 | 3.89                             | \$144.43                           | \$13,472.14                           | \$0.58                                 |
| 1999 | 3.07                             | \$142.59                           | \$13,249.66                           | \$0.56                                 |
| 2000 | 3.92                             | \$130.46                           | \$12,072.93                           | \$0.53                                 |
| 2001 | 4.13                             | \$136.31                           | \$12,549.04                           | \$0.50                                 |
| 2002 | 3.92                             | \$154.56                           | \$14,177.57                           | \$0.48                                 |
| 2003 | 5.79                             | \$202.37                           | \$18,518.38                           | \$0.47                                 |
| 2004 | 5.06                             | \$240.96                           | \$21,995.48                           | \$0.45                                 |
| 2005 | 0.60                             | \$247.88                           | \$22,560.15                           | \$0.40                                 |
| 2006 | 5.65                             | \$273.55                           | \$24,821.94                           | \$0.41                                 |
| 2007 | 3.27                             | \$318.90                           | \$28,863.97                           | \$0.45                                 |
| 2008 | -0.34                            | \$355.91                           | \$32,127.98                           | \$0.46                                 |
| 2009 | -4.30                            | \$331.31                           | \$29,828.76                           | \$0.49                                 |



|             |        |          |             |        |
|-------------|--------|----------|-------------|--------|
| <b>2010</b> | -5.48  | \$297.12 | \$26,716.65 | \$0.50 |
| <b>2011</b> | -10.15 | \$283.00 | \$25,483.88 | \$0.55 |
| <b>2012</b> | -7.09  | \$242.03 | \$21,913.00 | \$0.60 |
| <b>2013</b> | -2.52  | \$238.91 | \$21,787.79 | \$0.65 |
| <b>2014</b> | 0.48   | \$235.46 | \$21,616.71 | \$0.63 |
| <b>2015</b> | -0.20  | \$195.68 | \$18,083.88 | \$0.61 |
| <b>2016</b> | -0.49  | \$193.15 | \$17,923.97 | \$0.59 |
| <b>2017</b> | 1.09   | \$199.84 | \$18,582.09 | \$0.58 |
| <b>2018</b> | 1.67   | \$212.05 | \$19,756.99 | \$0.57 |
| <b>2019</b> | 1.88   | \$205.25 | \$19,143.89 | \$0.56 |
| <b>2020</b> | -9.32  | \$188.48 | \$17,617.29 | \$0.57 |
| <b>2021</b> | 8.38   | \$214.67 | \$20,310.68 | \$0.60 |
| <b>2022</b> | 5.56   | \$217.58 | \$20,867.27 | \$0.62 |
| <b>2023</b> | 2.01   | \$286.38 | \$20,826.90 | \$0.65 |

## CLIMATE DATA

| Year        | <a href="#">Temperature of Greece (°C.)</a> | <a href="#">Precipitation in Greece (mm)</a> | Temperature Rate Greece (%) | Precipitation Rate Greece(%) | Annual days over 30°C in Athens | Number of heatwaves above 36°C and over 3 days in Athens | Temperature in Athens | Temperature in Athens for months 5 to 10 | Precipitation in Athens | Precipitation in Athens for months 5 to 10 | Δείκτης ξηρασίας Spei12 |
|-------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| <b>1973</b> | 13.41                                       | 720.16                                       | 0.00                        | 0.00                         |                                 |                                                          |                       |                                          |                         |                                            |                         |
| <b>1974</b> | 13.3                                        | 702.41                                       | -0.82                       | -2.46                        |                                 |                                                          |                       |                                          |                         |                                            |                         |
| <b>1975</b> | 13.38                                       | 650.65                                       | 0.60                        | -7.37                        |                                 |                                                          |                       |                                          |                         |                                            |                         |
| <b>1976</b> | 12.84                                       | 765.59                                       | -4.04                       | 17.67                        |                                 |                                                          |                       |                                          |                         |                                            |                         |
| <b>1977</b> | 13.88                                       | 487.76                                       | 8.10                        | -36.29                       |                                 |                                                          |                       |                                          |                         |                                            |                         |



|      |       |        |       |        |     |   |       |       |        |        |            |  |
|------|-------|--------|-------|--------|-----|---|-------|-------|--------|--------|------------|--|
| 1978 | 13.25 | 757.8  | -4.54 | 55.36  |     |   |       |       |        |        |            |  |
| 1979 | 13.82 | 830.02 | 4.30  | 9.53   |     |   |       |       |        |        |            |  |
| 1980 | 13.11 | 771.73 | -5.14 | -7.02  | 80  | 2 | 22.12 | 28.91 | 482.27 | 189.04 | 0.61504273 |  |
| 1981 | 13.59 | 727.82 | 3.66  | -5.69  | 86  | 1 | 22.91 | 29.46 | 389.41 | 32.12  | 0.69769494 |  |
| 1982 | 13.4  | 741.22 | -1.40 | 1.84   | 92  | 1 | 22.25 | 29.39 | 514.42 | 108.08 | -0.0473853 |  |
| 1983 | 13.16 | 657.99 | -1.79 | -11.23 | 77  | 1 | 22.26 | 28.52 | 407.32 | 89.51  | 0.11742938 |  |
| 1984 | 13.32 | 617.79 | 1.22  | -6.11  | 93  | 4 | 22.57 | 29.73 | 484.16 | 31.22  | 0.57630583 |  |
| 1985 | 13.59 | 587.79 | 2.03  | -4.86  | 95  | 2 | 22.86 | 29.14 | 471.96 | 107.33 | 0.46972391 |  |
| 1986 | 13.73 | 631.31 | 1.03  | 7.40   | 105 | 1 | 23.04 | 29.42 | 292.59 | 111.99 | -0.9203924 |  |
| 1987 | 13.39 | 720.99 | -2.48 | 14.21  | 93  | 1 | 22.45 | 29.41 | 429.14 | 90.76  | -0.2254925 |  |
| 1988 | 13.68 | 625.57 | 2.17  | -13.23 | 111 | 2 | 22.90 | 30.25 | 471.68 | 44.20  | -0.2599016 |  |
| 1989 | 13.35 | 466.54 | -2.41 | -25.42 | 80  | 1 | 22.95 | 28.68 | 294.71 | 143.25 | -0.5006096 |  |



|      |       |        |       |        |     |   |       |       |        |        |            |
|------|-------|--------|-------|--------|-----|---|-------|-------|--------|--------|------------|
| 1990 | 14.04 | 544.88 | 5.17  | 16.79  | 99  | 3 | 23.69 | 29.70 | 228.03 | 40.06  | -1.512757  |
| 1991 | 12.99 | 639.2  | -7.48 | 17.31  | 83  | 2 | 21.94 | 28.73 | 503.66 | 139.68 | -0.0740372 |
| 1992 | 13.26 | 500.06 | 2.08  | -21.77 | 91  | 4 | 22.47 | 29.21 | 287.95 | 84.83  | -0.0546423 |
| 1993 | 13.48 | 534.42 | 1.66  | 6.87   | 106 | 2 | 23.07 | 30.10 | 334.67 | 73.84  | -0.7447744 |
| 1994 | 14.45 | 729.3  | 7.20  | 36.47  | 123 | 3 | 23.51 | 30.47 | 512.70 | 173.24 | -0.0072234 |
| 1995 | 13.63 | 676.19 | -5.67 | -7.28  | 103 | 2 | 22.90 | 29.24 | 383.11 | 98.48  | -0.0402366 |
| 1996 | 13.3  | 736.88 | -2.42 | 8.98   | 95  | 4 | 22.29 | 29.46 | 485.70 | 116.70 | 0.1537733  |
| 1997 | 13.33 | 608.39 | 0.23  | -17.44 | 81  | 3 | 22.26 | 28.99 | 441.03 | 77.63  | 0.16843048 |
| 1998 | 14.14 | 667.7  | 6.08  | 9.75   | 100 | 2 | 23.12 | 30.18 | 569.12 | 88.39  | 0.70598774 |
| 1999 | 14.67 | 664.57 | 3.75  | -0.47  | 102 | 4 | 23.63 | 30.44 | 504.55 | 147.02 | 0.34622944 |
| 2000 | 14.36 | 426.74 | -2.11 | -35.79 | 99  | 1 | 23.47 | 30.00 | 209.28 | 26.26  | -0.6245976 |
| 2001 | 14.58 | 574.89 | 1.53  | 34.72  | 119 | 1 | 23.94 | 30.86 | 490.50 | 32.42  | -1.5427775 |



