



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ
ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΝΤΡΟΥΚΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαντζιάρας Ιωάννης

Αθήνα 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΝΤΡΟΥΚΑ

Τριμελής επιτροπή

Μαντζιάρας Ιωάννης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Μαλαμής Συμεών, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....

Παπακωνσταντής Ηλίας, Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Αθήνα 2021

Πρόλογος

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Γιάννη Μαντζιάρα για την επιλογή του καινοτόμου αυτού θέματος και τις χρήσιμες συμβουλές του κατά την επίβλεψη της εργασίας και κυρίως για τις γνώσεις που μου μετέδωσε στη διάρκεια των σπουδών. Επίσης ήθελα να ευχαριστήσω και την συμφοιτήτρια Άρτεμη για τη σύλληψη της κεντρικής ιδέας και τη παραχώρηση του θέματος αυτού.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου προσέφερε.

Περίληψη

Παγκοσμίως εκτιμάται ότι 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες πόσιμου νερού με ασφαλή διαχείριση, γεγονός που δημιουργεί τεράστιες κοινωνικοοικονομικές ανισότητες. Ταυτόχρονα, η αυξανόμενη ανισορροπία της κατανομής του πληθυσμού μεταξύ των χωρών αλλά και των επαρχιακών και αστικών κέντρων επιτείνουν την υλικοτεχνική πολυπλοκότητα της παροχής πρόσβασης σε νερό εκεί που χρειάζεται περισσότερο. Σε πολλές περιοχές του κόσμου, τα υδάτινα σώματα μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ρύπων και παθογόνων μικροοργανισμών που έχουν συχνά δραματικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Καθώς όμως η λειψυδρία καθίσταται ως μείζον πρόβλημα για όλα τα έθνη, οι περισσότεροι άνθρωποι δεν έχουν άλλες επιλογές από τη χρήση ακατάλληλου νερού για τη διαβίωσή τους. Η παροχή καθαρού νερού σε προσιτή τιμή είναι επίσης άρρηκτα συνδεδεμένη με τις προσπάθειες για την βελτίωση της υγείας και της ποιότητας ζωής, την ανακούφιση της φτώχειας, την ενίσχυση της παραγωγικότητας, τις εκπαιδευτικές ευκαιρίες και την οικονομική ευημερία. Οι αδυναμίες των κυβερνήσεων να καλύψουν τα λειτουργικά έξοδα ώστε να υλοποιήσουν αποτελεσματικές στρατηγικές παροχής πόσιμου νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες και απομακρυσμένες περιοχές, αποτελούν τα κυριότερα εμπόδια για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και του βιοτικού επιπέδου ζωής. Μία ακόμη πρόκληση για τις αναπτυσσόμενες χώρες και τις απομακρυσμένες περιοχές αποτελεί η περιορισμένη ή η ανεπαρκής πρόσβαση δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Προς το παρόν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του νερού είναι αρκετά δαπανηρές και εξαρτώμενες από σημαντικές ποσότητες χημικών ουσιών και από την ηλεκτρική ενέργεια. Ορισμένες από τις στρατηγικές αειφορίας που λαμβάνονται υπόψη είναι η μείωση της χρήσης χημικών ουσιών και ενέργειας κατά την επεξεργασία του νερού, ώστε να μην περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς και παραπροϊόντα απολύμανσης. Μεγαλύτερη βιωσιμότητα επιτυγχάνεται όταν παράγεται νερό συγκρίσιμης ποιότητας χωρίς την ανάγκη υπερβολικών ποσοτήτων ενέργειας, εργασίας και ακριβού εξοπλισμού/τεχνολογίας. Συνεπώς, η ανάγκη ανάπτυξης βιώσιμων τεχνολογιών που να παρέχουν ασφαλές και οικονομικά προσιτό πόσιμο νερό είναι επιτακτική για τη βελτίωση της ανθρώπινης διαβίωσης σε αυτές τις περιοχές.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας νερού με βάση την ευκολία χρήσης, την οικονομική αποδοτικότητα και με στόχο να είναι φιλικές ως προς το περιβάλλον. Μέθοδοι επεξεργασίας νερού, όπως η ηλιακή απόσταξη, η ηλιακή παστερίωση, τα φίλτρα διήθησης με χρήση τεχνικών και υλικών που είναι προσιτές, η φυσική διήθηση στις όχθες, η χρήση φυτικών υλών όπως το Moringa καθώς και μεμβράνες αφαλάτωσης σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εξετάστηκαν ως βιώσιμες λύσεις παροχής ασφαλούς πόσιμου νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και απομακρυσμένες περιοχές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και να είναι σε θέση να παρέχουν πόσιμο νερό με ελάχιστη ανάγκη για πρόσθετη επεξεργασία.

Η ηλιακή παστερίωση, όπως και η ηλιακή απόσταξη, εξαρτάται από την ηλιακή ενέργεια για τον καθαρισμό μικρών ποσοτήτων νερού για ατομική ή οικογενειακή χρήση. Είναι πιο κατάλληλη για απομακρυσμένες, ηλιόλουστες, ορεινές περιοχές, όπου δεν υπάρχουν

υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας και η εξάρτηση από τα καυσόξυλα δεν είναι εφικτή λόγω του άγονου τοπίου καθιστώντας έτσι την ηλιακή παστερίωση μια από τις ευκολότερες μεθόδους για την παραγωγή πόσιμου νερού σε απομακρυσμένες ηλιόλουστες περιοχές. Η θέρμανση του νερού σε επαρκώς υψηλή θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα καταστρέφει τους επιβλαβείς μικροοργανισμούς, με το αντίτιμο της χαμηλής ροής και της παραγωγής μικρής ποσότητας νερού. Στο ίδιο μοτίβο η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε πολλές άγονες και ερημικές χώρες και αποτελεί μια πολύ απλή τεχνολογία τόσο στην ιδέα όσο και στο σχεδιασμό. Η ηλιακή απόσταξη χρησιμοποιεί τη φυσική διαδικασία της εξάτμισης για τη παραγωγή καθαρού νερού. Η δομή που χρησιμοποιείται στην ηλιακή απόσταξη ονομάζεται ηλιακός αποστακτήρας και διαθέτει ένα κεκλιμένο γυάλινο κάλυμμα πάνω από μία συνήθως βαμμένη μαύρη, γεμάτη με νερό δεξαμενή. Καθώς το ηλιακό φως διεισδύει στη συσκευή, η ηλιακή ενέργεια απορροφάται από την επένδυση της δεξαμενής και μεταφέρεται στο νερό μέσω αγωγής και συναγωγής. Μικρές θερμικές απώλειες είναι δυνατόν να λαμβάνουν χώρα από την αντανάκλαση από το γυαλί και την επιφάνεια του νερού, καθώς και την απορρόφηση από την επένδυση της λεκάνης. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές των αποστακτήρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Ηλιακοί αποστακτήρες ενσωματώνονται συνήθως με συστήματα επίπεδου συλλέκτης πλάκας, εκκενωμένο σωληνοειδή συλλέκτη, σύνθετο παραβολικό συγκεντρωτή ή με φωτοβολταϊκή θερμική τεχνολογία για τη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Επίσης, έχουν μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί υλικά αλλαγής φάσης και νανορευστά όπως νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου, οξειδίου του χαλκού, οξειδίου του αργιλίου, κ.α. για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης και της παραγωγικότητας των ηλιακών αποστακτηρών.

Εξετάστηκαν, ακόμη και φυσικά συστήματα απολύμανσης νερού, στο πλαίσιο βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας για αναπτυσσόμενες χώρες. Τα φίλτρα διήθησης αποτελούν μια αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία επεξεργασίας που αν και θεωρείται παρωχημένη στις αναπτυγμένες χώρες, καθίσταται ιδανική για τα πλαίσια των δυνατοτήτων των αναπτυσσόμενων χωρών. Βιολογικά φίλτρα άμμου χρησιμοποιούνται ευρέως για μικρές κοινοτικές παροχές νερού λόγω του χαμηλού κόστους, της αποτελεσματικότητάς τους στην εξυγίανση του νερού αλλά και την ευκολία χρήσης και συντήρησής τους. Η χρήση των φίλτρων κεραμικών δοχείων συγκεκριμένα έχει παρουσιάσει βελτίωση της ποιότητας νερού και μείωση των εξάρσεων διάρροιας σε παιδιά κάτω των 5 ετών παρέχοντας παράλληλα μεγαλύτερη μακροπρόθεσμη προστασία από άλλες μεθόδους. Επίσης τροποποιημένα βιολογικά φίλτρα διήθησης, παρουσιάζονται στην έρευνα ως μια αναδυόμενη τεχνολογία επεξεργασίας νερού που βελτιώνουν την απόδοση επεξεργασίας προκειμένου να παρέχεται ασφαλές και ποσιτό νερό για οικιακή χρήση. Ακόμη δόθηκε έμφασή στη παρουσίαση μικρών κινητών ή μη, μονάδων φίλτρων υπό πίεση, οι οποίες αποτελούν εμπορικά προϊόντα έτοιμα για χρήση σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που να μπορούν να καλύψουν το κόστος της μονάδας και να προσαρμοστούν με την τεχνολογική ανάγκη παρακολούθησης και συντήρησής τους. Συνήθως τέτοιες μονάδες χρησιμοποιούνται ως μια προσπάθεια ανακούφισης σε πληγείσες από καιρικά φαινόμενα περιοχές και προσαρμόζονται στις συνθήκες έλλειψης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ίδια κατηγορία των φυσικών συστημάτων διήθησης προτείνεται και η διήθηση στις όχθες των ποταμών ως μια μακροχρόνια βιώσιμη εφαρμογή επεξεργασίας νερού. Η διήθηση στις όχθες των ποταμών (RBF) έχει εδώ και καιρό αποδείξει την αποτελεσματικότητά της για την παροχή νερού στην

Ευρώπη, για περισσότερα από 100 χρόνια και για πάνω από μισό αιώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρέχοντας ασφαλές πόσιμο νερό σε κοινότητες. Αποτελεί ένα φυσικό και φθινό σύστημα επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων που έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει τους ρύπους από τα επιφανειακά ύδατα με τεχνολογία επεξεργασίας χαμηλού κόστους σε σύγκριση με τις συμβατικές εγκαταστάσεις επιφανειακής επεξεργασίας.

Η χρήση παραδοσιακών τοπικών φυσικών πηκτικών ουσιών φυτικής προέλευσης εξετάζεται επίσης ως μια απλή, αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική μέθοδος καθαρισμού του νερού για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η καινοτομία και η απλότητα αυτού του είδους επεξεργασίας προσελκύει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον τη τελευταία δεκαετία. Οι εξελίξεις και οι εφαρμογές της φυτοεξυγύανσης του νερού αναπτύσσονται όλο και περισσότερο και μεταξύ αυτών η χρήση του *Moringa oleifera* είναι η πιο διαδεδομένη. Το συγκεκριμένο είδος έχει δείξει πολύ αποτελεσματικές επεξεργαστικές ικανότητες στην εξυγίανση του νερού και αποτελεί ένα εύκολα καλλιεργήσιμο φυτό με γρήγορο ρυθμό βλάστησης που απαντάται φυσικά σε άγονες ή ημι-άγονες χώρες που εκτείνονται από τη Δυτική Σομαλία έως το Ισραήλ. Η χρήση σπόρων *Moringa* που ακολουθείται από διήθηση με βιολογική άμμο αποτελεί μία χαμηλού κόστους και βιώσιμη μέθοδο καθαρισμού επιφανειακών υδάτων, επίσης το εκχύλισμα των σπόρων μελετάται για τη δημιουργία λειτουργικών φίλτρων άμμου.

Τέλος οι μεμβράνες αφαλάτωσης που συνδυάζονται με τοπικά διαθέσιμες πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) προτείνονται ως βιώσιμη τεχνολογία επεξεργασίας νερού σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που αντιμετωπίζουν ζητήματα έλλειψης νερού ή/και στερούνται την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Οι περιοχές εφαρμογής τέτοιων μονάδων αφορούν αποκεντρωμένες περιοχές ανεπτυγμένων ή αναπτυσσόμενων χωρών που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν στο οικονομικό κόστος των εγκαταστάσεων και που η χρήση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στη τεχνολογία επεξεργασίας νερού παραμένει οικονομικά προσιτή. Στο πλαίσιο αυτό αναφέρονται μεταξύ άλλων, η διαδικασία απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων για περιοχές με πλούσιο γεωθερμικό πεδίο, η θερμική αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας με βάση τον ωκεανό και η αντίστροφη ώσμωση προωθούμενη από την ενέργεια των κυμάτων που αφορά περιοχές με μεγάλες ακτογραμμές όπως η Ινδία και αρκετά νησιά στην Αραβική Θάλασσα και άλλες θάλασσες που να δικαιολογούν ένα σοβαρό εγχείρημα για τη χρήση της τεχνολογίας αυτής στην εξυπηρέτηση των αναγκών σε πόσιμο νερό των νησιωτικών και παράκτιων κοινοτήτων.

Abstract

It is estimated that worldwide around 2 billion people lack access to safely managed drinking water services, which creates huge socio-economic inequalities. At the same time, the growing imbalance in population distribution between countries and between rural and urban centres exacerbate the technical complexity of providing access to water where it is needed the most. In many parts of the world, water bodies carry significant amounts of pollutants and pathogens that often have dramatic public health impacts. But as water scarcity becomes a major problem for all nations, most people have no choice but to use unsuitable water for their livelihoods. Providing clean water at an affordable price is also inextricably linked to efforts to improve health and quality of life, alleviate poverty, enhance productivity, educational opportunities and economic prosperity. The inability of governments to meet the operational costs to implement effective drinking water strategies in developing countries and remote areas are the main obstacles to ensuring public health and living standards. Another challenge for developing countries and remote areas is limited or inadequate access to electricity networks. At present, the technologies used in water treatment are quite expensive and dependent on significant amounts of chemicals and electricity. Some of the sustainability strategies being considered are to reduce the use of chemicals and energy in water treatment, eliminating pathogenic microorganisms and disinfection by-products. Greater sustainability is achieved when water of comparable quality is produced without the need for excessive amounts of energy, labour and expensive equipment/technology. Therefore, the need to develop sustainable technologies that provide safe and affordable drinking water is imperative to improve human livelihoods. To address this critical need, in this paper, a literature review of available water treatment methods based on ease of use, cost effectiveness and with the objective of being environmentally friendly was conducted. Water treatment methods such as solar distillation, solar pasteurization, slow sand filtration using techniques and materials that are affordable, riverbank filtration, the use of plant materials such as Moringa as well as desalination membranes combined with renewable energy sources were examined as viable solutions to provide safe drinking water in developing countries and remote areas. These systems can operate efficiently and be able to provide drinking water with minimal need for additional treatment.

Solar pasteurization, like solar distillation, depends on solar energy to purify small amounts of water for individual or family use. It is most suitable for remote, sunny, mountainous areas where there is no electricity infrastructure and reliance on firewood is not feasible due to the arid landscape, thereby making solar pasteurization one of the easiest methods for producing potable water in remote sunny areas. Heating water to a sufficiently high temperature for a certain period of time destroys harmful microorganisms, at the cost of low flow and the production of small amounts of water. On the same pattern, solar distillation is applied in many arid and desert countries and is a very simple technology both in concept and design. Solar distillation uses the natural process of evaporation to produce clean water. The structure used in solar distillation is called a solar still and features a sloping glass cover over a usually painted black, water-filled tank. As sunlight penetrates the device, solar energy is absorbed by the tank liner and transferred to the water through conduction and convection. Minor heat losses may take place from reflection from the glass and water surface, as well as absorption from the basin liner. There are several variations of stills used for the production of drinking water. Solar stills are typically integrated with flat plate collector systems, evacuated tubular

collector, composite parabolic concentrator or with photovoltaic thermal technology to meet energy needs. Phase change materials and nanofluids such as titanium dioxide nanoparticles, copper oxide, aluminum oxide, etc. have also been studied and used to improve thermal efficiency and used to improve the thermal efficiency and productivity of solar stills.

Natural water disinfection systems were also examined as part of sustainable treatment technologies for developing countries. Slow sand filtration is a widely used treatment technology that, although considered obsolete in developed countries, is becoming ideal in the context of developing countries' potential. Biological sand filters are widely used for small community water supplies because of their low cost, effectiveness in water purification and ease of use and maintenance. The use of ceramic pot filters in particular has shown improvement in water quality and reduction in diarrhea outbreaks in children under 5 years of age while providing greater long-term protection than other methods. Also modified biological filtration filters are presented in the research as an emerging water treatment technology that improve treatment efficiency in order to provide safe and affordable water for domestic use. Emphasis was also placed on the presentation of small mobile or non-mobile, pressurized filter units, which are commercial products ready for use in communities in remote areas that can cover the cost of the unit and adapt to the technological need for monitoring and maintenance. Typically such units are used as a relief effort in weather-affected areas and are adapted to conditions of power grid shortages. In the same category of natural filtration systems, riverbank filtration is proposed as a long-term sustainable water treatment application. Riverside Filtration (RBF) has long proven its effectiveness for water supply in Europe for more than 100 years and for over half a century in the United States, providing safe drinking water to communities. It is a natural and inexpensive surface water treatment system that has the potential to remove contaminants from surface water with low-cost treatment technology compared to conventional surface treatment facilities.

The use of traditional local natural plant-derived natural coagulants is also being considered as a simple, reliable and cost-effective method of water purification for developing countries. The innovation and simplicity of this type of treatment has attracted increasing interest over the last decade. Developments and applications of water phytoremediation are increasingly developing and among them the use of *Moringa oleifera* is the most widespread. This species has shown very effective treatment abilities in water purification and is an easily cultivated plant with a fast germination rate that occurs naturally in arid or semi-arid countries stretching from Western Somalia to Israel. The use of *Moringa* seeds followed by bio-sand filtration is a low-cost and sustainable method of surface water purification, also the seed extract is being studied to create functional sand filters.

Finally, desalination membranes combined with locally available energy sources (renewable energy) are proposed as a sustainable water treatment technology in communities in remote areas that face water scarcity issues and/or lack access to safe drinking water. The application areas for such plants are decentralised regions in developed or developing countries that can afford the economic costs of the plants and where the use of renewable energy in water treatment technology remains affordable. In this context, the multi-effect distillation process for regions with a rich geothermal field is mentioned among others, ocean-based low temperature thermal desalination and wave energy driven reverse osmosis for areas with long coastlines such as India and enough islands in the Arabian Sea and other seas to justify a serious undertaking to use this technology to serve the drinking water needs of island and coastal communities.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Περίληψη	4
Abstract	7
Εισαγωγή	18
1. Υφιστάμενη κατάσταση αναπτυσσόμενων χωρών στο τομέα του νερού και της υγιεινής	19
1.1 Αναπτυξιακές παρεμβάσεις για τη παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού.....	21
1.2 Χωρική και κοινωνική ανισότητα πρόσβασης σε πόσιμο νερό στις αναπτυσσόμενες χώρες.....	24
1.3 Μολύνσεις νερού	26
1.3.1 Κοινωνικοοικονομική ανισότητα λόγω της ιογενούς ρύπανσης των υδάτων.....	29
1.4 Μια ιστορική αποτίμηση της εξέλιξης των τεχνολογιών επεξεργασίας νερού	31
2. Βιωσιμότητα τεχνολογιών επεξεργασίας νερού	32
2.1 Αρχές για το σχεδιασμό βιώσιμης επεξεργασίας νερού	33
2.2 Επεξεργαστική ικανότητα των μεθόδων παραγωγής ασφαλούς πόσιμου νερού	35
2.3 Περιβαλλοντική προσαρμογή βιώσιμων τεχνολογιών σε αναπτυσσόμενες χώρες	36
3. Επεξεργασίες νερού με τη χρήση ηλιακής ενέργειας	40
3.1 Ηλιακή Παστερίωση	40
3.2 Ηλιακή απολύμανση του νερού (SODIS).....	50
3.2.1 Η χρήση της ηλιακής απολύμανσης SODIS κατά τη διάρκεια της πανδημίας.....	52
3.3 Ηλιακή Απόσταξη	53
3.3.1 Παθητικά ηλιακά αποστακτήρια.....	55
3.3.1.1 Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών επιδράσεων (Multiple-effect Distillation, MED).....	56
3.3.1.2 Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών υφασμάτων Multi-wick Solar Still.....	58
3.3.2 Ενεργητικά ηλιακά αποστακτήρια	59
3.3.3 Επίδραση των υλικών εναλλαγής φάσης.....	64
3.3.3.1 Ηλιακοί αποστακτήρες με νανορευστά	64
3.3.4 Επίδραση της χρήσης ανακλαστήρων στην απόδοση απόσταξης σε ενεργό και παθητικό ηλιακό αποστακτήρα	66
3.3.5 Ενίσχυση της ηλιακής εισροής με Φακό Fresnel	67

3.3.6	Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα του ηλιακού αποστακτήρα	68
4.	Φυσικά συστήματα απολύμανσης του νερού	71
4.1	Επεξεργασία νερού με φίλτρα διήθησης	71
4.1.1	Κεραμικό φίλτρο νερού σχήματος κεριού	74
4.1.2	Βιολογικό φίλτρο άμμου	75
4.2	Φίλτρα κεραμικών δοχείων	75
4.3	Τροποποιημένα βιολογικά φίλτρα διήθησης	76
4.4	Μονάδες φίλτρων υπό πίεση	81
4.4.1	Μονάδα Sunspring	82
4.4.2	Perfactor-E	84
4.4.3	SkyHydrant	84
4.4.4	Κύκλος νερού iWater	85
4.4.5	Κινητός παραγωγός νερού	86
4.5	Φυσικά συστήματα διήθησης στις όχθες μία τεχνολογία για μακροχρόνιες εφαρμογές	87
4.5.1	Βιωσιμότητα συστημάτων παράκτιας διήθησης	88
4.5.2	Παράγοντες που επηρεάζουν τη ποιότητα του διηθήματος	89
4.5.3	Πηγάδια Άντλησης	91
4.5.4	Απομάκρυνση των ρύπων μέσω της φυσικής διήθησης σε όχθες υδάτινων σωμάτων	93
4.5.5	Ηλεκτρική ανεξαρτητοποίηση μεθόδου φυσικής διήθησης στις όχθες	94
5.	Χρήση φυτικών υλών για την επεξεργασία του νερού	96
5.1	Προσέγγιση του μηχανισμού φυτοεξυγίανσης	97
5.2	Εφαρμογή φυτών ως εξυγιαντικών στον καθαρισμό του νερού	100
5.3	Η χρήση του φυτού Moringa στη επεξεργασία του νερού προς πόση	102
5.3.1	Εφαρμογές διηθητικών μέσων με τη χρήση του Moringa oleifera	103
6.	Μεμβράνες αφαλάτωσης	106
6.1	Προώθηση της αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	106
6.1.1	Τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης	107
6.1.1.1	Πολυβάθμια επεξεργασία αφαλάτωση flash	108
6.1.1.2	Αφαλάτωση πολλαπλών επιδράσεων	108
6.1.1.3	Θερμική συμπίεση ατμών (Vapor compression, VC)	109
6.1.2	Τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής θερμότητας	110
6.1.3	Υγραντήρας πολλαπλών επιδράσεων (Multieffect humidification, ΜΕΗ)	111
6.2	Θερμική αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας με βάση τον ωκεανό	112
6.3	Μεμβράνες Αφαλάτωσης σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	113

6.3.1 Μεμβράνες Αφαλάτωσης Αντίστροφης ώσμωσης	113
6.3.1.1 Κυματογενής αντίστροφη ώσμωση	114
6.3.2 Ηλεκτροδιάλυση σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	115
6.4 Βιολογική αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού	118
6.4.1 Επιλογές βιολογικών υλικών μεμβρανών	118
6.4.2 Αφαλάτωση μέσω βιοδιεργασίας	119
7. Συμπεράσματα	121
Βιβλιογραφία	125

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1. Παγκόσμια εκπροσώπηση των αναπτυσσόμενων χωρών (από κοινό πρόγραμμα παρακολούθησης (WHO/UNISEF 2015).....	21
Σχήμα 1.2. Ποσοστά παροχών υπηρεσιών πόσιμου νερού ανά τον κόσμο για το 2020.....	23
Σχήμα 1.3. Παγκόσμιος πληθυσμός που χρησιμοποιεί διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών πόσιμου νερού, το 2000 και το 2020(κάθε μονάδα αντιπροσωπεύει 10 εκατομμύρια άτομα).....	24
Σχήμα 1.4. Παροχές του πόσιμου νερού στις πόλεις και στην ύπαιθρο, ανά επίπεδο υπηρεσιών και περιοχή ΣΒΑ, το 2015 και το 2020 (%).....	25
Σχήμα 1.5 Ανισότητες στις υπηρεσίες πόσιμου νερού με ασφαλή διαχείριση και τα στοιχεία του, Chad, 2019 (%).....	26
Σχήμα 1.6. Κοινωνικοοικονομικές ανισότητες λόγω της ιογενούς ρύπανσης των υδάτων	30
Σχήμα 2.1. Παρεμβάσεις για τη μείωση των ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Προσαρμοσμένο από (Fewtrell,2005).....	35
Σχήμα 3.1 Ηλιακές εστίες, Φτιαγμένες στη Βολιβία, ξύλινες με κεκλιμένο κάλυμμα και ανακλαστήρα στο καπάκι.....	42
Σχήμα 3.2 (α) Εστία πάνελ με την επωνυμία CooKit (SCI,2009) (β) εστίες πάνελ χρησιμοποιούμενες από επαρχιακές κοινότητες της Αφρικής	43
Σχήμα 3.3 Δείγματα ηλιακών συσσωρευτών. Μια κατασρόλα με νερό τοποθετείται σε μια προεξοχή στο κέντρο των παραβολικών επιφανειών για να εκμεταλλευτεί πλήρως τις ακτίνες του ήλιου.	44
Σχήμα 3.4 Εμπορικά διαθέσιμοι παστεριωτές (α) της AquaPak και (β) SunRay 30	45
Σχήμα 3.5 Μια σειρά από ηλιακούς βραστήρες-φιάλη που περιστρέφονται για να χύσουν το παστεριωμένο νερό.....	46
Σχήμα 3.6 Βασικά χαρακτηριστικά ενός παστεριωτή ροής.....	47
Σχήμα 3.7 Εικόνες από τον ηλιακό παστεριωτή στο πεδίο (Carielo da Silva, 2016).....	48
Σχήμα 3.8 Αποικόνιση ενός συστήματος εναλλακτών θερμότητας τύπου ομόκεντρου σωλήνα εφαρμοσμένο από τη SoWaDis σε απομακρυσμένη περιοχή της Τανζανίας.....	49
Σχήμα 3.9 Απεικόνιση (α) μέθοδος ηλιακής απολύμανσης με έκθεση του νερού στο ηλιακό φως στις σκεπές των σπιτιών (β) χρωματισμός των μπουκαλιών για καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (c) σύστημα παραβολικού συλλέκτη για ηλιακή παστερίωση του νερού που περιέχεται σε διαφανή σωλήνα (d) σύστημα ηλιακής παστερίωσης με το νερό τοποθετημένο σε διαφανή σάκο.....	50
Σχήμα 3.10 Απλή αναπαράσταση της διαδικασίας ηλιακής απόσταξης.	54

Σχήμα 3.101 (α) επάνω αναπαράσταση ηλιακού αποστακτήρα μονής κλίσης και κάτω εφαρμογή του συστήματος στο πεδίο και (β) Επάνω η αναπαράσταση λειτουργίας ηλιακού αποστακτήρα διπλής κλίσης και κάτω η εφαρμογή του συστήματος στο πεδίο.....	56
Σχήμα 3.12 (α) Εφαρμογή συστήματος ανεστραμμένου απορροφητήρα (β) σχηματική απεικόνιση διεργασιών	57
Σχήμα 3.13 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού αποστακτήρα πολλαπλών επιδράσεων ενσωματωμένος με ηλιακό συλλέκτη.....	57
Σχήμα 3.14 Σχηματική αναπαράσταση(επάνω) και εφαρμογή στο πεδίο(κάτω) συστημάτων ηλιακών αποστακτήρων παλλαπλών υφασμάτων (α) μονής κλίσης και (β) διπλής κλίσης	58
Σχήμα 3.15 (α)εγκάρσια απεικόνιση ηλιακού αποστακτήρα διπλής κλίσης ενσωματωμένου με ηλιακό συλλέκτη επίπεδης πλάκας και (b) εφαρμογή του στο πεδίο (Sethi & Dwivedi, 2013).....	62
Σχήμα 3.16 Ηλιακός αποστακτήρας χαμηλής συγκέντρωσης φωτοβολταϊκών/θερμικών μονάδων (Xinjin, 2019).....	63
Σχήμα 3.17 Εφαρμογές συστημάτων ηλιακών αποστακτηρών μονής κλίσης ενσωματωμένοι με (αριστερά) ηλιακό συλλέκτη εκκενωμένου σωλήνα και (δεξιά) συλλέκτη επίπεδης πλάκας.....	64
Σχήμα 3.18 Ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης ενισχυμένος με υλικό εναλλαγής φάσης.....	66
Σχήμα 3.19 Ηλιακοί αποστακτήρες ενισχυμένοι με ανακλαστήρες.....	68
Σχήμα 3.20 Ηλιακοί αποστακτήρες με ενσωματωμένους φακούς Fresnel.....	68
Σχήμα 3.21 Φακός Fresnel ενσωματωμένος σε ηλιακό αποστακτήρα (Johnson, 2019).....	69
Σχήμα 4.11 Μονάδα αργής διήθησης άμμου σε βαρέλι και σχεδιαστική απεικόνιση μονάδας.....	73
Σχήμα 4.2 Φίλτρο αργής διήθησης στο Fort Magsaysay στις Φιλιππίνες.....	73
Σχήμα 4.3 Σχεδιασμός του συστήματος των (Qaisar Mahmood, 2011) για τις πληγείσες από το σεισμό κοινότητες στο βόρειο Πακιστάν	74
Σχήμα 4.4 Ενδεικτικά μεγέθη κεραμικών φίλτρων τύπου κερι και διαθέσιμα συστήματα της εταιρίας Kisii (Dies,2003).....	75
Σχήμα 4.5 Αναπαράσταση κεραμικού φίλτρου δοχείου και δεξιά σύγκριση του μη επεξεργασμένου νερού και του επεξεργασμένου προϊόντος του.....	76
Σχήμα 4.6 Εγκατάσταση συστήματος υπερδιήθησης στο Δημοτικό Σχολείο Ressano Garcia (Μοζαμβίκη) και στο Σχολείο Mensajeros de la Paz στη Santa Isabel (Εκουαδόρ).....	81
Σχήμα 4.7 Εφαρμογή και Διατομή του Jerrycan που δείχνει τη θέση της χειροκίνητης αντλίας και του φίλτρου υπερδιήθησης.....	82

Σχήμα 4.8 Το Sunspring χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για να τροφοδοτεί την αντλία του και να επεξεργάζεται το νερό.....	83
Σχήμα 4.9 Το <i>Perfactor-E</i> χρησιμοποιεί την τεχνολογία <i>X-Flow</i>	84.
Σχήμα 4.10 Η εγκατάσταση του SkyHydrant απαιτεί μια αντλία ακατέργαστου νερού, μια δεξαμενή παροχής ακατέργαστου νερού που τροφοδοτεί το SkyHydrant και μια δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού (Skyjuice Foundation, 2010).....	85
Σχήμα 4.11 Θύματα τυφώνα στην Ταϊβάν χρησιμοποιούν τη δύναμη του ποδηλάτου για να φιλτράρουν το νερό τους.....	86
Σχήμα 4.12 Σύστημα πειραματικών εργαστηριακών δοκιμών.....	86
Σχήμα 4.13 Στην αριστερή εικόνα το πρώτο πρωτότυπο του Mobile Water Maker κατά τη διάρκεια της δοκιμής πεδίου στη Δομινικανή Δημοκρατία τον Οκτώβριο του 2006. Στη δεξιά εικόνα το δεύτερο πρωτότυπο το Νοέμβριο του 2007.....	87
Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ενός συστήματος διήθησης όχθης. (Hiscock & Grischek, 2002).....	91
Σχήμα 4.15 Κατακόρυφα φρεάτια στο εργοστάσιο ύδρευσης Flehe. Ένα πηγάδι παρακολούθησης, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση χημικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό του ποταμού σε περίπτωση διαρροής ή πλημμύρας, βρίσκεται μεταξύ του ποταμού και των κάθετων φρεατίων.....	92
Σχήμα 5.1 Γενικό διάγραμμα των διεργασιών φυτοεξυγίανσης στο νερό.....	98
Σχήμα 5.2 Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη φυτοεξυγίανση του νερού.....	99
Σχήμα 5.3 Φίλτρα άμμου <i>Moringa oleifera</i> f-sand για βιώσιμο καθαρισμό νερού.....	104
Σχήμα 5.4 πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νερού με χρήση σπόρων <i>Moringa oleifera</i> και φίλτρου άμμου.....	105

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση ηλιακών αποστατών με βάση το κόστος του παραγόμενου νερού.....	69
Πίνακας 2: Αξιολόγηση όλων των σχεδίων ηλιακών αποστακτηρών με βάση την ημερήσια παραγωγικότητα	70
Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φίλτρων κεραμικού δοχείου	76
Πίνακας 4: Είδη που σχετίζονται με πατέντες σε μεθόδους φυτοεξυγίανσης	100
Πίνακας 5: Κατάλογος φυτών που χρησιμοποιούνται ως φυτοαπολυμαντικά και πηκτικά στο επαρχιακό Καμερούν (Κ.Α. Yongadi, 2010)	101

Εισαγωγή

Στόχος της Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ, 6^{ος}) έως το 2030 είναι μεταξύ άλλων να "επιτευχθεί καθολική και ισότιμη πρόσβαση σε ασφαλή και οικονομικά προσιτά πόσιμο νερό για όλους". Παρόλα αυτά εξακολουθούν 771 εκατομμύρια άνθρωποι να μην έχουν πρόσβαση σε ασφαλώς διαχειριζόμενες πηγές πόσιμου νερού το 2021 με δραματικές επιπτώσεις για την υγεία. Η πρόληψη των ιώσεων που μεταδίδονται με το νερό έχει μεγάλη σημασία παγκοσμίως, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες που χαρακτηρίζονται από κατοίκους χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος. Βραχυπρόθεσμα, η πρόσβαση σε καλύτερες πηγές νερού θα βελτιώσει την υγεία των ατόμων και αυτό μακροπρόθεσμα μπορεί να προσφέρει κοινωνική ευημερία και οφέλη σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι παρούσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού έχουν μεγάλο οικολογικό αποτύπωμα και λειτουργικό κόστος, καθιστώντας τη διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας νερού στις αναπτυσσόμενες περιοχές σχεδόν αδύνατη, λόγω έλλειψης οικονομικών πόρων και υποδομών. Επίσης αρκετές περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό στερούνται δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που εντείνει την ανάγκη αναζήτησης νέων βιώσιμων λύσεων επεξεργασίας για την παροχή πόσιμου νερού. Στις χώρες αυτές είναι σημαντικό να προωθηθούν και να υποστηριχθούν συστήματα και υποδομές με βλέψεις προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση για την τόνωση των τοπικών οικονομιών και τη βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας. Ο θεμελιώδης στόχος που είναι συνυφασμένος με τη βιώσιμη τεχνολογία επεξεργασίας νερού είναι η επίτευξη επαρκούς, ποιοτικού νερού με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον και τον χρήστη, σε προσιτό κόστος και με ευρεία κοινωνική αποδοχή.

Στόχοι & Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία αποτελεί μια σύνθεση θεμάτων που ξεκίνησε από την επιθυμία να γίνουν ευρύτερα γνωστά τα προβλήματα των αναπτυσσόμενων χωρών σε θέματα που αφορούν τις συνθήκες έλλειψης ασφαλούς πόσιμου νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και σε απομακρυσμένες περιοχές τόσο των αναπτυσσόμενων όσο και των ανεπτυγμένων χωρών, και την ανάγκη να αποτυπωθεί μια διαφορετική πραγματικότητα από αυτήν που γνωρίζει ο σύγχρονος δυτικός κόσμος. Στόχος της εργασίας είναι να συγκεντρώσει και να προτείνει βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις επεξεργασίας νερού με γνώμονα την οικονομική αποδοτικότητα και τη περιβαλλοντική ευημερία με τη μείωση της χρήσης χημικών και ηλεκτρικής ενέργειας, για την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα:

Το 1^ο Κεφάλαιο εστιάζει στην αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης στο τομέα του νερού και της υγιεινής των αναπτυσσόμενων χωρών και των προβλημάτων υγείας καθώς και της κοινωνικοοικονομικής ανισότητας που προκύπτει από την κατανάλωση ακατάλληλου ανεπεξέργαστου νερού.

Στο 2^ο Κεφάλαιο εξετάζονται οι προσεγγίσεις για τον σχεδιασμό βιώσιμης επεξεργασίας νερού, παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας για κάθε περιοχή και της στρατηγικής υλοποίησής τους.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται επεξεργασίες νερού με τη χρήση ηλιακής ενέργειας με έμφαση στην ηλιακή παστερίωση, την ηλιακή απολύμανση γνωστή και ως μέθοδος SODIS και την ηλιακή απόσταξη.

Στο 4ο Κεφάλαιο εξετάζονται τα φυσικά συστήματα απολύμανσης του νερού. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα φίλτρα διήθησης ως ιδανική λύση για τα πλαίσια των δυνατοτήτων των αναπτυσσόμενων χωρών και προτείνονται τόσο τροποποιημένα βιολογικά φίλτρα διήθησης όσο και εμπορικές μονάδες φίλτρων υπό πίεση για την επεξεργασία και παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού σε απομακρυσμένες ευάλωτες περιοχές και αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης γίνεται αναφορά και στη βιωσιμότητα των συστημάτων παράκτιας διήθησης.

Στο 5ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η έρευνα που έχει παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια σχετικά με τη χρήση φυτικών υλών ως διηθητικά μέσα για το καθαρισμό του νερού, γεγονός που παρέχει την επιστημονική βάση για μια μέθοδο χωρίς συνθετικά χημικά ή ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση μόνο τοπικών διαθέσιμων φυσικών πόρων. Μάλιστα γίνεται συγκεκριμένη αναφορά στο είδος *Moringa* που θεωρείται πιο αποδοτικό για τη βιώσιμη επεξεργασία πόσιμου νερού στον αναπτυσσόμενο κόσμο.

Τέλος στο 6ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συστήματα των μεμβρανών αφαλάτωσης που συνδυάζονται με τοπικά διαθέσιμες πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) και προτείνονται ως βιώσιμες τεχνολογία επεξεργασίας νερού σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που αντιμετωπίζουν ζητήματα έλλειψης νερού ή/και στερούνται την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό.

1.

Υφιστάμενη κατάσταση αναπτυσσόμενων χωρών στο τομέα του νερού και της υγιεινής

Το νερό καταλαμβάνει τη σπουδαιότερη θέση ανάμεσα στους φυσικούς πόρους. Αποτελεί τη βάση της ζωής, όπως την ξέρουμε, και είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης κοινωνίας. Η ανθρώπινη υγεία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του διαθέσιμου νερού και η πρόσβαση σε καλής ποιότητας νερό είναι καθοριστικός παράγοντας του βιοτικού επιπέδου, ενώ η γενικότερη διαθεσιμότητά του επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον διεθνή Οργανισμό της UNESCO το 97,5% των υδάτινων πόρων του πλανήτη αποτελείται από αλμυρό νερό, ενώ μόλις 2,5% είναι γλυκό νερό. Περίπου τα δύο τρίτα αυτών των αποθεμάτων γλυκού νερού συναντάται σε μορφή πάγου στους πόλους και στις ορεινές περιοχές, ενώ το υπόλοιπο ένα τρίτο αποτελείται από υπόγεια ύδατα, και από επιφανειακά ύδατα όπως λίμνες, ποτάμια και ταμιευτήρες. Συνεπώς, λιγότερο από το 1% των υδάτινων πόρων του Πλανήτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο (UNESCO, 2009). Πλέον γνωρίζουμε ότι τα διαθέσιμα αποθέματα αυτού του πόρου είναι πεπερασμένα και δυστυχώς περιορίζονται ακόμη περισσότερο εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Το γλυκό νερό είναι άνισα κατανεμημένο στον πλανήτη και η διαθέσιμη ποσότητα σε κάθε περιοχή διαφέρει σημαντικά. Κάποιες περιοχές έχουν περισσότερες λίμνες, ποτάμια και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες υποφέρουν από ξηρασία. Η κλιματική αλλαγή προκαλεί αλλού πιο συχνές και σοβαρές πλημμύρες και σε άλλες περιοχές διαρκείς ξηρασίες, εντείνοντας έτσι την πίεση του νερού.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν ήδη οδηγήσει σε αλλαγές στον κύκλο του νερού. Μέχρι το 2030, οι ειδικοί προβλέπουν ότι η παγκόσμια ζήτηση νερού θα ξεπεράσει την προσφορά κατά 40%. Οι μειωμένες προμήθειες νερού θα μπορούσαν να αυξήσουν την ανασφάλεια όσον αφορά το νερό τόσο στις ΗΠΑ όσο και σε άλλες χώρες.

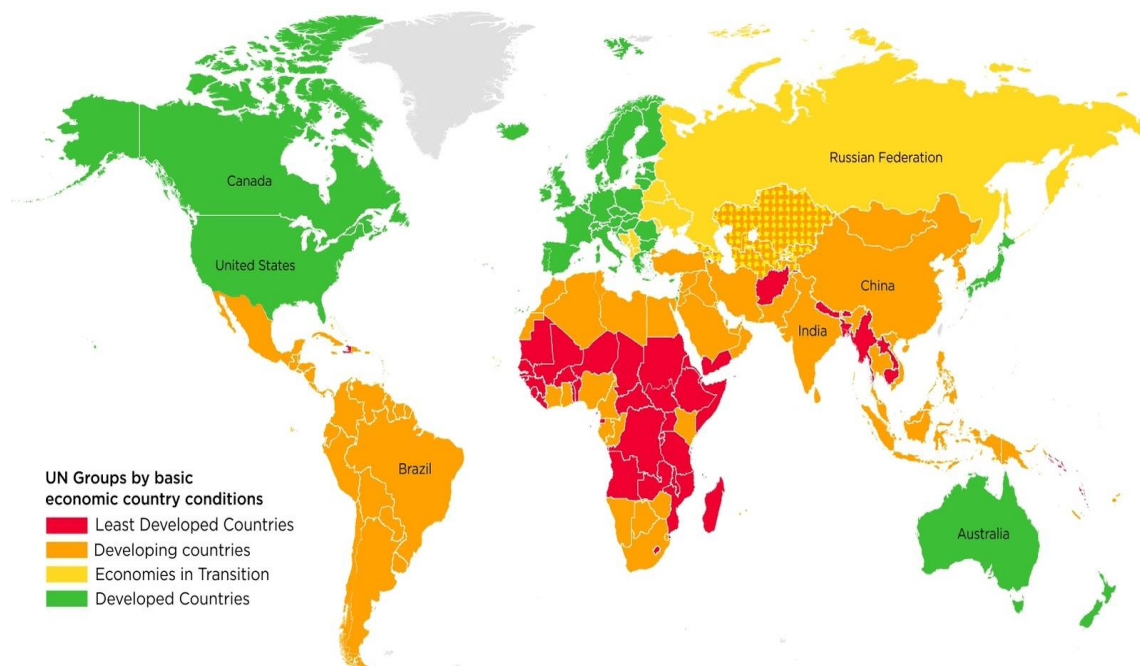
Επίσης οι αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο νερό από τις ανεπτυγμένες όσον αφορά την οικιακή χρήση, ενώ η κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού είναι διπλάσια στις αναπτυγμένες χώρες από ό,τι στις αναπτυσσόμενες. Πάνω από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι στις αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Από την άλλη πλευρά, στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούνται 3,9 τρισεκατομμύρια γαλόνια νερού το μήνα. Αυτό σημαίνει ότι το 5% του πληθυσμού του κόσμου χρησιμοποιεί 39 φορές περισσότερο νερό από το υπόλοιπο 16%.

Μέχρι το 2050, η παγκόσμια ζήτηση νερού αναμένεται να αυξηθεί κατά 55%. Η εκβιομηχάνιση και η αύξηση του βιοτικού επιπέδου σε πολλές περιοχές του κόσμου αποτελούν παράγοντες που συμβάλλουν στις σημερινές συνθήκες υδατικής πίεσης και

έλλειψης νερού. Ταυτόχρονα, οι παγκόσμιες διακυμάνσεις του κλίματος και η αυξανόμενη ανισορροπία της κατανομής του πληθυσμού μεταξύ αγροτικών και αστικών κέντρων ενισχύουν την υλικότεχνική πολυπλοκότητα της παροχής πρόσβασης στο νερό εκεί που χρειάζεται περισσότερο.

Η πανδημία COVID-19 κατέδειξε την κρίσιμη σημασία της αποχέτευσης, της υγιεινής και της επαρκούς πρόσβασης σε καθαρό νερό για την πρόληψη και τον περιορισμό των ασθενειών. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το πλύσιμο των χεριών είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές ενέργειες για τη μείωση της εξάπλωσης των παθογόνων μικροοργανισμών και την πρόληψη των λοιμώξεων, συμπεριλαμβανομένου του ιού COVID-19. Παρόλα αυτά, ένας στους τρεις ανθρώπους δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό, δύο στους πέντε ανθρώπους δεν διαθέτουν μια βασική εγκατάσταση πλυσίματος των χεριών με σαπούνι και νερό, ενώ η διαθεσιμότητα και η πρόσβαση σε αξιόπιστες υπηρεσίες ύδρευσης είναι θεμελιώδους σημασίας για την καταπολέμηση του ιού και τη διατήρηση της υγείας και της ευημερίας εκατομμυρίων ανθρώπων.

Στην Κολομβία, >3 εκατομμύρια κάτοικοι (28% του αγροτικού πληθυσμού) χρησιμοποιούν ανεπεξέργαστο νερό και εκτίθενται σε ρύπανση και ασθένειες ενώ στο Νεπάλ το διαθέσιμο πόσιμο νερό, προερχόμενο κυρίως από υπόγεια ύδατα είναι συνήθως μολυσμένο από αρσενικό ή με μη επεξεργασμένες απορρίψεις λυμάτων. Η Κολομβία και το Νεπάλ παρουσιάζονται μόνο ως παραδείγματα της έλλειψης πόρων και υποδομών. Τα προβλήματα αυτά είναι ευρέως διαδεδομένα στον αναπτυσσόμενο κόσμο, όπου το 80% των ασθενειών προκαλείται από μολυσμένο νερό (Zia,2013).



Σχήμα 1.1 Παγκόσμια εκπροσώπηση των αναπτυσσόμενων χωρών (από κοινό πρόγραμμα παρακολούθησης (WHO/UNISEF 2015)

Η πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό και συνθήκες υγιεινής έχει αναγνωριστεί ως ανθρώπινο δικαίωμα και έχει αποτελέσει για μεγάλο διάστημα κεντρικό στόχο των διεθνών αναπτυξιακών πολιτικών.

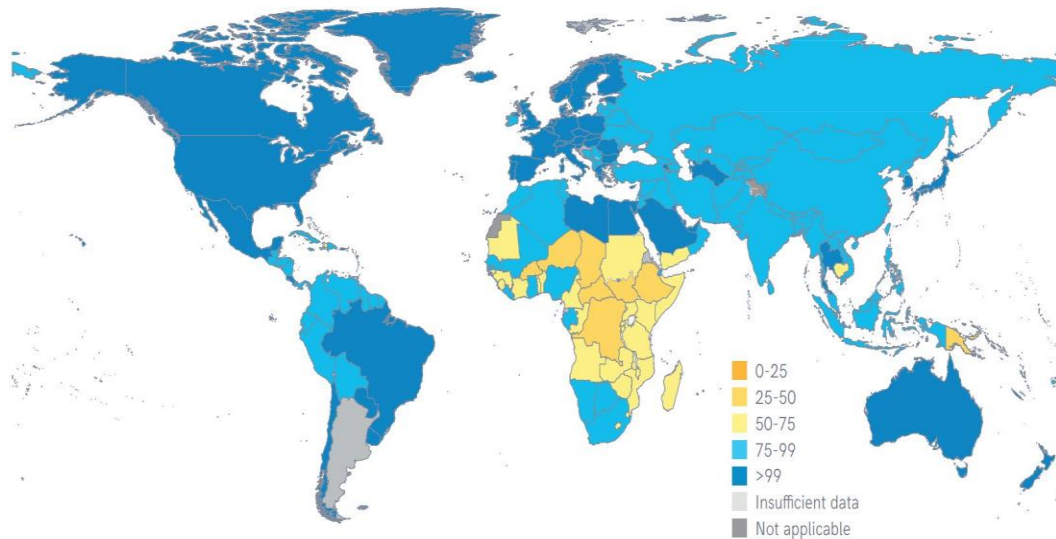
1.1 Αναπτυξιακές παρεμβάσεις για τη παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού

Οι αναπτυξιακές παρεμβάσεις άρχισαν να ανθίζουν τη δεκαετία του 1970, καθώς οι ανισότητες μεταξύ πλούσιων και φτωχών χωρών έγιναν εμφανείς όσον αφορά την ποιότητα ζωής και την πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες. Το αρχικό κίνητρο για την παροχή νερού και αποχέτευσης στους κατοίκους των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών βασιζόταν στην εξέταση του νερού και της αποχέτευσης ως ακρογωνιαίου λίθου της δημόσιας υγείας και ως βασικού ανθρώπινου δικαιώματος (Black M., 1998)

Στη Σύνοδο Κορυφής των Ηνωμένων Εθνών τον Σεπτέμβριο του 2000, 189 κράτη μέλη του ΟΗΕ συμφώνησαν να θέσουν ένα σύνολο στόχων με σκοπό την καταπολέμηση των σοβαρών προβλημάτων που αντιμετώπιζε ο πλανήτης. Οι στόχοι αυτοί ονομάστηκαν *Αναπτυξιακοί Στόχοι της Χιλιετίας* (ΑΣΧ) και έλαβαν ως χρονικό πλαίσιο επίτευξης το έτος 2015. Το 2012, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανακοίνωσε ότι ο κόσμος είχε επιτύχει τον στόχο της χιλιετίας για μείωση στο μισό του ποσοστού των ανθρώπων χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Ωστόσο, από μελέτες του 2015, εκτιμάται ότι ακόμη 663 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως δεν είχαν πρόσβαση σε βελτιωμένες πηγές πόσιμου νερού, ενώ ακόμη 263 εκατομμύρια άνθρωποι χρειάστηκαν πάνω από 30 λεπτά για να συλλέξουν νερό από βελτιωμένη πηγή και ως εκ τούτου χαρακτηρίστηκαν ως έχοντες "περιορισμένη" υπηρεσία.

Επίσης ένα σημαντικό μάθημα που αντλήθηκε από την εφαρμογή των ΑΣΧ ήταν ότι η πρόοδος και η επίτευξη του στόχου των ΑΣΧ δεν ήταν ίση σε όλες τις περιφέρειες, ενώ η χρήση μη βελτιωμένων πηγών νερού και επιφανειακών υδάτων ήταν δυσανάλογα υψηλότερη στους αγροτικούς πληθυσμούς από ό,τι στους αστικούς πληθυσμούς. Επιπλέον, οι ΑΣΧ επικεντρώθηκαν κυρίως στην πρόσβαση των νοικοκυριών σε πόσιμο νερό, ενώ η πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό θα έπρεπε να είναι δυνατή σε όλα τα περιβάλλοντα. Μετά την λήξη των Αναπτυξιακών στόχων της χιλιετίας (ΑΣΧ), τον Σεπτέμβριο του 2015, ο ΟΗΕ εξέφρασε τη νέα δέσμευσή του μέσω των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) έως το 2030, που περιλαμβάνονται 17 αναπτυξιακοί στόχοι και 169 επιμέρους επιδιώξεις ώστε μεταξύ άλλων να "επιτευχθεί καθολική και ισότιμη πρόσβαση σε ασφαλή και οικονομικά προσιτά πόσιμο νερό για όλους" (Στόχος 6 των ΣΒΑ).

Κατά τη διάρκεια των πρώτων πέντε ετών, υπήρξε μια σταθερή βελτίωση στη πρόσβαση των νοικοκυριών σε υπηρεσίες πόσιμου νερού, αποχέτευσης και υγιεινής. Μέχρι το 2020, 84 χώρες είχαν ήδη επιτύχει καθολική πρόσβαση (>99%) τουλάχιστον σε βασική πόσιμη υπηρεσία νερού, σε σύγκριση με 77 χώρες το 2015. Παρά την πρόοδο αυτή, το 2020 ακόμη 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να στερούνται πόσιμο νερό με ασφαλή διαχείριση, συμπεριλαμβανομένων 771 εκατομμυρίων ανθρώπων που δεν έχουν ούτε το βασικό πόσιμο νερό, ενώ οι μισοί από αυτούς (387 εκατομμύρια) στερούνται ακόμη των βασικών υπηρεσιών πόσιμου νερού και αφορούν κυρίως στην υποσαχάρια Αφρική (JMP, 2020).



Σχήμα 1.2 Ποσοστά παροχών υπηρεσιών πόσιμου νερού ανά τον κόσμο για το 2020

Για την παρακολούθηση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ), οι παροχές υπηρεσιών πόσιμου νερού κατηγοριοποιούνται ως εξής :

Ασφαλής Διαχείρισης, δηλαδή πόσιμο νερό από βελτιωμένη πηγή που είναι προσβάσιμη στις εγκαταστάσεις, διαθέσιμο όταν χρειάζεται και απαλλαγμένο από περιττώματα και χημικές ουσίες.

Βασικές, που αναφέρονται σε Πόσιμο νερό από βελτιωμένη πηγή, υπό την προϋπόθεση ότι ο χρόνος συλλογής δεν είναι περισσότερο από 30 λεπτά για μια διαδρομή μετ' επιστροφής, συμπεριλαμβανομένης της αναμονής στην ουρά για την παραλαβή του.

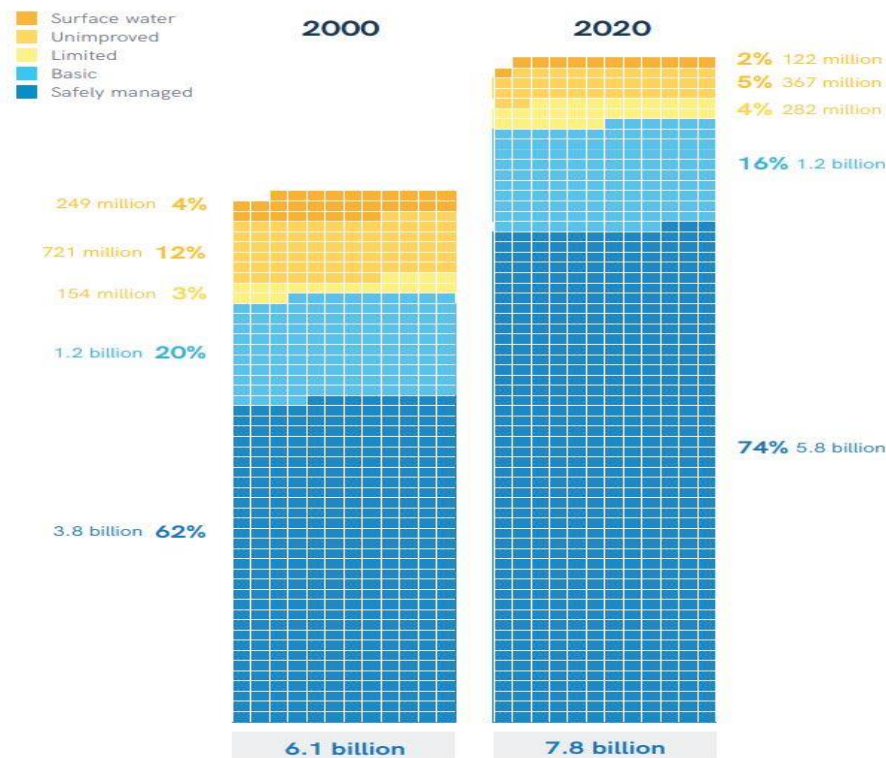
Περιορισμένες, που αφορούν πόσιμο νερό από βελτιωμένη πηγή, για το οποίο ο χρόνος συλλογής υπερβαίνει τα 30 λεπτά για μια διαδρομή μετ' επιστροφής, συμπεριλαμβανομένης της αναμονής στην ουρά.

Μη Βελτιωμένες, δηλαδή χρήση Πόσιμου νερού από μη προστατευμένο σκαμμένο πηγάδι ή μη προστατευμένη πηγή.

Επιφανειακό Νερό, δηλαδή πόσιμο νερό απευθείας από ποταμό, φράγμα, λίμνη, ρυάκι, κανάλι ή αρδευτικό κανάλι.

Μεταξύ του 2000 και του 2020, σημειώθηκε αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού από 6,1 δισεκατομμύρια σε 7,8 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι απέκτησαν πρόσβαση σε πόσιμο νερό με ασφάλεια διαχείρισης και ο αριθμός των ανθρώπων που στερούνταν υπηρεσιών ασφαλούς διαχείρισης μειώθηκε κατά 342 εκατομμύρια.

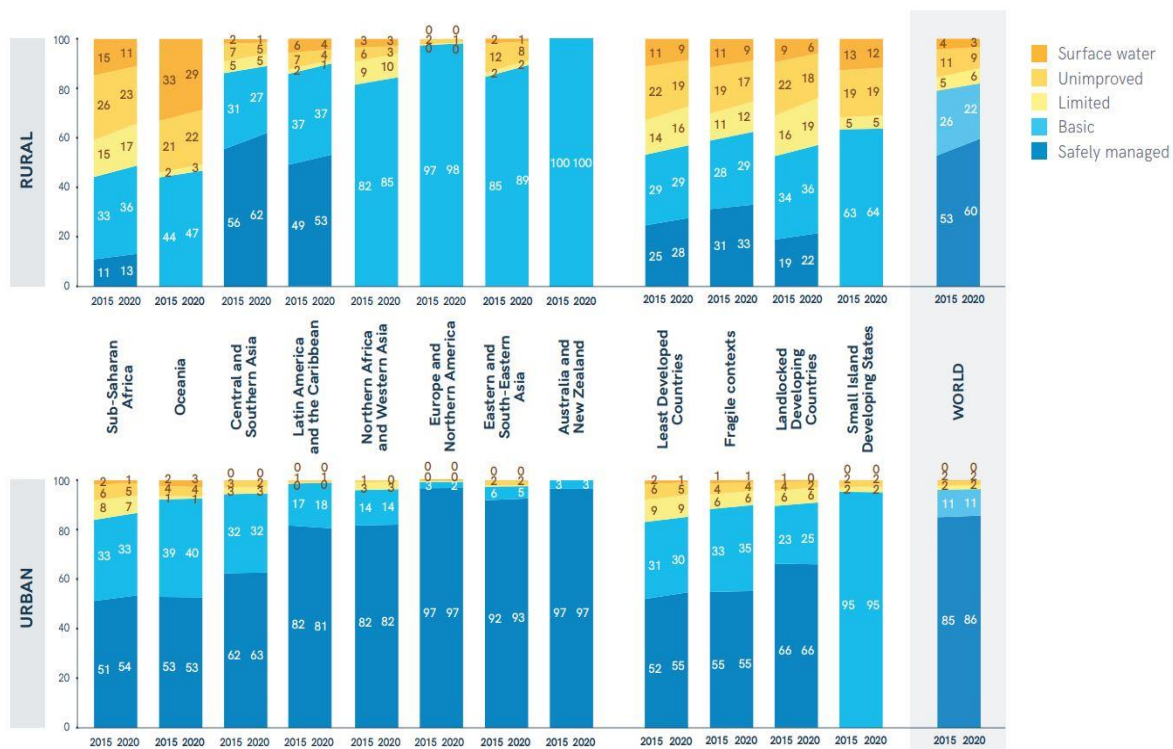
Παρόλη τη πρόοδο αυτή εξακολουθούν 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι να μην έχουν πρόσβαση σε ασφαλώς διαχειριζόμενες πηγές πόσιμου νερού το 2020, συμπεριλαμβανομένων 1,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι που χρησιμοποιούν βασικές υπηρεσίες, 282 εκατομμύρια που χρησιμοποιούν περιορισμένες υπηρεσίες, 367 εκατομμύρια χρησιμοποιούν μη βελτιωμένες πηγές, και 122 εκατομμύρια οι οποίοι προμηθεύονται το νερό τους απευθείας από μη ελεγμένο επιφανειακό νερό (JMP, 2020).



Σχήμα 1.3 Παγκόσμιος πληθυσμός που χρησιμοποιεί διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών πόσιμου νερού, το 2000 και το 2020 (κάθε μονάδα αντιπροσωπεύει 10 εκατομμύρια άτομα) (WHO JMP, 2020)

Επίσης, κατά τα πρώτα πέντε χρόνια της περιόδου των ΣΒΑ η κάλυψη των υπηρεσιών πόσιμου νερού με ασφαλή διαχείριση παρέμεινε χαμηλότερη στις περιοχές της υπαίθρου (60%) από ό,τι στις αστικές περιοχές (86%). Από το 2015, η Κεντρική και Νότια Ασία κατέγραψε την ταχύτερη πρόοδο στις επαρχιακές περιοχές, ενώ η υποσαχάρια Αφρική είχε τη σημαντικότερη ανισότητα στην κάλυψη της ασφαλούς διαχείρισης πόσιμου νερού μεταξύ των αστικών περιοχών (54%) και των περιοχών της υπαίθρου (13%), ακολουθούμενη από την Λατινική Αμερική και Καραϊβική με 81% στις αστικές έναντι 53% στις επαρχιακές περιοχές.

