



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα ανθεκτικά σε αντιβιοτικά
βακτήρια στο υδάτινο περιβάλλον και στα οστρακοειδή»**

ΠΗΝΕΛΟΠΗ Ι. ΚΥΡΙΑΖΟΥ

Τεχνολόγος Ιατρικών Εργαστηρίων ΑΤΕΙ

Λάρισα, 2022



ΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ



**«Βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα ανθεκτικά σε αντιβιοτικά
βακτήρια στο υδάτινο περιβάλλον και στα οστρακοειδή»**

**"Review of antibiotic-resistant bacteria in the aquatic
environment and shellfish"**

ΠΗΝΕΛΟΠΗ Ι. ΚΥΡΙΑΖΟΥ

Τεχνολόγος Ιατρικών Εργαστηρίων ΑΤΕΙ

Λάρισα, 2022

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Φωτεινή Φ. Παρλαπάνη**, Επίκουρος Καθηγήτρια, Μοριακή Μικροβιολογία και Ποιότητα Αλιευτικών Προϊόντων – Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπουσα*.
- 2) **Ιωάννης Σ. Μποζιάρης**, Καθηγητής, Υγιεινή και Συντήρηση Ιχθυηρών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.
- 3) **Νικόλαος Σολωμάκος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

*Στους γονείς μου
για την αμέριστη υποστήριξή τους.*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Φωτεινή Παρλαπάνη για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της, τόσο κατά τη συλλογή ερευνητικών δεδομένων όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Ιωάννη Μποζιάρη και κ. Νικόλαο Σολωμάκο, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους, καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον μεταδιδακτορικό ερευνητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Δρ. Δημήτρη Αναγνωστόπουλο, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων σχετικά με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA).

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την υποστήριξη και συμπαράσταση στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι καταλήγουν από το χερσαίο περιβάλλον στο υδάτινο περιβάλλον καθώς και στα αλιευτικά προϊόντα - κυρίως στα οστρακοειδή, εμφανίζουν μια ολοένα αυξανόμενη ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία του ανθρώπου και των ζώων. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν η σύνθεση δεδομένων ερευνητικών μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για την ανίχνευση ανθεκτικών βακτηρίων σε αντιβιοτικά στο υδάτινο περιβάλλον και στα οστρακοειδή έτσι ώστε να οδηγήσουν σε ένα συνολικό συμπέρασμα. Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, πραγματοποιήθηκε συλλογή πληροφοριών από επιστημονικά δημοσιευμένα άρθρα από διεθνείς βάσεις δεδομένων όπως PubMed, Scopus, Google Scholar, Science Direct, Cinahl κ.α. στο διαδίκτυο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp και *Staphylococcus aureus*, αποτελούν τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στο περιβάλλον, ενώ τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium difficile* και *Enterococcus faecium* είναι τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα οστρακοειδή (κυρίως στρείδια και μύδια), καρκινοειδή (κυρίως γαρίδες) και άλλα θαλασσινά προϊόντα γενικότερα. Από τα παραπάνω, όσον αφορά τα δείγματα νερού από το υδάτινο οικοσύστημα, τα *V. parahaemolyticus* και *V. vulnificus* εμφάνισαν συνολικά ανθεκτικότητα σε Ampicillin, Apramycin, Chloramphenicol και Cephalothin, ενώ τα *E. faecium* ήταν ανθεκτικά σε Sulfamethoxazole, Quinupristin-dalfopristin, Ciprofloxacin και Ampicillin. Επιπλέον, τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, εμφάνισαν συνολικά ανθεκτικότητα σε Ampicillin, Vancomycin, Tobramycin, Cefazolin, Cefpodoxime, Streptomycin στα δείγματα αλιευτικών προϊόντων, ενώ τα *E. faecium* σε Nitrofurantoin και Tetracycline.

Λέξεις-Κλειδιά: μετα – ανάλυση, ανθεκτικότητα, βακτήρια, οστρακοειδή, υδάτινο περιβάλλον.

ABSTRACT

Pathogens are called disease-causing organisms. Pathogens such as enteric pathogens from the terrestrial environment end up in the aquatic environment as well as in fishery products. In addition, indigenous water bacteria, such as *Vibrio*, contain strains that are pathogenic to humans - consumers, while shellfish as filtrate (filtering water) are responsible for the largest rate of food poisoning from fishery consumption worldwide. Some pathogens that can be found in the aquatic ecosystem and in fishery products - especially shellfish - are becoming increasingly resistant to antibiotics used to treat humans and animals. The aim of this dissertation was to synthesize data from research studies conducted in the past to detect bacteria resistant to antibiotics in the aquatic environment and shellfish so as to lead to an overall conclusion. To achieve the above goal, a meta-analysis was performed by collecting information from scientifically published articles. The search was carried out in the international databases PubMed, Scopus, Google Scholar, Science Direct, Cinahl as well as in other scientific databases on the internet. According to the results, *Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp and *Staphylococcus aureus*, are the most common pathogenic bacteria with resistance to antibiotics in the environment, while *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium difficile* and *Enterococcus faecium* are the most common pathogenic bacteria with antibiotic resistance to shellfish (mainly oysters and mussels), crustaceans (mainly shrimp) and other seafood in general. From the above, in terms of water samples from the aquatic ecosystem, *V. parahaemolyticus* and *V. vulnificus* showed overall resistance to Ampicillin, Apramycin, Chloramphenicol and Cephalothin, while *E. faecium* were resistant to Sulfamethoxazin, Quinupristacin, dal Ampicillin. In addition, *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, showed overall resistance to Ampicillin, Vancomycin, Tobramycin, Cefazolin, Cefpodoxime, Streptomycin in fishery product, while *E. faecium* to in Nitrofurantoin and Tetracycline.

Keywords: meta-analysis, resistance, bacteria, shellfish, aquatic environment.

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Enteropathogenic Vibrios	5
--	---

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Ασία.....	18
Διάγραμμα 2: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αμερική	19
Διάγραμμα 3: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Ευρώπη.	19
Διάγραμμα 4: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αυστραλία.....	20
Διάγραμμα 5: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αφρική.....	20
Διάγραμμα 6: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ασία (Γαρίδες)	48
Διάγραμμα 7: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ασία (Στρείδια)	49
Διάγραμμα 8: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ασία (Μύδια)	50
Διάγραμμα 9: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ασία (Λοιπά θαλασσινά).....	51
Διάγραμμα 10: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Αμερική (Γαρίδες).....	62
Διάγραμμα 11: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Αμερική (Στρείδια).....	63
Διάγραμμα 12: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Αμερική (Μύδια).....	64
Διάγραμμα 13: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ευρώπη (Στρείδια).....	71
Διάγραμμα 14: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ευρώπη (Μύδια).....	72
Διάγραμμα 15: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Ευρώπη (Λοιπά θαλασσινά).....	73
Διάγραμμα 16: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Αφρική (Μύδια).....	77
Διάγραμμα 17: Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα στην Αυστραλία (Λοιπά θαλασσινά).....	78

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Principal Component Analysis- Συχνότητα εμφάνισης παθογόνων βακτηρίων στο υδάτινο περιβάλλον και ανθεκτικότητα ανά τον κόσμο.....	22
Σχήμα 2: Principal Component Analysis- Σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από γαρίδες ανά τον κόσμο	80
Σχήμα 3: Principal Component Analysis- Σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από στρείδια ανά τον κόσμο.	81
Σχήμα 4: Principal Component Analysis- Σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από μύδια ανά τον κόσμο.	83
Σχήμα 5: Principal Component Analysis- Σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από διάφορα ψάρια και οστρακοειδή ανά τον κόσμο.....	84

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων απομονωμένων από υδάτινα οικοσυστήματα ανά τον κόσμο	14
Πίνακας 2: Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Ασία.	27
Πίνακας 3: Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Αμερική... ..	54
Πίνακας 4: Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Ευρώπη.	66
Πίνακας 5: Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Αφρική και Αυστραλία.	75

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εννοιολογικό Πλαίσιο Παθογόνων Μικροοργανισμών.....	2
1.1.1 Ορισμός.....	2
1.1.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί και Ξενιστές	2
1.2 Παθογόνα στο Υδάτινο Περιβάλλον.....	3
1.3 Ανθεκτικότητα στα Αντιβιοτικά.....	5
1.3.1 Ανθεκτικά σε Αντιβιοτικά Βακτήρια στα Οστρακοειδή.....	7
1.4 Μετα-αναλύσεις/Ανασκοπήσεις της Διεθνούς Βιβλιογραφίας	8
1.4.1 <i>Structure of Bacterial Community with Resistance to Antibiotics in Aquatic Environments. A Systematic Review</i>	8
1.4.2 <i>Systematic review and meta-analysis of environmental Vibrio species – antibiotic resistance</i>	9
1.4.3 <i>Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area</i>	10
1.5 Συμπεράσματα των μετα-αναλύσεων	11
2. Υλικά και Μέθοδοι	12
2.1 Συλλογή πληροφορίας.....	12
2.2 Στατιστική ανάλυση	12
3. Αποτελέσματα	13
3.1 Συχνότητα εμφάνισης παθογόνων βακτηρίων στο υδάτινο περιβάλλον και ανθεκτικότητα ανά τον κόσμο	13
3.2 Ανίχνευση παθογόνων βακτηρίων στα αλιευτικά προϊόντα και ανθεκτικότητα.....	22
3.2.1 Ασία	23
3.2.2 Αμερική.....	52
3.2.3 Ευρώπη	65
3.2.4 Αφρική.....	74
3.2.5 Αυστραλία.....	74
4. Συζήτηση	85
5. Συμπεράσματα	89
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταφερθούν στον ανθρώπινο οργανισμό με διάφορους τρόπους και να προκαλέσουν ασθένειες. Συνήθως αυτό συμβαίνει μέσω της επαφής τους με το δέρμα, με τα σωματικά υγρά, με σωματίδια που μεταφέρονται στον αέρα, με επαφή με τα κόπρανα και αγγίζοντας μια επιφάνεια που έχει αγγίξει ένα μολυσμένο άτομο. Ωστόσο, διάφορα παθογόνα βακτήρια είναι δυνατό να μεταφερθούν στο ανθρώπινο σώμα μέσω της κατανάλωσης τροφίμων ή της επαφής μας με τα τρόφιμα και να προκαλέσουν τροφικές δηλητηριάσεις κι άλλου τύπου ασθένειες. Τέτοιοι μικροοργανισμοί όπως είναι τα εντερικά παθογόνα βακτήρια μπορεί να μεταφερθούν από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον καθώς και στα αλιευτικά προϊόντα. Επιπλέον, βακτήρια που αποτελούν μέρος της αυτόχθονης μικροχλωρίδας του θαλασσινού νερού, όπως είναι ορισμένα παθογόνα στελέχη των *Vibrio* μπορεί να βρεθούν στα αλιευτικά προϊόντα. Τα οστρακοειδή ως διηθηματοφάγα (φιλτράρουν το νερό) ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό τροφικών δηλητηριάσεων από τέτοια παθογόνα λόγω της κατανάλωσης αλιευτικών προϊόντων παγκοσμίως (Krauss and Griebler, 2011).

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένοι παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως είναι τα εντερικά παθογόνα βακτήρια, που μπορεί να βρεθούν στο υδάτινο οικοσύστημα, στα αλιευτικά προϊόντα - κυρίως στα οστρακοειδή, εμφανίζουν μια ολοένα αυξανόμενη ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία του ανθρώπου και των ζώων (Elmahdi et al., 2016). Τέτοιοι μικροοργανισμοί μπορεί να εισαχθούν στα υδάτινα οικοσυστήματα από διάφορες πηγές επιμόλυνσης της στεριάς, όπως οι ανθρώπινοι οικισμοί, οι βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων ζωικής προέλευσης, οι φάρμες ζώων, τα βοσκοτόπια, τα χωράφια που χρησιμοποιούν κοπριά, οι μονάδες επεξεργασίας νοσοκομειακών αποβλήτων, κ.α. (Akhtar, et al., 2021; Cabello et al., 2013; Jung, et al., 2014).

1.1 Εννοιολογικό Πλαίσιο Παθογόνων Μικροοργανισμών

1.1.1 Ορισμός

Ως **παθογόνο** ορίζεται ένας οργανισμός που προκαλεί ασθένεια στον ξενιστή του, με τη σοβαρότητα των συμπτωμάτων της νόσου να αναφέρεται ως λοιμογόνος δύναμη. Τα παθογόνα είναι ταξινομικά ποικίλα και περιλαμβάνουν ιούς και βακτήρια καθώς και μονοκύτταρους και πολυκύτταρους ευκαρυώτες. Κάθε ζωντανός οργανισμός επηρεάζεται από παθογόνα, συμπεριλαμβανομένων των βακτηρίων, τα οποία στοχοποιούνται από εξειδικευμένους ιούς που ονομάζονται φάγοι (Balloux and van Dorp, 2017).

Ο αριθμός των ιών και των βακτηρίων στη γη είναι ιδιαίτερα μεγάλος και καταλαμβάνουν ουσιαστικά κάθε περιβάλλον. Ένα λίτρο επιφανειακού θαλασσινού νερού περιέχει συνήθως πάνω από δέκα δισεκατομμύρια βακτήρια και 100 δισεκατομμύρια ιούς. Ο αριθμός των ιών στη Γη υπολογίζεται ότι είναι περίπου 10³¹, που αντιστοιχεί περίπου σε δέκα δισεκατομμύρια φορές τον αριθμό των αστεριών στο σύμπαν. Ένας μέσος άνθρωπος αποτελείται από περίπου 30 τρισεκατομμύρια κύτταρα, αλλά φέρει παρόμοιο αριθμό βακτηρίων, κυρίως στο έντερο (Sender et al., 2016).

Η συντριπτική πλειονότητα των ιών και βακτηρίων στα οποία εκτιθόμαστε δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις και μερικοί μπορεί να είναι ακόμη και ευεργετικοί, αν και ένα μικρό κλάσμα από αυτά μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την υγεία μας. Συγκεκριμένα, περίπου ένα στα δισεκατομμύρια μικροβιακά είδη είναι ανθρώπινο παθογόνο. Πράγματι, έχουν περιγραφεί περίπου 1400 ανθρώπινα παθογόνα, ενώ έχει υπολογιστεί ότι υπάρχουν ένα τρισεκατομμύριο μικροβιακά είδη στη Γη, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων παραμένει αχαρακτήριστη (Paseka et al., 2020).