|      |       |        |       |        |     |   |       |       |        |        |            |
|------|-------|--------|-------|--------|-----|---|-------|-------|--------|--------|------------|
| 2002 | 14.27 | 812.53 | -2.13 | 41.34  | 78  | 2 | 22.95 | 29.56 | 690.82 | 218.98 | 1.36686448 |
| 2003 | 14.08 | 713.91 | -1.33 | -12.14 | 112 | 5 | 22.72 | 30.68 | 611.92 | 70.08  | 2.47904391 |
| 2004 | 14.07 | 634.39 | -0.07 | -11.14 | 94  | 1 | 23.16 | 29.76 | 409.40 | 66.75  | 0.36607626 |
| 2005 | 13.73 | 715.55 | -2.42 | 12.79  | 88  | 2 | 22.81 | 29.31 | 570.74 | 201.94 | 0.06806795 |
| 2006 | 13.78 | 706.74 | 0.36  | -1.23  | 89  | 3 | 22.54 | 29.26 | 493.38 | 201.32 | 0.76116312 |
| 2007 | 14.53 | 667.28 | 5.44  | -5.58  | 110 | 2 | 24.19 | 31.12 | 307.31 | 119.73 | -0.7185411 |
| 2008 | 14.54 | 562.11 | 0.07  | -15.76 | 114 | 5 | 24.00 | 30.29 | 342.83 | 73.31  | -1.1665675 |
| 2009 | 14.47 | 876.44 | -0.48 | 55.92  | 101 | 1 | 23.45 | 29.77 | 483.61 | 163.56 | -0.2500458 |
| 2010 | 14.97 | 726.56 | 3.46  | -17.10 | 105 | 3 | 24.39 | 30.39 | 411.54 | 194.34 | -0.2753414 |
| 2011 | 13.83 | 616.7  | -7.62 | -15.12 | 96  | 1 | 22.53 | 29.29 | 565.30 | 145.62 | 0.98771249 |
| 2012 | 14.69 | 720.8  | 6.22  | 16.88  | 119 | 1 | 24.03 | 31.47 | 459.17 | 99.51  | -0.2965344 |
| 2013 | 14.74 | 636.68 | 0.34  | -11.67 | 121 | 3 | 24.15 | 30.50 | 389.75 | 54.77  | -0.5562205 |



|      |       |        |       |        |     |   |       |       |        |        |            |
|------|-------|--------|-------|--------|-----|---|-------|-------|--------|--------|------------|
| 2014 | 14.67 | 902.39 | -0.47 | 41.73  | 100 | 1 | 23.93 | 30.11 | 563.08 | 156.50 | -0.1259042 |
| 2015 | 14.35 | 740.02 | -2.18 | -17.99 | 81  | 1 | 22.89 | 29.14 | 551.93 | 270.08 | 1.38655612 |
| 2016 | 14.84 | 675.78 | 3.41  | -8.68  | 100 |   | 23.74 | 29.44 | 337.16 | 112.28 | -0.5352095 |
| 2017 | 14.51 | 696.5  | -2.22 | 3.07   | 88  |   | 23.32 | 29.76 | 388.67 | 115.11 | -0.7446975 |
| 2018 | 15.2  | 730.94 | 4.76  | 4.94   | 96  |   | 23.46 | 29.11 | 583.68 | 304.64 | -0.1426672 |
| 2019 | 15.16 | 799.71 | -0.26 | 9.41   | 94  |   | 23.27 | 29.70 | 579.76 | 83.11  | 1.33117242 |
| 2020 | 15.01 | 659.12 | -0.99 | -17.58 | 105 |   | 23.67 | 30.26 | 506.03 | 134.45 | 0.40195797 |
| 2021 | 15.09 | 725.4  | 0.53  | 10.06  |     |   |       |       |        |        |            |
| 2022 | 14.88 | 548.54 | -1.39 | -24.38 |     |   |       |       |        |        |            |
| 2023 | 15.22 | 652.3  | 2.28  | 18.92  |     |   |       |       |        |        |            |

|      | DEMOGRAPHIC DATA                     |                                    |                                                          |                               |                                             |                                                     |                                                     |                         |                  |                  |
|------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Year | <a href="#">Population of Athens</a> | Population of Athens (*100 people) | <a href="#">Urbanization of Greece (Annual growth %)</a> | Population of Greece (people) | Net Migration Rate Greece (per 1000 people) | <a href="#">Birth Rate Greece (per 1000 people)</a> | <a href="#">Death Rate Greece (per 1000 people)</a> | Net Migration in Greece | Births in Greece | Deaths in Greece |



|      |         |           |        |             |      |        |       |       |        |       |
|------|---------|-----------|--------|-------------|------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 1973 | 2644000 | 264400000 | 1.2121 | 866639<br>0 | 0.47 | 17.095 | 9.633 | 4073  | 148152 | 83483 |
| 1974 | 2691000 | 269100000 | 1.1174 | 872970<br>1 | 1.65 | 17.003 | 9.679 | 14421 | 148431 | 84495 |
| 1975 | 2738000 | 273800000 | 1.6764 | 880541<br>5 | 2.83 | 16.911 | 9.726 | 24955 | 148908 | 85641 |
| 1976 | 2786000 | 278600000 | 2.2811 | 889042<br>8 | 4.02 | 16.82  | 9.772 | 35713 | 149537 | 86877 |
| 1977 | 2835000 | 283500000 | 2.0149 | 898323<br>6 | 5.20 | 16.728 | 9.819 | 46704 | 150272 | 88206 |
| 1978 | 2885000 | 288500000 | 2.0024 | 908430<br>8 | 6.38 | 16.636 | 9.865 | 57967 | 151127 | 89617 |
| 1979 | 2936000 | 293600000 | 1.9417 | 919417<br>8 | 5.51 | 16.186 | 9.785 | 50697 | 148817 | 89965 |
| 1980 | 2987000 | 298700000 | 1.6667 | 930714<br>8 | 4.65 | 15.735 | 9.705 | 43250 | 146448 | 90326 |
| 1981 | 3028000 | 302800000 | 1.4761 | 941899<br>4 | 3.78 | 15.285 | 9.625 | 35604 | 143969 | 90658 |
| 1982 | 3033000 | 303300000 | 0.8942 | 952881<br>5 | 2.91 | 14.834 | 9.545 | 27757 | 141350 | 90953 |
| 1983 | 3038000 | 303800000 | 0.8587 | 963635<br>3 | 2.05 | 14.384 | 9.465 | 19716 | 138609 | 91208 |
| 1984 | 3042000 | 304200000 | 0.773  | 974038<br>2 | 2.35 | 13.705 | 9.457 | 22841 | 133492 | 92115 |



|      |         |           |        |              |      |        |       |       |        |       |
|------|---------|-----------|--------|--------------|------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 1985 | 3047000 | 304700000 | 0.6595 | 984014<br>1  | 2.65 | 13.025 | 9.449 | 26027 | 128168 | 92979 |
| 1986 | 3051000 | 305100000 | 0.6012 | 993672<br>6  | 2.94 | 12.346 | 9.441 | 29254 | 122679 | 93813 |
| 1987 | 3056000 | 305600000 | 0.6041 | 100291<br>41 | 3.24 | 11.666 | 9.433 | 32535 | 117000 | 94605 |
| 1988 | 3060000 | 306000000 | 0.6308 | 101201<br>91 | 3.54 | 10.987 | 9.425 | 35856 | 111191 | 95383 |
| 1989 | 3065000 | 306500000 | 0.7874 | 102119<br>79 | 4.59 | 10.831 | 9.351 | 46832 | 110606 | 95492 |
| 1990 | 3070000 | 307000000 | 1.3212 | 103022<br>55 | 5.63 | 10.675 | 9.278 | 57991 | 109977 | 95584 |
| 1991 | 3076000 | 307600000 | 1.4352 | 103915<br>47 | 6.67 | 10.52  | 9.204 | 69332 | 109319 | 95644 |
| 1992 | 3088000 | 308800000 | 0.934  | 104783<br>88 | 7.72 | 10.364 | 9.131 | 80841 | 108598 | 95678 |
| 1993 | 3099000 | 309900000 | 0.7567 | 105634<br>41 | 8.76 | 10.208 | 9.057 | 92515 | 107832 | 95673 |
| 1994 | 3110000 | 311000000 | 0.6675 | 106474<br>16 | 8.10 | 10.131 | 9.066 | 86212 | 107869 | 96529 |
| 1995 | 3122000 | 312200000 | 0.6351 | 107279<br>27 | 7.44 | 10.054 | 9.076 | 79762 | 107859 | 97367 |
| 1996 | 3133000 | 313300000 | 0.6069 | 108038<br>06 | 6.77 | 9.976  | 9.085 | 73185 | 107779 | 98153 |