Αυτό υποδηλώνει ότι οι Αναπτυξιακοί Στόχοι της Χιλιετίας (ΑΣΧ,2015) επικεντρώθηκαν κυρίως στην πρόσβαση των νοικοκυριών σε πόσιμο νερό παραμελώντας τις ανάγκες των επαρχιακών κοινοτήτων όπου όπως είναι ξεκάθαρο η χρήση μη βελτιωμένων πηγών νερού και επιφανειακών υδάτων είναι δυσανάλογα υψηλότερη σε σχέση με τους αστικούς πληθυσμούς. Με βάση προηγούμενες εμπειρίες η αναφερόμενη παραμέληση των μεγάλων κοινοτικών έργων παροχής πόσιμου νερού είχε να κάνει με την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό και την υλοποίησή τους. Οι εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν σύντομα κατέρρευσαν λόγω της έλλειψης λειτουργίας και συντήρησης που προέκυψε από την ανεπάρκεια οργάνωσης, κατάρτισης και αίσθησης ιδιοκτησίας από τους δικαιούχους. Περαιτέρω, οι δικαιούχοι των έργων ύδρευσης θα πρέπει να είναι υπεύθυνοι για το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος, αλλά όχι για το κόστος του ίδιου του νερού, με βάση την ιδέα ότι όλοι οι άνθρωποι στη γη έχουν το δικαίωμα να αποκτούν και να καταναλώνουν αρκετό νερό για να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους.



Σχήμα 1.4 Παροχές του πόσιμου νερού στις πόλεις και στην ύπαιθρο, ανά επίπεδο υπηρεσιών και περιοχή ΣΒΑ, το 2015 και το 2020 (%)

1.2 Χωρική και κοινωνική ανισότητα πρόσβασης σε πόσιμο νερό στις αναπτυσσόμενες χώρες

Η ισότητα σχετίζεται στενά με την ιδέα της δικαιοσύνης και ότι όλα τα μέλη μιας κοινωνίας έχουν ίσα δικαιώματα. Από αυτή την άποψη, οι βελτιώσεις στην ύδρευση μπορούν να θεωρηθούν δίκαιες εάν ωφελούν εξίσου όλα τα μέρη της κοινωνίας. Δύο τύποι ισότητας - η χωρική και η κοινωνική - είναι χρήσιμοι για την εξέταση διαφορετικών επιπέδων πρόσβασης στην παροχή νερού και στην αποχέτευση. Η χωρική ισότητα απευθύνεται σε ομάδες ή κοινότητες που σχηματίζονται από γεωγραφικές περιοχές διαμονής, όπως η αστική έναντι της αγροτικής-επαρχιακής περιοχής ή τα διοικητικά όρια εντός μιας χώρας. Η κοινωνική ισότητα αφορά ομάδες που ορίζονται από χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ταυτότητά τους και υπερβαίνουν τα χωρικά όρια. Τις περισσότερες φορές οι κοινωνικές και χωρικές ανισότητες μπορεί να επικαλύπτονται μεταξύ τους.

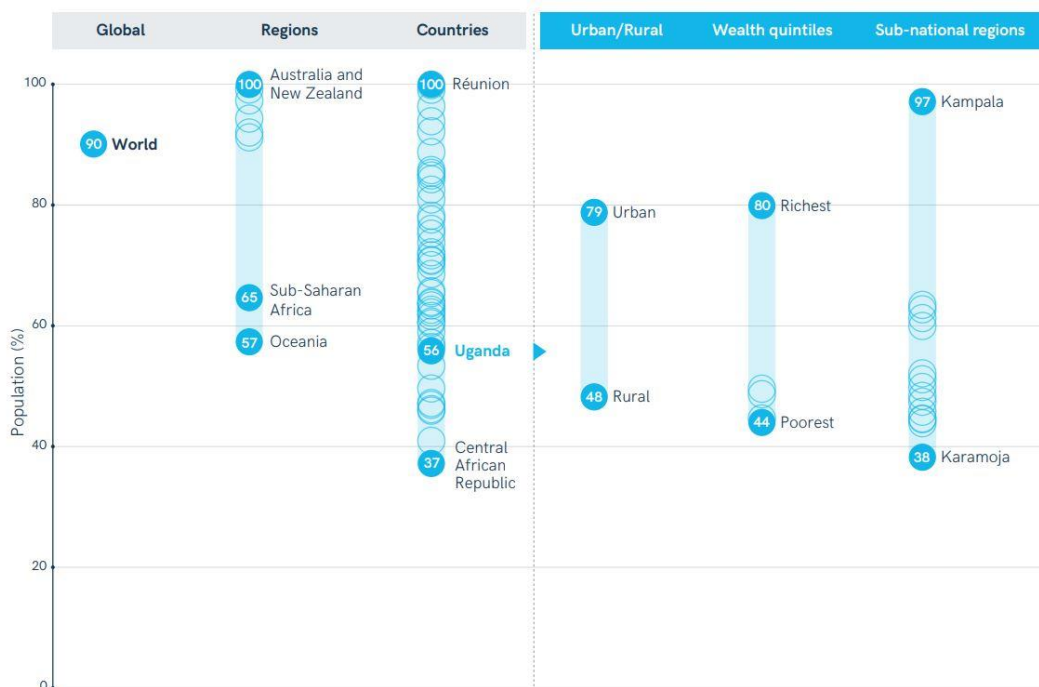
Μια σειρά από χωρικές και κοινωνικές ανισότητες εξακολουθούν να υφίστανται και υπάρχουν πολλές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι προσπάθειες για τη βελτίωση της δίκαιης πρόσβασης σε καθαρό πόσιμο νερό και υγιεινή. Η κάλυψη των βασικών υπηρεσιών πόσιμου νερού ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ και εντός των χωρών. Σε παγκόσμιο επίπεδο, 2,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι, που βρίσκονται σε χώρες κυρίως χαμηλού και μεσαίου εισοδηματικού επιπέδου, δεν έχουν πόσιμο νερό που να είναι διαθέσιμο στις κτηριακές εγκαταστάσεις τους, όταν χρειάζεται ή να είναι απαλλαγμένο από τυχών μολύνσεις (WHO 2019a).

Παρόλο που φαινομενικά δε διαφαίνεται κάποιο σημαντικό χάσμα μεταξύ επαρχιών και των αστικών κέντρων όσον αφορά την υιοθέτηση συστημάτων επεξεργασίας νερού πιο

προσεχτικές μελέτες έδειξαν ότι η υιοθέτηση κατάλληλων μεθόδων εξυγίανσης του πόσιμου νερού ήταν διαφορετική μεταξύ των νοικοκυριών από περιοχή σε περιοχή. Ο πιθανός λόγος για τη διαφοροποίηση των μεθόδων επεξεργασίας νερού μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών είναι οι εμφανείς διαφορές στη διαθεσιμότητα υλικών, το κόστος και την πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια κάθε μεθόδου. Στην Αμπούτζα της Νιγηρίας, μια μελέτη διαπίστωσε ότι περίπου το 24% και το 23% των νοικοκυριών που υιοθετούν TEN προέρχονται από τις νοτιοδυτικές (ΝΔ) και τις νότιες-νότιες (ΝΝ) ζώνες, αντίστοιχα, ενώ τα νοικοκυριά στα βορειοδυτικά είναι τα λιγότερο πιθανά (9,9%) να υιοθετήσουν κάποια TEN. Ομοίως, στις επαρχιακές περιοχές της Guangxi της Κίνας, το 23,8% του εμφιαλωμένου νερού που ελέγχθηκε ήταν κάτω από το όριο της χώρας όσον αφορούσε τα πρότυπα για την ασφάλεια του πόσιμου νερού (Abubakar, 2021).

Η περιφερειακή ανισότητα όσον αφορά στην υιοθέτηση συστημάτων επεξεργασίας νερού επιβεβαιώνεται από τα ευρήματα προηγούμενων μελετών. Στην Αιθιοπία, τα αγροτικά νοικοκυριά είχαν 1,58 φορές λιγότερες πιθανότητες να χρησιμοποιήσουν κάποια μέθοδο εξυγίανσης του νερού προς πόση, από ό,τι τα αστικά νοικοκυριά. Στη νότια Ινδία, η υιοθέτηση και η βιωσιμότητα των τεχνολογιών επεξεργασίας νερού επηρεάζεται σημαντικά από τη διαφορετικότητα των επαρχιών και του τρόπου προσέγγισής τους.

Πρόσφατες μελέτες αναδεικνύουν επίσης ένα υψηλό ποσοστό πληθυσμού χωρίς υπηρεσίες πόσιμου νερού με ασφαλή διαχείριση και σε περιοχές ανεπτυγμένων χωρών. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι ακόμη και στις Ηνωμένες Πολιτείες εκτιμάται πώς 471.000 νοικοκυριά (1,1 εκατομμύρια άνθρωποι) στερούνται ασφαλούς πρόσβασης σε νερό, το 73% των οποίων κατοικεί στα περίχωρα των 50 μεγαλύτερων μητροπολιτικών περιοχών των ΗΠΑ (Meehan, 2020). Η βάση δεδομένων JMP για τις ανισότητες περιλαμβάνει τώρα εκτιμήσεις για περισσότερες από 100 χώρες. Καθώς ο αριθμός των διαθέσιμων στοιχείων των υποεθνικών περιφερειών ποικίλλει, παρατηρούνται διαφορετικά πρότυπα ανισότητας σε αρκετές χώρες μεταξύ των περιφερειακών τους ενοτήτων.



Σχήμα 1.5 Ανισότητες στις υπηρεσίες πόσιμου νερού με ασφαλή διαχείριση και τα στοιχεία του, Chad, 2019 (%)

Το 2020, εννέα στους δέκα ανθρώπους παγκοσμίως χρησιμοποιούν τουλάχιστον βασικές υπηρεσίες πόσιμου νερού, αλλά η κάλυψη ανά περιφέρεια κυμαινόταν από 100% στην Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία έως μόλις 57% στην Ωκεανία και 65% στην υποσαχάρια Αφρική. Υπήρχαν επίσης σημαντικές ανισότητες εντός των χωρών (WHO/UNICEF JMP 2021).

Έρευνα δεικτών ελονοσίας, Chad 2019, αποκάλυψε μια απόκλιση 31% pt στην κάλυψη μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, ένα χάσμα 36% pt μεταξύ πλουσιότερων και φτωχότερων κοινωνικών ομάδων και μια απόκλιση 59% pt μεταξύ της πρωτεύουσας Καμπάλα στην Ουγκάντα και της υποπεριοχής Karamoja.

1.3 Μολύνσεις νερού

Δυστυχώς, η ποιότητα του νερού μπορεί να υποβαθμιστεί, συχνά με δραματικές επιπτώσεις ακόμα και για την ίδια τη ζωή, λόγω της διασποράς μολυσματικών ασθενειών. Ακόμη και το νερό που μοιάζει καθαρό μπορεί να είναι μολυσμένο με παθογόνους μικροοργανισμούς και να συνιστά σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία. Ο αντίκτυπος στη δημόσια υγεία, της χρήσης μη ασφαλούς νερού προκαλεί μεγάλη ανησυχία, καθώς συχνά ανιχνεύονται παθογόνοι μικροοργανισμοί σε διάφορα υδάτινα σώματα. Η πρόσληψη μολυσμένου νερού, η οποία τις περισσότερες φορές προκαλείται από κακή αποχέτευση και υγιεινή, οδηγεί συχνά σε διάφορες υδατογενείς λοιμώξεις (Adelodun, 2020).

Τα παθογόνα που προσβάλλουν τον άνθρωπο μπορούν να μεταφερθούν μέσω πλημμυρής κατεργασμένο νερό το οποίο χρησιμοποιείται ως πόσιμο στην Παρασκευή φαγητού. Μία άλλη πηγή μετάδοσης ασθενειών είναι το μολυσμένο με παθογόνα νερό που χρησιμοποιείται για αναψυχή, κολύμπι και λουτρό. Είναι σύνηθες έως και σήμερα η ευρείας κλίμακας εξάρσεις υδατογενών ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι εξάρσεις αυτές οφείλονται είτε σε έλλειψη ασφαλούς μεθόδου διαχείρισης του νερού ή σε σφάλματα κατά τη διαδικασία καθαρισμού του νερού και αρκετά συχνότερα προκαλούνται εξαιτίας των ανύπαρκτων ή ανεπαρκώς ανεπτυγμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Οι (Yang, 2020) διαπίστωσαν μια συσχέτιση μεταξύ του πόσιμου νερού και ελλιπούς αποχέτευσης με τον κίνδυνο μολύνσεων και νόσησης των παιδιών (ιδιαίτερα κάτω των ηλικίας των πέντε ετών) που βρίσκονταν σε κακή κοινωνικοοικονομική κατάσταση στην υποσαχάρια Αφρική. Ενώ η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στα επεξεργασμένα λύματα σε χώρες υψηλού εισοδήματος που έχουν υψηλά πρότυπα λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων είναι αποδεδειγμένη, η κατάσταση στις χώρες χαμηλού εισοδήματος και στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι περισσότερες από τις οποίες δεν διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ή αποτελεσματικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, είναι σίγουρα χειρότερη από ό,τι μπορεί να φανταστεί κανείς. Αξίζει να αναφερθεί ότι, ορισμένοι γνωστοί διασυνοριακοί ποταμοί και λεκάνες που έχουν μολυνθεί από παθογόνους μικροοργανισμούς των υγρών αποβλήτων, είναι Αμαζόνιος, Κονγκό, Νείλος, Γενισέι, Λένα, Ζαμβέζι, Νίγηρας και Αμούρ,

Οι μικροοργανισμοί που μεταδίδονται μέσω του νερού αναπτύσσονται εν γένει στο έντερο και απομακρύνονται από το σώμα με τα περιττώματα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να προκληθεί περιττωματική μόλυνση στο νερό της ύδρευσης που αν δεν ανιχνευθεί και αντιμετωπιστεί, τότε ένας νέος ξενιστής μπορεί να καταναλώσει το νερό, το παθογόνο να αποικίσει το εντερικό του σύστημα και ο ίδιος να νοσήσει, μεταδίδοντας παράλληλα τον ιό

και στους γύρω του. Παγκοσμίως, η έλλειψη κατάλληλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού και η δυσκολία πρόσβασης σε καθαρό νερό συμβάλλει σημαντικά στην εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών. Το νερό έχει αναγνωριστεί ως ένα καλό μέσο επιβίωσης των ιών, γεγονός που μπορεί να επιτρέψει τη συνέχιση της ύπαρξής τους για σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους (Pinoth, 2019). Οι ιοί είναι μόρια νουκλεϊκών οξέων που μπορούν να εισχωρούν σε κύτταρα οργανισμών και να αναπαράγονται μέσα σε αυτά. Οι ανθρώπινοι εντερικοί ιοί στο πόσιμο νερό προκαλούν ανησυχία, καθώς είναι πολύ μικροί (μικρότεροι από 100 χιλιοστόμετρα) σε μέγεθος και μπορούν να επιβιώσουν στο περιβάλλον. Αν και οι περισσότεροι ιοί είναι συγκεκριμένοι ως προς τον ξενιστή (π.χ., ένας ανθρώπινος εντερικός ιός προσβάλλει συνήθως τον άνθρωπο και όχι άλλα ζώα), οι πρόσφατες ανησυχίες για μη εντερικούς ιούς ζώων που επηρεάζουν τον άνθρωπο δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Επιπλέον, τα ανθρώπινα ιογενή παθογόνα, είναι ειδικά ανθεκτικοί στην επεξεργασία λυμάτων και δύσκολα ανιχνεύονται σε περιβαλλοντικά μέσα παρά τις πρόσφατες προόδους στις τεχνολογίες επεξεργασίας νερού και λυμάτων (Shapiro, 2010).

Ορισμένοι ιοί, όπως οι coxsackieviruses, οι echoviruses, οι αδενοϊοί, οι ρεοϊοί και οι ιοί της ηπατίτιδας Α αναφέρονται ως μικροοργανισμοί που σχετίζονται με το νερό (Sinclair, 2009). Παθογόνα μικρόβια όπως πρωτόζωα και βακτήρια μεταδίδονται επίσης μέσω της υδάτινης οδού καθώς παραμένουν στο γαστρεντερικό σύστημα του ξενιστή τους (άνθρωποι και ζώα) και στη συνέχεια απελευθερώνονται στο περιβάλλον μέσω των περιττωμάτων από όπου ρυπαίνονται τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (Paleologos, 2020). Οι αδενοϊοί συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο άφθονων ανθρώπινων ιών στα λύματα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (La Rosa, 2021).

Παρόλο που τα λύματα αποκαθίστανται μικροβιολογικά και φυσικοχημικά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για την εξάλειψη των ρύπων πριν από την απόρριψη τους ως περιβαλλοντικά ασφαλούς νερού, η κοπρανώδης ρύπανση των περιβαλλοντικών υδάτων αποτελεί την κύρια υγειονομική ανησυχία, δεδομένου ότι τα περιβαλλοντικά ύδατα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων και την παροχή πόσιμου νερού (Masclaux, 2013). Εκτός αυτού, οι ιοί από το περιβαλλοντικό νερό που απελευθερώνεται μπορεί να φτάσουν σε διάφορα τρόφιμα, όπως λαχανικά, φρούτα και ωμά οστρακοειδή (Bosch et al., 2008).

Το πρόσφατα ανακαλυφθέν στέλεχος από του κορονοϊού που έχει αναμφισβήτητα προσελκύσει την προσοχή, έχει ανιχνευθεί σε λύματα στις Κάτω Χώρες, την Αυστραλία, τις ΗΠΑ και την Ελλάδα (Paleologos, 2020) (Lodder, 2020). Εν τω μεταξύ, λίγες αναφορές δείχνουν αν ο SARS-CoV-2 μπορεί να μεταδοθεί μέσω μολυσμένου νερού (Adelodun, 2020). Ωστόσο, προέκυψαν υποστηρικτικά στοιχεία για τη στενή παρακολούθηση της δυναμικής του SARS-CoV-2, καθώς οι (Arslan, 2020a, 2020b) υποστήριξαν ότι ο ιός μπορεί να παραμείνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο πεπτικό σύστημα από ό,τι στο αναπνευστικό σύστημα, καθώς οι μολυσμένοι ασθενείς απέκριναν ιικό νουκλεϊκό οξύ παρά το γεγονός ότι η εξέταση ήταν αρνητική μετά από 6 και 14 ημέρες από το δείγμα δειγματοληψίας από το αναπνευστικό σύστημα. Ακόμη Σε μια έκθεση των (Rosa, 2020), εκτιμήθηκε ότι ο SARS-CoV-2 έχει χαμηλή σταθερότητα στο περιβάλλον, είναι ευαίσθητος στο χλώριο, η επιβίωση του μειώνεται σε θερμοκρασία γύρω στις 23 °C και 25°C και προς το παρόν δεν υπάρχουν δεδομένα για τους ισχυρισμούς της μετάδοσής του μέσω του πόσιμου νερού. Επίσης, η στενή ομοιότητα των SARS-CoV-1 και SARS-CoV-2 ως προς τις χημικές δομές και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά χρήζει πλήρους προσοχής, καθώς η επιδημία του πρώτου το 2003

εντοπίστηκε σε ένα αποτυχημένο σύστημα στεγανοποίησης νερού και σε κακές διαδικασίες υγιεινής.

Αν και η μικροβιολογική μόλυνση του νερού αποτελεί προτεραιότητα, οι φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές χημικής ρύπανσης μπορούν να θέσουν σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Παρόλο που δεν υπάρχουν δημοσιευμένες εκτιμήσεις σχετικά με την παγκόσμια επιβάρυνση από ασθένειες που οφείλονται σε χημικά μολυσμένο νερό (Kjellstrom, 2006), ορισμένες χώρες με αναπτυσσόμενο βιομηχανικό τομέα έχουν αντιμετωπίσει προβλήματα ρύπανσης του νερού.

Η ποιότητα των νερών επηρεάζεται σημαντικά από επιβλαβείς χημικές ουσίες προερχόμενες από ανθρώπινες δραστηριότητες και βιομηχανικά απόβλητα, όπως συνθετικές οργανικές χημικές ουσίες, φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Επίσης φαρμακευτικά προϊόντα και προϊόντα προσωπικής φροντίδας (PPCPs) συχνά περιέχονται στα επιφανειακά ύδατα και προκαλούν ανησυχία λόγω της ενδοκρινικής τους συμπεριφοράς. Τις περισσότερες φορές εισέρχονται στο νερό μέσω της εσφαλμένης απόρριψης μερικώς χρησιμοποιημένων ή ληγμένων φαρμάκων είτε της μερικώς μεταβολισμένης απέκκρισης των φαρμάκων μέσω των ανθρώπινων αποβλήτων. Πρόσφατα, η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) επεσήμανε ότι οι εγκαταστάσεις παρασκευής φαρμακευτικώνσκευασμάτων αποτελούν πηγές οπιοειδών και άλλων φαρμακευτικών ουσιών και ενώ οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι σχεδιασμένες να απομακρύνουν τους μολυσματικούς παράγοντες από το εισερχόμενο νερό, πολλά συστήματα επεξεργασίας αδυνατούν να απομακρύνουν τους φαρμακευτικούς αυτούς ρύπους, κάττοντάς στους με αυτό το τρόπο σε σημαντικούς μολυσματικούς παράγοντες που σχετίζονται με το πόσιμο νερό (Opere, 2020).

Εκτός από τους ανθρωπογενείς ρύπους, τα υπόγεια ύδατα περιέχουν συχνά φυσικές τοξικές χημικές ουσίες, όπως αρσενικό και φθόριο, οι οποίες διαλύονται στο νερό από το έδαφος ή τα στρώματα πετρωμάτων. Το πιο εκτεταμένο πρόβλημα αυτής της κατηγορίας είναι η μόλυνση των υπόγειων υδάτων με αρσενικό, η οποία έχει παρατηρηθεί στην Αργεντινή, το Μπαγκλαντές, τη Χιλή, την Κίνα, την Ινδία, το Μεξικό, το Νεπάλ, την Ταϊβάν και σε τμήματα της Ανατολικής Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών. Το αρσενικό στα υπόγεια ύδατα του Μπαγκλαντές επισημάνθηκε για πρώτη φορά το 1993, ως αποτέλεσμα της προώθησης προστατευμένων φρεατίων σε μια προσπάθεια εξάλειψης των διαρροϊκών ασθενειών που προκαλούνται από τα μολυσμένα με κόπραννα επιφανειακά ύδατα. Εκατομμύρια ρηχά πηγάδια ανοίχτηκαν στο αλλούβιο του Δέλτα του Γάγγη στο Μπαγκλαντές και οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι περίπου 40 εκατομμύρια άνθρωποι κινδύνευαν από ασθένειες που σχετίζονται με δηλητηρίαση από αρσενικό λόγω των υψηλών επιπέδων αρσενικού στα υπόγεια ύδατα.

Το φθόριο είναι ένας άλλος φυσικός ρύπος που προκαλεί επιπτώσεις στην υγεία και η έκθεση σε υψηλά επίπεδα στο πόσιμο νερό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των οστών και σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαλέσει ανάπηρη σκελετική φθορίαση. Η επιβάρυνση από τη χημική ρύπανση σε συγκεκριμένες περιοχές μπορεί να είναι μεγάλη. Υπάρχει ένας αριθμός γεγονότων που έχουν υπογραμμίσει τα υψηλά επίπεδα επιβάρυνσης από τη χημική ρύπανση, όπως η δηλητηρίαση από μεθυλοϋδράργυρο, η χρόνια δηλητηρίαση από κάδμιο και οι ασθένειες από την έκθεση σε νιτρικά άλατα, καθώς και η έκθεση σε μόλυβδο.

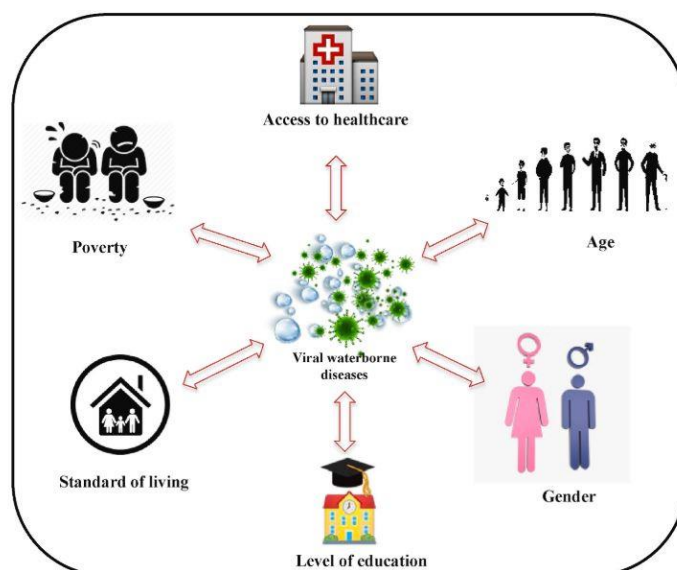
Ο μόλυβδος είναι άλλο ένα από τα φυσικά μέταλλα της Γης που μολύνει τα υδάτινα συστήματά ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Βρίσκεται σε πολλά μεταλλικά προϊόντα όπως μπαταρίες, πυρομαχικά, βενζίνη, χρώματα και κεραμικά προϊόντα.

Ωστόσο, δεν βρέθηκε ποτέ στο νερό με φυσικό τρόπο και τις περισσότερες φορές φτάνει εκεί ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των ορειχάλκινων και χάλκινων συστημάτων διανομής.

1.3.1 Κοινωνικοοικονομική ανισότητα λόγω της ιογενούς ρύπανσης των υδάτων

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία λόγω της κοινωνικοοικονομικής ανισότητας που βιώνουν οι αναπτυσσόμενες χώρες και τον οποίο αισθάνονται κυρίως οι γυναίκες και τα κορίτσια λόγω της έκθεσης σε μολυσμένο νερό και έδαφος έχει αυξηθεί σε σχέση με την ατζέντα του στόχου 6 των ΣΒΑ (Rougamini, 2020). Αν και οι κοινωνικοοικονομικοί δείκτες είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση και τον μετριασμό των επιπτώσεων των υδατογενών ιογενών ασθενειών, μόνο την τελευταία δεκαετία έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την καλύτερη κατανόηση του ρόλου τους. Λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα παγκόσμια πανδημία που προκαλείται από τη νέα εμφάνιση του κοροναϊού (SARS-CoV-2) με αρκετές μελέτες να υποδεικνύουν την πιθανή παραμονή του και τον δυνητικό κίνδυνο στο υδάτινο περιβάλλον σε συνδυασμό με την υφιστάμενη επιδημία λοιμώξεων και ασθενειών που σχετίζονται με το νερό, προκύπτει αναγκαία μια ανασκόπηση που να επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της διακριτής ανισότητας της χρήσης του μολυσμένου από ιούς νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς η παραμέληση των βασικών τους αναγκών (όπως η επαρκής επεξεργασία λυμάτων, η παροχή καθαρού και πόσιμου νερού και η καλή διαχείριση της υγιεινής) θα επηρεάσει την καταπολέμηση του COVID-19.

Η πρόληψη των ιώσεων που μεταδίδονται με το νερό έχει μεγάλη σημασία παγκοσμίως, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες που χαρακτηρίζονται από κατοίκους χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειονότητα των περιστατικών από υδατογενείς ιογενείς νόσους έχει αναφερθεί μεταξύ των χωρών χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος. Ως εκ τούτου, για να αναπτυχθούν κατάλληλες πολιτικές για τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων από ιώσεις, απαιτείται μια σύνθετη προσέγγιση των κοινωνικών δομών και των οικονομικών συστημάτων. Όσον αφορά την κοινωνικο-οικονομική προσέγγιση, η βιβλιογραφία σχετικά με τις υδατογενείς ιογενείς ασθένειες διαπιστώνει ότι οι πηγές μόλυνσης συσχετίζονται με τη φτώχεια (χαμηλό εισόδημα και επίπεδο υγιεινής), το



Σχήμα 1.6 Κοινωνικοοικονομικές ανισότητες λόγω της ιογενούς ρύπανσης των υδάτων

χαμηλό επίπεδο εκπαίδευσης, το χαμηλό βιοτικό επίπεδο, την ανεπαρκή πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη, την ηλικία και το φύλο.

χαμηλό βιοτικό επίπεδο Αρκετές μελέτες έχουν διαπιστώσει τη συσχέτιση μεταξύ του χαμηλού βιοτικού επιπέδου και της ρύπανσης του νερού που σχετίζεται με ιούς (El Zanfaly, 2015). Ομοίως, οι (Parvez, 2019) ανέφεραν μια άμεση σχέση μεταξύ της φτώχειας και των υδατογενών ασθενειών, υπονοώντας ότι τα ακραία επίπεδα φτώχειας είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση των υδατογενών ασθενειών, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η έλλειψη ποιοτικού νερού και υγιεινής δημιουργεί ιδανικές συνθήκες κάτω από τις οποίες ευδοκμούν οι ιογενείς παθογόνοι μικροοργανισμοί. Περαιτέρω, η έλλειψη καλής ποιότητας και αξιόπιστων πηγών νερού μπορεί να οδηγήσει στην άντληση νερού από άλλες μη ασφαλείς πηγές, εκθέτοντάς έτσι τον εκάστοτε πληθυσμό σε υδατογενείς ιογενείς ασθένειες και θέτοντας σε κίνδυνο την υγεία τους. Επίσης είναι συχνές οι αναφορές με παιδιά σε αγροτικά νοικοκυριά το οποία υπήρξαν πιο επιρρεπή σε μολυσμένες πηγές νερού από ό,τι τα παιδιά που ζουν σε αστικά νοικοκυριά και ότι οι επιπτώσεις του μολυσμένου νερού επιδεινώθηκαν από την τάση των γυναικών της υπαίθρου να επαναχρησιμοποιούν το νερό του σπιτιού που αντλούν από βυτία ή μη ελεγμένα πηγάδια, ενισχύοντας έτσι περαιτέρω τη σημασία της φτώχειας στη χρήση μολυσμένου από μικρόβια νερού.

Επίπεδο εκπαίδευσης Αρκετά ευρήματα δείχνουν μια σαφή αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου της εκπαίδευσης ενός λαού και του ποσοστού των ιογενών υδατογενών ασθενειών. Όσο περισσότερο γνωρίζουν οι άνθρωποι για τις υδατογενείς ιογενείς ασθένειες, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για προφύλαξη και διαχείριση της μόλυνσης από ασθένειες και, ως εκ τούτου, τόσο μικρότερη είναι η συχνότητα εμφάνισης της ασθένειας. Στην Αίγυπτο, τα νοικοκυριά με μέλη που έχουν σπουδάσει πέρα από το δημοτικό επίπεδο είναι πιο πιθανόν να υιοθετήσουν μία βιώσιμη μέθοδο επεξεργασίας νερού σε σχέση με εκείνα που δεν έχουν τυπική εκπαίδευση. Στο Μπουτάν, η αύξηση των ετών εκπαίδευσης του υπευθύνου του νοικοκυριού αυξάνει και την πιθανότητα υιοθέτησης αναδεικνυόμενων ΤΕΝ.

Πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη Ο κίνδυνος μόλυνσης από υδατογενείς ιογενείς ασθένειες μπορεί να επηρεαστεί από το επίπεδο πρόσβασης στην υγειονομική περίθαλψη, που αντανακλά έναν παράγοντα της κοινωνικοοικονομικής κατάστασης των νοικοκυριών. Η τάση για εύκολη πρόσβαση σε εγκαταστάσεις νοσοκομείων μπορεί να μειώσει τις επιπλοκές των υδατογενών ιογενών νοσημάτων, παρέχοντας έγκαιρη ανίχνευση και την απαιτούμενη φαρμακευτική αγωγή για τον περιορισμό της νόσου (Dickin, 2014).

Ηλικία Η πιο κραυγαλέα επίπτωση της μη πρόληψης των υδατογενών ασθενειών είναι τα πιθανά υψηλά ποσοστά νόσησης και θνησιμότητας μεταξύ των παιδιών. Όπως αναφέρει η (El Zanfaly, 2015) η έλλειψη πρόσβασης σε ασφαλές νερό και κατάλληλες συνθήκες υγιεινής οδηγεί σε εξάπλωση των υδατογενών ασθενειών και έχει σημαντικό αντίκτυπο, ιδίως στις την υγεία των ευάλωτων ηλικιακών ομάδων. Οι υδατογενείς ιογενείς παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές προκλήσεις για την υγεία τόσο στα παιδιά όσο και στους ηλικιωμένους. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μη ασφαλές νερό λόγω μικροβιακής μόλυνσης αποβαίνει αιτία θανάτου για τουλάχιστον 1,6 εκατομμύρια παιδιά ηλικίας κάτω των πέντε ετών, εκ των οποίων το 84% αυτών ζουν σε αγροτικές περιοχές που χαρακτηρίζονται από κακή κοινωνικοοικονομική κατάσταση. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, δεδομένου ότι οι επαρχιακοί οικισμοί, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, αντιμετωπίζουν τεράστιες υγειονομικά προβλήματα και οξεία φτώχεια, καθιστώντας έτσι τα παιδιά από αυτούς τις πιο ευάλωτες κοινωνικές ομάδες στις μολύνσεις από ασθένειες που μεταδίδονται με το νερό.

Ζητήματα φύλου Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο φύλων στους κοινωνικούς προσδιοριστικούς παράγοντες των υδατογενών ασθενειών λόγω των διαφορετικών ρόλων που φέρει κάθε φύλο στο νοικοκυριό, ο οποίος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα των υδατογενών λοιμώξεων. Μελέτες επιβεβαιώνουν ότι το γυναικείο φύλο είναι πιο επιρρεπές στις υδατογενείς λοιμώξεις, γεγονός που οφείλεται στο ότι οι δραστηριότητες των γυναικών περιλαμβάνουν τη χρήση νερού με πολλούς τρόπους, όπως το πλύσιμο, το μαγείρεμα κ.λπ. (Pougamín, 2020)

1.4 Μια ιστορική αποτίμηση της εξέλιξης των τεχνολογιών επεξεργασίας νερού

Η τεχνολογία του νερού έχει περάσει από δύο σαφώς καθορισμένες περιόδους: Η αρχαία και η σύγχρονη εποχή, που χωρίζονται από τον σκοτεινό Μεσαίωνα. Η αρχαία εποχή γνώρισε μια αργή αλλά συνεχή βελτίωση σε όλους σχεδόν τους κλάδους της τεχνολογία του νερού. Στην πραγματικότητα, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι οι ανάγκες σε νερό οδήγησαν τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Τα ελληνικά και σανσκριτικά γραπτά έδωσαν προτάσεις για τρόπους επεξεργασίας του νερού ήδη από το 2000 π.Χ. Θεωρούσαν ότι ενδεχομένως η θέρμανση του νερού με την έκθεση στο ηλιακό φως ή το βράσιμο και στράγγισμα θα συνέβαλλε στη αποστείρωσή του, και γνώριζαν ότι η διήθηση με άμμο και χαλίκι βοηθούσε στην απολύμανση του νερού. Ωστόσο, η θολρότητα ήταν το κύριο κριτήριο που χρησιμοποιούνταν για τον προσδιορισμό της καθαρότητας, καθώς η γνώση των μικροοργανισμών ήταν πολύ πέρα από την εποχή τους.

Η πρώτη γνωστή μέθοδος επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε από τους Αιγύπτιους γύρω στο 1500 π.Χ., όπου εφάρμοζαν χημική αλουμίνα σε μολυσμένο νερό για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Αυτό είναι σήμερα γνωστό ως η αρχή της συσσωμάτωσης (Lenntech 2009). Σχέδια αυτού του συστήματος βρέθηκαν στους τάφους των των Αιγύπτιων Φαραώ Αμένοφις II και Ραμσή II. Ο σερ Φράνσις Μπέικον, ένας Άγγλος φιλόσοφος και επιστήμονας ήταν ο πρώτος που επιχείρησε την αφαλάτωση αλμυρού νερού στις αρχές του 1600, και ενώ οι προσπάθειές του δεν λειτούργησαν, άνοιξε την πόρτα για την άνθηση μελλοντικών προσπαθειών. Ήταν επίσης την ίδια χρονική περίοδο όταν Ολλανδοί επιστήμονες ανακάλυψαν για πρώτη φορά τους μικροοργανισμούς, αλλάζοντας τον τρόπο επεξεργασίας του νερού δραστικά. Στην Ινδία, ο ξυλάνθρακας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως μέσο επεξεργασίας πόσιμου νερού τον δέκατο έβδομο αιώνα. Έκτοτε, οι τεχνολογίες και οι τεχνικές έχουν αναπτυχθεί καθώς η κατανόηση της επιστήμης έχει εμβαθύνει. Οι χημικές εφαρμογές της επεξεργασίας του νερού (όπως η διήθηση με χλώριο) δεν ανακαλύφθηκαν μέχρι το 19ο αιώνα, και η απόσταση με μεμβράνες είχε ανακαλυφθεί ως τον εικοστό αιώνα.

2.

Βιωσιμότητα τεχνολογιών επεξεργασίας νερού

Μια μεγάλη πρόκληση που αφορά την τεχνολογική ανάπτυξη είναι η ανάγκη να αναπτυχθεί τεχνολογία που είναι κατάλληλη, συναφής και βιώσιμη. Για παράδειγμα, όσον αφορά τις βιώσιμες τεχνολογίες νερού, η ανάπτυξη και η εφαρμογή τους πρέπει να έχει οικονομικό και κοινωνικό νόημα για τα ενδιαφερόμενα μέλη, δηλαδή να αποτελεί τεχνολογική εφαρμογή που να παρέχει ασφαλές και οικονομικά προσιτό πόσιμο νερό (ένα κρίσιμο στοιχείο για την ανθρώπινη ανάγκη) και να μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ανθρώπινη διαβίωση για δισεκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο.

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960, όταν οι περιβαλλοντολόγοι άρχισαν να συζητούν για τις επιπτώσεις της οικονομικής ανάπτυξης στο περιβάλλον. Έκτοτε, έχουν προταθεί και συζητηθεί διάφοροι ορισμοί της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, αλλά ο πιο ευρέως αποδεκτός δημοσιεύθηκε στην έκθεση Brundtland γνωστή και ως "Το κοινό μας μέλλον" της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη το 1987, η οποία όρισε τη βιώσιμη ανάπτυξη ως εξής:

"Η Ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες".

Οι βιώσιμες και καθαρές τεχνολογίες αναφέρονται γενικά σε: τεχνολογίες που συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης των φυσικών πόρων (νερό, ενέργεια, γη), ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παράγουν ελάχιστα δευτερογενή απόβλητα, και είναι βιώσιμες με βάση τις τρέχουσες και μελλοντικές οικολογικές, νομικές και κοινωνικές ανάγκες.

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας πόσιμου νερού συγκεκριμένα θα πρέπει να αποτελούν πρωταρχικά παραδείγματα βιώσιμων και καθαρών τεχνολογιών. Η παροχή πόσιμου νερού απαιτεί ενέργεια για να παραχθεί και, δυστυχώς, το πρόβλημα της έλλειψης γλυκού νερού σε απομακρυσμένες περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών επιδεινώνεται από το γεγονός ότι πάνω από το 84% των 1,3 δισεκατομμυρίων ανθρώπων ζουν σε αυτές τις περιοχές και έχουν επίσης περιορισμένη πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια.

Επομένως, η ανάπτυξη και η εφαρμογή συστημάτων που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ΑΠΕ, για την παραγωγή γλυκού νερού από διαθέσιμους πόρους, μπορεί να θεωρηθεί ως μια αποτελεσματική και δυνητικά βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης πόσιμου νερού σε απομακρυσμένες περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών. Οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες εξακολουθούν να βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, και στην παραδοσιακή ανανεώσιμη ενέργεια, όπως τα καυσόξυλα, τα ζωικά απόβλητα ή ο ξυλάνθρακας. Παρόλα αυτά έχουν αρχίσει και αυτές να συμπεριλαμβάνουν τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως μέρος των αναπτυξιακών στρατηγικών τους δεδομένης της συσχέτισης μεταξύ των προγραμμάτων απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές και βιώσιμης ανάπτυξης. Στις χώρες αυτές είναι σημαντικό να προωθηθούν και να υποστηριχθούν συστήματα και υποδομές με βάση τη βιωσιμότητα, ως μια οικονομικά

αποδοτική εναλλακτική λύση για την τόνωση των τοπικών οικονομιών και τη βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας.

2.1 Αρχές για το σχεδιασμό βιώσιμης επεξεργασίας νερού

Η παροχή ασφαλούς, αξιόπιστου νερού, σε κάθε νοικοκυριό διοχετευόμενου από εγκεκριμένο δίκτυο, αποτελεί ουσιαστικό στόχο, αποδίδοντας βέλτιστα οφέλη για την υγεία και συμβάλλοντας παράλληλα στους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης, (ΣΒΑ) για επαρκή αποχέτευση, μείωση της φτώχειας, διατροφή, παιδική επιβίωση, ισότητα των φύλων και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Παρόλο που ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας και άλλοι φορείς έχουν δεσμευτεί σθεναρά στον στόχο αυτό και στη σταδιακή βελτίωση της παροχής νερού, όπου είναι δυνατόν, έχουν συζητηθεί στοχευμένες, ενδιάμεσες προσεγγίσεις που θα επιταχύνουν τα οφέλη για την υγεία και που συνδέονται με το ασφαλές πόσιμο νερό για εκείνους των οποίων η παροχή νερού δεν είναι ασφαλής (Sobsey, 2002). Οι αξιωματούχοι της δημόσιας υγείας ζήτησαν άλλες προσεγγίσεις που θα παρέχουν κάποια από τα οφέλη του ασφαλούς πόσιμου νερού για την υγεία, όπως οι εναλλακτικές λύσεις της οικιακής επεξεργασίας νερού, ενώ παράλληλα θα σημειώνεται πρόοδος στη βελτίωση των υποδομών.

Δεδομένου ότι οι κοινοτικές μονάδες επεξεργασίας νερού είναι πρακτικά ανύπαρκτες σε ορισμένες από τις αναπτυσσόμενες χώρες ή άλλες υποβαθμισμένες περιοχές, είναι επιτακτική ανάγκη να αναπτυχθούν αποτελεσματικές και βιώσιμες τεχνολογίες για την ασφαλή επεξεργασία και αποθήκευση του πόσιμου νερού. Πέραν όμως των ελλείψεων των βασικών υποδομών και δικτύων, προβλήματα παρουσιάζονται και σε ήδη υπάρχουσα δίκτυα, καθιστώντας έτσι το οικιακό νερό μη ασφαλές για χρήση. Οι χαμηλές πιέσεις στα δίκτυα νερού με αγωγούς ευνοούν τη διείσδυση μικροβιακής μόλυνσης, ιδίως σε περιβάλλοντα με ανεπαρκείς υποδομές υγιεινής, όπου η μικροβιακή μόλυνση είναι ευρέως διαδεδομένη. Οι διακοπτόμενες παροχές νερού όχι μόνο οδηγούν σε αύξηση της μικροβιακής μόλυνσης στο δίκτυο ύδρευσης με αγωγούς, αλλά αναγκάζουν επίσης τα νοικοκυριά να αποθηκεύουν το νερό στο σπίτι με τρόπους που υπόκεινται σε επαναμόλυνση.

Παρόλο που η επεξεργασία του οικιακού νερού δεν είναι κάτι καινούργιο, οι δυνατότητες ως εστιασμένη στρατηγική παρέμβασης στη δημόσια υγεία μόλις αναδύονται. Για αιώνες, χρησιμοποιούνταν διάφορες μέθοδοι για τη βελτίωση της εμφάνισης και της γεύσης του πόσιμου νερού, όπως το φιλτράρισμα μέσω πορώδους, άμμου και άλλων μέσων ή τη χρήση φυσικών πηκτικών και κροκιδωτικών για τη μείωση των αιωρούμενων στερεών. Ακόμη και πριν καθιερωθεί η θεωρία των μικροβίων, οι διαδοχικές γενιές διδάσκονταν να βράζουν το νερό, να το εκθέτουν στον ήλιο ή να το αποθηκεύουν σε μεταλλικά δοχεία με βιοκτόνες ιδιότητες, όλα σε μια προσπάθεια να το κάνουν ασφαλέστερο για πόση. Το 2017, ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας, ΠΟΥ, αναγνώρισε τη δυνητική συμβολή των οικιακών επεξεργασιών νερού στις κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του πόσιμου νερού (Guidelines for Drinking Water Quality, GDWQ): "Οι προσεγγίσεις οικιακής επεξεργασίας νερού έχουν τη δυνατότητα να έχουν γρήγορες και σημαντικές θετικές επιπτώσεις στην υγεία σε καταστάσεις όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση συστημάτων ύδρευσης με αγωγούς και όπου οι άνθρωποι βασίζονται σε νερό πηγής που μπορεί να είναι μολυσμένο ή όπου το αποθηκευμένο νερό μολύνεται λόγω ανθυγιεινού χειρισμού κατά τη μεταφορά ή τη παραμονή του στο σπίτι" (WHO, 2017)

Η επεξεργασία νερού αφορά τεχνολογίες, συσκευές ή μεθόδους για την επεξεργασία του νερού στα σπίτια ή στα σημεία χρήσης (Point Of Use,POU) ή σε μια εγκατάσταση όπως σε

σχολεία, νοσοκομεία και άλλες εγκαταστάσεις (Point Of Entry, POE). Έχουν προταθεί διάφορες τεχνολογίες και παρεμβάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτές οι τεχνολογίες επεξεργασίας νερού σε καθορισμένο σημείο χρήσης ή σε κοινοτική κλίμακα πρέπει να είναι απλές, χαμηλού κόστους, χαμηλής συντήρησης και να απαιτούν τοπικά διαθέσιμα υλικά. Οι παρεμβάσεις για το νερό, την αποχέτευση και την υγιεινή ή ο συνδυασμός τους έχουν παρόμοιο βαθμό επίδρασης στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι παρεμβάσεις αυτές συνοψίζονται στο σχήμα 2.1 . ποιότητα νερού



Σχήμα 2.1 Παρεμβάσεις για τη μείωση των ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Προσαρμοσμένο από (Fewtrell,2005).

Στις περιπτώσεις που περιλαμβάνονται εκτός δικτύου ύδρευση, οι προσαρμοσμένες μονάδες επεξεργασίας νερού παράγουν νερό κατά ζήτηση, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα της παροχής, αποφεύγοντας δαπανηρά αντλιοστάσια και αγωγούς και εξοικονομώντας ενέργεια για τη διανομή του νερού. Όταν χρησιμοποιείται για προηγμένη επεξεργασία του νερού βρύσης από δημοτικά συστήματα νερού, η εκάστοτε μονάδα μπορεί να εξαλείψει τις μολύνσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά νερού (π.χ. μόλυβδο που απελευθερώνεται από υλικά υδραυλικών εγκαταστάσεων ή παθογόνους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται εκ νέου) (Pan, 2020).

Ο θεμελιώδης στόχος που είναι συνυφασμένος με τη βιώσιμη τεχνολογία επεξεργασίας νερού είναι η επίτευξη επαρκούς, ποιοτικού νερού με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον και τον χρήστη, σε προσιτό κόστος και με ευρεία κοινωνική αποδοχή. Υπό αυτό το πρίσμα, απαιτούνται τεχνολογικές καινοτομίες για την επίτευξη της βιωσιμότητάς τους. Οι βασικές αρχές για το σχεδιασμό βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας για την καθημερινή και έκτακτη παροχή πόσιμου νερού, οφείλουν να είναι συνυφασμένες με την ικανότητα επεξεργασίας, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, την εμπειρία του χρήστη, της οικονομικής βιωσιμότητας και της κοινωνικής αποδοχής. Οι αρχές αυτές σε διάφορους τομείς απαιτούν διεπιστημονική συνεργασία για την ανάπτυξη των κατάλληλων μεθόδων νέας γενιάς για την παραγωγή

επαρκούς, ασφαλούς και φθηνού νερού και στο πλαίσιο της προόδου, πρέπει να εξεταστούν τρόποι για να διατηρήσουμε τις συνεχείς προσπάθειές μας σε σταθερή τροχιά.

2.2 Επεξεργαστική ικανότητα των μεθόδων παραγωγής ασφαλούς πόσιμου νερού

Η ικανότητα επεξεργασίας είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή επαρκών και κατάλληλων ποιοτικά ποσοτήτων νερού. Η αξιόπιστη απομάκρυνση των ρύπων και ο έλεγχος της δευτερογενούς ρύπανσης των υδάτων κατά του σχηματισμού επιβλαβών παραπροϊόντων απολύμανσης (DBPs), θα πρέπει να επιτυγχάνονται ταυτόχρονα, ενώ θα εξασφαλίζεται επαρκές πόσιμο νερό. Οι βιώσιμες επεξεργασίες και οι καινοτόμες μέθοδοι θα πρέπει να επιδεικνύουν φιλοδοξία για την αντιμετώπιση τόσο των παραδοσιακών ρύπων (π.χ. υδατογενών παθογόνων μικροοργανισμών), για τη συνεπή συμμόρφωση τόσο με τις τοπικές προδιαγραφές ποιότητας του πόσιμου νερού, όσο και των μη ακόμη νομοθετημένων προδιαγραφών. Τα μικρόβια που προκαλούν ασθένειες, συμπεριλαμβανομένων των παθογόνων βακτηρίων, των ιών και των πρωτόζωων, αποτελούν εδώ και πολύ καιρό τους παραδοσιακούς μολυσματικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια των πρακτικών επεξεργασίας νερού.

Το 2014 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ,WHO) θέσπισε το Διεθνές Σύστημα για την αξιολόγηση των τεχνολογιών επεξεργασίας οικιακού νερού ("Scheme") για την αξιολόγηση της απόδοσης της μικροβιακής απομάκρυνσης των διαφόρων τεχνολογιών και προϊόντων σε σχέση με τα κριτήρια του ΠΟΥ (WHO) που βασίζονται στην υγεία. Δύο επακόλουθες μελέτες του ΠΟΥ έδειξαν ότι 23 από τις 30 διαφορετικές προτάσεις μεθόδων των τεχνολογιών επεξεργασίας νερού,(TEN) με ηλιακή, χημική, διηθητική ή υπεριώδη επεξεργασία αποδείχθηκε ότι πληρούν τα κριτήρια απόδοσης του ΠΟΥ, ενώ οι υπόλοιπες συσκευές απέτυχαν λόγω κακής ποιότητας κατασκευής (WHO, 2016) (WHO, 2019b). Ως εκ τούτου, η διασφάλιση της ποιότητας και ο έλεγχος κατά τη διάρκεια της κατασκευής είναι σημαντικοί για την εξασφάλιση αξιόπιστων επιδόσεων των μεθόδων TEN για την εξάλειψη των παραδοσιακών ρυπογόνων ουσιών του νερού. Ένας βιώσιμος σχεδιασμός επεξεργασιών νερού θα πρέπει επίσης να στοχεύει και στην αντιμετώπιση των αναδυόμενων ρυπογόνων ουσιών, αν και δεν ρυθμίζονται, για την προστασία της δημόσιας υγείας. Επίσης, τα υψηλά λειτουργικά έξοδα) και/ή τα απαγορευτικά υλικά (π.χ. ηλεκτρόδια υψηλής τιμής, καταλύτες και προσροφητικά νανομεγέθους) μπορούν να καταστήσουν πολλές από αυτές τις μεθόδους δαπανηρές. Δεδομένου ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν μεγαλύτερη ζήτηση σε βιώσιμες λύσεις που να προσφέρουν καθαρό πόσιμο νερό από ό,τι οι ανεπτυγμένες χώρες, το σχετικά υψηλό κόστος μπορεί να εμποδίσει σε μεγάλο βαθμό την υιοθέτηση και εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών σε χώρες ή περιοχές με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα. Για αυτό η μείωση του κόστους θα πρέπει να ενσωματωθεί στενά στο πλάνο του εκάστοτε συστήματος, κατά τη διάρκεια της επιλογής, του σχεδιασμού και της ανάπτυξης βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας νερού.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα των τεχνολογιών είναι η εξάρτηση της εκάστοτε μεθόδου επεξεργασίας από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο είναι μια κύρια εξωτερική πηγή ενέργειας για την ενίσχυση πολλών διεργασιών όμως μόνο το 89,6% του παγκόσμιου πληθυσμού έχει πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια και η κατανομή του πληθυσμού είναι γεωγραφικά άνιση. Οι χώρες και οι περιοχές χαμηλού εισοδήματος, οι οποίες συνήθως έχουν τεράστια ανάγκη για βιώσιμες λύσεις στην παροχή πόσιμου νερού, διαθέτουν περιορισμένη πρόσβαση στην ηλεκτρική

ενέργεια καθώς το 58,1 % αυτών των ανθρώπων στερούνται σύνδεσης δικτύου και οι περισσότεροι από τους οποίους κατοικούν σε επαρχιακές απομακρυσμένες περιοχές.

Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις μέθοδοι TEN καλούνται να εφαρμοστούν ως μια επείγουσα παροχή νερού ύστερα από μια φυσική καταστροφή,(τυφώνες, πλημμύρες, τσουνάμι) προκύπτουν νέες προκλήσεις τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, εξαιτίας της διακοπή της παροχής ενέργειας (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο και βενζίνη) που είναι πολύ πιθανή και την εισαγωγή νέων μολυσματικών απαιτήσεων για την εκάστοτε μονάδα, που να μην υπήρχε η απαίτηση να συμπεριληφθούν.

Η γεωγραφική αντιστοιχία μεταξύ της μη διαθεσιμότητας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και των υψηλών απαιτήσεων των έως τώρα TEN, καθιστά την ενεργειακή ανθεκτικότητα, μεταξύ των προτεραιοτήτων στο σχεδιασμό βιώσιμων τεχνολογιών καθαρισμού του πόσιμου νερού. Τα ανθεκτικά ενεργειακά συστήματα μπορούν να επιτευχθούν μέσω διαφόρων τρόπων, όπως η υιοθέτηση αυτόνομων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή χρήση ενέργειας με χαμηλή κατανάλωση. Η στρατηγική προσαρμοστικού ενεργειακού σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μαζί με τον μετριασμό του ενεργειακού αποτυπώματος για την περιβαλλοντική ορθότητα κατά τον σχεδιασμό βιώσιμων TEN.

2.3 Περιβαλλοντική προσαρμογή βιώσιμων τεχνολογιών σε αναπτυσσόμενες χώρες

Μια περιβαλλοντικά φιλική προσέγγιση μπορεί να επιδιωχθεί με διάφορους τρόπους. Κατά την κατασκευή των μέσων επεξεργασίας ενθαρρύνονται τοπικά ή ανακυκλωμένα υλικά για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά τη μεταφορά και αποθήκευση των υλικών. Για παράδειγμα, συντίθεται διηθητικό χαρτί από νανοκελουλόζη που εξάγεται από αυτοφυή φύκια στο Μπαγκλαντές για τον έλεγχο των υδατογενών παθογόνων στην τοπική επεξεργασία νερού (Gustafsson, 2019). Η σκόνη σπόρων *Moringa oleifera* που καλλιεργείται τοπικά, επιχειρείται ως πηκτικό για τη σύζευξη οικιακών φίλτρων άμμου για την απομάκρυνση της θολότητας και των βακτηριακών δεικτών σε ακατέργαστο νερό πηγής της Νιγηρίας (Mumuni, 2013). Εν τω μεταξύ, η εύκολη πρόσβαση στην τοπική πρώτη ύλη θα μειώσει επίσης την εξάρτηση από τη μεταφορά πρώτων υλών σε μεγάλες αποστάσεις, δημιουργώντας έτσι μια ισχυρότερη αλυσίδα εφοδιασμού για τα συστήματα επεξεργασίας νερού. Ακόμη, το ενεργειακό αποτύπωμα μπορεί να μειωθεί με την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών επεξεργασιών. Μια άλλη προσέγγιση είναι η αξιοποίηση ανανεώσιμης (π.χ. ηλιακό φως και άνεμος) ή χαμηλής ποιότητας ενέργειας για την ενδυνάμωση της οικιακής επεξεργασίας. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας, πολλές βιομηχανικές χώρες έχουν αναπτύξει και εφαρμόσει αποτελεσματικές τεχνολογίες και συστήματα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Παρά τη αρχική υποστήριξη της κοινότητας, πολλά από αυτά τα συστήματα καθίστανται αναποτελεσματικά και μη λειτουργικά μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την αποχώρηση της ομάδας υλοποίησης. Αυτή η τάση μπορεί να εντοπιστεί σε έναν από τους τρεις τομείς: σχεδιασμός και υποδομή τεχνολογίας επεξεργασίας νερού, οικονομικοί πόροι, κοινωνική αποδοχή. Η ανάγκη να επεκταθεί το αρχικό σχέδιο ώστε να συμπεριλάβει και τους τρεις αυτούς τομείς γίνεται όλο και πιο σαφές, και πολλοί οργανισμοί καταβάλλουν ήδη προσπάθειες για να το πράξουν.

1. Προσέγγιση σχεδιασμού με ευκολία στη χρήση από τον καταναλωτή

Για την παροχή πόσιμου νερού στη περίπτωση μιας κοινότητας όπου δεν μπορεί να εφαρμοστεί μια πιο συγκεντρωτική επεξεργασία νερού, η εμπειρία διαχείρισης και χρήσης μικρότερων μονάδων επεξεργασίας νερού, που θα δοθούν στη κοινότητα, είναι σημαντική ως προς την αποδοχή της και της σωστής αξιοποίησης της, καθώς στις περιπτώσεις αυτές οι χειριστές είναι κυρίως οι καταναλωτές. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να εφαρμοστεί μια προσέγγιση σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη και να υπογραμμιστεί κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της μονάδας ο φιλικός σχεδιασμός, που περιλαμβάνει εύκολη λειτουργία, χαμηλή συντήρηση και σύντομη διάρκεια επεξεργασίας, πράγμα που θα βελτιώνει την προθυμία χρήσης. Επιπλέον, η πρόοδος στην ανίχνευση, την παρακολούθηση και τον αυτόνομο έλεγχο του συστήματος θα απλοποιήσει τη λειτουργία, θα ενισχύσει την αξιοπιστία και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών στη χρήση.

2. Η οικονομική βιωσιμότητα.

Συνολικό κόστος της εκάστοτε τεχνολογίας επεξεργασίας νερού, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό, την υποδομή και την κλίμακα του συστήματος, τη χρησιμοποίηση ουσιών, την κατανάλωση ενέργειας, καθώς και από την αποθήκευση, τη μεταφορά, τη διανομή και τα γενικά έξοδα των συστημάτων. Η υψηλή τιμή είναι ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την υιοθέτηση μιας νέας επιλογής μεθόδου παραγωγής ασφαλούς πόσιμου νερού, επειδή οι περισσότεροι καταναλωτές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις τιμές (USAID, 2010).

Μελέτες προθυμίας πληρωμής αποκαλύπτουν ότι η ζήτηση για ένα σύστημα επεξεργασίας αρχίζει να μειώνεται όταν η δαπάνη φτάσει το 0,3%-0,4% του ετήσιου εισοδήματος των νοικοκυριών (Yildizbayrak, 2004). Ο αριθμός των νοικοκυριών, εκτός από τα εύπορα, μειώνεται δραματικά όταν το κλάσμα ξεπεράσει το 1%, παρόλο που οι αποδεκτές δαπάνες διαφέρουν μεταξύ των χωρών και των περιοχών, η αποτελεσματικότητα του κόστους αποτελεί συνεχώς επιδίωξη για βιώσιμες τεχνολογίες, ιδιαίτερα για τις χώρες με χαμηλό εισόδημα. Η οικονομολογική ανταγωνιστικότητα μπορεί να ενισχυθεί μέσω της βελτίωσης της διαδικασίας, της βελτιστοποίησης της απόδοσης και της ενέργειας και της χρήσης χαμηλών/ανακυκλωμένων πόρων. Μεταξύ αυτών, η εντατικοποίηση των διεργασιών είναι ένα μονοπάτι εξέλιξης στη χημική μηχανική για την αντικατάσταση μεγάλου, δαπανηρού, ενεργοβόρου εξοπλισμού ή διεργασίας με μικρότερες, λιγότερο δαπανηρές, αποδοτικότερες λύσεις ή μεθόδους που συνδυάζουν πολλαπλές λειτουργίες σε λιγότερες συσκευές. Οι θεμελιώδεις αρχές της εντατικοποίησης των διεργασιών μπορούν να καθοδηγήσουν το σχεδιασμό και την ανάπτυξη καινοτόμων διεργασιών, από τη μοριακή έως τη μεσο- και μακροκλίμακα, με την εξέταση χωρικών, θερμοδυναμικών, λειτουργικών και χρονικών τομέων (Van Gerven, 2009).

Επίσης είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι οι κυβερνήσεις των χωρών με χαμηλό εισόδημα είναι καταβεβλημένες οικονομικά και επιβαρύνονται με τεχνικές και διοικητικές προκλήσεις για την παροχή επαρκούς και ασφαλούς πόσιμου νερού στον ταχέως αυξανόμενο πληθυσμό τους. Επειδή η καθολική προμήθεια ασφαλούς νερού απαιτεί πολλά χρόνια και επενδύσεις δισεκατομμυρίων δολαρίων, μέθοδοι στοχευμένων συστημάτων επεξεργασίας νερού σε νοικοκυριά-κοινότητες είναι αποτελεσματικά προσωρινό μέτρο για τη βελτίωση της ασφάλειας του πόσιμου νερού, ιδίως για τους ανθρώπους που βασίζονται σε μη ασφαλείς πηγές.

Ως εκ τούτου, σε συνεργασία με τον ιδιωτικό τομέα, τους διεθνείς οργανισμούς ανάπτυξης μη κυβερνητικές οργανώσεις και οργανώσεις με βάση την κοινότητα (community-based organizations, CBOs), οι κρατικοί οργανισμοί ύδρευσης θα πρέπει να σχεδιάσουν προγράμματα για την παροχή επιδοτήσεων και μικροπιστώσεων σε συστήματα επεξεργασίας νερού. Η παρέμβαση αυτή θα πρέπει να στοχεύει στις ευάλωτες ομάδες φτωχές κοινότητες και περιθωριοποιημένες περιοχές όπου εκατομμύρια καταναλώνουν μη ασφαλές πόσιμο νερό επειδή δεν διαθέτουν καλύτερες επιλογές. Η υιοθέτηση από την αγορά είναι επίσης απαραίτητη για να ξεπεραστεί η αντίσταση των καταναλωτών στις τεχνολογικές καινοτομίες και για να οικοδομηθεί η εμπιστοσύνη των επενδυτών και των κατασκευαστών. Η εμπορική βιωσιμότητα θα πρέπει να επιδιωχθεί για να ενταχθούν οι νέες τεχνολογίες στους πληθυσμούς των χρηστών μέσω προγραμμάτων που χρηματοδοτούνται από δωρητές, διαύλων του ιδιωτικού τομέα ή συμπράξεων δημόσιου/ιδιωτικού τομέα (USAID, 2010).