1.1.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί και Ξενιστές

Τα μικροβιακά παθογόνα μολύνουν όλους τους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των αυτότροφων που αποτελούν τη βάση των οικοσυστημάτων δεσμεύοντας άνθρακα και ενέργεια. Παρόλο που η λοιμώδης νόσος συνήθως μελετάται από μια προοπτική με επίκεντρο τον ξενιστή, οι επιπτώσεις των παθογόνων παραγόντων εκτείνονται πολύ πέρα από την κλίμακα των μολυσμένων ατόμων ξενιστών για να επηρεάσουν τις διεργασίες του οικοσυστήματος. Για παράδειγμα, μυκητιακά παθογόνα που μολύνουν φυτά λιβαδιών και ιούς που μολύνουν το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν μεσολαμβάν στην πρωτογενή παραγωγικότητα και στον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα (C). Οι επιπτώσεις των παθογόνων στις οικολογικές διεργασίες είναι εγγενείς σε όλα τα συστήματα, ωστόσο έχουμε περιορισμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα παθογόνα επηρεάζουν την

οικολογική λειτουργία πέρα από τις άμεσες επιπτώσεις τους στους ξενιστές. Ουσιαστικά, οι ανθρώπινες κοινωνίες βασίζονται σε υπηρεσίες οικοσυστήματος που παρέχονται από αυτότροφα και ως εκ τούτου επηρεάζονται από αυτότροφα παθογόνα (Preston et al., 2016; Seabloom et al., 2017).

Ορισμένα παθογόνα απαιτούν πολλούς διαφορετικούς ξενιστές για να εκπληρώσουν τον κύκλο ζωής τους. Ο καθορισμένος ξενιστής, ο οποίος υποστηρίζει την ενήλικη μορφή του παθογόνου, είναι συχνά ένα σπονδυλωτό και ο ενδιάμεσος ξενιστής (που αναφέρεται ως φορέας) είναι γενικά ένα αρθρόποδο ή ένα μαλάκιο. Αυτή η εναλλαγή ξενιστών σπονδυλωτών και ασπόνδυλων βρίσκεται σε ιούς (για παράδειγμα ο ιός Ζίκα), βακτήρια (για παράδειγμα νόσος του Lyme) και πρωτόζωα (ελονοσία). Οι τρεματώδεις (παρασιτικοί επίπεδοι σκώληκες) προχωρούν ακόμη περισσότερο και μερικοί εκθέτουν ανάμεσα στους πιο μαρκό κύκλους ζωής. Τα διγενετικά τρηματώδη έχουν έναν βασικό κύκλο ζωής τριών ξενιστών και για ορισμένα είδη έναν κύκλο ζωής τεσσάρων ξενιστών. Για παράδειγμα, ο *Halipegus occidualis* πρέπει διαδοχικά να μολύνει ένα σαλιγκάρι του γλυκού νερού, μια οστρακόδα, μια νύμφη λιβελλούλη και τελειώνει τον κύκλο της αφού η λιβελλούλη καταναλωθεί από τον πράσινο βάτραχο *Rana clamitans*, όπου κατοικεί κάτω από τη γλώσσα του (van Belkum et al., 2021).

1.2 Παθογόνα στο Υδάτινο Περιβάλλον

Ένα οικοσύστημα είναι ένα σύνολο διαφορετικών κοινοτήτων ανώτερων οργανισμών και μικροοργανισμών που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον, αποτελώντας ένα σταθερό, ισορροπημένο και αυτοσυντηρούμενο σύστημα. Το υδάτινο οικοσύστημα διαδραματίζει έναν από τους σημαντικότερους ενοποιητικούς ρόλους, καθώς είναι ένας ουσιαστικός φυσικός πόρος, είτε ως δεξαμενή βιοχημικών συστατικών είτε ως μονοπάτι διασύνδεσης μεταξύ πολλών άλλων οικοσυστημάτων και συγκλίνοντας με πολλά είδη (Na et al., 2018).

Από ανθρωποκεντρική άποψη, το υδάτινο περιβάλλον είναι σημαντικό για τη διατήρηση της υγείας και της επιβίωσης, για παράδειγμα, παρέχοντας τρόφιμα και επιτρέποντας την παραγωγικότητά του τόσο σε γεωργικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Ωστόσο, τα ανθρωπογενή απόβλητα και οι εγκαταστάσεις υγιεινής αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης για τα υδάτινα οικοσυστήματα. Έτσι, λόγω της υπερβολικής ανθρώπινης δραστηριότητας και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, τα υδάτινα οικοσυστήματα απειλούνται, ιδιαίτερα από τη χημική ρύπανση λόγω των επιπτώσεων της ξενοβιοτικής απόρριψης. Η αδιάκριτη χρήση ξενοβιοτικών, όπως αντιμικροβιακών φαρμάκων, βιοκτόνων και τοξικών μετάλλων είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κλασικών υποθετικών παθογόνων ανθεκτικών σε πολλαπλά φάρμακα (Berglund, 2015; Resende et al., 2020).

Η μικροβιακή αντοχή είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα δημόσιας υγείας. Από τότε που ανακαλύφθηκαν, τα αντιβιοτικά έχουν χρησιμοποιηθεί στην ιατρική και την κτηνιατρική,

στη θεραπεία, στην ανθρώπινη προφύλαξη και στην υγεία των ζώων ως προφύλαξη και ως αυξητικοί παράγοντες. Έτσι, η επιλεκτική πίεση που ασκείται από τη συνεχή και συχνά ανεπαρκή χρήση τους είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολυανθεκτικών βακτηρίων που δεν ανταποκρίνονται πλέον στις παραδοσιακές θεραπείες. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας θεωρεί ότι η αντοχή στα φάρμακα είναι παγκόσμιο πρόβλημα δημόσιας υγείας και οι ανησυχίες για τη χρήση τους αποτελούν ουσιαστικό μέρος της παγκόσμιας υγείας. Τα δεδομένα δείχνουν ότι περισσότεροι από 700.000 άνθρωποι πεθαίνουν από μη θεραπευμένες λοιμώξεις λόγω αποτυχίας της αντιμικροβιακής χημειοθεραπείας κάθε χρόνο σε όλο τον κόσμο, και αν αυτό το μοτίβο παραμείνει ανεξέλεγκτο, μέχρι το 2050, οι λοιμώξεις που σχετίζονται με ανθεκτικά στα φάρμακα βακτήρια υπολογίζεται ότι θα κοστίσουν περίπου 10 εκατομμύρια ζωές ετησίως (Gonzalez Ronquillo & Angeles Hernandez, 2017; Ogawa et al., 2019).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα αντιβιοτικά που χορηγούνται σε ανθρώπους και ζώα απεκκρίνονται αμετάβλητα στο περιβάλλον (λύματα, νοσοκομειακά απόβλητα, εκκενώσεις ζώων και υδατοκαλλιέργειας και γεωργικές απορροές), οι ανησυχίες σχετικά με την πιθανή επίδραση των υπολειμμάτων αντιβιοτικών στο υδάτινο περιβάλλον συνεχίζουν να αυξάνονται τα τελευταία χρόνια. Το φαινόμενο έχει αποκτήσει οικολογική σημασία και υπερβαίνει τους κινδύνους που συνδέονται με θεραπευτικές αποτυχίες στην ανθρώπινη υγεία, λόγω της ευκολίας κινητοποίησης και διάδοσης γενετικών δεικτών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες της γεωργίας και της κτηνοτροφίας είναι επίσης σχετικές, όπως και τα σχετικά μικροβιώματά τους (έδαφος και νερό) (Colombo et al., 2017; Manyi-Loh et al., 2018).

Το υδάτινο περιβάλλον συνδέεται διπλά με την εξάπλωση της μικροβιακής αντοχής, λόγω του ρόλου του ως συγκλίνον οικοσυστήματος ως φυσική πηγή γονιδίων μικροβιακής αντοχής, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που φιλοξενούνται τόσο από κοινά όσο και από παθογόνα βακτήρια. Έτσι, το ίδιο το υδάτινο περιβάλλον είναι ένας μεγάλος αποδέκτης ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων που προέρχονται από διαφορετικά λύματα και, όχι μόνο συσσωρεύονται σε αυτό το περιβάλλον, αλλά και εξαπλώνονται σε διαφορετικές θέσεις. Η εντατικοποίηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων έχει αυξήσει τον επιπολασμό των ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων και των γονιδίων τους στη μικροβιακή αντοχή. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει περάσει πάνω από μια δεκαετία από τότε που ήταν δύσκολο να βρεθεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου δεν μπορούν να ανιχνευθούν αντιβιοτικά ιατρικής σημασίας και κλινική πρακτική σε ανθρώπους και ζώα. Με αυτόν τον τρόπο, τόσο το νερό όσο και το ίζημα θα διαδραματίσουν θεμελιώδη ρόλο στην επιλογή, την εξέλιξη και τη διάδοση βακτηρίων και γονιδίων μικροβιακής αντοχής που φιλοξενούν βακτήρια (Manaiia et al., 2016; Resende et al., 2020).



Εικόνα 1: *Enteropathogenic Vibrios*

(Πηγή: <https://www.biomerieux-industry.com>)

1.3. Ανθεκτικότητα στα Αντιβιοτικά

Από την ανακάλυψη της πενικιλίνης από τον Alexander Fleming, ανακαλύφθηκαν πολλά αντιμικροβιακά φάρμακα και έφεραν επανάσταση στην παγκόσμια υγειονομική περίθαλψη, αποτελώντας μια από τις σημαντικότερες ιατρικές προόδους του 20^{ου} αιώνα. Εφόσον οι βασικές πληροφορίες για να γίνει κανείς ανθεκτικός στα φάρμακα είναι τα περιβαλλοντικά βακτήρια (δηλαδή, οι γενετικοί καθοριστικοί παράγοντες αντοχής στα αντιμικροβιακά), η συνεχής χρήση και μερικές φορές η κακή χρήση τέτοιων φαρμάκων έχει οδηγήσει τη μικροβιακή εξέλιξη σε ευρέως διαδεδομένους καθοριστικούς παράγοντες αντοχής, των οποίων ο σκοπός είναι να επιτρέψει βακτηριακά στελέχη για να προσαρμοστούν σε διαφορετικές πιέσεις επιλογής που εμφανίζονται στο περιβάλλον (Resende et al., 2020).

Στις μέρες μας, τα φαινόμενα της μικροβιακής αντοχής απειλούν πολλές από τις σημαντικότερες ιατρικές εξελίξεις. Η κατανόηση των διαφόρων παραγόντων της αντοχής στα αντιβιοτικά είναι το κλειδί για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανθεκτικότητας, το οποίο περιλαμβάνει τη χρήση τους στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, στο περιβάλλον, στη γεωργία και στην κτηνοτροφία. Πρόσθετοι σημαντικοί παράγοντες που είναι ισχυροί οδηγοί αντοχής στα αντιβιοτικά είναι οι ρυθμίσεις υγιεινής, τα πρότυπα ελέγχου λοιμώξεων, τα συστήματα υγιεινής του νερού, η ποιότητα των φαρμάκων, τα διαγνωστικά και θεραπευτικά μέσα και η καραντίνα ταξιδιού ή μετανάστευσης (Aslam et al., 2018).

Τα βακτηριακά συστήματα είναι πολύπλοκα και προσαρμοστικά. Όταν αντιμετωπίζουν διαταραχές όπως οι θεραπείες με αντιβιοτικά, επιβιώνουν, αναρρώνουν και εξελίσσονται.

Η ικανότητα των συστημάτων να ανακτούν την αρχική τους κατάσταση, ορισμένες από τις λειτουργίες ή τη σύνθεσή τους μετά από μια διαταραχή ονομάζεται **ανθεκτικότητα**. Στην οικολογία, οι έννοιες της ανθεκτικότητας και της αντίστασης είναι συμπληρωματικές: ενώ η αντίσταση αναφέρεται στην έλλειψη ευαισθησίας στη διαταραχή, η ανθεκτικότητα εστιάζει στην ανάκτηση του διαταραγμένου συστήματος. Τόσο η αντίσταση όσο και η ελαστικότητα είναι δύο διαφορετικές πτυχές της σταθερότητας των συστημάτων. Ωστόσο, στην κλινική βακτηριολογία, η ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά δεν χρησιμοποιείται, ενώ η ανοχή στα αντιβιοτικά έχει μελετηθεί σε συντριπτική πλειοψηφία, επειδή η ανθεκτικότητα στα πολλαπλά φάρμακα είναι επί του παρόντος μια σημαντική κοινωνική πρόκληση. Αντί να χρησιμοποιείται ανθεκτικότητα, στην κλινική βακτηριολογία, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί άλλοι όροι για να περιγράψουν τις βακτηριακές αποκρίσεις σε αντιβιοτικές θεραπείες, όπως η ανοχή, η επιμονή, η φαινοτυπική ανοχή. Το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για αυτούς τους μηχανισμούς αποκτά σημασία, διότι μπορεί να προηγηθούν της εμφάνισης ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά (Carvalho et al., 2019; Bakkeren et al., 2019).

Στη μικροβιολογία, το πλαίσιο ανοχής/ανθεκτικότητας χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της μικροβιακής οικολογίας. Αυτό το πεδίο συνήθως εστιάζει στην ανοχή και την ανθεκτικότητα της σύνθεσης και τις λειτουργίες των μικροβιακών κοινοτήτων που αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες διαταραχές. Η αντίσταση ορίζεται ως η έλλειψη ευαισθησίας σε μια διαταραχή και η ανθεκτικότητα ως ο χρόνος που απαιτείται για μια κοινότητα να ανακτήσει την προηγούμενη σύνθεση και λειτουργίες της μετά από μια διαταραχή. Τόσο η αντίσταση όσο και η ελαστικότητα είναι μέρη της έννοιας της ευρωστίας, δηλαδή της ικανότητας ενός βιολογικού συστήματος να διατηρεί συγκεκριμένες λειτουργίες παρά τις διαταραχές. Ωστόσο, οι συνθέσεις και οι λειτουργίες που επιλέγονται ποικίλλουν πολύ μεταξύ των μελετών λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας των μικροβιακών κοινοτήτων (Meola et al., 2014).

Η βακτηριακή ανοχή στα αντιβιοτικά είναι η ικανότητα των βακτηρίων να επιβιώνουν μετά από μακρά έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αντιβιοτικών. Σε αντίθεση με την αντίσταση στα αντιβιοτικά, τα ανεκτικά βακτήρια δεν μπορούν να αναπτυχθούν παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αντιβιοτικών. Ωστόσο, τα ανεκτικά βακτήρια έχουν μικρό ποσοστό θνησιμότητας σε σύγκριση με τα ευαίσθητα βακτήρια, επιτρέποντας σε έναν ανεκτικό βακτηριακό πληθυσμό να επιβιώσει ώρες ή ημέρες περισσότερο από έναν ευαίσθητο πληθυσμό (Carvalho et al., 2019).