|      |         |           |        |        |       |        |       |        |        |
|------|---------|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 1997 |         |           |        | 108752 |       |        |       |        | 98911  |
|      | 3145000 | 314500000 | 0.6579 | 73     | 6.11  | 9.899  | 9.095 | 66470  | 107654 |
| 1998 |         |           |        | 109394 |       |        |       |        | 99593  |
|      | 3156000 | 315600000 | 0.7199 | 75     | 5.45  | 9.822  | 9.104 | 59631  | 107448 |
| 1999 |         |           |        | 109938 |       |        |       |        | 10015  |
|      | 3168000 | 316800000 | 0.5475 | 62     | 4.77  | 9.789  | 9.11  | 52419  | 107619 |
| 2000 |         |           |        | 110381 |       |        |       |        | 10062  |
|      | 3179000 | 317900000 | 0.5728 | 09     | 4.09  | 9.756  | 9.116 | 45091  | 107688 |
| 2001 |         |           |        | 110721 |       |        |       |        | 10100  |
|      | 3187000 | 318700000 | 0.7904 | 82     | 3.40  | 9.722  | 9.122 | 37679  | 107644 |
| 2002 |         |           |        | 110966 |       |        |       |        | 10129  |
|      | 3185000 | 318500000 | 0.9    | 17     | 2.72  | 9.689  | 9.128 | 30183  | 107515 |
| 2003 |         |           |        | 111104 |       |        |       |        | 10148  |
|      | 3183000 | 318300000 | 0.7639 | 87     | 2.04  | 9.656  | 9.134 | 22632  | 107283 |
| 2004 |         |           |        | 111150 |       |        |       |        | 10245  |
|      | 3182000 | 318200000 | 0.7672 | 91     | 0.29  | 9.757  | 9.218 | 3201   | 108450 |
| 2005 |         |           |        | 111134 |       |        |       |        | 10336  |
|      | 3180000 | 318000000 | 0.8036 | 48     | -1.46 | 9.858  | 9.301 | -16237 | 109556 |
| 2006 |         |           |        | 111060 |       |        |       |        | 10423  |
|      | 3178000 | 317800000 | 0.8027 | 93     | -3.21 | 9.958  | 9.385 | -35639 | 110594 |
| 2007 |         |           |        | 110914 |       |        |       |        | 10501  |
|      | 3176000 | 317600000 | 0.7507 | 93     | -4.96 | 10.059 | 9.468 | -54992 | 111569 |
| 2008 |         |           |        | 110736 |       |        |       |        | 10577  |
|      | 3174000 | 317400000 | 0.755  | 23     | -6.71 | 10.16  | 9.552 | -74271 | 112508 |



|      |         |           |         |              |       |       |        |        |        |            |
|------|---------|-----------|---------|--------------|-------|-------|--------|--------|--------|------------|
| 2009 | 3172000 | 317200000 | 0.7436  | 110554<br>96 | -5.97 | 9.914 | 9.673  | -65957 | 109604 | 10694<br>0 |
| 2010 | 3170000 | 317000000 | 0.6019  | 110337<br>83 | -5.23 | 9.667 | 9.793  | -57663 | 106664 | 10805<br>4 |
| 2011 | 3169000 | 316900000 | 0.3189  | 110047<br>25 | -4.49 | 9.421 | 9.914  | -49356 | 103676 | 10910<br>1 |
| 2012 | 3167000 | 316700000 | -0.0787 | 109636<br>35 | -3.75 | 9.174 | 10.034 | -41059 | 100580 | 11000<br>9 |
| 2013 | 3165000 | 316500000 | -0.2703 | 109145<br>05 | -3.00 | 8.928 | 10.155 | -32787 | 97445  | 11083<br>7 |
| 2014 | 3163000 | 316300000 | -0.2185 | 108629<br>69 | -2.71 | 8.71  | 10.286 | -29406 | 94616  | 11173<br>6 |
| 2015 | 3161000 | 316100000 | -0.2171 | 108066<br>41 | -2.41 | 8.492 | 10.418 | -26044 | 91770  | 11258<br>4 |
| 2016 | 3159000 | 315900000 | 0.0201  | 107497<br>42 | -2.11 | 8.275 | 10.549 | -22703 | 88954  | 11339<br>9 |
| 2017 | 3157000 | 315700000 | 0.2312  | 106922<br>28 | -1.82 | 8.057 | 10.681 | -19406 | 86147  | 11420<br>4 |
| 2018 | 3156000 | 315600000 | 0.2205  | 106332<br>71 | -1.52 | 7.839 | 10.812 | -16141 | 83354  | 11496<br>7 |
| 2019 | 3154000 | 315400000 | 0.3112  | 105740<br>24 | -1.37 | 7.657 | 10.924 | -14486 | 80965  | 11551<br>1 |
| 2020 | 3153000 | 315300000 | 0.1965  | 105122<br>32 | -1.22 | 7.475 | 11.035 | -12846 | 78579  | 11600<br>2 |



|      |         |           |         |        |       |       |        |        |       |       |
|------|---------|-----------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 2021 |         |           |         | 104453 |       |       |        |        |       | 11643 |
|      | 3153000 | 315300000 | -0.8124 | 65     | -1.07 | 7.294 | 11.147 | -11218 | 76188 | 4     |
| 2022 |         |           |         | 103849 |       |       |        |        |       | 11691 |
|      | 3154000 | 315400000 | -0.9576 | 71     | -0.93 | 7.112 | 11.258 | -9616  | 73858 | 4     |
| 2023 |         |           |         | 103412 |       |       |        |        |       | 11758 |
|      | 3154000 | 315400000 | 0.1768  | 77     | -0.78 | 6.93  | 11.37  | -8046  | 71665 | 0     |

Πίνακας 18

| CONSUMPTION DATA |                                                |                                               |                                                           |
|------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Year             | Water Consumption in Athens (hm <sup>3</sup> ) | Water Consumption in Athens (m <sup>3</sup> ) | Per Capita Consumption in Athens (m <sup>3</sup> /person) |
| 1973             | 169.40                                         | 169400000                                     | 64.07                                                     |
| 1974             | 172.90                                         | 172900000                                     | 64.25                                                     |
| 1975             | 179.20                                         | 179200000                                     | 65.45                                                     |
| 1976             | 187.90                                         | 187900000                                     | 67.44                                                     |
| 1977             | 211.00                                         | 211000000                                     | 74.43                                                     |
| 1978             | 226.90                                         | 226900000                                     | 78.65                                                     |
| 1979             | 244.00                                         | 244000000                                     | 83.11                                                     |
| 1980             | 256.60                                         | 256600000                                     | 85.91                                                     |
| 1981             | 282.00                                         | 282000000                                     | 93.13                                                     |
| 1982             | 273.90                                         | 273900000                                     | 90.31                                                     |
| 1983             | 261.30                                         | 261300000                                     | 86.01                                                     |
| 1984             | 275.00                                         | 275000000                                     | 90.40                                                     |
| 1985             | 291.30                                         | 291300000                                     | 95.60                                                     |
| 1986             | 306.40                                         | 306400000                                     | 100.43                                                    |
| 1987             | 328.60                                         | 328600000                                     | 107.53                                                    |
| 1988             | 361.70                                         | 361700000                                     | 118.20                                                    |
| 1989             | 370.00                                         | 370000000                                     | 120.72                                                    |
| 1990             | 326.50                                         | 326500000                                     | 106.35                                                    |
| 1991             | 323.80                                         | 323800000                                     | 105.27                                                    |
| 1992             | 330.30                                         | 330300000                                     | 106.96                                                    |
| 1993             | 252.30                                         | 252300000                                     | 81.41                                                     |
| 1994             | 263.60                                         | 263600000                                     | 84.76                                                     |
| 1995             | 284.00                                         | 284000000                                     | 90.97                                                     |
| 1996             | 307.43                                         | 307431950                                     | 98.13                                                     |
| 1997             | 319.43                                         | 319427130                                     | 101.57                                                    |
| 1998             | 339.68                                         | 339675790                                     | 107.63                                                    |
| 1999             | 357.00                                         | 357003054                                     | 112.69                                                    |



|             |        |           |        |
|-------------|--------|-----------|--------|
| <b>2000</b> | 385.86 | 385856074 | 121.38 |
| <b>2001</b> | 400.56 | 400558217 | 125.69 |
| <b>2002</b> | 416.08 | 416080430 | 130.64 |
| <b>2003</b> | 399.22 | 399220305 | 125.42 |
| <b>2004</b> | 413.37 | 413368487 | 129.91 |
| <b>2005</b> | 400.00 | 399997211 | 125.79 |
| <b>2006</b> | 412.04 | 412038584 | 129.65 |
| <b>2007</b> | 420.76 | 420759914 | 132.48 |
| <b>2008</b> | 431.02 | 431018253 | 135.80 |
| <b>2009</b> | 414.79 | 414785501 | 130.76 |
| <b>2010</b> | 417.63 | 417628625 | 131.74 |
| <b>2011</b> | 406.51 | 406513854 | 128.28 |
| <b>2012</b> | 407.68 | 407676199 | 128.73 |
| <b>2013</b> | 398.20 | 398198864 | 125.81 |
| <b>2014</b> | 399.06 | 399061553 | 126.17 |
| <b>2015</b> | 305.50 | 305500000 | 96.65  |
| <b>2016</b> | 310.20 | 310200000 | 98.20  |
| <b>2017</b> | 315.70 | 315700000 | 100.00 |
| <b>2018</b> | 321.10 | 321100000 | 101.74 |
| <b>2019</b> | 326.80 | 326800000 | 103.61 |
| <b>2020</b> | 332.50 | 332500000 | 105.46 |
| <b>2021</b> | 338.40 | 338400000 | 107.33 |
| <b>2022</b> | 344.20 | 344200000 | 109.13 |
| <b>2023</b> | 350.10 | 350100000 | 111.00 |