3. Κοινωνική αποδοχή

Τέλος, αλλά σημαντικό, η κοινωνική αποδοχή πρέπει να επιτευχθεί ώστε να επιφέρει μακροχρόνια χρήση και άρα βιωσιμότητα. Οι άνθρωποι δεν τροποποιούν και δεν διατηρούν εύκολα νέες συνήθειες όπως αυτές προκύπτουν από τις παρεμβάσεις επεξεργασίας νερού, εκτός εάν τα σχετικά οφέλη είναι σαφή και επαρκώς πειστικά (Figueroa και Kincaid 2010). Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική εκπαίδευση (π.χ. προγράμματα δημόσιας εκπαίδευσης και αλλαγής συμπεριφοράς) και η διαφανής δέσμευση με καλά εφαρμοσμένες αποδείξεις θα προωθήσουν την αποδοχή των νέων τεχνολογιών από το κοινό, συμπεριλαμβανομένων των φορέων χάραξης πολιτικής, αλλά και από την κοινότητα, ιδίως όμως τους τελικούς χρήστες (USAID, 2010).

Η κατανόηση των κριτηρίων για την υιοθέτηση τεχνολογιών επεξεργασίας νερού,(TEN), είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη διαμόρφωση αποτελεσματικών πολιτικών και συστημάτων για αυξημένη και διαρκή χρήση αυτών των τεχνολογιών. Οι δημόσιες πολιτικές και παρεμβάσεις για την προώθηση βιώσιμων συστημάτων επεξεργασίας πρέπει να επικεντρωθούν σε διαθέσιμους φυσικούς πόρους και στην εκπαίδευση που επηρεάζουν σημαντικά την πιθανότητα υιοθέτησης TEN.

Η επικοινωνία για την αλλαγή συμπεριφοράς είναι αποτελεσματική για τη διάδοση πληροφοριών σχετικά με τα οφέλη των TEN στους ευάλωτους πληθυσμούς των αναπτυσσόμενων χωρών. Θα μπορούσαν να δρομολογηθούν ακόμη, εκστρατείες αλλαγής συμπεριφοράς. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη χρήση κατ' οίκον επισκέψεων για τη διαπροσωπική επικοινωνία με βάση τα κοινωνικά δίκτυα (φίλοι, οικογένειες και γείτονες), ενημέρωση των κοινοτικών οργάνων (CBs), συμμετοχή των τηλεπικοινωνιών (ραδιόφωνο και τηλεόραση), και προώθηση μέσω διαδικτυακών μέσων κοινωνικής δικτύωσης.

Στην Κένυα, αξιωματούχοι υγείας, κοινοτικοί ηγέτες και έμποροι έχουν συμβάλει στην εκπαίδευση των κοινοτήτων σχετικά με τα οφέλη της χρήση συστημάτων εξυγίανσης του πόσιμου νερού. Η επικοινωνία για την αλλαγή συμπεριφοράς είναι αποτελεσματική για τη διάδοση πληροφοριών σχετικά με τα οφέλη στους ευάλωτους πληθυσμούς των αναπτυσσόμενων χωρών. Οι δημόσιες πολιτικές και οι μεταρρυθμίσεις για την προώθηση βιώσιμων επεξεργασιών πρέπει να επικεντρωθούν στην εκπαίδευση των πολιτών γεγονός που όπως έχει ήδη αναφερθεί επηρεάζει σημαντικά στην αλλαγή συμπεριφοράς. Υπάρχει επίσης η ανάγκη για ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση του κοινού σχετικά με την ανάγκη και τα οφέλη για την υγεία (ακόμη και για τις βελτιωμένες πηγές), τις διάφορες διαθέσιμες μεθόδους και τη σωστή εφαρμογή τους.

Μια από τις καλύτερες μεθόδους που καθιστούν μια ΤΕΝ βιώσιμη για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι η εκπαίδευση των χρηστών για την αποτελεσματική μεταφορά γνώσεων. Ακόμη και χωρίς πρόσβαση σε υλικό για την αντικατάσταση εξαρτημάτων, και χωρίς την οικονομική δυνατότητα για την αγορά οποιουδήποτε, αν ήταν διαθέσιμο, σπλισμένοι με γνώσεις, η δημιουργικότητα μπορεί να οδηγήσει στην ανακάλυψη λύσεων με τη χρήση φυσικών πόρων που διαθέτει η κοινότητα.

Οι παραπάνω αρχές μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για το σχεδιασμό βιώσιμων ΤΕΝ σε διάφορα στάδια της τεχνολογικής καινοτομίας. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε τρεις πτυχές. Πρώτον, το πώς σταθμίζεται μια αρχή έναντι μιας άλλης, γεγονός που εξαρτάται από τους στόχους της επεξεργασίας και τα σενάρια εφαρμογής. Συνήθως, το κόστος είναι μια πιο κυρίαρχη παράμετρος στις χώρες με χαμηλό εισόδημα απ' ό,τι στις χώρες με υψηλό εισόδημα. Και οι τελικοί χρήστες έχουν υψηλότερη ανοχή στην τιμή σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης από ό,τι σε μια καθημερινή κατάσταση. Δεύτερον, ορισμένες από αυτές τις αρχές είναι σαφώς αλληλένδετες. Για παράδειγμα, η αξιόπιστη θεραπεία, η φιλική εμπειρία του χρήστη και τα χαμηλά έξοδα ενθαρρύνουν γενικά την κοινωνική αποδοχή. Τέλος, επειδή αυτές οι βασικές αρχές εκτείνονται σε διαφορετικούς τομείς, η διεπιστημονική συνεργασία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην επιδίωξη βιώσιμων σχεδίων συστημάτων ΤΕΝ.

3.

Επεξεργασίες νερού με τη χρήση ηλιακής ενέργειας

3.1 Ηλιακή Παστερίωση

Μία από τις προτεινόμενες βιώσιμες πρακτικές για την παροχή πόσιμου νερού σε περιοχές με ημίξηρο κλίμα είναι η παστερίωση με ηλιακή ενέργεια, που αποτελεί μια φυσική μέθοδο που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια ως ενεργό παράγοντα για την απολύμανση του νερού.

Η ηλιακή παστερίωση είναι μια από τις ευκολότερες και φθηνότερες μεθόδους για την παραγωγή πόσιμου νερού σε απομακρυσμένες περιοχές. Βασίζεται στην ενέργεια του ήλιου για τη θέρμανση του νερού σε θερμοκρασία παστερίωσης και βρίσκει εφαρμογή αξιοποιώντας τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας σε απομακρυσμένες ηλιόλουστες περιοχές ή περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, όπου δεν υπάρχει ηλεκτρική ενέργεια.

Σε μια περι-αστική απομακρυσμένη περιοχή, η παροχή νερού μπορεί να προέρχεται από μια μικρή μονάδα επεξεργασίας που τροφοδοτείται με επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα. Η ηλιακή παστερίωση θεωρείται αξιόπιστη και πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την εξάλειψη των παθογόνων, καθώς η θέρμανση του νερού καταστρέφει πλήρως τους μικροοργανισμούς που ευθύνονται για τη μόλυνση του νερού με θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο βρασμού του νερού, ανεξάρτητα από τη θολρότητα και το pH, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά άλλες μεθόδους, επίσης η αυτονομία της (μη χρήση καύσιμων πρώτων υλών όπως ξύλα ή ηλεκτρικής ενέργειας) εξυπηρετεί την εύκολη εφαρμογή απλών κ φορητών συσκευών.

Καθώς το νερό θερμαίνεται λόγω της ακτινοβολίας του ήλιου, η αυξημένη θερμοκρασία θα σκοτώσει ή θα αδρανοποιήσει ένα σημαντικό μέρος των συνήθως μεταδιδόμενων με το νερό παθογόνων βακτηρίων, ιών, ελμινθίων και πρωτόζωων σε θερμοκρασία μεταξύ 65° και 75°C (CAWST 2009). Καθώς οι θερμοκρασίες φτάνουν τους 50°C ή και περισσότερο, τα παθογόνα μικρόβια αδρανοποιούνται. Οι θερμοκρασίες που προκαλούν μείωση της βιοδραστικότητας κατά περίπου 1log μέσα σε 1 λεπτό είναι 55°C για τις κύστες πρωτοζώων, 60°C για τα εντερικά βακτήρια και τον ροταϊό και 65°C για τον ιό της ηπατίτιδας Α. Επίσης έρευνες έδειξαν την ευαισθησία της E. coli στους 60 °C κατά τη διάρκεια έκθεσης 45 λεπτών σε αυτή τη θερμοκρασία (N.V. Padhye, 1992), επίσης τα αποτελέσματα της παστερίωσης με το πρωτόζωο *Giardia lamblia* κατά την έκθεσή του σε θερμοκρασία 60 °C για 3 λεπτά ήταν καθοριστικά για την εξάλειψή του (Harp J.A., 1996), ακόμη στην ίδια έρευνα γίνεται αναφορά ότι ήταν δυνατή η απενεργοποίηση του πρωτόζωου *Cryptosporidium parvum* με τη θέρμανση του νερού για 16 δευτερόλεπτα σε θερμοκρασία 71,1 °C. Παρόλα αυτά, η ηλιακή παστερίωση δεν βελτιώνει τη θολρότητα, την οσμή, τη γεύση, το χρώμα ή τη χημική μόλυνση.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η παστερίωση του νερού στους 65 °C το καθιστά ασφαλές για πόση. Πολλές συσκευές παστερίωσης χρησιμοποιούν έναν συντελεστή ασφαλείας αρκετών βαθμών πάνω από τους 65 °C για να ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις στις μετρήσεις και τον

εξοπλισμό. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι το νερό καθώς θερμαίνεται προς τους 65 °C περνάει επίσης χρόνο στους 64 °C, 63 °C κ.ο.κ. (στις οποίες θερμοκρασίες σκοτώνονται επιπλέον κλάσματα μικροβίων), αποτελεί μια δικλείδα ασφαλείας, παρόλα αυτά δεν έχει αναφερθεί ως τώρα αν τοξικές ουσίες απομακρύνονται αποτελεσματικά με την παστερίωση. Ωστόσο η ηλιακή παστερίωση συνεχίζει να αποτελεί μια κατάλληλη και πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τις απομακρυσμένες περιοχές, ικανή να εγγυηθεί την αποτελεσματική επεξεργασία, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον, είναι τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού που εκτελούν παστερίωση. Ως επι των πλείστων, ορισμένα ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο μπορούν να παρουσιάσουν ένα ελκυστικό αποτέλεσμα κόστους-οφέλους, καθώς και να αποτελέσουν μια βιώσιμη λύση για την απολύμανση του νερού σε απομακρυσμένες περιοχές.

Μία από τις πιο απλούστερες εφαρμογές της ηλιακής παστερίωσης είναι ένα ειδικά διαμορφωμένο κουτί με εσωτερική θερμομόνωση σε κάθε περιφερειακή του πλευρά και με κάλυμμα έναν ενισχυτικό ανακλαστήρα ή ένα απλό διαφανές κάλυμμα ώστε να ενισχύετε ή απλά να επιτρέπεται η είσοδος της ηλιακής ενέργειας σε κάθε περίπτωση, από την κορυφή του κουτιού. Η προσέγγιση αυτή αναφέρεται ως ηλιακή εστία (solar cooker).



Σχήμα 3.1 Ηλιακές εστίες, Φτιαγμένες στη Βολιβία, ξύλινες με κεκλιμένο κάλυμμα και ανακλαστήρα στο καπάκι

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες αναλύσεις και έξυπνα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των ηλιακών συσκευών εστιών σε κιβώτια, προσαρμόζοντας κάθε φορά τις εκάστοτε παραμέτρους σχεδιασμού (όπως τη θερμική μόνωση του κιβωτίου, τις οπτικές ιδιότητες του άνω καλύμματος, χαρακτηριστικά επιφάνειας του εσωτερικού του κιβωτίου, τους ανακλαστήρες ενίσχυσης, το μέγεθος του χρησιμοποιούμενου δοχείου, επιφάνεια, καπάκι) αλλά και προσεγγίσεις ως προς σχεδιασμό λαμβάνοντας υπόψη την ηλιακή ισχύς, συννεφιά, τον χρόνο (ώρα, ημέρα, μήνα), το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής όπου γίνεται η εφαρμογή κλπ. Γενικότερα, σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία από ηλιακές εστίες σε κιβώτια, μερικές είναι μικρές και χωράνε ένα σκεύος, ενώ άλλες κυμαίνονται σε μεγέθη που συγκρατούν πάνω από δέκα σκεύη. Ο απλούστερος τρόπος για να χρησιμοποιηθεί μια εστία για την παστερίωση του νερού είναι να τοποθετήσετε ένα δοχείο νερού στη συσκευή όπως όταν μαγειρεύεται το φαγητό. Συχνά, ένα ορθά σχεδιασμένο κιβώτιο είναι ικανό να μαγειρέψει μια ποικιλία τροφίμων σε 2 ώρες, με τη

κατάλληλη ηλιακή ακτινοβολία να φτάνει στα περίπου 700 W/m^2 όπου δύναται να παστεριώσει ένα λίτρο νερού σε περίπου μία ώρα.

Ένας άλλος δημοφιλής σχεδιασμός ηλιακών εστιών είναι η "εστία πάνελ" η οποία αποτελείται από διάφορες επίπεδες ανακλαστικές επιφάνειες (πάνελ) δίπλα σε ένα δοχείο, το οποίο με τη σειρά του περικλείεται σε μια ειδική θήκη/περίβλημα. Δεν υπάρχει μονωμένο κουτί όπως στη παραπάνω περιγραφή της ηλιακής εστίας, αντιθέτως, η απώλεια θερμότητας από το δοχείο, το οποίο περιέχει το προς παστερίωση νερό, ελαχιστοποιείται από το στρώμα θερμού αέρα μεταξύ του δοχείου και της θήκης/περίβλημα. Οι θήκες κατασκευάζονται συνήθως από φιλμ πολυπροπυλενίου, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλα διαφανή φιλμ (όπως πολυαιθυλένιο και νάιλον). Η θήκη δεν πρέπει να εφαρμόζει σφιχτά στο δοχείο ώστε να αποτρέπεται η τήξη της σακούλας από την καυτή επιφάνεια του δοχείου, αλλά παράλληλα να διατηρεί την ικανότητα να αποτρέπει την υπερβολική απώλεια θερμότητας. Εάν η θήκη έχει πολύ μεγάλο χώρο αέρα, μειώνεται η μονωτική ικανότητα. Συνιστάται ένα διάκενο αέρα περίπου 1-2 cm. Ιδανικά, το υλικό της θήκης θα πρέπει να έχει υψηλή διαπερατότητα για την ηλιακή ακτινοβολία σε μήκη κύματος 0,3-1 nm και χαμηλή διαπερατότητα για τη θερμική ακτινοβολία σε μήκη κύματος 5-14 nm (περίπου $100 \text{ }^\circ\text{C}$).



Σχήμα 3.2 (α) Εστία πάνελ με την επωνυμία CookKit (SCI,2009) (β) εστίες πάνελ χρησιμοποιούμενες από επαρχιακές κοινότητες της Αφρικής

Μια μεγάλη ποικιλία από εστίες πάνελ έχουν αναπτυχθεί και παραχθεί τα τελευταία χρόνια. Οι σχεδιαστικές παραλλαγές περιλαμβάνουν τον αριθμό και το σχήμα των πάνελ, το συνολικό μέγεθος, τον τύπο του δοχείου, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και τη μέθοδο αναδίπλωσης. Οι ανακλαστικές επιφάνειες ποικίλλουν σε αριθμό και προσανατολισμό. Η λειτουργία των πάνελ είναι να αντανακλούν τις ηλιακές ακτίνες, αυξάνοντας τη συγκέντρωση και την ηλιακή ενέργεια στη θήκη (και στο δοχείο νερού). Ένα δοχείο μπορεί να γεμίσει με μολυσμένο νερό και, με επαρκή ηλιακή ακτινοβολία και χρόνο, είναι ικανό να παστεριώσει το νερό σε περίπου τον ίδιο χρόνο με τη ηλιακή εστία. Τα πάνελ είναι συνήθως επίπεδα για ευκολία κατασκευής και έχουν δυνατότητα αναδίπλωσης ωστόσο, έχουν χρησιμοποιηθεί καμπύλα, ημισφαιρικά και άλλα τροποποιημένα πάνελ. Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό αυτής της συσκευής είναι ότι δεν χρειάζεται να επαναπροσδιορίζεται ανάλογα τη θέση του ήλιου και μπορούν να παραμείνουν σε μια θέση για αρκετές ώρες, καθώς αντισταθμίζουν τη σχετική ηλιακή κίνηση.

Μια ακόμη κατηγορία ηλιακής εστίας αναφέρονται ως "συσσωρευτής". Ο συσσωρευτής συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία πολύ περισσότερο από ό,τι μια εστία σε κουτί ή μια εστία πάνελ. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιεί παραβολικές επιφάνειες (απλές ή σύνθετες),

φακούς Fresnel ή πολλαπλούς κατευθυνόμενους ανακλαστήρες, με αποτέλεσμα τα ποσοστά θερμότητας να είναι πολύ υψηλότερα για τους "συσσωρευτές" από ό,τι για τις εστίες

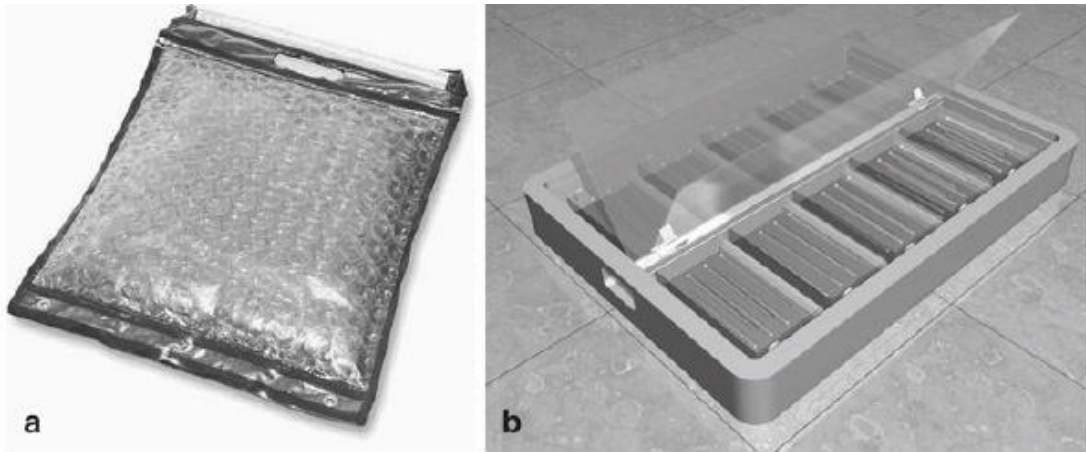


Σχήμα 3.3 Δείγματα ηλιακών συσσωρευτών. Μια κατσαρόλα με νερό τοποθετείται σε μια προεξοχή στο κέντρο των παραβολικών επιφανειών για να εκμεταλλευτεί πλήρως τις ακτίνες του ήλιου.

κιβωτίων ή πάνελ. Σημαντική προειδοποίηση για τους χρήστες είναι να προσέχουν να μην τοποθετούν τα χέρια ή το πρόσωπό τους μέσα στις συγκεντρωμένες ηλιακές ακτίνες. Επειδή η ακτινοβολία στο δοχείο είναι τόσο υψηλή, μια θήκη ή ένα κάλυμμα γύρω από το δοχείο είναι συνήθως περιττό. Για να χρησιμοποιηθούν οι ανακλαστικές ιδιότητες των παραβολικών επιφανειών πιο αποτελεσματικά, οι συσσωρευτές πρέπει να κατευθύνονται προς τον ήλιο.

Παραδόξως απλές συσκευές κατασκευασμένες από κοινά υλικά μπορούν να παστεριώσουν μικρές ποσότητες νερού σε 1 ώρα. Οι ερευνητές έλαβαν πειραματικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας έναν απλό επίπεδο τύπο τσάντας πολυπροπυλενίου για τη συγκράτηση του νερού, με μηδέν, έναν ή δύο παρακείμενους κάθετους ανακλαστήρες που ο καθένας είναι κατασκευασμένος από φύλλο αλουμινίου διαστάσεων 0,30m × 0,30m. Όταν χρησιμοποιούνται δύο ανακλαστήρες, αυτοί συνήθως τοποθετούνται προσανατολισμένοι 90° μεταξύ τους, με το νερό να βρίσκεται ανάμεσα στους ανακλαστήρες.

Ο Andreatta (2009) περιγράφει μια εκπληκτικά απλή μέθοδο για την παστερίωση με τη χρήση επίπεδου τύπου τσάντας, που ονομάζεται "παστεριωτής σάκων". Ξεκινώντας με ένα κυκλικό φύλλο διαφανούς πλαστικού διαμέτρου περίπου 1 m, το πλαστικό συσσωρεύεται για να σχηματιστεί ένας σάκος που χωράει 3L νερού και στη συνέχεια δένεται σφηχτά. Ο σάκος τοποθετείται σε διάφορες επιφάνειες (μαύρο πλαστικό πάνω σε γρασίδι, αφρό ή μεμβράνη, μόνο γρασίδι, μαύρο αφρό), το οποίο διαμορφώνει το νερό σε μια κάπως επίπεδη λακκούβα, και ο σάκος καλύπτεται στη συνέχεια με ένα ξεχωριστό φύλλο διαφανούς πλαστικού παρόμοιο με εκείνο που σχηματίζει τον σάκο. Μεταξύ του σάκου και του καλύμματος αφήνεται ένα κενό αέρος.



Σχήμα 3.4 Εμπορικά διαθέσιμοι παστεριωτές (α) της AquaPak και (β) SunRay 30

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται μια εμπορική μορφή παστεριωτών σάκων της AquaPak® που έχει χρησιμοποιηθεί σε 30 χώρες, και το οποίο είναι στην ουσία ένας μικρός επίπεδης μορφής σάκος με πλαστικό πολυαιθυλενίου και διάσταση (0,35 m × 0,35 m). Η μία πλευρά του αποτελείται από μια διαφανή μόνωση φυσαλίδων ενώ η άλλη πλευρά είναι μαύρη. Στο καπάκι υπάρχει μια μικρή κάψουλα γεμάτη κερί που υποδεικνύει (με μετατόπιση του λιωμένου κεριού) εάν το νερό έχει παστεριωθεί. Η ικανότητα παστερίωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ηλιακή ενέργεια και την ποσότητα νερού (2-5L). Για ηλιακή ακτινοβολία στα 800 W/m² και αρχική θερμοκρασία νερού στους 25°C, αναφέρθηκε ότι 2 λίτρα νερού παστεριώθηκαν σε 2,2 ώρες. Ένα παρόμοιας τακτικής εμπορικό προϊόν είναι το SunRay 30 (Σχ.3.4). Αποτελεί σύστημα μεγαλύτερης χωρητικότητας με τη μορφή ενός επίπεδου συλλέκτη διαστάσεων (79 cm × 61 cm × 9 cm) που περιέχει δέκα μαύρες φιάλες. Αναφέρθηκε ότι παστεριώνει 7,5 λίτρα σε 1,5 ώρα .

Με βάση το παράδειγμα της ιδανικής αξιοποίησης ηλιακής θερμικής ενέργειας, δηλαδή της μέγιστης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με τις ελάχιστες απώλειες και τη διατήρηση αυτής της μετατρεπόμενης θερμικής ενέργειας, προωθείται εμπορικά σε αρκετές παραλλαγές ένα ακόμη σύστημα ηλιακής παστερίωσης, ο ηλιακός βραστήρας-φιάλη. Ο ηλιακός βραστήρας πέρα από τη εφαρμογή της παστερίωσης έχει και την ιδιότητα του θερμός, δηλαδή συγκεντρώνει κάθε διαθέσιμη ηλιακή (υπέρυθρη) ακτινοβολία και τη χρησιμοποιήσει για να παραμείνει ζεστός. Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και τις καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την ηλιακή απορρόφηση, χρειάζονται κατά μέσο όρο 1 έως 2 ώρες για να θερμανθεί ολόκληρος ο σωλήνας νερού από τη θερμοκρασία δωματίου σε σημείο βρασμού.

Το (Solar Kettle-Thermos Flask, SK-TF) διατίθεται σε πολλά μήκη, αλλά συνήθως με μία τυποποιημένη διάμετρο: εξωτερική/εσωτερική 58mm/43mm αντίστοιχα. Ο ηλιακός βραστήρας-φιάλη είναι αρκετά προωθημένο εμπορικό προϊόν στο τομέα της χρήσης ηλιακής ενέργειας για εξυγίανση του νερού. Επίσης ο ηλιακός βραστήρας μπορεί να λειτουργεί καλύτερα στο άμεσο ηλιακό φως, αλλά θα εξακολουθεί να παράγει ζεστό νερό (όχι βραστό) ακόμη και τις συννεφιασμένες ημέρες, επειδή εξαρτάται από την ηλιοφάνεια και όχι από τη θερμότητα, θα λειτουργήσει εξίσου καλά σε μια ηλιόλουστη χειμωνιάτικη μέρα όπως και το καλοκαίρι.



Σχήμα 3.5 Μια σειρά από ηλιακούς βραστήρες-φιάλη που περιστρέφονται για να χύσουν το παστεριωμένο νερό

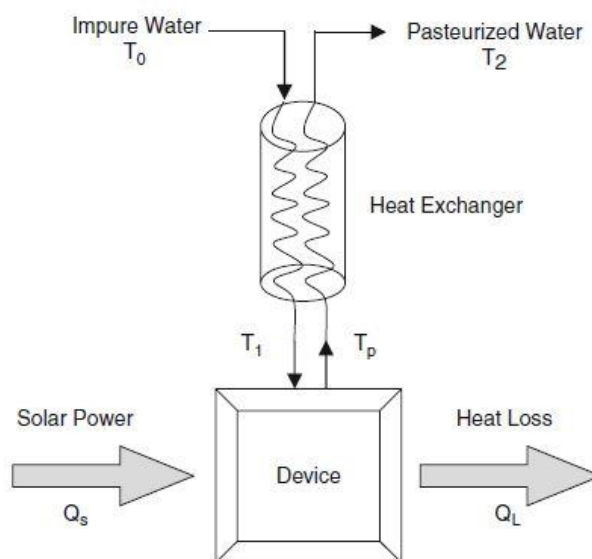
Ο ηλιακός βραστήρας-φιάλη, SK-TF , εκτός από τη μεμονωμένη χρήση του, μπορεί να εγκατασταθεί και σε συστοιχία, παρέχοντας έτσι μια μεγαλύτερη παρτίδα ηλιακής παστερίωσης νερού κάθε φορά που απαιτείται. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις πιθανές δυνατότητες δημιουργικής χρήσης των τοπικών υλικών για την κατασκευή των σταντ και των πωμάτων. Το νερό περιέχεται σε μονωμένο γυάλινο σωλήνα κενού μήκους 0,75 m , η εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων είναι επικαλυμμένη με ένα επιλεκτικό υλικό (όπως νιτρικό αργίλιο) για τη δημιουργία μιας επιλεκτικής επιφάνειας (όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5), ενισχύοντας την απορρόφηση των ηλιακών ακτίνων και ελαχιστοποιώντας την επανεκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω παστεριωτές που αναφέρθηκαν λειτουργούν με σταθερή μάζα νερού κατά παρτίδα, με το παστεριωμένο νερό είτε να αφαιρείται στη θερμοκρασία παστερίωσης είτε να αφήνεται να κρυώσει στη συσκευή για να χρησιμοποιηθεί αργότερα. Η αδυναμία της διεργασίας κατά παρτίδες είναι ότι αν υπάρξει απόκλιση στη μάζα νερού ή αν η ηλιακή ισχύς μειωθεί κατά τη θέρμανση, ολόκληρη η παρτίδα μπορεί να μην παστεριωθεί. Ομοίως, εάν η ηλιακή ισχύς είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη, η μάζα του νερού που παστεριώνεται μπορεί να είναι μικρότερη. Με τον παστεριωτή διέλευσης ροής η ποσότητα του παστεριωμένου νερού αυξάνεται σημαντικά ενώ παράλληλα εξοικονομείται ενέργεια καθώς χρησιμοποιείται τόσο η ηλιακή θερμική ενέργεια όσο και η ενέργεια από το παστεριωμένο νερό που έχει χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανσή του.

Το γεγονός αυτό δίνει την ευελιξία στη συσκευή να λειτουργεί με λιγότερη ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση περισσότερου νερού. Η γενική ιδέα λειτουργίας του παστεριωτή ροής φαίνεται στο σχήμα, το μολυσμένο νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος T_0 εισέρχεται στη μία πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας με ρυθμό ροής μάζας m' και εξέρχεται από τον

εναλλάκτη θερμότητας στην υψηλότερη θερμοκρασία T_1 , όπου εισέρχεται στην ηλιακή συσκευή. Στην ηλιακή συσκευή εισέρχεται ηλιακή ισχύς Q_s και χάνεται κάποια ισχύς Q_L στο περιβάλλον. Το νερό που ρέει επιτυγχάνει θερμοκρασία παστερίωσης T_p στη συσκευή, εξέρχεται από τη συσκευή και εισέρχεται στο άλλο σκέλος του εναλλάκτη θερμότητας. Το νερό ρέει αντίθετα, μεταφέροντας θερμότητα στο εισερχόμενο ρεύμα και τελικά εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας σε θερμοκρασία T_2 , η οποία είναι χαμηλότερη από την T_p αλλά ελαφρώς υψηλότερη από την T_0 .

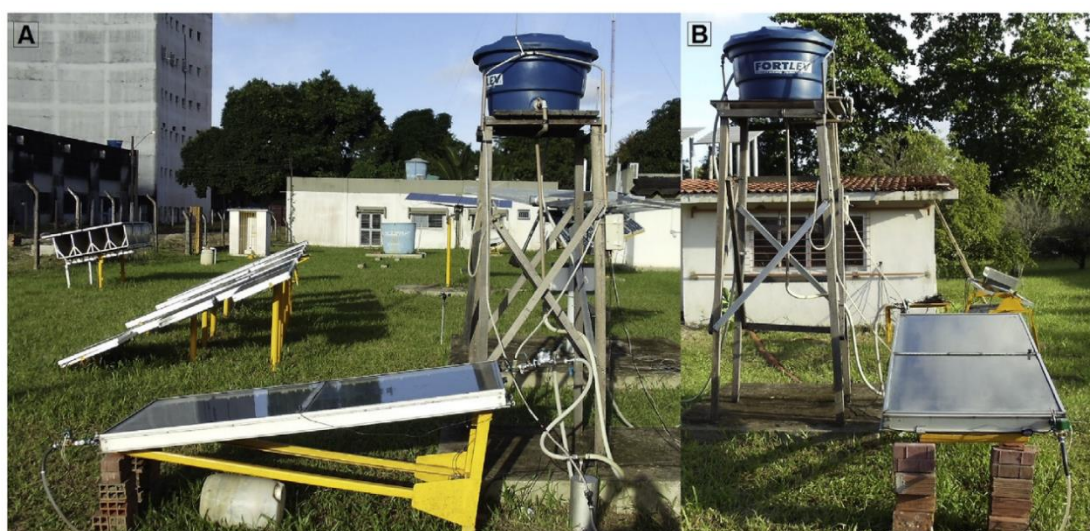
Ο παστεριωτής ροής χρησιμοποιεί συχνά μια θερμοστατική βαλβίδα, η οποία ανοίγει και κλείνει ανάλογα με τη θερμοκρασία, για τον έλεγχο της ροής του νερού. Ορισμένες εφαρμογές έχουν προσαρμόσει τη θερμοστατική βαλβίδα από τα συστήματα ψύξης των αυτοκινήτων, με την έννοια ότι η βαλβίδα θα επιτρέπει τη ροή μόνο όταν η θερμοκρασία είναι πάνω από τη θερμοκρασία παστερίωσης. Οι βαλβίδες λειτουργούν σε ένα εύρος θερμοκρασιών, καθιστώντας τη ροή μάζας να μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, ανοίγοντας περισσότερο και αυξάνοντας τη ροή στις υψηλότερες θερμοκρασίες και κλείνοντας στο χαμηλότερο άκρο του εύρους, μερικές φορές ακόμη και με κυκλική λειτουργία. Αυτή η κυκλική λειτουργία μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματικότητα της συσκευής, καθώς η βαλβίδα δεν είναι σε θέση να ελέγξει επιτυχώς τη ροή του εναλλάκτη θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος προκαλούν αύξηση της ροής από τη βαλβίδα πριν από την παστερίωση του νερού ή μείωση της ροής προκαλώντας βρασμό και προβλήματα μόλυνσης (Duff και Hodgson, 2005). Τα προβλήματα με τις θερμοστατικές βαλβίδες οδήγησαν στην έρευνα για πιο αξιόπιστες τεχνικές για την ηλιακή παστερίωση μέσω ροής. Πολλοί εναλλάκτες θερμότητας είναι τύπου ομόκεντρου σωλήνα ή επίπεδου σωλήνα. Οι εναλλάκτες ομόκεντρου σωλήνα αποτελούνται από ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό δακτύλιο που χωρίζονται από ένα χάλκινο σωλήνα. Ο εξωτερικός δακτύλιος περιέχει τυλιγμένο σύρμα για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας. Ο επίπεδος εναλλάκτης θερμότητας είναι συνήθως κατασκευασμένος με στρώματα από φύλλα χαλκού και ξύλου, με τις ελαστικές λωρίδες να αναγκάζουν το νερό να ακολουθήσει μια ελικοειδή διαδρομή για να αυξηθεί η μεταφορά θερμότητας. Οι τιμές απόδοσης μεταφοράς θερμότητας για τα δύο σχέδια (επίπεδου και ομόκεντρου σωλήνα)



Σχήμα 3.6 Βασικά χαρακτηριστικά ενός παστεριωτή ροής

ήταν 60-80%, ανάλογα με την παροχή μάζας νερού και το τύπο κατασκευής τους. Ο ηλιακός παστεριωτής με ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας (SPIHX) συλλέγει και μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε θερμική ενέργεια για να φέρει το νερό σε συνθήκες παστερίωσης. Μόλις παστεριωθεί, η βαλβίδα θερμοστάτη ανοίγει και το νερό ρέει μέσω του κάτω καναλιού. Το μεσαίο φύλλο αλουμινίου διευκολύνει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του θερμού εξερχόμενου παστεριωμένου νερού και του ψυχρού εισερχόμενου μολυσμένου νερού (RIT 2007).

Η έρευνα των (Carielo da Silva, 2016) παρουσιάζει ένα αυτοματοποιημένο πρωτότυπο ηλιακού παστεριωτή κατασκευασμένο με έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη και ένα σύστημα ελέγχου βαλβίδων. Το πρωτότυπο αυτό σχεδιάστηκε λόγω της ανάγκης για καθαρό νερό σε απομακρυσμένες περιοχές σε ημι-άγονες περιοχές. Ο παστεριωτής που μελετήθηκε είναι σε θέση να επεξεργάζεται το νερό με υψηλή παραγωγικότητα που φτάνει τα 30 L την ημέρα. Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει αποδειχθεί ως πολύ υποσχόμενο για ημίξηρες περιοχές της βορειοανατολικής Βραζιλίας, όπου η ετήσια μέση ακτινοβολία στην περιοχή είναι περίπου 22 MJ/m^2 , τιμή η οποία εγγυάται την πλήρη λειτουργία του συστήματος σε ετήσια βάση. Ο συγκεκριμένος ηλιακός θερμικός συλλέκτης επίπεδης πλάκας έχει χωρητικότητα 1,8 L και ικανότητα απόδοσης 75%.



Σχήμα 3.7 Εικόνες από τον ηλιακό παστεριωτή στο πεδίο (Carielo da Silva, 2016)

Το εξωτερικό του τμήμα είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και διαθέτει ένα απλό γυάλινο κάλυμμα με επιφάνεια ανοίγματος 2 m^2 . Ο εναλλάκτης θερμότητας κατασκευάστηκε με έναν κυλινδρικό μεταλλικό αποδέκτη, με ύψος 30 cm, διάμετρο 20 cm και ογκομετρική χωρητικότητα 2,2 L. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας τοποθετήθηκαν στα άκρα του συλλέκτη για την ανίχνευση των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού. Οι πληροφορίες αυτές αποστέλλονται στο ηλεκτρονικό κύκλωμα, με αποτέλεσμα να δίνεται εντολή ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων (εισόδου και εξόδου του συλλέκτη) για να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του νερού στην επεξεργασία, ενώ ο έλεγχος του συστήματος είναι προγραμματισμένος να ενεργοποιείται κατά την ανατολή του ηλίου και απενεργοποίηση κατά τη δύση του ηλίου.

Στην κατηγορία των εναλλακτών θερμότητας τύπου ομόκεντρου σωλήνα έχουν διαμορφωθεί αρκετά συστήματα με το ίδιο σκεπτικό. Ένα από αυτά αποτελεί το σύστημα που ονομάζεται

SoWaDis και έχει χρησιμοποιηθεί, από το 2009, σε διάφορες τοποθεσίες στο Μπαγκλαντές, τη Μοζαμβίκη και την Τανζανία. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε από τους Frank&Kopersmann και αποτελείται είτε από έναν συλλέκτη με 48 σωλήνες που σε συνδυασμό με εναλλάκτη θερμότητας 10 μέτρων δίνουν μια ημερήσια παραγωγή περίπου στα 600 L νερό ή από έναν συλλέκτη 24 σωλήνων όπου σε συνδυασμό με εναλλάκτη θερμότητας 5μέτρων η παραγωγή είναι στα 300L νερού την ημέρα. Για την παραγωγή πόσιμου νερού από το σύστημα απαιτείται αντιστάθμιση ακτινοβολίας της τάξης των 2,5 έως 3 kWh/d (ανάλογα με το κλίμα).



Σχήμα 3.8 Απεικόνιση ενός συστήματος εναλλακτών θερμότητας τύπου ομόκεντρου σωλήνα εφαρμοσμένο από τη SoWaDis σε απομακρυσμένη περιοχή της Τανζανίας

Με τη ρυθμισμένη θερμοκρασία των 82°C και μέσο χρόνο ροής μέσω του συστήματος της τάξης των μερικών λεπτών, τόσο τα αποτελέσματα της μικροβιολογικής μελέτης όσο και περαιτέρω πειράματα με το σύστημα έδειξαν ότι μπορεί πάντα να επιτευχθεί ολική αδρανοποίηση σύμφωνα με το πρότυπο του παγκόσμιου οργανισμού υγείας. (Elimar F., 2011). Ωστόσο, το κόστος ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου 500 δολάρια ΗΠΑ και, ως εκ τούτου, είναι σημαντικά υψηλό.

Μεταξύ των κύριων σχεδιαστικών εξελίξεων στους ηλιακούς αντιδραστήρες παστερίωσης για τη παραγωγή καθαρού πόσιμου νερού σε ευάλωτες κοινότητες με χαμηλό εισόδημα είναι συστήματα σύνθετων παραβολικών συλλεκτών (Compound Parabolic Collector, CPC). Οι CPC είναι συλλέκτες χαμηλής συγκέντρωσης, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για θερμικές εφαρμογές στους ενεργητικούς ηλιακούς αποστακτήρες και συνδυάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά των παραβολικών συγκεντρωτών και των επίπεδων στατικών συστημάτων. Λόγω του σχήματός τους, τα κάτοπτρα CPC συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία σε σταθερές συνθήκες με υψηλό ποσοστό συλλογής της ηλιακής διάχυτης ακτινοβολίας. Χρησιμοποιούν τεχνικά χαρακτηριστικά για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια διάχυτη εστία και να την διανείμουν ομοιογενώς στον αντιδραστήρα όπου πρόκειται να απολυμανθεί το νερό. Ως εκ τούτου, τα CPC επιτρέπουν μια εξαιρετικά αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ροής φωτονίων στο νερό, χρησιμοποιώντας τόσο τη διάχυτη όσο και την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ακόμη και σε ημέρες με συννεφιά. Τα CPC είναι στατικοί συλλέκτες, οι οποίοι διατηρούν σταθερό συντελεστή συγκέντρωσης ($CF = 1$) για όλες τις τιμές της θέσης του ήλιου,

εντός του ορίου γωνίας αποδοχής. Τα κάτοπτρα των ηλιακών CPC κατασκευάζονται συνήθως από ανοδιωμένο αλουμίνιο για τη βελτίωση της συλλογής υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς η ανακλαστικότητα του στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι υψηλή και κυμαίνεται από 87% έως 92% ανάλογα με τη χρήση της επιφάνειας. Το υλικό αυτό είναι επίσης ιδιαίτερα ανθεκτικό στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε διάφορες έρευνες παρέχονται λεπτομερείς προδιαγραφές και μηχανολογικά σχέδια για το CPC, τον συλλέκτη και το σύστημα. Το βασικό προφίλ του CPC έχει συντελεστή συλλογής 1,3 και μήκος 900 mm. Αυτό παρέχει άνοιγμα επιφάνειας 0,141m² και γωνία συλλογής 50,3°. Ο σωλήνας του αντιδραστήρα έχει εξωτερική διάμετρο 50 mm. Έχουν κατασκευαστεί διάφορες μονάδες του υποτυπώδους συστήματος. Κάθε μονάδα έχει μήκος 1,4 m και πλαίσιο από κόντρα πλακέ με πάχος 18 mm. Το ίδιο το CPC κατασκευάστηκε από φύλλο HDPE 1,5 mm, το οποίο κόπηκε, πιέστηκε και καρφώθηκε στο πλαίσιο. Η επιφάνεια του CPC επικαλύφθηκε στη συνέχεια με μεταλλοποιημένο πλαστικό (περιτύλιγμα πακέτων). Ο σωλήνας του αντιδραστήρα είναι από βοριοπυριτικό γυαλί 50 mm OD, στερεωμένο με δύο απλούς συνδέσμους καταθλιπτικού σωλήνα από ψευδάργυρο. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τους ηλιακούς αντιδραστήρες πιο αποδοτικούς και λιγότερο εξαρτώμενους από τις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος για την απολύμανση του νερού. Ένα άλλο πλεονέκτημα της ηλιακής έκθεσης σε αντιδραστήρες CPC είναι οι αυξημένες θερμοκρασίες νερού που επιτυγχάνονται. Αυτές οι θερμικές επιδράσεις επιταχύνουν την απόδοση της ηλιακής απολύμανσης μέσω της ενισχυμένης ήπιας θερμότητας (δηλ. έως 50-60 °C) που παρέχεται κατά την ηλιακή έκθεση με τη χρήση αυτών των συλλεκτών. Η χρήση αντιδραστήρων CPC ηλιακής ροής μας επιτρέπει να μεγιστοποιήσουμε την ηλιακή δόση και την ικανότητα απολύμανσης του νερού καθιστώντας τις μονάδες αυτές κατάλληλες για κοινότητες με χαμηλό εισόδημα, με την προσδοκία παροχής χαμηλού κόστους και αποτελεσματικών λύσεων για την απολύμανση του φρέσκου ή του συλλεγόμενου νερού.



Σχήμα 3.9 Απεικόνιση (α) μέθοδος ηλιακής απολύμανσης με έκθεση του νερού στο ηλιακό φως στις σκεπές των σπιτιών (β) χρωματισμός των μπουκαλιών για καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (c) σύστημα παραβολικού συλλέκτη για ηλιακή παστερίωση του νερού που περιέχεται σε διαφανή σωλήνα (d) σύστημα ηλιακής παστερίωσης με το νερό τοποθετημένο σε διαφανή σάκο

3.2 Ηλιακή απολύμανση του νερού (SODIS)

Η μέθοδος της ηλιακής απολύμανσης του νερού, Solar Water Disinfection, SODIS είναι μια απλή μέθοδος επεξεργασίας νερού που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε όλο τον κόσμο. Είναι δραστικά φθηνότερη από τη διήθηση, χλωρίωση, ακόμη και από τους ηλιακούς αποστακτήρες. Σε αυτή τη μέθοδο, ένα διαφανές δοχείο γεμίζει με μολυσμένο νερό και εκτίθεται στο άμεσο ηλιακό φως για τουλάχιστον 6-8 ώρες. Συνήθως, τα δοχεία επιλέγονται από οικιακά πλαστικά ή γυάλινα μπουκάλια. Τα πλαστικά μπουκάλια χρησιμοποιούνται συχνότερα επειδή είναι φθηνότερα και πιο ανθεκτικά, αλλά πρέπει να αντικαθίστανται κάθε έξι μήνες. Η έκθεση του νερού στο ηλιακό φως, συγκεκριμένα σε UVA ακτινοβολία (315–400 nm), καταστρέφει άμεσα το DNA των παθογόνων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα μήκη κύματος UVA προκειμένου να σχηματίσει δραστικά είδη οξυγόνου (Reactive Oxygen Species, ROS) στο νερό. Οι ROS, (οι οποίες περιλαμβάνουν μονοατομικό οξυγόνο, υπεροξείδιο, υπεροξείδιο του υδρογόνου και ρίζες υδροξυλίου) βλάπτουν το DNA των παθογόνων και απενεργοποιούν τα μικρόβια. Ωστόσο, επειδή τα κύτταρα διαθέτουν διάφορους μηχανισμούς επιδιόρθωσης του DNA πρέπει να εφαρμοστεί αρκετά υψηλή δόση UVA, ώστε να συνεχίζεται να διατηρείται η αδρανοποίηση μετά την επεξεργασία (Ubomba-Jaswa E, 2009) (McGuigan KG, 2012). Επομένως, είναι απαραίτητο η επεξεργασία SoDis να πραγματοποιείται αμέσως πριν από την κατανάλωση ή η δόση UVA να είναι επαρκής για την πλήρη απενεργοποίηση τυχόν παθογόνων μικροοργανισμών. Η θερμοκρασία που πρέπει να επιτευχθεί για την αδρανοποίηση είναι οι 45 °C. Αυτό σημαίνει ότι η αδρανοποίηση μέσω της επίδρασης της θερμοκρασίας είναι πιο πιθανή πάνω από αυτό το σημείο (δηλ. >45 °C), πράγμα που σημαίνει ότι κάτω από τους 45 °C η αδρανοποίηση των βακτηρίων είναι αμελητέα.

Παράμετροι που συμβάλλουν στην αδρανοποίηση των ιών.

1) Επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στην απόδοση του SODIS

Η αποτελεσματική υπεριώδης ακτινοβολία βλάπτει άμεσα το γονιδίωμα των παθογόνων ενώ το αποτελεσματικό μήκος κύματος για αυτό το φαινόμενο είναι κάτω από τα 280 nm (κάπου στα 260-265 nm που είναι η υψηλότερη απορρόφηση υπεριώδους ακτινοβολίας από το νουκλεϊκό οξύ, επειδή τα φωτόνια του μήκους κύματος UVA θεωρούνται φωτόνια χαμηλής ενέργειας ενώ τα φωτόνια υψηλής ενέργειας στο μήκος κύματος UVC είναι αρκετά ισχυρά για να βλάψουν το γονιδίωμα των παθογόνων. Από την άποψη αυτή, δεν μπορούμε να βασιστούμε στην αποτελεσματικότητα της UVA. Ακόμα και με τη χρήση ηλιακών ανακλαστήρων για την αύξηση της ακτινοβολίας UV (συλλέγοντας όχι μόνο την άμεση UV αλλά και τη διάχυτη) τις συννεφιασμένες ημέρες η ενέργεια των φωτονίων δεν θα αλλάξει και η μόνη διαφορά είναι η αύξηση της διαθέσιμης UVA. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια προτείνεται ως λύση η χρήση στοιχείων λανθανιδίων για τη μετατροπή φωτονίων του ορατού φωτός με χαμηλότερη ενέργεια σε φωτόνια με υψηλότερη ενέργεια στην περιοχή UVC, αλλά η εφαρμογή αυτών των υλικών λόγω του υψηλού ρυθμού αντιδραστικότητας και της χαμηλής κβαντικής απόδοσης παραμένει σε εργαστηριακή κλίμακα.

2) Ο τρόπος που οι ρίζες υδροξυλίου και διοξυγόνου παράγονται από φωτόνια

Οι περισσότερες μελέτες στο σύστημα SODIS επικεντρώθηκαν στην εξάλειψη διαφόρων τύπων βακτηρίων και όχι άλλων παθογόνων μικροοργανισμών. Ο πιο άφθονος διαθέσιμος τύπος υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης (UVA) δεν είναι αρκετά ισχυρός για

την εξάλειψη των ιών. Η αποτελεσματικότητα της UVA στο σύστημα SODIS επιτυγχάνεται μέσω του σχηματισμού των (Reactive Oxygen Species, ROSs). Οι φωτοευαισθητοποιητές είναι ενδογενή ή εξωγενή μόρια που μπορούν να παράγουν Αντιδραστικά είδη οξυγόνου ROS μειώνοντας το οξυγόνο όταν διεγείρονται από το φως. Τα ROSs παίζουν ρόλο στις φυσιολογικές αντιδράσεις ως δευτερογενείς αγγελιοφόροι. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η ισορροπία μεταξύ της παραγωγής και της εξάλειψης των ROS ελέγχεται από ένα σύστημα απορρόφησης για τη διατήρηση της κυτταρικής ομοιόστασης, αλλά υπό συνθήκες οξειδωτικού στρες, η υπερβολική παραγωγή ROS μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στο κύτταρο. Ένζυμα όπως η καταλάση (CAT) και η δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD) παρέχουν κυτταρική άμυνα κατά των ROS και προστατεύουν τα κύτταρα από επιθέσεις ριζών. Αυτά τα ένζυμα μπορούν να αδρανοποιηθούν από φωτόνια, γεγονός που έχει σημαντικό ρόλο στην ηλιακή απολύμανση (M. Castro-Alferez, 2017).

Τυπικά, κατά τη διαδικασία SODIS, παράγονται δύο είδη ριζών: ρίζες υδροξυλίου (-OH) και ρίζες διοξυγόνου (1O_2). Η πρώτη θεωρείται συνήθως ισχυρό οξειδωτικό, ενώ η δεύτερη είναι μέτριο οξειδωτικό. Δεδομένου ότι οι ρίζες υδροξυλίου είναι εξαιρετικά δραστικές, έχουν μικρή διάρκεια ζωής και παράγονται επιτόπου. Ωστόσο, η παραγωγή αυτού του είδους υδροξυλίων για μικρές και φτωχές κοινότητες παρουσιάζει δυσκολίες λόγω της υπερβολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και χημικών ουσιών. Παρόλα αυτά αναπτύχθηκαν μέθοδοι όπως η φωτοκατάλυση με βάση το TiO_2 που δίνουν τα ίδια αποτελέσματα ελλείψει των προαναφερθέντων προκλήσεων (Hodges B.C., 2018). Μια άλλη μέθοδος για την παραγωγή -OH, είναι η χρησιμοποίηση του καταλύτη μέσω της αντίδρασης Fenton, όμως βρίσκεται ακόμη σε εργαστηριακή κλίμακα και οι εφαρμογές της σε πραγματικές συνθήκες δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη. Εν τούτοις, ένα από τα γνωστά εμπόδια για τις ρίζες υδροξυλίου στην επεξεργασία νερού είναι η απομάκρυνση των παραγόμενων -OH από τα φυσικά οργανικά υλικά (γεγονός που δεν αποτελεί πρόβλημα στα λύματα), ιδίως σε πολύπλοκες υδατικές καταστάσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστικά η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας απολύμανσης (Brame, 2014). Επίσης, το μοναδιαίο οξυγόνο θεωρείται ισχυρό απολυμαντικό κατά των περιεχόμενων στο νερό ιών. Σε σύγκριση με το -OH, έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό το είδος ριζών μπορεί να απομακρυνθεί περισσότερο από τον τόπο δημιουργίας. Η ενίσχυση της αποτελεσματικότητας αυτής της μεθόδου απολύμανσης (δηλ. παραγωγή 1O_2) γίνεται με τη χρήση φουλερενίου που οδηγεί σε υψηλή απόδοση σε 1O_2 , αλλά οι φωτοευαισθητοποιητές αυτοί θα πρέπει να διαχωρίζονται πριν το νερό καταναλωθεί από άτομα (Brame, 2014).

3) Συμβολή της θερμοκρασίας στην αποτελεσματικότητα του SODIS

Σε θερμοκρασίες άνω των 45 °C, αναφέρεται από πολλούς ερευνητές μια συνέργεια μεταξύ θερμικής και οπτικής αδρανοποίησης, η οποία βελτιώνει την απόδοση της ηλιακής απολύμανσης, αλλά είναι αποτελεσματική σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα, όσον αφορά τα αποτελέσματα πολυάριθμων πειραμάτων, ότι η θερμοκρασία του νερού σε κρύες εποχές είναι πάντα αρκετά χαμηλή, ενώ στις θερμές εποχές μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από 45 °C. Ωστόσο, προτείνεται συχνά η θερμική ενίσχυση των μεθόδων SoDis (π.χ. με φωτοκαταλύτη TiO_2) όπου παρουσιάζεται βελτίωση της απόδοσης κατά 1,7 φορές στους 45°C και κατά 3 φορές στους 50°C (McGuigan KG, 1998).

4) Χρονική διάρκεια έκθεσης

Η χρονική διάρκεια έκθεσης είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας στην ηλιακή απολύμανση ο οποίος επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και εξαρτάται από τον τύπο του παθογόνου και τα χαρακτηριστικά του. Σε κατάλληλες συνθήκες, τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια που μεταδίδονται με το νερό, όπως το *E. coli*, απομακρύνονται εντός 6 ωρών, γεγονός που καθιστά πολλές ασθένειες προλαμβάνουσες (K.G. McGuigan, 2012). Σε μια άλλη μελέτη, οι *Enterococcus faecalis*, *Salmonella* spp. και *Staphylococcus aureus* εκτέθηκαν στο ηλιακό φως και παρατηρήθηκαν 4 log₁₀ CFU/100 mL σε 6 ώρες, αλλά καθώς ο χρόνος έκθεσης αυξήθηκε στις 8 ώρες, η συγκέντρωση μειώθηκε κάτω από το ανιχνεύσιμο επίπεδο (A.A.S. Al-Gheethi, 2019). Ακόμη μια έρευνα των (Polo D., 2015) παρουσίασαν την αποτελεσματικότητα του SODIS για την εξάλειψη του ιού της ηπατίτιδας Α (HAV) και του νοροϊού του ποντικού (MNV). Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2 και 8 ωρών έκθεσης και τα ευρήματα έδειξαν ότι περίπου 0,81log₁₀ και 1,1log₁₀ μείωση για τον ιό της ηπατίτιδας Α (HAV) και τον νοροϊό του ποντικού (MNV) επιτυγχάνεται αντίστοιχα εάν ο χρόνος έκθεσης είναι 8 ώρες.

3.2.1 Η χρήση της ηλιακής απολύμανσης SODIS κατά τη διάρκεια της πανδημίας

Δεδομένου ότι η ηλιακή απολύμανση του νερού (SODIS) χρησιμοποιείται συνήθως από ανθρώπους στις αναπτυσσόμενες χώρες, υπάρχει ανησυχία σχετικά με τη χρήση αυτής της μεθόδου κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Επειδή ο SARS-CoV-2 μπορεί να εξαλειφθεί με υψηλή θερμοκρασία (>56 °C) και μήκος κύματος UVC (100-280 nm), ενώ τα συστήματα SODIS λειτουργούν κυρίως σε χαμηλότερη θερμοκρασία (<45 °C) και χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη UVA (315-400 nm) (Seyed Masoud Parsa, 2021).

Ενώ η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στα επεξεργασμένα λύματα σε χώρες υψηλού εισοδήματος που έχουν υψηλά πρότυπα για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι αποδεδειγμένη, η κατάσταση στις χώρες χαμηλού εισοδήματος και στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι περισσότερες από τις οποίες δεν διαθέτουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ή αποτελεσματικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, είναι σίγουρα χειρότερη από ό,τι μπορεί να φανταστεί κανείς.

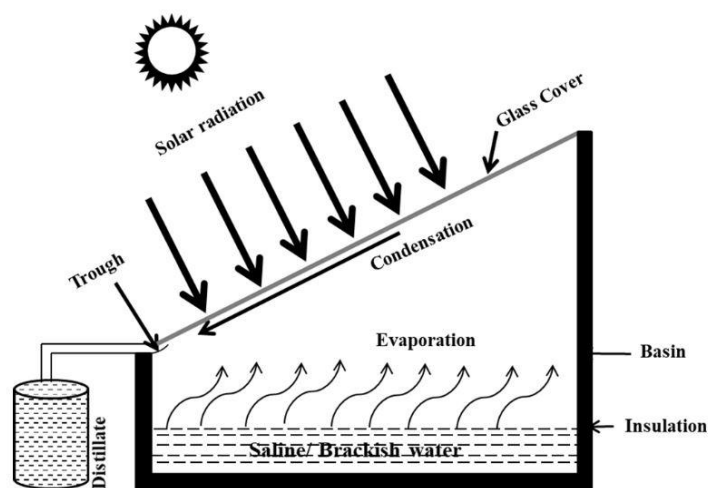
Από την άποψη αυτή, η μόλυνση των φυσικών υδάτινων σωμάτων, των ποταμών, των υπόγειων υδάτων, και του περιβάλλοντα γλυκού νερού από τον SARS-CoV-2 γίνεται μια από τις κύριες ανησυχίες όλων των ερευνητών. Αρκετές μελέτες επικεντρώθηκαν στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που επηρέασαν τη βιωσιμότητα του SRAS-CoV-2, όπως η δέσμευση (κατακράτηση), το pH, η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι ιοί εισάγονται πάντα ως ένα από τα πιο ανθεκτικά παθογόνα στο SODIS. Ενώ η κύρια επίδραση της υπερϊώδους ακτινοβολίας στο SODIS μεταφράζεται κατά το σχηματισμό ROS και όχι από την άμεση επίδρασή της, δεν υπάρχει ωστόσο ακόμη καμία έρευνα σχετικά με την επίδραση των αντιδραστικών ειδών οξυγόνου στο RNA του SARS-CoV2. Επί του παρόντος, έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες σχετικά με την επίδραση της υπερϊώδους ακτινοβολίας στην εξάλειψη του SARS-CoV-2, οι περισσότερες από τις οποίες επικεντρώνονται στη χρήση της UVC. Δεδομένου ότι η UVC απορροφάται πλήρως από την ατμόσφαιρα και μόλις το 5% της UVB φτάνει στη γη, ο πιο άφθονος τύπος UV είναι η UVA. Παρόλα αυτά εξετάστηκε ότι η UVA δεν δύναται να είναι αρκετά αποτελεσματική για την εξουδετέρωση του SARS-CoV-1 (C.S. Heilingloh, 2020), ενώ η απομάκρυνση του ιού με UVC επιτεύχθηκε πλήρως. Ωστόσο, σε μια άλλη μελέτη δεν επιτεύχθηκε πλήρης αδρανοποίηση

του SARS-CoV-1 με τη χρήση UVC (Kagiwa, 2006), πράγμα που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών δεν είναι πειστικά.

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της υπερϊώδους ακτινοβολίας και της χαμηλής θερμοκρασίας στο SODIS, προτείνονται υλικά μετατροπής (στοιχεία λανθανιδίων) και νανοσωματίδια για τη μετατροπή της UVA σε UVC και την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού με την παγίδευση του φωτός και την εκμετάλλευση του πλεονεκτήματος του εντοπισμού της θερμότητας (W. Zhang, 2017) (Hogan, 2014). Όμως καμία από αυτές τις λύσεις δεν προσεγγίζει την πρακτική εφαρμογή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως από φτωχές κοινότητες λόγω των εμποδίων (ειδικά χαρακτηριστικά των υλικών, κόστος των υλικών, προηγμένες μέθοδοι για την προπαρασκευή της συσκευής) στη μαζική παραγωγή, έτσι οι μέθοδοι αυτές παραμένουν σε εργαστηριακές κλίμακες.

3.3 Ηλιακή Απόσταξη

Η ηλιακή απόσταξη αποτελεί μια εύκολη, οικονομικά αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία για τον καθαρισμό του νερού ιδανική σε ελώδεις, παράκτιες, επαρχιακές και απομακρυσμένες περιοχές. Η ηλιακή απόσταξη εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία ως πηγή θερμικής ενέργειας για την παραγωγή αποταγμένου νερού. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί τις αρχές του φαινομένου του θερμοκηπίου και της εξάτμισης/συμπύκνωσης του νερού, προκαλώντας μια μικρής κλίμακας αναλογία του υδρολογικού κύκλου της φύσης, ο οποίος παρέχει γλυκό νερό σε πολύ μεγάλη ποσότητα. Επίσης, δεδομένου ότι η εξάτμιση είναι ο κύριος μηχανισμός καθαρισμού, η τεχνολογία αυτή είναι αποτελεσματική για την πλήρη απομάκρυνση όλων των χημικών, οργανικών και βιολογικών ρύπων στο νερό τροφοδοσίας.



Σχήμα 3.10 Απλή αναπαράσταση της διαδικασίας ηλιακής απόσταξης

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το γυάλινο κάλυμμα ένα μεγάλο μέρος της απορροφάτε από τη μαύρη βαμμένη επιφάνεια της δεξαμενής και μεταφέρεται στο νερό. Ωστόσο, λαμβάνει χώρα μια μικρή ποσότητα απώλειας ανάκλασης στο γυάλινο κάλυμμα, στο νερό και στις επιφάνειες της επένδυσης της λεκάνης. Όταν το νερό εξατμίζεται, οι υδρατμοί αρχίζουν να συγκεντρώνονται στο γυάλινο κάλυμμα και καθώς συσσωρεύονται και τα σφαιρίδια συμπύκνωσης γίνονται μεγαλύτερα, η βαρύτητα υπερνικά την πρόσφυση και τα

μόρια του καθαρισμένου νερού στάζουν στην κεκλιμένη γυάλινη πλάκα για να συγκεντρωθούν σε μια υδρορροή που έχει σχεδιαστεί για να συλλέγει το καθαρό νερό και να το μεταφέρει σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Η απόδοση του ηλιακού συστήματος απόσταξης εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και διάφορες άλλες παραμέτρους, όπως η κλίση, η γωνία του γυάλινου καλύμματος, το βάθος νερού στη λεκάνη, προσανατολισμός, ατμός η στεγανότητα, οι διαστάσεις και το σώμα του αποστακτήρα κ.λπ.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλά συστήματα επεξεργασίας νερού με ηλιακή απόσταση το κάθε ένα διαφορετικό από το άλλο. Ηλιακή απόσταση είναι μια από τις πιο υποσχόμενες, απλές και οικονομικές μεθοδολογίες για τον καθαρισμό του αλατούχου και υφάλμυρου νερού με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας (ανανεώσιμη πηγή ενέργειας). Παγκοσμίως, διάφοροι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη πειραματική ανάλυση της απόδοσης διαφόρων τύπων ηλιακών αποστακτήρων, ενώ παράλληλα έχουν επίσης πραγματοποιηθεί πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες για την ανάπτυξη θεωρητικών μοντέλων με βάση τα ενεργειακά ισοζύγια.