Η βακτηριακή ανθεκτικότητα είναι η παρουσία ενός υποπληθυσμού ανεκτικών κυττάρων σε έναν ευαίσθητο πληθυσμό βακτηρίων. Αυτά τα ανεκτικά κύτταρα περιγράφηκαν για πρώτη φορά από τον Bigger και ονομάστηκαν «επίμονα». Η παρουσία μιας μειοψηφίας επιμένουν οδηγεί σε μια χαρακτηριστική καμπύλη διφασικής θανάτωσης υπό την έκθεση σε αντιβιοτικά. Δηλαδή, τα ευαίσθητα κύτταρα πεθαίνουν γρήγορα κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης θεραπείας και τα επίμονα επιβιώνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα επίμονα αρχικά περιγράφηκαν ως μη αναπτυσσόμενα λανθάνοντα κύτταρα σε έναν ισογονικό πληθυσμό. Επειδή τα περισσότερα αντιβιοτικά είναι αποτελεσματικά έναντι των ενεργά αναπτυσσόμενων κυττάρων, οι επιμένοντες επιβιώνουν από θεραπείες με αντιβιοτικά ενώ η πλειοψηφία του βακτηριακού πληθυσμού πεθαίνει γρήγορα. Τα

«επίμονα» μπορούν να συνεχίσουν την ανάπτυξη αυθόρμητα σε τυπικά μέσα. Μετά την απομάκρυνση των αντιβιοτικών, επιτρέπουν την ανάκτηση του βακτηριακού πληθυσμού, ο οποίος αποτελείται και πάλι από την πλειοψηφία των ευαίσθητων κυττάρων και έναν υποπληθυσμό επίμονων (Balaban, 2013; Carvalho et al., 2019).

1.3.1 Ανθεκτικά σε Αντιβιοτικά Βακτήρια στα Οστρακοειδή

Τα οστρακοειδή είναι ένα σημαντικό συστατικό της παγκόσμιας προσφοράς υδάτινων τροφίμων μας. Τα οστρακοειδή αποτελούνται σε γενικές γραμμές από 2 κατηγορίες ζώων, τα καρκινοειδή και τα μαλάκια. Τα καρκινοειδή είναι ασπόνδυλα με τμηματικά σώματα, προστατευμένα από σκληρά κελύφη από χιτίνη και περιλαμβάνουν γαρίδες, αστακό, караβίδες, καβούρι και κριλ. Τα μαλάκια είναι ασπόνδυλα με μαλακά σώματα, χωρισμένα σε πόδι και σπλαχνικό τμήμα. Υποδιαιρούνται σε δίθυρα, κεφαλόποδα και γαστερόποδα. Τα εμπορικά σημαντικά δίθυρα είναι τα μύδια, τα στρείδια, τα μύδια και τα χτένια, ενώ στα κεφαλόποδα περιλαμβάνονται τα καλαμάρια, οι σουπιές και το χταπόδι. Η ομάδα του γαστερόποδου περιλαμβάνει μεταξύ άλλων κολύμπι, θαλάσσιο σαλιγκάρι, κοκοράκι και βοοειδή. Υπολογίζεται ότι ο ωκεανός κατοικείται από περισσότερα από 1000 είδη καρκινοειδών, 50.000 είδη μαλακίων, εκτός από 13.000 είδη φινιρίδων (Menon and Gopakumar, 2017).

Επιπλέον, τα οστρακοειδή μπορούν να χρησιμεύσουν ως δεξαμενές βακτηρίων ανθεκτικών στα αντιμικροβιακά φάρμακα. Το ανθεκτικό σε πολλά φάρμακα *S. enterica* serovar Newport από στρείδια στις Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζει σημαντικό κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών ωμών στρειδιών. Υπάρχουν αναδυόμενες ενδείξεις ότι η ανθεκτική στα αντιμικροβιακά *Salmonella* προκαλεί πιο σοβαρές λοιμώξεις (Hariharan and Amadi, 2016).

Οι μικροβιακοί κίνδυνοι είναι σημαντικοί όσον αφορά την ασφάλεια των ειδών οστρακοειδών επειδή είναι επιρρεπείς σε μόλυνση από μια ποικιλία μικροοργανισμών. Στους σημαντικότερους παθογόνους οργανισμούς που εμπλέκονται ασθένειες που μεταδίδονται από τα θαλασσινά περιλαμβάνονται η *Salmonella* spp. όπως *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Paratyphi και *Salmonella* Typhimurium, επίσης *Shigella* spp., εντεροαιμορραγικό και παραγωγικό στέλεχος *Escherichia coli* (ορότυπος *E. coli* O157:H7), *Campylobacter* spp., *Vibrio* spp. *Aeromonas* spp., *Yersinia enterocolitica* και *Listeria monocytogenes* (Jennings et al., 2016).

Τα *Salmonella* spp. συμπεριλαμβανομένων των *Salmonella* Typhi και *S. Paratyphi* ευθύνονται για υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Παθογόνα, συμπεριλαμβανομένου του *Salmonella* spp. και *Shigella* spp., *V. vulnificus*, *V. parahemolyticus*, *V. cholerae* και *C. botulinum* Type E, έχουν απομονωθεί πρόσφατα από αλιευμένα καρκινοειδή και μαλάκια, πιθανότατα μολυσμένα από ανθυγιεινά νερά συγκομιδής. Τα δίθυρα είναι πιο επιρρεπή σε μόλυνση επειδή είναι τροφοδοτές αιωρήματος που φιλτράρουν φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν, ιούς, βακτήρια και ανόργανη ύλη από μολυσμένο νερό. Οι κίνδυνοι μπορεί

να είναι ακόμη πιο περίπλοκοι, καθώς πολλά από αυτά τα παθογόνα παραμένουν βιώσιμα σε προϊόντα με απλή ψύξη. Για παράδειγμα, τα παθογόνα *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* και *V. cholerae* μπορούν να αναπτυχθούν στους 8 °C. Το *V. parahaemolyticus*, ένας φυσικός κάτοικος στο θαλάσσιο νερό των εκβολών ποταμών, έχει αναγνωριστεί ως ο κύριος αιτιολογικός παράγοντας της ασθένειας που μεταδίδεται από τα θαλασσινά (Wang et al., 2015).

Οι Hu και Chen (2016) επιβεβαίωσαν ότι η ανθεκτικότητα αυτών των παθογόνων μικροοργανισμών στα αντιβιοτικά μπορεί να αυξήσει περαιτέρω τον κίνδυνο. Οι συγγραφείς παρατήρησαν ότι το 78% έως το 93% των στελεχών του *V. parahaemolyticus* που απομονώθηκαν από 10 είδη κοινώς καταναλωμένων καρκινοειδών και άλλων οστρακοειδών στην Κίνα εμφάνισαν αντοχή στην αμπικιλίνη, τη ριφαμπιίνη και τη στρεπτομυκίνη. Περίπου το 75% των απομονώσεων εμφάνισε αντοχή σε περισσότερα από 1 αντιβιοτικά, καθώς και ανοχή σε βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός, ο μόλυβδος και το κάδμιο (Hu and Chen, 2016).

Το *C. botulinum* μπορεί να υπάρχει στα θαλάσσια ιζήματα. Οι τύποι *C. botulinum* B, E και F βρίσκονται συχνά σε θαλάσσια ζώα σε ψυχρά ή εύκρατα νερά. Το *Aeromonas hydrophila*, ένας παράγοντας της τροφιμογενούς διαρροϊκής νόσου, παράγει ένα ευρύ φάσμα κυτταροτοξικών εντεροτοξινών και αιμολυσινών (Khora, 2014).

1.4. Μετα-αναλύσεις/Ανασκοπήσεις της Διεθνούς Βιβλιογραφίας

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται οι ανασκοπήσεις/μετα-αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την τελευταία 5ετία και αφορούν στην ανθεκτικότητα των βακτηρίων υδάτινων οικοσυστημάτων ή/και σε οστρακοειδή. Μετά την ανάλυση των περιλήψεων των άρθρων προκύπτουν ορισμένες διαπιστώσεις και δικαιολογείται η σημασία και η αξία της παρούσας μετα-ανάλυσης.

1.4.1 Structure of Bacterial Community with Resistance to Antibiotics in Aquatic Environments. A Systematic Review

Sánchez-Baena, A. M., Caicedo-Bejarano, L. D., & Chávez-Vivas, M. (2021). "Structure of Bacterial Community with Resistance to Antibiotics in Aquatic Environments. A Systematic Review". *International journal of environmental research and public health* 18(5), 2348. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052348>

Τα υδάτινα περιβάλλοντα έχουν επηρεαστεί από την αύξηση της ανθεκτικότητας των βακτηρίων στα αντιβιοτικά. Ο στόχος αυτής της ανασκόπησης είναι να περιγράψει τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με τη δομή του βακτηριακού πληθυσμού και τα γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά σε φυσικά και τεχνητά συστήματα νερού.

Πραγματοποιήθηκε μια συστηματική ανασκόπηση με βάση την οδηγία PRISMA (προτιμώμενα στοιχεία αναφοράς για συστηματικές ανασκοπήσεις και μετα-αναλύσεις). Τα άρθρα συλλέχθηκαν από επιστημονικές βάσεις δεδομένων μεταξύ Ιανουαρίου 2010 και Δεκεμβρίου 2020. Εξήντα οκτώ εργασίες που πληρούσαν τα κριτήρια συμπερίληψης, δηλαδή «αναφορά της σύνθεσης της βακτηριακής κοινότητας του νερού», «αντοχή στα αντιβιοτικά» και «γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά», αξιολογήθηκαν σύμφωνα με προκαθορισμένα κριτήρια εγκυρότητας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα επικρατέστερα φύλα ήταν τα Firmicutes και τα Bacteroidetes σε φυσικά και τεχνητά συστήματα νερού. Αρνητικά κατά Gram βακτήρια της οικογένειας Enterobacteraceae με αντοχή στα αντιβιοτικά αναφέρονται συνήθως στο πόσιμο νερό και στα φυσικά συστήματα νερού. Τα γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά που αναφέρθηκαν κυρίως ήταν εκείνα που προσδίδουν αντοχή σε αντιβιοτικά β-λακτάμης, αμινογλυκοσίδες, φθοροκινολόνες, μακρολίδες και τετρακυκλίνη. Αποδεικνύεται η υψηλή επίδραση της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στο περιβάλλον. Τα γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά που αναφέρονται κυρίως στις αστικές περιοχές του κόσμου είναι αυτά που προσδίδουν αντοχή στα αντιβιοτικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην κλινική πράξη, γεγονός που αποτελεί πρόβλημα για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων.

1.4.2 Systematic review and meta-analysis of environmental Vibrio species – antibiotic resistance

Onohuean, H., Agwu, E. & Nwodo, U.U. (2022). "Systematic review and meta-analysis of environmental Vibrio species – antibiotic resistance". Heliyon 8, 2, e08845. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08845>

Η επαρκής κατανόηση της γονιδιωματικής της μικροβιακής αντοχής σε έναν αντιμικροβιακό παράγοντα θα προωθήσει τη γνώση σχετικά με τη διαχείριση των σχετικών παθολογιών και την ασφάλεια της δημόσιας υγείας. Ωστόσο, οι συνεχιζόμενες εμφανίσεις και η επανεμφανίσεις παθογόνων, συμπεριλαμβανομένων των ειδών του γένους *Vibrio*, σηματοδοτούν ένα πιθανό κενό γνώσης. Θα πρέπει να υπάρχει σαφής κατανόηση της διαδικασίας και πρόβλεψη της επόμενης τάσης για να σταματήσει η μικροβιακή απόκτηση αντοχής στα αντιβιοτικά. Επομένως, αυτή η συστηματική ανασκόπηση και μετα-αναλυτική μελέτη δύο δεκαετιών (1 Ιανουαρίου 2000 έως 31 Δεκεμβρίου 2019) διατύπωσε τον επιπολασμό και τη συχνότητα εμφάνισης γονιδίων ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά σε είδη *Vibrio* που απομονώθηκαν από περιβαλλοντικά δείγματα. Συμμετείχαν άρθρα από τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων Web of Science και PubMed. Η ετερογένεια των δεδομένων και η μεροληψία αναλύθηκαν με μετα-ανάλυση μοντέλου τυχαίας επίδρασης και διάγραμμα διοχέτευσης. Συνολικά 1920 *Vibrio* sp. αναφέρθηκαν από τα δέκα επιλεγμένα άρθρα που περιλαμβάνονται σε αυτή τη μελέτη. εκ των οποίων το 32,39% των ταυτοποιημένων απομονώσεων εμφάνισαν αντιμικροβιακή αντοχή και σχετικά γονίδια. Η κατανομή των γονιδίων αντοχής στα αντιβιοτικά στο *Vibrio* sp., που αναφέρθηκε σε έξι χώρες ήταν 21% τετρακυκλίνη (tet) και 20% σουλφοναμίδη (sul) και β-λακταμάση (bla) αντίστοιχα. Τα γονίδια αντοχής σε κινολόνη, τετρακυκλίνη και σουλφοναμίδη έδειξαν επικράτηση 32,97% (95% CI 0,18-0,53), ενώ τα

γονίδια αντοχής στη χλωραμφενικόλη, τα μακρολίδια και τις αμινογλυκοσίδες εκφράζονται σε ποσοστά ως 28,67% (95% CI 0,18-0,53-0,15-001 αντίσταση CI 95% CI). % (95% CI 0,11–0,56) αντίστοιχα. Η κατανομή των γονιδίων αντοχής στα αντιβιοτικά *Vibrio* (V-ARG) δεν απεικονίζει κανονική τάση ή πρότυπο από τα δεδομένα που αναλύθηκαν. Κατά συνέπεια, θα απαιτηθούν περισσότερες μελέτες για την άρθρωση της δομής της συνοχής στην κατανομή των καθοριστικών παραγόντων αντοχής στα μικρόβια.