Πίνακας 19

| Μετατροπή τιμών νερού από € σε \$ |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                   | 1973   | 1974   | 1975   | 1976   | 1977   |
| Τιμή του νερού (PPP\$)            | \$1.09 | \$1.09 | \$1.09 | \$1.09 | \$1.09 |
| Κόστος του νερού (PPP\$)          | \$0.16 | \$0.16 | \$0.16 | \$0.16 | \$0.16 |
|                                   |        |        |        |        |        |
| Τιμή του νερού (PPP\$)            | \$0.92 | \$0.92 | \$0.92 | \$0.92 | \$0.92 |
| Κόστος του νερού (PPP\$)          | \$0.16 | \$0.16 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 |
|                                   |        |        |        |        |        |
| Τιμή του νερού (PPP\$)            | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 |
| Κόστος του νερού (PPP\$)          | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 |
|                                   |        |        |        |        |        |
| Τιμή του νερού (PPP\$)            | \$0.34 | \$0.34 | \$0.34 | \$0.34 | \$0.34 |

|                          |        |        |        |        |        |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.74 | \$0.74 | \$0.74 | \$0.74 | \$0.74 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 | \$0.58 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.52 | \$0.52 | \$0.52 | \$0.31 | \$0.31 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.47 | \$0.47 | \$0.47 | \$0.47 | \$0.47 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.31 | \$0.31 | \$0.31 | \$0.31 | \$0.31 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.46 | \$0.46 | \$0.46 | \$0.46 | \$0.46 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 | \$0.24 |
| Τιμή του νερού (PPP\$)   | \$0.65 |        |        |        |        |
| Κόστος του νερού (PPP\$) | \$0.24 |        |        |        |        |

## 9.2 Δεδομένα πρόβλεψης SSP

Πίνακας 20

### SSP1

| Δημογραφικά |                       |              |                  | Κλιματολογικά      |                      | Οικονομικά |                       |
|-------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|-----------------------|
| Έτος        | Πληθυσμός της Ελλάδας | Αστικοποίηση | Πληθυσμός Αθήνας | Θερμοκρασία Αθήνας | Κατακρήμνισ η Αθήνας | Spei12     | Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (\$) |



|      |          |        |         |             |             |          |             |
|------|----------|--------|---------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 2024 | 11503000 | 0.841  | 3423547 | 24.20292448 | 498.5286128 | -0.49305 | \$15,984.00 |
| 2025 | 11503000 | 0.841  | 3423547 | 24.56611703 | 264.2165018 | -0.55627 | \$15,984.00 |
| 2026 | 11507600 | 0.8202 | 3423260 | 24.82357505 | 287.4449615 | -2.52315 | \$16,603.60 |
| 2027 | 11512200 | 0.7994 | 3422974 | 25.13209461 | 317.8087928 | -1.21201 | \$17,223.20 |
| 2028 | 11516800 | 0.7786 | 3422687 | 25.96189383 | 353.7932197 | -1.16154 | \$17,842.80 |
| 2029 | 11521400 | 0.7578 | 3422400 | 24.79016728 | 201.3606023 | -1.47316 | \$18,462.40 |
| 2030 | 11526000 | 0.737  | 3422113 | 25.33960859 | 317.4287198 | -1.49536 | \$19,082.00 |
| 2031 | 11533800 | 0.7186 | 3422948 | 25.12184324 | 252.0842397 | -1.64657 | \$19,776.40 |
| 2032 | 11541600 | 0.7002 | 3423784 | 25.24030611 | 293.93635   | -2.00447 | \$20,470.80 |
| 2033 | 11549400 | 0.6818 | 3424619 | 24.73435722 | 497.9217098 | -0.80631 | \$21,165.20 |
| 2034 | 11557200 | 0.6634 | 3425454 | 24.99240187 | 236.4952363 | -0.94015 | \$21,859.60 |
| 2035 | 11565000 | 0.645  | 3426289 | 25.6284354  | 448.0665805 | -0.63613 | \$22,554.00 |
| 2036 | 11573800 | 0.6286 | 3427573 | 25.55233953 | 386.5057644 | -1.15156 | \$23,283.20 |
| 2037 | 11582600 | 0.6122 | 3428857 | 24.59810027 | 342.4831159 | -1.121   | \$24,012.40 |
| 2038 | 11591400 | 0.5958 | 3430141 | 24.83709466 | 440.3198513 | -0.04303 | \$24,741.60 |
| 2039 | 11600200 | 0.5794 | 3431425 | 23.87645218 | 714.1418226 | -0.16594 | \$25,470.80 |
| 2040 | 11609000 | 0.563  | 3432709 | 24.58465148 | 432.7102808 | 0.965897 | \$26,200.00 |
| 2041 | 11615200 | 0.5486 | 3433390 | 25.17667566 | 412.7240142 | -0.18599 | \$26,950.00 |
| 2042 | 11621400 | 0.5342 | 3434072 | 25.91854715 | 336.8456277 | -1.04819 | \$27,700.00 |
| 2043 | 11627600 | 0.5198 | 3434754 | 25.11212253 | 368.670363  | -1.08695 | \$28,450.00 |
| 2044 | 11633800 | 0.5054 | 3435435 | 25.0913367  | 400.5322885 | -0.54418 | \$29,200.00 |
| 2045 | 11640000 | 0.491  | 3436117 | 25.75477616 | 459.1533481 | -1.07958 | \$29,950.00 |
| 2046 | 11640400 | 0.4784 | 3435246 | 24.69027898 | 314.7858956 | -0.49371 | \$30,701.60 |
| 2047 | 11640800 | 0.4658 | 3434376 | 26.34438504 | 277.7568759 | -1.87784 | \$31,453.20 |
| 2048 | 11641200 | 0.4532 | 3433506 | 25.52852332 | 379.5274557 | -1.17026 | \$32,204.80 |
| 2049 | 11641600 | 0.4406 | 3432635 | 25.607765   | 333.9533581 | -1.16862 | \$32,956.40 |
| 2050 | 11642000 | 0.428  | 3431765 | 27.39463651 | 242.3867327 | -2.14082 | \$33,708.00 |
| 2051 | 11635800 | 0.4168 | 3429078 | 25.25094941 | 450.4957892 | -0.83059 | \$34,475.60 |
| 2052 | 11629600 | 0.4056 | 3426391 | 25.98715846 | 474.4152767 | -0.80482 | \$35,243.20 |
| 2053 | 11623400 | 0.3944 | 3423703 | 26.79499965 | 386.1656992 | -0.78312 | \$36,010.80 |
| 2054 | 11617200 | 0.3832 | 3421016 | 25.85592148 | 436.019456  | -0.42422 | \$36,778.40 |
| 2055 | 11611000 | 0.372  | 3418329 | 25.43567007 | 349.2683384 | -0.46109 | \$37,546.00 |
| 2056 | 11599800 | 0.3622 | 3414292 | 26.22877406 | 386.6363664 | -1.56666 | \$38,361.60 |
| 2057 | 11588600 | 0.3524 | 3410255 | 25.33997178 | 420.2585436 | -0.96664 | \$39,177.20 |
| 2058 | 11577400 | 0.3426 | 3406218 | 27.0538823  | 234.7546725 | -0.96641 | \$39,992.80 |
| 2059 | 11566200 | 0.3328 | 3402181 | 26.45497171 | 278.7919523 | -2.31975 | \$40,808.40 |
| 2060 | 11555000 | 0.323  | 3398144 | 26.58579353 | 368.909881  | -1.38926 | \$41,624.00 |
| 2061 | 11536000 | 0.3146 | 3391940 | 25.80857505 | 486.3876292 | -1.08616 | \$42,485.80 |
| 2062 | 11517000 | 0.3062 | 3385736 | 26.64041864 | 422.25568   | -0.14824 | \$43,347.60 |
| 2063 | 11498000 | 0.2978 | 3379532 | 25.63226224 | 397.4113883 | -0.92636 | \$44,209.40 |
| 2064 | 11479000 | 0.2894 | 3373328 | 26.20849546 | 261.4870822 | -1.47965 | \$45,071.20 |