Για την πιο προσεγγίσιμη επισκόπηση των πολυάριθμων συστημάτων επεξεργασίας νερού με ηλιακή απόσταση γίνεται ευρέως μία πρώτη διάκριση μεταξύ των μεθόδων ηλιακής θερμικής αφαλάτωσης νερού σε δύο κύριες κατηγορίες: α) άμεσο σύστημα και β) έμμεσο σύστημα.

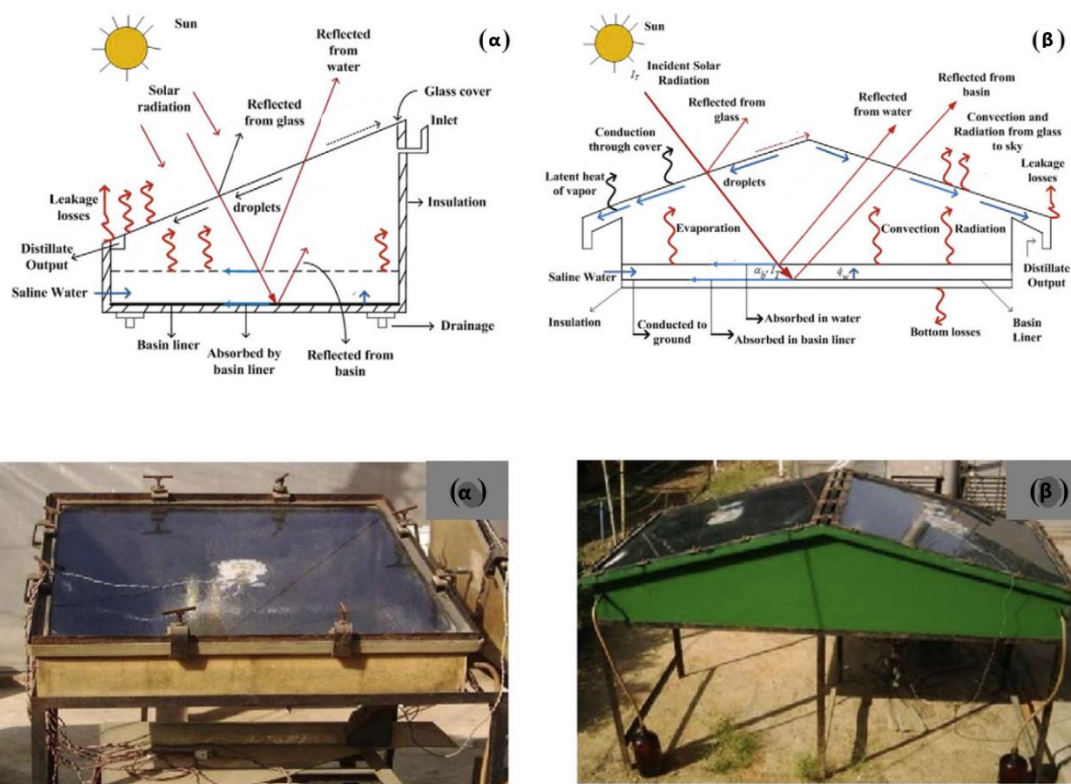
Η βασική διάκριση μεταξύ αυτών των μεθόδων απόσταξης είναι ότι σε ένα άμεσο σύστημα η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ηλιακής απόσταξης για την εξάτμιση του υφάλμυρου νερού εντός της συσκευής. Ενώ το έμμεσο σύστημα χρησιμοποιεί δύο ξεχωριστά συστήματα, δηλαδή μια συστοιχία της ηλιακής συλλογής που αποτελείται από θερμικούς ή/και φωτοβολταϊκούς (PV) συλλέκτες με βάση τα ρευστά και μια διακριτή συμβατική μονάδα απόσταξης για την απομάκρυνση της απώλειας κατά τη λανθάνουσα θερμότητα συμπίκνωσης.

Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, έτσι δεν είναι εφικτό ιδιαίτερα κοντά στις πόλεις όπου η γη είναι πολύ σπάνια και ακριβή. Η σύγκριση του κόστους εγκατάστασης φαίνεται να είναι σημαντικά υψηλότερη από ό,τι για άλλα συστήματα. Το κόστος της εργασίας είναι πιθανόν να είναι υψηλό λόγω των συνήθων επισκευών του για την αποφυγή διαρροών ατμών, αλάτων καθώς και των ζημιών που παρουσιάζονται στους υαλοπίνακες. Ωστόσο, είναι καταλληλότερο (από οικονομικής άποψης) για νοικοκυριά μικρής κλίμακας και για την παραγωγή σε μικρές κοινότητες, όπου υπάρχει διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας. Η τεχνολογία αφαλάτωσης με φωτοβολταϊκές μονάδες ή θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια και χαρακτηρίστηκε ως η διαδικασία της έμμεσης ηλιακής αφαλάτωσης είναι πολλά υποσχόμενη για περιοχές που είναι αναγκαίο να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερο το ενεργειακό κόστος. Τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης συνδυάζονται με συλλέκτες ως πηγή ενέργειας για την απόσταση πολλαπλών σταδίων (multistage flash distillation, MSF), την απόσταση πολλαπλών επιδράσεων (multi-effect distillation, MED) και την η απόσταση συμπίεσης ατμών (vapour compression distillation TVC).

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι η πιο προσιτή επιλογή σε απομακρυσμένες και άγονες περιοχές. Παράγουν γλυκό νερό άμεσα χωρίς να απαιτείται καύσιμο ή ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους. Ωστόσο, τα σχετικά μειονεκτήματα είναι η χαμηλή θερμοκρασία του νερού και η χαμηλή απόδοση της παραγωγής νερού. Μία ακόμη ταξινόμηση των ηλιακών αποστακτηρών άμεσου συστήματος γίνεται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, έτσι σε γενικές γραμμές μπορούν να διαχωριστούν σε παθητικούς και ενεργητικούς.

3.3.1 Παθητικά ηλιακά αποστακτήρια

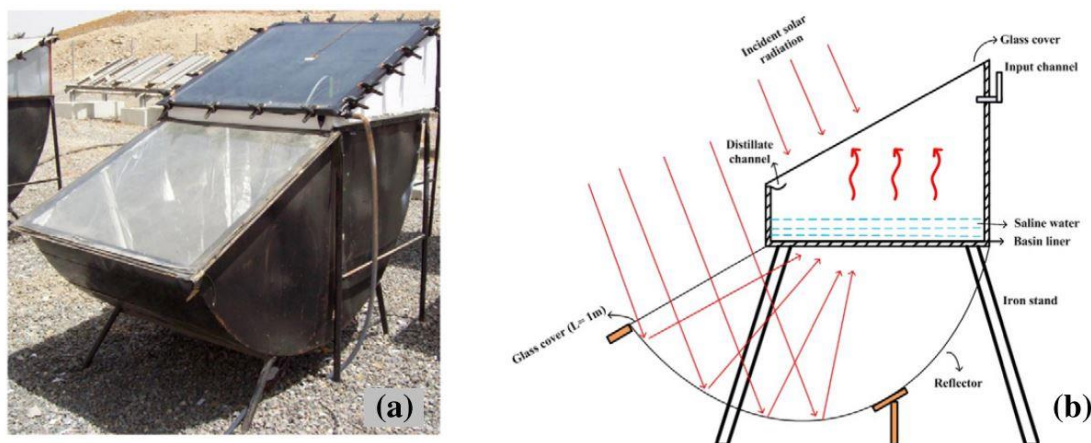
Μια πρώτη σχηματική αναπαράσταση και πειραματική διάταξη στο πεδίο του παθητικού ηλιακού συστήματος μονής κλίσης (Single slope solar still, SSSS) και διπλής κλίσης (Double slope solar still, DSSS) παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 3.11 (α) επάνω αναπαράσταση ηλιακού αποστακτήρα μονής κλίσης και κάτω εφαρμογή του συστήματος στο πεδίο και (β) Επάνω η αναπαράσταση λειτουργίας ηλιακού αποστακτήρα διπλής κλίσης και κάτω η εφαρμογή του συστήματος στο πεδίο

Διάφορα στοιχεία του ενεργειακού ισοζυγίου και των απωλειών θερμικής ενέργειας σε παθητικά συστήματα SSSS και DSSS φαίνονται στο σχήμα αντίστοιχα. Το σώμα των αποστακτήρων είναι κατασκευασμένο από πλαστικό ενισχυμένο με ίνες (fibre-reinforced plastic, FRP) με κάλυμμα από διαφανές γυαλί (3-4 mm). Ο παθητικός ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης έχει νότιο προσανατολισμό και η διπλή κλίση διατηρείται σε κατεύθυνση ανατολής-δύσης για την ανάκτηση της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας (βόρειο ημισφαίριο). Η εσωτερική επιφάνεια της λεκάνης του ηλιακού αποστακτήρα είναι βαμμένη μαύρη (μαυρισμένη επιφάνεια λεκάνης) για να απορροφά τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από την εξωτερική επιφάνεια του άνω καλύμματος και της επιφάνειας του νερού, η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία διεισδύει στον αποστακτήρα και απορροφάτε από το νερό και την επένδυση της λεκάνης. Η εξασθένιση της ηλιακής ροής μέσω της υδάτινης μάζας εξαρτάται σημαντικά από την ποσότητα του νερού της λεκάνης και την απορροφητικότητα του. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επένδυση της λεκάνης και απορροφάτε εκεί. Επιπλέον, η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια στην επένδυση της λεκάνης μεταφέρεται στη μάζα του νερού και αυξάνει τη θερμοκρασία του νερού.

Στην έρευνα των (Tiwari G.N., 2017) οι παθητικοί ηλιακοί αποστακτήρες μονής κλίσης βρέθηκε ότι αποδίδουν καλύτερα από τους παθητικούς ηλιακούς αποστακτήρες διπλής κλίσης καθώς η συνολική ετήσια απόδοση της παθητικής ηλιακής απόσταξης μονής κλίσης SSSS βρέθηκε να είναι υψηλότερη (499,41 λίτρα/έτος) σε σύγκριση με αυτό διπλής κλίσης DSSS (464,68 λίτρα/έτος). Μια άλλη τροποποίηση του ηλιακού αποστακτήρα μονής κλίσης αποτελεί ο ηλιακός αποστακτήρας με ανεστραμμένη απορρόφηση. Η πειραματική διάταξη και συστηματική απεικόνιση του συστήματος με ανεστραμμένο απορροφητήρα (Inverted Absorber Solar Still, IASS) παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 3.12 (α) Εφαρμογή συστήματος ανεστραμμένου απορροφητήρα (β) σχηματική απεικόνιση διεργασιών

Στο σύστημα IASS, ο ανακλαστήρας διατηρείται κάτω από τον ηλιακό αποστακτήρα για να θερμαίνει τη λεκάνη από την κάτω πλευρά ως συμπληρωματική ενέργεια της άμεσης θέρμανση της λεκάνης. Κατά συνέπεια, επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμοκρασία νερού σε σύγκριση με τον συμβατικό ηλιακό αποστακτήρα μονής κλίσης.

Οι Tiwari και Suneja (1998) ανέφεραν επίσης τις θεωρητικές αποδόσεις 5,1 4,8 και 4,5 L/m²/ημέρα, σε διαφορετικά βάθη νερού 0,01 0,02 και 0,03m, αντίστοιχα, για το σύνθετο κλίμα στο Νέο Δελχί, στην Ινδία. Σε μία άλλη πειραματική διάταξη του συστήματος IASS που εγκαθίστατο στο Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας του Πανεπιστημίου, Muscat, Oman αναπτύχθηκε για τρία διαφορετικά βάθη νερού (0,01 m, 0,02 m και 0,003 m) σύγκριση μεταξύ της θερμικής απόδοσης ηλιακού αποστακτήρα ανεστραμμένου απορροφητήρα και μονής κλίσης και βρέθηκε ότι για τις ίδιες παραμέτρους η θερμική απόδοση του συστήματος SSSS ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με το σύστημα IASS.

3.3.1.1 Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών επιδράσεων (Multiple-effect Distillation, MED)

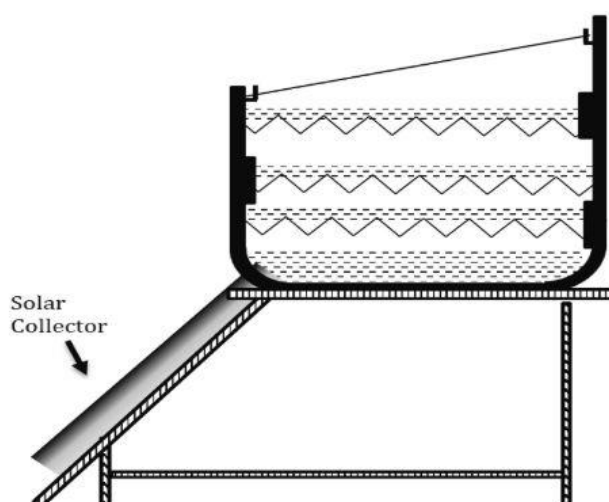
Ο ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών επιδράσεων είναι ένας τροποποιημένος ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης που αποτελείται από έναν αριθμό διάφανων λεκανών (εκτός από την κάτω λεκάνη), οι οποίες περιέχουν το αλατούχο νερό, που τοποθετούνται μία προς μία σε μια κατακόρυφη στήλη. Οι υδρατμοί από την πρώτη λεκάνη συμπυκνώνονται στην κάτω επιφάνεια της δεύτερης λεκάνης και μεταφέρουν λανθάνουσα θερμότητα στο νερό της δεύτερης λεκάνης, κ.ο.κ. Ως εκ τούτου, η μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας από την μία λεκάνη στην άλλη αναφέρεται ως διαδικασία πολλαπλής επίδρασης στους ηλιακούς αποστακτήρες. Αυτοί οι τύποι αποστακτηρών είναι τυπικοί αποστακτήρες υψηλής απόδοσης που παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα αποσταγμένου νερού για δεδομένη ηλιακή ακτινοβολία σε σύγκριση με εκείνη ενός τύπου μονής επίδρασης της ίδιας επιφάνειας

λεκάνης. Όμως, ο αριθμός των ενεργειών αυτών, αυξάνει το κόστος του σχεδιασμού, το κόστους των υλικών.

Σύμφωνα με τους Lobo και Araujo (1977), οι ενδιάμεσες λεκάνες προσθέτουν περίπου 15-25% στο κόστος του τυπικού αποστακτήρα ανά μονάδα επιφάνειας. Ως εκ τούτου, ανέπτυξαν έναν ηλιακό αποστακτήρα πολλαπλών λεκανών και πολλαπλών επιδράσεων για να ξεπεράσουν το πρόβλημα του κόστους στις πολλαπλές επιδράσεις. Παρατήρησαν επίσης ότι το κέρδος στην παραγωγή αποσταγμένου νερού του αποστακτήρα διπλής επίδρασης σε σχέση με τον τυπικό αποστακτήρα μπορεί να είναι τουλάχιστον 40-55% σε 20-25 MJ/m²/ημέρα και το κόστος για δεδομένη απόδοση μπορεί να είναι 20-25% φθηνότερο από αυτό του ηλιακού αποστακτήρα πολλαπλών επιδράσεων.

Ο El-Sebaïi (2005) εργάστηκε σε ένα σύστημα τριπλής λεκάνης ηλιακού αποστακτήρα και παρατήρησε ότι σε μια τυπική καλοκαιρινή ημέρα της Τάντα (γεωγραφικό πλάτος 30° 47' B), η συνολική παραγωγικότητα του αποστακτήρα ήταν 12,635 kg/m²/ημέρα. Οι (Tanaka, 2002) βελτίωσαν το σχεδιασμό των ηλιακών αποστακτηρών μονής κλίσης για υψηλότερη παραγωγικότητα. Στην περίπτωση αυτή, το εξωτερικό τμήμα του κατακόρυφου τοίχου καλύπτεται έτσι ώστε η μέγιστη συμπύκνωση να λαμβάνει χώρα στην εσωτερική επιφάνειά του λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας της σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του γυάλινου καλύμματος. Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης απελευθερώνεται στα κατακόρυφα τοιχώματα. Τα κατακόρυφα τοιχώματα θερμαίνονται μαζί με το νερό της άλμης που στάζει πάνω τους και λαμβάνει χώρα περαιτέρω εξάτμιση, και στη συνέχεια συμπύκνωση στον άλλο μεταλλικό τοίχο με το βρεγμένο φυτίλι μετά την απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης, και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται.

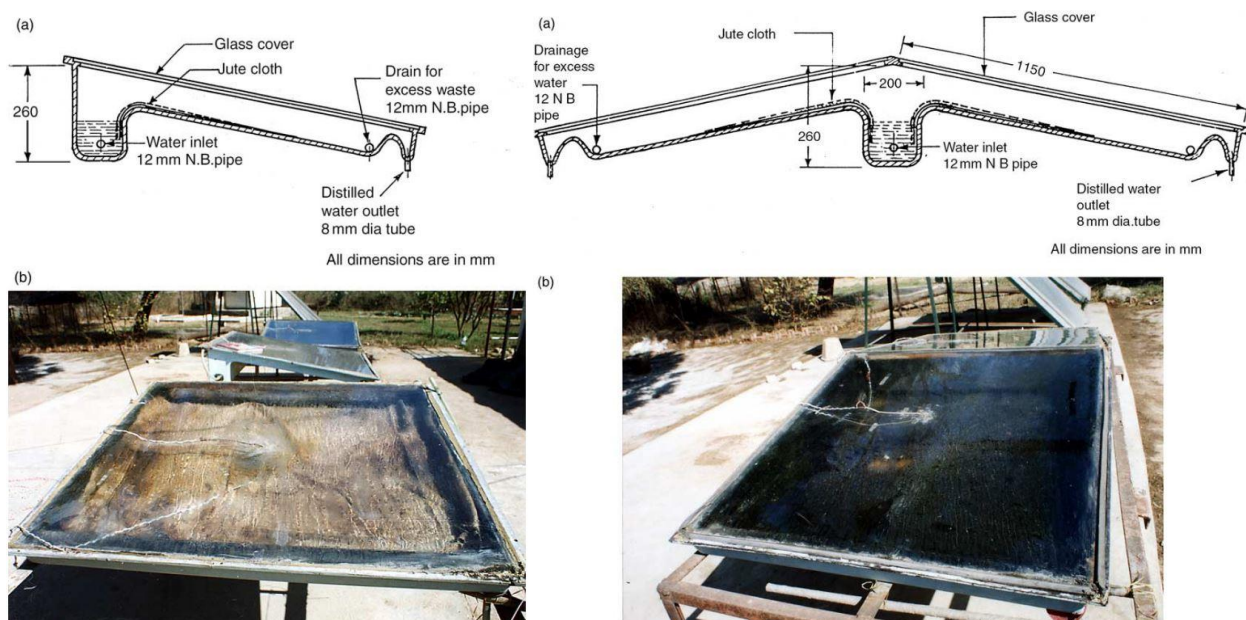
Ακόμη σε έρευνα των (Shatata&Mahkamov, 2010) μια από τις κύριες προσεγγίσεις για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού της λεκάνης είναι η σύνδεση ενός ηλιακού συλλέκτη με έναν ηλιακό αποστακτήρα πολλαπλών επιδράσεων. Κατά τον συνδυασμό αυτό προκύπτει αύξηση της παραγωγικότητας με τη χρήση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης για κάθε αποτέλεσμα, η οποία παραδίδεται στο επόμενο στάδιο. Για να επιτευχθεί συμπύκνωση, είναι απαραίτητη η αύξηση της θερμικής ισχύος. Πολλοί ερευνητές έχουν δοκιμάσει διάφορες διαμορφώσεις για την αύξηση της παραγωγικότητας του αποστακτήρα, όπως η σύνδεση ενός ηλιακού συλλέκτη με αποστακτήρα μονής επίδρασης ή αποστακτήρα πολλαπλής επίδρασης, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 3.13 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού αποστακτήρα πολλαπλών επιδράσεων ενσωματωμένος με ηλιακό συλλέκτη

3.3.1.2 Ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών υφασμάτων Multi-wick Solar Still

Ένα σχηματικό διάγραμμα και μια φωτογραφία ενός ηλιακού αποστακτήρα πολλαπλών μεμβρανών μίας κλίση παρουσιάζονται παρακάτω σχήμα 3.14(α). Σε αυτόν τον τύπο ηλιακού αποστακτήρα, το ένα άκρο ενός αριθμού υγρών τεμαχίων υφάσματος γιούτας (πορώδεις ίνες) διαφορετικού μήκους βυθίζεται σε μια δεξαμενή νερού, ενώ τα άλλα άκρα απλώνονται πάνω στη λεκάνη απορρόφησης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Τα κομμάτια υφάσματος γιούτα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, χωρισμένα με φύλλα πολυαιθυλενίου. Εδώ, το βρεγμένο κομμάτι υφάσματος γιούτας σχηματίζει την επιφάνεια του νερού στον αποστακτήρα. Αυτό οδηγεί σε ταχεία εξάτμιση του νερού. Κάθε ύφασμα γιούτα διαχωρίζεται από ένα λεπτό φύλλο πολυαιθυλενίου που ενεργεί ανεξάρτητα και απορροφά νερό (τριχοειδής δράση) από στη κεκλιμένη επιφάνεια με κλίση τέτοιας γωνίας ώστε να αναχαιτίζεται το μέγιστο δυνατό ηλιακή ακτινοβολία. Ο αριθμός των υφασμάτων γιούτα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό εξαρτάται από το πορώδες της ίνας και της στάθμης του νερού στη δεξαμενή.



Σχήμα 3.14 Σχηματική αναπαράσταση(επάνω) και εφαρμογή στο πεδίο(κάτω) συστημάτων ηλιακών αποστακτήρων πολλαπλών υφασμάτων (α) μονής κλίσης και (β) διπλής κλίσης

Το νερό, που τροφοδοτείται με αργό ρυθμό μέσω των πορωδών απορροφητών υφασμάτων, εξατμίζεται αμέσως μετά τη λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον απορροφητή και συμπυκνώνεται στην εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου καλύμματος. Μια δεξαμενή νερού εισάγεται στο πάνω μέρος του απορροφητή και τα άκρα ενός αριθμού τεμαχίων υφάσματος γιούτα (πορώδεις ίνες που λειτουργούν ως τριχοειδές υψηλής χωρητικότητας) βυθίζονται στη δεξαμενή, ενώ τα άλλα άκρα απλώνονται πάνω στον απορροφητή.

Σε μία τελευταία εξέλιξη του συστήματος αυτού ο ηλιακός αποστακτήρας πολλαπλών υφασμάτων μονής κλίσης μετατράπηκε σε ηλιακό αποστακτήρα πολλαπλών υφασμάτων διπλής κλίσης. Ο σχεδιασμός αυτός έχει τα εξής χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού ηλιακού αποστακτήρα: α) είναι δυνατή η επιλογή και η ρύθμιση του αποστακτήρα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και σε οποιαδήποτε γωνία για να λάβει τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία στον λιγότερο ογκώδη σχεδιασμό σε σχέση με τους ηλιακούς

αποστακτήρες τύπου λεκάνης, β) δεν υπάρχει φαινόμενο σκίασης λόγω του μικρού ύψους των πλευρικών τοιχωμάτων, και γ) οι αποθέσεις ιζημάτων στο μαυρισμένο υφάσματος μπορούν να βουρτσίζονται εύκολα όταν είναι απαραίτητο.

Υπάρχουν επίσης ορισμένοι περιορισμοί που σχετίζονται με τον αποστακτήρα πολλαπλών φίλτρων: α) το υφάσμα ξηραίνεται κατά τις ώρες αιχμής της ηλιοφάνειας, δηλαδή ο ρυθμός ξήρανσης είναι πολύ ταχύτερος από αυτόν της τριχοειδούς δράσης, β) η απώλεια θερμότητας συμβαίνει μέσω της περίσσειας του ζεστού νερού που καταλήγει ως απόβλητο στην αποχέτευση κατά τη διάρκεια των αργών και πρώιμων ωρών εργασίας λόγω του αργού ρυθμού της εξάτμισης κατά τις ώρες αυτές, και γ) σχηματισμός αλάτων στη λεκάνη. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να επιλυθούν με την υψηλότερη στάθμη του νερού, η οποία έχει πάντα το υφάσμα να επιπλέει πάνω από τη δεξαμενή νερού- και την τροφοδοσία του πλεονάζοντος ζεστού νερού να οδηγείται πίσω στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια των πρώιμων και καθυστερημένων ωρών εργασίας.

Στην εργασία των (Piyush Pala, 2017), παρουσιάζεται ένας τροποποιημένος σχεδιασμός πολλαπλών αποστακτήρων τύπου λεκάνης διπλής κλίσης πολλαπλών φίλτρων για την αξιολόγηση της απόδοσής του στις κλιματολογικές συνθήκες του Allahabad (U.P.) (γεωγραφικό πλάτος 25°27' N & γεωγραφικό μήκος 81°44' E), στην Ινδία. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, η μέγιστη απόδοση λαμβάνεται ως 9012 mL/ημέρα (4,50 L/m² ημέρα) για μαύρο βαμβακερό φίλτρο σε σύγκριση με 7040 mL/ημέρα (3,52 L/m² ημέρα) για το κάλυμμα από γιούτα σε βάθος νερού 2 cm σε. Επίσης, για τις ίδιες συνθήκες της λεκάνης, η συνολική θερμική απόδοση του συστήματος με τα υλικά γιούτα και μαύρο βαμβάκι είναι 20,94% και 23,03%, αντίστοιχα. Έτσι, παρατηρείται αύξηση κατά 9,04% στην απόδοση που λαμβάνεται από τον ηλιακό αποστακτήρα που παρουσιάστηκε, όταν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο από μαύρο βαμβάκι αντί για φίλτρο γιούτας. Το βέλτιστο ετήσιο κόστος του αποσταγμένου νερού ανά kg και ανά kWh ήταν 1,51 ρουπίες (0,023 δολάρια ΗΠΑ) και 2,41 ρουπίες (0,037 δολάρια ΗΠΑ), αντίστοιχα για το φίλτρο γιούτας και το μαύρο βαμβακερό φίλτρο.

Επίσης για τη βελτίωση της απόδοσης του ηλιακού αποστακτήρα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των (Sharshir, 2018) φίλτρο με νιφάδες απολεπισμένου γραφίτη σε συνδυασμό με φίλτρο με αφρό άνθρακα. Η μέγιστη παραγωγικότητα 4,25 L/ημέρα επιτεύχθηκε για αυτόν τον τύπο φίλτρου που επέφερε 51,8% βελτίωση σε σύγκριση με τον συμβατικό αποστακτήρα. Η θερμική απόδοση εκτιμήθηκε σε 37,4%, ενώ το κόστος του παραγόμενου νερού ήταν 0,0262, \$/L. Πολλές εργασίες έχουν μελετήσει περισσότερο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των ηλιακών αποστακτήρων με διάφορες διαμορφώσεις, ημισφαιρικούς ηλιακούς αποστακτήρες σφαιρικούς ηλιακούς αποστακτήρες, πυραμιδοειδείς ηλιακούς αποστακτήρες κ.α.

3.3.2 Ενεργητικά ηλιακά αποστακτήρια

Η ημερήσια παραγωγή αποστάγματος των παθητικών ηλιακών αποστακτήρων μπορεί να βελτιωθεί αυξάνοντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών εξάτμισης και συμπύκνωσης. Η θερμοκρασία του νερού σε αυτούς τους αποστακτήρες εξαρτάται κυρίως από το επίπεδο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μαζί με το βάθος της κλίνης. Με τη λειτουργία κυκλοφορίας η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας εξάτμισης (νερό) και της εσωτερικής επιφάνειας του γυάλινου καλύμματος μπορεί να αυξηθεί, γεγονός που λειτουργεί ως κινητήρια δύναμη για τη διαδικασία απόσταξης. Ο τρόπος λειτουργίας της δύναμης επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλίας η οποία μπορεί περαιτέρω να λειτουργεί είτε με

ηλεκτρική ενέργεια είτε με ενέργεια από φωτοβολταϊκά (μη συμβατική πηγή). Η θερμοκρασία της επιφάνειας εξάτμισης μπορεί να αυξηθεί με την τροφοδοσία θερμικής ενέργειας στη λεκάνη με τη χρήση ορισμένων εξωτερικών μονάδων/πηγών. Οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν την θερμική ενέργεια και την παρέχουν υπό εξαναγκασμένη λειτουργία αυξάνοντας την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων. Οι περισσότεροι από τους ηλιακούς αποστακτήρες που συζητούνται στην ενότητα παθητικός ηλιακός αποστακτήρας, μπορούν να ενσωματωθούν με την ηλιοθερμική τεχνολογία για την κάλυψη της απαίτησης εξωτερικής ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή προσέφερε τα συστήματα επίπεδου συλλέκτης πλάκας (FPC, (flat plate collator), εκκενωμένος σωληνοειδής συλλέκτης (evacuated tubular collector,ETC,,), σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτής (CPC, compound parabolic concentrator), όπου η κάλυψη της απαίτησης εξωτερικής ενέργειας, γίνεται συνήθως με φωτοβολταϊκή θερμική τεχνολογία (PVT) κ.α. Αυτός ο τύπος ενσωμάτωσης ονομάζεται ενεργή ηλιακή απόσταξη. Η ενεργός απόσταξη είναι καταλληλότερη για εμπορικούς σκοπούς λόγω των υψηλών αρχικών επενδύσεων και του υψηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

α) νυχτερινή απόσταξη, με την αξιοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις ώρες εκτός ηλιοφάνειας για την ενίσχυση της απόδοσης

β) την επίτευξη αποστάξεων υψηλής θερμοκρασίας με τη τροφοδοσία ζεστού νερού στη λεκάνη από ένα πάνελ ηλιακών συλλεκτών.

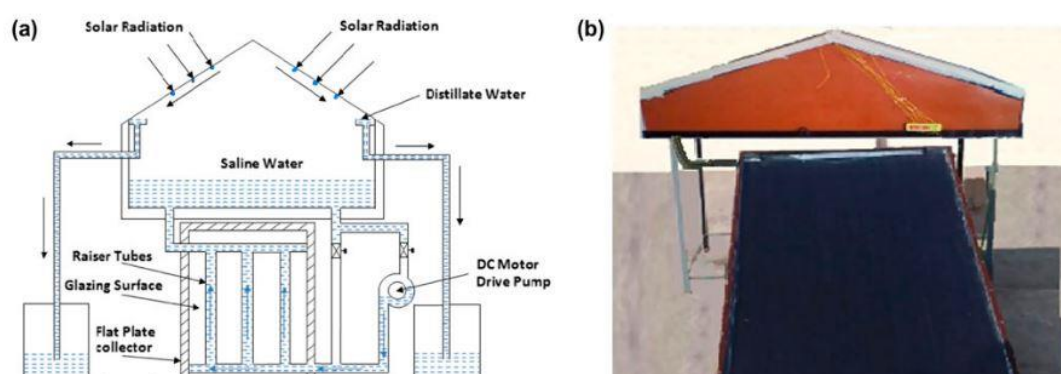
Ο Soliman (1976) πρότεινε την ενσωμάτωση του επίπεδου συλλέκτη με ηλιακούς αποστακτήρες για απόσταξη υψηλής θερμοκρασίας. Σε αυτόν τον σχεδιασμό, ένας παθητικός ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης συνδυάζεται με συλλέκτη επίπεδης πλάκας για την πρόσθετη θέρμανση του νερού (δηλ. σε 70-80°C) πριν από την αποστολή του στον ηλιακό αποστακτήρα με φυσική λειτουργία. Στον επίπεδο συλλέκτη πλάκων, το νερό τροφοδοσίας εισέρχεται στον κάτω συλλέκτη και στη συνέχεια θερμαίνεται λόγω της κίνησης μέσω των σωλήνων απορρόφησης και τελικά κινείται από τον πάνω συλλέκτη προς την έξοδο. Το νερό αυτό εισέρχεται στον ηλιακό αποστακτήρα ως προθερμασμένο νερό. Η ροή του αλατούχου νερού (προθερμασμένο νερό) εισέρχεται στην επιφάνεια της πρώτης βαθμίδας του συστήματος αφαλάτωσης και διανύει μια σπειροειδή διαδρομή κατά μήκος των βαθμίδων του συστήματος αφαλάτωσης λόγω της πρόβλεψης στάσεων νερού μπροστά από κάθε βαθμίδα, έτσι ώστε το νερό να παραμένει σε επαφή με την πλάκα απορρόφησης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ένα μέρος του σχηματιζόμενου ατμού αποστάζεται πάνω από το γυάλινο κάλυμμα του συστήματος αφαλάτωσης και οι σταγόνες νερού συσσωρεύονται στον πυθμένα του γυάλινου καλύμματος. Το άλλο τμήμα του σχηματιζόμενου ατμού εισέρχεται στον εξωτερικό συμπυκνωτή, αποστάζεται εκεί και μεταφέρεται από τον πυθμένα του συμπυκνωτή στον δίσκο συλλογής γλυκού νερού.

Στην έρευνα των (Vafaei M., 2020) προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της προθέρμανσης του νερού στην είσοδο του συστήματος αφαλάτωσης, κατασκευάστηκε ένας ηλιακός αποστακτήρας κλιμακωτού τύπου ενσωματωμένο με έναν συμβατικό ηλιακό συλλέκτη επίπεδης πλάκας (FISS, Flat plate collector Integrated with Solar Still) . Τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης δείχνουν ότι το κόστος του γλυκού νερού που παράγεται από τον ενσωματωμένο ηλιακό αποστακτήρα με επίπεδο συλλέκτη στη μέγιστη αναφερόμενη παραγωγικότητα ήταν 0,035 \$/L, σε αντίθεση με το κόστος του γλυκού νερού που παράγεται από τον απλό ηλιακό αποστακτήρα που ήταν ίσο με 0,044 \$/L, επίσης η ποσότητα και του γλυκού νερού που παράγεται από τον ηλιακό αποστακτήρα με επίπεδο συλλέκτη αυξήθηκε

κατά 3,7 λίτρα. Η μέγιστη παραγωγικότητα γλυκού νερού του επίπεδου συλλέκτη ενσωματωμένου στον ηλιακό αποστακτήρα καταγράφηκε 9900 mL/m² τιμή υψηλότερη από εκείνη του απλού ηλιακού αποστακτήρα κατά 60%. Τέλος, ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού αποστακτήρα ήταν 52% ενώ για τον ηλιακό αποστακτήρα με επίπεδο συλλέκτη έφτασε στα 81,8%.

Στην μελέτη που δημοσίευσαν οι (Sethi & Dwivedi, 2013), πραγματοποιείται ανάλυση της θερμικής απόδοσης και της εξωτερικής ενέργειας για την αξιολόγηση του ενεργού ηλιακού αποστακτήρα διπλής κλίσης υπό καθεστώς εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με τη χρήση αντλίας DC(40W). Οι ερευνητές κατέγραψαν ετήσια απόδοση 1337 kg για 0,03 m βάθος νερού, δηλαδή απόδοση 4,31 (L/m² ανα ημέρα). Το ελάχιστο κόστος απόσταξης νερού υπολογίστηκε σε 0,0078 (\$)ανά κιλό, ενώ ο χαμηλότερος χρόνος απόσβεσης αναφέρθηκε σε 1,23 έτη.

Ο υβριδικός αποστακτήρας είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία ενεργού αποστακτήρα στον οποίο ο ηλιακός αποστακτήρας συνδέεται με κάποιο άλλο σύστημα, όπως ηλιακός ξηραντήρας,



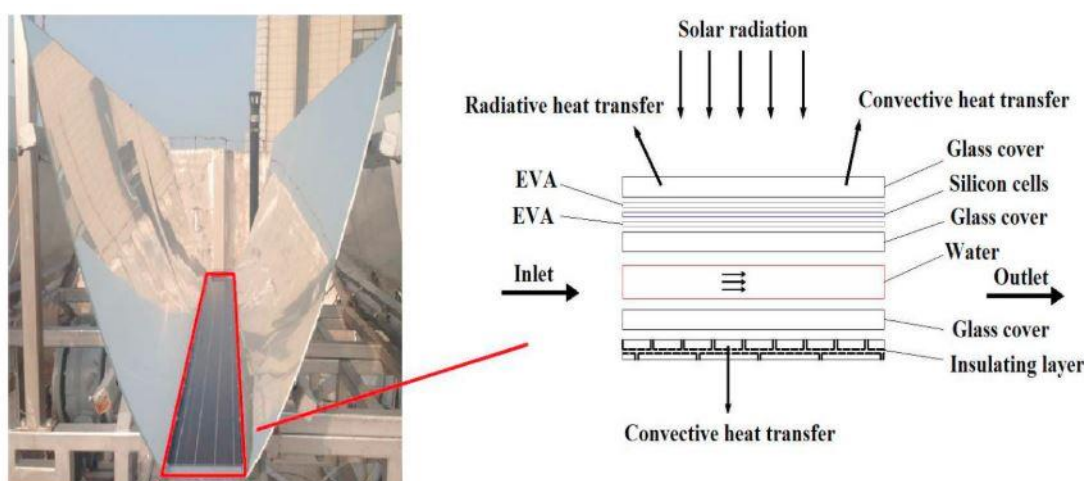
Σχήμα 3.15 (α)εγκάρσια απεικόνιση ηλιακού αποστακτήρα διπλής κλίσης ενσωματωμένου με ηλιακό συλλέκτη επίπεδης πλάκας και (β) εφαρμογή του στο πεδίο (Sethi & Dwivedi, 2013)

ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ και θερμοηλεκτρικές γεννήτριες. Διάφοροι ηλιακοί αποστακτήρες περιλαμβάνουν μοναδικά σχέδια όπως σωληνοειδής ηλιακός αποστακτήρας, αποστακτήρας με εξωτερικό συμπυκνωτή, σφαιρικός και ημισφαιρικός ηλιακός αποστακτήρας. Ως εκ τούτου, το υβριδικό φωτοβολταϊκό/ηλιακό αποστακτήριο έχει κερδίσει όλο και περισσότερο την προσοχή πολλών ερευνητών. Σε σύγκριση με τα φωτοβολταϊκά και τον ηλιακό συλλέκτη, η φωτοβολταϊκή/θερμική μονάδα έχει υψηλότερη απόδοση αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας (Kumar, 2013) (Kumar, 2009).

Οι (Kumar & Tiwari, 2009), κατέδειξαν την ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής ενός παθητικού ηλιακού αποστακτήρα μονής κλίσης και ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού (PV/T) ενεργού ηλιακού αποστακτήρα (DC 60W), με βάση την ετήσια απόδοση σε βάθος νερού 0,05 m. Η τιμή του νερού απόσταξης που παράγεται από τον παθητικό αποστακτήρα ήταν μικρότερη (0,0095 \$/kg) από τον υβριδικό αποστακτήρα (0,026 \$/kg) για 30 χρόνια ζωής των συστημάτων. Η ετήσια απόδοση από τον υβριδικό ηλιακό αποστακτήρα (1203,46 kg) ήταν 3,5 φορές υψηλότερη από τον παθητικό ηλιακό αποστακτήρα (343,36 kg). Η περίοδος απόσβεσης του παθητικού και του ηλιακού αποστακτήρα εκτιμήθηκε στο εύρος 1,1-6,2 έτη και 3,3-23,9 έτη αντίστοιχα.

Στην εργασία των (Xinjin, 2019), ένα υβριδικό σύστημα ηλιακού αποστακτήρα χαμηλής συγκέντρωσης φωτοβολταϊκών/θερμικών μονάδων σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε.

Αποτελείται κυρίως από σύνθετο παραβολικό συγκεντρωτή (CPC) με γεωμετρικό λόγο συγκέντρωσης 4, φωτοβολταϊκή/θερμική μονάδα, υποσύστημα παρακολούθησης και ηλιακό αποστακτήρα για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γλυκού νερού. Η συνολική παραγωγικότητα γλυκού νερού αυξήθηκε από 1664 mL/m² σε 2653 mL/m² με αύξηση της κλίσης του γυάλινου συμπυκνωτή από 25^ο σε 45^ο. Ο ηλιακός αποστακτήρας με κλίση συμπυκνωτή 45^ο έδωσε την υψηλότερη απόδοση. Η μέγιστη απόδοση εξέργειας ανήλθε κατά 15,50% με το κόστος του αποσταγμένου νερού να είναι CPL 0,0013 \$. Συγκρίνοντας το κόστος παραγωγής νερού απόσταξης για διάφορους υβριδικούς και διάφορους ηλιακούς αποστακτήρες, ο συγκεντρωτικός αποστακτήρας PV/ T βρέθηκε να είναι ο πιο οικονομικός σχεδιασμός σε αυτή την κατηγορία με και ημερήσια παραγωγικότητα 2,65 L/m² (Katekar, 2021). Οι (Modi, 2020), μελέτησαν σφαιρική ηλιακή αποστακτήρια μονάδα στερεωμένη με ένα παραβολικό ανακλαστήρα. Τα πειραματικά αποτελέσματα εξήγησαν ότι η παραγωγή αποσταγμένου νερού αυξήθηκε με την αύξηση της μάζας του νερού στη δεξαμενή και υψηλότερη ημερήσια απόδοση 8,2596 L/m² επιτεύχθηκε για υφάλμυρο νερό 5 λίτρων, με μέση ενεργειακή απόδοση 39,06%. Το κόστος ανά λίτρο και η περίοδος απόσβεσης εκτιμήθηκαν σε 0,026(\$)/CPL και 8,736 μήνες, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.16 ηλιακός αποστακτήρας χαμηλής συγκέντρωσης φωτοβολταϊκών/θερμικών μονάδων (Xinxin, 2019)

Οι (Elashmawy & Alshammari, 2020) παρουσίασαν μια μέθοδο για τη συλλογή νερού από την ατμόσφαιρα με τη χρήση σωληνωτού ηλιακού αποστακτήρα (tubular solar still, TSS) συνδεδεμένου με παραβολικό συγκεντρωτή. Στη μέθοδο αυτή, η ικανότητα εξάτμισης του νερού στο εσωτερικό του ηλιακού αποστακτήρα αυξήθηκε με τη χρήση ισχυρού ξηραντικού χλωριούχου ασβεστίου σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας. Το TSS άνοιξε και εκτέθηκε στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας για να αρχίσει η διαδικασία απορρόφησης. Κατά την έναρξη της ανατολής του ηλίου, το TSS έκλεισε και τοποθετήθηκε στην εστιακή γραμμή του παραβολικού συγκεντρωτή για να αρχίσει η διαδικασία αναγέννησης. Η θερμική απόδοση του συστήματος και το κόστος παραγωγής νερού ήταν 24,61% και 0,15 \$/L, αντίστοιχα. Η απόδοση και η ενεργειακή απόδοση του TSS αυξήθηκαν κατά 292,4% και 82,3% αντίστοιχα, ενώ το CPL μειώθηκε από 0,2 \$/L σε 0,15 \$/L (25%).

Επιπρόσθετα, οι ηλιακοί συλλέκτες επίπεδης πλάκας, αντικαθίστανται από έναν εκκενωμένο σωληνοειδή συλλέκτη σε μία μεταγενέστερη ανάπτυξη της ενεργού ηλιακής απόσταξης. Σε αντίθεση με τους συλλέκτες επίπεδης πλάκας, ο σωληνωτός συλλέκτης με εκκενωμένο σωλήνα διαθέτει ομόκεντρους σωλήνες με κενό στον δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ τους. Αυτό

αποτρέπει κυρίως τις απώλειες θερμότητας με συναγωγή που συμβαίνουν στο εσωτερικό του συλλέκτη λόγω των κινήσεων του αέρα μεταξύ του άνω γυάλινου καλύμματος και του απορροφητή ενός συλλέκτη επίπεδης πλάκας για να βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση. Παρόλο που οι συλλέκτες με εκκενωμένο σωλήνα είναι σημαντικά ακριβότεροι από τους τυπικούς συλλέκτες επίπεδης πλάκας, θεωρούνται πολύ πιο αποδοτικοί όταν απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες συλλογής για τη λειτουργία απορρόφησης. Το κενό ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, καθιστώντας τους συλλέκτες αυτούς ιδιαίτερα χρήσιμους σε περιοχές με κρύο και συννεφιασμένο χειμώνα.

Παρόλα αυτά στη μελέτη των (Vafaei M., 2020) Το κόστος του γλυκού νερού που παράγεται από τον ενσωματωμένο ηλιακό αποστακτήρα με εκκενωμένο συλλέκτη υπολογίστηκε σε 0,045 \$/L με τη μέγιστη παραγωγικότητα σε γλυκό νερό στα 6980 ml/m², σε αντίθεση με τον ενσωματωμένο ηλιακό αποστακτήρα με επίπεδο συλλέκτη που ήταν 0,035 \$/L και 9900 ml/m² αντίστοιχα.

Στην εργασία (R.V. Singh, 2013) παρουσιάζεται η θερμική ανάλυση ενός ηλιακού αποστακτήρα μονής κλίσης (εμβαδόν 1 m² και γωνία κάλυψης γυαλιού 30°) ενσωματωμένου με συλλέκτη εκκενωμένου σωλήνα σε φυσική λειτουργία. Η απόδοση έχει προβλεφθεί θεωρητικά όσον αφορά τις θερμοκρασίες του νερού και του εσωτερικού γυάλινου καλύμματος, την απόδοση, την ενεργειακή και εξεργειακή απόδοση κατά τη διάρκεια μιας τυπικής καλοκαιρινής ημέρας στο Νέο Δελχί (Ινδία). Η διακύμανση της στιγμιαίας συνολικής απόδοσης ενέργειας και εξέργειας βρέθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ 5,1-54,4% και 0,15-8,25% αντίστοιχα κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας για βάθος νερού 0,03 m, η οποία μειώνεται με την αύξηση του βάθους. Επιπλέον, το σύστημα βελτιστοποιήθηκε για τον αριθμό των ενσωματωμένων σωλήνων εκκένωσης και το βάθος νερού στη λεκάνη για σχεδόν την ίδια μέγιστη θερμοκρασία νερού που επιτυγχάνεται (≈ 94 °C) σε κάθε συνδυασμό. Ο καλύτερος συνδυασμός βρέθηκε με την ενσωμάτωση 10 εκκενωμένων σωλήνων με βάθος νερού 0,03 m (συνολική μάζα νερού 52,5 kg) στη λεκάνη. Οι αντίστοιχες ημερήσιες αποδόσεις ενέργειας και εξέργειας προέκυψαν 33,0% και 2,5% και η μέγιστη μεταξύ τους με ημερήσια απόδοση 3,8 kg/m².



Σχήμα 3.17 Εφαρμογές συστημάτων ηλιακών αποστακτηρών μονής κλίσης ενσωματωμένοι με (αριστερά) ηλιακό συλλέκτη εκκενωμένου σωλήνα και (δεξιά) συλλέκτη επίπεδης πλάκας

3.3.3 Επίδραση των υλικών εναλλαγής φάσης

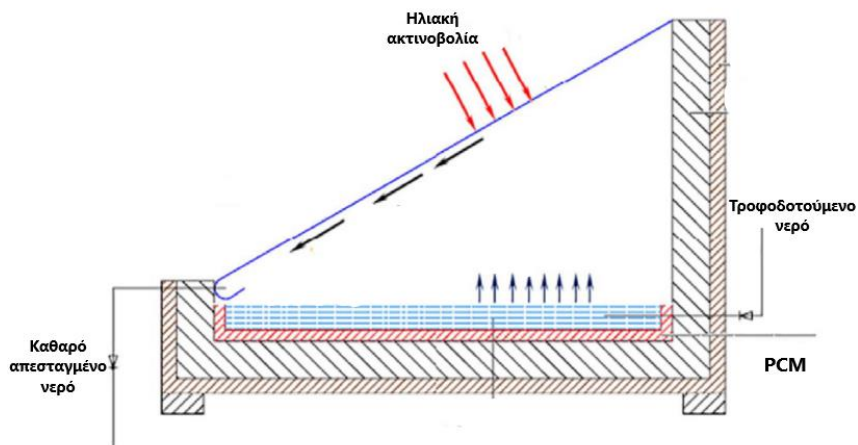
Τα υλικά αλλαγής φάσης (Phase change materials, PCM) έχουν την ιδιότητα να λιώνουν και να στερεοποιούνται σε σταθερή θερμοκρασία και κατά τη διάρκεια αυτού του φαινομένου έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να εκφορτίζουν σημαντική ποσότητα λανθάνουσας ενέργειας. Η αποθήκευση της θερμότητας συμβαίνει όταν τα υλικά αυτά αλλάζουν τη φάση τους από στερεό σε υγρό, ενώ η απελευθέρωση θερμότητας λαμβάνει χώρα κατά τη στερεοποίηση των υλικών αυτών και, ως εκ τούτου, είναι επίσης γνωστά και ως υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Η λανθάνουσα θερμική ενέργεια των PCM, οι θερμοφυσικές ιδιότητές τους, η θερμοκρασία αποθήκευσης ενέργειας, η πυκνότητά τους, η αισθητή θερμότητα, η διάρκεια φόρτισης/εκφόρτισης και ο χρόνος στον οποίο τα PCM εκφορτίζουν την αποθηκευμένη σε αυτά ενέργεια είναι οι πρωταρχικές παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή του ηλιακού αποστακτήρα.

Τα PCM παίζουν βασικό ρόλο στη μεταφορά θερμότητας στον αποστακτήρα, βελτιώνουν την απόδοσή του και μπορεί να παράγει συνεχώς γλυκό νερό ακόμη και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συγκρίνοντας τη παραγωγή ενός συλλέκτη - συζευγμένου με τον ηλιακό αποστακτήρα με και χωρίς την ενίσχυση με υλικό αλλαγής φάσης PCM, βρέθηκε ότι βελτιώθηκε η παραγωγικότητά του στα 4,46 L/m²/ημέρα από τα 3,520 L/m²/ημέρα αντίστοιχα.

Ένα πρόβλημα του PCM είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα κατά τη διάρκεια των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια για τη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας, μειώνοντας έτσι το χρόνο φόρτισης και επιταχύνοντας την απελευθέρωση θερμότητας κατά τη στερεοποίηση (Rufuss D.D.W., 2018). Η παραγωγή καθαρού νερού ξεκίνησε, επίσης να εξετάζει και την ενέργεια νανουλικών εναλλαγής φάσης (νανο-PCM) που εκπέμπεται κατά τη δύση του ηλίου. Και οι δύο αυτές μεταβλητές (απόδοση νανοPCM τη νύχτα) επέτρεψαν στη μέγιστη παραγωγικότητα του ηλιακού αποστακτήρα να δει περίπου 100% αύξηση στο τέλος της ημέρας.

3.3.3.1 Ηλιακοί αποστακτήρες με νανορευσά

Πρόσφατα, τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM) και οι διάφορες συγκεντρώσεις νανορευστών μελετήθηκαν σε μια σειρά από ενεργά και παθητικά συστήματα απόσταξης. Τα νανορευσά είναι ικανά για ικανοποιητική βελτίωση της συλλογής θερμικής ενέργειας σε ηλιοθερμικές εφαρμογές. Παγκοσμίως, τα νανορευσά προσελκύουν την προσοχή των ερευνητών και των μηχανικών καθώς αποτελούν τη νέα γενιά ρευστών εξαιρετικά ταχείας μεταφοράς θερμότητας λόγω των εξαιρετικών θερμοφυσικών (θερμική αγωγιμότητα, ειδική θερμότητα, πυκνότητα, δυναμικό ιξώδες κ.λπ.) και οπτικών ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3.18 Ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης ενισχυμένος με υλικό εναλλαγής φάσης

Σε μία έρευνα τέσσερις ηλιακοί αποστακτήρες κατασκευάστηκαν πειραματικά και παρατηρήθηκαν σε κλιματικές συνθήκες της Ινδίας. Οι τέσσερις ηλιακοί αποστακτήρες περιείχαν παραφίνη ως υλικό εναλλαγής φάσης ενισχυμένη με νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου TiO_2 , οξείδιο του χαλκού CuO και οξείδιο του γραφενίου GO αντίστοιχα. Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων TiO_2 , CuO και GO βελτιώνει τη θερμική αγωγιμότητα του βασικού υλικού (παραφίνη) κατά 25,0 28,8 και 101% αντίστοιχα. Επίσης η παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα (SS, solar still) αυξάνεται με την προσθήκη νανοPCM. Βελτιώσεις 39,3 43,2 και 18,0% επιτεύχθηκαν για τους ηλιακούς αποστακτήρες NPCM- TiO_2 , NPCM- CuO και NPCM- GO , έναντι της παραγωγικότητας ενός συμβατικού αποστακτήρα. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο ηλιακός αποστακτήρας με οξείδιο του χαλκού εμποτισμένο σε παραφίνη ως υλικό αλλαγής φάσης, είχε ημερήσια παραγωγικότητα, ετήσια παραγωγικότητα και κόστος ανα λίτρο (cost per lite, CPL) ύψους περίπου 5,28 $L/m^2/ημέρα$, 1320 $L/m^2/έτος$ και 0,026 \$ αντίστοιχα. Αυτό το CPL είναι λιγότερο από το μισό του κόστους του εμφιαλωμένου νερού στην Ινδία (Dsilva Winfred Rufuss, 2018).

Σημαντική βελτίωση της απόδοσης αναφέρθηκε από τους (S.M. Saleh, 2017) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι το σχήμα των νανοσωματιδίων ZnO στη νανοκλίμακα επηρεάζει τόσο την παραγωγικότητα όσο και την αποδοτικότητα ηλιακών αποστακτήρων. Επίσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα νανοσωματίδια(NP) σε σχήμα ράβδου είχαν καλύτερη απόδοση από τα NP σε σχήμα σφαίρας.

Σε άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι

- α) Κατά μέσο όρο προκύπτει 25% βελτίωση της παραγωγής με οξείδιο του γραφενίου εμποτισμένου σε παραφίνη($GO/παραφίνη$) σε σχέση με τον ηλιακό αποστακτήρα μόνο με παραφίνη ως υλικό αλλαγής φάσης PCM.
- β) Η προσθήκη περισσότερου GO είχε ως αποτέλεσμα, υψηλότερο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, γεγονός που υποδηλώνει υψηλή δυνατότητα επίτευξης σημαντικής μείωσης του χρόνου θέρμανσης. Τα δείγματα που είχαν 0,2 % κ.β. νανοϋλικό, εμφάνισαν ωστόσο, χαμηλότερα επίπεδα απόδοσης κατά την αλλαγή φάσης σε εφικτή αποθήκευση ενέργειας. Σε σύγκριση με τη χρήση ακατέργαστων PCM σε εφαρμογές ηλιακού αποστακτήρα, τα κατανεμημένα νανοϋλικά με βάση το γραφένιο στην παραφίνη παρουσιάζουν ισχυρότερες υποσχέσεις. Τα αποτελέσματα

έδειξαν ότι ο ηλιακός αποστακτήρας από κερί παραφίνης και ο ηλιακός αποστακτήρας από κερί παραφίνης σε συνδυασμό με νανοσωματίδια γραφενίου είχαν ημερήσια παραγωγικότητα 6 και 7,9 kg/m², αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα 4,3 kg/m² του παραδοσιακού ηλιακού αποστακτήρα με σωλήνες.

Επίσης σε μία έρευνα των (Sahota, 2017) όπου μετρήθηκε η ποσοστιαία βελτίωση της παραγωγικότητας και της απόδοσης εξέργειας σε τρεις ηλιακούς αποστακτήρες ενισχυμένους με νανοσωματίδια TiO₂, CuO και Al₂O₃ εμπλουτισμένα σε μήτρες παραφινικού κεριού, βρέθηκε ότι ο ηλιακός αποστακτήρας που είχε ως υλικό το Al₂O₃ είχε καλλίτερη θερμική απόδοση και παραγωγικότητα. Συμπερασματικά από την άποψη της οικονομίας και των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών, τα νανοσωματίδια Al₂O₃ είναι τα καταλληλότερα νανοσωματίδια για την ενίσχυση της παραγωγής ηλιακών αποστακτών.

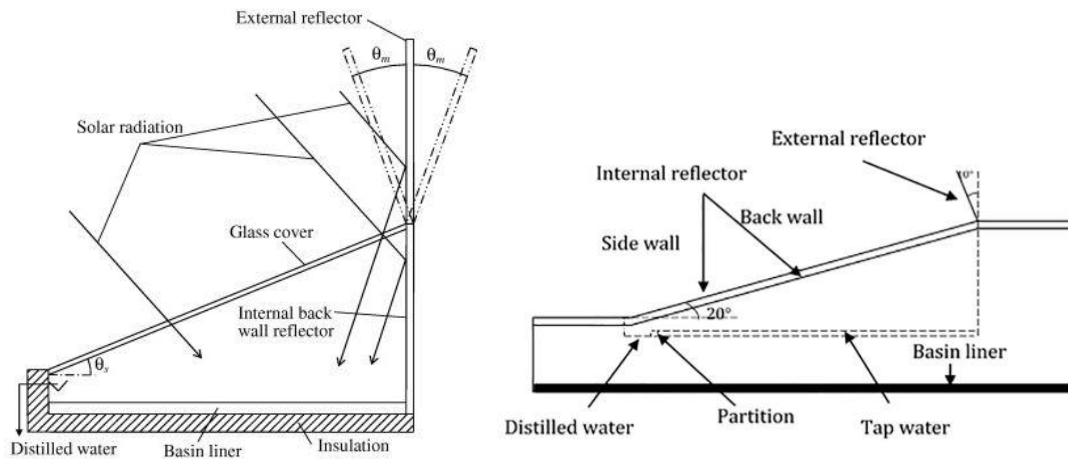
Βελτίωση της απόδοσης του ηλιακού αποστακτήρα έχει πραγματοποιηθεί και με την ανάμειξη νανο- και μικρο-οξειδίου του σιδήρου (Fe₂O₃) σε υφάλμυρο νερό φορτωμένο με μικροσωματίδια και συμβατικό ηλιακό αποστακτήρα. Ερευνητές δήλωσαν ότι το νανο-οξείδιο του σιδήρου ήταν πιο αγωγίμο από το μικρο-οξείδιο σιδήρου, ενώ η μέγιστη απόδοση καταγράφηκε ως 68% με χρόνο απόσβεσης 135 ημερών για τον αποστακτήρα φορτωμένο με σωματίδια νανο-οξείδιο του σιδήρου.

Σε μία ακόμη πιο προχωρημένη έρευνα αναζήτησης αποδοτικών υλικών αλλαγής φάσης, οι (Essa, 2020), χρησιμοποίησαν κολλοειδές με βάση τον καφέ σε ηλιακό αποστακτήρα. Το κολλοειδές με βάση τον καφέ είναι μια οργανική, χαμηλού κόστους και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα συμβατικά νανορευστά με ανόργανη βάση. Η ημερήσια απόδοση από τον ηλιακό αποστακτήρα που αναπτύχθηκε καταγράφηκε ως 4865,73 mL/m² ανά ημέρα, η οποία ήταν κατά 35,14% μεγαλύτερη από τον απλό ηλιακό αποστακτήρα. Η απόδοση της εξέργειας και της ενέργειας βελτιώθηκε κατά 46,44% και 34%, αντίστοιχα, ενώ το κόστος της απόσταξης του νερού εκτιμήθηκε σε 0,0136 \$/L.

3.3.4 Επίδραση της χρήσης ανακλαστών στην απόδοση απόσταξης σε ενεργό και παθητικό ηλιακό αποστακτήρα

Οι εξωτερικοί ή εσωτερικοί ανακλαστές είναι ένα κατάλληλο και φθινό μέσο προσαρμογής, για τη βελτίωση της συγκέντρωσης της ανακλώμενης ηλιακής ενέργειας που επηρεάζει την επένδυση της λεκάνης ή το νερό, διευρύνοντας την απόδοση απόσταξης του αποστακτήρα και της παραγωγή αποσταγμένου νερού, επιπλέον, οι ανακλαστές μειώνουν την απορριπτόμενη θερμική ενέργεια του ηλιακού αποστακτήρα. Κατά συνέπεια, αρκετοί ερευνητές προέβησαν σε διάφορες τροποποιήσεις. Το γενικότερο αποτελέσματα ήταν ότι η γωνία κλίσης πρέπει να είναι κάτω από 25° για εξωτερικούς και εσωτερικούς ανακλαστές και ότι η βέλτιστη γωνία πρέπει να είναι 10°- 50° ανάλογα με την εποχή.

Ο (Tanaka H., 2010) διεξήγαγε πειράματα με εσωτερικούς και εξωτερικούς ανακλαστές. Η απόδοση βελτιώθηκε με την κλίση του εξωτερικού ανακλαστήρα προς τα πίσω κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και κλίση προς τα εμπρός για τις υπόλοιπες εποχές. Ανάλογα με τη μέθοδο εναλλαγής, ο καθιερωμένος ηλιακός αποστακτήρας παρουσιάζει παραγωγικότητα 51-148% μεγαλύτερη από την παραγωγικότητα του παραδοσιακού ηλιακού αποστακτήρα, ανάλογα τις συνθήκες πεδίου.



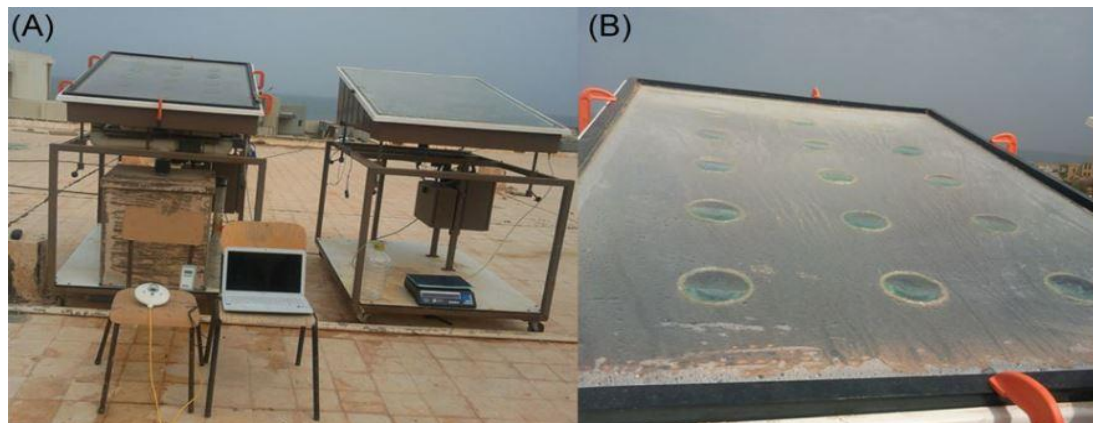
Σχήμα 3.19 Ηλιακοί αποστακτήρες ενισχυμένοι με ανακλαστήρες

Επιπρόσθετα, σε ένα σύστημα που έγινε συνδυασμός ανακλαστήρων και υλικού αλλαγής φάσης PCM, οι δίσκοι εντός του ηλιακού αποστακτήρα αύξησαν την επιφάνεια εξάτμισης του νερού της λεκάνης και αυξήθηκε η ηλιακή αποστακτική παραγωγή κατά 108%.