1.4.3 Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area

Pepi, M. & Focardi, S. (2021). "Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area". *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 5723. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115723>

Η υδατοκαλλιέργεια είναι η παραγωγική δραστηριότητα που θα παίξει καθοριστικό ρόλο στις προκλήσεις της χλιετίας, όπως η ανάγκη για πρωτεΐνες που υποστηρίζουν τον άνθρωπο και ο σεβασμός για το περιβάλλον. Η υδατοκαλλιέργεια είναι μια σημαντική οικονομική δραστηριότητα στη λεκάνη της Μεσογείου. Ωστόσο, οι πρακτικές υδατοκαλλιέργειας παρουσιάζουν μεγάλο αντίκτυπο καθώς περιλαμβάνουν τη χρήση αντιβιοτικών για θεραπεία και προφύλαξη. Ως συνέπεια της χρήσης αντιβιοτικών στην υδατοκαλλιέργεια, προκαλείται αντοχή στα αντιβιοτικά στα γύρω βακτήρια στο νερό της στήλης, στα ιζήματα και στα βακτηριακά στελέχη που σχετίζονται με τα ψάρια. Μέσω της οριζόντιας μεταφοράς γονιδίων, τα βακτήρια μπορούν να διαχέουν γονίδια ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά και κινητά γονίδια αντίστασης διαδίδοντας περαιτέρω γενετικούς καθοριστικούς παράγοντες. Μόλις ενεργοποιηθεί, η αντοχή στα αντιβιοτικά εξαπλώνεται εύκολα μεταξύ των υδρόβιων μικροβιακών κοινοτήτων και, από εκεί, μπορεί να φτάσει σε ανθρώπινα παθογόνα βακτήρια, καθιστώντας μάταιη τη χρήση αντιβιοτικών για την ανθρώπινη υγεία. Η κλιματική αλλαγή διεκδικεί σημαντικό ρόλο σε αυτό το πλαίσιο, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει την κυτταρική φυσιολογία των βακτηρίων με τον ίδιο τρόπο όπως τα αντιβιοτικά, προκαλώντας την αντίσταση σ' αυτά. Η Μεσόγειος Θάλασσα αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κόμβο αναφορικά με την κλιματική αλλαγή και οι πτυχές της αντοχής στα αντιβιοτικά στην υδατοκαλλιέργεια σε αυτήν την περιοχή μπορούν να ενισχυθούν σημαντικά, αυξάνοντας έτσι τις απειλές για την ανθρώπινη υγεία. Πρέπει να υιοθετηθούν πρακτικές για την εξουδετέρωση των αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, με κομβικό σημείο τη μείωση της χρήσης αντιβιοτικών. Η προσέγγιση τύπου One Health, η οποία περιλαμβάνει την παρέμβαση διαφορετικών δεξιοτήτων, όπως η κτηνιατρική, η οικολογία και η ιατρική σε συμμόρφωση με τις αρχές της βιωσιμότητας, είναι απαραίτητη και συνιστάται έντονα για την αντιμετώπιση αυτών των σημαντικών προκλήσεων για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων και για την περιβαλλοντική ασφάλεια στην περιοχή της Μεσογείου.

Συμπεράσματα των μετα-αναλύσεων

Σύμφωνα με τα ανωτέρω καθώς και τις μετα-αναλύσεις/ανασκοπήσεις που καταγράφηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία κατά την τελευταία 5ετία αναφορικά με την ανθεκτικότητα των βακτηρίων στα αντιβιοτικά στα υδάτινα οικοσυστήματα, διαπιστώνουμε ότι ενώ καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα διαπιστώνονται ορισμένα κενά. Οι ανασκοπήσεις αφορούν τα υδάτινα οικοσυστήματα και τη διερεύνηση της ανθεκτικότητας των βακτηρίων χωρίς να εστιάζουν ειδικότερα σε συγκεκριμένα είδη. Διαπιστώθηκαν σε όλες σημαντικές σχέσεις με τη δημόσια υγεία καθώς και οι κίνδυνοι που προκύπτουν από τη βακτηριακή ανθεκτικότητα ιδίως κατά τις τελευταίες 2 δεκαετίες. Αυτό όμως που δεν διαπιστώθηκε είναι μια ανασκόπηση/μετα-ανάλυση που να εστιάζει κυρίως στα οστρακοειδή καθώς όπως αναφέρθηκε η κατανάλωσή τους παγκοσμίως είναι ιδιαίτερα αυξημένη με αποτέλεσμα να αποτελεί σημαντικό παράγοντα προς διερεύνηση καθώς συνιστά μεγάλη απειλή για τη δημόσια υγεία. Αυτό το κενό στη βιβλιογραφία έρχεται να καλύψει μέσω της μεθόδου της ανασκόπησης/μετα-ανάλυσης η παρούσα διπλωματική εργασία και να αποτυπώσει και να εξετάσει τα αποτελέσματα των ερευνών αναφορικά με την ανθεκτικότητα των βακτηρίων στα οστρακοειδή. Σύμφωνα με αυτά θα προκύψουν και οι αντίστοιχες δράσεις που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για την εξάλειψη αυτού του κινδύνου.

Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η σύνθεση (π.χ. συνδυασμός, επεξεργασία δεδομένων, σύνοψη) δεδομένων ερευνητικών μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για την ανίχνευση ανθεκτικών βακτηρίων σε αντιβιοτικά στο υδάτινο περιβάλλον και στα οστρακοειδή έτσι ώστε να οδηγήσουν σε ένα συνολικό συμπέρασμα.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Συλλογή πληροφορίας

Η συλλογή της πληροφορίας έγινε από τις βάσεις δεδομένων SCOPUS, PUBMED και google Scholar (44 επιστημονικά άρθρα δημοσιευμένα σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά του science direct index - research papers και reviews). Για την εύρεση των άρθρων, χρησιμοποιήθηκαν λέξεις κλειδιά όπως: antibiotic resistance, AMR-antimicrobial resistance, foodborne pathogens, enteric pathogens, bacteria, *Salmonella*, *Vibrio*, *Enterococcus*, *Yersinia*, aquatic environment, seawaters, freshwaters, finfish, shellfish, oysters, mussels, clams, shrimp, crabs, meta-analysis. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούν: το είδος παθογόνου που εμφανίζει ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά, τον τύπο του αντιβιοτικού, το ποσοστό εμφάνισης των ανθεκτικών βακτηρίων στα δείγματα (νερό από υδάτινα οικοσυστήματα, αλιευτικά προϊόντα), την προέλευση των δειγμάτων (χώρα, αγορά/εστίαση κτλ.), την πιθανή πηγή επιμόλυνσης, τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή προέλευσης (πχ. θερμοκρασία), κ.α.

2.2 Στατιστική ανάλυση

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε σύνθεση δεδομένων ερευνητικών μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για την ανίχνευση ανθεκτικών βακτηρίων σε αντιβιοτικά στα οστρακοειδή. Ο προσδιορισμός των πιθανών αποστάσεων τόσο μεταξύ των μεταβλητών (cases) όσο και μεταξύ των παραμέτρων (Ηπειροι), πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) χρησιμοποιώντας την περιστροφή varimax (varimax rotation). Μόνο οι παράγοντες με eigenvalue μεγαλύτερο του 1 διατηρήθηκαν, με στόχο την επιλογή του βέλτιστου αριθμού συνιστωσών (PCs), σύμφωνα με το κριτήριο Kaiser. Εν συνεχεία, τα scores παρουσιάστηκαν σε plots των 2 πρώτων συνιστωσών.

3. Αποτελέσματα

3.1 Συχνότητα εμφάνισης παθογόνων βακτηρίων στο υδάτινο περιβάλλον και ανθεκτικότητα ανά τον κόσμο

Βάσει της πληροφορίας που συλλέχθηκε από 44 ερευνητικά άρθρα, τα πιο κοινά πιθανά παθογόνα που βρέθηκαν στο υδάτινο περιβάλλον σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο ήταν τα *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *E. coli*, *Enterococcus* spp και *S. aureus* (Πίνακας 1). Από αυτά, όσον αφορά την Αμερική, το *V. parahaemolyticus* παρουσίασε ανθεκτικότητα στην Ampicillin και Ampicillin-intermediate σε ποσοστό 57 και 24% αντίστοιχα, καθώς επίσης και στην Chloramphenicol, Penicillin και Ampicillin σε ποσοστό 96, 68 και 53% αντίστοιχα. Στην Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην Ιταλία, το *V. parahaemolyticus* παρουσίασε ανθεκτικότητα στην Ampicillin κατά 80%, ενώ στην Ασία και συγκεκριμένα σε υδάτινα οισυστήματα της Ινδίας παρατηρήθηκε ανθεκτικότητα αυτού του μικροοργανισμού στην Ampicillin (100%), Furazolidone (80%), neomycin B (80%) και στην penicillin G (80%). Ανθεκτικότητα σημειώθηκε και σε *V. parahaemolyticus* που απομονώθηκε από υδάτινα οικοσυστήματα της Αφρικής, στην Ampicillin (100%), Sulfamethoxazole και Cephalothin (82%).

Σχετικά με το *V. vulnificus*, βακτήρια αυτού του είδους τα οποία απομονώθηκαν από υδάτινα οικοσυστήματα των Η.Π.Α. εμφάνισαν ανθεκτικότητα κατά 17.3% σε Doxycycline, Tetracycline, Aminoglycosides και Cephalosporins και κατά 99% σε Apramycin. Επιπλέον, το *V. vulnificus* παρουσίασε ανθεκτικότητα σε Chloramphenicol κατά 78% στην Αμερική, ενώ στην Ιταλία κατά 80% σε Ampicillin. Όσον αφορά την Ασία, σημειώθηκε ανθεκτικότητα του *V. vulnificus* στην Ampicillin (100%), Aceftriaxone και penicillin G (71%) και Furazolidone (57%) στην Ινδία, ενώ στις Φιλιππίνες ανθεκτικότητα σημειώθηκε στην Oxytetracycline, Furazolidone, Oxolinic acid και Chloramphenicol σε ποσοστά 4.3%, 1.6%, 1% και 0.66% αντίστοιχα. Στην Αφρική τα ποσοστά ανθεκτικότητας στην Ampicillin, Sulfamethoxazole, Cephalothin ήταν 100%, 100% και 92% αντίστοιχα. Όσον αφορά διάφορα άλλα είδη *Vibrio*, παρατηρήθηκε ανθεκτικότητα σε στελέχη που απομονώθηκαν από υδάτινα οικοσυστήματα στην Ιταλία σε Tetracycline, Trimethoprim- sulfadiazine, Trimethoprim (17%, 7% και 2%), στη Βραζιλία σε Ampicillin και Tetracycline (45.2%, 38.7%) και στην Αυστραλία σε Ampicillin, Moxicillin Cephalixin, Erythromycin, Cephalothin and Atetracycline (σε ποσοστά 40%, 45%, 34%, 34%, 14%, 5%).

Ανθεκτικότητα παρατηρήθηκε και στο *Enterococcus* spp. το οποίο απομονώθηκε από υδάτινα οικοσυστήματα της Ευρώπης, Αμερικής και Ασίας στα αντιβιοτικά Ampicillin (37.6%), Chloramphenicol (0.67%), Ciprofloxacin (38.3%), Erythromycin (36.6%) Gentamicin (20.6%), Levofloxacin (3.33%), Quinupristin-dalfopristin (54.5%), Streptomycin (6.30%), Sulfamethoxazole (100%), Tetracycline (13.1%), Vancomycin

(4.35%). Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά παρουσίασε και το *E. coli* και το *S. aureus* σε Chloramphenicol, Enrofloxacin και Ciprofloxacin (λιγότερο από 20%), σε Kanamycin (38%), Gentamicin (21%), Trimethoprim /Sulfamethoxazole (16%), Rifampicin (31%), Penicillin (35%), Furazolidone (71.8%), Tetracycline (15%) τα οποία απομονώθηκαν στην Κίνα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων απομονωμένων από υδάτινα οικοσυστήματα ανά τον κόσμο.

Παθογόνο	Αντιβιοτικό	Ποσοστό (%) ανθεκτικών βακτηρίων στο δείγμα νερού	Χώρα	Αναφορά
<i>V. parahaemolyticus</i>	Ampicillin	57	Ηνωμένες	Elmahdi et al., (2016)
	Ampicillin- intermediate	24	Πολιτείες Αμερικής	
<i>V. parahaemolyticus</i>	Chloramphenicol	96	Ηνωμένες	Elmahdi et al., (2016)
	Penicillin	68	Πολιτείες	
	Ampicillin	53	Αμερικής	

<i>V. parahaemolyticus</i>	Ampicillin	80	Ιταλία	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>	Ampicillin, Furazolidone, neomycin B and penicillin G.	100 80	Ινδία	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>	100%/Ampicillin and sulfamethoxazole Cephalothin	100 82	Αφρική	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. vulnificus</i>	Doxycycline, tetracycline, aminoglycosides and cephalosporins, Apramycin	17.3 99	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. vulnificus</i>	Chloramphenicol	78	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. vulnificus</i>	Ampicillin	80	Ιταλία	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. vulnificus</i>	Ampicillin Aceftriaxone and penicillin G, Furazolidone	100 71 57	Ινδία	Elmahdi et al., (2016)
<i>V. vulnificus</i>	Oxytetracycline Furazolidone Oxolinic acid	4.3 1.6 1	Φιλιππίνες	Elmahdi et al., (2016)

	Chloramphenicol	0.66		
<i>V. vulnificus</i>	Ampicillin and sulfamethoxazole, Cephalothin	100 92	Αφρική	Elmahdi et al., (2016)
<i>Vibrio</i> spp	Tetracycline Trimethoprim- sulfadiazine Trimethoprim	17 7 2	Ιταλία	Elmahdi et al., (2016)
<i>Vibrio</i> spp	Ampicillin Tetracycline	45.2 38.7	Βραζιλία	Elmahdi et al., (2016)
<i>Vibrio</i> spp	Ampicillin Moxicillin Cephalexin and erythromycin Cephalothin Atetracycline	40 45 34 14 5	Αυστραλία	Elmahdi et al., (2016)
<i>Enterococcus</i> spp	Ampicillin Chloramphenicol Ciprofloxacin Erythromycin Gentamicin Levofloxacin Quinupristin- dalfopristin Streptomycin Sulfamethoxazole	37.6 0.67 38.3 36.6 20.6 3.33 54.5 6.30 100	Ευρώπη/ Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής/ Ασία	Korajkic et al., (2020)

	Tetracycline	13.1		
	Vancomycin	4.35		
<i>E. coli</i>	Chloramphenicol, enrofloxacin and ciprofloxacin	Less than 20	Kíva	Wang et al. (2014)
	Kanamycin	38		
	Gentamicin	21		
	Trimethoprim /Sulfamethoxazole	16		
	Rifampicin	31		
	Penicillin	35		
	Furazolidone	71.8		
	Tetracycline	15		
<i>S. aureus</i>	Chloramphenicol, enrofloxacin and ciprofloxacin	Less than 20	Kíva	Wang et al. (2014)
	Kanamycin	38		
	Gentamicin	21		
	Trimethoprim /Sulfamethoxazole	16		
	Rifampicin	31		
	Penicillin	35		
	Furazolidone	71.8		
	Tetracycline	15		

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από υδάτινα περιβάλλοντα βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα, συνολικά για την κάθε ήπειρο.