|      |          |        |         |             |             |          |             |
|------|----------|--------|---------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 2065 | 11460000 | 0.281  | 3367124 | 26.40625659 | 406.5737387 | -1.54114 | \$45,933.00 |
| 2066 | 11428800 | 0.2736 | 3357437 | 26.2142455  | 549.2920136 | -0.19282 | \$46,824.80 |
| 2067 | 11397600 | 0.2662 | 3347750 | 26.33175936 | 584.0653513 | -0.17708 | \$47,716.60 |
| 2068 | 11366400 | 0.2588 | 3338063 | 25.17242303 | 369.1712955 | 0.741652 | \$48,608.40 |
| 2069 | 11335200 | 0.2514 | 3328376 | 25.60223427 | 315.4505001 | -1.34044 | \$49,500.20 |
| 2070 | 11304000 | 0.244  | 3318690 | 26.14337957 | 298.1225615 | -2.35231 | \$50,392.00 |
| 2071 | 11262000 | 0.2376 | 3305929 | 26.20916165 | 249.8663389 | -1.03814 | \$51,304.80 |
| 2072 | 11220000 | 0.2312 | 3293168 | 26.01679631 | 390.1988388 | -1.9885  | \$52,217.60 |
| 2073 | 11178000 | 0.2248 | 3280407 | 26.03891023 | 293.2854473 | -1.55451 | \$53,130.40 |
| 2074 | 11136000 | 0.2184 | 3267646 | 24.99282086 | 496.9220737 | -0.58572 | \$54,043.20 |

Πίνακας 21

## SSP2

| Έτος | Δημογραφικά           |              |                  | Κλιματολογικά      |                     |          | Οικονομικά  |
|------|-----------------------|--------------|------------------|--------------------|---------------------|----------|-------------|
|      | Πληθυσμός της Ελλάδας | Αστικοποίηση | Πληθυσμός Αθήνας | Θερμοκρασία Αθήνας | Κατακρήμνιση Αθήνας | Spei12   |             |
| 2024 | 11402000              | 0.593        | 3374637          | 23.8537601         | 328.9503012         | -1.02348 | \$15,231.00 |
| 2025 | 11402000              | 0.593        | 3374637          | 24.94564208        | 443.9181739         | -0.16238 | \$15,231.00 |
| 2026 | 11397400              | 0.5784       | 3372150          | 24.79237402        | 372.20629           | -0.72203 | \$15,627.00 |
| 2027 | 11392800              | 0.5638       | 3369664          | 25.07628459        | 529.4116367         | -1.42175 | \$16,023.00 |
| 2028 | 11388200              | 0.5492       | 3367177          | 25.47908039        | 269.2918223         | 0.438347 | \$16,419.00 |
| 2029 | 11383600              | 0.5346       | 3364691          | 24.13382645        | 439.6740555         | -0.89578 | \$16,815.00 |
| 2030 | 11379000              | 0.52         | 3362204          | 24.11583765        | 542.1377124         | -0.35906 | \$17,211.00 |
| 2031 | 11376400              | 0.5076       | 3360474          | 23.85578182        | 319.2570497         | 0.25291  | \$17,589.80 |
| 2032 | 11373800              | 0.4952       | 3358743          | 24.87142024        | 325.560964          | -1.69335 | \$17,968.60 |
| 2033 | 11371200              | 0.4828       | 3357013          | 24.02131246        | 332.3983649         | -0.89173 | \$18,347.40 |
| 2034 | 11368600              | 0.4704       | 3355283          | 23.91374274        | 629.2268639         | 0.611215 | \$18,726.20 |
| 2035 | 11366000              | 0.458        | 3353552          | 25.69441307        | 234.9295004         | -1.01118 | \$19,105.00 |
| 2036 | 11363000              | 0.4474       | 3351846          | 25.0452921         | 313.9250666         | -1.89413 | \$19,493.40 |
| 2037 | 11360000              | 0.4368       | 3350140          | 24.80335164        | 411.1730021         | -0.86011 | \$19,881.80 |
| 2038 | 11357000              | 0.4262       | 3348434          | 25.41516725        | 490.995834          | -0.12939 | \$20,270.20 |
| 2039 | 11354000              | 0.4156       | 3346728          | 25.90991585        | 291.4790818         | -1.22336 | \$20,658.60 |
| 2040 | 11351000              | 0.405        | 3345022          | 27.78662917        | 340.309949          | -1.38539 | \$21,047.00 |
| 2041 | 11344200              | 0.3962       | 3342347          | 25.53896611        | 628.3582156         | 0.408859 | \$21,448.00 |
| 2042 | 11337400              | 0.3874       | 3339673          | 26.24175942        | 302.8862811         | -0.86363 | \$21,849.00 |
| 2043 | 11330600              | 0.3786       | 3336999          | 24.62773702        | 500.0640869         | -0.87631 | \$22,250.00 |
| 2044 | 11323800              | 0.3698       | 3334325          | 26.15910835        | 282.3660793         | -1.09973 | \$22,651.00 |
| 2045 | 11317000              | 0.361        | 3331650          | 25.02594943        | 503.5180507         | -0.55586 | \$23,052.00 |
| 2046 | 11303200              | 0.3532       | 3327011          | 24.93477616        | 473.0025903         | -0.49127 | \$23,463.00 |
| 2047 | 11289400              | 0.3454       | 3322372          | 26.38148015        | 338.3964109         | -0.62343 | \$23,874.00 |

|      |          |        |         |             |             |          |             |
|------|----------|--------|---------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 2048 | 11275600 | 0.3376 | 3317733 | 25.47228377 | 307.4443135 | -0.78147 | \$24,285.00 |
| 2049 | 11261800 | 0.3298 | 3313093 | 25.32849128 | 369.6708255 | -1.39452 | \$24,696.00 |
| 2050 | 11248000 | 0.322  | 3308454 | 26.70594936 | 234.4653096 | -2.15846 | \$25,107.00 |
| 2051 | 11227600 | 0.3154 | 3301982 | 26.048603   | 435.9170866 | -1.71816 | \$25,547.00 |
| 2052 | 11207200 | 0.3088 | 3295511 | 25.67075176 | 223.349369  | -1.18169 | \$25,987.00 |
| 2053 | 11186800 | 0.3022 | 3289039 | 26.60955272 | 355.5323764 | -1.02756 | \$26,427.00 |
| 2054 | 11166400 | 0.2956 | 3282567 | 27.15094927 | 233.6936651 | -2.61122 | \$26,867.00 |
| 2055 | 11146000 | 0.289  | 3276096 | 26.89527901 | 348.7331364 | -1.43706 | \$27,307.00 |
| 2056 | 11121200 | 0.2834 | 3268418 | 28.04871831 | 364.4394259 | -1.94629 | \$27,800.80 |
| 2057 | 11096400 | 0.2778 | 3260740 | 26.47536276 | 310.6688947 | -1.48151 | \$28,294.60 |
| 2058 | 11071600 | 0.2722 | 3253063 | 26.71762535 | 421.142719  | -0.98656 | \$28,788.40 |
| 2059 | 11046800 | 0.2666 | 3245385 | 26.59782078 | 237.7934962 | -2.10352 | \$29,282.20 |
| 2060 | 11022000 | 0.261  | 3237707 | 26.02378801 | 342.9461066 | -1.75592 | \$29,776.00 |
| 2061 | 10990400 | 0.256  | 3228092 | 25.44298848 | 311.7094811 | -1.32411 | \$30,323.80 |
| 2062 | 10958800 | 0.251  | 3218476 | 27.21963658 | 169.0015651 | -2.28871 | \$30,871.60 |
| 2063 | 10927200 | 0.246  | 3208860 | 27.33594935 | 347.5800632 | -2.00676 | \$31,419.40 |
| 2064 | 10895600 | 0.241  | 3199245 | 26.92894112 | 430.4156331 | -1.50855 | \$31,967.20 |
| 2065 | 10864000 | 0.236  | 3189629 | 27.18122868 | 418.7241834 | -0.86086 | \$32,515.00 |
| 2066 | 10828400 | 0.2316 | 3178893 | 26.94586557 | 423.5770083 | -1.14044 | \$33,112.20 |
| 2067 | 10792800 | 0.2272 | 3168157 | 25.73804437 | 214.7064622 | -1.40304 | \$33,709.40 |
| 2068 | 10757200 | 0.2228 | 3157421 | 26.61548709 | 280.1201654 | -2.62311 | \$34,306.60 |
| 2069 | 10721600 | 0.2184 | 3146685 | 26.84832371 | 312.9943985 | -1.70684 | \$34,903.80 |
| 2070 | 10686000 | 0.214  | 3135949 | 25.18798846 | 362.6140721 | -0.86068 | \$35,501.00 |
| 2071 | 10647600 | 0.2102 | 3124442 | 27.31494373 | 321.54216   | -1.91341 | \$36,145.40 |
| 2072 | 10609200 | 0.2064 | 3112936 | 27.29682415 | 432.0313627 | -1.66746 | \$36,789.80 |
| 2073 | 10570800 | 0.2026 | 3101429 | 25.68617285 | 338.4822935 | -1.03716 | \$37,434.20 |
| 2074 | 10532400 | 0.1988 | 3089923 | 28.5065918  | 227.602191  | -1.95013 | \$38,078.60 |