3.3.5 Ενίσχυση της ηλιακής εισροής με Φακό Fresnel

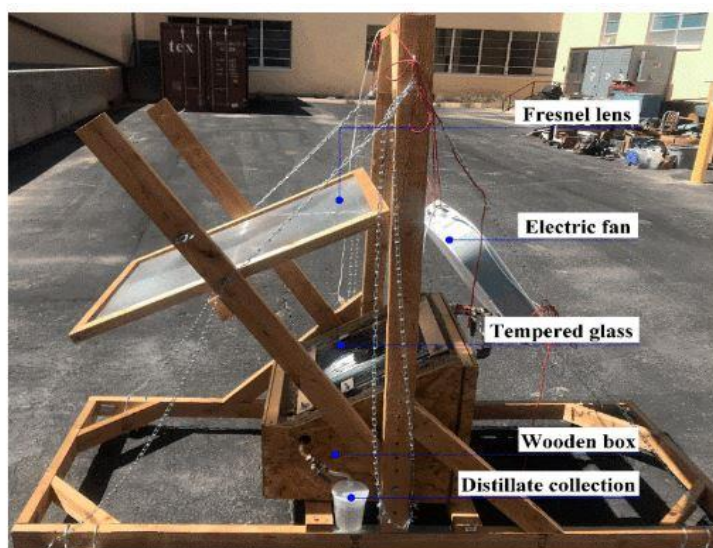
Υπάρχουν πολύ λίγες πειραματικές μελέτες που χρησιμοποίησαν διαθλαστικά βασισμένους συγκεντρωτές του ηλιακού φωτός, στο γυάλινο κάλυμμα ενός ηλιακού αποστακτήρα. Ο φακός διατηρείται στο γυάλινο κάλυμμα των αποστακτηρών χωρίς να απαιτεί καμία πρόσθετη τροποποίηση, βελτιώνοντας την εξάτμιση με την εστίαση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του νερού. Η χρήση ενός γραμμικά εστιασμένου φακού Fresnel (FRL) έχει παρατηρηθεί ότι ενισχύει την ηλιακή ακτινοβολία και βοηθά στη βελτίωση της παραγωγικότητας του αποστακτήρα, με σχετικά χαμηλό κόστος.

Πρόσφατα, οι συγγραφείς πραγματοποίησαν μια πειραματική μελέτη χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο μεγέθους, σημειακά εστιασμένο Fresnel φακό (FRL) με ένα συμβατικό σύστημα ηλιακού αποστακτήρα, για πρώτη φορά, για να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος και παρατηρήθηκε βελτίωση κατά 467,4% στο ποσοστό παραγωγικότητας του νερού (Mu, et al., 2019).



Σχήμα 3.20 Ηλιακοί αποστακτήρες με ενσωματωμένους φακούς Fresnel

Σε μία ακόμη έρευνα που διεξήχθη στο Νέο Μεξικό στήθηκε πειραματικά ένας ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης ενισχυμένος με έναν φακό Fresnel. Η εσωτερική επιφάνεια της λεκάνης νερού βιάφτηκε μαύρη για να αυξηθεί η απορροφητικότητα του ηλιακού φωτός. Ένα κομμάτι σκληρυσμένου γυαλιού (0,45 m × 0,52 m) χρησιμοποιήθηκε ως διαφανές κάλυμμα με κλίση περίπου 30°. Η λεκάνη τοποθετήθηκε σε ένα ξύλινο κιβώτιο πάχους 15 mm που περιβαλλόταν από μόνωση με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας μέσω των τοίχων. Επίσης, ο φακός Fresnel τοποθετήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να περιστραφεί μεταξύ των ξύλινων βραχιόνων για να μετακινήσει το εστιακό σημείο στον πυθμένα της λεκάνης. Η παραγωγικότητα βρέθηκε ότι είναι 9,22 (L/m² ανα ημέρα) που αντιστοιχούσε σε ποσοστό βελτίωσης κατά 638% και το κόστος υπολογίστηκε στα CPL 0,0014 (\$) (Johnson, 2019). Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση του FRL μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη βελτίωση της παραγωγικότητας του αποστακτήρα, γεγονός που θα ήταν επωφελές ιδίως σε απομακρυσμένες περιοχές. Επίσης η τεχνική αυτή συμπεριλήφθηκε, σε μια τεχνοοικονομική προσπάθεια έρευνας, μεταξύ της πληθώρας των συστημάτων ηλιακής απόσταξης, ως το σύστημα με τον πιο αποδοτικό σχεδιασμό ηλιακού αποστακτήρα (Katekar, 2021).



Σχήμα 3.21 Φακός Fresnel ενσωματωμένος σε ηλιακό αποστακτήρα (Johnson, 2019)

3.3.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα του ηλιακού αποστακτήρα

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγικότητα του ηλιακού αποστακτήρα, όπως οι διαφορά θερμοκρασίας γυαλιού - νερού δεξαμενής, η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η επιφάνεια της δεξαμενής, η κλίση των καλυμμάτων συμπύκνωσης, η θερμοκρασία του νερού της λεκάνης, ο προσανατολισμός του ηλιακού αποστακτήρα, καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή του ηλιακού αποστακτήρα, όπως το μονωτικό υλικό και το υλικό της δεξαμενής. Από αυτούς τους παράγοντες, ορισμένοι δεν μπορούν να ελεγχθούν, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ένταση και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, ενώ ορισμένες άλλες παράμετροι μπορούν να αλλάξουν, όπως η θερμοκρασία του νερού της λεκάνης, η διαφορά θερμοκρασίας γυαλιού - νερού με ψεκασμό κρύου νερού στα γυάλινα καλύμματα συμπύκνωσης, το υλικό του ηλιακού αποστακτήρα κ.λπ. Επίσης κάποιοι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία αποστακτήρων είναι

1) Το βάθος του νερού ,δεν επηρεάζει μόνο την παραγωγικότητα του ηλιακού αποστακτήρα αλλά και το σχεδιασμό του του ηλιακού αποστακτήρα. Καθώς το βάθος νερού του ηλιακού αποστακτήρα αυξάνεται, το ύψος των τοιχωμάτων του του ηλιακού αποστακτήρα αυξάνεται επίσης γεγονός που επηρεάζει άμεσα το κόστος και το βάρος.

1) *Επίδραση της ελεύθερης επιφάνειας.* Ο ρυθμός παραγωγής εξαρτάται από τον ρυθμό εξάτμισης του νερού της λεκάνης και ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από την επιφάνεια του αποστακτήρα, επομένως, η αύξηση της ελεύθερης επιφάνειας θα αυξήσει την απόδοση του ηλιακού αποστακτήρα και αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση φυτιλιού, σφουγγαριού, γιούτας κ.λπ.

2) *Επίδραση του υλικού/της μόνωσης.* Ο τύπος και το πάχος του υλικού της δεξαμενής επηρεάζει τη συσσώρευση θερμότητας από τον μάζα νερού του ηλιακού αποστακτήρα για τη νυχτερινή λειτουργία του ηλιακού αποστακτήρα. Ένα μεγάλο ποσότητα αποθήκευσης θερμότητας και χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί σε ταχύτερη εξάτμιση του νερού.

3) *Επίδραση του σχηματισμού άλγης και σκόνης.* Ο σχηματισμός φυκιών είναι συνηθισμένος σε λεκάνες που περιέχουν αλμυρά ή υφάλμυρα νερά σε θερμοκρασίες έως 60 °C. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την επένδυση της λεκάνης μειώνεται με την παρουσία οποιουδήποτε στερεού ή παχύρρευστου στερεού αντικειμένου, γεγονός που μειώνει την ποσότητα του αποστάγματος. Ως εκ τούτου, απαιτείται περιοδικός καθαρισμός, ο οποίος αυξάνει το κόστος συντήρησης.

4) *Επίδραση της κλίσης.* Μια βέλτιστη κλίση του καλύμματος συμπύκνωσης για μη συμμετρικές διπλές και για τη λήψη της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να δίνεται η υψηλότερη απόδοση εξαρτάται κυρίως από την τοποθεσία, το υλικό του καλύμματος και την εποχή.

Λαμβάνοντας υπόψη τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό παραγωγής, αρκετοί ερευνητές ανέπτυξαν διαφορετικές μεθόδους και σχέδια για την καλύτερη απόδοση του ηλιακού αποστακτήρα. Η παραγωγικότητα του συμβατικού ηλιακού αποστακτήρα τύπου δεξαμενής εξαρτάται κυρίως από τρεις παράγοντες, οι οποίοι είναι οι κλιματικές συνθήκες, οι παράμετροι λειτουργίας και οι παράμετροι σχεδιασμού.

Πολλά άρθρα ανασκόπησης για τον ηλιακό αποστακτήρα είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία, αλλά κανένα δεν συγκρίνει τον ηλιακό αποστακτήρα από τεχνικοοικονομική άποψη με την εμπορική του άποψη για τη διερεύνηση του πιο οικονομικού και παραγωγικού. Συμπερασματικά μία πιο ολοκληρωμένη επισκόπηση των παραπάνω συστημάτων ηλιακής απόσταξης της παρούσας εργασίας , παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες 1 και 2. Μια πιο εκτεταμένη διερεύνηση του πιο οικονομικού και παραγωγικού σχεδιασμού του ηλιακού αποστακτήρα, με την πρόθεση να αναπτυχθούν προσδιορισμένα σχέδια σε εμπορικό επίπεδο, θα ήταν καλό να πραγματοποιηθεί.

Πίνακας 1: Σύγκριση ηλιακών αποστακτήρων με βάση το κόστος του παραγόμενου νερού

Αναφορές & βιβλ.	Κατηγορία		Παραγωγή (L/m ² /ημέρα)	Αποδοτικότητα (%)	Κόστος (\$/L)
(Xinxin, 2019)	Υβριδικό	Χαμηλή συγκέντρωση PV/T	2,653		0,0013
(Abdullah, 2020)	Παθητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μονής δεξαμενής, μονής	4,80	50	0,0021

		κλίσης με δίσκους και εσωτερικό ανακλαστήρα			
(Sethi & Dwivedi, 2013)	Ενεργητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μονής δεξαμενής, διπλής κλίσης με επίπεδο συλλέκτη	4,31		0,0078
(Sharshir,2020)	Παθητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μονής λεκάνης, διπλής κλίσης με χρήση νανορευστού, ενσωματωμένος με απορροφητή και φίλτρο	5	77,9	0,015
(Hassan, 2020)	Ενεργητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μίας δεξαμενής, μίας κλίσης με συμπυκνωτή και παραβολικό συλλέκτη		41,9	0,0181

Πίνακας 2: Αξιολόγηση όλων των σχεδίων ηλιακών αποστακτηρών με βάση την ημερήσια παραγωγικότητα

Αναφορές & βιβλ.	Κατηγορία		Παραγωγή (L/m ² /ημέρα)	Αποδοτικότητα (%)	Κόστος (\$/L)
(Vafaei M., 2020)	Ενεργητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης μιας δεξαμενής ενσωματωμένος με επίπεδο συλλέκτη	9,9	81,8%	0,035
(Johnson, 2019)	Παθητικό	Ηλιακός αποστακτήρας μονής κλίσης, μονής δεξαμενής με φακούς Fresnel	9,220		0,014
(Modi, 2020)	Υβριδικό	Ηλιακός αποστακτήρας με παραβολική ανάκλαση	8,259	39,06	0,026
(Gnanaraj & Velmurgan, 2019)	Παθητικό	Ηλιακός αποστακτήρας διπλής κλίσης, μίας δεξαμενής, με φίλτρο και ανακλαστήρα	5,130		0,021
(Sethi & Dwivedi, 2013)	Ενεργητικό	Ηλιακός αποστακτήρας διπλής κλίσης, μονής δεξαμενής με επίπεδο συλλέκτη	4,310		0,0078

4.

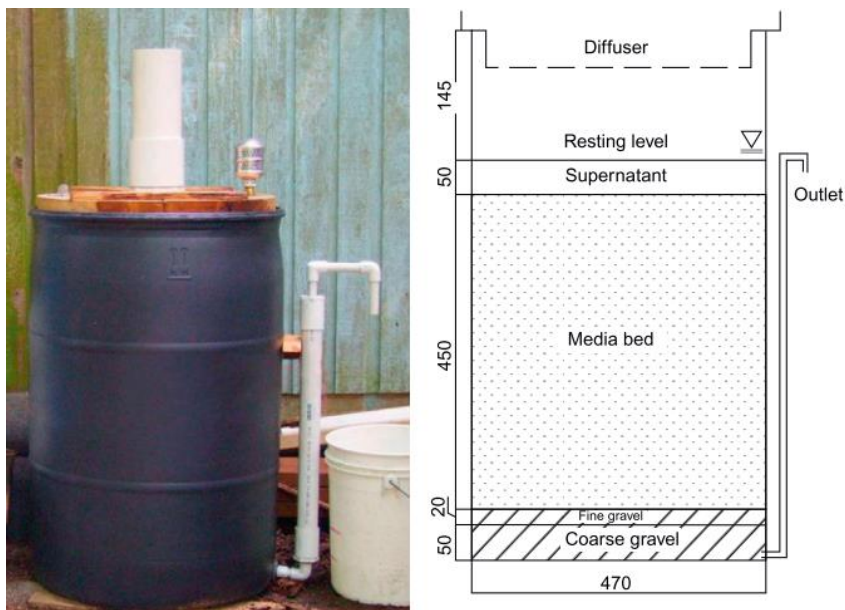
Φυσικά συστήματα απολύμανσης του νερού

4.1 Επεξεργασία νερού με φίλτρα διήθησης

Τα φίλτρα διήθησης αν και αποτελούν μια ξεπερασμένη μέθοδο επεξεργασίας νερού στις ανεπτυγμένες χώρες, μπορούν κάλλιστα να αξιοποιηθούν ως συστήματα σε αναπτυσσόμενες χώρες και απομακρυσμένες περιοχές όπου η αναγκαιότητα της παροχής καθαρού πόσιμου νερού είναι επιτακτική ανάγκη. Η αργή διήθηση άμμου (Slow sand filtration, SSF) είναι μια χαμηλού κόστους, αλλά αποτελεσματική επιλογή επεξεργασίας για την απομάκρυνση μικροβίων από το νερό. Το ανεπεξέργαστο γλυκό νερό (από ποτάμια, λίμνες, βρόχινο νερό κ.λπ.) τροφοδοτείται σε ένα στρώμα άμμου που έχει συνήθως βάθος 0,5 m ή και βαθύτερο σε ορισμένες περιπτώσεις. Το νερό διηθείται προς τα κάτω μέσω της άμμου λόγω της βαρύτητας, ενώ μια ορισμένη ποσότητα νερού παραμένει στην επιφάνεια της άμμου, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που θυμίζει λίμνη. Με την πάροδο του χρόνου, ένα βιολογικό στρώμα (που συχνά αναφέρεται ως *schmutzdecke*) αναπτύσσεται στο ανώτερο στρώμα των σωματιδίων άμμου που βρίσκονται κάτω από το νερό. Αυτό το στρώμα λειτουργεί ως προκαταρκτικό φίλτρο που απομακρύνει τα λεπτά κολλοειδή σωματίδια και την οργανική ύλη από το νερό τροφοδοσίας. Μέσα σε 2-3 εβδομάδες, το *schmutzdecke* αναπτύσσεται πλήρως και ωριμάζει, ανάλογα με την ταχύτητα ροής, τη σύνθεση (οργανική ύλη), τη συγκέντρωση οξυγόνου και τη θερμοκρασία του ακατέργαστου νερού (ITACA, 2005). Καθώς το νερό συνεχίζει να διέρχεται από το φίλτρο, το *schmutzdecke* πυκνώνει, απομακρύνοντας αποτελεσματικότερα τους ρύπους. Ωστόσο, όταν το νερό που διέρχεται από το φίλτρο επιβραδύνεται κάτω από τον επιθυμητό ρυθμό ροής, το *schmutzdecke* πρέπει να αποξεσθεί και να καθαριστεί. Σε αρκετές περιπτώσεις συνίσταται και ένας χρόνος αδράνειας του φίλτρου 18-22 ωρών, μετά τον καθαρισμό, θα χρειαστούν λίγες ημέρες για να ξαναγεμίσει από ρύπους. Αυτή η βιολογική στιβάδα (*schmutzdecke*) συμβάλλει επίσης στην απομάκρυνση βακτηρίων και παθογόνων μικροοργανισμών μέσω της απορρόφησης και άλλων μηχανισμών. Συνήθως, η θολότητα του νερού μειώνεται σε λιγότερο από 1 NTU σε μονάδες SSF που λειτουργούν σε δημοτικές εγκαταστάσεις. Τα στατιστικά στοιχεία απόδοσης απομάκρυνσης των μονάδων SSF για διάφορους ρύπους δείχνουν ότι απομακρύνονται σχεδόν όλες οι κύστες *Giardia* και επιτυγχάνεται αφαίρεση έως και 4 log των ωοκύστεων *Cryptosporidium*, επίσης επιτυγχάνεται απομάκρυνση περισσότερων από 2 λογαρίθμων κοπρανώδους βακτηρίου και απομάκρυνση του ιού της πολιομυελίτιδας έως και 5 logs, ενώ η απομάκρυνση πρόδρομων ουσιών τριαλομαθανίου (THM) αποδεικνύεται ότι είναι μικρότερη από 25%.

Για την εξασφάλιση πόσιμου νερού σε κοινότητες αναπτυσσόμενων χωρών συνήθως χρησιμοποιούνται μεγάλες πλαστικές δεξαμενές. Το φίλτρο πρέπει να έχει βάθος τουλάχιστον 0,5 m και η μέση διάμετρος της άμμου είναι μεταξύ 0,15 και 0,35 mm (ITACA, 2005), με συντελεστή ομοιομορφίας μικρότερο από 5 (Logsdon et al., 2002). Τα φίλτρα λειτουργούν αποτελεσματικότερα σε συνεχή και σταθερή ροή 0,1-0,3 m/h (ή $m^3/h/m^2$) ή 100-300 L/h ανά m^2 μέσου φιλτραρίσματος (Logsdon et al., 2002). Γενικά, το μικρότερο μέγεθος

άμμου και οι αργοί ρυθμοί ροής επιτυγχάνουν την καλύτερη απόδοση απομάκρυνσης. Επίσης σε μικρές κοινότητες, χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά βαρέλια περίπου 300L χωρητικότητας (Σχήμα 4.1) Αυτά τα βαρέλια έχουν συνήθως ύψος 88 cm και διάμετρο 57



Σχήμα 4.1 Μονάδα αργής διήθησης άμμου σε βαρέλι και σχεδιαστική απεικόνιση μονάδας

cm. Και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός συστήματος αργής διήθησης.

Κάτω από το στρώμα άμμου χρησιμοποιείται ένα μέσο στήριξης (συνήθως 5 cm χοντρό χαλίκι κάτω από 2 cm λεπτό χαλίκι). Το υποσύστημα υπαγωγών βρίσκεται στο χαλίκι. Το νερό τροφοδοσίας διοχετεύεται στην κορυφή του βαρελιού, χειροκίνητα μέσω ενός μηχανισμού σιφωνιού ή από μια δεξαμενή πάνω από το επίπεδο της δεξαμενής.

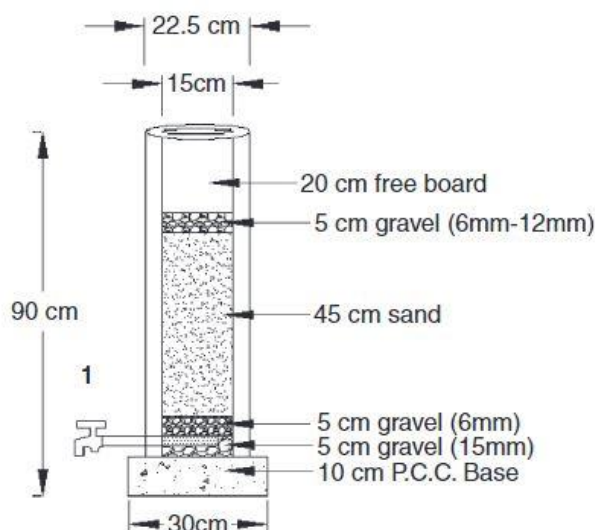
Η επεξεργασία νερού με φίλτρα διήθησης χρησιμοποιήθηκε επίσης ευρέως για μικρές κοινοτικές παροχές νερού στις Φιλιππίνες μετά από φυσικές καταστροφές. Σε μια μελέτη επίδειξης, χρησιμοποίησαν νερό πηγής από μια δεξαμενή στο Fort Magsaysay στις Φιλιππίνες.



Σχήμα 4.2 Φίλτρο αργής διήθησης στο Fort Magsaysay στις Φιλιππίνες.

Χρησιμοποίησαν δεξαμενές που μπορούσαν να γεμίσουν χειροκίνητα ή με μια μικρή αντλία αν υπήρχε διαθέσιμη ενέργεια για την αποθήκευση του πηγαιού νερού από τον ταμιευτήρα και χρησιμοποίησαν τυποποιημένα βαρέλια χωρητικότητας 300L για την κατασκευή των φίλτρων διήθησης.

Μία ακόμη ανάπτυξη συστήματος επεξεργασίας πόσιμου νερού χαμηλού κόστους σχεδιάστηκε το 2005 για τις πληγείσες από το σεισμό κοινότητες στο βόρειο Πακιστάν. Περιελάμβανε ένα οικιακό αμμόφιλτρο κατασκευασμένο από τοπικά διαθέσιμα υλικά (κυρίως χαλίκι, άμμος) και ήταν αποτελεσματικό στη βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού ενώ η επιτυχία του και η διάδοσή του στις φτωχές κοινότητες ήταν συνυφασμένη και με τα τοπικά διαθέσιμα δομικά υλικά. Από τα εξετασθέντα δείγματα νερού παρατηρήθηκε 97% μείωση του *E. coli*, των ολικών κολοβακτηριδίων και στην απομάκρυνση του 96% της θολότητας (Qaisar Mahmood, 2011).



Σχήμα 4.3 Σχεδιασμός του συστήματος των (Qaisar Mahmood, 2011) για τις πληγείσες από το σεισμό κοινότητες στο βόρειο Πακιστάν

Τα φίλτρα διήθησης είναι αρκετά απλά ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων υλικών. Δεν υπάρχουν μηχανικά εξαρτήματα και δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία τους, καθώς η βαρύτητα είναι η εξωτερική δύναμη και τα φυσικά βακτήρια και πρωτόζωα μέσα στο Schmutzdecke επεξεργάζονται ενεργά το νερό. Ο καθαρισμός των φίλτρων πραγματοποιείται από μία φορά κάθε τρεις εβδομάδες έως μία φορά το χρόνο, ανάλογα με το μέγεθος του φίλτρου και με την ποιότητα της πηγής ακατέργαστου νερού. Σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, το φίλτρο μπορεί να καθαριστεί με αποστράγγιση του νερού, ξήρανση της άμμου και απόξεση του Schmutzdecke από το ανώτερο στρώμα με χειρωνακτική εργασία, στη συνέχεια, με μια φρέσκια επιφάνεια άμμου για να αναπτυχθεί ένα νέο βιοφίλμ, το νερό μπορεί να εφαρμοστεί ξανά, με την απαιτούμενη περίοδο ανάπτυξης (1-4 ημερών) ανάλογα το μέγεθος του φίλτρου/δοχείου.

4.1.1 Κεραμικό φίλτρο νερού σχήματος κεριού

Το κεραμικό φίλτρο νερού με σχήμα που παραπέμπει σε κεριό (Ceramic candle filters, CCF) είναι ένα από τα πιο ερευνημένα και αξιολογημένα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του νερού. Προσφέρουν συνήθως επεξεργασία με μικροδιήθηση και η χρήση τους έχει προωθηθεί από διάφορους οργανισμούς. Μπορούν να αφαιρέσουν σωματίδια καθώς και μεγαλύτερους μικροοργανισμούς από το νερό που συλλέγεται για την παροχή πόσιμου νερού. Το φίλτρο βιδώνεται στον πυθμένα του επάνω κάδου ενός συστήματος διήθησης με στοιβαγμένους κάδους- (βλέπε σχήμα 4.4). Το νερό χύνεται στον επάνω κάδο, διηθείται μέσω του κεραμικού υλικού σχήματος κεριού και αποθηκεύεται στον κάτω κάδο. Ο κάτω κάδος περιέχει ένα στόμιο που μπορεί να ανοίξει για την κατανάλωση νερού και μπορεί γενικά να αποθηκεύσει έως και 20 L νερού.

Τοπικές εταιρείες κατασκευάζουν φίλτρα αναμειγνύοντας κόκκινο, λευκό ή μαύρο πηλό με νερό και πριονίδι ή αλεύρι και στη συνέχεια συμπιέζοντας τον σε καλούπι. Το φίλτρο θερμαίνεται σε φούρνο για να εξατμιστεί το πριονίδι και να δημιουργηθούν ανοιχτοί πόροι. Τα μεγέθη των πόρων του κεραμικού φίλτρου κεριών κυμαίνονται από λιγότερο από 1 έως 5 nm. Αυτά τα μεγέθη πόρων είναι αρκετά μικρά για να φιλτράρουν τα βακτήρια και τα πρωτόζωα, αλλά πολύ μεγάλα για να φιλτράρουν τους ιούς. Οι ρυθμοί ροής των τοπικά κατασκευασμένων φίλτρων είναι πολύ χαμηλοί και κυμαίνονται από 0,04 έως 0,25 L/h. Τα κόστη από τη παραγωγή κεριών φίλτρων από την Ινδική εταιρεία είναι (για 1-2 κεριά, δοχεία, στόμιο): \$8-21 και για αγορά πλαστικών κουβάδων (αντί για δοχεία) για εξοικονόμηση χρημάτων: \$2,22/κουβά. Παρόμοια φίλτρα κατασκευάζονται επίσης από εταιρείες όπως οι Katadyn, Hong Rhuc ή Kisii και έχουν βρεθεί ότι είναι πιο αποτελεσματικά από τα τοπικά φίλτρα για την απομάκρυνση των βακτηρίων, αν και δεν απομακρύνουν το 99,9% των ιών. Για τα Φίλτρα Νεπάλ: Πήλινα δοχεία από τερακότα με λευκά φίλτρα καολίνης το κόστος είναι στα 4,07 δολάρια το καθένα. Τα Φίλτρα Kisii τιμολογούνται ως: Φίλτρο αργού ρυθμού \$1 , Φίλτρο υψηλού ρυθμού στα \$12.



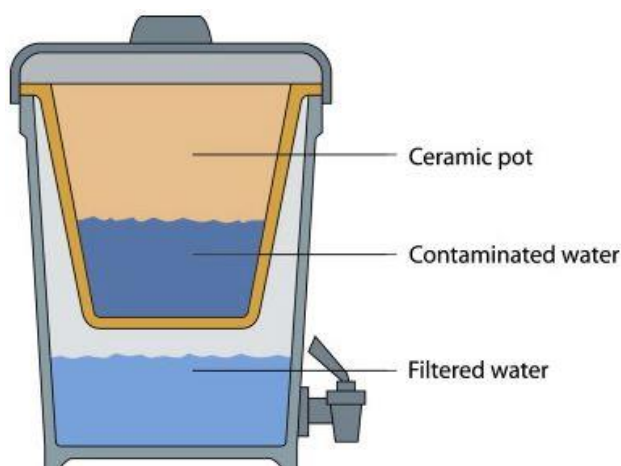
Σχήμα 4.4 Ενδεικτικά μεγέθη κεραμικών φίλτρων τύπου κεριού και διαθέσιμα συστήματα της εταιρείας Kisii (Dies,2003)

4.1.2 Βιολογικό φίλτρο άμμου

Η μέθοδος της βιολογικής διήθησης άμμου, είναι μια τροποποίηση μιας αργής διήθησης, η οποία χρησιμοποιεί καθίζηση, διήθηση και ένα βιολογικό στρώμα για την επεξεργασία του νερού και αναπτύχθηκε από τον Dr. David Manz τη δεκαετία του 1990 στο Πανεπιστήμιο του Calgary του Καναδά. Το συμβατικό φίλτρο βιολογικής άμμου (Biosand filtration, BSF) έχει σχεδιαστεί με σκοπό την οικονομική παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού για τη μείωση των κινδύνων της υγείας, στις αναπτυσσόμενες χώρες. Το συμβατικό BSF αποτελείται από ένα κοίλο δοχείο από σκυρόδεμα ή πλαστικό γεμάτο με στρώμα άμμου για διήθηση. Δύο στρώματα βάσης από χαλίκι διαχωρίζουν την άμμο διήθησης για να παρέχουν αποστράγγιση κατά τη διάρκεια της διήθησης. Πάνω από την επιφάνεια της άμμου διήθησης, τοποθετείται μια πλάκα διάχυσης 5 cm για την προστασία της επιφάνειας της άμμου από διαταραχές κατά τη διάρκεια της πλήρωσης της μονάδας με νερό. Αυτό το νερό διηθείται μέσω της άμμου με τη βαρύτητα και αποβάλλει την ίδια ποσότητα νερού που βρισκόταν στο φίλτρο από την προηγούμενη φόρτιση. Εκτός από τη διήθηση, το βιολογικό φίλτρο άμμου είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε η στάθμη του νερού πάνω από την επιφάνεια της άμμου να μην πέφτει ποτέ κάτω από το στρώμα διήθησης, παρέχοντας έτσι κατάλληλο χώρο για την ωρίμανση μιας βιολογικά ενεργής ζώνης (Schmutzdecke ή bio-layer). Αυτό το βιολογικό στρώμα έχει αναφερθεί ότι συμβάλλει στην αποτελεσματική απομάκρυνση του ιού από το νερό. Το BSF είναι ικανό να μειώνει τη θολότητα και να απομακρύνει το E. coli. Σημαντική σημείωση είναι ότι, ένα μη χρησιμοποιημένο φίλτρο BSF πετυχαίνει μόνο 63% απομάκρυνση E. coli, ενώ παρατηρήθηκε 98% απομάκρυνση σε ένα ώριμο φίλτρο. Η έξοδος του βρίσκεται ψηλότερα από το στρώμα άμμου, επιτρέποντάς του να είναι κορεσμένο με νερό καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας. Το γεγονός αυτό συμβάλει στην ανάπτυξη μικροβίων, αναπτύσσοντας βιοφίλμ γύρω από το μέσο φίλτρου και τα σωματίδια άμμου. Η υπερβολική ανάπτυξη της βιολογικής στοιβάδας σχηματίζει το βιοφίλμ, Schmutzdecke, το οποίο απομακρύνει τους μεγαλύτερους μικροοργανισμούς, τα κολλοειδή και τους ρύπους από τις πηγές νερού.

4.2 Φίλτρα κεραμικών δοχείων

Ένα φίλτρο δοχείου αποτελείται από ένα κεραμικό δοχείο τοποθετημένο μέσα σε έναν μεγαλύτερο κάδο συλλογής. Το εσωτερικό κεραμικό δοχείο είναι συνήθως εμποτισμένο με κολλοειδή άργυρο για μικροβιακή απολύμανση, το εξωτερικό δοχείο συλλογής μπορεί να είναι από πλαστικό. Το νερό χύνεται στο εσωτερικό δοχείο, διηθείται μέσω του πυθμένα του δοχείου και αποθηκεύεται στον κάδο συλλογής. Το εσωτερικό κεραμικό δοχείο κατασκευάζεται από πηλό αναμεμιγμένο με νερό και με φλούδες ρυζιού ή πριονίδι και διαμορφώνεται σε μια απλή υδραυλική πρέσα. Αφού ψηθεί το δοχείο σε έναν φθηνό



Σχήμα 4.5 Αναπαράσταση κεραμικού φίλτρου δοχείου και δεξιά σύγκριση του μη επεξεργασμένου νερού και του καθαρού

κλίβανο, είτε εμβαπτίζεται σε διάλυμα κολλοειδούς αργύρου για τριάντα δευτερόλεπτα είτε το διάλυμα κολλοειδούς αργύρου βάφεται πάνω στο δοχείο. Όταν προστεθεί ο άργυρος στο σύστημα συλλογής, μπορεί να μειωθεί η ποσότητα ανάπτυξης του βιοφίλμ (Murphy et al., 2009). Τα μεγέθη πόρων του φίλτρου κυμαίνονται από 0,6 έως 3,0 mm, τα οποία θα απομακρύνουν τα πρωτόζωα και τα βακτήρια, αν και το E. coli θα απομακρυνθεί μόνο ακανόνιστα. Οι ρυθμοί ροής είναι αργοί και κυμαίνονται από 1 έως 2 L/h. Μια μελέτη του Campbell (2005) έδειξε ότι τα φίλτρα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για 2-5 χρόνια προτού χρειαστεί να αντικατασταθούν. Το κόστος ενός φίλτρου από την Potters for Peace είναι στα \$9,00 (Dies, 2003), ενώ κατά τη μαζική αγορά φίλτρων γλάστρας από την PFP η τιμή είναι \$6,00 το καθένα. Στην Καμπότζη (Van Halem et al., 2009), το κόστος επένδυσης ανέρχεται στα \$4-8 και τα φίλτρα αντικατάστασης είναι στα \$2,5-4. Το κεραμικό στοιχείο του φίλτρου κατασκευάζεται με τοπικά υλικά, ενώ η ίδια η διαδικασία επεξεργασίας δεν καταναλώνει ενέργεια ή χημικά, γεγονός που υποδηλώνει ότι το σύστημα αυτό μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά βιώσιμο. Ενώ η τοπική παραγωγή καθιστά τη διαδικασία πιο βιώσιμη και βοηθά πολίτες μιας αναπτυσσόμενης χώρας να βγάλουν τα προς το ζην, η ποιότητα των προϊόντων ποικίλλει και απαιτείται καλύτερος ποιοτικός έλεγχος. Ο πίνακας παρέχει μια σύγκριση των πλεονεκτημάτων και των αδυναμιών της χρήσης κεραμικών φίλτρων.

Πίνακας 3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φίλτρων κεραμικού δοχείου

Δυνατά σημεία	Αδυναμίες
<ul style="list-style-type: none"> • Σχετικά φθηνή κατασκευή και παραγωγή • Το εμπόριο κεραμικών έχει εδραιωθεί σε πολλές χώρες • Τα υλικά (πηλός, πριονίδι, φλοιός ρυζιού) είναι συχνά άμεσα διαθέσιμα. • Εάν σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί σωστά, μπορεί να απομακρύνει έως και το 99% των οργανισμών-δεικτών και να μειώσει τη θολερότητα κάτω από τις κατευθυντήριες τιμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ αργοί ρυθμοί διήθησης (συνήθως μεταξύ 0,5 και 4 L/ημέρα) • Η συντήρηση και η αξιοπιστία του φίλτρου εξαρτάται από τον χρήστη-συνεπώς, υπάρχουν πολλά μη τεχνικά κοινωνικά ζητήματα που σχετίζονται με τη χρήση. • Η θραύση κατά τη διανομή ή τη χρήση μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα, καθώς τα κεραμικά φίλτρα είναι συχνά εύθραυστα. • Τα κεραμικά φίλτρα απαιτούν τακτικό καθαρισμό • Ο ρυθμός παραγωγής (όπως παρατηρείται σε χώρες όπως η Νικαράγουα και το Νεπάλ) τείνει να είναι σχετικά αργός. • Είναι δύσκολο να διατηρηθεί η συνοχή (ο ποιοτικός έλεγχος αποτελεί ζήτημα)

4.3 Τροποποιημένα βιολογικά φίλτρα διήθησης

Μετά την επιτυχή εφαρμογή του συμβατικών φίλτρων βιολογικής άμμου, BSF, διεξήχθη έρευνα για την τροποποίηση της συμβατικής μονάδας ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση τόσο των χημικών όσο και των βιολογικών ρύπων. Τα τροποποιημένα φίλτρα βιολογικής άμμου (Modified biosand filters, MBSF) είναι μία από τις αναδυόμενες τεχνολογίες

επεξεργασίας νερού. Τα MBSF μπορούν να αποτελέσουν μια από τις ιδανικές επιλογές προκειμένου να παρέχεται επαρκές, ασφαλές, αποδεκτό, φυσικά προσβάσιμο και οικονομικά προσιτό νερό για προσωπική και οικιακή χρήση. Βραχυπρόθεσμα, η πρόσβαση σε καλύτερες πηγές νερού θα βελτιώσει την υγεία των ατόμων και αυτό μακροπρόθεσμα μπορεί να προσφέρει κοινωνική ευημερία και οφέλη σε παγκόσμιο επίπεδο.

1) Με στοιχειακό σίδηρο

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι ο στοιχειακός σίδηρος Fe^0 έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει ορισμένα βαρέα μέταλλα από το υπόγειο νερό. Έτσι, οι ερευνητές άρχισαν να τροποποιούν το συμβατικό BSF με σωματίδια σιδήρου για να βοηθήσουν στην απομάκρυνση ανόργανων μετάλλων, διατηρώντας παράλληλα την ικανότητα της μονάδας να απομακρύνει παθογόνους μικροοργανισμούς. Το φίλτρο εμπλουτισμένο με σίδηρο είναι μια τροποποίηση των βιολογικών φίλτρων διήθησης άμμου με κόκκους σιδήρου και μαλλί αναμειγμένο μέσα στο στρώμα άμμου. Η ανώτερη επιφάνεια του φίλτρου περιέχει 5 cm καθαρής λεπτόκοκκης άμμου. Το φίλτρο λειτουργεί διακοπτόμενα και φορτίζεται με 20L νερού κάθε 24 ώρες. Όπως και στο συμβατικό σχέδιο BSF, στην επιφάνεια της άμμου αναπτύσσεται ένα βιολογικό στρώμα, το οποίο συνεχίζει να αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της χρήσης. Με το τροποποιημένο με σίδηρο BSF, παρατηρείται μείωση του MS2 και του ροταϊού περισσότερο από 4-log λόγω της προσρόφησης του ιού στα οξειδία του σιδήρου και στο βιολογικό στρώμα μετά την ωρίμανση (Wang, 2014). Παρόμοιες έρευνες μελέτησαν την απόδοση ενός τροποποιημένου φίλτρου βιολογικής άμμου (membrane biosand filter, MBSF) εμπλουτισμένο με ένα επιπλέον στρώμα απολύμανσης στοιχειακού σιδήρου (ZVI). Το MBSF εμπλουτισμένο με μηδενικό σίδηρο (ZVI) απομάκρυνε το 98% των ολικών κολοβακτηριοειδών, το 98,2% του E. coli και το 95% της θολότητας (Banu Sizirici, 2016), ενώ σε μια άλλη μελέτη που χρησιμοποίησε BSF εμπλουτισμένο με ZVI απομάκρυνε το 99% των ολικών κολοβακτηριοειδών/ κολοβακτηριοειδών κοπράνων και των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων.

2) Με οξείδιο του σιδήρου

Τα τροποποιημένα φίλτρα βιολογικής άμμου με χαλίκι επικαλυμμένο με οξείδιο του σιδήρου επίσης εξετάστηκαν από τους (B. Sizirici, 2019) αποτελούνταν από χαλίκι, χαλίκι επικαλυμμένο με οξείδιο του σιδήρου, χοντρή άμμο και ψιλή άμμο. Ως μέσο διήθησης επιλέχθηκε η τοπική άμμος που διατίθενται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, λευκή, κίτρινη και κόκκινη άμμος. Όλοι οι τύποι άμμου προμηθεύτηκαν τοπικά και κοσκινίστηκαν με κοσκινιστή Humboldt. Μετά την ανάλυση με κόσκινο, μόνο τα δείγματα κόκκινης άμμου έδωσαν τον απαιτούμενο συντελεστή ομοιομορφίας ($D_{60}/D_{10} = 2$) που ορίζεται από το Κέντρο Προσιτής Τεχνολογίας Νερού και Υγιεινής (CAWST). Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των ρύπων βρέθηκε να είναι 99,0% για το E. coli και 95,33% για τα ολικά κολοβακτηριοειδή.

3) Με άργυρο

Ο άργυρος (Ag) έχει επίσης αναφερθεί ότι διαθέτει αντιβακτηριακή και αντιική δράση. Αυτό τεκμηριώνει την εφαρμογή του τόσο στην επεξεργασία πόσιμου νερού όσο και στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Οι (Oyanedel-Craver, 2008) ανέφεραν ότι περισσότερο από το 97,8% του E. coli απομακρύνθηκε μέσω κεραμικών φίλτρων επικαλυμμένων με κολοειδή άργυρο, επίσης οι (Kallman, 2011) μελέτησαν την απόδοση κεραμικών φίλτρων

εμποτισμένων με νανοσωματίδια αργύρου και διαπίστωσαν ότι η μέση απόδοση απομάκρυνσης του *E. coli* ήταν 92%. Τα ιόντα αργύρου χρησιμοποιούνται ως αντιμικροβιακοί παράγοντες εδώ και δεκαετίες λόγω της ικανότητας αναστολής της ανάπτυξής τους έναντι των μικροοργανισμών, έτσι διαπιστώθηκε ότι ένα κεραμικό δοχείο εμποτισμένο με Ag είχε υψηλότερη απόδοση απομάκρυνσης βακτηρίων, πρωτοζώων και θολότητας σε σύγκριση με ένα τυπικό κεραμικό δοχείο χωρίς άργυρο. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αυτό, η μελέτη των (Phumudzo Budeli, 2021) προσπάθησε να βελτιώσει το συμβατικό BSF με την προσθήκη ενός επιπλέον στρώματος 5 cm από κόκκους αργίλου εμποτισμένους με άργυρο και μιας πλάκας διάχυσης κάτω από τη λεπτή άμμο για να αποτραπεί η βύθιση της λεπτής άμμου στα άλλα στρώματα. Το συμπέρασμα ήταν ότι η ενσωμάτωση ενός στρώματος κόκκων εμποτισμένων με άργυρο βοήθησε στην παράκαμψη της φάσης ωρίμανσης που συμβαίνει σε ένα συμβατικό BSF και βελτιώνει τη γενική απόδοση του φίλτρου. Η απομάκρυνση θολότητας είχε απόδοση 98,8 % και οδήγησε σε αύξηση της παροχής από 18,2 σε 38,7 L/ώρα. Το τροποποιημένο με άργυρο φίλτρο βιολογικής άμμου, επέδειξε επίσης υψηλότερη αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των *E. coli* (99,8 %), *C. parvum* (100 %) και *G. lamblia* (100 %). Το εμποτισμένο με άργυρο πορώδες φίλτρο δοχείου συνιστάται επίσης από τους (Mwabi, 2013) για χρήση σε επαρχιακές κοινότητες, καθώς παρήγαγε σταθερά νερό υψηλής ποιότητας που συμμορφωνόταν με τα όρια θολότητας και μικροβιολογίας SANS 241 για το πόσιμο νερό.

4) Με επίστρωση νανό- TiO_2

Τα κεραμικά φίλτρα βρέθηκαν να είναι κατάλληλα υποστρώματα για την εναπόθεση λεπτών φωτοκαταλυτικών στρωμάτων λόγω της μεγάλης συγγενειάς τους με το TiO_2 και της πιθανής ενεργοποίηση της εναπόθεσης με πύρωση. Η φωτοκατάλυση με κεραμικά φίλτρα είναι μια νέα και μοναδική τεχνολογία για την επεξεργασία νερού καθώς βελτιώνει την απόδοση διήθησης επειδή: (1) η φωτοκαταλυτική οξειδωση ως στάδιο προεπεξεργασίας με κεραμικές μεμβράνες μειώνει την ρύπανση των μεμβρανών από οργανικές ενώσεις, βελτιώνει την ποιότητα του νερού και με τη σειρά της ελαχιστοποιεί το κόστος λειτουργίας και (2) οι κεραμικές μεμβράνες παρουσιάζουν εξαιρετική απόδοση έκπλυσης αφού μπορούν να αντέξουν υψηλή πίεση έκπλυσης.

Κατά τη βελτιστοποίηση για την παραγωγή φίλτρων κεραμικού δίσκου (ceramic disk filter, CDF) χρησιμοποιήθηκε η επίστρωση nano- TiO_2 , η απόδοση απομάκρυνσης βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της απόδοσης διήθησης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης απόδοσης διήθησης και της απομάκρυνσης βακτηρίων έδειξαν ότι η επίστρωση νανοσωματιδίων του TiO_2 παρουσιάζει σημαντικές προεκτάσεις στην εξεύρεση μιας ασφαλούς και οικονομικά αποδοτικής προσέγγισης για την επίλυση των προβλημάτων πόσιμου νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η μείωση των βακτηρίων των τροποποιημένων κεραμικών φίλτρων θα μπορούσε να αποδοθεί στις συνεργατικές επιδράσεις της φυσικής κατακράτησης και της απενεργοποίησης που προκαλείται από τη φωτοκατάλυση. Η απόδοση της μείωσης των βακτηρίων καθορίστηκε από το φίλτρο και οι κρίσιμες παράμετροι της παραγωγικής διαδικασίας θα μπορούσαν να βελτιστοποιηθούν για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης βακτηρίων. Το μέγεθος των σωματιδίων και το κλάσμα μάζας TiO_2 είχαν σημαντική επίδραση στην απομάκρυνση των βακτηρίων με τη χρήση τροποποιημένων κεραμικών φίλτρων. Η αύξηση του κλάσμα μάζας νανο- TiO_2 ήταν ευνοϊκή για τη μείωση του

E. coli, ενώ το μέγεθος των σωματιδίων είχε αντίθετη επίδραση. Υψηλότερο LRV (τιμές μείωσης log) μπορούσε να επιτευχθεί με μικρότερο μέγεθος σωματιδίων ρυζιού-φλοιού και μεγαλύτερο κλάσμα μάζας νανο-TiO₂.

Βασιζόμενοι στη κεντρική ιδέα των τροποποιημένων φίλτρων βιολογικής άμμου, ότι τα αποτελέσματα μπορούν να βοηθήσουν στην εξεύρεση μιας ασφαλούς και οικονομικά αποδοτικής προσέγγισης για την επίλυση των προβλημάτων πόσιμου νερού σε μικρές αγροτικές και απομακρυσμένες κοινότητες των αναπτυσσόμενων περιοχών, νεότερες προσεγγίσεις έχουν δείξει ότι:

α) Σε σύγκριση με τον παράγοντα με βάση τον άργυρο, έρευνες βασίζονται και στο οξειδίο του ψευδαργύρου ZnO ότι μπορεί να λειτουργήσει ως εναλλακτική λύση βακτηριοκτόνου με μικρότερο κίνδυνο και κόστος. Το νανο-ZnO έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανίες κλωστοϋφαντουργίας, καουτσούκ, επεξεργασίας τροφίμων (Castro-Mayorga et al., 2017- Mirzaei and Darroudi, 2017- Rathnayake et al., 2014), και η αντιβακτηριακή δράση του αποδίδεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των κυττάρων και των ριζικών ειδών οξυγόνου που παράγονται από το νανο ZnO (Zhang et al., 2009). Ως καινοτόμος προσπάθεια, προτάθηκε επίσης το κεραμικό δισκοειδές φίλτρο να επικαλυφθεί με νανოსύνθετα αργύρου και οξειδίου του ψευδαργύρου, Ag/ZnO.

β) Η χρήση του βιοάνθρακα ως συμπληρωματικού μέσου σε φίλτρα άμμου έχει κερδίσει αυξανόμενη προσοχή τα τελευταία χρόνια, καθώς έχει αποδειχθεί ότι ο βιοάνθρακας έχει ισχυρό δυναμικό στην απομάκρυνση του *E. coli* από μολυσμένο νερό. Ωστόσο, η ικανότητα απομάκρυνσης ποικίλλει ανάλογα με τις ιδιότητες του βιοάνθρακα, όπως το μέγεθος του βιοάνθρακα και ο τύπος της πρώτης ύλης. Οι βιοάνθρακες που παράγονται από διαφορετικές πρώτες ύλες μπορεί να έχουν ποικίλες φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως η επιφάνεια, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η περιεκτικότητα σε φωσφορικά άλατα, οι οποίες θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν την κατακράτηση βακτηρίων, μέσω αλλαγών στην ικανότητα προσρόφησης. Η τροποποίηση του βιοάνθρακα δεν πρέπει να εμποδίζει δραματικά τον ρυθμό διήθησης του BSF. Έχει αναφερθεί ότι η προσθήκη λεπτών σωματιδίων βιοάνθρακα σε άμμο μειώνει την υδραυλική αγωγιμότητα (Liu et al., 2016) (Trifunovic et al., 2018). Σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν προτιμότερο να υπάρχουν πιο χονδροειδή σωματίδια βιοάνθρακα στο BSF. Επιπλέον, ο βιοάνθρακας μπορεί να επιφέρει αλλαγές στη χημεία του νερού, όπως το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και ο φώσφορος.

γ) Έχει βρεθεί ότι η χρήση σπόρων *Moringa* που ακολουθείται από διήθηση με βιολογική άμμο αποτελεί μία χαμηλού κόστους και βιώσιμη μέθοδο καθαρισμού επιφανειακών υδάτων. Τα οφέλη από την απολύμανση του νερού με φυτικά υλικά κατά το φιλτράρισμα με αργό διηθητικό φίλτρο άμμου είναι τεράστια, οι τεχνικές είναι εύχρηστες και τα υλικά που απαιτούνται είναι φθηνά και σχεδόν όλα φυσικά διαθέσιμα. Η μελέτη των (Yongabi K.A., 2011) σχεδιάστηκε για να διερευνήσει το δυναμικό των φυτοαπολυμαντικών συστημάτων φίλτρων άμμου που απευθύνονται σε χώρες της υποσαχάριας Αφρικής για την αναβάθμιση του συστήματος επεξεργασίας νερού σε μεγάλη κλίμακα. Παρουσιάστηκε η αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου χαμηλής τεχνολογίας φυτοαπολυμαντικού-φίλτρου άμμου για την επεξεργασία οικιακού νερού και λυμάτων για την υποσαχάρια Αφρική. Εκατό λίτρα πολύ βρώμικου/ θολού νερού (130,3 NTU) προεπεξεργάστηκαν με 100 σπόρους *Moringa oliefera* και φιλτράρονταν περαιτέρω μέσω ενός διηθητικού τυμπάνου (χωρητικότητας 120 λίτρων)

από λεπτή και χοντρή άμμο, ξυλάνθρακα και χαλίκι. Ο μέσος όρος των ολικών αερόβιων μεσοφιλικών βακτηρίων, E coli, κολοβακτηριδίων, ψευδομονάδων και ζυμομυκήτων, καθώς και η θολερότητα του ανεπεξέργαστου νερού μειώθηκαν δραστικά σε αποδεκτά πρότυπα του οργανισμού υγείας για πόσιμο νερό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μέσες τιμές των ίδιων παραμέτρων για το νερό της λίμνης που φιλτράρεται μόνο με άμμο ήταν σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες μέσες τιμές που προέκυψαν για το νερό της λίμνης που έχει υποστεί επεξεργασία με Moringa. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης υποδηλώνουν έντονα ότι ένα σύνολο δύο φυσικών τεχνολογιών καθαρισμού του νερού (φυτοαπολυμαντικό-διηθητικό φίλτρο άμμου) θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την επεξεργασία όλων των τύπων μολυσμένου νερού καθιστώντας το απαλλαγμένο από παθογόνους παράγοντες για πόσιμες και μη χρήσεις.

Στο ίδιο πλαίσιο οι (Sharmin Zaman, 2017) ανέπτυξαν μια μέθοδο καθαρισμού νερού με τη χρήση φυσικού πηκτικού (σκόνη σπόρων Moringa) και αντιβακτηριακών παραγόντων (σκόνη χτενιού) ακολουθούμενη από διήθηση με βιολογική άμμο. Η σκόνη σπόρων Moringa (1,0 g) και η σκόνη χτένας (2,0 g) προστέθηκαν σε δείγματα νερού 1 L και αναμείχθηκαν έντονα με τη χρήση αποστειρωμένης γυάλινης ράβδου για 1 λεπτό και διατηρήθηκαν για 30 λεπτά για να καθιζάνει το ίζημα. Το διαυγές νερό πέρασε στη συνέχεια από ένα οκταπλό πανί σαρί, παραδοσιακό ένδυμα φθινό και άμεσα διαθέσιμο μήκους 4-9 m και/ή φυσική διήθηση με φίλτρο βιολογικής άμμου 3 σταδίων. Το νερό που προέκυψε από αυτή την επεξεργασία, βρέθηκε πόσιμο.

4.4 Μονάδες φίλτρων υπό πίεση

Οι μονάδες φιλτραρίσματος υπό πίεση είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες πόσιμου νερού από ό,τι τα συσκευασμένα φίλτρα. Οι συσκευές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μικρές κοινότητες ή από μια ομάδα πολλών οικογενειών. Οι πηγές ενέργειας μπορεί να είναι η ηλιακή ενέργεια, η χειροκίνητη ενέργεια ή η βαρύτητα. Ορισμένες συσκευές μπορούν να παρέχουν νερό υψηλής ποιότητας που είναι κατάλληλο για μακροχρόνιες εφαρμογές, αλλά οι συσκευές αυτές έχουν συνήθως υψηλή αρχική επένδυση. Ωστόσο, επειδή οι πιο ακριβές συσκευές είναι σε θέση να παρέχουν πόσιμο νερό σε μεγάλες κοινότητες για μεγάλο χρονικό διάστημα, το κόστος του νερού ανά άτομο ανά ημέρα γίνεται λογικό. Για παράδειγμα, οι (Arnal J.M., 2009) εξέτασαν ένα σύστημα υπερδιήθησης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος AQUAPOT, για τριτοκοσμικές κοινότητες. Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιεί είτε γεννήτριες είτε έναν χειροκίνητο τροχό περιστροφής που παράγει ενέργεια. Η εγκατάσταση έχει παραγωγική ικανότητα μεταξύ 1000 και 2000 L/h και έχει εφαρμοσθεί σε τρία σχολεία και σε μια τοπική μικροεπιχείρηση γαλακτοκομικών προϊόντων, στην Ecuador και τη Μοζαμβίκη ωφελώντας άμεσα 5000 παιδιά και έμμεσα 50.000 κατοίκους των περιοχών αυτών.

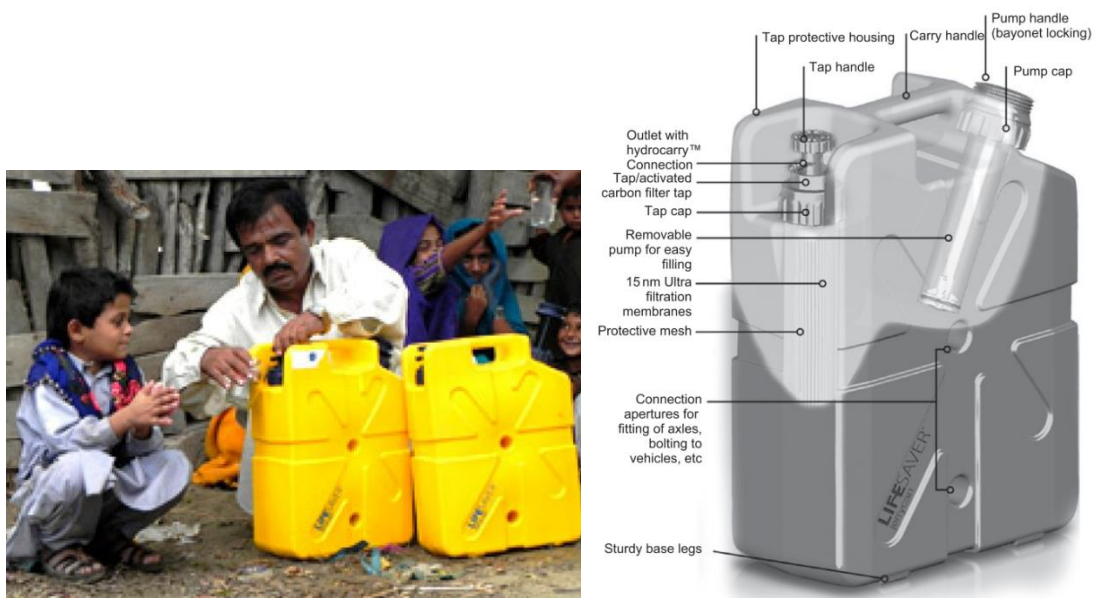


Σχήμα 4.6 Εγκατάσταση συστήματος υπερδιήθησης στο Δημοτικό Σχολείο Ressano Garcia (Μοζαμβίκη) και στο Σχολείο Mensajeros de la Paz στη Santa Isabel (Εκουαδόρ)

Η εγκατάσταση αποτελείται από: - μονάδα προεπεξεργασίας (σχεδιασμένη λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του επιφανειακού νερού και το σημείο προέλευσης του νερού (δίκτυο σωληνώσεων, ποτάμι ή λίμνη),- σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης (αποτελούμενο από φίλτρο άμμου (ρυθμός διήθησης 300mm), μικροφίλτρο (25-50mm) και μονάδα μεμβρανών με μεμβράνη κοίλων ινών από πολυαιθερσουλφόνιο (PES) με αποκοπή 150 kDa ή μονάδα μεμβρανών με σπειροειδή τυλιγμένη μεμβράνη από πολυσουλφόνιο (PS) με αποκοπή 100 kDa). - Σύστημα καθαρισμού (που περιλαμβάνει διάφορες δεξαμενές καθαρισμού και μονάδα άντλησης 1 HP (0,75 kW)) (Arnal J.M., 2009)

Το δοχείο σωτηρίας Jerrycan είναι επίσης μια συσκευή υπερδιήθησης ενσωματωμένη σε ένα δοχείο μεταφοράς νερού. Στην έξοδο έχει μια βρύση, της οποίας προηγείται ένα φίλτρο υπερδιήθησης (UF) 15 nm και ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα. Το μέγεθος πόρων είναι 15 nm και απομακρύνει έως και 7,5 log μειώσεις βακτηρίων και 5 log μειώσεις ιών. Τα φυτοφάρμακα, τα βαρέα μέταλλα και άλλοι ρύποι του νερού μειώνονται επίσης. Αφού χυθεί νερό στο Jerrycan, χρησιμοποιείται η χειροκίνητη αντλία για την πίεση του δοχείου. Η βρύση μπορεί να ανοίξει μόλις το δοχείο έχει πιεστεί αρκετά ώστε να απελευθερώσει ροή 2 L/min

σε πίεση 0,1 bar. Η συσκευή μπορεί να επεξεργαστεί έως και 15.000 L νερού κατά τη διάρκεια της ζωής της. Αυτό το δοχείο παρέχει σε μια τετραμελή οικογένεια την ελάχιστη ποσότητα νερού που είναι απαραίτητη για την επιβίωση για έως και 5 χρόνια. Το μέγεθος του δοχείου Jerrycan επιτρέπει την αποθήκευση έως και 18,5 L επεξεργασμένου νερού και αφού το φίλτρο καταστεί αναποτελεσματικό, το νερό δεν θα ρέει πια μέσα από το φίλτρο και έτσι το φίλτρο θα πρέπει να αντικατασταθεί. Το κόστος του κυμαίνεται 270-332\$ ενώ η αντικατάσταση του φίλτρου είναι στα 187-241\$(Lifesaver,2011)



Σχήμα 4.7 Εφαρμογή και Διατομή του Jerrycan που δείχνει τη θέση της χειροκίνητης αντλίας και του φίλτρου υπερδιήθησης

4.4.1 Μονάδα Sunspring

Η συσκευή Sunspring είναι μια αυτόνομη, ανθεκτική μονάδα υπερδιήθησης που μπορεί να επεξεργαστεί υπόγεια ύδατα αντλούμενα από πηγάδια ή από επιφανειακές πηγές νερού. Δεκαεπτά από αυτές τις συσκευές εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της προσπάθειας ανακούφισης από την καταστροφή της Αϊτής και εξακολουθούν να παρέχουν νερό στις κοινότητες της Αϊτής. Το σύστημα επεξεργασίας αποτελείται από μια αντλία 4,5 gpm, μία μονάδα προφιλτραρίσματος, ένα σύστημα υπερδιήθησης και ένα αυτόματο αντίστροφο ξέπλυμα που απομακρύνει τις προσμίξεις. Τα φίλτρα βρίσκονται μέσα σε έναν κύλινδρο αλουμινίου που παρέχει προστασία. Δύο ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και φορτίζουν τις εσωτερικές μπαταρίες, οι οποίες παρέχουν ενέργεια για την επεξεργασία του νερού κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 4.8 Το Sunspring χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για να τροφοδοτεί την αντλία του και να επεξεργάζεται το νερό

Η συσκευή είναι πιστοποιημένη ότι αφαιρεί το 99,999% των παθογόνων μικροοργανισμών από οποιοδήποτε νερό πηγής. Μπορεί να επεξεργαστεί 7000-17.000 λίτρα ανά ημέρα, ανάλογα με τις συνθήκες του νερού της πηγής και την ποσότητα του ηλιακού φωτός. Αυτή η ποσότητα νερού μπορεί να παρέχει σε 10.000 άτομα την ελάχιστη ποσότητα νερού που απαιτείται για την επιβίωση (2 λίτρα/ημέρα). Το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί μέσα σε 2-4 ώρες και να χρησιμοποιηθεί σχεδόν αμέσως. Η συσκευή μπορεί να διαρκέσει έως και 10 χρόνια με ελάχιστη συντήρηση. Οι μεμβράνες δεν πρέπει να αφήνονται να στεγνώσουν ή να παγώσουν. Το Sunspring συνοδεύεται από ένα κουτί(kit) συντήρησης για την απαιτούμενη ελάχιστη συντήρηση. Τα προ-φίλτρα θα πρέπει να αλλάζονται εβδομαδιαία έως τριμηνιαία, ανάλογα με την ποιότητα του νερού της πηγής, η διασφάλιση ότι τα προ-φίλτρα είναι καθαρά θα βοηθήσει να διατηρηθούν οι μονάδες μεμβρανών καθαρές. Επίσης οι μονάδες μεμβράνης πρέπει να αλλάζονται κάθε 10 χρόνια, ανάλογα με την ποιότητα του νερού της πηγής. Προκειμένου να ελεγχθεί ότι το Sunspring απομακρύνει αποτελεσματικά όλους τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τους ιούς, πρέπει να εκτελείται περιοδικά έλεγχος ακεραιότητας των μεμβρανών. Η τιμή ανά Sunspring ποικίλλει, ανάλογα με το τι περιλαμβάνεται στο εσωτερικό του περιβλήματος. Στο σύστημα Haiti στην Αϊτή, προστέθηκαν προσαρτήματα για να καταστεί ευέλικτο, αυτά τα προσαρτήματα περιλάμβαναν μια αντλία επιφανείας για επιφανειακό νερό, μια υποβρύχια αντλία για πηγάδια βάθους 30 μέτρων και τουλάχιστον μια ετήσια προμήθεια φυσιγγίων προφιλτραρίσματος. Το σύστημα αυτό κοστίζει 25.000 δολάρια. Σε αυτή την τιμή, και υποθέτοντας ότι το σύστημα παρέχει αρκετό νερό για 10.000 άτομα την ημέρα για 10 χρόνια, το κόστος ανά άτομο ανά ημέρα αυτών των μονάδων πέφτει σε λιγότερο από 0,01\$/άτομο ανά ημέρα.