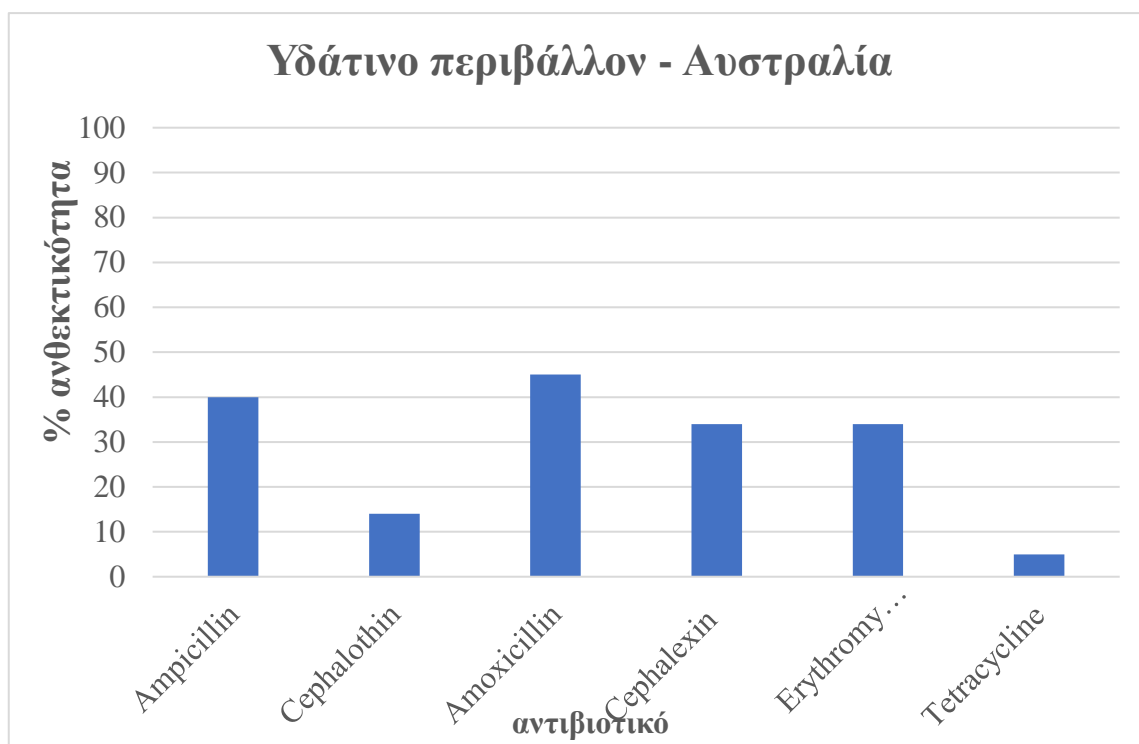
Διάγραμμα 1. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Ασία.



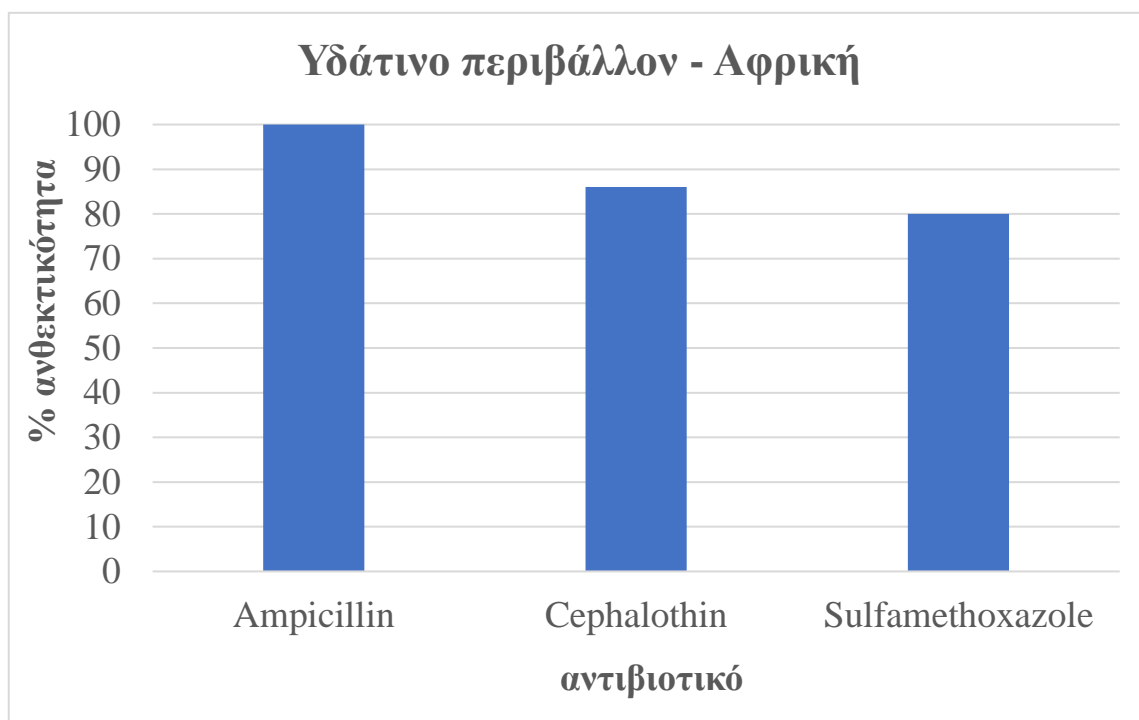
Διάγραμμα 2. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αμερική.



Διάγραμμα 3. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Ευρώπη.

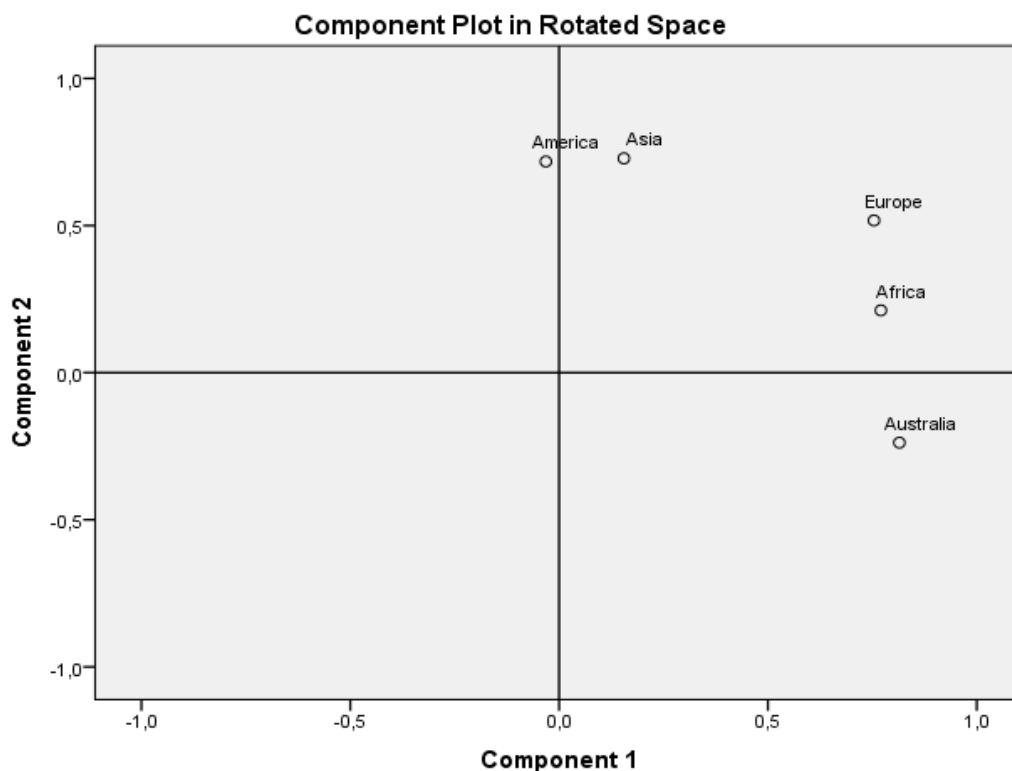


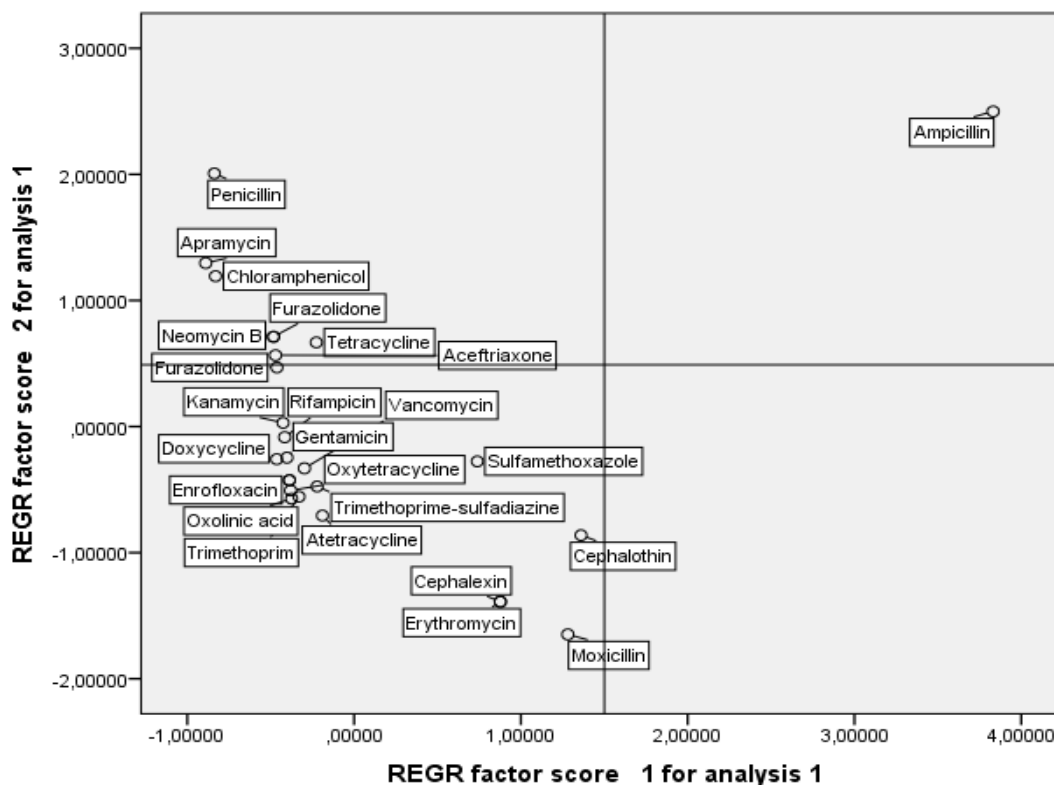
Διάγραμμα 4. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αυστραλία.



Διάγραμμα 5. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από το υδάτινο περιβάλλον στην Αφρική.

Στο Σχήμα 3.1, φαίνονται οι αποστάσεις τόσο μεταξύ των μεταβλητών (αντιβιοτικά) όσο και μεταξύ των παραμέτρων (Ηπειροι), βάσει της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) χρησιμοποιώντας την περιστροφή varimax (varimax rotation). Σύμφωνα με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) οι 2 πρώτοι παράγοντες εξηγούνε συνολικά το 65.3% της ολικής διασποράς (42.64% και 22.66%, αντίστοιχα). Στα διαγράμματα φαίνεται μία ομαδοποίηση μεταξύ Ασίας και Αμερικής καθώς και μεταξύ Ευρώπης και Αφρικής, ενώ η απόσταση μεταξύ Αυστραλίας με Ασίας και Αμερική είναι αξιοσημείωτη.





Σχήμα 3.1. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που απαντώνται σε υδάτινα οικοσυστήματα ανά τον κόσμο.

3.2 Ανίχνευση παθογόνων βακτηρίων στα αλιευτικά προϊόντα και ανθεκτικότητα

Τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά που απομονώθηκαν από τα αλιευτικά προϊόντα ανά τον κόσμο ήταν τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *Vibrio alginolyticus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter*, *L. monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *C. difficile* και *Enterococcus faecium* (Πίνακες 2-5). Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα σχετικά με την ανίχνευση παθογόνων με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα αλιευτικά προϊόντα για κάθε ήπειρο.

3.2.1 Ασία

Συνολικά, τα πιο σημαντικά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά απομονώθηκαν κυρίως από οστρακοειδή και καρκινοειδή με σημαντικότερα τα στρείδια, τις γαρίδες και τα μύδια. Ωστόσο, ανθεκτικότητα παρατηρήθηκε και σε βακτήρια τα οποία απομονώθηκαν κι από ιχθύες όπως το περυγόψαρο καθώς κι από κεφαλόποδα όπως το καλαμάρι (Πίνακας 2).

Αναλυτικότερα (βλ. Πίνακα 2), το *V. parahaemolyticus* βρέθηκε σε πολύ υψηλά ποσοστά σε στρείδια και μύδια στην Ταιβάν (στο 70.8% των δειγμάτων), σε οστρακοειδή και καρκινοειδή στην Κίνα (σε ποσοστό 95.7%), σε περυγόψαρο στην Ινδία (στο 68% των δειγμάτων), αλλά και σε αχιβάδες *Anadara granosa* (91.4%), σε γαρίδες (88.5%), σε αχιβάδες *Paphia undulata* (82.8%) και καλαμάρι (80%) στην Μαλαισία. Το *V. parahaemolyticus* βρέθηκε σε μικρότερες συγκεντρώσεις σε στρείδια και γαρίδες στην αγορά της Κίνας (στο 55.9% των δειγμάτων), σε γαρίδες στην Κίνα (47.8%), σε στρείδια σε περιοχή της Κορέας (σε ποσοστό 31.1% των δειγμάτων), σε στρείδια, μύδια και κοχύλι στην Κορέα (σε ποσοστό 40.3% των δειγμάτων), σε καβούρι, αχιβάδα και θαλάσσιο σαλιγκάρι στην περιοχή της Μαλαισίας (44%). Σε κάποιες περιπτώσεις, χαμηλότερα ποσοστά βρέθηκαν σε στρείδια σε περιοχή συγκομιδής στην Κορέα (στο 37.6% των δειγμάτων), σε γαρίδες στην αγορά της Κίνας (στο 32.6% των δειγμάτων) καθώς και σε στρείδια στην Ινδία (σε ποσοστό 5.5% των δειγμάτων). Επιπλέον, *V. parahaemolyticus* απομονωμένα από περυγόψαρο παρουσίασαν ανθεκτικότητα στην Ampicillin, Astreptomycin, Carbencillin, Cephalothin, Colistin, Amoxycilin (89%, 89%, 83%, 80%, 77%, 63% αντίστοιχα), από γαρίδες σε Ampicillin, Furazolidone, Neomycin B Penicillin G (100%, 80%, 80%, 80% αντίστοιχα), καθώς και από στρείδια στην Ινδία σε Ampicillin (90%), Cefotaxime (90%), Cefpodoxime (100%), Ceftizoxime (60%), Ceftriaxone (40%), Chloramphenicol (10%), Ciprofloxacin (10%), Nalidixic acid (10%), Tetracycline (50%). Όσον αφορά την Κίνα, βρέθηκε ανθεκτικότητα του *V. parahaemolyticus* στην Ampicillin (88%), Gentamicin (20%), Ciprofloxacin (5%), Levofloxacin (5%), Chloramphenicol (5%), Tetracycline (16%) σε γαρίδες, στην Ampicillin (79.6%), Piperacillin (8.16%), Cefazolin (39.8%), Gentamicin (17.3%), Kanamycin (39.8%), Streptomycin (68.3%), Tetracycline (13.2%), Ciprofloxacin (5.1%), Levofloxacin (1.02%), Trimethoprim / sulfamethoxazole (9.18%), Chloramphenicol (2.04%) σε στρείδια και γαρίδες, καθώς και σε Streptomycin (90.5%), Ampicillin (33.7%), Cephalothin (30.5%), Cefazolin (28.4%), Gentamicin (2.11%), Kanamycin (11.6%), Trimethoprim-sulfamethoxazole (6.32%), Tetracycline (3.16%) σε γαρίδες. Επιπλέον, ανθεκτικότητα παρουσιάστηκε σε Ampicillin (93%), Rifampin (82.9%), Streptomycin (75.4%), Kanamycin (50.1%) σε οστρακοειδή/καρκινοειδή, αλλά και σε Ampicillin (100%) σε θαλασσινά γενικότερα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ανθεκτικότητα του *V. parahaemolyticus* και στην Κορέα στην Vancomycin (90.9%), Ampicillin (86.4%), Streptomycin (75%) και Cephalothin (56.8%) σε στρείδια, αλλά και στην Ampicillin (87.3%), Piperacillin (1.7%), Cefazolin (77.9%),