Πίνακας 22

## SSP5

| Δημογραφικά |                       |              |                  | Κλιματολογικά      |                     |          | Οικονομικά            |
|-------------|-----------------------|--------------|------------------|--------------------|---------------------|----------|-----------------------|
| Έτος        | Πληθυσμός της Ελλάδας | Αστικοποίηση | Πληθυσμός Αθήνας | Θερμοκρασία Αθήνας | Κατακρήμνιση Αθήνας | Spei12   | Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (\$) |
| 2024        | 11712000              | 0.841        | 3484553          | 25.63654564        | 541.1416725         | -0.34874 | \$16,643.00           |
| 2025        | 11712000              | 0.841        | 3484553          | 24.39790472        | 459.4803775         | 0.662113 | \$16,643.00           |
| 2026        | 11745800              | 0.8202       | 3492790          | 24.15321196        | 394.3764575         | -0.67744 | \$17,462.80           |
| 2027        | 11779600              | 0.7994       | 3501026          | 24.07374266        | 524.2924035         | -0.5374  | \$18,282.60           |
| 2028        | 11813400              | 0.7786       | 3509263          | 24.81665708        | 264.5199314         | 0.003783 | \$19,102.40           |
| 2029        | 11847200              | 0.7578       | 3517499          | 25.32184316        | 360.5777024         | -1.61849 | \$19,922.20           |
| 2030        | 11881000              | 0.737        | 3525736          | 24.62972029        | 331.2026734         | -1.40673 | \$20,742.00           |



|      |          |        |         |             |             |          |             |
|------|----------|--------|---------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 2031 | 11922000 | 0.7186 | 3536262 | 24.70354715 | 423.7663148 | -0.70384 | \$21,719.80 |
| 2032 | 11963000 | 0.7002 | 3546788 | 23.96417796 | 335.445288  | -0.58932 | \$22,697.60 |
| 2033 | 12004000 | 0.6818 | 3557314 | 24.71139632 | 389.4347525 | -0.47386 | \$23,675.40 |
| 2034 | 12045000 | 0.6634 | 3567840 | 25.43634044 | 267.19233   | -1.61424 | \$24,653.20 |
| 2035 | 12086000 | 0.645  | 3578366 | 25.22958066 | 310.3796779 | -1.51762 | \$25,631.00 |
| 2036 | 12132000 | 0.6286 | 3590509 | 24.74877401 | 429.2285186 | -0.53588 | \$26,681.80 |
| 2037 | 12178000 | 0.6122 | 3602651 | 25.00106111 | 368.2904967 | -1.36247 | \$27,732.60 |
| 2038 | 12224000 | 0.5958 | 3614793 | 26.7892175  | 196.6102877 | -1.51555 | \$28,783.40 |
| 2039 | 12270000 | 0.5794 | 3626936 | 25.33854712 | 365.1278424 | -2.05688 | \$29,834.20 |
| 2040 | 12316000 | 0.563  | 3639078 | 25.221476   | 237.0833034 | -1.22688 | \$30,885.00 |
| 2041 | 12365000 | 0.5486 | 3652253 | 25.50111696 | 384.1660922 | -1.93583 | \$31,999.60 |
| 2042 | 12414000 | 0.5342 | 3665427 | 25.12930135 | 235.0834567 | -1.26263 | \$33,114.20 |
| 2043 | 12463000 | 0.5198 | 3678602 | 26.75145215 | 395.7389619 | -1.73935 | \$34,228.80 |
| 2044 | 12512000 | 0.5054 | 3691777 | 25.33208882 | 243.5942127 | -0.86908 | \$35,343.40 |
| 2045 | 12561000 | 0.491  | 3704951 | 25.3170946  | 275.7954016 | -2.58988 | \$36,458.00 |
| 2046 | 12611400 | 0.4784 | 3718676 | 26.38187122 | 106.5744178 | -2.07314 | \$37,619.40 |
| 2047 | 12661800 | 0.4658 | 3732400 | 26.50550249 | 403.9336304 | -2.42238 | \$38,780.80 |
| 2048 | 12712200 | 0.4532 | 3746125 | 25.44579347 | 310.0940834 | -0.35694 | \$39,942.20 |
| 2049 | 12762600 | 0.4406 | 3759849 | 25.70793268 | 279.5553804 | -2.30623 | \$41,103.60 |
| 2050 | 12813000 | 0.428  | 3773573 | 27.12818398 | 214.9914211 | -1.86803 | \$42,265.00 |
| 2051 | 12863200 | 0.4168 | 3787349 | 27.26533484 | 226.1440916 | -2.56977 | \$43,501.20 |
| 2052 | 12913400 | 0.4056 | 3801125 | 26.51955398 | 429.052578  | -1.92275 | \$44,737.40 |
| 2053 | 12963600 | 0.3944 | 3814900 | 26.51773706 | 375.290496  | -0.79643 | \$45,973.60 |
| 2054 | 13013800 | 0.3832 | 3828676 | 26.28935726 | 404.6773295 | -0.99207 | \$47,209.80 |
| 2055 | 13064000 | 0.372  | 3842452 | 25.56888241 | 471.4447232 | -0.43671 | \$48,446.00 |
| 2056 | 13114800 | 0.3622 | 3856512 | 26.00261804 | 433.0220766 | -1.15123 | \$49,808.00 |
| 2057 | 13165600 | 0.3524 | 3870572 | 26.56611703 | 263.901284  | -1.16887 | \$51,170.00 |
| 2058 | 13216400 | 0.3426 | 3884633 | 25.59229016 | 478.2949477 | -0.53991 | \$52,532.00 |
| 2059 | 13267200 | 0.3328 | 3898693 | 26.49547456 | 279.7157997 | -1.5191  | \$53,894.00 |
| 2060 | 13318000 | 0.323  | 3912754 | 27.18534784 | 334.813571  | -1.27523 | \$55,256.00 |
| 2061 | 13362800 | 0.3146 | 3925173 | 28.21371473 | 316.1555294 | -2.5592  | \$56,752.60 |
| 2062 | 13407600 | 0.3062 | 3937591 | 27.46248571 | 288.410919  | -1.3817  | \$58,249.20 |
| 2063 | 13452400 | 0.2978 | 3950010 | 27.03136835 | 352.5320733 | -2.2454  | \$59,745.80 |
| 2064 | 13497200 | 0.2894 | 3962429 | 26.68551497 | 424.6249921 | -0.76357 | \$61,242.40 |
| 2065 | 13542000 | 0.281  | 3974848 | 27.09298844 | 311.3560463 | -1.34897 | \$62,739.00 |
| 2066 | 13574600 | 0.2736 | 3983784 | 27.41896614 | 305.4658829 | -2.4803  | \$64,359.40 |
| 2067 | 13607200 | 0.2662 | 3992720 | 26.94592141 | 336.7574921 | -1.85213 | \$65,979.80 |
| 2068 | 13639800 | 0.2588 | 4001656 | 27.60050103 | 240.3198394 | -1.44277 | \$67,600.20 |
| 2069 | 13672400 | 0.2514 | 4010592 | 27.43209462 | 486.4009918 | -1.41035 | \$69,220.60 |
| 2070 | 13705000 | 0.244  | 4019528 | 28.12793255 | 207.7167975 | -2.11755 | \$70,841.00 |
| 2071 | 13726800 | 0.2376 | 4025390 | 27.3682678  | 480.5251228 | -2.16603 | \$72,584.80 |
| 2072 | 13748600 | 0.2312 | 4031252 | 27.52924757 | 187.2781623 | -1.15433 | \$74,328.60 |



|             |          |        |         |             |             |          |             |
|-------------|----------|--------|---------|-------------|-------------|----------|-------------|
| <b>2073</b> | 13770400 | 0.2248 | 4037114 | 27.6670388  | 329.7897299 | -2.5367  | \$76,072.40 |
| <b>2074</b> | 13792200 | 0.2184 | 4042976 | 27.46385443 | 381.3359007 | -1.62524 | \$77,816.20 |