4.4.2 Perfector-E

Το σύστημα καθαρισμού νερού Perfector-E της εταιρείας X-Flow (NORIT, Ολλανδία) σχεδιάστηκε για την παροχή νερού στα θύματα του τσουνάμι στην Ασία, για την επεξεργασία βαριά μολυσμένων επιφανειακών υδάτων. Σύμφωνα με τις πληροφορίες του κατασκευαστή (Pentair, 2012), χρησιμοποιεί μια διαδικασία προεπεξεργασίας δύο σταδίων που αποτελείται από ένα χοντρό φίλτρο και δύο παράλληλους μικροσυλλέκτες. Το κύριο στάδιο επεξεργασίας αποτελείται από δύο αδιέξοδες μονάδες υπερδιήθησης που λειτουργούν με αυτόματο αντίστροφο ξέπλυμα καθώς και ένα προαιρετικό φράγμα απολύμανσης UV.



Σχήμα 4.9 Το Perfector-E χρησιμοποιεί την τεχνολογία X-Flow.

Η διάρκεια ζωής των μονάδων υπερδιήθησης κυμαίνεται από 5 έως 7 έτη, ανάλογα με την ποιότητα του νερού της πηγής. Στη συνέχεια, οι μονάδες πρέπει να αντικαθίστανται. Η μόνη συντήρηση που απαιτείται είναι ο τακτικός καθαρισμός. Ο ρυθμός ροής αυτής της συσκευής είναι περίπου 2000 L/h και τροφοδοτείται από μία γεννήτρια που συνοδεύει τη συσκευή. Το Perfector-E είναι σε θέση να επιτύχει 99,99% απομάκρυνση βακτηρίων και 99,99% απομάκρυνση ιών, ακόμη και σε πολύ θολά νερά. Μόλις εγκατασταθεί, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει από ανειδίκευτο προσωπικό, ενώ ο στιβαρός σχεδιασμός του επιτρέπει τη μεταφορά του από χώρο σε χώρο. Το κόστος της μονάδας αυτής ανέρχεται στα 26.000\$.

4.4.3 SkyHydrant

Το SkyHydrant είναι μια συσκευή διήθησης που χρησιμοποιεί διήθηση με μεμβράνες για την επεξεργασία του νερού σε επίπεδο κοινότητας. Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα ή σε σειρά για την αύξηση της χωρητικότητας. Ένα SkyHydrant μπορεί να παράγει 500-700 L/h σε πίεση λειτουργίας περίπου 5,7 psi, και τοποθετείται συνήθως σε συνδυασμό με μια δεξαμενή παροχής ακατέργαστου νερού που παρέχει την απαιτούμενη πίεση για την τροφοδοσία του SkyHydrant. Οι κοινότητες που διαθέτουν ήδη δεξαμενές

νερού στη ταράτσα ή τη σκεπή μπορούν να ενσωματώσουν το SkyHydrant στο σύστημα σωληνώσεών τους. Το σύστημα αυτό αφαιρεί βακτήρια, ιούς, πρωτόζωα και θολότητα από το νερό της πηγής, όμως απαιτείται καθημερινός καθαρισμός για την αποτελεσματική λειτουργία της μεμβράνης, όσο πιο βρώμικο είναι το νερό, τόσο πιο συχνά θα πρέπει να καθαρίζεται το φίλτρο. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο λειτουργίας (Skyjuice Foundation, 2010), η μονάδα UF δεν χρειάζεται αντικατάσταση εφόσον καθαρίζεται σχολαστικά καθημερινά.

Η χρήση του SkyHydrant είναι πολύπλοκη, οπότε θα πρέπει να οριστεί ένας ειδικευμένος χειριστής που θα κάνει χειροκίνητη αντίστροφη πλύση και καθαρισμό αυτού του συστήματος περιοδικά με χημικά σκευάσματα. Η τιμή του ανέρχεται στα 1.000-2.000 \$ ανά μονάδα, χωρίς να περιλαμβάνεται το κόστος για την υποδομή: δεξαμενή αποθήκευσης ακατέργαστου νερού, δεξαμενή αποθήκευσης αποθηκευμένου νερού και αντλία ακατέργαστου νερού.



Σχήμα 4.10 Η εγκατάσταση του SkyHydrant απαιτεί μια αντλία ακατέργαστου νερού, μια δεξαμενή παροχής ακατέργαστου νερού που τροφοδοτεί το SkyHydrant και μια δεξαμενή αποθήκευσης πόσιμου νερού (Skyjuice Foundation, 2010).

4.4.4 Κύκλος νερού iWater

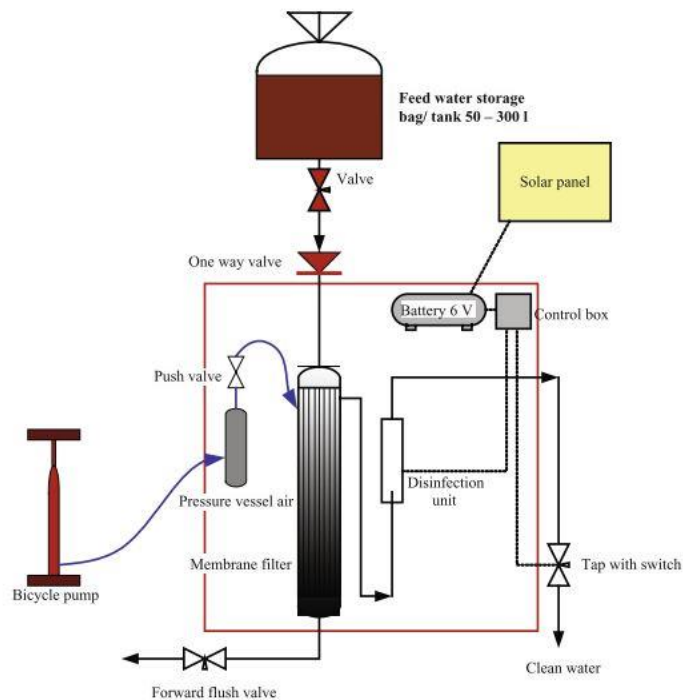
Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης που λειτουργεί με ποδήλατο. Το iWater Cycle έχει χωρητικότητα 400-900 L/h και μπορεί να απομακρύνει τη θολότητα και τους μικροβιολογικούς ρύπους σύμφωνα με τα πρότυπα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Η συσκευή είναι κινητή και εύκολη στη συντήρηση και τη λειτουργία, ενώ περιλαμβάνει χειροκίνητη αντίστροφη πλύση όταν οι πιέσεις λειτουργίας υπερβαίνουν το φυσιολογικό. Η συσκευή αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στην Υεμένη, τη Μιανμάρ και την Ταϊβάν για προσπάθειες ανακούφισης μετά από οξεία φάση έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 4.11 Θύματα τυφώνα στην Ταϊβάν χρησιμοποιούν τη δύναμη του ποδηλάτου για να φιλτράρουν το νερό τους

4.4.5 Κινητός παραγωγός νερού

Στη Δομινικανή Δημοκρατία εφαρμόστηκε μια μικρή φορητή μονάδα επεξεργασίας νερού με παραγωγική ικανότητα περίπου 500 L/ημέρα. Η φορητή μονάδα επεξεργασίας νερού μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τη χρήση εξωτερικής ηλεκτρικής ενέργειας/αντλιών/γεννητριών ώστε να λειτουργεί εντελώς ανεξάρτητα. Χρησιμοποιεί σωληνοειδείς κεραμικές μεμβράνες υπερδιήθησης, μεγέθους πόρων 40nm, σε συνδυασμό με μια διαδικασία ανοδικής



Σχήμα 4.12 Σύστημα πειραματικών εργαστηριακών δοκιμών

οξειδωσης, η οποία τροφοδοτείται από ένα ηλιακό πάνελ. Οι μεμβράνες καθαρίζονται με απλή έκπλυση χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών και αυτό επιτρέπει τη βιώσιμη παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού σε κάθε σημείο χωρίς την αντικατάσταση μολυσμένων φυσιγγίων φίλτρου. Οι εργαστηριακές δοκιμές με διάφορα είδη επιφανειακών υδάτων και εκροών μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων έδειξαν πολύ σταθερή παραγωγή και πολύ καλά αποτελέσματα στην απομάκρυνση ιζημάτων, κολλοειδών υλικών, βακτηρίων και ιών (L. Groendijka, 2009).



Σχήμα 4.13 Στην αριστερή εικόνα το πρώτο πρωτότυπο του Mobile Water Maker κατά τη διάρκεια της δοκιμής πεδίου στη Δομινικανή Δημοκρατία τον Οκτώβριο του 2006. Στη δεξιά εικόνα το δεύτερο πρωτότυπο το Νοέμβριο του 2007, από (L. Groendijka, 2009).

4.5 Φυσικά συστήματα διήθησης στις όχθες, μία τεχνολογία για μακροχρόνιες εφαρμογές

Η φυσική διήθηση είναι ένας γενικός όρος που εφαρμόζεται στις όχθες ποταμών, λιμνών αλλά και ακτογραμμών για την επεξεργασία του ακατέργαστου νερού που προέρχεται από τα εκάστοτε υδάτινα σώματα. Η διήθηση στις όχθες είναι ένας μηχανισμός, τον οποίο οι κοινότητες που βρίσκονται κυρίως κατά μήκος των ποταμών ή των λιμνών, αναπτύσσουν για τη προμήθεια νερού από προσχωματικούς υδροφορείς χρησιμοποιώντας κάθετα και οριζόντια (συλλεκτικού τύπου) πηγάδια. Οι αποθέσεις άμμου και χαλικιών που συνθέτουν αυτούς τους προσχωματικούς υδροφορείς αποδίδουν εκατομμύρια όγκους γλυκού νερού στις κοινότητες αυτές. Όταν τα πηγάδια τοποθετούνται αρκετά κοντά σε ποτάμια και αντλούνται, το νερό του ποταμού μπορεί να οδηγηθεί σε ροή προς αυτά τα πηγάδια. Τα πηγάδια διήθησης από τις όχθες παράγουν συνήθως μεγαλύτερη ποσότητα νερού από τα πηγάδια παρόμοιου μεγέθους που αντλούν μόνο υπόγεια ύδατα, επειδή το ποτάμι λειτουργεί ως σταθερή πηγή νερού. Επίσης, τα πηγάδια διήθησης των όχθων έχουν χρησιμοποιηθεί για να αυξήσουν την απόδοση του υπόγειου νερού που μπορεί να αναμένεται από έναν υδροφορέα. Το ποσοστό του διηθήματος της όχθης του ποταμού στο αντλούμενο ακατέργαστο νερό εξαρτάται από την ποιότητα του πηγαίου νερού, τις γεωυδρολογικές συνθήκες του υδροφορέα, τη διεπιφάνεια ποταμού-υδροφορέα, την υδραυλική κλίση, τους ρυθμούς διήθησης, την υδραυλική αγωγιμότητα και την απόσταση μεταξύ της όχθης του ποταμού και των φρεατίων άντλησης.

Η χρήση της διήθησης της όχθης για πόσιμο νερό χρονολογείται πάνω από 100 χρόνια. Στην περιοχή του Κάτω Ρήνου στη Γερμανία, συστήματα διήθησης στις όχθες του ποταμού λειτουργούν από τη δεκαετία του 1870 (Schubert, 2002). Στο ανατολικό τμήμα της Γερμανίας, τα έργα ύδρευσης για την πόλη της Δρέσδης λειτουργούν επίσης για περισσότερα από 100 χρόνια (Salorpe από το 1875, Tolkewitz από το 1898, Hosterwitz από το 1908, βλέπε Fischer et al., 2006, Ray and Jain, 2011). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η τεχνολογία αυτή

χρησιμοποιήθηκε αρχικά για βιομηχανικές παροχές νερού και στη συνέχεια για δημόσιες παροχές.

4.5.1 Βιωσιμότητα συστημάτων παράκτιας διήθησης

Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα καθαρισμού, τα συστήματα διήθησης στις όχθες των ποταμών (RBF, Riverbank Filtration), προσφέρουν πολλαπλά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη βιωσιμότητα, επειδή τα συστήματα RBF χρησιμοποιούν φυσική διήθηση. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια και πόρους, μικρή ή καθόλου παραγωγή ροών αποβλήτων, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή και τη λειτουργία του συστήματος και αυξημένη προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες παροχής νερού λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η διήθηση στις όχθες χρησιμοποιείται είτε ως προεπεξεργασία είτε ως πλήρης επεξεργασία για την παροχή πόσιμου νερού, οι απαιτήσεις σε ενέργεια και πόρους είναι συνήθως μικρότερες από ό,τι θα απαιτούνταν για συμβατικές τεχνολογίες επεξεργασίας που χρησιμοποιούν πήξη και διήθηση, χημική οξειδωση, προσρόφηση άνθρακα ή διήθηση με μεμβράνες. Σε σύγκριση με την άντληση επιφανειακών υδάτων, απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την άντληση του διηθήματος της όχθης και των υπόγειων υδάτων λόγω της προκύπτουσας μείωσης της στάθμης σε ένα πηγάδι κατά τη διάρκεια άντλησης. Παρά το γεγονός αυτό, οι ενεργειακές απαιτήσεις για τις διαδικασίες φυσικής διήθησης είναι συνήθως μικρότερες από άλλα συστήματα επεξεργασίας, καθώς ουσιαστικά δεν απαιτείται πρόσθετη ενέργεια για τη διαδικασία επεξεργασίας. Οι χημικές απαιτήσεις για τα συστήματα φυσικής διήθησης είναι επίσης συνήθως χαμηλές αφού δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης πηκτικών ή άλλων χημικών ουσιών που σχετίζονται με την διαδικασία επεξεργασίας. Για τα συστήματα φυσικής διήθησης που παρέχουν πλήρη επεξεργασία νερού, η απολύμανση μπορεί να είναι η μόνη πρόσθετη διαδικασία επεξεργασίας που απαιτείται.

Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις των μονάδων διήθησης στις όχθες, μπορούν να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν με τρόπο που έχει λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα παραδοσιακά συστήματα επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων. Για παράδειγμα, είναι λιγότερο πιθανό να παρεμβαίνουν στη διατάραξη της βιοποικιλότητας των ψαριών και στους ευαίσθητους οικοτόπους από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας που βασίζονται σε επιφανειακό νερό, δομές υδροληψίας. Επίσης, μπορεί να είναι σημαντικό να εκτρέπεται και να επεξεργάζεται το νερό όταν είναι διαθέσιμο, ακόμη και αν δεν είναι πλήρως απαραίτητο εκείνη τη στιγμή.

Η χρήση της φυσικής διήθησης μπορεί να είναι μια σημαντική στρατηγική για την οικονομικά αποδοτική διαχείριση των αποθεμάτων νερού υπό αυτές τις συνθήκες, επειδή οι εγκαταστάσεις είναι σημαντικά ευκολότερες και λιγότερο δαπανηρές στην κατασκευή και λειτουργία από άλλους τύπους εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Για παράδειγμα, το κόστος λειτουργίας ενός δικτύου φρεατίων είναι σημαντικά μικρότερο από ό,τι μια μονάδα επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων όσον αφορά το κόστος εργασίας, τα χημικά και την ενέργεια. Η διήθηση στις όχθες των ποταμών (river bank filtration, RBF) έχει εδώ και καιρό αποδείξει την αποτελεσματικότητά της για την παροχή νερού στην Ευρώπη. Η RBF είναι ένα φυσικό και φθινό σύστημα επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων. Στην Αίγυπτο, υπάρχει ενδιαφέρον για την εφαρμογή του RBF επειδή έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει τους ρύπους από τα επιφανειακά ύδατα με τεχνολογία επεξεργασίας χαμηλού κόστους. Στην

έρευνα των (Abdalla F., 2009) πραγματοποιήθηκαν φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές μετρήσεις στην πόλη ElMutia και στην πόλη AbuTieg, στο κυβερνείο Assiut της Άνω Αιγύπτου από το 2006 και το 2004, αντίστοιχα. Εξετάστηκαν δείγματα νερού από δύο κάθετα πηγάδια άντλησης που κατασκευάστηκαν σε απόσταση 40 m από την όχθη του Νείλου. Τα αποτελέσματα αυτής της εγκατάστασης πλήρους κλίμακας έδειξαν την αποτελεσματικότητα της διήθησης στις όχθες του ποταμού ως αποδεδειγμένη τεχνολογία επεξεργασίας στην κοιλάδα του Νείλου με ένα ποσοστό του κόστους σε σύγκριση με τις συμβατικές εγκαταστάσεις επιφανειακής επεξεργασίας. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Κίνα, η Αίγυπτος και η Ινδία, τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης των υδάτων καθιστούν δύσκολη την παραγωγή διηθήματος από τα συστήματα RBF που μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις χωρίς την ανάγκη πρόσθετης εγκατάστασης επεξεργασίας. Η επιτυχής απομάκρυνση του χρώματος του νερού και των οργανικών ρύπων μέσω της προχλωρίωσης είναι κοινή σε πολλές τοποθεσίες. Σπάνια αναφέρεται ή αναγνωρίζεται, ωστόσο, η θετική επίδραση που έχει η Διήθηση στις όχθες, RBF, στην ελαχιστοποίηση του σχηματισμού επικίνδυνων παραπροϊόντων απολύμανσης.

Μετά από μια αρχική χημική επεξεργασία του νερού, πολλές επιχειρήσεις ύδρευσης χλωριώνουν το επεξεργασμένο νερό για δεύτερη φορά πριν από την παροχή του στο σύστημα διανομής, δημιουργώντας έτσι σημαντική πιθανότητα για υψηλά επίπεδα επικίνδυνων παραπροϊόντων απολύμανσης. Τα συστήματα RBF στις αναπτυσσόμενες ή πρόσφατα βιομηχανοποιημένες χώρες αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις από την κακή ποιότητα του νερού πηγής σε πολλές τοποθεσίες (που προκαλείται από κακές πρακτικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα ανάντη τμήματα). Αρκετές έρευνες περιγράφουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα συστήματα RBF σε αναπτυσσόμενες χώρες (π.χ. Ινδία) με αμελητέους ελέγχους στην απόρριψη σε ποτάμια των ακατέργαστων βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Επίσης τα συστήματα RBF αντιμετωπίζουν κινδύνους από ποτάμια με συχνά μεταβαλλόμενες όχθες. Κανονισμοί για την προστασία των πηγών στις ανάντη περιοχές της λεκάνης απορροής είναι σχεδόν ανύπαρκτοι σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες. Υπό αυτές τις συνθήκες, η είσοδος ρυπογόνων ουσιών από τα υπόγεια ύδατα στα αποθέματα πόσιμου νερού είναι συχνά αναπόφευκτη.

4.5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ποιότητα του διηθήματος

Οι βασικές πτυχές που καθορίζουν την ποιότητα του διηθήματος είναι (α) η ποιότητα του νερού της πηγής, (β) η υδραυλική σύνδεση μεταξύ του ποταμού και του υδροφορέα όπου βρίσκονται οι οθόνες των πηγαδιών, (γ) ο ρυθμός άντλησης και (δ) η ποιότητα των στερεών του υδροφορέα και του υπόγειου νερού. Από αυτά, η ποιότητα του νερού πηγής είναι ο βασικός παράγοντας για τον καθορισμό της ποιότητας του διηθήματος. Οποιοδήποτε σύστημα διήθησης, μηχανικό ή φυσικό, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας.

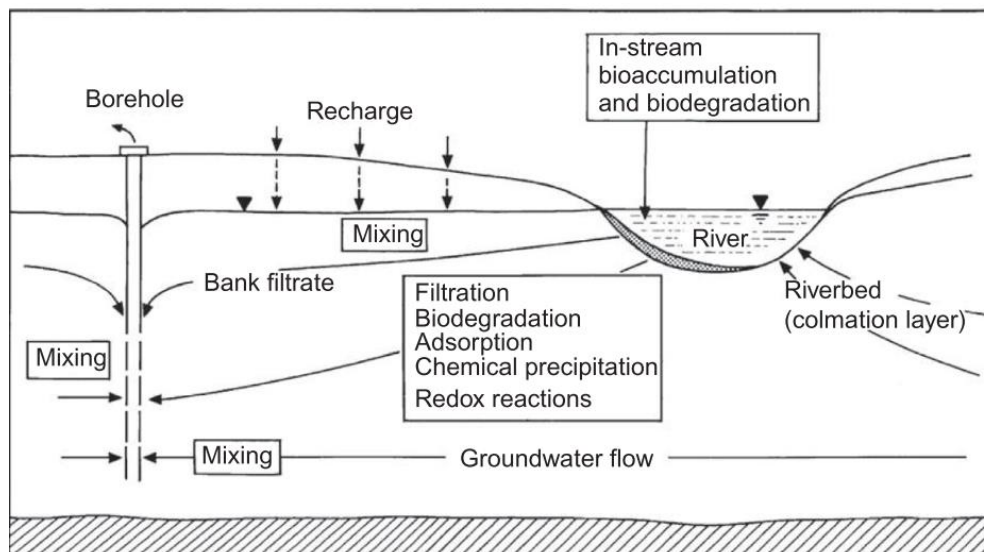
Επίσης, λόγω της απόφραξης της κοίτης του ποταμού, είναι καλύτερο να αναπτύσσονται χώροι διήθησης στις όχθες του ποταμού σε περιοχές όπου πραγματοποιείται μεταφορά ιζημάτων. Επίσης, περιοχές που παρουσιάζουν διάβρωση τείνουν να μην έχουν τόσο βαθιά προσχωματικά υλικά για να μπορέσουν εύκολα να εξάγουν το νερό, καθιστώντας και πάλι τις περιοχές μεταφοράς ιζημάτων προτιμότερες για ανάπτυξη συστημάτων διήθησης στις όχθες των ποταμών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι καλύτερες συνθήκες για διήθηση

στις όχθες των ποταμών είναι σε μη στερεοποιημένες αλλουβιακές αποθέσεις. Η περιοχή αυτή είναι κοινή στους πρόποδες και τις κοιλάδες και γενικά χαρακτηρίζεται από μεγάλες στροφές του ποταμού και χαμηλή έως μέτρια ταχύτητα ροής (0,5-2,5 m/s) ανάλογα με το φορτίο ιζημάτων και τη σύνθεση της κοίτης του ποταμού.

Σε ένα φυσικό περιβάλλον, οι διακυμάνσεις της παραγωγής από τα φρεάτια RBF προκαλούνται από δύο κύριους παράγοντες: την τοπική υδρογεωλογία και την υδρολογία του ποταμού. Ενώ είναι κρίσιμο να ληφθεί υπόψη η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα, όπως επίσης και η ποτάμια υδραυλική, το μέγεθος των κόκκων του στρώματος απόφραξης, η διατμητική δύναμη έναντι της κοίτης του ποταμού (για τη μέτρηση των παραγόντων διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης για την απόφραξη), η μέση ταχύτητα, η γραμμή υδραυλικής κλίσης και οι πλημμυρικές αιχμές. Εκτός από την τοπική υδρογεωλογία και την υδρολογία του ποταμού, είναι επίσης σημαντικό να κατανοηθούν οι ζώνες λεκάνης απορροής και άλλες πηγές διήθησης στην ευρύτερη γεωλογική περιοχή. Το αποτέλεσμα αυτών των παραγόντων σε συνδυασμό είναι ένα κουραστικό αλλά αναγκαίο τεχνικό σενάριο, το οποίο απαιτεί τεράστιες ποσότητες έρευνας προτού μπορέσει κανείς να αντλήσει με σιγουριά καθαρό νερό.

Σημαντική έρευνα επικεντρώνεται επί του παρόντος στη βελτίωση της κατανόησης των βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών που αποτελούν τη βάση για τη φυσική διήθηση. Η καλύτερη κατανόηση αυτών των διεργασιών θα οδηγήσει σε βελτιωμένες εκτιμήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία της μεθόδου και θα βελτιώσει την ικανότητά μας να αντιμετωπίσουμε προβλήματα όπως η απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών και ιχνοστοιχείων οργανικών ουσιών. Ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι η απομάκρυνση και/ή αδρανοποίηση των σπορίων του *Cryptosporidium*, που εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για τις εργασίες RBF. Επίσης, η παρουσία οξειδίων των μετάλλων (π.χ., κυρίως οξείδια αλουμινίου και σιδήρου) στις επιφάνειες των εδαφικών κόκκων μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητα του εν λόγω κοκκώδους υλικού να απομακρύνει παθογόνους μικροοργανισμούς.

4.5.3 Πηγάδια Άντλησης



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ενός συστήματος διήθησης όχθης. (Hiscock & Grischek, 2002)

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ενός συστήματος διήθησης όπου ένα πηγάδι βρίσκεται στην όχθη και η άντληση οδηγεί το νερό του ποταμού στο πηγάδι. Το νερό από την πλευρά της ξηράς συμβάλλει επίσης στη ροή προς το πηγάδι. Μια σειρά από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν καθώς το νερό κινείται από το ποτάμι προς το πηγάδι. Τα σωματίδια που συμβάλλουν στη θολότητα στραγγίζονται ή απομακρύνονται με κολλοειδές φιλτράρισμα (Yao et al., 1971). Η θερμοκρασία του νερού του ποταμού επίσης διαμορφώνεται κατά τη διέλευσή του από τον υδροφορέα και αναμιγνύεται ενίοτε με τα υπόγεια ύδατα. Χημικές διεργασίες όπως η απορρόφηση, η ανταλλαγή ιόντων, η βιοαποικοδόμηση, η γεωχημική διάλυση και η χημική καταβύθιση μπορούν να συμβούν, ανάλογα με τη χημεία του νερού και τα ορυκτά που υπάρχουν στον υδροφορέα. Η απομάκρυνση των πρωτόζωων μπορεί να συμβεί μέσω στράγγισης ή κολλοειδούς διήθησης. Τα βακτήρια και οι ιοί απομακρύνονται κυρίως μέσω κολλοειδούς διήθησης. Η οξειδοαναγωγική κατάσταση του υπεδάφους επηρεάζει αυτές τις χημικές και βιολογικές διεργασίες. Τα φρεάτια μπορεί να είναι είτε κατακόρυφα φρεάτια είτε οριζόντια φρεάτια συλλογής. Τα κατακόρυφα πηγάδια έχουν συνήθως χαμηλούς ρυθμούς παραγωγής σε σύγκριση με τα οριζόντια πηγάδια συλλέκτη. Η προτίμηση ενός οριζόντιου συλλεκτικού πηγαδιού αντί για κάθετο πηγάδι εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η υδρογεωλογία της περιοχής, η ιδιοκτησία γης κοντά στην όχθη του ποταμού και την προτίμηση της κοινής ωφέλειας. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, προτιμώνται τα οριζόντια πηγάδια συλλογής επειδή μπορεί να εξαχθεί μεγάλη ποσότητα νερού από ένα ή λίγα πηγάδια. Στα εύκρατα κλίματα, η χρήση ενός οριζόντιου συλλεκτικού πηγαδιού μειώνει επίσης τις ανάγκες συντήρησης των αντλιών και των σωλήνων του πηγαδιού κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς θα χρειαστούν πολλά κάθετα πηγάδια για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας νερού. Εάν το νερό της πηγής είναι υψηλής ποιότητας, το νερό που παράγεται από το σύστημα διήθησης μπορεί να μην χρειάζεται πρόσθετη επεξεργασία εκτός από χλωρίωση ή κάποια άλλη μέθοδο απολύμανσης. Για τις ανάγκες έκτακτης ανάγκης σε νερό, η κατασκευή

οριζόντιων φρεατίων συλλογής μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή, συνεπώς συνήθως τα κατακόρυφα φρεάτια χρησιμοποιούνται περισσότερο.



Σχήμα 4.15 Κατακόρυφα φρεάτια στο εργοστάσιο ύδρευσης Flehe. Ένα πηγάδι παρακολούθησης, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση χημικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό του ποταμού σε περίπτωση διαρροής ή πλημμύρας, βρίσκεται μεταξύ του ποταμού και των κάθετων φρεατίων.

Στο εργοστάσιο ύδρευσης Flehe κατασκευάστηκαν κατακόρυφα πηγάδια άντλησης και ένα πηγάδι παρακολούθησης, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση χημικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό του ποταμού σε περίπτωση διαρροής ή πλημμύρας, βρίσκεται μεταξύ του ποταμού και των κάθετων φρεατίων. Στους αλλουβιακούς υδροφορείς μεταξύ των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων παρουσιάζεται μια μεταβατική ζώνη. Η περιοχή αυτή υφίσταται βιογεωχημική δραστηριότητα η οποία είναι πολύ πιο έντονη από τα επιφανειακά ή τα υπόγεια ύδατα. Αυτή η βιοχημική δραστηριότητα αντανακλάται στις πολύπλοκες και δυναμικές διαβαθμίσεις του φωτός, της θερμοκρασίας, του pH, του δυναμικού οξειδοαναγωγής, της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και της περιεκτικότητας σε οργανική ύλη. Η σημαντικότερη βιοχημική αλλαγή που λαμβάνει χώρα στην μεταβατική ζώνη είναι η δημιουργία μιας αναερόβιας ζώνης. Αυτό συμβαίνει ως αποτέλεσμα της ταχείας κατανάλωσης οξυγόνου που συνεπάγεται η μικροβιακή δραστηριότητα που σχετίζεται με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και των οργανικών ρύπων. Αυτές οι αναερόβιες συνθήκες αυξάνουν τη δραστηριότητα των απονιτροποιητικών βακτηρίων και των βακτηρίων που αναγάγουν τα θειικά άλατα, δημιουργώντας μια ιδιαίτερα αναγωγική περιοχή, η οποία προκαλεί τη διάλυση οξειδίων του μαγγανίου και του σιδήρου, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα του φιλτραρισμένου νερού. Με την αύξηση της απόστασης από τον ποταμό, η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται και η παροχή οξυγόνου που προέρχεται από την ακόρεστη ζώνη αυξάνεται, δημιουργώντας έτσι ένα οξειδωτικό περιβάλλον, όπου το μαγγάνιο και ο σίδηρος απομακρύνονται από το υπόγειο νερό με κατακρήμνιση και προσρόφηση στις επιφάνειες των κόκκων που αποτελούν το πορώδες μέσο. μια άλλη συνέπεια της μικροβιακής δραστηριότητας στην μεταβατική ζώνη είναι ο σχηματισμός βιοϋμενίων που μπορούν να φράξουν τους πόρους του υδροφορέα και να μειώσουν τη διαπερατότητά του. Η απόφραξη των πόρων του υδροφορέα μπορεί επίσης να προκληθεί από τη συγκράτηση ιζημάτων (< 2 mm) στην υποροφική ζώνη, ιδίως από την καταβύθιση θειούχων και οξειδίων περιβάλλοντος όπου το μαγγάνιο και ο σίδηρος απομακρύνονται από το υπόγειο νερό με καταβύθιση και προσρόφηση στις επιφάνειες των κόκκων που αποτελούν τα πορώδη μέσα.

4.5.4 Απομάκρυνση των ρύπων μέσω της φυσικής διήθησης σε όχθες υδάτινων σωμάτων

Τα συστήματα παρόχθειας φυσικής διήθησης έχουν βρεθεί ότι βελτιώνουν τη φυσική, χημική και μικροβιακή ποιότητα του αντλούμενου νερού. Οι φυσικές παράμετροι που βελτιώνονται με το RBF είναι τα αιωρούμενα στερεά (συχνά μετρούμενα ως σωματίδια διαφόρων διαμέτρων), η θερμοκρασία και η θολότητα. Σε εύκρατα κλίματα, η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων μπορεί να κυμαίνεται από σχεδόν 0 έως 36°C (Schoenheinz and Grischek 2010). Αυτή η διακύμανση της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει μόνο τον ρυθμό διήθησης του νερού, αλλά και τις χημικές και βιολογικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο νερό. Η απομάκρυνση των μικροβιακών παθογόνων μικροοργανισμών ή των δεικτών τους εξαρτάται επίσης από το χρόνο διαδρομής ή το χρόνο ροής του νερού. Οι ρυθμοί άντλησης και ο τύπος του πηγαδιού επηρεάζουν τον χρόνο διαδρομής.

Γενικά οι οργανικοί ρύποι, όπως τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα, οι δύσσομες ενώσεις, τα υποπροϊόντα πετρελαίου και τα φαρμακευτικά προϊόντα, προκαλούν μεγάλη ανησυχία για την ποιότητα των υδάτων. Η διήθηση στις όχθες των ποταμών έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την προεπεξεργασία του πόσιμου νερού σε μέρη με τέτοια προβλήματα ρύπανσης. Η απομάκρυνση και η συμπεριφορά των οργανικών ενώσεων κατά τη διάρκεια της RBF εξαρτάται από παράγοντες που αφορούν ειδικά τους ρύπους, όπως η υδροφοβικότητα της ένωσης, η δυνατότητα βιοχημικής αποικοδόμησης, η ποσότητα της οργανικής ύλης στον υδροφόρο ορίζοντα, η μικροβιακή δραστηριότητα, ο ρυθμός διήθησης, η βιοαποδομησιμότητα κ.λπ. Μια άλλη πτυχή που προφανώς επηρεάζει την απομάκρυνση ορισμένων οργανικών ρύπων, όπως τα αντιμικροβιακά υπολείμματα, είναι η κατάσταση οξειδοαναγωγής του υδροφορέα σε συνδυασμό με το χρόνο διαδρομής. Παρόλο που η RBF έχει αποδειχθεί καλή τεχνική προεπεξεργασίας για μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων, έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένες ενώσεις, όπως ορισμένα φυτοφάρμακα, φαρμακευτικά προϊόντα και αλογονωμένες οργανικές ενώσεις είναι πιο ανθεκτικές στην απομάκρυνση. Μεταξύ των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τα ποσοστά αδρανοποίησης των ιών είναι η θερμοκρασία, η προσρόφηση σε σωματιδιακή ύλη και στο έδαφος και η μικροβιακή δραστηριότητα. Πολλοί συγγραφείς θεωρούν ότι η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας αδρανοποίησης ωστόσο, η ευαισθησία στη θερμοκρασία και η ταχύτητα αδρανοποίησης φαίνεται να εξαρτώνται από τον ιό. Για παράδειγμα, σε κανονικές θερμοκρασίες υπόγειων υδάτων (8 έως 25 °C), οι ταχύτητες αδρανοποίησης για παθογόνους μικροοργανισμούς είναι πολύ χαμηλές: 1,42/ημέρα για το *Shigella* sp. (McFeters, 1974), 0,51/ημέρα για το *Salmonella* sp. (Keswick, 1982) και 0,33/ημέρα για το *E. coli* O157 (Rice et, 1992)

Η μείωση των επιπέδων των ρύπων στο διήθημα της όχθης επιτυγχάνεται με φυσικό φιλτράρισμα, μικροβιακή αποικοδόμηση, ανταλλαγή ιόντων, καταβύθιση, και την απορρόφηση. Επιπλέον, η διασπορά των χημικών ουσιών των επιφανειακών υδάτων στους υδροφόρους ορίζοντες και η περαιτέρω αραίωση αυτών των χημικών ουσιών με τα υπόγεια ύδατα (όπου οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις χημικών ουσιών αναμένεται να είναι χαμηλές) συμβάλλουν στη μείωση των συγκεντρώσεων των ρυπογόνων ουσιών του αντλούμενου νερού. Οι φυσικοχημικοί μηχανισμοί των διαλυμένων και των αιωρούμενων ρύπων είναι κάπως παρόμοιοι με εκείνους που εμπλέκονται στη διήθηση με αργή άμμο, αλλά η αραίωση

και η πολυδιάστατη διασπορά είναι πρόσθετοι τρόποι μείωσης της συγκέντρωσης των ρύπων στο διήθημα της όχθης. Η θολρότητα του νερού χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης της αιωρούμενης ύλης, η οποία με τη σειρά της χρησιμοποιείται ως δείκτης της μικροβιακής μόλυνσης. Η απομάκρυνση σωματιδίων μπορεί να θεωρηθεί συνδυασμένο αποτέλεσμα της στράγγισης, της προσρόφησης, και της βιοαποδόμησης. Στη διήθηση όχθης, μπορούν να συμβούν και οι τρεις διεργασίες. Τα υπόγεια μέσα περιέχουν ένα πολύ μεγάλο αριθμό φυσικών βακτηρίων και πρωτόζωα. Οι Harvey κ.ά. (1993) μελέτησαν τη μεταφορά μαστιγωτών πρωτόζωων (εύρος μεγέθους 2 έως 5 μm) σε μια άμμο υδροφορέα υπό συνθήκες φυσικής κλίσης (χωρίς άντληση), η οποία ήταν είχε αρχικά μολυνθεί με οργανικούς διαλύτες. Παρατήρησαν πλήρη ακινητοποίηση των πρωτόζωων σε απόσταση 4m από το σημείο της έγχυσης. Τα συστήματα RBF γενικά λειτουργούν υπό υψηλότερες υδραυλικές κλίσεις λόγω των πιέσεων άντλησης. Η βιβλιογραφία σχετικά με την απομάκρυνση των πρωτόζωων σε συστήματα RBF είναι σπάνια, ωστόσο, σε πέντε περιοχές εφαρμογής των RBF που βρίσκονται σε Cedar Rapids, Iowa- Cincinnati, Ντέιτον, Οχάιο- Λίνκολν, Νεμπ, και Sonoma County, Καλιφόρνια - τα πρωτόζωα (*Cryptosporidium* και *Giardia*) συγκεντρώσεις στο νερό της πηγής και διήθημα παρακολουθούνταν μηνιαίως κατά τη διάρκεια περίοδο 18 μηνών από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που εκμεταλλεύονται αυτά τα συστήματα RBF. Αυτό έγινε για τη συμμόρφωση με τους κανόνες συλλογής πληροφοριών όπως απαιτείται από τον περιβαλλοντικό κανονισμό των ΗΠΑ (USEPA). Παρόλο που τα νερά του ποταμού ήταν θετικά για τα εν λόγω πρωτόζωα σε αρκετές δειγματοληψίες σε αυτές τις θέσεις, κανένα από τα δείγματα αντλούμενου νερού δεν ήταν θετικό. Οι (Havelaar,1995) μελέτησαν την απομάκρυνση των εντεροϊών και των ρεοϊών σε μια εγκατάσταση RBF στην Ολλανδία και συνέκριναν την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης αυτής της διήθησης συστήματος με εκείνη άλλων επεξεργασιών, όπως η πήξη και η κροκίδωση και οι πολλαπλές διασυνδεδεμένες δεξαμενές με κατακράτηση χρόνου κατακράτησης επτά μηνών. Διαπίστωσαν ότι το RBF μπορεί εύκολα να παρέχει 4-log απομάκρυνση των ιών και 5- έως 6-log απομάκρυνση για ριβονουκλεϊκά οξέα κολιφάγων. Παράχθιες μελέτες διήθησης στο πεδίο (Schijven & Rietveld, 1997) είχαν επίσης θετικές αποτελέσματα με την απομάκρυνση των κολιφάγων σχεδόν 5 μονάδες log σε δύο περιοχές και 3 έως 4 log σε μια τρίτη τοποθεσία. Τα λεπτόκοκκα ιζήματα σε πολλούς πυθμένες ποταμών και στις παράκτιες περιοχές τους είναι γενικά πλούσια σε άργιλο και οργανική ύλη και έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν μια ποικιλία ρυπαντών στο νερό του ποταμού. Περαιτέρω απορρόφηση και καταβύθιση θα μπορούσε να συμβεί με τα στερεά του υδροφόρου ορίζοντα. Ωστόσο, τα λεπτόκοκκα υλικά μπορεί να υποστούν αιώρηση κατά τη διάρκεια υψηλών ροών, τα οποία και πάλι θα καθιζάνουν στο ποτάμι στον πυθμένα του ποταμού καθώς η ροή υποχωρεί.

4.5.5 Ηλεκτρική ανεξαρτητοποίηση μεθόδου φυσικής διήθησης στις όχθες

Λόγω της χρήσης μεγάλων μηχανικών αντλιών, η διήθηση στις όχθες των ποταμών βασίζεται είτε σε ηλεκτρικό δίκτυο ή σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παροχή αρκετής ενέργειας στην λειτουργία του συστήματος. Υπάρχει επίσης εξάρτηση από μεγαλύτερες υποδομές, καθώς πολλές τοποθεσίες χρησιμοποιούν πολλαπλά πηγάδια και, ως εκ τούτου, πρέπει να συνδεθούν με μια κοινή αποθήκευση ή σε πολλαπλά σημεία αποθήκευσης. Σε κάθε περίπτωση, η ζήτηση συντήρησης σε όλο το σύστημα είναι μεγαλύτερη από ό,τι απαιτείται για τη διήθηση με αργή άμμο (άλλο φυσικό φίλτρο), αλλά μικρότερες από τις απαιτήσεις για τη διήθηση με μεμβράνες με βάση το μέγεθος των συγκρινόμενων συστημάτων. Έχει

συζητηθεί η κατανάλωση ενέργειας ενός συστήματος να είναι ηλιακή. Ωστόσο, ακόμη και αν χρησιμοποιούνταν φωτοβολταϊκά πάνελ για τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών, η έκταση των πάνελ που απαιτούνται για την τροφοδοσία αντλιών φρεατίων μπορεί μερικές φορές να υπερβαίνει την πρακτικότητα ανάλογα με το βάθος του φρέατος, την υδραυλική αγωγιμότητα και τις τοπογραφικές/καιρικές επιτρεπόμενες συνθήκες για τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, μαζί με τις επιπλοκές που συνεπάγεται η εγκατάσταση μιας σχετικά μεγάλης ηλιακής συστοιχίας. Ως εκ τούτου, δεν είναι παράλογο να υποθέσουμε ότι οι όχθες των ποταμών διήθησης θα εξαρτάται από ένα προϋπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο ή από γεννήτριες ντίζελ/βιοκαυσίμων/υβριδικές γεννήτριες, δεδομένου ότι αυτή είναι η μόνη τεχνολογία που αναπόφευκτα απαιτεί η άντληση (ενώ σε ορισμένες άλλες περιοχές μπορεί να την χρειάζονται μόνο υπό ορισμένες συνθήκες), η διήθηση στις όχθες των ποταμών απαιτεί περισσότερη απόλυτη ενέργεια από τις περισσότερες άλλες εξεταζόμενες τεχνολογίες. Αυτό, ωστόσο, δεν περιλαμβάνει τα συστήματα παροχής, τα οποία συχνά μπορεί να απαιτούν πρόσθετες αντλίες ή κατάλληλα κλιμακωτές αντλίες για την απόληψη και τη διανομή. Επομένως, η συνολική συνδυασμένη ενέργεια που απαιτείται για κάθε σύστημα θα είναι επίσης συνάρτηση της υπηρεσίας του εν λόγω συστήματος. Η χρήση μεγάλων αντλιών είναι μια από τις βασικές εκτιμήσεις για τα συστήματα διήθησης στις όχθες των ποταμών. Τα νεότερα συστήματα χρησιμοποιούν αντλίες μεταβλητής κίνησης που απαιτούν δροσερό (κλιματιζόμενο) περιβάλλον για να λειτουργήσουν, ενώ άλλες εφαρμογές των συστημάτων δεν χρειάζονται καν αντλίες.

5.

Χρήση φυτικών υλών για την επεξεργασία του νερού

Μια μεγάλη πρόκληση που αφορά την τεχνολογική ανάπτυξη είναι η ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογίας που είναι κατάλληλη, συναφής και βιώσιμη. Η χρήση παραδοσιακών φυσικών πηκτικών ουσιών φυτικής προέλευσης είναι μια απλή, αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική μέθοδος καθαρισμού του νερού που εφαρμόζεται εδώ και χρόνια στις αναπτυσσόμενες χώρες. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η χρήση εκχυλισμάτων από φυτικά είδη που επεξεργάζονται τόσο πηκτικές όσο και αντιμικροβιακές ιδιότητες είναι ασφαλής για την ανθρώπινη υγεία. Η χρήση φυτικών υλών για την επεξεργασία του νερού αντιπροσωπεύει μια ανανεώσιμη, μη επικίνδυνη, βιοαποδομήσιμη και δυνητικά ουδέτερη ως προς τον άνθρακα επιλογή που λαμβάνει συνεχώς αυξημένη προσοχή για την αντικατάσταση των συμβατικών πηκτικών μέσων. Η έρευνα για τα πηκτικά με βάση τα φυτά έχει διεξαχθεί μέχρι στιγμής σε τουλάχιστον 38 χώρες που προέρχονται από την Ασία, την Αμερική, την Αφρική και την Ευρώπη. Οι περισσότερες δημοσιεύσεις προέρχονται από τη Μαλαισία, την Ινδία και τη Βραζιλία (Mussarat Saleem, 2019), οι οποίες είναι αναδυόμενες οικονομίες σε μια κλιματική ζώνη που ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών όλο το χρόνο. Η συχνότητα των επιστημονικών δημοσιεύσεων σχετικά με τα πηκτικά με βάση τα φυτά και μόνο έχει σημειώσει εκθετική αύξηση τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, γεγονός που αποδεικνύει το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τον τομέα αυτό.

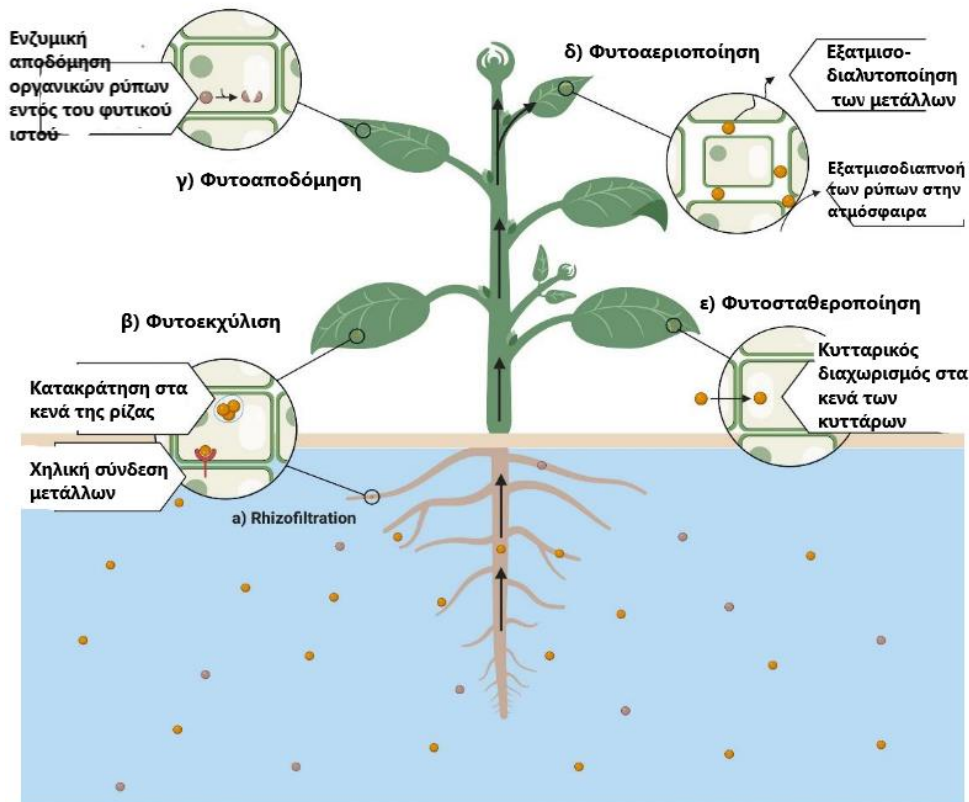
Αυτοφυή φυτά χρησιμοποιούνται κατά παράδοση για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού σε πολλές χώρες της Αφρικής και στη Λατινική Αμερική. Για παράδειγμα, οι σπόροι του *Moringa oleifera* χρησιμοποιούνται συχνά σε τροπικές χώρες, αποξηραμένα φασόλια (*vicia fava*) και οι σπόροι ροδάκινου (*percica vulgaris*) έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στη Βολιβία και σε άλλες χώρες ως πηκτικά βοηθήματα για τη διαύγαση του νερού. Ένα άλλο αναδυόμενο υδρόβιο φυτό που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της ποιότητας του νερού στη Βολιβία και το Περού είναι το *Schoenoplectus tatora*, κοινώς γνωστό ως *tatora* στις χώρες αυτές. Αυτό το φυτό, το οποίο είναι παρόμοιο με το *cattail*, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του φωσφόρου και του αζώτου από τα λύματα πριν από την απόρριψή τους στο φυσικό περιβάλλον (συστήματα αποστράγγισης). Η βιομάζα του φυτού χρησιμοποιείται στη συνέχεια για διάφορους χειροτεχνικούς σκοπούς, όπως η ύφανση καλαθιών και η παραγωγή των γνωστών καλαμωτών βαρκών της λίμνης Τιτικάκα. Αρκετά υδρόβια φυτά έχουν χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό του νερού και την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων φυτών είναι οι *cattails*, *tatora*, ο υάκινθος του νερού, το *duckweed* και *Moringa oleifera*.

Εκτός από την παροχή της βάσης για την αποσαφήνιση, τα υδρόβια φυτά χρησιμοποιούνται επίσης στην υδατοκαλλιέργεια για την παραγωγή υδρόβιων οργανισμών (τόσο χλωριδικών όσο και ζωικών, αλλά γενικά συμπεριλαμβανομένων των ψαριών) υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η υδατοκαλλιέργεια εφαρμόζεται εδώ και αιώνες, κυρίως για την παραγωγή

τροφίμων, ινών και λιπασμάτων. Η χρήση της υδατοκαλλιέργειας ως μέσο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει τόσο φυσική όσο και τεχνητή υγροτοπική άμμο για την παραγωγή τόσο φυκιών όσο και ανώτερων φυτών, ασπόνδυλων και ψαριών, για να την απομάκρυνση ρυπαντών όπως το μαγγάνιο, το χρώμιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος από το νερό. Ο υάκινθος του νερού (*Eichhornia crassipes*) φαίνεται να είναι ένα από τα πιο υποσχόμενα υδρόβια φυτά για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή από την άποψη αυτή. Μελετώνται επίσης και άλλα φυτά, μεταξύ των οποίων τα duckweed, τα φύκια της θάλασσας και το ζιζάνιο του αλιγάτορα. Το *totora* και τα cattails αναπτύσσονται σε ρηχές λίμνες, ποτάμια και λιμνοδεξαμενές. Τα φυτά ριζώνουν στο έδαφος ή στο πυθμένα του υδάτινου σώματος σε βάθος περίπου 1m και αναπτύσσονται σε ύψος 2m έως 3m πάνω από την επιφάνεια του νερού. Τα φυτά αυτά μπορούν να απορροφήσουν νιτρικά, φωσφορικά, βαρέα μέταλλα όπως το μαγγάνιο και άλλες χημικές ενώσεις. Η χρήση υδρόβιων φυτών φαίνεται να είναι αποτελεσματική μόνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και υπόκειται σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Αυτή η τεχνολογία θα είναι πολύ χρήσιμη στις αναπτυσσόμενες χώρες με θερμό κλίμα και χαμηλό κόστος γης, όμως πολύ λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με το κόστος των τεχνολογιών που βασίζονται σε φυτά. Το κύριο κόστος φαίνεται να είναι είναι η εργασία για την απόκτηση των φυτικών σπόρων και την παραγωγή του κροκιδωτικού διαλύματος.

5.1 Προσέγγιση του μηχανισμού φυτοεξυγίανσης

Η φυτοεξυγίανση, δηλαδή η χρήση φυτών για την απομάκρυνση των ρύπων, είναι μια τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως, κατά κύριο λόγο, για την αντιμετώπιση των ρύπων του εδάφους, με ιδιαίτερη αναφορά στα τοξικά στοιχεία. Πολλές μελέτες έχουν δείξει τη σημασία των φυτών για την επεξεργασία ρύπων, τόσο ανόργανων όσο και οργανικών, ακόμη και εκείνων των ρύπων που μπορεί να είναι ανθεκτικοί ή δύσκολα μεταβολιζόμενοι. Η βιοποικιλότητα είναι ένα σημείο που πρέπει να διερευνηθεί στα συστήματα φυτοεξυγίανσης του νερού, δεδομένου ότι η ποικιλομορφία μπορεί να υποδηλώνει διαφορετικές μεταβολικές οδούς, αντοχή και ενεργοποίηση των χαρακτηριστικών HM στα φυτά [81-83]. Με βάση τη διαδικασία και την εφαρμογή, η φυτοεξυγίανση έχει διαχωριστεί στους ακόλουθους μηχανισμούς, δηλαδή, ριζοδιήθηση, φυτοαεριοποίηση, φυτοαποικοδόμηση, φυτοσταθεροποίηση και φυτοεκχύλιση (Suman, et al., 2018).



Σχήμα 5.1 Γενικό διάγραμμα των διεργασιών φυτοεξυγίανσης στο νερό

α) Φυτοεκχύλιση : Υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικά με τις δυνατότητες συγκεκριμένων φυτών για φυτοεκχύλιση μετάλλων στο νερό, οι οποίες μπορούν να συγκριθούν με τις τρέχουσες γνώσεις σχετικά με τα βιολογικά χαρακτηριστικά τους.

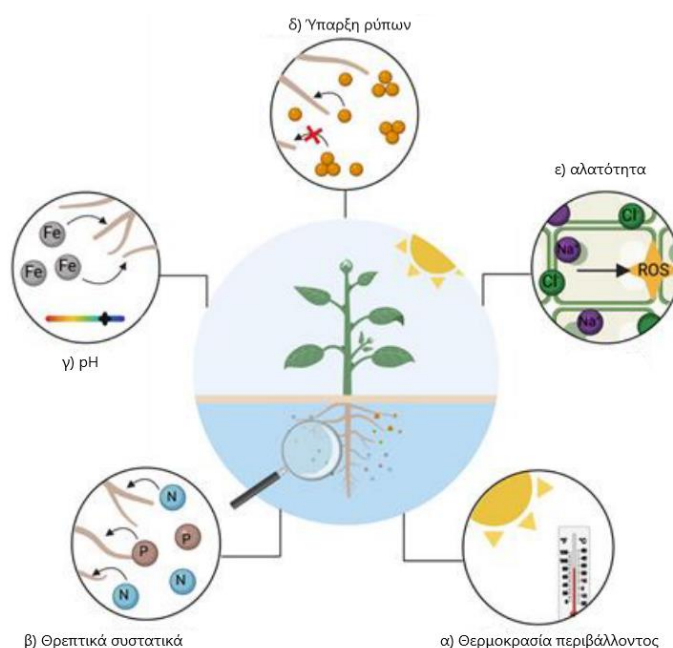
β) Ριζοδιήθηση: Η διήθηση μέσω των ριζών συμβαίνει όταν οι ρίζες των φυτών απομακρύνουν τους ρύπους, όπως π.χ. μέταλλα, από ένα υδατικό υπόστρωμα [116]. Περιλαμβάνει την απορρόφηση, την προσρόφηση και την καταβύθιση των ρύπων από το υπόστρωμα.

γ) Φυτοαποδόμηση: Οι ρυπαντές μπορούν είτε να μετατραπούν πλήρως σε ανόργανες ενώσεις είτε να αποικοδομηθούν σε ένα σταθερό, λιγότερο τοξικό ενδιάμεσο προϊόν που προσελκύεται από το κυτταρικό τοίχωμα ή δεσμεύεται από τα κενά. Τα ένζυμα χρησιμεύουν ως βιολογικοί καταλύτες για την αποικοδόμηση εντός του φυτικού ιστού

δ) Φυτοσταθεροποίηση: Πρόκειται για μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα στη ριζόσφαιρα για τη σταθεροποίηση και την ακινητοποίηση ρύπων από το υπόστρωμα

ε) Φυτοαεριοποίηση: Περιγράφεται ως η απομάκρυνση και κλασματοποίηση των ρύπων μέσα στους χώρους του αέρα των φυτών και η μετέπειτα διάχυση στον αέρα του περιβάλλοντος. Έτσι, τα φυτά μπορούν να εξατμίσουν συγκεκριμένα μέταλλα, όπως το σελήνιο, και πτητικές οργανικές ενώσεις

Η ρύπανση των υδάτων είναι ένα ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί από μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο όπως η χρήση φυτών για την εξυγίανση του νερού. Η φυτοεξυγίανση ανοίγει ευκαιρίες βοηθώντας στην απομάκρυνση ρυπαντών που μπορεί να είναι επικίνδυνοι για πολλούς οργανισμούς. Είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας ότι διαφορετικά είδη συμπεριφέρονται αλλιώς απέναντι σε κάθε ρύπο. Ακόμη και αν ένα είδος παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση συγκεκριμένων ρύπων, μπορεί να μην είναι χρήσιμο για άλλους τύπους ενώσεων. Επίσης τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του νερού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν συστήματα φυτοεξυγίανσης προκαλούνται. Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη φυτοεξυγίανση του νερού είναι, η θερμοκρασία, η βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών, η αλατότητα, η διαθεσιμότητα ρύπων (HM) και το pH αποτελούν παράγοντες που μπορεί να καθυστερήσουν τη διαδικασία της φυτοεξυγίανσης.



Σχήμα 5.2 Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη φυτοεξυγίανση του νερού

Η μεγάλη ποικιλία φυτοαποκατάστασης αναπτύσσεται με φυσικό τρόπο σε ή κατά μήκος περιοχών που σχετίζονται με υδάτινα σώματα. Αυτό είναι ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό, δεδομένου ότι οι μηχανισμοί πρόσληψης των χερσαίων και των υδρόβιων φυτών μπορεί να διαφέρουν, ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ μικροοργανισμών και ρίζας μπορεί να μην είναι τόσο διαφορετική. Είδη όπως το *Azolla pinnata*, *A. pinnata*, *P. stratoes*, *S. polyrhiza* και *Phragmites australis* έχουν καταχωρηθεί ως φυτοδιαχειριστές διαφόρων ρύπων και έχουν πολλές άλλες χρήσεις, όπως εντομοκτόνα, συμπληρωματική τροφή χαμηλού κόστους για υδατοκαλλιέργειες και ιατρικές εφαρμογές, όπως αντιοξειδωτικά, αντιφλεγμονώδη, αντι-αποπτωτικά και βιοενεργά συστατικά στα εκχυλίσματα. Οι ευρεσιτεχνίες που περιγράφουν την ακριβή συμμετοχή και τις διαδικασίες φυτοεξυγίανσης ήταν μόνο εκείνες για τα *Pteris vittata*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* και *Hydrilla verticillata*, και οι περισσότερες από αυτές αφορούσαν τη ριζοδιήθηση και τη φυτοσταθεροποίηση. Οι υπόλοιπες πατέντες αναφέρονταν στις διαδικασίες ως "φυτά" ή απλώς ως "συστήματα" χωρίς να εμβαθύνουν στους μηχανισμούς των διαδικασιών φυτορρύθμισης.

Πίνακας 4: Είδη που σχετίζονται με πατέντες σε μεθόδους φυτοεξυγίανσης

Είδος Φυτού	Χρησιμοποίηση	Αναφορές/βιβλ.	Αριθμός Πατέντας
<i>Azolla pinnata</i>	Σύστημα καθαρισμού νερού	(Casebier, 2020)	EP0333218B1
<i>Spirodela polyrhiza</i>	Μέθοδος καθαρισμού υγρών αποβλήτων	(Sakakibara, et al., 2012)	WO2012029736A1
<i>Eichhornia crassipes</i>	Καθαρισμός ευτροφικών μολυσμένων υδάτινων σωμάτων με φύκια	(Na, et al., 2012)	CN102524084A
<i>Hydrilla verticillata</i>	Η εφεύρεση αποκαλύπτει μία μέθοδο για την απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου σε ένα υδάτινο σώμα	(Ma, et al., 2012)	CN102311173A
<i>Iris pseudacorus</i>	Μονάδα καθαρισμού λυμάτων σε θαλάσσιο χώρο	(Bauer, et al., 2010)	US7718062B2
<i>Phragmites australis</i>	Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων, βιολογική αποκατάσταση υδάτινου σώματος, σύστημα και μέθοδος για την απομάκρυνση ρύπων από το νερό	(Ogden, 2008)	US7361268B2
<i>Potamogeton natans</i>	Μέθοδος για την αποκατάσταση της οικολογίας του νερού, μέθοδος καθαρισμού, διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτων	(Wallace & Lambrecht, 2003)	US6652743B2
<i>Pteris vittata</i>	Μέθοδος για την απομάκρυνση του αρσενικού από το έδαφος και το νερό	(Gong, 2016)	CN105945042A

5.2 Εφαρμογή φυτών ως εξυγιαντικών στον καθαρισμό του νερού

Τα ευρήματα μελετών σε εργαστηριακή κλίμακα δείχνουν ισχυρές δυνατότητες των φυτοδιηθητικών μέσων ως μια χαμηλού κόστους, κατάλληλη και οικολογική εναλλακτική τεχνολογία για τον καθαρισμό του νερού σε απομακρυσμένες περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών. Η χρήση φυτικών εκχυλισμάτων για την πήξη των αιωρούμενων ουσιών από το πόσιμο νερό είναι μια αρκετά παλιά πρακτική. Τα επιφανειακά ύδατα έχουν υποστεί

παραδοσιακή επεξεργασία με τη χρήση βοτάνων ως φυσικών βιοπηκτικών στην Ινδία εδώ και αιώνες. Οι ώριμοι σπόροι του *Strychnos rotatorum*, οι συρμάτινες ρίζες του ριζώματος του *Vetiveria zizanioides*, τα περιβλήματα των σπόρων του *Elettaria cardamomum* και τα φύλλα του *Phyllanthus emblica* ήταν αρκετά δημοφιλή.

