

# Συστημική Μέθοδος Ανάλυσης Ευαισθησίας για την Αξιολόγηση Οργανικών Μιγμάτων ως Εργαζόμενων Μέσων για Ηλιακούς Κύκλους Rankine

Πασχαλιά Μαύρου<sup>1,2</sup>, Αθανάσιος Ι. Παπαδόπουλος<sup>1</sup>, Πάνος Σεφερλής<sup>1,2</sup>, Patrick Linke<sup>3</sup>, Σπύρος Βουτετάκης<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, 57001 Θέρμη

<sup>2</sup> Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη

<sup>3</sup> Chemical Engineering Department, Texas A&M University at Qatar, P.O. Box 23874, Doha, Qatar

Τα συστήματα οργανικών κύκλων Rankine (OKR) αποτελούν μία αποτελεσματική τεχνολογία για την παραγωγή ισχύος μέσω αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Η λειτουργία τους βασίζεται στην απορρόφηση θερμότητας μέσω ηλιακών συλλεκτών που αποδίδεται μέσω εναλλάκτη σε κατάλληλο οργανικό εργαζόμενο μέσο το οποίο εξατμίζεται και στην συνέχεια εκτονώνεται σε στρόβιλο παράγοντας έργο. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εργαζόμενου μέσου παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη συστημάτων ηλιακών OKR υψηλής απόδοσης. Η χρήση μιγμάτων ως εργαζόμενα μέσα έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την χρήση καθαρών ρευστών καθώς επιτρέπουν την αύξηση της εξεργειακής απόδοσης διατηρώντας σταθερά υψηλή ενεργειακή απόδοση λόγω των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών της αλλαγής φάσης. Ωστόσο η επιλογή μιγμάτων που οδηγούν σε βέλτιστη λειτουργία του OKR αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Παρά την ύπαρξη μελετών που αξιολογούν την απόδοση διαφορετικών μιγμάτων για σταθερή λειτουργία του συστήματος, ακόμη και μικρές μεταβολές σε λειτουργικές παραμέτρους μπορεί να οδηγήσουν σε εντελώς διαφορετική κατάταξη της απόδοσής τους. Τέτοιου είδους αλλαγές είναι συνηθισμένες λόγω της εσωτερικής ή εξωτερικής μεταβλητότητας που παρατηρείται στην λειτουργία του συστήματος (π.χ. απότομη μείωση της απόδοσης κάποιων υποσυστημάτων, δυσλειτουργίες κλπ.). Η συνήθης πρακτική βασίζεται στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αφού έχει γίνει η προεπιλογή του μίγματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και με χρήση μεθόδων που ενέχουν αυξημένη υπολογιστική πολυπλοκότητα (π.χ. δυναμικές προσομοιώσεις, βέλτιστος έλεγχος κλπ.) και συνεπώς ισχυρές προκλήσεις στην ανάπτυξη και εφαρμογή τους.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων προτείνεται μια μέθοδος που μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο που μπορεί να αντιμετωπιστεί η μεταβλητότητα σε συστήματα ηλιακού OKR με επιβολή κατάλληλων μεταβολών μικρού εύρους στην στατική (και όχι δυναμική) συμπεριφορά του συστήματος ενόψει διαφορετικών μιγμάτων. Συγκεκριμένα προτείνεται μια μέθοδος μη γραμμικής ανάλυσης ευαισθησίας, η οποία επιτρέπει την συστηματική καταγραφή του αντίκτυπου που έχουν μεταβολές σε λειτουργικές παραμέτρους στους δείκτες απόδοσης του συστήματος (π.χ. θερμική απόδοση, παραγωγή έργου κλπ.). Η μαθηματική ανάλυση αυτών των καταγραφών επιτρέπει την αναγνώριση των λειτουργικών παραμέτρων για κάθε μίγμα οι οποίες ακόμη και για πολύ μικρές μεταβολές οδηγούν σε μεγάλη μεταβολή τους δείκτες απόδοσης. Υπό αυτή την έννοια αναγνωρίζονται τα μίγματα που ακόμα και σε περίπτωση μεγάλης μεταβλητότητας θα διατηρήσουν μια σχετικά σταθερή λειτουργική απόδοση. Μίγματα που έχουν υψηλή απόδοση σε συνθήκες σταθερής λειτουργίας και

ταυτόχρονα χαμηλή ευαισθησία σε ισχυρή μεταβλητότητα είναι τα επιθυμητά. Η προτεινόμενη μέθοδος συστηματοποιείται μέσω ενός κατάλληλου δείκτη ευαισθησίας που ποσοτικοποιεί ταυτόχρονα μεταβολές σε πολλαπλές λειτουργικές παραμέτρους και πολλαπλούς δείκτες απόδοσης. Στην συνέχεια ο δείκτης ευαισθησίας λαμβάνεται υπόψη ως μια επιπλέον αντικειμενική συνάρτηση μαζί με τους υπόλοιπους δείκτες απόδοσης των μιγμάτων υπο σταθερή λειτουργία σε ένα πρόβλημα πολύ-κριτηριακής αξιολόγησης. Η μέθοδος εφαρμόζεται για 15 μίγματα τα οποία έχει βρεθεί ότι παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή και εξεργειακή απόδοση σε σύστημα ηλιακού OKR. Η αξιολόγηση γίνεται για σειρά από σημαντικές λειτουργικές παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση του κύκλου (π.χ. ρυθμός ροής μάζας ρευστού κυκλώματος ηλιακού συλλέκτη, θερμοκρασία ενεργοποίησης/ απενεργοποίησης OKR).