Aztreonam (1.1%), Amikacin (9.4%), Gentamicin (1.1%), Kanamycin (2.8%), Streptomycin (59.1%), Trimethoprim-Sulphamethoxazole (1.1%), Trimethoprim (30.4%) σε μύδια και στρεΐδια. Επίσης, βρέθηκε ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά Ampicillin (98.3%), Cefotaxime (8.5%), Cefepime (5.1%), Cefotetan (18.7%), Cephalothin (62.7%), Gentamicin (5.1%), Kanamycin (40.7%), Streptomycin (76.3%), Ciprofloxacin (5.1%), Nalidixic acid (1.7%), Tetracycline (3.4%), Erythromycin (8.5%), Vancomycin (100%), Rifampin (61%) σε είδος στρεΐδιών. Εξίσου σημαντική ανθεκτικότητα παρουσιάστηκε σε Ampicillin (97.4%), Cefotaxime (71,1%), Cefepime (15.8%), Cephalothin (50%), Gentamicin (10.5%), Kanamycin (55.3%), Streptomycin (73.7%), Erythromycin (2.6%), Vancomycin (100%), Rifampin (47.4%) σε είδος στρεΐδιών και μυδίων. Όσον αφορά την Κορέα βρέθηκε ανθεκτικότητα του παθογόνου και στα αντιβιοτικά Ampicillin (87.6%), Cefazolin (63.9%), Streptomycin (40.2%), Trimethoprim (20.6%), Amikacin (1-5.2%), Aztreonam (1-5.2%), Piperacillin (1-5.2%), Gentamicin (1-5.2%), Ciprofloxacin (1-5.2%), Streptomycin (50.5%), Trimethoprim (45.4%), Kanamycin (24.7%) σε στρεΐδια, μύδια, κοχύλια και κινέζικη κυκλίνα. Επιπλέον, ανθεκτικότητα του παθογόνου εμφανίστηκε σε Ampicillin (63.1%), Cefalexin (35.4%) σε στρεΐδια και γαρίδες στη Μαλαισία, όπως και σε Ampicillin (88%), Ampicillin-sulbactam (19%), Cefotaxime (73%), Ceftazidime (51.5%), Imipenem (0.5%), Amikacin (81%), Gentamicin (3.5%), Kanamycin (70.5%), Tetracycline (13%), Oxytetracycline (16%), Nalidixic acid (1.9%), Levofloxacin (8.8%), Trimethoprim- sulfamethoxazole (6.9%), Chloramphenicol (8.8%) σε καβούρι, αχιβάδα και θαλάσσιο σαλιγκάρι στην ίδια χώρα. Τέλος, σε προϊόντα αγοράς της Μαλαισίας παρατηρήθηκε ανθεκτικότητα του *V. parahaemolyticus* στην Amikacin (37.5%), Amoxicillin-clavulanic acid (0.83%), Ampicillin (84.17%), Ampicillin-sulbactam (0.83%), Cefazolin (84.17%), Cefepime (3.33%), Cefotaxime (5%), Cefoxitin (12.5%), Ceftazidime (5%), Cefuroxime sodium (51.67%), Cephalothin (54.17%), Ciprofloxacin (13.33%), Gentamicin (6.67%), Levofloxacin (1.67%), Ofloxacin (2.5%), Penicillin G (100%), Piperacillin (35.83%), Piperacillintazobactam (15.83%). Στην Ταϊλάνδη παρατηρήθηκε αυξημένη ανθεκτικότητα του ίδιου παθογόνου σε Ampicillin (72%), αλλά και σε Erythromycin (21%), Sulfamethoxazole (3.6%), Trimethoprim (8%), Ampicillin (0.6%), Streptomycin (0.3%). Επίσης, ποσοστά ανθεκτικότητας εμφανίστηκαν στο Ιράν σε Ampicillin (97.2%), Gentamycin (83.3%), Penicillin (77.7%), αλλά και στην Ταϊβάν σε Ampicillin (96.7%), Rifampin (67.3%), Colistin (36.7%), Streptomycin (68%), Cephalothin (53.3%), Tetracycline (1.3%), Nalidixic acid (1.3%), Gentamicin (5.3%), Kanamycin (21.3%), Tobramycin (20.7%).

Το *V. cholerae* βρέθηκε σε πολύ χαμηλό ποσοστό σε στρεΐδια, μύδια, κοχύλια και κινέζικη κυκλίνα σε περιοχή της Κορέας (στο 6.5% των δειγμάτων) και επίσης παρουσίασε μια σημαντική ανθεκτικότητα σε Streptomycin (57.1%), Piperacillin (42.9%) και Aztreonam (28.6%). Όσον αφορά το *V. vulnificus*, αυτό βρέθηκε σε περυγόψαρο στην Ινδία (σε ποσοστό 2%), αλλά και σε στρεΐδια, μύδια, κοχύλι, κινέζικη κυκλίνα στην Κορέα (σε ποσοστό 6.5%). Στην Ινδία το συγκεκριμένο παθογόνο εμφάνισε ανθεκτικότητα σε Ampicillin (89%), Astreptomycin (89%), Carbencillin (83%), Cephalothin (80%), Colistin (77%), Amoxycilin (63%), ενώ στην Κορέα σε Amikacin

(75%), Gentamicin, Kanamycin, and Trimethoprim (25%). Σε διαφορετική έρευνα στην Ινδία, διαπιστώθηκε υψηλή ανθεκτικότητα του παθογόνου σε Ampicillin (100%), Aceftriaxone και Penicillin G (71%), Furazolidone (57%), καθώς και στο Ιράν στα αντιβιοτικά Ampicillin (97.2%), Agentamycin (83.3%), Penicillin (77.7%) σε ψάρια, γαρίδες, αστακό και καβούρι. Τέλος, παρατηρήθηκε ανθεκτικότητα σε Cefepime (3.03%), Atetracycline (6.06%), Aztreonam (24.2%), Astreptomycin (45.4%), Agentamicin (93.9%), Tobramycin (100%), Cefazolin (100%) σε γαρίδες στην Κίνα, ανθεκτικότητα σε Oxytetracycline (4.3%), Furazolidone (1.6%), Oxolinic acid (1%), Chloramphenicol (0.66%) σε γαρίδες στις Φιλιππίνες και ανθεκτικότητα σε Nalidixic acid (20%) σε γαρίδες στην Ταϊλάνδη. Το *V. alginolyticus* βρέθηκε σε πολύ υψηλό ποσοστό σε στρείδια στην Κορέα (93.8%) και εμφάνισε ανθεκτικότητα στην Ampicillin (100%), Cephalothin (26.7%), Kanamycin (6.7%), Streptomycin (6.7%), Vancomycin (100%), Rifampin (6.7%).

Όσον αφορά το *E. coli*, αυτό βρέθηκε σε στρείδια στην Κίνα με παρουσία ανθεκτικότητας σε αντιβιοτικά όπως στην Chloramphenicol, enrofloxacin και ciprofloxacin (<20%), Kanamycin (15%), Gentamicin (5%), Trimethoprim/Sulfamethoxazole (18%), Rifampicin (34%), Penicillin (32%), Furazolidone (75.3%) και Tetracycline (18%), καθώς και σε στρείδια στην Κορέα με εμφάνιση ανθεκτικότητας στην Ampicillin (11.8%), Piperacillin (7.9%), Amoxicillin-clavulanate (2.6%), Cefazolin (1.3%), Cefotaxime (3.9%), Aztreonam (1.3%), Gentamicin (27.6%), Amikacin (7.9%), Kanamycin (14.5%), Streptomycin (13.2%), Tetracycline (11.8%), Ciprofloxacin (2.6%), Nalidixic acid (9.2%), rimethoprim-sulfamethoxazole (5.3%), Trimethoprim (5.3%). Παρουσία του παθογόνου βρέθηκε και σε οστρακοειδή στο Βιετνάμ με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά όπως Ampicillin (30%), Amoxicillin (30%), Amoxicillin/clavulanate (5%), Tetracycline (50%), Sulfonamide (35%), Kanamycin (5%), Gentamicin (5%), Streptomycin (25%), Norfloxacin (10%), Enrofloxacin (10%), Ciprofloxacin (10%), Nalidixic acid (25%), Chloramphenicol (25%), Cefepime (20%), Trimethoprim (25%), αλλά και σε γαρίδες στην Ταϊλάνδη με ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά Tetracycline (14.4%), Ampicillin (8%), Trimethoprim (6.7%), Nalidixic acid (2.9%), Chloramphenicol (2.2%), Kanamycin (1.6%), Streptomycin (1.3%), Cefotaxime (0.3%), Ceftriaxone (0.3%), Ceftazidime (0.3%).

Επιπλέον, έχουν απομονωθεί *S. aureus* από στρείδια στην Κίνα, με παρουσία ανθεκτικότητας στα αντιβιοτικά Chloramphenicol, enrofloxacin και ciprofloxacin (>20%), Kanamycin (15%), Gentamicin (5%), Trimethoprim/Sulfamethoxazole (18%), Rifampicin (34%), Penicillin (32%), Furazolidone (75.3%), Tetracycline (18%).

Σημαντική παρουσία σε κοχύλι, αχιβάδα και γαρίδες στην Ινδία είχε και το *Salmonella* (σε ποσοστό 29.7% των δειγμάτων), με ανθεκτικότητα σε Sulfonamides (56.5%), Tetracycline (34.1%), Streptomycin (28.6%), Ampicillin (23.5%), Nalidixic acid (21.2%), Gentamicin (3.2%), Ciprofloxacin (2.3%), Ceftiofur (1.3%), Cefotaxime (0.9%), Ceftazidime (0.5%), Cefepime (0.5%), όπως και σε καλαμάρι, στρείδια, γαρίδες και αχιβάδα με ανθεκτικότητα σε Erythromycin (100%), Nalidixic acid (15.38%), Co-

trimoxazole (15.38%), Chloramphenicol (12.82%), Ampicillin (12.82%), Tetracycline (10.25%). Επίσης, το *B. cereus* βρέθηκε σε στρείδια και αχιβάδες στην Ταιβάν (0.68% των δειγμάτων) με ανθεκτικότητα σε Ampicillin (100%) και Sulfamethoxazole-trimethoprim (100%), καθώς και σε στρείδια και αχιβάδες σε άλλη περιοχή της Ταιβάν με συγκέντρωση 2.5% και ίδια ανθεκτικότητα στα ίδια αντιβιοτικά.

Πίνακας 2. Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Ασία.

Παθογόνο	Ποσοστό (%) παθογόνου στο προϊόν	Αντιβιοτικό	Ποσοστό (%) ανθεκτικών βακτηρίων στο προϊόν	Προϊόν	Προέλευση	Πιθανή πηγή επιμόλυνσης	Αναφορά
<i>V. parahaemolyticus</i>	32.6	Ampicillin Gentamicin Ciprofloxacin Levofloxacin Chloramphenicol Tetracycline	88 20 5 5 5 16	Γαρίδες (<i>Metapenaeus ensis</i>)	Κίνα (αγορά)		Lei et al. (2020)
<i>V. parahaemolyticus</i>	37.6	Vancomycin Ampicillin	90.9 86.4	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)	Γεωργικές απορροές/λύματα	Kang et al. (2017)

		Streptomycin Cephalothin	75 56.8			από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων	
<i>V. parahaemolyticus</i>		Ampicillin	100	Θαλασσινά	Κίνα	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>	68	Ampicillin Astreptomycin, Carbencillin, Cephalothin, Colistin, Amoxycilin	89 89 83 80 77 63	Πτερυγόψαρο	Ινδία (αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>		Ampicillin, Furazolidone, Neomycin B Penicillin G.	100 80 80 80	Γαρίδες	Ινδία (υδατοκαλλιέργεια)		Elmahdi et al. (2016)

V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin, Cefalexin	63.1 35.4	Στρείδια, Γαρίδες	Μαλαισία (αγορά)		Elmahdi et al. (2016)
V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin	72	Γαρίδες	Ταϊλάνδη		Elmahdi et al. (2016)
V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin, Gentamycin, Penicillin	97.2 83.3 77.7	Ψάρια, Γαρίδες, Αστακός, Καβούρι	Ιράν		Elmahdi et al. (2016)
V. <i>parahaemolyticus</i>	70.8 / 68.8	Ampicillin, Rifampin Colistin, Streptomycin, Cephalothin Tetracycline, Nalidixic acid Gentamicin Kanamycin, Tobramycin	96.7 67.3 36.7 68 53.3 1.3 1.3 5.3 21.3 20.7	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (Meretrix lusoria)	Ταϊβάν (οστρεοτροφείο)	Αλατότητα θαλασσινού νερού	Yu et al. (2013)