Πίνακας 5: Κατάλογος φυτών που χρησιμοποιούνται ως φυτοαπολυμαντικά και πηκτικά στο επαρχιακό Καμερούν (*K.A. Yongadi, 2010*)

Υλικό φυτών	<i>Moringa oeifera</i>	<i>Aloe barbadensis</i>	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Pleurotus tuberregium</i>	<i>Citrus auratifolia</i>
Οικ/ Τοπική ονομασία Βοτανική ονομασία	Horse Radish Zogale(Hausa) Moringa Oleifera Lam Moringaceae	Aloe Vera Aloes Lilliaceae	Euphorbiaceae Physic Nut Benin Zugo (hausu)	Pleurotus tuberregium fr.Singer Mushrooms	Lime
Χρησιμ/μενο τμήμα	Σπόροι				Χυμός
Κλιματολογικές συνθήκες	Όλοι οι τύποι εδαφών, αλλά κυρίως αλλουβιακά αμμώδη εδάφη, θερμές πεδινές ημίξηρες περιοχές	Όλοι οι τύποι εδάφους και επιβιώνει σε διαφορετικά κλίματα	Τροπικές και υποτροπικές	Τροπικές και υποτροπικές περιοχές	Εύκρατες και τροπικές συνθήκες
Κόστος φυτικής ύλης	1 κιλό σπόρων κοστίζει 0,10\$ στη Νιγηρία	Δύσκολο να προσδιοριστεί καθώς οι περισσότεροι το καλλιεργούν	Δεν έχει καθοριστεί	1 KG sclerolium κοστίζει 9\$ στο Καμερούν	1 KG άσβεστος κοστίζει 3,60\$ στο Καμερούν
Διαθεσιμότητα και απόδοση	Βρίσκεται σε όλο το Καμερούν και σε ολόκληρη την Αφρική. Μέσος όρος σπόρων ανά λοβό και 1 σπόρος καθαρίζει ένα λίτρο θολό νερό.	Πολύ διαθέσιμο σε όλη την Αφρική	Πολύ διαθέσιμο σε όλη την Αφρική	Περιορισμένο σε τροπικά κλίματα	Υψηλή απόδοση στις τροπικές περιοχές
Περιορισμοί	Το επεξεργασμένο νερό πρέπει να χρησιμοποιείται σε λιγότερο από 2 ημέρες	Προσδίδουν μια ελαφρώς πικρή γεύση στο νερό	Σπόροι, τοξικοί	Ηκαλλιέργεια της sclerofia διαρκεί πολύ	Προσδίδει συγκεκριμένη οσμή ασβέστη και καθιστά το νερό όξινο
Παρατηρήσεις από τη βιβλιογραφική έρευνα	Εκτεταμένη βιβλιογραφία για το φυτό με πολλές φυλές να γνωρίζουν τις χρήσεις του. Ένα από τα καλύτερα φυτικά πηκτικά που είναι γνωστά. Οι μελέτες για την απολύμανση είναι περιορισμένες.	Καμία δημοσιευμένη εργασία σχετικά με τη χρήση του στον καθαρισμό του νερού			Μικρή αναφορά σχετικά με τη χρήση ως πηκτικό

Μια έρευνα για τα φυτά που χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό του νερού στην Bamenda του Καμερούν έδειξε ότι υπάρχουν πολλά φυτά που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του νερού και κυρίως γίνεται χρήση τεσσάρων πιο συχνά χρησιμοποιούμενων φυτών: *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, calyx του γένους *Hibiscus sabdarifa* και *sclerotium* του γένους *Pleurotus tuberregium*. Τα φυτικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυτοπηκτικά και φυτοαπολυμαντικά στην επεξεργασία θολών υδάτων και μπορούν να εφαρμοστούν στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Ο κατάλογος των φυτών που χρησιμοποιούνται ως φυτοαπολυμαντικά, η διαθεσιμότητα, οι συνθήκες ανάπτυξης και τα πηκτικά στην αγροτική Καμερούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Τα φυτά είναι πολύ διαδεδομένα σε όλη την Αφρική και επιβιώνουν σε φτωχά εδάφη καθώς και σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Το *Jatropha curcas* είναι ένα πολύ διαδεδομένο φυτό με πολλές φαρμακευτικές χρήσεις. Τα εκχυλίσματα της ρίζας έχουν χρησιμοποιηθεί στη θεραπεία των σεξουαλικά μεταδιδόμενων ασθενειών ενώ το ελαστικό των φύλλων έχει χρησιμοποιηθεί ως αιμοστατικό (Yongabi, 2004). Επίσης το εκχύλισμα calyx του *H. sabdarifa* χρησιμοποιείται ευρέως ως τοπικό ρόφημα στη Βόρεια Νιγηρία, ενώ η χρήση της σκόνης calyx του *H. sabdarifa* έχει δείξει τόσο πηκτική όσο και απολυμαντική δράση. Μείωσε τον συνολικό αριθμό αερόβιων βακτηρίων, *E. coli* και κολοβακτηριδίων περισσότερο από το Alum, με το οποίο συγκρίθηκε, αλλά δημιουργεί ένα εκχύλισμα κόκκινης χρωστικής ουσίας στο νερό αφήνοντας το νερό χρωματισμένο. Βρέθηκε επίσης ότι όλα τα φυτικά υλικά είχαν απόδοση μεταξύ 60-90% στο καθαρισμό των δειγμάτων νερού, με το *Moringa oleifera* να διαθέτει πάνω από 95%.

5.3 Η χρήση του φυτού *Moringa* στη επεξεργασία του νερού προς πόση

Η *Moringa oleifera*, όπως και άλλα είδη *Moringa*, είναι μέλος της οικογένειας *Moringaceae*, τάξη *Brassicales*, στην τάξη των *magnoliopsida* της διαίρεσης *magnoliophyta*. Ανήκει στο είδος *Moringa oleifera* του Lam και σε ένα πρωτότυπο της χλωρίδας *Aegyptia co-arabica*. Το *Moringa oleifera* (MO) απαντάται φυσικά σε άγονες ή ημι-άγονες χώρες που εκτείνονται από τη Δυτική Σομαλία έως το Ισραήλ (Yongabi, 2012). Η MO εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην Ινδία και αναφέρθηκε συγκεκριμένα στη Δυτική Σομαλία, το Σουδάν, τις πεδινές περιοχές γύρω από τη Νεκρά και την Ερυθρά Θάλασσα, την Αίγυπτο, την Υεμένη, τη Σαουδική Αραβία (Αραβική Χερσόνησος), τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, τη Συρία, την Παλαιστίνη και το Ισραήλ. Σύμφωνα με τον Schwarz (2000), το φυσικό πηκτικό που βρίσκεται στο *M. oleifera* υπάρχει σε 6 από τα 14 είδη του *M. oleifera* που φυτρώνουν σε περιοχές της Αφρικής, της Μαδαγασκάρης, της Ινδίας και της Αραβίας. Η σκόνη σπόρων *Moringa oleifera*, Lam έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές αφρικανικές κοινωνίες για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού από παλαιότερα χρόνια. Φυλές στη Βόρεια Νιγηρία, το Βόρειο Καμερούν, το Τσαντ, Νίγηρας, Σουδάν, Μαλάουι, Αιθιοπία, Ερυθραία, Μαυριτανία κ.λπ. έχουν ιστορικό χρήσης για τη διαύγαση του θολού νερού για οικιακή χρήση, μάλιστα σε ορισμένα μέρη της Βόρειας Νιγηρίας, κάποιοι ιθαγενείς συνηθίζουν να περπατούν με θρυμματισμένους σπόρους *Moringa* όταν πήγαιναν να βρουν πηγή νερού, και το χρησιμοποιούσαν για να αποσαφηνίσουν οποιοδήποτε ύποπτο νερό που συναντούσαν πριν το πιούν, ειδικά σε αγροκτήματα που βρίσκονται μακριά από τα σπίτια τους. Επίσης οι γυναίκες του Σουδάν χρησιμοποιούσαν τους σπόρους από το *M. oleifera* για την επεξεργασία του νερού από τις

αρχές του 20ού αιώνα, σπρβιλίζοντας τους σπόρους σε υφασμάτινες σακούλες με νερό για λίγα λεπτά και αφήνοντάς τους να κατασταλάξουν για μια ώρα.

Οι σπόροι του φυτού έχουν γρήγορο ρυθμό βλάστησης, επίσης το φυτό της *Moringa* μπορεί να σπαρθεί μέσω των σπόρων καθώς και με μοσχεύματα από ανεπτυγμένο φυτό με στέλεχος μήκους μεταξύ 1 και 1,5m. Ένα μόνο δέντρο μπορεί να παράγει έως και 400 έως 1000 λοβούς ετησίως, ανάλογα με την ποικιλία και τους επικρατούντες περιβαλλοντικούς παράγοντες. Παρατηρήθηκε ένας μέσος όρος 20 σπερματοφόρων λοβών με μέσο όρο 12 σπόρους ανά λοβό (Yongabi, 2004), ενώ υπολογίζεται ότι περίπου ένας σπόρος μεταχειρίζεται ένα λίτρο θολό νερό (με θολότητα της τάξης των 100 έως 200NTU) (Pritchard, 2007). Σημαντικό στοιχείο της βιωσιμότητας της μεθόδου είναι επίσης η ένδειξη ότι σε χωριά στην πολιτεία Benue της Νιγηρίας, πάνω από το 95% των σπιτιών έχουν ένα δέντρο *Moring*. Το έλαιο που εξάγεται από τους σπόρους χρησιμοποιείται για τη θεραπεία της βρογχοκήλης και των ρευματισμών και εφαρμόζεται επίσης ως φάρμακο για την αντιμετώπιση του σκορβούτο. Ο σπόρος περιέχει σταθερά έλαια, λιπαρά οξέα όπως παλμιτικά οξέα, ελαϊκά οξέα, βεχινικά οξέα, στεατικά οξέα και πτερυγοσπερμίνη. Οι σπόροι *Moringa oleifera* έχουν διάρκεια ζωής περίπου ένα έτος και τρεις μήνες, ανάλογα με τη γεωγραφική/κλιματική περιοχή καθώς και τις συνθήκες αποθήκευσης. Μία πρότυπη μέθοδος για την επεξεργασία νερού με *Moringa* επισημαίνει ότι οι ώριμοι σπόροι (που είναι συνήθως καφέ) αποφλοιώνονται, ο πυρήνας των σπόρων στη συνέχεια θρυμματίζεται, και κοσκινίζεται χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα 0,8 mm (το κόσκινο αλεύρου αραβοσίτου αρκεί) και από τη σκόνη (2g) αναμειγνύονται σε 20 λίτρα θολό νερό με ανάδευση(1:1). Επίσης οι (Lowell,2001) και (Kebreab,2004) συνιστούν έναν σπόρο ανά λίτρο θολού νερού και έναν σπόρο ανά 2 λίτρα αρκετά θολό νερό. Επίσης συστήνεται η αρχική δημιουργία μιας πάστας η οποία πρέπει να παραμείνει πέντε λεπτά, ώστε να εκχυλιστεί η πηκτική πρωτεΐνη στο νερό, πριν από τη χρήση και τα αδιάλυτα υλικά να απομακρύνονται με φιλτράρισμα μέσω μουσελίνας (ύφασμα ή κόσκινο με λεπτό πλέγμα) στον κουβά με το νερό που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία.

5.3.1 Εφαρμογές διηθητικών μέσων με τη χρήση του *Moringa oleifera*

Στη μελέτη των (Adejumo, 2013) αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα του *Moringa oleifera* σε σκόνη σπόρων τόσο μόνη της όσο και σε συνδυασμό με το απλό φίλτρο διήθησης άμμου στο καθαρισμό του νερού. Η επεξεργασία με το τροποποιημένο φίλτρο άμμου βρέθηκε να είναι πιο αποτελεσματική, παρήγαγε 99,97% μείωση του *E. coli* σε σύγκριση με 98,16% μείωση που επιτεύχθηκε από την επεξεργασία μόνο με σκόνη του φυτού *Moringa*.

Η χρήση φυτικών μέσων ως διηθητικά μέσα για το καθαρισμό του νερού παρέχει την επιστημονική βάση για μια μέθοδο χωρίς συνθετικά χημικά που χρησιμοποιεί εκχύλισμα σπόρων *Moringa* για να επιτρέψει τη βιώσιμη επεξεργασία πόσιμου νερού στον αναπτυσσόμενο κόσμο, που απαιτεί μόνο τοπικά διαθέσιμους πόρους και καμία χρήση συνθετικών χημικών ή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σπόρος της *Moringa* περιέχει κατιονικές και αντιμικροβιακές πρωτεΐνες, οι οποίες αποτελούν το 1,2% της συνολικής πρωτεΐνης και είναι εύκολα διαλυτές στο νερό, επίσης μελέτες έδειξαν ότι μπορούν να προσροφηθούν στην άμμο μέσω ηλεκτροστατικής έλξης δημιουργώντας λειτουργική άμμο (f-sand). Η αντιμικροβιακή και κροκιδωτική ικανότητα της f-άμμου παραμένει συγκρίσιμη με εκείνη των αρχικών σπόρων, ενώ η εναπομένουσα οργανική ύλη εξαλείφεται.

Εκχύλισμα σπόρων *Moringa* χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία λειτουργικού φίλτρου άμμου (f-sand) για ενισχυμένη απομάκρυνση παθογόνων και κολλοειδών. Κατιονική και αντιμικροβιακή πρωτεΐνες στους σπόρους *Moringa* μπορούν εύκολα να διαλυθούν και να προσροφηθούν στην επιφάνεια της άμμου, αντιστρέφοντας το φορτίο των σωματιδίων της άμμου. Αυτά τα σωματίδια f-άμμου μπορούν στη συνέχεια να συσκευαστούν σε ένα φίλτρο με βελτιωμένη υδροδυναμική που επιτρέπει την ανώτερη απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό το βελτιωμένο φίλτρο άμμου βασίζεται σε τοπικά διαθέσιμα υλικά και παρέχει μια ελκυστική επιλογή εξυγίανσης του νερού για περιβάλλοντα με φτωχούς πόρους. Τα φίλτρα f-sand πέτυχαν 3-4 Log₁₀ απομάκρυνση σωματιδίων πολυστυρενίου 1 μm και >8 Log απομάκρυνση *E. coli*. Το φίλτρο f-sand πέτυχε 3-4 log απομάκρυνση σωματιδίων 1 μm, σε σύγκριση με την απομάκρυνση 0,060 log από το φίλτρο γυμνής άμμου (Xiong, 2018).



Σχήμα 5.3 Φίλτρα άμμου *Moringa oleifera* f-sand για βιώσιμο καθαρισμό νερού

Το Ίδρυμα Ερευνών Φυτοβιοτεχνολογίας του Καμερούν, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Αδελαΐδας, Νότια Αυστραλία, πραγματοποίησε μια εκπαιδευτική δράση για την ανάπτυξη ικανοτήτων σχετικά με ένα απλό σύστημα φιλτραρίσματος νερού με βάση την άμμο *Moringa* για την παροχή καθαρού πόσιμου νερού σε αγροτικά σχολεία και χωριά της περιφέρειας Βογο, του Καμερούν. Στήθηκε μία πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νερού με τη χρήση βιοπηκτικών φίλτρων για τον καθαρισμό του πόσιμου νερού. Σκάφθηκε ένα πηγάδι με όγκο νερού περίπου 2500 λίτρα, και κατασκευάστηκε ένα σύστημα φιλτραρίσματος με χρήση σπόρων *Moringa oleifera* και φίλτρου άμμου που δύναται να καθαρίσει 2000 λίτρα νερού σε 24 ώρες παραμονής για να εξυπηρετήσει περισσότερα από 7000 μαθητές. Το εν εξελίξει πιλοτικό σύστημα εφαρμογής φυσικών υλικών στην επεξεργασία του νερού που έγινε στο Καμερούν θα μπορούσε να αναπαραχθεί και σε άλλες περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών στο πλαίσιο μια βιώσιμης και προσιτής οικονομικά λύσης στο πρόβλημα της παροχής ασφαλούς νερού στις κοινότητες.

Συμπερασματικά, η ερευνητική εργασία έδειξε ότι υπάρχουν πολλά φυσικά υλικά διαθέσιμα σε πολλές περιοχές/κοινότητες στον κόσμο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία του νερού για πόση. Τα υλικά αυτά είναι οικολογικά και χαμηλού κόστους σε σύγκριση με την εφαρμογή συνθετικών χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σήμερα στη απορρύπανση του νερού, παρόλα αυτά η περεταίρω διερεύνηση και η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων οφείλει να μελετηθεί ακόμη περισσότερο.



Σχήμα 5.4 πιλοτική μονάδα επεξεργασίας νερού με χρήση σπόρων *Moringa oleifera* και φίλτρου άμμου (Yongabi, 2012)

6.

Μεμβράνες αφαλάτωσης

Η επιταχυνόμενη ζήτηση νερού απαιτεί μια μεγάλη παγκόσμια προσπάθεια για την αξιοποίηση, τη διατήρηση, και την ενίσχυση των υφιστάμενων αποθεμάτων νερού. Η αφαλάτωση του νερού έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει τις διαθέσιμες επιλογές παροχής γλυκού νερού σε πολλές περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας. Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις τα τελευταία είκοσι χρόνια εφαρμόζουν τοπικά διαθέσιμες πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) και έχουν αυξήσει την αποδοτικότητα μειώνοντας το κόστος, καθιστώντας έτσι την αφαλάτωση όλο και πιο ελκυστική. Παρόλα αυτά, ενώ οι προβλέψεις για την περιβαλλοντικά συνειδητή αφαλάτωση είναι καλές για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, δεν είναι σαφές αν οι εξελίξεις αυτές θα συμβάλουν ουσιαστικά στην ευημερία των πλέον μειονεκτούντων τμημάτων της κοινωνίας. Συνήθως οι μεμβράνες αφαλάτωσης προτείνονται ως τεχνολογία επεξεργασίας νερού σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν στο οικονομικό κόστος τέτοιων μονάδων. Για τις κοινότητες εκτός της εμβέλειας των μητροπολιτικών υποδομών και χωρίς επαρκή πληθυσμό που να δικαιολογούν μεγάλες εγκαταστάσεις (ή τον όγκο του πηγαιού νερού για την τροφοδοσία τέτοιων μεγάλων εγκαταστάσεων), που όμως αντιμετωπίζουν ζητήματα έλλειψης νερού ή/και στερούνται την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό, είναι αναγκαία και πρακτική η δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης μικρής κλίμακας. Πολλές τεχνολογίες αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο των ετών, αυτές συνήθως κατηγοριοποιούνται είτε ως διεργασίες που βασίζονται σε θερμικές διεργασίες, όπως η απόσταξη πολλαπλών σταδίων (MSF), η απόσταξη πολλαπλών επιδράσεων (MED) και η εξάτμιση συμπίεσης ατμών (VC), είτε ως διεργασίες που βασίζονται σε μεμβράνες, όπως η αντίστροφη ώσμωση (RO) και η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (EDR). Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι μέθοδοι με μεμβράνες, και συγκεκριμένα η αντίστροφη ώσμωση RO, έχουν ξεπεράσει τις μεθόδους που βασίζονται στη θερμική τεχνολογία όσον αφορά την εγκατεστημένη δυναμικότητα. Συνολικά, η αντίστροφη ώσμωση έχει το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς από τις διαθέσιμες τεχνολογίες αφαλάτωσης, παράγοντας πάνω από το 70% του ασφαλωμένου νερού παγκοσμίως το 2013 (Boden and Subban, 2018). Από την άλλη πλευρά, η ηλεκτροδιάλυση, η οποία είναι μια οικονομικά αποδοτική τεχνική με βάση τις μεμβράνες για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού με αλατότητα έως και 5000 ppm, έχει μόνο το 3% της συνολικής δυναμικότητας αφαλάτωσης (Fernandez-Gonzalez et al., 2015).

6.1 Προώθηση της αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τα συστήματα μεμβρανών που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ-μεμβράνες) αποτελούν ελκυστικές επιλογές αποκεντρωμένης επεξεργασίας νερού σε περιοχές χωρίς υποδομές και όπου οι πηγές νερού καθίστανται ως μη ασφαλείς. Οι τεχνολογίες αυτές είναι κατάλληλες για την επεξεργασία των περισσότερων υφάλμυρων πηγών, συμπεριλαμβανομένων και του θαλασσινού νερού. Ακόμη η αφαλάτωση με βάση τις

ΑΠΕ είναι μια τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον. Η παραγωγή αποβλήτων είναι ελάχιστη και υπάρχει ευεργετική συμβολή στη δημιουργία τοπικών βιομηχανιών και επιχειρήσεων. Επιπλέον, η αφαλάτωση με ΑΠΕ μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανάγκης για εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και μπορεί επίσης να προσφέρει λύσεις στον τομέα της γεωργίας (π.χ. παροχή αρδευτικού νερού). Η προώθηση της αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Θέση της εγκατάστασης: όπου χρησιμοποιείται η εκάστοτε ενέργεια που ευδοκιμεί στη κάθε περιοχή ανάλογα τις κλιματολογικές συνθήκες.

- Διαθεσιμότητα ενέργειας: Σε απομακρυσμένες περιοχές, η προμήθεια συμβατικής ενέργειας είναι συχνά δύσκολη. Η προμήθεια καυσίμων μέσω μεγάλων αποστάσεων μπορεί να είναι δαπανηρή ή να μην είναι δυνατή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους λόγω δυσμενών κλιματικών συνθηκών. Η κατασκευή δικτύων σε περιοχές εκτός δικτύου μπορεί να είναι τεχνικά ή οικονομικά μη βιώσιμη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τοπικά διαθέσιμη φυσική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ενέργειας, συμβάλλοντας στη βιώσιμη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Ένα παράδειγμα αποτελούν οι μεσογειακές χώρες όπου επειδή ο τουρισμός οδηγεί συχνά σε μια εποχιακή απότομη αύξηση της ζήτησης γλυκού νερού, η οποία συχνά συμπίπτει με τις θερινές περιόδους, όταν η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας είναι υψηλή, η αξιοποίησή της θα ήταν σημαντική.

- Αυτάρκεια: Η αυξημένη χρήση των ΑΠΕ μειώνει περαιτέρω την εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμες πηγές ορυκτών καυσίμων.

- Τεχνολογία: Η ανάπτυξη και η εμπορική διάθεση μονάδων αφαλάτωσης που λειτουργούν με ΑΠΕ επιτρέπει την εξαγωγή των τεχνολογιών αυτών και ανοίγει έτσι νέες αγορές.

- Οικονομικά: Η αφαλάτωση με τη χρήση ΑΠΕ αποτελεί ιδανική λύση για απομακρυσμένες περιοχές και πόλεις της ενδοχώρας, οι οποίες κατά τα άλλα συχνά εξαρτώνται από τη μεταφορά γλυκού νερού σε μεγάλες αποστάσεις που συνεπάγεται υψηλό κόστος και πιθανή μικροβιακή μόλυνση λόγω ακατάλληλων συνθηκών υγιεινής.

- Λειτουργία και διαχείριση: Τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν γενικά να λειτουργήσουν και να συντηρηθούν ευκολότερα από τα συμβατικά ενεργειακά συστήματα- ως εκ τούτου, αποτελούν την καταλληλότερη επιλογή για απομακρυσμένες περιοχές.

- Ελπιδοφόρες εμπορικές προοπτικές: Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η μαζική παραγωγή συστημάτων ηλιακής ενέργειας οδήγησε σε σημαντική μείωση του κόστους (η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί). Από την άλλη πλευρά, το κόστος των ορυκτών καυσίμων αυξάνεται συνεχώς. Αυτές οι δύο τάσεις αυξάνουν συνεχώς την ανταγωνιστικότητα της ηλιακής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Ρεαλιστικά, η ηλιακή αφαλάτωση θα αυξήσει τη ζήτηση σε αυτές τις τεχνολογίες, διευκολύνοντας την εμπορευματοποίηση, το λανσάρισμα στην αγορά και τελικά τη διεύρυνση στην αγορά με μαζική παραγωγή, γεγονός που μεταφράζεται σε σημαντική μείωση του κόστους.

6.1.1 Τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης

Η θερμική αφαλάτωση είναι μια διαδικασία κατά την οποία παράγονται υδρατμοί από ένα διάλυμα άλατος (θαλασσινό νερό) με την εφαρμογή θερμικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με μείωση της περιβαλλοντικής πίεσης είτε με συνεχή παροχή θερμικής ενέργειας. Από θερμοδυναμική άποψη, όταν ένα υγρό εκτίθεται σε απότομη πτώση πίεσης

κάτω από την πίεση κορεσμού του, όλη η θερμότητα δεν μπορεί να συγκρατηθεί στο υγρό ως αισθητή θερμότητα και το πλεόνασμα θερμότητας μεταφέρεται στη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Η διαδικασία της απελευθέρωσης της θερμότητας είναι τόσο γρήγορη που αποκαλείται εξάτμιση αφνιδιασμού (flash evaporation). Με τον έλεγχο της ταχύτητας των ατμών, είναι δυνατόν να κρατηθούν τα είδη αλάτων μακριά από τους καθαρούς υδρατμούς, οι οποίοι όταν συμπυκνώνονται με τη χρήση κατάλληλου μέσου συμπύκνωσης δίνουν καθαρό νερό. Στην άλλη μέθοδο, γνωστή ως απόσταξη, οι ατμοί παράγονται με την παροχή θερμικής εισόδου σε διαδοχικά στάδια.

6.1.1.1 Πολυβάθμια επεξεργασία αφαλάτωση flash

Η διεργασία αφαλάτωσης πολλαπλών σταδίων (multistage flash desalination,MSF) παίζει ζωτικό ρόλο στην παροχή φρέσκου νερού σε πολλές περιοχές του κόσμου, ιδιαίτερα στις χώρες της Μέσης Ανατολής, και αντιπροσωπεύει περίπου το 34% της παγκόσμιας δυναμικότητας αφαλάτωσης. Είναι η πιο αξιόπιστη και ώριμη διαδικασία αφαλάτωσης με περισσότερα από 40 χρόνια εμπειρίας στο σχεδιασμό, τη λειτουργία, την επιλογή υλικών και τη συντήρησή της. Ένα σύστημα MSF αποτελείται από τρία κύρια τμήματα: ένα τμήμα εισόδου θερμότητας, διάφορα ενδιάμεσα στάδια όπου γίνεται ανάκτηση θερμότητας και ένα τμήμα απόρριψης θερμότητας, όπου η περίσσεια θερμότητας απορρίπτεται στο περιβάλλον. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις μονάδων MSF λειτουργούν σε συμπαραγωγή με μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, οι εγκαταστάσεις MSF μπορούν να συνδυαστούν με άλλες τεχνολογίες αφαλάτωσης όπως η νανοδιήθηση και η αντίστροφη ώσμωση (RO) σε νέες εγκαταστάσεις. Μια μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί τη μέθοδο MSF και παράγει 100m³/ημέρα πόσιμης νερού απαιτεί 3900kWh/ημέρα ενέργειας για να λειτουργήσει (Najafi, 2016). Επίσης, η τυπική απαίτηση θερμότητας είναι μεταξύ 250 και 330kJ/kg προϊόντων. Ένας δείκτης απόδοσης που εφαρμόζεται συχνά στις θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης είναι ο συντελεστής απόδοσης, ο οποίος ορίζεται ως η μάζα του προϊόντος νερού ανά μάζα θερμαντικού ατμού. Η διεργασία MSF λειτουργεί με μέγιστη απόδοση σε θερμοκρασίες έως και 115°C, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλα μεγέθη εγκαταστάσεων και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σε μια μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί τη μέθοδο MSF, η ενέργεια λειτουργίας είναι υψηλότερη όταν σε σύγκριση με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης για την ίδια ποσότητα παραγόμενου νερού.

6.1.1.2. Αφαλάτωση πολλαπλών επιδράσεων

Στη διαδικασία απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων (Multieffect desalination,MED), το αλατούχο νερό αφαλατώνεται με εξάτμιση και επακόλουθη συμπύκνωση. Η MED συγκεντρώνει μεγαλύτερη προσοχή μεταξύ των τεχνολογιών θερμικής αφαλάτωσης λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων της, όπως η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με την MSF, οι υψηλότεροι συνολικοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, η μικρότερη ειδική επιφάνεια σε σύγκριση με την MSF, η χαμηλή θερμοκρασία ατμού λειτουργίας, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες πηγές θερμότητας χαμηλής ποιότητας για την τροφοδοσία της. Η διεργασία απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες βιομηχανίες, για παράδειγμα, στη ζάχαρη, το χαρτί και τον πολτό, τα γαλακτοκομικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, τα οξέα και την αφαλάτωση (Al-Shammiri, 1999). Οι ατμοποιητές πολλαπλών επιδράσεων μπορεί να είναι τύπου βυθισμένου σωλήνα, οριζώντιου πτωτικού υμένα, κατακόρυφου πτωτικού υμένα και τύπου πλάκας. Η διεργασία εξάτμισης πολλαπλών επιδράσεων μπορεί να διαμορφωθεί σε εμπρόσθια, οπίσθια, παράλληλη και εγκάρσια τροφοδοσία. Η διαδικασία απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων (MED), μπορεί να συνδυαστεί αποτελεσματικά με θερμική ή μηχανική συμπίεση

ατμών για να βελτιώσει τον λόγο απόδοσής της. Μια μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί τη μέθοδο MED παράγει $100\text{m}^3/\text{ημέρα}$ πόσιμο νερό και απαιτεί $1750\text{kWh}/\text{ημέρα}$ ενέργειας για να λειτουργήσει (H.T. El-Dessouky, 1999). Οι περισσότερες διεργασίες απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες μικρότερες από 70°C . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ατμοποιητές υιοθετούν μια οριζόντια διαμόρφωση μεμβράνης με παράλληλη ή εγκάρσια τροφοδοσία, όπου το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας ψεκάζεται στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων. Επομένως, η λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζει το ρυθμό σχηματισμού αλάτων στην εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή. Η διεργασία συμπίεσης ατμών αναπτύχθηκε για να βελτιώσει τον λόγο απόδοσης της διεργασίας (kg προϊόντος/ kg θερμαντικού ατμού) σε τιμές κοντά στο 16 για ένα σύστημα δώδεκα επιδράσεων. Σε εμπορική κλίμακα, τα περισσότερα συστήματα MED έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με θερμικούς συμπιεστές ατμών (MED/TVC). Δεν υπάρχουν σαφή πλεονεκτήματα στη θερμοδυναμική της διεργασίας MED σε σχέση με το MSF, εκτός από το ότι οι απώλειες θερμοκρασίας στο MSF είναι υψηλότερες. Αντίθετα, εάν οι μονάδες MED λειτουργούν με ατμό υψηλής πίεσης, η καταναλισκόμενη διαθέσιμη ενέργεια είναι υψηλότερη από ό,τι σε μια μονάδα MSF (M.A. Darwish, 2004). Τα συστήματα MED καταναλώνουν σήμερα τη μικρότερη ενέργεια από όλες τις θερμικές τεχνολογίες. Ωστόσο, απαιτείται ατμός και σήμερα οι μονάδες παραγωγής ενέργειας δεν σπαταλούν ατμό. Εάν ο ατμός δεν είναι διαθέσιμος φθηνά, τόσο οι MSF όσο και οι MED δεν είναι δυνατές. Η μελέτη (Saleh L., 2021) εξετάζει και ποσοτικοποιεί το περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό κόστος των μονάδων θερμικής αφαλάτωσης για τις τεχνολογίες Multi-Effect Distillation (MED) και Multi-Stage Flash (MSF). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εξωτερικό κόστος για την τεχνολογία MED κυμαίνεται μεταξύ $0,297 \$/\text{m}^3$ και $0,702 \$/\text{m}^3$ οδηγώντας σε μια μέση αύξηση $65,8\%$. Για την τεχνολογία MSF, το εξωτερικό κόστος κυμαινόταν μεταξύ $0,548 \$/\text{m}^3$ και $1,174 \$/\text{m}^3$ με αποτέλεσμα μέση αύξηση $81,9\%$. Μεταξύ των θερμικών μονάδων, η τάση είναι ότι η MED θα αντικαταστήσει την MSF ή θα ανταγωνιστεί την RO λόγω της διαθεσιμότητας ενέργειας χαμηλού κόστους και της αυξανόμενης ρύπανσης του νερού τροφοδοσίας. Οι μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας και νερού θα είναι ελκυστικές στο μέλλον.

6.1.1.3 Θερμική συμπίεση ατμών (Vapor compression, VC)

Οι διεργασίες συμπίεσης ατμών είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και βασίζονται σε μια λειτουργία μειωμένης πίεσης για την προώθηση της εξάτμισης. Η θερμότητα για την εξάτμιση παρέχεται από τη συμπίεση του ατμού, είτε με μηχανικό συμπιεστή (μηχανική συμπίεση ατμών [MVC]) είτε με εκτοξευτή ατμού [θερμική συμπίεση ατμών (TVC)]. Η μηχανική συμπίεση ατμών έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στις μικρές και μεσαίες κλίμακες δυναμικότητας των εγκαταστάσεων και είναι εξαιρετικά δημοφιλής στις υβριδικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Η MVC εφαρμόζεται συχνά σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας ως ένας τρόπος αύξησης της ενεργειακής απόδοσης. Οι μονάδες MVC συνήθως κυμαίνονται σε μέγεθος μέχρι περίπου $3000\text{m}^3/\text{ημέρα}$, ενώ οι μονάδες TVC μπορεί να κυμαίνονται σε μέγεθος έως $20.000\text{m}^3/\text{ημέρα}$. Τα συστήματα MVC έχουν γενικά μόνο μία βαθμίδα, ενώ τα συστήματα TVC έχουν πολλές βαθμίδες (IAEA, 2015).

Η θερμική αφαλάτωση όπως η MSF, η MED και η VC είναι ενεργοβόρες διεργασίες, ιδίως σε περιοχές με υψηλότερα επίπεδα αλατότητας του νερού, όπως στη Μέση Ανατολή και στις χώρες του GCC ($35\text{-}45 \text{ g/L}$) που χαρακτηρίζονται από άφθονη ηλιακή ενέργεια- η τυπική ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 2200 έως 2400 kWh/m^2 ετησίως (N. Ghaffour, 2014). Η ηλιακή θερμική αφαλάτωση αποτελείται από δύο ξεχωριστές συσκευές του εμπορικού ηλιοθερμικού συλλέκτη και της μονάδας αφαλάτωσης. Ο ηλιακός συλλέκτης μπορεί να είναι

επίπεδης πλάκας, εκκενωμένος σωλήνας ή ηλιακός συγκεντρωτής και μπορεί να συνδυαστεί με οποιονδήποτε από τους τύπους θερμικών διεργασιών αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν την αρχή της εξάτμισης και της συμπύκνωσης, όπως οι MSF, VC, MED και MD.

6.1.2 Τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής θερμότητας

Σε σύγκριση με άλλες πηγές ΑΠΕ, το τεράστιο όφελος της γεωθερμίας επιλογή είναι ότι παρέχει σταθερή και σταθερή ενέργεια. Αντίθετα, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια είναι διαλείπουσα, έτσι ώστε να απαιτούν τεχνικά περισσότερο πολύπλοκες συσκευές σύλληψης και δαπανηρές συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες επιπλέον είναι περιορισμένες σε μέγεθος, έτσι ώστε να παρεμποδίζεται η κλιμάκωση μεγάλων μονάδων. Όλες αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις δεν υπάρχουν στην επιλογή της γεωθερμίας. Η γεωθερμική θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία συμβατικών ώριμων και οικονομικά αποδεδειγμένων τεχνολογιών, όπως η MSF και η MED, ή τεχνολογίες που βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη, όπως η MD. Η γεωθερμική θερμότητα μπορεί να τροφοδοτήσει εγκαταστάσεις MSF (θερμοκρασία λειτουργίας: στους 90-110°) εφαρμόζοντας εναλλάκτη θερμότητας υγρού-υγρού. Επιπλέον, η χρήση της γεωθερμικής θερμότητας με την τεχνολογία MED έχει το πλεονέκτημα ότι η θερμοκρασία λειτουργίας είναι μικρότερη των 70° και επομένως χαμηλότερη από εκείνη των MSF. Σε αντίθεση με την ηλιακή θερμότητα που χρησιμοποιείται για συστήματα MED και MSF οι μονάδες της οποίας περιορίζονται σε μικρότερες των 100 m³/ημέρα, δεδομένου ότι το μέγεθος των ηλιακών λιμνών είναι οικονομικά περιορισμένο, ή η αποθήκευση θερμότητας είναι ακριβή και τεχνικά περιορισμένη σε μέγεθος, η χρήση της γεωθερμίας δεν συνεπάγεται τέτοιους περιορισμούς στο μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης. Επομένως, η γεωθερμία μπορεί να αποτελέσει δυνητική επιλογή (φυσικά ανάλογα με το γεωθερμικό δυναμικό της συγκεκριμένης περιοχής) για μικρής κλίμακας (<10 m³/ημέρα), μεσαίας κλίμακας (10-1000 m³/ημέρα) και μεγάλης κλίμακας (>1000 m³/ημέρα, οι σημερινές μεγαλύτερες έχουν παραγωγικότητα περίπου ένα εκατομμύριο m³/ημέρα) (N. Ghaffour, 2013). Η παροχή γεωθερμικής θερμότητας χαμηλού κόστους για την τροφοδοσία των μονάδων MSF και MED καθιστά τα θέματα ιδιαίτερα ανταγωνιστικά σε σχέση με τις τεχνολογίες RO και ED που απαιτούν λιγότερη ενέργεια. Σε μια μελέτη σκοπιμότητας, χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό MED/βρασμού (MED ή MEB) και MSF ("multi-flash with heaters", MFWH) και έδειξαν ότι, για τις συνθήκες της πολιτείας Baja California (Μεξικό), όπου συναντάται παράκτιο γεωθερμικό νερό 80 °C, απαιτούνται 14 m³ γεωθερμικού νερού για την αφαλάτωση 1 m³ θαλασσινού νερού, γεγονός που δείχνει οικονομικές δυνατότητες (Rodriguez, 1996). Σε μια άλλη μελέτη στην ίδια γεωγραφική περιοχή, οι (Gutiérrez, 2010) αξιολόγησαν το παράκτιο γεωθερμικό δυναμικό στη La Joya και αξιολόγησαν τις επιλογές για γεωθερμική αφαλάτωση θαλασσινού νερού με MSF και MED. Οι συγγραφείς σχεδίασαν και δοκίμασαν στο εργαστήριο μια πρότυπη μονάδα γεωθερμικής αφαλάτωσης στην οποία όλοι οι θάλαμοι θερμαίνονταν. Η εφαρμογή 118 m³ γεωθερμικού υπόγειου νερού στους 80 °C ήταν ικανή να αφαλατώσει 20 m³/ημέρα. Η Sephton Water Technology ανέπτυξε ένα πιλοτικό έργο για την προσομοίωση των συνθηκών διεργασίας για ένα έργο με σκοπό την επίδειξη της βιωσιμότητάς του σε εμπορικές συνθήκες. Χρησιμοποίησαν θερμότητα (μη εμπορικός ατμός χαμηλής πίεσης- θερμοκρασία: 100 °C) από ένα γεωθερμικό σταθμό παραγωγής ενέργειας για τη μείωση της αλατότητας της Salton Sea με τη χρήση μονάδας MED στην οποία εφαρμόστηκε μια διαδικασία απόσταξης με κατακόρυφο εξατμιστήρα σωλήνων για γεωθερμική αφαλάτωση [138,139]. Η παραγωγή γλυκού νερού της πιλοτικής μονάδας (αποτελέσματα MED/VTE 2) και της μονάδας επίδειξης (αποτελέσματα MED/VTW 15) ήταν 18,9 και 79,5 m³/ημέρα, αντίστοιχα, και οι αντίστοιχες καταναλώσεις ήταν 454 και 3402 kg/h (SWT, 2012).

Η περιοχή του Αιγαίου (Ελλάδα, Τουρκία) είναι πολύ πλούσια σε γεωθερμική πηγές. Υπάρχουν πολλά μικρά νησιά που εξαρτώνται από ακριβές εισαγωγές νερού, ιδίως κατά την τουριστική περίοδο. Παρά τη γενναιοδωρία των γεωθερμικών πόρων, η επιλογή της γεωθερμικής αφαλάτωσης βιομηχανικής κλίμακας δεν έχει εξεταστεί σοβαρά μέχρι σήμερα. Υπάρχει μόνο μία μονάδα γεωθερμικής αφαλάτωσης σε πιλοτική κλίμακα (MED, 2 στάδια) που εγκαταστάθηκε το 2000 στη νήσο Κίμωλο. Η μονάδα παράγει 80 m³/ημέρα γλυκό νερό χρησιμοποιώντας 1440 m³/ημέρα γεωθερμικό νερό θερμοκρασίας 60-61 °C που αντλείται σε ρηχό βάθος 188 m (EGEC, 2007). Μια μελέτη σκοπιμότητας από τη δεκαετία του 1990 στο νησί της Μήλου βρήκε επίσης πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα, αλλά μέχρι στιγμής δεν έχει ακόμη οδηγήσει στην εγκατάσταση μιας μονάδας γεωθερμικής αφαλάτωσης. Η μελέτη εντόπισε τη διαθεσιμότητα σε 12.840 m³/ημέρα (χρησιμοποιώντας 7 γεωτρήσεις παραγωγής) γεωθερμικού νερού σε θερμοκρασίες 55-98 °C σε μικρά βάθη (85-184 m) και πρότεινε την κατασκευή μιας γεωθερμικής μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με δυναμικότητα 75-80 m³/ημέρα γλυκού νερού (C. Karytsas, 2004), ωστόσο το προσδιορισμένο γεωθερμικό δυναμικό θα μπορούσε να παρέχει θερμότητα σε πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες. Σε παρόμοια μελέτη στη Μήλο χρησιμοποιήθηκαν τόσο η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας όσο και η ενέργεια που βασίζεται στο ηλιακό φως, (οπότε το πλαίσιο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως υβριδικό σύστημα), το όριο αυτής της μονάδας είναι περίπου 80 m³/h και η μονάδα απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων (MED) χρησιμοποιήθηκε για την αφαλάτωση. Αυτή η μονάδα δημιούργησε ισχύ 470 KW χρησιμοποιώντας μονάδα ORC (οργανικός κύκλος Rankine) και η θερμική ικανότητα του ORC είναι 7%. Το κόστος του γλυκού νερού που παράγεται ανά μονάδα είναι περίπου 2 US \$ m³ (Loutatidou S., 2015). Άλλες παρόμοιες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στο Σουσάκι Κορίνθου, όπου η εγκατάσταση μιας μονάδας MED/MSF και η χρήση γεωθερμικών πόρων χαμηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να παράγει περίπου 225 m³/ημέρα και στο νησί Νίσυρος όπου η γεωθερμική ενέργεια ήταν ικανή να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του νησιού σε γλυκό νερό και να παράγει σχεδόν 700m³ ετησίως, περισσότερο πόσιμο νερό το οποίο θα αποθηκεύεται και θα χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται (C.J. Koroneos, 2007). Το κόστος του παραγόμενου γλυκού νερού, συμπεριλαμβανομένου του κόστους της μονάδας, κυμαίνεται από 0,65 δολάρια ΗΠΑ στη Θάλασσα Salton (SWT, 2012) έως 1,5-2 δολάρια ΗΠΑ για τα νησιά του Αιγαίου (C. Karytsas, 2004). Αυτοί οι αριθμοί αποδεικνύουν την οικονομική βιωσιμότητα της γεωθερμικής αφαλάτωσης σε περιπτώσεις όπου η γεωθερμική ενέργεια είναι πρακτικά δωρεάν (μη εμπορικός γεωθερμικός απόβλητος ατμός στη μονάδα Salton Sea) ή όπου το γεωθερμικό νερό μπορεί να αξιοποιηθεί σε μικρό βάθος, όπως στις περιπτώσεις των νησιών Κίμωλος και Μήλος.

6.1.3 Υγραντήρας πολλαπλών επιδράσεων (Multieffect humidification,MEH)

Οι διεργασίες πολυεπίπεδης εφυγρανσης βασίζονται στη θερμικά καθοδηγούμενη εξάτμιση του νερού, παρόμοια με τις MSF και MED, με τη διαφορά ότι το εξατμιζόμενο νερό δεν επεξεργάζεται ως καθαρός ατμός ή ατμός, αλλά χρησιμοποιείται για την ύγρανση ενός ρεύματος διεργασιακού αερίου(συνήθως αέρα). Οι διεργασίες ύγρανσης είναι συνήθως σχεδιασμένες να λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, επιτρέποντάς τους να χρησιμοποιούν θερμότητα από την παροχή ή την απορριπτόμενη θερμότητα. Η ύγρανση πολλαπλών επιδράσεων (MEH) αποτελείται από έναν εξατμιστή όπου ο αέρας υγραίνεται και έναν συμπυκνωτή όπου ανακτάται αποσταγμένο νερό. Η διεργασία πραγματοποιείται υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες μέσω ενός βρόχου αέρα που είναι κορεσμένος με υδρατμούς. Η MEH έχει διερευνηθεί σε πολλές χώρες και η απόδοσή της έχει βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η απόδοση ενός πιλοτικού ηλιακού συστήματος αφαλάτωσης με υγρασία

πολλαπλών επιδράσεων (ΜΕΗ) στη Fuerteventura, στις Καναρίους Νήσους, μετρήθηκε και αναλύθηκε λεπτομερώς από το 1992 από τη ΖΑΕ Bayern. Η μέση ημερήσια παραγωγή των 11,8L/m²ημέρα έχει επιτευχθεί από τα συστήματα σε ένα λόγο παραγωγής κέρδους από 3 έως 4,5. Η μέση τιμή της ειδικής ζήτησης θερμικής ενέργειας για την παραγωγή αποστάγματος, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών θερμότητας, ήταν 140 έως 180 kWh/m³ αποστάγματος. Η τιμή αυτή πρέπει να συγκριθεί αφενός με την ειδική λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης 690kWh/m³ και αφετέρου με την 20 φορές χαμηλότερη δυνατή απαίτηση θερμικής ενέργειας με αντιστρεπτή διεργασία (Carnot) για την απόσταξη αλμυρού νερού (περιεκτικότητα σε αλάτι 3,5%) 5,4kWh/m³. Στις συζητήσεις σχετικά με την οικονομικά και τεχνικά βέλτιστη κατάσταση λειτουργίας, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η ενεργειακή βελτιστοποίηση της διαδικασίας αλλά και η αναλογία μεταξύ της τιμής της μονάδας απόσταξης και των άλλων στοιχείων του συστήματος (E.S. Mohamed, 2015).

6.2 Θερμική αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας με βάση τον ωκεανό

Η απόσταξη χαμηλής θερμοκρασίας θεωρείται ως ένα από τα πολλά υποσχόμενα συστήματα αφαλάτωσης. Η διεργασία αυτή (low temperature thermal desalination, LTTD) χρησιμοποιεί τη βαθμίδα θερμοκρασίας μεταξύ δύο υδάτινων σωμάτων για την εξάτμιση του θερμότερου νερού σε χαμηλές πιέσεις και τη συμπύκνωση του προκύπτοντος ατμού με τη χρήση του ψυχρότερου νερού για τη λήψη υψηλής ποιότητας γλυκού νερού. Η θερμική βαθμίδα μεταξύ των διαφόρων θαλάσσιων στρωμάτων των ωκεανών παρέχει τεράστια αποθέματα θερμού και ψυχρού νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την παραγωγή ενέργειας και την αφαλάτωση. Ένα από τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και με χαμηλή θερμοκρασιακή διαβάθμιση περίπου 8-10°C μεταξύ των δύο υδάτινων σωμάτων. Μια χερσαία μονάδα 100 m³/ημέρα ,θερμικής αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας με βάση τον ωκεανό (LTTD) , τέθηκε σε λειτουργία στο νησί Kavaratti στο Lakshadweep το 2005. Η μονάδα αυτή παρήγαγε συνεχώς γλυκό νερό για την κάλυψη των αναγκών της νησιωτικής κοινότητας σε πόσιμο νερό. Το νερό είναι εξαιρετικής ποιότητας και ανταποκρίνεται στην ποσότητα σχεδιασμού. Η μονάδα στεγάζεται σε ένα κτίσμα στην ακτή. Η βαθυμετρία του νησιού είναι τέτοια ώστε να υπάρχει νερό 10-12°C σε βάθος 350 μέτρων και σε απόσταση 450-400 μέτρων περίπου από την ακτή, η οποία αποτελεί την πηγή του κρύου νερού. Το επιφανειακό θαλασσινό νερό είναι διαθέσιμο στους 28-30°C, το οποίο αποτελεί την πηγή θερμού νερού. Αυτή η πρώτη εγκατάσταση έχει γίνει η κύρια πηγή πόσιμου νερού για τους κατοίκους του νησιού και η υγεία των κατοίκων έχει βελτιωθεί σημαντικά. Χώρες με μεγάλες ακτογραμμές όπως η Ινδία και αρκετά νησιά στην Αραβική Θάλασσα και άλλες θάλασσες δικαιολογούν ένα σοβαρό εγχείρημα για τη χρήση της τεχνολογίας LTTD για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε πόσιμο νερό των νησιωτικών και παράκτιων κοινοτήτων. Μερικές από τις σημαντικότερες προκλήσεις όσον αφορά το κόστος και την τεχνολογία μιας μονάδας LTTD με βάση τον ωκεανό είναι ότι απαιτεί σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου, κατασκευή μεγάλου μεγέθους πλατφόρμας για τη στέγαση των εξαρτημάτων της εγκατάστασης, την ανάπτυξη δεσμίδας μεγάλων διαστάσεων ψυχρού νερού και την ικανότητα να αντέχει σε σοβαρές συνθήκες θαλάσσιων κυμάτων. Οι λόγοι πίσω από την προτίμηση LTTD μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: (α) Μια μονάδα LTTD χρησιμοποιεί υψηλότερη ενέργεια για τη λειτουργία της σε σύγκριση με την τεχνολογία RO που βασίζεται σε μεμβράνες. Παρόλα αυτά, η LTTD είναι η προτιμώμενη τεχνολογία για τα κοραλλιογενή νησιά, καθώς είναι φιλική προς το περιβάλλον. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν διαταράσσει το θαλάσσιο οικοσύστημα, επειδή δεν υπάρχει απόρριψη διαλύματος άλμης στη θάλασσα. (β) Η LTTD δεν απαιτεί την αποθήκευση χημικών ουσιών στα νησιά, σε

αντίθεση με την RO.(γ) Η διαδικασία LTDD δεν απαιτεί εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό για τη λειτουργία της. (γ) Η LTDD είναι μια αυτόνομη τεχνολογία.

6.3 Μεμβράνες Αφαλάτωσης σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

6.3.1 Μεμβράνες Αφαλάτωσης Αντίστροφης ώσμωσης

1. Μεμβράνες Αφαλάτωσης Αντίστροφης ώσμωσης με αιολική ενέργεια

Οι ανεμογεννήτριες παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη της βιωσιμότητας σε πολλές χώρες. Το χαμηλό κόστος λειτουργίας τους, η υψηλή απόδοση και η διαθεσιμότητα ενέργειας, ιδίως για τις παράκτιες περιοχές, καθιστούν τις ανεμογεννήτριες μια επιτυχημένη και καθαρή επιλογή για την τροφοδοσία μονάδων RO, μειώνοντας τόσο το αποτύπωμα άνθρακα όσο και το κόστος παραγωγής νερού (Bilstad T, 2014). Πολυάριθμες μελέτες εξέτασαν το σχεδιασμό των αιολικών μονάδων RO και προ-έδειξαν διαφορετικές προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της μεταβλητής φύσης της αιολικής ενέργειας. Για τις άμεσα συνδεδεμένες μονάδες αιολικής ενέργειας-RO, η ανεμογεννήτρια συνδέεται με τη μονάδα μέσω ενός απομονωμένου ηλεκτρικού δικτύου. Η συχνότητα του δικτύου εξαρτάται από την ισχύ της ανεμογεννήτριας και το φορτίο της εγκατάστασης. Μια μείωση της συχνότητας του δικτύου υποδηλώνει χαμηλότερη ισχύ που παρέχει η ανεμογεννήτρια και το φορτίο της μονάδας RO πρέπει να μειωθεί ανάλογα. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της συχνότητας του δικτύου υποδηλώνει αύξηση της ισχύος της ανεμογεννήτριας, γεγονός που απαιτεί την ενεργοποίηση του συστήματος ελέγχου της κλίσης των πτερυγίων (Subiela VJ, 2004).

2. Ηλιακή-PV αφαλάτωση RO

Οι εγκαταστάσεις RO που λειτουργούν με ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) θεωρούνται πολλά υποσχόμενες για την παροχή γλυκού νερού σε απομονωμένες, άγονες και απομακρυσμένες περιοχές. Η επιτυχία των ηλιακών φωτοβολταϊκών ως κινητήριας δύναμης για μονάδες RO αποδίδεται σε τέσσερις παράγοντες. Πρώτον, η σπονδυλωτή δομή των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσφέρει τη δυνατότητα υλοποίησης με RO σε διαφορετικές κλίμακες και η χωρητικότητά τους μπορεί να αυξηθεί μετά την αρχική εγκατάσταση. Δεύτερον, τα φωτοβολταϊκά απαιτούν χαμηλή συντήρηση και προσφέρουν μεγάλη διάρκεια ζωής 20 ετών (Helal AM, 2008). Τρίτον, οι περιοχές που απαιτούν υψηλή κατανάλωση νερού έχουν συνήθως υψηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός που καθιστά τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατάλληλα για την εφαρμογή. Τέταρτον, η κάπως προβλέψιμη καμπύλη ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε σχήμα καμπάνας, σε σύγκριση με την τυχαία διακύμανση της αιολικής ενέργειας, καθιστά ευκολότερο τον προγραμματισμό της λειτουργίας της μονάδας κατά τη διάρκεια της ημέρας και τη χρήση αποθήκευσης νερού αντί αποθήκευσης ενέργειας για την κάλυψη της νυχτερινής ζήτησης. Πολλές μελέτες συζήτησαν τη σκοπιμότητα των συστημάτων PV-RO και πρότειναν διαφορετικές διαμορφώσεις που μπορούν να προσφέρουν υψηλή σκοπιμότητα. Οι (Mohamed ES, 2008) συνέκριναν την απόδοση μιας εγκατάστασης RO που χρησιμοποιεί μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας σε σχέση με μια άλλη εγκατάσταση που είναι απευθείας συνδεδεμένη με μια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Η άμεσα συνδεδεμένη μονάδα προσέφερε λιγότερη πολυπλοκότητα, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για μπαταρίες ή ελεγκτή φόρτισης. Η άμεσα συνδεδεμένη μονάδα PV-RO παρήγαγε νερό στην πιο ανταγωνιστική τιμή. Γενικά, τα συστήματα PV-RO βρέθηκαν να είναι

οικολογικά πιο εφικτά από τα συστήματα που λειτουργούν με ντίζελ, εφόσον υπάρχει επαρκής ηλιακή ενέργεια (Bilton AM, 2012). Η οικονομική σκοπιμότητα μιας μονάδας RO που λειτουργεί με οργανικό-ηλιακό κύκλο Rankine συγκρίθηκε με εκείνη ενός άμεσα συνδεδεμένου συστήματος PV-RO από τους (Manolakos D, 2008). Το κόστος παραγωγής νερού για το σύστημα PV-RO ήταν σημαντικά χαμηλότερο από εκείνο του οργανικού-ηλιακού συστήματος Rankine-RO, 7,77 €/m³ έναντι 12,53 €/m³.

3. Υβριδική αιολική- ηλιακή αφαλάτωση RO

Τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να βελτιώσουν τη σκοπιμότητα και σταθερότητα των ΑΠΕ που συνδυάζονται με την αντίστροφη ώσμωση, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα μιας ΑΠΕ για να ξεπεράσουν τις αδυναμίες των άλλων. Για παράδειγμα, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ηλιακή-PV για να επεκτείνουν τη διαθεσιμότητα της ενέργειας ώστε να συμπεριλάβουν τις νυχτερινές ώρες και τις ημέρες που υπερβαίνουν τις ημέρες, παρέχοντας πιο σταθερή παραγωγή (Rodríguez LG., 2004). Αυτό θα συμβάλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος και της οικονομικής σκοπιμότητας, καθώς θα παρέχει καλύτερη χρήση του κεφαλαίου που επενδύεται στη μονάδα ΑΠΕ (Abdelkareem MA, 2018).

Η επιλογή και η διαστασιολόγηση των υβριδικών στοιχείων ΑΠΕ δεν είναι απλή και επηρεάζει σημαντικά την οικονομική σκοπιμότητα. Η υπερδιαστασιολόγηση των εξαρτημάτων της για την αντιμετώπιση της διακοπτόμενης παροχής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε σπάταλη αύξηση του κόστους κεφαλαίου (Al-Rousan N, 2018). Η διαστασιολόγηση των υβριδικών μονάδων ΑΠΕ και RO θα πρέπει να βασίζεται στη βελτιστοποίηση του κόστους, καθώς το κόστος επένδυσης των ΑΠΕ εξακολουθεί να είναι υψηλό σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δικτύου (Mohamed ES, 2008). Η πλειονότητα των μελετών που εξετάζουν τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ-ΑΠΕ επικεντρώνονται στις θεωρητικές πτυχές της διαστασιολόγησης και της απόδοσης χωρίς να εξετάζουν την πρακτική λειτουργία. Για παράδειγμα, οι (Smaoui & Krichen, 2016) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας για μια μονάδα RO που τροφοδοτείται από μια υβριδική μονάδα ΑΠΕ που περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, μια κυψέλη καυσίμου και έναν ηλεκτρολύτη για την παροχή αποθήκευσης ενέργειας υδρογόνου. Ο αλγόριθμος ελέγχου βελτιστοποίησε τη λειτουργία της μονάδας με τη συμβολή της κυκλοφορίας της ενέργειας μεταξύ όλων των συστατικών. Παρομοίως, οι (Spryrou&Anagnostopoulos, 2010) λειτούργησαν μια μονάδα RO στην Ελλάδα από μια υβριδική ΑΠΕ που περιλάμβανε ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης. Η εγκατάσταση, βρέθηκε να είναι οικονομικά εφικτή, παρά το γεγονός ότι είχε υψηλή απόρριψη ενέργειας.

6.3.1.1 Κυματογενής αντίστροφη ώσμωση

Η αντίστροφη ώσμωσή προωθούμενη από την ενέργεια των κυμάτων θεωρείται εδώ και καιρό μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Δεν είναι μόνο ότι ο ενεργειακός πόρος είναι τεράστιος, αλλά είναι και πιο αξιόπιστος από τους περισσότερους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους - η ενέργεια των κυμάτων σε μια δεδομένη τοποθεσία είναι διαθέσιμη έως και 90% του χρόνου, ενώ η ηλιακή και η αιολική διαθεσιμότητα τείνουν να είναι διαθέσιμες μόνο στο 20%-30% του χρόνου. Τα συστήματα αφαλάτωσης RO που τροφοδοτούνται με κυματική ενέργεια βρίσκονται υπό μελέτη από διάφορες χώρες. Το Υπουργείο Επιστημών της Γης έχει επιδείξει το πρώτο σύστημα RO με κυματική ενέργεια στην Κεράλα, όπου το θαλασσινό νερό μετατράπηκε σε γλυκό νερό με τη χρήση συστήματος RO και η ενέργεια για την κίνησή του προήλθε από τα ωκεάνια κύματα.

Το σύστημα αυτό λειτούργησε για λίγα χρόνια για την εξυπηρέτηση της τοπικής αλιευτικής κοινότητας, αλλά αργότερα τέθηκε εκτός λειτουργίας. Παλιρροιακή ενέργεια και RO: Η παλιρροιακή ενέργεια έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ιδιαίτερα προβλέψιμη σε σύγκριση με την ηλιακή, την αιολική και την κυματική ενέργεια. Η κανονικότητα των παλιρροιών σε συνδυασμό με ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό συμβάλλει στο να καταστεί ελκυστική η ανάπτυξη της παλιρροιακής ενέργειας. Το συνολικό παγκόσμιο δυναμικό εκτιμάται ότι είναι περίπου 500-1000TWh/έτος, αν και μόνο ένα μέρος αυτής της ενέργειας είναι πιθανό να αξιοποιηθεί λόγω οικονομικών περιορισμών. Η αντίστροφη ώσμωση, η συμπίεση ατμών, η ηλεκτροδιάλυση και οι κύκλοι ψύξης- θήξης είναι οι πλέον κατάλληλοι υποψήφιοι για αφαλάτωση που έχουν διερευνηθεί για να συνδεθούν με την παλιρροιακή ενέργεια. Η κυματική και η παλιρροϊκή ενέργεια είναι επίσης κατάλληλες για τις παράκτιες περιοχές. Η πρώτη κυματική ενέργεια εμπορικής κλίμακας στον κόσμο εγκαταστάθηκε τελευταία στο Περθ της Αυστραλίας, συνδέθηκε με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιήθηκε για τη μονάδα αφαλάτωσης.

6.3.2 Ηλεκτροδιάλυση σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο δημοφιλής επιλογή για την ενσωμάτωση με ηλεκτροδιάλυση σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η γεωθερμία, η παλιρροϊκή, η ωκεάνια και η υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς είναι ευκολότερο να εγκατασταθούν για μικρές μονάδες σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Η τεχνολογία της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας αναπτύσσεται ραγδαία με πολλούς ερευνητές να εργάζονται για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους και τη μείωση του κόστους τους. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών έχει εκτοξευθεί από το 15% στο 20% τα τελευταία πέντε χρόνια και πρόκειται να αυξηθεί περαιτέρω (Crook and Mousavi, 2016). Επιπλέον, η μέση απόδοση της αιολικής ενέργειας κυμαίνεται από 35 έως 45% (Efficiency of Wind Energy, 2021). Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απίστευτα σημαντική για την αύξηση της βιωσιμότητας της παραγωγής γλυκού νερού. Καθώς η παγκόσμια ευαισθητοποίηση για τη βιωσιμότητα αυξάνεται και όσο το κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνεται, πρόκειται να διεξαχθούν περισσότερες έρευνες στον τομέα αυτό.