### 9.3 Αναλυτικά αποτελέσματα

Πίνακας 23

#### SSP1

|             | POP ATH  | PCC     | NL       | WP   | WD       |
|-------------|----------|---------|----------|------|----------|
| <b>2024</b> | 3.42E+06 | 111     | 8.36E+07 | 0.65 | 3.50E+08 |
| <b>2025</b> | 3.42E+06 | 104.149 | 7.76E+07 | 0.78 | 4.34E+08 |
| <b>2026</b> | 3.42E+06 | 104.149 | 7.67E+07 | 0.65 | 4.34E+08 |
| <b>2027</b> | 3.42E+06 | 111.614 | 8.13E+07 | 0.65 | 4.63E+08 |
| <b>2028</b> | 3.42E+06 | 111.614 | 8.04E+07 | 0.85 | 4.63E+08 |
| <b>2029</b> | 3.42E+06 | 98.208  | 6.99E+07 | 0.85 | 4.06E+08 |
| <b>2030</b> | 3.42E+06 | 98.208  | 6.91E+07 | 0.85 | 4.06E+08 |
| <b>2031</b> | 3.42E+06 | 98.553  | 6.86E+07 | 0.85 | 4.06E+08 |
| <b>2032</b> | 3.42E+06 | 98.553  | 6.78E+07 | 0.85 | 4.06E+08 |
| <b>2033</b> | 3.43E+06 | 96.328  | 6.55E+07 | 0.85 | 3.95E+08 |
| <b>2034</b> | 3.43E+06 | 96.328  | 6.47E+07 | 0.65 | 3.95E+08 |
| <b>2035</b> | 3.43E+06 | 111.207 | 7.38E+07 | 0.65 | 4.55E+08 |
| <b>2036</b> | 3.43E+06 | 111.207 | 7.29E+07 | 0.78 | 4.55E+08 |
| <b>2037</b> | 3.43E+06 | 93.989  | 6.09E+07 | 0.85 | 3.83E+08 |
| <b>2038</b> | 3.43E+06 | 93.989  | 6.01E+07 | 0.65 | 3.83E+08 |
| <b>2039</b> | 3.43E+06 | 100.38  | 6.34E+07 | 0.65 | 4.08E+08 |
| <b>2040</b> | 3.43E+06 | 100.38  | 6.26E+07 | 0.65 | 4.08E+08 |
| <b>2041</b> | 3.43E+06 | 107.506 | 6.61E+07 | 0.65 | 4.35E+08 |
| <b>2042</b> | 3.43E+06 | 107.506 | 6.53E+07 | 0.65 | 4.35E+08 |
| <b>2043</b> | 3.44E+06 | 105.005 | 6.29E+07 | 0.65 | 4.24E+08 |
| <b>2044</b> | 3.44E+06 | 105.005 | 6.21E+07 | 0.65 | 4.24E+08 |
| <b>2045</b> | 3.44E+06 | 107.394 | 6.26E+07 | 0.65 | 4.32E+08 |
| <b>2046</b> | 3.44E+06 | 107.394 | 6.17E+07 | 0.65 | 4.32E+08 |
| <b>2047</b> | 3.43E+06 | 109.002 | 6.17E+07 | 0.65 | 4.36E+08 |
| <b>2048</b> | 3.43E+06 | 109.002 | 6.08E+07 | 0.65 | 4.36E+08 |
| <b>2049</b> | 3.43E+06 | 105.483 | 5.79E+07 | 0.65 | 4.20E+08 |
| <b>2050</b> | 3.43E+06 | 105.483 | 5.71E+07 | 0.65 | 4.20E+08 |
| <b>2051</b> | 3.43E+06 | 103.12  | 5.49E+07 | 0.65 | 4.09E+08 |
| <b>2052</b> | 3.43E+06 | 103.12  | 5.40E+07 | 0.65 | 4.09E+08 |
| <b>2053</b> | 3.42E+06 | 110.908 | 5.71E+07 | 0.65 | 4.37E+08 |
| <b>2054</b> | 3.42E+06 | 110.908 | 5.62E+07 | 0.65 | 4.37E+08 |
| <b>2055</b> | 3.42E+06 | 103.769 | 5.17E+07 | 0.65 | 4.06E+08 |



|      |          |         |          |      |          |
|------|----------|---------|----------|------|----------|
| 2056 | 3.41E+06 | 103.769 | 5.07E+07 | 0.65 | 4.06E+08 |
| 2057 | 3.41E+06 | 101.568 | 4.88E+07 | 0.65 | 3.95E+08 |
| 2058 | 3.41E+06 | 101.568 | 4.79E+07 | 0.65 | 3.95E+08 |
| 2059 | 3.40E+06 | 104.973 | 4.86E+07 | 0.65 | 4.06E+08 |
| 2060 | 3.40E+06 | 104.973 | 4.77E+07 | 0.65 | 4.06E+08 |
| 2061 | 3.39E+06 | 102.551 | 4.56E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2062 | 3.39E+06 | 102.551 | 4.47E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2063 | 3.38E+06 | 101.764 | 4.35E+07 | 0.65 | 3.87E+08 |
| 2064 | 3.37E+06 | 101.764 | 4.26E+07 | 0.65 | 3.87E+08 |
| 2065 | 3.37E+06 | 104.278 | 4.27E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2066 | 3.36E+06 | 104.278 | 4.17E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2067 | 3.35E+06 | 105.333 | 4.12E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2068 | 3.34E+06 | 105.333 | 4.02E+07 | 0.65 | 3.94E+08 |
| 2069 | 3.33E+06 | 99.955  | 3.73E+07 | 0.65 | 3.70E+08 |
| 2070 | 3.32E+06 | 99.955  | 3.64E+07 | 0.65 | 3.70E+08 |
| 2071 | 3.31E+06 | 103.57  | 3.67E+07 | 0.65 | 3.79E+08 |
| 2072 | 3.29E+06 | 103.57  | 3.57E+07 | 0.65 | 3.79E+08 |
| 2073 | 3.28E+06 | 101.278 | 3.40E+07 | 0.65 | 3.66E+08 |
| 2074 | 3.27E+06 | 101.278 | 3.31E+07 | 0.65 | 3.66E+08 |

## SSP2

|      | POP ATH  | PCC     | NL       | WP   | WD       |
|------|----------|---------|----------|------|----------|
| 2024 | 3.38E+06 | 111     | 8.24E+07 | 0.65 | 3.50E+08 |
| 2025 | 3.38E+06 | 105.95  | 7.87E+07 | 0.78 | 4.36E+08 |
| 2026 | 3.37E+06 | 105.95  | 7.86E+07 | 0.65 | 4.36E+08 |
| 2027 | 3.37E+06 | 110.591 | 8.20E+07 | 0.65 | 4.55E+08 |
| 2028 | 3.37E+06 | 110.591 | 8.19E+07 | 0.85 | 4.55E+08 |
| 2029 | 3.37E+06 | 95.986  | 7.11E+07 | 0.85 | 3.94E+08 |
| 2030 | 3.36E+06 | 95.986  | 7.10E+07 | 0.85 | 3.94E+08 |
| 2031 | 3.36E+06 | 96.604  | 7.14E+07 | 0.85 | 3.96E+08 |
| 2032 | 3.36E+06 | 96.604  | 7.14E+07 | 0.85 | 3.96E+08 |
| 2033 | 3.36E+06 | 95.001  | 7.02E+07 | 0.85 | 3.89E+08 |
| 2034 | 3.36E+06 | 95.001  | 7.01E+07 | 0.65 | 3.89E+08 |
| 2035 | 3.35E+06 | 114.082 | 8.42E+07 | 0.65 | 4.67E+08 |
| 2036 | 3.35E+06 | 114.082 | 8.41E+07 | 0.78 | 4.67E+08 |
| 2037 | 3.35E+06 | 98.152  | 7.23E+07 | 0.85 | 4.01E+08 |
| 2038 | 3.35E+06 | 98.152  | 7.23E+07 | 0.65 | 4.01E+08 |
| 2039 | 3.35E+06 | 113.907 | 8.39E+07 | 0.65 | 4.65E+08 |
| 2040 | 3.35E+06 | 113.907 | 8.38E+07 | 0.85 | 4.65E+08 |
| 2041 | 3.34E+06 | 102.826 | 7.56E+07 | 0.85 | 4.19E+08 |
| 2042 | 3.34E+06 | 102.826 | 7.56E+07 | 0.65 | 4.19E+08 |
| 2043 | 3.34E+06 | 106.35  | 7.81E+07 | 0.65 | 4.33E+08 |
| 2044 | 3.33E+06 | 106.35  | 7.80E+07 | 0.65 | 4.33E+08 |