V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin Piperacillin Cefazolin Aztreonam Amikacin Gentamicin Kanamycin Streptomycin Trimethoprim- Sulphamethoxazole Trimethoprim	87.3 1.7 77.9 1.1 9.4 1.1 2.8 59.1 1.1 30.4	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) Κοχύλια κιβωτών (<i>Scapharca broughtonii</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)		Mok et al. (2019)
V. <i>parahaemolyticus</i>	47.8	Streptomycin, Ampicillin, Cephalothin, Cefazolin, Gentamicin, Kanamycin,	90.53 33.68 30.53 28.42 2.11 11.58 6.32	Γαρίδες	Κίνα (αγορά)	Αυξανόμενη χρήση αντιμικροβιακών για την πρόληψη και τη θεραπεία βακτηριακών λοιμώξεων σε	Xie et al. (2017)

		Trimethoprim-sulfamethoxazole, Tetracycline	3.16			προϊόντα υδατοκαλλιέργειας	
V. <i>parahaemolyticus</i>	31.1	Ampicillin Cefotaxime Cefepime Cefotetan Cephalothin Gentamicin Kanamycin Streptomycin Ciprofloxacin Nalidixic acid Tetracyclin Erythromycin Vancomycin Rifampin	98.3 8.5 5.1 18.7 62.7 5.1 40.7 76.3 5.1 1.7 3.4 8.5 100 61	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)	Αυξανόμενη εκβιομηχάνιση, ρύπανση του περιβάλλοντος	Kang et al. (2018)

V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin	97.4	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (<i>Venerupis philippinarum</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)		Jo et al. (2020)
		Cefotaxime	71.1				
		Cefepime	15.8				
		Cephalothin	50				
		Gentamicin	10.5				
		Kanamycin	55.3				
		Streptomycin	73.7				
		Erythromycin	2.6				
		Vancomycin	100				
		Rifampin	47.4				
V. <i>parahaemolyticus</i>	5.5	Ampicillin	90	Στρείδια	Ινδία (περιοχή συγκομιδής)		Parthasaraty et al. (2021)
		Cefotaxime	90				
		Cefpodoxime	100				
		Ceftizoxime	60				

		Ceftriaxone	40				
		Chloramphenicol	10				
		Ciprofloxacin	10				
		Nalidixic acid	10				
		Tetracycline	50				
V. <i>parahaemolyticus</i>	55.9	Ampicillin	79.59	Στρείδια, Γαρίδες	Κίνα (αγορά)		Yang et al. (2017)
		Piperacillin	8.16				
		Cefazolin	39.8				
		Gentamicin	17.3				
		Kanamycin	39.8				
		Streptomycin	68.3				
		Tetracycline	13.2				
		Ciprofloxacin	5.1				
		Levofloxacin	1.02				
		Trimethoprim / Sulfamethoxazole	9.18				

		Chloramphenicol	2.04				
V. <i>parahaemolyticus</i>		Erythromycin Sulfamethoxazole Trimethoprim Ampicillin Streptomycin	21 3.6 8 0.6 0.3	Στρείδια (<i>Crassostrea lugubris</i> , <i>Crassostrea belcheri</i>)	Ταϊλάνδη	Αστικά λύματα, απορρίψεις υδατοκαλλιέργειας, απόβλητα από τη γεωργία και απορροή υδάτων	Jeamsripong et al. (2020)
V. <i>parahaemolyticus</i>	44	Ampicillin, Ampicillin-sulbactam, Cefotaxime, Ceftazidime, Imipenem, Amikacin, Gentamicin, Kanamycin,	88 19 73 51.5 0.5 81 3.5 70.5	Καβούρι λάσπης (<i>Scyllaserrate</i>), καβούρι λουλουδιών (<i>Portunuspelagicus</i>), αχιβάδα χαλιού (<i>Paphiatextile</i>), αχιβάδα με σκληρό κέλυφος (<i>Meretrix</i> <i>Meretrix</i>) και	Μαλαισία (αγορά)		Letchuman et al. (2015)

		Tetracycline, Oxytetracycline, Nalidixicacid, Levofloxacin, Trimethoprim- sulfamethoxazole Chloramphenicol	13 16 1.9 8.8 6.9 8.8	θαλάσσιο σαλιγκάρι (<i>Cerithidea obtusa</i>)			
V. <i>parahaemolyticus</i>	95.7	Ampicillin, Rifampin, Streptomycin, Kanamycin	93 82.9 75.4 50.1	Οστρακοειδή, καρκινοειδή	Κίνα (αγορά)	Εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση, ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος	Su et al. (2020)
V. <i>parahaemolyticus</i>	40.3	Ampicillin Cefazolin Streptomycin Trimethoprim Amikacin	87.6 63.9 40.2 20.6 1 to 5.2	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)	Απόρριψη λυμάτων στο υδάτινο οικосύστημα	Mok et al. (2019)

		Aztreonam Piperacillin Gentamicin Ciprofloxacin Streptomycin Trimethoprim Kanamycin	1 to 5.2 1 to 5.2 1 to 5.2 1 to 5.2 50.5 45.4 24.7	Κοχύλια κιβωτών (<i>Scapharca bringonii</i>), Μύδια (<i>Ruditapes philippinarum</i>), Κινέζικη κυκλίνα (<i>Cyclina sinensis</i>) και αγκαθωτά κοχύλια (<i>Batillus cornutus</i>)			
V. <i>parahaemolyticus</i>	91.43 /88.57/ 82.86/ 80	Amikacin Amoxicillin- clavulanic acid, Ampicillin Ampicillin-sulbactam, Cefazolin, Cefepime,	37.5 0.83 84.17 0.83 84.17 3.33	Αχιβάδα (<i>Anadara granosa</i>), γαρίδα (<i>Penaeus</i> spp.), αχιβάδα (<i>Paphia undulata</i>) και καλαμάρι (<i>Loligo</i> spp.)	Μαλαισία (αγορά)		Chia et al. (2020)

		Cefotaxime, Cefoxitin Ceftazidime, Cefuroxime sodium, Cephalothin, Ciprofloxacin, Gentamicin, Levofloxacin 1.67 Ofloxacin, PenicillinG Piperacillin Piperacillintazobactam	5 12.5 5 51.67 54.17 13.33 6.67 2.5 100 35.83 15.83				
<i>V. cholerae</i>	6.5	Streptomycin Piperacillin Aztreonam	57.1 42.9 28.6	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)	Απόρριψη λυμάτων στο υδάτινο οικοσύστημα	Mok et al. (2019)

				Κοχύλια κιβωτών (<i>Scapharca bringonii</i>), Μύδια (<i>Ruditapes philippinarum</i>), Κινέζικη κυκλίνα (<i>Cyclina sinensis</i>) και αγκαθωτά κοχύλια (<i>Batillus cornutus</i>)			
<i>V. vulnificus</i>		Cefepime, Atetracycline Aztreonam Astreptomycin Agentamicin Tobramycin Cefazolin	3.03 6.06 24.24 45.45 93.94 100 100	Γαρίδες	Κίνα (αγορά)		Elmahdi et al. (2016)

<i>V. vulnificus</i>	2	Ampicillin	89	Πτερυγόψαρο	Ινδία (αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
		Astreptomycin	89				
		Carbencillin	83				
		Cephalothin	80				
		Colistin	77				
		Amoxycilin	63				
<i>V. vulnificus</i>		Ampicillin,	100	Γαρίδες	Ινδία (υδατοκαλλιέργεια)		Elmahdi et al. (2016)
		Aceftriaxone	71				
		and Penicillin G, Furazolidone	57				
<i>V. vulnificus</i>		Oxytetracycline,	4.3	Γαρίδες	Φιλιππίνες		Elmahdi et al. (2016)
		Furazolidone,	1.6				
		Oxolinic acid,	1				
		Chloramphenicol	0.66				

<i>V. vulnificus</i>		Nalidixic acid	20	Γαρίδες	Ταϊλάνδη		Elmahdi et al. (2016)
<i>V. vulnificus</i>		Ampicillin Agentamycin Penicillin	97.2 83.3 77.7	Ψάρια, Γαρίδες, Αστακός, Καβούρι	Ιράν		Elmahdi et al. (2016)
<i>V. vulnificus</i>	6.5	Amikacin, Gentamicin, Kanamycin, and Trimethoprim	75 25	Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) Κοχύλια κιβωτών (<i>Scapharca bringonii</i>), Μύδια (<i>Ruditapes philippinarum</i>), Κινέζικη κυκλίνα (<i>Cyclina sinensis</i>) και αγκαθωτά κοχύλια (<i>Batillus cornutus</i>)	Κορέα (περιοχή συγκομιδής)	Απόρριψη λυμάτων στο υδάτινο οικοσύστημα	Mok et al. (2019)

<i>Vibrio alginolyticus</i>	93.8	Ampicillin Cephalothin Kanamycin Streptomycin Vancomycin Rifampin	100 26.7 6.7 6.7 100 6.7	Στρείδια	Κορέα (εκτροφείο οστρακοειδών)		Kang et al. (2016)
<i>Escherichia coli</i>		Chloramphenicol, enrofloxacin and ciprofloxacin Kanamycin Gentamicin Trimethoprim /Sulfamethoxazole Rifampicin Penicillin	Less than 20 15 5 18 34 32 75.3	Στρείδια (<i>Crassostrea hongkongensis</i>)	Κίνα (υδατοκαλλιέργεια)	Μολυσμένες κατοικημένες περιοχές	Wang et al. (2014)

		Furazolidone	18				
		Tetracycline					
<i>Escherichia coli</i>		Ampicillin	11.8	Στρείδια	Κορέα (περιοχή	Ποτάμια	Jeong et al.
		Piperacillin	7.9	(<i>Crassostrea</i>	συγκομιδής)	μολυσμένα με	(2021)
		Amoxicillin- clavulanate	2.6	<i>gigas</i>)		κόπρανα, ρυάκια, ακατέργαστα	
		Cefazolin	1.3			λύματα, εκροές	
		Cefotaxime	3.9			όμβριων υδάτων	
		Aztreonam	1.3			και ανεπαρκώς	
		Gentamicin	27.6			επεξεργασμένα	
		Amikacin	7.9			λύματα από	
		Kanamycin	14.5			εγκαταστάσεις	
		Streptomycin	13.2			επεξεργασίας	
		Tetracycline	11.8			λυμάτων.	
		Ciprofloxacin	2.6				
		Nalidixic acid	9.2				
		rimethoprim- sulfamethoxazole	5.3				

		Trimethoprim	5.3				
<i>Escherichia coli</i>		Ampicillin	30	Οστρακοειδή	Βιετνάμ (αγορά)		Thi et al. (2008)
		Amoxicillin	30				
		Amoxicillin/ clavulanate	5				
		Tetracycline	50				
		Sulfonamide	35				
		Kanamycin	5				
		Gentamicin	5				
		Streptomycin	25				
		Norfloxacin	10				
		Enrofloxacin	10				
		Ciprofloxacin	10				
		Nalidixic acid	25				
		Chloramphenicol	25				
		Cefepime	20				

		Trimethoprim	25				
<i>Escherichia coli</i>		Tetracycline	14.4	Γαρίδες (<i>Penaeus vannamei</i>)	Ταϊλάνδη (εκτροφείο οστρακοειδών, αγορά)	Ακατάλληλος χειρισμός μεταξύ συγκομιδής και εμπορίας	Changkaw et al. (2014)
		Ampicillin	8				
		Trimethoprim	6.7				
		Nalidixic acid	2.9				
		Chloramphenicol	2.2				
		Kanamycin	1.6				
		Streptomycin	1.3				
		Cefotaxime	0.3				
		Ceftriaxone	0.3				
		Ceftazidime	0.3				
<i>S. aureus</i>		Chloramphenicol, enrofloxacin and ciprofloxacin	Less than 20	Στρείδια (<i>Crassostrea hongkongensis</i>)	Κίνα (υδατοκαλλιέργεια)	Μολυσμένες κατοικημένες περιοχές	Wang et al. (2014)
		Kanamycin	15				
		Gentamicin	5				

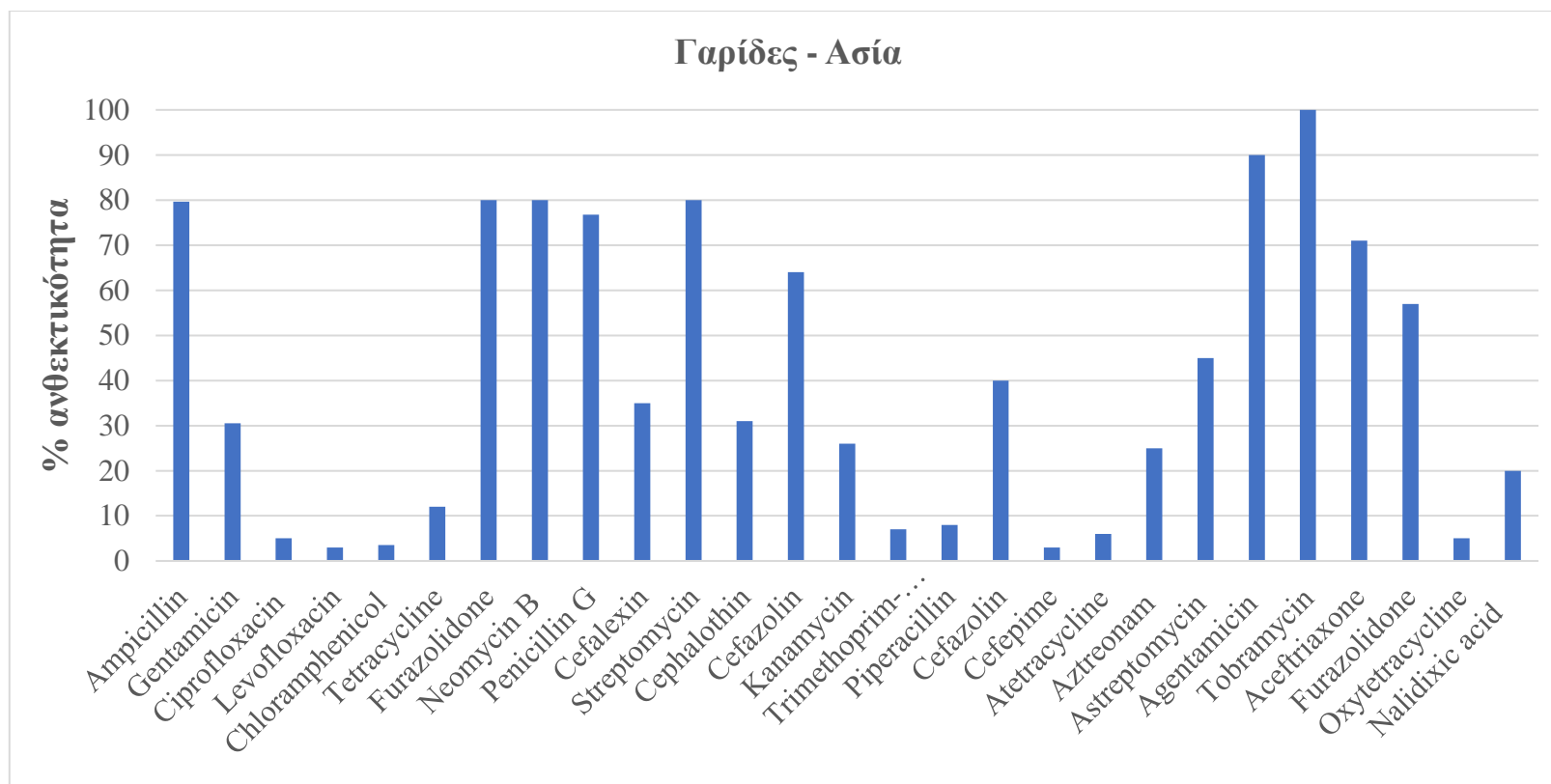
		Trimethoprim /Sulfamethoxazole	18				
		Rifampicin	34				
		Penicillin	32				
		Furazolidone	75.3				
		Tetracycline	18				
<i>Salmonella</i>		Erythromycin	100	Καλαμάρι, στρείδια,	Ινδία		Deekshit et al. (2016)
		Nalidixic acid	15.38	γαρίδες, αχιβάδα			
		Co-trimoxazole	15.38				
		Chloramphenicol	12.82				
		Ampicillin	12.82				
		Tetracycline	10.25				
<i>Salmonella</i>	29.7	Sulfonamides	56.5	Σπειροειδές κοχύλι,	Σανγκάι, Κίνα	Μολυσμένο νερό	Zhang et al. (2015)
		Tetracycline	34.1	Αχιβάδα, Γαρίδες	(αγορά)	Πρακτικές επεξεργασίας	
		Streptomycin	28.6				
		Ampicillin	23.5				