1. Διεργασία ηλεκτροδιάλυσης (ED) ενσωματωμένη με ηλιακή ενέργεια

Οι μονάδες αφαλάτωσης με βάση την ηλεκτροδιάλυση (ED) λειτουργούν πιο αποτελεσματικά σε όλο τον κόσμο, οι περισσότερες από αυτές είναι εγκατεστημένες στις Ηνωμένες Πολιτείες (περίπου 31%), περίπου 23% στα κράτη της Μέσης Ανατολής και περίπου 15% στην Ευρώπη (Abdelkareem, 2018). Η ενεργειακή απαίτηση στην ηλεκτροδιάλυση μειώνεται με την ενσωμάτωσή της με την ηλιακή ενέργεια, όπως η διαδικασία αφαλάτωσης PV-ED που χρησιμοποιείται συνήθως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Η χρήση της φωτοβολταϊκής (PV) ηλεκτροπαραγωγής για την ηλεκτροδιάλυση μελετάται ευρύτερα, καθώς μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική, η οποία αποτελεί την κινητήρια δύναμη. Η φωτοβολταϊκή ενέργεια σε συνδυασμό με την ED είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε απομακρυσμένες περιοχές όπου αφθονεί η ηλιακή ακτινοβολία και υπάρχει έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας και φθηνών καυσίμων. Οι περιοχές θα πρέπει επίσης να διαθέτουν άφθονο θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό για αφαλάτωση. Τυπικά, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θα περιλαμβάνει αρκετές ηλιακές κυψέλες, μπαταρίες, έναν ελεγκτή ή ρυθμιστή, ένα ηλεκτρικό φορτίο και έναν μετατροπέα για εναλλασσόμενο ρεύμα. Ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος, οι φωτοβολταϊκές μονάδες μπορούν να συνδεθούν παράλληλα ή/και σε σειρά. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού

πλασιού, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (συνεχές ρεύμα). Ο ελεγκτής ρυθμίζει την τάση και το ρεύμα και το σύστημα διαθέτει αισθητήρες τάσης και ρεύματος που βοηθούν στην παρακολούθηση της φωτοβολταϊκής παραγωγής.

Στην κοιλάδα Spencer του Μεξικού το 1986, εγκαταστάθηκαν μονάδες ηλεκτροδιάλυσης που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια και έχουν μέση δυναμικότητα 2,8 m³/ημέρα παραγωγής γλυκού νερού από υφάλμυρο νερό. Το νερό τροφοδοσίας εισόδου έχει αλατότητα 1000 ppm. Αυτή η μονάδα PV-ED καταναλώνει 0,82 kWh/m³ ενέργειας για την παραγωγή γλυκού νερού. Υπολογίζεται ένα κόστος νερού περίπου 16 \$/m³ για 2,8 m³/ημέρα (Henthorne and Boysen 2015). Το 1996, στο Νέο Μεξικό, η μονάδα ηλεκτροδιάλυσης λειτούργησε με τη χρήση ηλιακής ενέργειας. Η μονάδα αποτελούνταν από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία 2,3 kWp με αποθήκευση μπαταρίας 600 (Ah). Το νερό εισόδου είναι υφάλμυρο νερό με αλατότητα 900 ppm. Η μονάδα λειτούργησε με δυναμικότητα 18 m³/ημέρα για την οποία απαιτούνται 0,8 kWh/m³ ενέργειας. Η μεγαλύτερη ηλιακή μονάδα ηλεκτροδιάλυσης εγκαταστάθηκε στην πόλη Fukue της Ιαπωνίας το 1990 με ικανότητα παραγωγής γλυκού νερού 200 m³/ημέρα. Η μονάδα αποτελούνταν από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία 65 kWp με 1,2 Α-ώρες (Ah) αποθήκευσης. Η μονάδα αυτή καταναλώνει 0,6-1 kWh/m³ ειδικής ενέργειας για την παραγωγή γλυκού νερού (Al-Karaghoulis&Kazmerski, 2013).

2. Ηλεκτροδιάλυση με τη χρήση αιολικής ενέργειας

Οι διαθέσιμες μελέτες σχετικά με τις τεχνολογίες ηλεκτροδιάλυσης που λειτουργούν με ΑΠΕ είναι περιορισμένες και οι περισσότερες έχουν χρησιμοποιήσει την ηλιακή ενέργεια. Μέχρι σήμερα, οι έρευνες για τα συστήματα ED με αιολική ενέργεια χρησιμοποίησαν συστοιχίες μπαταριών μολύβδου-οξέος βαθύ κύκλου ή σφονδύλους για την αποθήκευση ή/και τη ρύθμιση της ενέργειας που λαμβάνεται από την αιολική πηγή πριν από την τροφοδότησή της στο σύστημα μεμβρανών. Αν και η χρήση ενδιάμεσων συσκευών αποθήκευσης ενέργειας διέπει αδιάλειπτες διαδικασίες αφαλάτωσης, τα συστήματα ηλεκτροδιάλυσης, έχουν συνήθως μειωμένη απόδοση, που συνδέεται με τις συνεχείς μετατροπές DC-AC-DC και τις απώλειες φόρτισης-εκφόρτισης, καθώς και αυξημένο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας. Αντ' αυτού, μια απλούστερη, αλλά ενεργειακά αποδοτικότερη και οικονομικότερη προσέγγιση θα ήταν η απευθείας σύζευξη της μεμβράνης με την ανεμογεννήτρια, επιτρέποντας στο σύστημα ED να λειτουργεί ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια. Με μια τέτοια διαμόρφωση το επιπλέον πόσιμο νερό που παράγεται κατά τη διάρκεια συνθηκών υψηλής ταχύτητας ανέμου θα μπορούσε να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζεται (δηλαδή κατά τη διάρκεια των συνθηκών χαμηλής ταχύτητας ανέμου) για να εξασφαλιστεί η κάλυψη της ζήτησης νερού.

Αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια ένα νέο, άμεσα συνδεδεμένο σύστημα αιολικής-ηλεκτροδιάλυσης (wind-ED) χωρίς αποθήκευση ενέργειας. Σκοπός ήταν η διεξαγωγή εργαστηριακών πειραμάτων, διερευνώντας την επίδραση της ταχύτητας του ανέμου (2-10 m/s), της έντασης της τύρβης (0-0,6 TI) και των περιόδων ταλάντωσης (0-180 s) στην απόδοση της αφαλάτωσης και την κατανάλωση ενέργειας. Το σύστημα παρήγαγε καλής ποιότητας πόσιμο νερό (< 600 mg/L NaCl) σε όλο το εύρος των παραμέτρων που δοκιμάστηκαν. Η παραγωγή νερού και η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκαν με την ταχύτητα του ανέμου, έως ότου και οι δύο παράμετροι σταθεροποιήθηκαν σε ταχύτητες ανέμου πάνω από την ονομαστική τιμή της ανεμογεννήτριας (vrated: 7,9-8,4 m/s). Ο αντίκτυπος των διακυμάνσεων της ταχύτητας του ανέμου στην απόδοση του συστήματος ήταν ασήμαντος μέχρι ένα TI 0,4 (δηλαδή μέτριες διακυμάνσεις). Η παραγωγή νερού μειώθηκε υπό υψηλές διακυμάνσεις της έντασης της τύρβης (TI ≥ 0,5) και μεγάλες περιόδους ταλάντωσης (> 40 s) (P.Malek, 2016). Η

κύρια πρόκληση στην άμεση σύνδεση της ED με την αιολική ενέργεια δεν ήταν το μέγεθος των διακυμάνσεων, αλλά ο αντίκτυπος της διακοπής της ισχύος κατά τη διάρκεια μεγάλων περιόδων ταλάντωσης και μακρών περιόδων απουσίας ανέμου. Είναι ενδιαφέρον ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας της διεργασίας παρέμεινε σχετικά ανεπηρέαστη από τις διακυμάνσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι το σύστημα αποτελεί μια ηλεκτρικά εύρωστη και αξιόπιστη τεχνική αφαλάτωσης εκτός δικτύου για απομακρυσμένες τοποθεσίες με προβλήματα νερού.

Η παρουσία συστημάτων αφαλάτωσης σε εγκαταστάσεις πολυπαραγωγής συνήθως περιορίζεται από σημαντικές δυσκολίες στη λειτουργία υπό μη σταθερά καθεστώτα που είναι τυπικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αντίστροφη ώσμωση, δηλαδή η πιο κοινή τεχνολογία αφαλάτωσης, χαρακτηρίζεται από αργή δυναμική που σπάνια προσαρμόζεται στις διακυμάνσεις ισχύος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης ηλεκτροδιάλυσης σε συνδυασμό με μια υβριδική πηγή ενέργειας φωτοβολταϊκών/αιολικής ενέργειας. Ειδικότερα, ο συνδυασμός φωτοβολταϊκής και αιολικής ενέργειας είναι πολύ ελκυστικός προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο σταθερή παραγωγή ενέργειας, ενώ η ηλεκτροδιάλυση υποστηρίζεται ότι είναι μια πιο ευέλικτη διαδικασία σε σύγκριση με την αντίστροφη ώσμωση. Στη μελέτη των (Antonino Campione, 2020) χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις σταθερής κατάστασης για τη μελέτη της ετήσιας λειτουργίας 4 μονάδων ηλεκτροδιάλυσης που λειτουργούν παράλληλα, αποδεικνύοντας την ευελιξία της διαδικασίας σε ένα ευρύ φάσμα παραγόμενων παροχών (από 920 έως 230 m³/d) και εισερχόμενης ισχύος (5-45 kW) κατά την παραγωγή πόσιμου νερού με σταθερή συγκέντρωση εξόδου NaCl 0,25 g/l. Υιοθετήθηκαν δυναμικές προσομοιώσεις για τη μελέτη της ημερήσιας χρονικής κλίμακας, όπου το σύστημα ελέγχου της μονάδας αφαλάτωσης, σκόπιμα σχεδιασμένο και ρυθμισμένο, ήταν σε θέση να διατηρήσει μια σχετικά σταθερή τιμή-στόχο παρουσία διαταραχών στη διαθεσιμότητα ισχύος, δηλαδή με διακύμανση της συγκέντρωσης εξόδου μικρότερη από ± 10%, μεταξύ 0,23 και 0,27 g/l . Ο σταθμός ήταν σε θέση να λειτουργήσει για το μεγαλύτερο μέρος του έτους, απενεργοποιούμενος σε ορισμένα σημεία κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η ακτινοβολία ήταν χαμηλή- έφτασε σε αθροιστική περίοδο λειτουργίας 5500 ώρες. Μοντελοποιήθηκε η διακύμανση της παραγωγής από φωτοβολταϊκά/αιολικά και διαπιστώθηκε ότι η ηλεκτροδιάλυση είναι κατάλληλη για σύζευξη με μη σταθερές πηγές ενέργειας. Επίσης, οι παροχές του προϊόντος μπορούν να κυμαίνονται από δεκάδες έως χιλιάδες m³/h, επομένως το σύστημα θα ήταν θεωρητικά κατάλληλο για τοπικές μονάδες μικρής κλίμακας και βιομηχανικές μονάδες. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτό το σύστημα πολυπαραγωγής χωρίς μπαταρίες μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή γλυκού νερού (A. Campione, 2020).

Η απόσταση με μεμβράνες (MD) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού υψηλής ποιότητας. Αυτή η διαδικασία είναι ένα υβρίδιο της θερμικά καθοδηγούμενης διαδικασίας αφαλάτωσης και της διαδικασίας διαχωρισμού με μεμβράνες, η οποία περιγράφεται ως διαμεμβρανική εξάτμιση. Η μικροπορώδης υδρόφοβη μεμβράνη είναι διαπερατή μόνο στη φάση των ατμών και διαχωρίζει τους καθαρούς υδρατμούς από το θερμό θαλάσσιο νερό. Η κινητήρια δύναμη για το διαχωρισμό είναι η διαφορά πίεσης ατμών κατά μήκος της μεμβράνης και όχι η συνολική πίεση. Εκτός αυτού, η MD μπορεί επίσης να είναι μια πολύ αποδοτική διαδικασία διαχωρισμού, ιδίως όταν στο σύστημα ενσωματώνεται εναλλακτική πηγή ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η γεωθερμική ενέργεια. Το σύστημα MD μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε χαμηλής ποιότητας απορριπτόμενη θερμότητα, καθιστώντας το ελκυστικό για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού και υγρών αποβλήτων, όπως θερμά απόβλητα βαφής.

6.4 Βιολογική αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού

Ο σχεδιασμός μεμβρανών αφαλάτωσης με καινοτόμο δομή θα μπορούσε να αναπτυχθεί από βιομηχανικά βιολογικά συστήματα μεταφοράς για αποτελεσματική απόδοση σε σχέση με την υπάρχουσα διαδικασία αφαλάτωσης με βάση τη διάχυση σε ζωντανούς οργανισμούς. Για παράδειγμα, η επιλεκτική διαπερατότητα του νερού που λαμβάνει χώρα στη διαμόρφωση καναλιού μεμβράνης υδατοπορίνης θα μπορούσε να διευκολύνει την καλύτερη απομάκρυνση αλάτων σε σχέση με το μηχανισμό διάχυσης, σχεδιάζοντας μεμβράνη αφαλάτωσης με την εν λόγω διαμόρφωση. Επιπλέον, ο βιολογικά εμπνευσμένος σχεδιασμός είναι μια άλλη προσέγγιση για τον δανεισμό μηχανισμών αφαλάτωσης από υπάρχοντα βιολογικά συστήματα.

6.4.1 Επιλογές βιολογικών υλικών μεμβρανών

Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι το πιο κρίσιμο εξάρτημα σε κάθε μονάδα αφαλάτωσης. Δυστυχώς, είναι επίσης το πιο ευάλωτο σε εσφαλμένο χειρισμό και ευάλωτο σε μηχανικές και περιβαλλοντικές ζημιές. Σε περιπτώσεις με ιδιαίτερα ευαίσθητο κόστος, το κόστος αντικατάστασης των μεμβρανών και μόνο μπορεί να καταστήσει την αφαλάτωση με βάση τις μεμβράνες ασύμφορη. Σε αυτό το πλαίσιο προκύπτει η ανάγκη για υλικά που μπορούν να κατασκευαστούν τοπικά σε μεμβράνες.

Τα κυτταρινικά παράγωγα, όπως οι οξικοί εστέρες, ήταν τα πρώτα που χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για αφαλάτωση με μεμβράνες. Η κυτταρίνη είναι το κύριο συστατικό των ανώτερων φυτικών κυττάρων και ένα από τα πιο άφθονα υλικά στη γη. Τυπικές πηγές κυτταρίνης περιλαμβάνουν τον χαρτοπολτό ξύλου, τις ίνες βαμβακιού και τα βαμβακερά λίντερς. Η κυτταρίνη μπορεί επίσης να ληφθεί από διάφορες φυτικές ίνες, όπως τα κολοκύθια ή τα στελέχη καλαμποκιού, τα περιβλήματα σόγιας, το ζαχαροκάλαμο μπαγάσα, φλοιός βρώμης, φλοιός ρυζιού, άχυρο σίτου, πολτός ζαχαρότευτλων, μπαμπού και ίνες όπως γιούτα, λινάρι και ραμί, (Hanna, 2001). Σε περίπτωση που προβλέπεται τοπική κατασκευή κυτταρινικών μεμβρανών, αυτή μπορεί να βασίζεται είτε σε ουσία πλούσια σε κυτταρίνη είτε σε οξική κυτταρίνη. Το βαμβάκι και τα απορρίμματα χαρτιού είναι παραδείγματα υλικών που μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε οξική κυτταρίνη.

Ένα άλλο υλικό που ικανοποιεί την απαίτηση της τοπικής διαθεσιμότητας και χρησιμότητας για αφαλάτωσης είναι η χιτοζάνη. Η χιτοζάνη είναι ένα βιοπολυμερές της Ν-ακετυλογλυκοζαμίνης, και μπορεί να παραχθεί από τη χιτίνη, η οποία είναι το κύριο συστατικό του εξωσκελετού των καρκινοειδών, όπως τα καβούρια, οι αστακοί και οι γαρίδες. Μεγάλες ποσότητες αυτών των υλικών συχνά απορρίπτονται ως απόβλητα. Υπολογίζεται ότι 60-80.000 τόνοι χιτίνης μπορεί να είναι διαθέσιμοι ετησίως από την παραγωγή γαρίδων μόνο στην Ινδία (Shetty, 2006). Η χιτοζάνη είναι η αποακετυλιωμένη μορφή της χιτίνης και χύνεται ευκολότερα σε ταινίες από τη χιτίνη. Οι Yang και Zall (1984) έριξαν μεμβράνες RO από χιτοζάνη διαλύοντάς το σε διάλυμα οξικού οξέος 2% και χτυπώντας το σε γυάλινη πλάκα για να σχηματίσουν μια διαφανή μεμβράνη άλατος χιτοζάνης.

Επίσης, το αλγινικό οξύ, ένα προϊόν φυκιών, έχει χρησιμοποιηθεί ως υλικό επικάλυψης για μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην απόσταξη μεμβρανών, καθώς και σε συνδυασμό με χιτοζάνη για μεμβράνες διήθησης και αντίστροφης ώσμωσης. Σε μια μελέτη, ένα 6% υδατικό αλγινικό νάτριο χυτεύτηκε σε γυάλινη πλάκα και ξηράνθηκε. Στη συνέχεια, διασυνδέθηκε μέσω εμβάπτισης σε διάλυμα νιτρικού χαλκού για να σχηματιστεί σύμπλοκο μεμβράνης χαλκού-αλγινικού. Η προκύπτουσα μεμβράνη παρουσίασε ροή περίπου 3 LMH και απόρριψη

περίπου 78% στα 882 psi όταν χρησιμοποιήθηκε για την αφαλάτωση ενός χλωριούχου νατρίου διαλύματος 0,05 M (0,3%) (Kim et al. 1987).

Η δυνατότητα χρήσης φυσικών ορυκτών και υλικών τύπου αργίλου έχει επίσης διερευνηθεί. Οι άργιλοι είναι γνωστό ότι παρουσιάζουν ιδιότητες απόρριψης αλάτων. Για παράδειγμα, 0,5 mm πάχους μοντμοριλλονίτη αναφέρθηκε ότι οι μεμβράνες χλωριούχου νατρίου είχαν απόρριψη χλωριούχου νατρίου σε ποσοστό 90,3% σε συγκεντρώσεις αλάτων 1 mM (Ishiguro et al. 1995).

Μια άλλη οδός για την κατασκευή μεμβρανών τοπικά είναι η "δυναμική" διαμόρφωσή τους. Σε αυτή την προσέγγιση, ένας πορώδης φορέας εμποτίζεται με ένα ανόργανο ή οργανικό κολλοειδές διάλυμα. Το κολλοειδές διάλυμα αποκλείει εν μέρει τους πόρους, επιτρέποντας τη λειτουργία του ως ημιπερατό φράγμα. Οι μεμβράνες που παράγονται με αυτόν τον τρόπο καλύπτουν το φάσμα εφαρμογών από τη μικροδιήθηση έως την αντίστροφη ώσμωση. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των μεμβρανών είναι η ικανότητά τους να διαμορφώνονται επί τόπου και να αναγεννώνται κατά βούληση, επιτρέποντας στο χρήστη ευελιξία στη συντήρηση. Πολλά υλικά, όπως το υδροξείδιο του σιδήρου και άλλα ανόργανα υδροξείδια, μπεντονίτης, χουμικό οξύ, λεπτοαλεσμένες ρητίνες ιοντοανταλλαγής, πολυακρυλικό οξύ και πολυβινυλοπυριδίνη, έχει αποδειχθεί ότι σχηματίζουν δυναμικές μεμβράνες με ποικίλα άλατα ιδιότητες απόρριψης αλάτων και διαπερατότητα (Kraus, 1967).

6.4.2 Αφαλάτωση μέσω βιοδιεργασίας

Η βιοαφαλάτωση αποτελεί μια νέα ελκυστική βιώσιμη τεχνολογία, μετά τις πρόσφατες ανακαλύψεις στη βιοδιεργασία φυκιών. Κατά τη βιοδιεργασία αυτή παρατηρήθηκε ότι συγκεκριμένα είδη φυκιών αναπτύσσονται με γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης σε συνθήκες υψηλής αλατότητας και επιτυγχάνουν την αποτελεσματική απομάκρυνση αλάτων σε ποσοστό 50-67% από το αλατούχο νερό. Η αφαλάτωση με φύκια γίνεται κυρίως μέσω βιοαπορρόφησης και βιοσυσσώρευσης που διέπεται από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, π.χ. στέλεχος, θερμοκρασία, pH, φως και θρεπτικά συστατικά κ.λπ.

Το πεδίο εφαρμογής των μικροφυκών για τη διαδικασία αφαλάτωσης έχει αυξηθεί με την πρόσφατη ανακάλυψη της βιοεξέλιξης νέων και δυνητικών στελεχών μικροφυκών με σύντομο χρόνο διπλασιασμού ή γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης. Τα αλογόφιλα ως ταχέως αναπτυσσόμενα μικροφύκη είναι πολλά υποσχόμενα για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ή της άλμης, καθώς θα μπορούσαν να ανεχθούν υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και καταναλώνοντας αυτά τα άλατα ως θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους (Cai et al., 2016, Dogaris et al., 2019, Dahlin et al., 2019).

Οι (A. El-Sayed, 2010) αξιολόγησαν την ανάπτυξη του στελέχους *Scenedesmus* και ανέφεραν ότι αναπτύσσονται ευνοϊκά και ολοκληρώνουν τον κύκλο ζωής τους ακόμη και υπό πλήρες επίπεδο αλατότητας (35 g/L) και ως επί το πλείστον αφαιρούν τουλάχιστον το 25% του συνολικού αλατιού. Επίσης τα είδη φυκιών *Duckweed* παρατηρήθηκαν σε λίμνες συγκράτησης ότι ανέχονται την χαμηλή συγκέντρωση αλατότητας αλλά και δύνανται να προσαρμόζονται με την πάροδο του χρόνου στην υψηλή αλατότητα. Μετά από πειράματα έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν έως και 25% την αλατότητα του νερού ανεξάρτητα από την αρχική αλατότητα (M.A. Khan, 2006). Σε άλλη μελέτη, το στέλεχος *S. obliquus* αναπτύχθηκε σε διαφορετικές αλατότητες. Καθώς αυξανόταν η αλατότητα του νερού, ο ρυθμός αφαλάτωσης και η απομάκρυνση του NaCl αυξάνονταν σημαντικά. Καταγράφηκε απομάκρυνση αλατότητας έως και 30% μετά από 16 ημέρες επώασης. Επίσης μία άλλη μελέτη ανέφερε παρόμοια απορρόφηση κατιόντων σε αλατότητα έως και 25

χρησιμοποιώντας το *S. obliquus* (Z. Yao, 2013). Η μείωση του Na^+ έφθασε σε βέλτιστα επίπεδα (6,62 mg/L) σε ανθρακική αλκαλικότητα 35 mmol/L. Η καταπόνηση αλατότητας εντάθηκε με την αύξηση των συγκεντρώσεων Na^+ για το *S. obliquus*, ενώ μειώθηκε σημαντικά με υψηλότερες συγκεντρώσεις K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} .

Μια ομάδα ερευνητών αξιολόγησε τη χρήση κυανοβακτηρίων για την απομάκρυνση χλωριούχου νατρίου από το θαλασσινό νερό. Δύο στελέχη ευρυαλώνιων, ένα από το γλυκό νερό (*Synechocystis* sp. Strain PCC 6803) και ένα θαλάσσιας προέλευσης (*Synechococcus* sp. Strain PCC 7002) αναγνωρίστηκαν ως πιθανοί υποψήφιοι. Οι γενετικές τροποποιήσεις αύξησαν την ικανότητα βιοσυσσώρευσης Cl^- και στα δύο στελέχη (S. Panwichian, 2010)

Μια μελέτη πιλοτικής κλίμακας διεξήχθη στην Αίγυπτο για την αξιολόγηση της χρήσης λιμνών με φύκια στην αφαλάτωση άλμης (E.N.M.H. A., 2014). Τα φύκια *Scenedesmus* sp αναπτύχθηκαν υπό αλατούχες συνθήκες και στη συνέχεια εισήχθησαν σε μια αλατούχα λεκάνη με ρυθμό 0,4 L/λεκάνη/δρομή, ενώ το μέσο ανάπτυξης (BG-11) παρεχόταν με ρυθμό 0,1 L/λεκάνη/δρομή. Ο όγκος της λεκάνης δεν αναφερόταν στο άρθρο- ωστόσο, εκτιμήθηκε σε 420 l με βάση την ανάλυση της εικόνας που παρουσιάζεται στο άρθρο. Η συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών στη δεξαμενή κυμαινόταν από 40 g/L έως 80 g/L. Αναφέρθηκε ότι το σύστημα επιτυγχάνει υψηλή απομάκρυνση για αλατότητα μεταξύ 13% (για την πρώτη ημέρα) και 63% (για την έκτη ημέρα) και ότι η απόδοση απομάκρυνσης αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας.

Τα αλογόφιλα φύκη είναι επίσης φυτά που ανέχονται και μάλιστα ευδοκούν σε πολύ αλατούχα νερά. Εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 3.600 είδη αλοφυτικών φυτών σε όλη τη γη (Yensen 2006). Σε μία μελέτη των (EndalkachewSahle-Demessie, 2019) αλογόφιλα φύκη (*Scenedesmus* sp. και *Chlorella vulgaris*) αναπτύχθηκαν σε φωτοβιοαντιδραστήρα (PBR) υπό προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες για τη δέσμευση αλάτων NaCl από υφάλμυρο και θαλασσινό νερό και αξιολογήθηκε η πιθανή χρήση τους για βιολογική αφαλάτωση. Τα συγκεκριμένα αλοφυτικά φύκη που επιλέχθηκαν για μελέτες πιλοτικής κλίμακας αντιπροσωπεύουν μια πολλά υποσχόμενη νέα μέθοδο για την αφαλάτωση υφάλμυρων υδάτων. Αν και, για πόσιμο νερό δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί πλήρης αφαλάτωση, η συγκεκριμένη πλατφόρμα μπορεί να χρησιμεύσει ως αποτελεσματική προεπεξεργασία για την αντίστροφη όσμωση για τη βελτίωση της ενεργειακής της ζήτησης, του ποσοστού ανάκτησης, άρα και του συνολικού κόστους επεξεργασίας. Οι αλοφυτικές τεχνολογίες σε συνδυασμό με τη δυνητική χρήση των φυκών για βιοκαύσιμα, η οποία αντισταθμίζει τη ζήτηση ενέργειας, μπορούν να παρέχουν μια βιώσιμη λύση για καθαρό, ποσιτό νερό και ενέργεια.

7.

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως βασικό στόχο την ανάδειξη των προβλημάτων στο τομέα της παραγωγής ασφαλούς πόσιμου νερού σε μια μεγάλη μερίδα πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε απομακρυσμένες περιοχές και την πρόταση βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας του νερού για τη συγκεκριμένη μερίδα του πληθυσμού.

Αναφορικά με την κατάσταση των αναπτυσσόμενων χωρών, τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση που προηγήθηκε, συνοψίζονται ως εξής:

- Οι παρούσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού έχουν μεγάλο οικολογικό αποτύπωμα και λειτουργικό κόστος, καθιστώντας τη διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε απομακρυσμένες περιοχές σχεδόν αδύνατη, λόγω έλλειψης οικονομικών πόρων ή/και υποδομών.
- Αρκετές περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό στερούνται δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης των λειτουργικών εξόδων ώστε να υλοποιηθούν αποτελεσματικές στρατηγικές παροχής πόσιμου νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες και απομακρυσμένες περιοχές.
- Η κατανάλωση ακατάλληλου νερού οδηγεί σε δραματικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Η παροχή οικονομικά προσιτού και ασφαλούς πόσιμου νερού βελτιώνει τη ποιότητας ζωής οδηγώντας, στην ενίσχυση της παραγωγικότητας, τις εκπαιδευτικές ευκαιρίες και την οικονομική ευημερία γεγονός που μακροπρόθεσμα μπορεί να προσφέρει οφέλη σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Οι βιώσιμες τεχνολογίες επεξεργασίας του νερού επιτυγχάνουν το στόχο τους όταν παράγεται νερό αποδεκτής ποιότητας χωρίς την ανάγκη υπερβολικών ποσοτήτων ενέργειας, χημικών και ακριβού εξοπλισμού/τεχνολογίας, παρέχοντας ασφαλές και οικονομικά προσιτό πόσιμο νερό όπου χρειάζεται.

Σχετικά με τη διερεύνηση βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας νερού που να παράγουν κατάλληλο ποιοτικά νερό σε προσιτή τιμή και με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον από τις μεθόδους που εξετάστηκαν στα παραπάνω κεφάλαια προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Ως προς τις μεθόδους επεξεργασίας με ηλιακή ενέργεια:

- Οι μέθοδοι επεξεργασίας νερού με ηλιακή ενέργεια είναι πιο κατάλληλες για απομακρυσμένες, ηλιόλουστες, ορεινές περιοχές, όπου δεν υπάρχουν υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας και η εξάρτηση από τα καυσόξυλα δεν είναι εφικτή λόγω του άγονου και ερημικού τοπίου. Είναι αρκετά αποτελεσματικές και έχουν καλύτερη εφαρμογή σε ατομική ή οικογενειακή χρήση διότι παράγουν μικρές ποσότητες νερού με χαμηλή ροή και εξαρτώνται από τις καιρικές μεταβολές, θερμοκρασία περιβάλλοντος σύννεφα, αέρας. Είναι όμως τεχνολογίες που γίνονται εύκολα αποδεκτές διότι είναι εύκολες στη χρήση.

- Η ηλιακή παστερίωση είναι μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια από οποιαδήποτε άλλη ηλιακή τεχνολογία που αναφέρεται. Ωστόσο, παρόμοια με την ηλιακή απόσταξη και τα φίλτρα διήθησης κεραμικού δοχείου, ο όγκος που καθαρίζεται ανά μονάδα επιφάνειας είναι αρκετά χαμηλός.
- Η ηλιακή απόσταξη απαιτεί υψηλότερες ποσότητες ηλιακής ενέργειας για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους από ό,τι η ηλιακή παστερίωση. Λόγω του αργού ρυθμού εξάτμισης που παρατηρείται ακόμη και την πιο ιδανική ημέρα, η παραγωγή ανά τετραγωνικό μέτρο του αποστακτήρα είναι χαμηλή. Επίσης επειδή ο αποστακτήρας είναι καλυμμένος με γυαλί και μαζί με τα όποια ενσωματωμένα συστήματα (επίπεδης πλάκας, εκκενωμένου σωλήνα κλπ) τείνει να είναι μάλλον μεγάλου όγκου, το κόστος κεφαλαίου για την υλοποίηση μπορεί να είναι υψηλό. Το κόστος αυτό μπορεί βέβαια να αντισταθμιστεί από τη προσιτή ανά μονάδα λίτρου παραγωγή και να φέρει μια γρήγορη απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου. Επίσης σημαντικός είναι και ο κίνδυνος ζημίας της γυάλινης επιφάνειας ή των εξαρτημάτων (από ζώα, καιρικές συνθήκες και άλλα απρόβλεπτα γεγονότα). Η μόνη συντήρηση που απαιτεί ο ηλιακός αποστακτήρας είναι ο περιστασιακός καθαρισμός της λεκάνης από τους ρύπους και η απομάκρυνση της σκόνης που συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου και που θα παρεμποδίζει την αποτελεσματικότητα της λεκάνης. Ακόμη η χρήση νανορευστών στους ηλιακούς αποστακτήρες αυξάνει σημαντικά την αποδοτικότητα και την ημερήσια παραγωγικότητα του χωρίς να επηρεάζει σημαντικά το κόστος.

Σχετικά με τα φυσικά συστήματα διήθησης:

- Τα φίλτρα διήθησης αποτελούν μια αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία επεξεργασίας που αν και θεωρείται παρωχημένη στις αναπτυγμένες χώρες, καθίσταται ιδανική για τα πλαίσια των δυνατοτήτων των αναπτυσσόμενων χωρών. Βιολογικά φίλτρα άμμου χρησιμοποιούνται ευρέως για μικρές κοινοτικές παροχές νερού λόγω του χαμηλού κόστους, της αποτελεσματικότητας τους στην εξυγίανση του νερού αλλά και την ευκολία χρήσης και συντήρησής τους.
- Τα τροποποιημένα βιολογικά φίλτρα διήθησης, αποτελούν μια αναδυόμενη τεχνολογία επεξεργασίας νερού που βελτιώνουν την απόδοση επεξεργασίας προκειμένου να παρέχεται ασφαλές και προσιτό νερό για οικιακή χρήση. Οι έρευνες επί αυτών μένει να εφαρμοστούν και στο πεδίο ώστε να εξακριβωθεί η σίγουρη αποτελεσματικότητά τους και να δοθεί έμφαση στη περεταίρω έρευνα πάνω στο τομέα αυτό.
- Επίσης μονάδες φίλτρων υπό πίεση που παρουσιάστηκαν, αποτελούν εμπορικά προϊόντα έτοιμα για χρήση σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που να μπορούν να καλύψουν το κόστος των μονάδων αυτών και να προσαρμοστούν με την τεχνολογική ανάγκη παρακολούθησης και συντήρησής τους. Συνήθως τέτοιες μονάδες χρησιμοποιούνται ως μια προσπάθεια ανακούφισης σε πληγείσες από καιρικά φαινόμενα περιοχές και προσαρμόζονται στις συνθήκες έλλειψης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η διήθηση στις όχθες του ποταμού είναι μία από τις ευκολότερες στην εφαρμογή λόγω των σχετικά χαμηλών τεχνολογικών απαιτήσεων και της απλότητας της κατασκευής, της εκπαίδευσης και της λειτουργίας. Χρησιμοποιείται είτε ως προεπεξεργασία είτε ως πλήρη επεξεργασία για την παροχή πόσιμου νερού, ενώ οι απαιτήσεις σε ενέργεια και πόρους είναι συνήθως μικρότερες από ό,τι θα απαιτούνταν για τις συμβατικές

τεχνολογίες επεξεργασίας νερού. Επίσης είναι κατάλληλη για μικρές έως πολύ μεγάλες κοινότητες, ανάλογα με την τοποθεσία και τις συνθήκες του ποταμού και η υλοποίηση του έργου εξυπηρετεί για μακροχρόνιες εφαρμογές. Η διήθηση στις όχθες είναι καλύτερο να αναπτυχθεί σε περιοχές όπου πραγματοποιείται μεταφορά ιζημάτων. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων διήθησης στις όχθες (RBF) είναι οι χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια και πόρους, μικρή ή καθόλου παραγωγή ροών αποβλήτων, οι μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή και τη λειτουργία του συστήματος και η αυξημένη προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες παροχής νερού λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μερικές από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διήθηση στις όχθες των ποταμών είναι ο μετριασμός των δικαιωμάτων του νερού και οι νομικές περιπλοκές, η ανεξέλεγκτη απόρριψη ακατέργαστων βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων σε ποτάμια των αναπτυσσόμενων χωρών (π.χ. Ινδία) που απαιτούν ακόμη πιο εξειδικευμένη επεξεργασία, οι έντονες μεταβολές στις όχθες των ποταμών και η ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών.

Χρήση φυτικών υλών

- Η χρήση φυτικών υλών ως διηθητικά μέσα για το καθαρισμό του νερού παρέχει την επιστημονική βάση για μια μέθοδο χωρίς συνθετικά χημικά ή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση μόνο τοπικών διαθέσιμων φυσικών πόρων.
- Οι εξελίξεις και οι εφαρμογές της φυτοεξυγύανσης του νερού αναπτύσσονται όλο και περισσότερο και μεταξύ αυτών η χρήση του *Moringa oleifera* είναι η πιο διαδεδομένη. Το συγκεκριμένο είδος έχει δείξει πολύ αποτελεσματικές επεξεργαστικές ικανότητες στην εξυγίανση του νερού και αποτελεί ένα εύκολα καλλιεργήσιμο φυτό με γρήγορο ρυθμό βλάστησης που απαντάται φυσικά σε άγονες ή ημι-άγονες χώρες που εκτείνονται από τη Δυτική Σομαλία έως το Ισραήλ.
- Η χρήση σπόρων *Moringa* που ακολουθείται από διήθηση με βιολογική άμμο αποτελεί μία χαμηλού κόστους και βιώσιμη μέθοδο καθαρισμού επιφανειακών υδάτων, επίσης το εκχύλισμα των σπόρων μελετάται για τη δημιουργία λειτουργικών φίλτρων άμμου και έχει δείξει πολύ αποτελεσματικές αποδόσεις επεξεργασίας.
- Παρόλα αυτά στο συγκεκριμένο τομέα υπάρχει η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη των ερευνών και την ανάπτυξη παρόμοιων συστημάτων.

Μεμβράνες αφαλάτωσης

- Τέλος οι μεμβράνες αφαλάτωσης που συνδυάζονται με τοπικά διαθέσιμες πηγές ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) προτείνονται ως βιώσιμη τεχνολογία επεξεργασίας νερού σε κοινότητες απομακρυσμένων περιοχών που αντιμετωπίζουν ζητήματα έλλειψης νερού ή/και στερούνται την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό.
- Συνήθως οι μεμβράνες αφαλάτωσης προτείνονται ως τεχνολογία επεξεργασίας νερού σε αποκεντρωμένες περιοχές ανεπτυγμένων ή αναπτυσσόμενων χωρών που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν στο οικονομικό κόστος των εγκαταστάσεων και που η χρήση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στη τεχνολογία επεξεργασίας νερού παραμένει οικονομικά προσιτή.
- Συγκεκριμένα προτείνεται η θερμική αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας με βάση τον ωκεανό και η αντίστροφη ώσμωσή προωθούμενη από την ενέργεια των κυμάτων που

αφορά περιοχές με μεγάλες ακτογραμμές όπως η Ινδία και αρκετά νησιά στην Αραβική Θάλασσα και άλλες θάλασσες που να δικαιολογούν ένα σοβαρό εγχείρημα για τη χρήση της τεχνολογίας αυτής στην εξυπηρέτηση των αναγκών σε πόσιμο νερό των νησιωτικών και παράκτιων κοινοτήτων.

Βιβλιογραφία

- A. Campione, A. C. F. C. A. T. M. G. G. M., 2020. Coupling electro dialysis desalination with photovoltaic and wind energy systems for energy storage: dynamic simulations and control strategy. *nergy Convers. Manag.*, 216, p. 112940.
- A. El-Sayed, M. E.-F. E. A. E.-N., 2010. Immobilized microalga *Scenedesmus* sp. for biological desalination of Red Sea water: I. Effect on growth. *Nat. Sci.*, 8, pp. 69-76.
- A.A.S. Al-Gheethi, E. N. R. R. M. B. T. A. M. K. N. I., 2019. Disinfection Technologies for Household Greywater. *Springer International Publishing*.
- Abdalla F., S. M., 2009. Riverbank Filtration: Developing Countries Choice for Water Supply Treatment, Egypt Case.
- Abdelkareem MA, E. H. A. M. S. E. S. B., 2018. Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants. *Desalination*;435, pp. 97-113.
- Abubakar, I. R., 2021. Understanding the socioeconomic and environmental indicators of household water treatment in Nigeria. *Utilities Policy*, p. (70) 101209.
- Adejumo, M. E. M., 2013. USE OF MORINGA OLEIFERA (LAM.) SEED POWDER AS A COAGULANT FOR PURIFICATION OF WATER FROM. *European Scientific Journal vol.9, No.24*.
- Adelodun, B. A. F. I. R. B. H. C. K.-S., 2020. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries?. *Sci. Total Environ.*.
- Al-Karaghoul&Kazmerski, 2013. Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 24 , pp. 343-356.
- Al-Rousan N, I. N. D. M., 2018. Advances in solar photovoltaic tracking systems: a review. *Renew Sustain Energy Rev*;82, pp. 2548-69.
- Al-Shammiri, M. S., 1999. Multi-effect distillation plants: state of the art,. *Desalination* 126 (1), p. 45–59.
- Anon., 2011. SOLAR WATER DISINFECTION:. *Elimar F., Konersmann L.*.
- Antonino Campione, A. F. G., 2020. Coupling electro dialysis desalination with photovoltaic and wind energy systems for energy storage: Dynamic simulations and control strategy. *Energy Conversional Management* 126, p. 112940.
- Arnal J.M., G.-F. B. V. G. J., 2009. Ultrafiltration as an alternative membrane technology to obtain safe drinking water from surface water: 10 years of experience on the scope of the AQUAPOT project. *Desalination* 248, pp. 34-41.
- Arslan, M. X. B. G. E.-D. M., 2020a, 2020b. Transmission of SARS-CoV-2 via fecal-oral and aerosols–borne routes: environmental dynamics and implications for wastewater management in underprivileged societies.. *Sci. Total Environ*, 743(140709).

- B. Sizirici, I. Y. A. A. A. A. A. F. B. R. A., 2019. Modified biosand filters enriched with iron oxide coated gravel to remove chemical, organic and bacteriological contaminants. *Journal of Water Process Engineering*, pp. 110-119.
- Banu Sizirici, Y., 2016. Performance assessment of modified biosand filter with an extra disinfection layer. *Journal of Water Supply* 65 (3), pp. 266-276.
- Bauer, H., Koziarka, F. & Endisch, S., 2010. Wastewater Purification Plant by Means of Plants. U.S. Patent US7718062B2.
- Bilstad T, P. E. S. A. S. S. Y. I., 2014. Wind-powered RO desalination.. *Desalination Water Treat.* , pp. 1-5.
- Bilton AM, K. L. D. S., 2012. Photovoltaic reverse osmosis — feasibility and a pathway to develop technology. *Desalination Water Treat.*;31, pp. 24-34.
- Brame, M. L. Q. L. P. A., 2014. Trading oxidation power for efficiency: differential inhibition of photo-generated hydroxyl radicals versus singlet oxygen. *Water Res.* 60, p. 259–266.
- Buros, O., 2000. The ABCs of Desalting. *International Desalination Association, Topsfield, MA.*
- C. Karytsas, D. M. G. R., 2004. The current geothermal exploration and development of the geothermal field of Milos Island in Greece. *GHC Bull*, pp. 17-21.
- C.J. Koroneos, A. P. D. R. C., 2007. Combine Desalination — Cooling plant in Nisyros Island utilizing geothermal energy. *Proc 3rd IASME/WSEAS Int Conf, Agios Nikolaos.*
- C.S. Heilingloh, U. A. L. S. U. D. O. W. D. Y. X. Z. K. S. M. T. M. A. E. S. A. K., 2020. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *Am. J. Infect. Contro*, p. 1273–1275.
- Carielo da Silva, G. T. C. C. G. M. T., 2016. Solar pasteurizer for the microbiological decontamination of water. *Renewable Energy*, Τόμος 87, pp. 711-719.
- Casebier, K. W., 2020. Water Purification System for Storm Drain Channels.. *U.S. Patent US7686956B1.*
- Dickin, S. S.-W. C., 2014. Assessing changing vulnerability to dengue in northeastern Brazil using a water-associated disease index approach. . *Global Environ. Change*, Τόμος 29, pp. 155-164.
- Dsilva Winfred Rufuss, S. L. S. I. ., P. D. ., 2018. Effects of nanoparticle-enhanced phase change material (NPCM) on solar still productivity. *Journal of Cleaner Production (192)*, pp. 9-29.
- E.N.M.H. A., E. H. E. M., 2014. Desalination using algae ponds under nature Egyptian conditions. *J. Water Resour. Ocean Sci.*, 3, pp. 69-73.
- E.S. Mohamed, G. P., 2015. Advances of renewable energy powered desalination, in: *Handbook of Clean Energy Systems*,. pp. 1-10.
- EGEC, 2007. Geothermal Desalination, European Geothermal Energy Council.
- El Zanfaly, H., 2015. Water quality and health in Egyptian rural areas.. *J. Environ. Prot. Sustain. Dev.*, Τόμος 1, pp. 203-210.

- Elashmawy & Alshammari, F., 2020. Atmospheric water harvesting from low humid regions using tubular solar still powered by a parabolic concentrator system. *J. Clean. Prod.* 256, p. 1203229.
- Elimar F., K. L., 2011. SOLAR WATER DISINFECTION: FIELD TEST RESULTS AND IMPLEMENTATION CONCEPTS. In *30th ISES Biennial Solar World Congress, Kassel, Germany*.
- EndalkachewSahle-Demessie, A. H. A. B., 2019. Bio-desalination of brackish and seawater using halophytic algae. *Desalination* 465, pp. 104-113.
- Essa FA, A. W. M. S. A. A. O. Z., 2021. Enhancement of pyramid solar distiller performance using reflectors, cooling cycle, and dangled cords of wicks. p. 506:115019.
- Essa, F. E. A. A. S. R. A. A. M. E. M. S. K., 2020. Eco-friendly coffee-based colloid for performance augmentation of solar stills. *Process Saf. Environ. Protect*, pp. 259-267.
- Gong, S., 2016. Method for Removing Soil Arsenic Pollution by Interplanting Pteris Vittate. Chinese Patent CN105945042A.
- Gustafsson, O. , M. L. , G. S. , T. G. , Z. S. , B. A. , A. M. , S.-e.-R. K. , M. A., 2019. Scalable and sus- tainable total pathogen removal filter paper for point-of-use drinking water purification in Bangladesh. *ACS. ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Issue 17, pp. 14373-14383.
- Gutiérrez, S. E., 2010. Using low enthalpy geothermal resourcesto desalinate seawater and electrucity production on desert areas in Mexico,. *GHC Bull.*, pp. 19-24.
- H.T. El-Dessouky, H. E., 1999. Multiple-effect evaporation desalination systems, thermal analysis, *Desalination* 125 (1-3), pp. 259-276.
- Harp J.A., R. F. B. P. G. J., 1996. Effect of pasteurization on infec- tivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water and milk. *Appl. Environ. Microbiol*, pp. 62 (8) 2866-2868.
- Helal AM, A.-M. S. A.-K. E., 2008. Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates.. *Desalination*;221, pp. 1-16.
- Hodges B.C., E. C. J. K., 2018. Challenges and prospects of advanced oxidation water treatment processes using catalytic nanomaterials. *Nat. Nanotechnol.*, p. 642–650.
- Hogan, A. U. C. A.-O. A. P. P. N. N. H., 2014. Nanoparticles heat through light localization. *Nano Lett.* 14, p. 4640–4645.
- IAEA, 2015. Introduction of Nuclear Desalination, A Guide Book.
- Johnson, A. M. L. P. Y. V. D. W. H. X. P. K. K. K. S., 2019. A thermal model for predicting the performance of a solar still with Fresnel lens.. *Water*, pp. 11, 1860.
- K.A. Yongadi, D. L. P. H., 2010. Application of phytodisinfectants in water purification in rural Cameroon.
- K.G. McGuigan, R. C. H. M. M. d. P. E. U.-J. P. F.-I., 2012. Solar water disinfection (SODIS): a review from bench-top to roof-top. *J. Hazard. Mater*, pp. 235–236, 29–46.
- Kariwa, N. F. I. T., 2006. Inactivation of SARS coronavirus by means of povidone-iodine, physical conditions and chemical reagents. p. 119–123.

- Katekar, V. P. S. S., 2021. Techno-economic review of solar distillation systems: A closer look at the recent developments for commercialisation. *Journal of Cleaner Production*, p. vol294 136289.
- Kjellstrom, T. L. M. M. T. e. a., 2006. Air and water pollution: burden and strategies for control. In: Disease Control. *New York: Oxford University Press*.
- Kumar & Tiwari, 2009. Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still,. *Appl. Energy 86*, pp. 1995-2004.
- Kumar, G. T., 2009. Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still. *Appl. Energy 86 (10)*, pp. 1995-2004.
- Kumar, S., 2013. Thermal–economic analysis of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) ac- tive solar distillation system: role of carbon credit. *Urban Clim. 5*, p. 112–124.
- L. Groendijka, H. d. V., 2009. Development of a mobile water maker, a sustainable way to produce safe drinking water in developing countries. *Desalination 248 (2009)*, pp. 106-113.
- La Rosa, G. M. P. B. F. G. V. C. I. M. B. L. L. S. E., 2021. SARS-CoV-2 has been circulating in northern Italy since December 2019: evidence from environmental monitoring. . *Sci. Total Environ.*
- Lodder, W. d. R. H. A., 2020. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. *lancet. Gastroenterol. Hepatol*, 1253(30087).
- Loutatidou S., A., 2015. Techno-economic analysis of MED and RO desalination powered by low-enthalpy geothermal energy. *Desalination 365*, pp. 277-292.
- M. Castro-Alf´erez, M. P.-L. J. M. P. F.-I., 2017. Mechanistic model of the Escherichia coli inactivation by solar disinfection based on the photo-generation of internal ROS and the photo-inactivation of enzymes: CAT and SOD. *Chem. Eng. J.*, p. 214–223.
- M.A. Darwish, A. A., 2004. Technical comparison between TVC/MEB and MSF. *Desalination 170 (3)*, p. 223–239.
- M.A. Khan, D. W., 2006. Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants. *Springer Science & Business Media*.
- Manolakos D, M. E. K. I. P. G., 2008. Technical and economic comparison between PV-RO system and RO-Solar Rankine system. Case study: Thirasia island. *Desalination;221*, pp. 37-46.
- Masclaux, F. H. P. F. D. S.-B. D. O. A., 2013. High occurrence of hepatitis E virus in samples from wastewater treatment plants in Switzerland and comparison with other enteric viruses.. *Water Res.*, Issue 47, p. 5101–5109.
- Ma, Y. και συν., 2012. Method for Removing Nitrogen and Phosphorus in Water Body by Hydrilla Verticillate. Chinese Patent CN102311173A.
- McGuigan KG, C. R. M. H. d. P. M. U.-J. E., 2012. “Solar water disinfection (sodis): A review from bench-top to roof-top”. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 235-236:29-46.

- McGuigan KG, J. T. C. R. G. J. E.-M. M., 1998. "Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. *Journal of Applied Microbiology*,, pp. 84(6), 1138-1148.
- Meehan, K. , J. J. , C. N. , S. J. ,., 2020. *Geographies of insecure water access and the housing–water nexus in US cities*. Edited by William A. V. Clark, University of California, Los Angeles, CA: Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Modi, K. N. K. S. S., 2020. Influence of water mass on the performance of spherical basin solar still integrated with parabolic reflecto. *Groundw. Sustain. Dev*, pp. vol10, 100299.
- Mohamed ES, P. G. M. E. B. V. A., 2008. A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems — a technical and economical experimental comparative study. *Desalination*;221, pp. 17-22.
- Mu, L. και συν., 2019. Enhancing the performance of a single-basin single-slope solar still by using Fresnel lens: Experimental study. *J. Clean. Prod*, pp. 239, 118094.
- Mumuni, A., 2013. Use of moringa oleifera (lam.) seed powder as a coagulant for purification of water from unprotected sources in nigeria. *European Scientific Journal* 9, 9(24).
- Mussarat Saleem, R. T. B., 2019. A contemporary review on plant-based coagulants for applications. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (72), pp. 281-297.
- Mwabi, J., 2013. Removal of waterborne bacteria from surface water and groundwater by cost-effective household water treatment systems (HWTS): A sustainable solution for improving water quality in rural communities of Africa. *Water SA vol.39 no.4*.
- N. Ghaffour, S. L. T. M. K. N. S. S. G. A., 2014. Renewable energy-driven innovative energy-efficient desalination technologies, Appl.. *Appl. Energy* .
- N. Ghaffour, T. M. G. A., 2013. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination* 309, pp. 197-207.
- N.V. Padhye, M. D., 1992. Escherichia coli O157:H7: epidemiology, pathogenesis, and methods for detection in foods. *J. Food Prot*, pp. 555-565.
- Najafi, F., 2016. Environmental impact cost analysis of multi-stage flash, multi-effect distillation, mechanical vapor compression, and reverse osmosis medium-size desalination facilities. *ASCE Annual Conference & Exposition*.
- Na, Z., Yang, H. & Na, Z., 2012. Eichhornia Crassipes with Purple Root and Technology for Purifying Algae-Type Eutrophic Contaminated Water Bodies at Source. Chinese Patent CN102524084A.
- Ogden, M., 2008. Waste Treatment Systems. U.S. Patent US7361268B2,.
- Opere, W. J. M. O. O., 2020. Occurrence of enteric viruses in surface water and the relationship with changes in season and physical water quality dynamics. *Adv. Virol.* 2020.
- P. Malek, J. H.-H., 2016. Decentralized desalination of brackish water using an electrodialysis system directly powered by wind energy. *Desalination* 377, pp. 54-64.

- Paleologos, E. O. B. T. C.-S. C. K. R.-C. J. A.-. N. H. K. E. F. A. V. M. K. K. G. V. G.-. R. S. L. E.-C. J. P. S. B. S. S. S., 2020. Post COVID-19 water and wastewater management to protect public health and geoenvironment.. *Environ. Geotech*, pp. 1-14.
- Pan, W. ,. J. E. ,. G. D., 2020. Accumulation on and extraction of lead from point-of-use filters for evaluating lead exposure from drinking water. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(10), pp. 2734-2741.
- Parvez, A. R. M. S. S. S. S., 2019. Prevalence of water-borne disease in farmgate slum of dhaka city: a case study of disease propagation in Bangladesh. *Pharmacologyonline*, pp. 55-63.
- Phumudzo Budeli, R. M. B., 2021. Improvement of biosand filtration systems using silver-impregnated clay granules. *Journal of Water Process Engineering (41)*, p. 102049.
- Pinon, A. V. M., 2019. Survival of viruses in water. *Intervirology*, Issue 61, p. 214–222.
- Piyush Pala, P. Y. R. D. D. S., 2017. Performance analysis of modified basin type double slope multi-wick solar still. *Desalination 422* , pp. 68-82.
- Polo D., I. G.-f. P. F.-i. J. R., 2015. Solar Water Disinfection (SODIS): Impact on Hepatitis A Virus and on a Human Norovirus Surrogate Under Natural Solar Conditions. p. 41–49.
- Pouramin, P. N. N. M. M., 2020. A systematic review of water and gender interlinkages: assessing the intersection with health. *Front. Water*, Issue 2.
- Qaisar Mahmood, S. A. B. N. N. S. P. B. S. Z., 2011. Development of low cost household drinking water treatment system for the earthquake affected communities in Northern Pakistan. *Desalination 273*, pp. 316-320.
- R.V. Singh, S. K. M. H. M. K. G. T. P., 2013. Performance of a solar still integrated with evacuated tubular collector in natural mode. *Desalination 318 (2013)*, pp. 25-33.
- Rimi, A. I., 2021. Understanding the socioeconomic and environmental indicators of household water treatment in Nigeria. *Utilities Policy*, p. 101209.
- Rodríguez LG., 2004. Desalination by wind power. *Wind Eng ;28*, pp. 453-66.
- Rodríguez, M. R. J. P. J. V., 1996. A systematic approach to desalination powered by solar, wind and geothermal energy sources, Proc Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, European Commission, *EURORED Network, CRES, EDS*, pp. 20-25.
- Rosa, G. L. B. L. L. K. S. S. E., 2020. Coronavirus in water environments: occurrence, persistence and concentration methods - a scoping review. *Water Res.*, 179(115899).
- Rufuss D.D.W., L. S. S. I. P. D., 2018. Effects of nanoparticle-enhanced phase change material (NPCM) on solar still productivity. *J Clean Prod*, pp. 9-29.
- S. Panwichian, D. K. B. W. M. M., 2010. Isolation of Purple Nonsulfur Bacteria for the Removal of Heavy Metals and Sodium From Contaminated Shrimp Ponds.
- S.M. Saleh, A. S. M. S. V. K. B. G., 2017. Influence of solvent in the synthesis of nano-structured ZnO by hydrothermal method and their application in solar-still. *J Environ Chem Eng*, pp. 1219-1226.

- Sakakibara, Y., Rodrigues dos, R., Inagaki, Y. & Komori, M. W., 2012. Water Treatment Method Using Aquatic Plant. Japanese Patent WO2012029736A1.
- Saleh L., T. M., 2021. Techno-economic analysis of sustainability and externality costs of water desalination production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews VOL.150 111465*
- Sethi & Dwivedi, S., 2013. Exergy analysis of double slope active solar still under forced circulation mode. *Desalination and Water Treatment*, pp. 51:40-42, 7394-7400.
- Seyed Masoud Parsa, S. M. A. H. M. A., 2021. Effectiveness of solar water disinfection in the era of COVID-19 (SARS-CoV-2) pandemic for contaminated water/wastewater treatment considering UV effect and temperature. *Journal of Water Process Engineering*, p. Volume 43 102224.
- Shapiro, O. K. A. B. A., 2010. Bacteriophage predation regulates microbial abundance and diversity in a full-scale bioreactor treating industrial wastewater.. *ISME J*, Issue 4, p. 327–336.
- Sharmin Zaman, A. B. K. S. R. a. L. B., 2017. Low cost and sustainable surface water purification methods using Moringa seeds and scallop powder followed by bio-sand filtration. *Water Science & Technology: Water Supply |*, pp. 125-137.
- Sharshir, S. P. G. E. A. E. E. M. A. T. K. A. Z. J. Y. N., 2018. Energy and exergy analysis of solar stills with micro/nano particles: a comparative study. *Energy Convers. Manag.*, p. 363e375.
- Shatata&Mahkamov, 2010. Determination of rational design parameters of a multi- stage solar water desalination still using transient mathematical modeling.. *Renewable Energy*, 35(1), pp. 52-61.
- Sinclair, R. J. E. G. C., 2009. Viruses in recreational water-borne disease outbreaks: a review.. *J. Appl. Microbiol.*, Issue 107, p. 1769–1780.
- Smaoui & Krichen, m., 2016. Control, energy management and performance evaluation of desalination unit based renewable energies using a graphical user interface. *Energy*. 114:1187–206.
- Spyrou&Anagnostopoulos, 2010. Design study of a stand-alone desalination system powered by renewable energy sources and a pumped storage unit. *Desalination 2010;257:137–49.*, pp. 137-149.
- Subiela VJ, C. J. G. J. T., 2004. The SDAWES project: lessons learnt from an innovative project. *Desalination ;168*, pp. 39-47.
- Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J. & Macek, T., 2018. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool for Clean-Up of Polluted Environment. *Front. Plant Sci. (9)* 1476.
- SWT, S. W. T., 2012. VTE Geothermal Desalination Pilot/Demonstration Project. Project Summar.
- Tanaka H., 2010. Monthly optimum inclination of glass cover and external reflector of a basin type solar still with internal and external reflector. *Sol Energy 84(11)*, pp. 1959-1966.

Tiwari G.N., L. S., 2017. Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation systems. *Desalination (401)*, pp. 151-179.

Ubomba-Jaswa E, N. C. P.-L. M. F.-I. P. M. K. (., 2009. "Solar disinfection of drinking water (sodis): An investigation of UV-A dose on inactivation efficiency". *Photochem. Photobiol. Sci*, pp. 8:587-595.

USAID, 2010. Building a Viable Commercial Market for Household Water Treatment Products at the Base of the Pyramid.

Vafaei M., R. K. S. S. A. A. M. B. S. E. S. ,. G. G. H. S. M., 2020. Experimental Study and Economical Analysis of a Cascade Solar still Integrated with an Evacuated Tube and a Conventional Flat Plate Solar Collectors. *AUT J. Mech. Eng.*, 4(3), pp. 301-314.

Van Gerven, T. ,. S. A., 2009. Structure, energy, synergy, time The fundamentals of process intensification. *Industrial & engineering chemistry research*. pp. 48 (5), 2465–2474.

W. Zhang, S. Y. J. L. W. G. Y. D. W. D. C. Z. G. L., 2017. Environmental visible-to-ultraviolet upconversion: energy transfer, material matrix, and synthesis strategies. *Appl. Catal. B Environ. 206 (2017)*, p. 89–103.

Wallace, S. & Lambrecht, 2003. P.E. System and Method for Removing Pollutants from Water. U.S. Patent US6652743B2.

Wang, H. e. a., 2014. MS2 bacteriophage reduction and microbial communities in biosand filters. *Environ. Environ Sci Technol 48(12)*, pp. 6702-6709.

Wang, M. ,. M. S. ,. M. S., 2019. Nanomaterial-supported enzymes for water purification and monitoring in point-of-use water supply systems. *Accounts of chemical research*, pp. 52 (4) 876-885.

WHO, 2016. Results of round I of the WHO International Scheme to evaluate household water treatment technologies.

WHO, 2017. Microbial aspects. In: Guidelines for drinking water quality. Issue 4th edn, pp. 117-153.

WHO, 2019b. Results of round II of the WHO international scheme to evaluate household water treatment technologies..

Xinxin, Z. H. C. H. L. K. H. J. L. H., 2019. Experimental and theoretical investigation on a hybrid LCPV/T solar still system. *Desalination 468* , p. 114063.

Xiong, B. P. B. Z. M. R. C. E. C. T. U. A. K. M. V. S. B., 2018. Moringa oleifera f-sand Filters for Sustainable Water Purificatio. *Environmental Science and Technology Letters vol5 iss1*, pp. 38-42.

Yang, D. H. Y. W. B. D. Y. L. M. Y. Q. H. L. C. Y. L. Y., 2020. Drinking water and sanitation conditions are associated with the risk of malaria among children under five years old in sub-Saharan Africa: a logistic regression model analysis of national survey data. *J. Adv. Res.*.

Yildizbayrak, B. M. N. T. T. a. L. Y., 2004. Distribution of arsenic and biosand filers in rural Nepal. G-LAB Project Report..

Yongabi K.A., D. L. P. H., 2011. Integrated Phytodisinfectant-Sand Filter Drum for Household Water Treatment in Subsaharan Africa. *ournal of Environmental Science and Engineering*, 5, pp. 947-954.

Yongabi, K., 2012. A Sustainable Low-Cost Phytodisinfectant-Sand Filter Alternative for Water Purification. *The University of Adelaide Australia*.

Z. Yao, C. Y. J. L. Q. L. K. Z. H. W. L. C., 2013. Removal of K⁺, Na⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ from saline-alkaline water using the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 31, pp. 1248-1256.