|      |          |         |          |      |          |
|------|----------|---------|----------|------|----------|
| 2045 | 3.33E+06 | 108.67  | 7.97E+07 | 0.65 | 4.42E+08 |
| 2046 | 3.33E+06 | 108.67  | 7.95E+07 | 0.65 | 4.42E+08 |
| 2047 | 3.32E+06 | 115.95  | 8.48E+07 | 0.65 | 4.70E+08 |
| 2048 | 3.32E+06 | 115.95  | 8.46E+07 | 0.65 | 4.70E+08 |
| 2049 | 3.31E+06 | 108.596 | 7.92E+07 | 0.65 | 4.39E+08 |
| 2050 | 3.31E+06 | 108.596 | 7.90E+07 | 0.65 | 4.39E+08 |
| 2051 | 3.30E+06 | 111.309 | 8.09E+07 | 0.65 | 4.48E+08 |
| 2052 | 3.30E+06 | 111.309 | 8.07E+07 | 0.65 | 4.48E+08 |
| 2053 | 3.29E+06 | 115.525 | 8.36E+07 | 0.65 | 4.64E+08 |
| 2054 | 3.28E+06 | 115.525 | 8.34E+07 | 0.78 | 4.64E+08 |
| 2055 | 3.28E+06 | 105.553 | 7.61E+07 | 0.85 | 4.22E+08 |
| 2056 | 3.27E+06 | 105.553 | 7.59E+07 | 0.65 | 4.22E+08 |
| 2057 | 3.26E+06 | 113.788 | 8.16E+07 | 0.65 | 4.53E+08 |
| 2058 | 3.25E+06 | 113.788 | 8.14E+07 | 0.78 | 4.53E+08 |
| 2059 | 3.25E+06 | 106.612 | 7.61E+07 | 0.78 | 4.22E+08 |
| 2060 | 3.24E+06 | 106.612 | 7.59E+07 | 0.65 | 4.22E+08 |
| 2061 | 3.23E+06 | 108.433 | 7.70E+07 | 0.65 | 4.27E+08 |
| 2062 | 3.22E+06 | 108.433 | 7.68E+07 | 0.65 | 4.27E+08 |
| 2063 | 3.21E+06 | 117.086 | 8.27E+07 | 0.65 | 4.58E+08 |
| 2064 | 3.20E+06 | 117.086 | 8.24E+07 | 0.78 | 4.58E+08 |
| 2065 | 3.19E+06 | 111.229 | 7.81E+07 | 0.78 | 4.33E+08 |
| 2066 | 3.18E+06 | 111.229 | 7.78E+07 | 0.65 | 4.33E+08 |
| 2067 | 3.17E+06 | 110.303 | 7.69E+07 | 0.65 | 4.26E+08 |
| 2068 | 3.16E+06 | 110.303 | 7.66E+07 | 0.65 | 4.26E+08 |
| 2069 | 3.15E+06 | 115.403 | 7.99E+07 | 0.65 | 4.43E+08 |
| 2070 | 3.14E+06 | 115.403 | 7.96E+07 | 0.65 | 4.43E+08 |
| 2071 | 3.12E+06 | 117.641 | 8.09E+07 | 0.65 | 4.48E+08 |
| 2072 | 3.11E+06 | 117.641 | 8.06E+07 | 0.65 | 4.48E+08 |
| 2073 | 3.10E+06 | 110.777 | 7.56E+07 | 0.65 | 4.19E+08 |
| 2074 | 3.09E+06 | 110.777 | 7.53E+07 | 0.65 | 4.19E+08 |

## SSP5

|      | POP ATH  | PCC     | NL       | WP   | WD       |
|------|----------|---------|----------|------|----------|
| 2024 | 3.49E+06 | 111     | 8.51E+07 | 0.65 | 3.50E+08 |
| 2025 | 3.49E+06 | 106.585 | 8.27E+07 | 0.78 | 4.54E+08 |
| 2026 | 3.49E+06 | 106.585 | 8.38E+07 | 0.85 | 4.54E+08 |
| 2027 | 3.50E+06 | 100.394 | 8.01E+07 | 0.85 | 4.32E+08 |
| 2028 | 3.51E+06 | 100.394 | 8.12E+07 | 0.65 | 4.32E+08 |
| 2029 | 3.52E+06 | 117.698 | 9.65E+07 | 0.65 | 5.11E+08 |
| 2030 | 3.53E+06 | 117.698 | 9.78E+07 | 0.65 | 5.11E+08 |
| 2031 | 3.54E+06 | 117.593 | 9.91E+07 | 0.65 | 5.15E+08 |
| 2032 | 3.55E+06 | 117.593 | 1.00E+08 | 0.65 | 5.15E+08 |
| 2033 | 3.56E+06 | 120.091 | 1.04E+08 | 0.65 | 5.31E+08 |
| 2034 | 3.57E+06 | 120.091 | 1.05E+08 | 0.85 | 5.31E+08 |



|      |          |         |          |      |          |
|------|----------|---------|----------|------|----------|
| 2035 | 3.58E+06 | 112.642 | 1.00E+08 | 0.85 | 5.03E+08 |
| 2036 | 3.59E+06 | 112.642 | 1.02E+08 | 0.85 | 5.03E+08 |
| 2037 | 3.60E+06 | 113.615 | 1.04E+08 | 0.85 | 5.13E+08 |
| 2038 | 3.62E+06 | 113.615 | 1.05E+08 | 0.85 | 5.13E+08 |
| 2039 | 3.63E+06 | 116.27  | 1.09E+08 | 0.85 | 5.31E+08 |
| 2040 | 3.64E+06 | 116.27  | 1.11E+08 | 0.85 | 5.31E+08 |
| 2041 | 3.65E+06 | 119.453 | 1.15E+08 | 0.85 | 5.52E+08 |
| 2042 | 3.67E+06 | 119.453 | 1.17E+08 | 0.85 | 5.52E+08 |
| 2043 | 3.68E+06 | 128.61  | 1.28E+08 | 0.85 | 6.01E+08 |
| 2044 | 3.69E+06 | 128.61  | 1.29E+08 | 0.85 | 6.01E+08 |
| 2045 | 3.71E+06 | 122.186 | 1.24E+08 | 0.85 | 5.77E+08 |
| 2046 | 3.72E+06 | 122.186 | 1.26E+08 | 0.85 | 5.77E+08 |
| 2047 | 3.73E+06 | 130.676 | 1.37E+08 | 0.85 | 6.24E+08 |
| 2048 | 3.75E+06 | 130.676 | 1.38E+08 | 0.85 | 6.24E+08 |
| 2049 | 3.76E+06 | 129.457 | 1.39E+08 | 0.85 | 6.26E+08 |
| 2050 | 3.77E+06 | 129.457 | 1.41E+08 | 0.85 | 6.26E+08 |
| 2051 | 3.79E+06 | 139.835 | 1.54E+08 | 0.85 | 6.83E+08 |
| 2052 | 3.80E+06 | 139.835 | 1.56E+08 | 0.85 | 6.83E+08 |
| 2053 | 3.82E+06 | 141.072 | 1.59E+08 | 0.85 | 6.97E+08 |
| 2054 | 3.83E+06 | 141.072 | 1.61E+08 | 0.85 | 6.97E+08 |
| 2055 | 3.84E+06 | 138.91  | 1.60E+08 | 0.85 | 6.94E+08 |
| 2056 | 3.86E+06 | 138.91  | 1.62E+08 | 0.85 | 6.94E+08 |
| 2057 | 3.87E+06 | 146.405 | 1.73E+08 | 0.85 | 7.40E+08 |
| 2058 | 3.89E+06 | 146.405 | 1.75E+08 | 0.85 | 7.40E+08 |
| 2059 | 3.90E+06 | 148.182 | 1.80E+08 | 0.85 | 7.57E+08 |
| 2060 | 3.91E+06 | 148.182 | 1.82E+08 | 0.85 | 7.57E+08 |
| 2061 | 3.93E+06 | 158.257 | 1.96E+08 | 0.85 | 8.18E+08 |
| 2062 | 3.94E+06 | 158.257 | 1.99E+08 | 0.85 | 8.18E+08 |
| 2063 | 3.95E+06 | 155.594 | 1.98E+08 | 0.85 | 8.12E+08 |
| 2064 | 3.96E+06 | 155.594 | 2.00E+08 | 0.85 | 8.12E+08 |
| 2065 | 3.98E+06 | 160.798 | 2.09E+08 | 0.85 | 8.48E+08 |
| 2066 | 3.98E+06 | 160.798 | 2.11E+08 | 0.85 | 8.48E+08 |
| 2067 | 3.99E+06 | 162.47  | 2.15E+08 | 0.85 | 8.64E+08 |
| 2068 | 4.00E+06 | 162.47  | 2.17E+08 | 0.85 | 8.64E+08 |
| 2069 | 4.01E+06 | 168.742 | 2.28E+08 | 0.85 | 9.05E+08 |
| 2070 | 4.02E+06 | 168.742 | 2.30E+08 | 0.85 | 9.05E+08 |
| 2071 | 4.03E+06 | 170.655 | 2.35E+08 | 0.85 | 9.22E+08 |
| 2072 | 4.03E+06 | 170.655 | 2.37E+08 | 0.85 | 9.22E+08 |
| 2073 | 4.04E+06 | 175.807 | 2.47E+08 | 0.85 | 9.56E+08 |
| 2074 | 4.04E+06 | 175.807 | 2.49E+08 | 0.85 | 9.56E+08 |