		Nalidixic acid	21.2				
		Gentamicin	3.2				
		Ciprofloxacin	2.3				
		Ceftiofur	1.3				
		Cefotaxime	0.9				
			0.5				
		Ceftazidime	0.5				
		cefepime (0.5%)					
<i>Bacillus cereus</i>	0.68	Ampicillin	100	Στρεΐδια, Αχιβάδες	Ταϊβάν, Ασία		Hsu et al. (2020)
		Sulfamethoxazole-trimethoprim	100		(περιοχή συγκομιδής)		
<i>Bacillus cereus</i>	2.5	Ampicillin	100	Στρεΐδια, Αχιβάδες	Ταϊβάν, Ασία		Hsu et al. (2020)
		Sulfamethoxazole-trimethoprim	100		(περιοχή καλλιέργειας στρεϊδιών)		

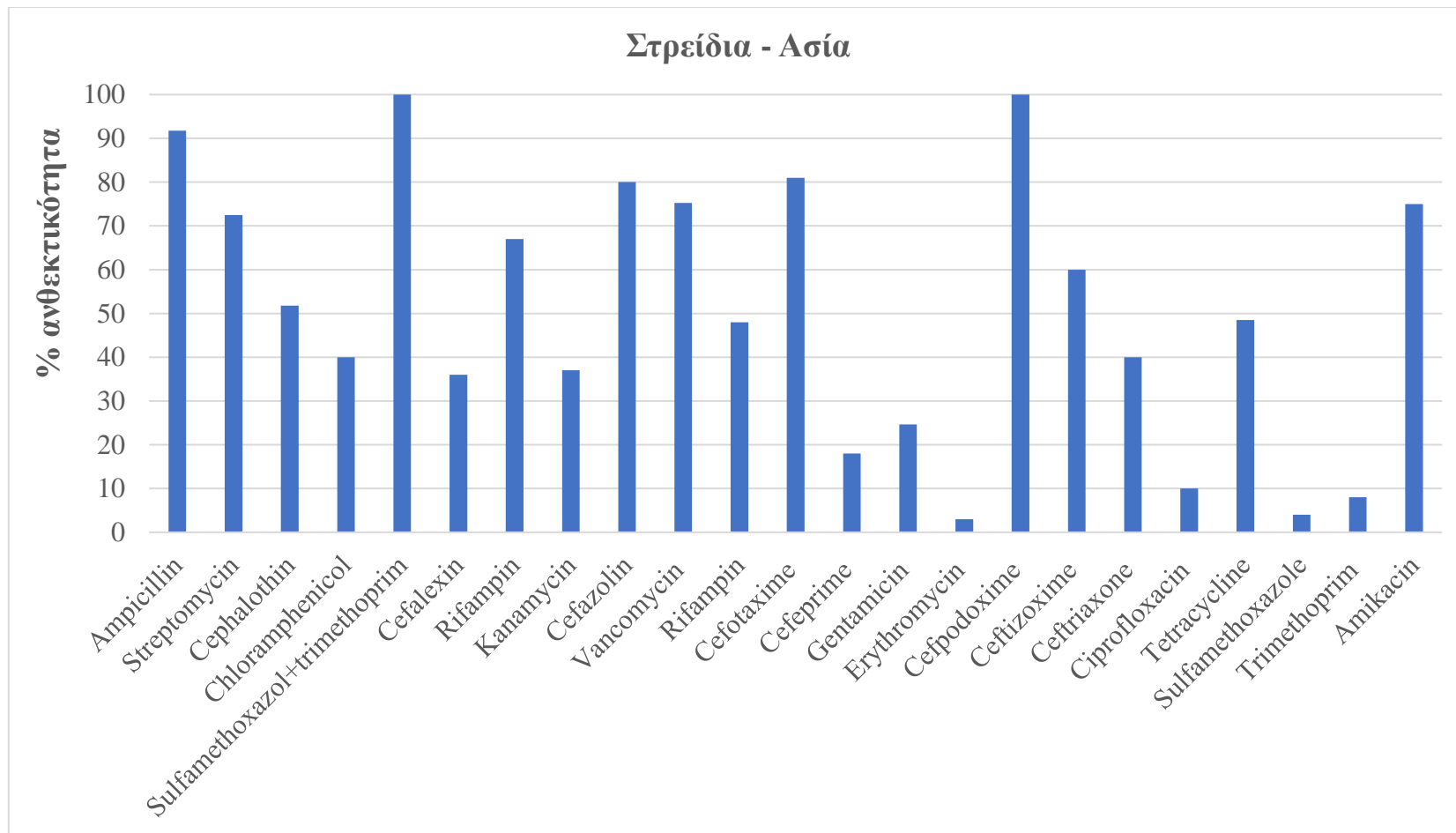
<i>Shewanella putrefaciens</i>	30	Ampicillin	95.8	Μύδια (<i>Mytilus edulis</i>) Αχιβάδα (<i>Cyclina sinensis</i>), Στρείδια (<i>Crassostrea gigas</i>), Αχιβάδα (<i>Ruditapes Philippinarum</i>), Κοχύλια (<i>Neptunea (Barbitonia) arthritica cumingii</i>), Κοχύλια (<i>Dosinorbis japonicas</i>)	Κορέα	Παγκόσμια υπερθέρμανση	Kang et al. (2013)
<i>Shewanella putrefaciens</i>		Vancomycin Cephalothin Ampicillin Streptomycin	87.5 75 43.8 43.8	Οστρακόδερμα	Κορέα	Βαρέα μέταλλα ως ρύποι στο υδάτινο περιβάλλον.	Kang et al. (2016)
<i>heterotrophic bacteria</i>		Ciprofloxacin Chloramphenicol	31.7 15	Γαρίδες	Ινδία		Nadella et al. (2021)

		Co-trimoxazole	26.7				
		Erythromycin	33				
		Oxytetracycline	66.7				

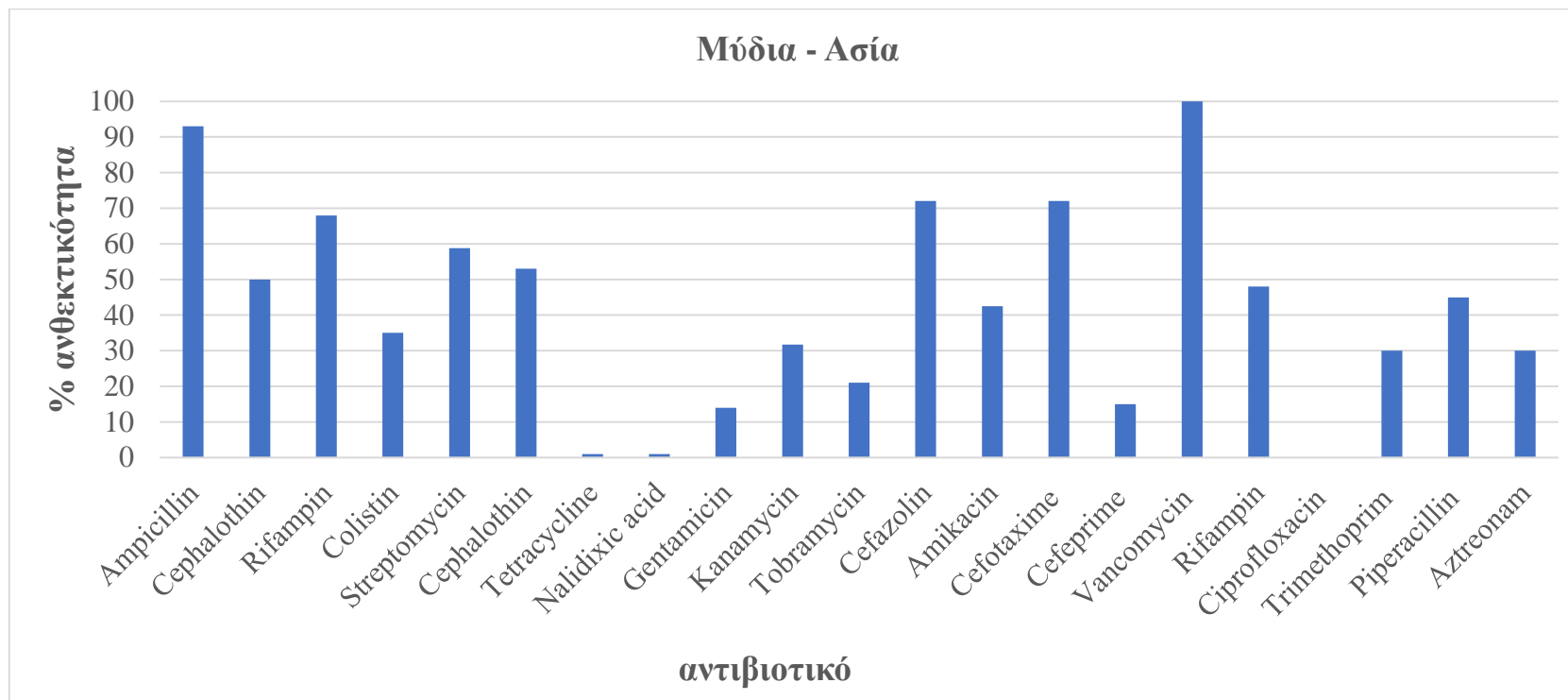
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα, βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα, συνολικά για την Ασία.



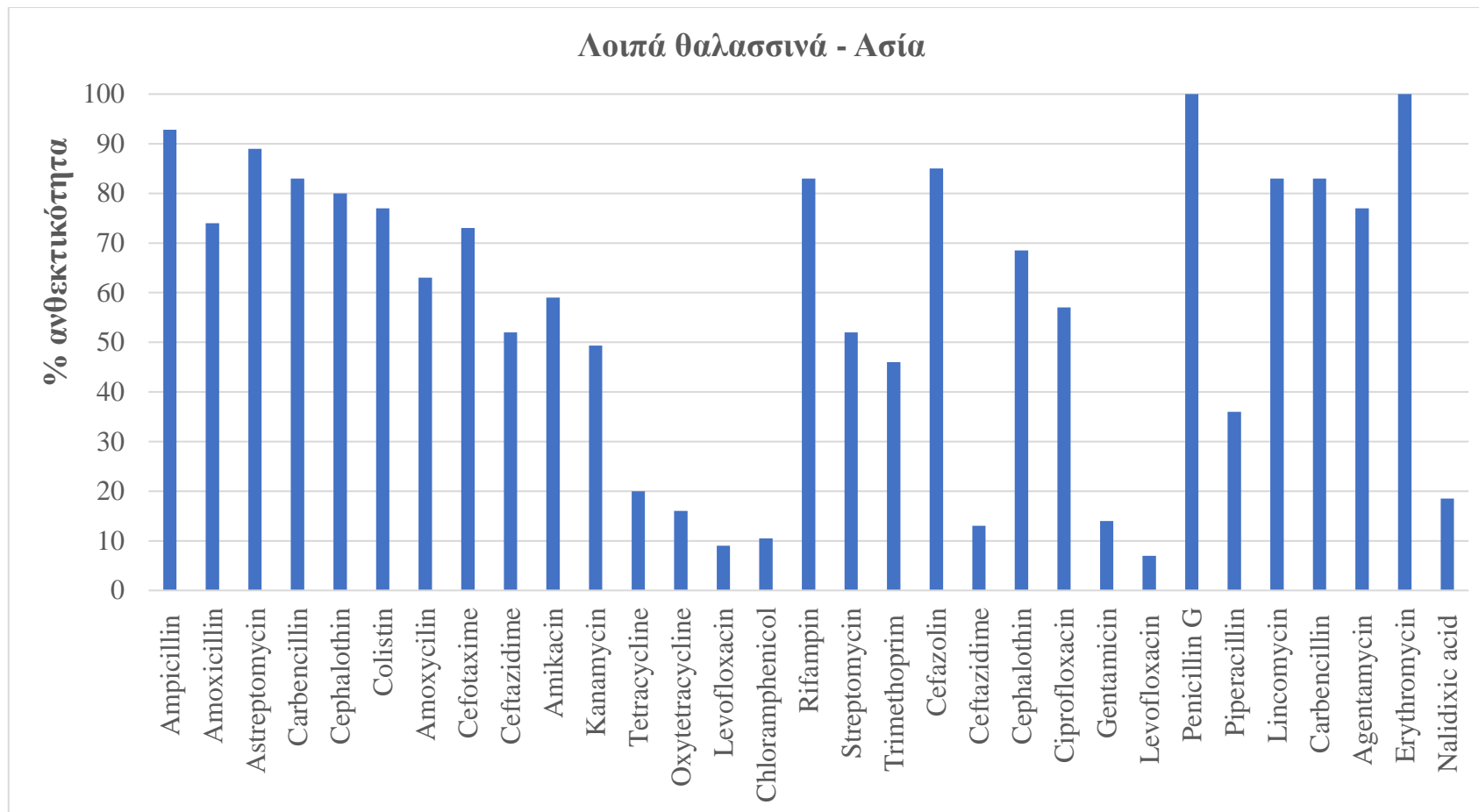
Διάγραμμα 6. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από γαρίδες στην Ασία.



Διάγραμμα 7. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από στρείδια στην Ασία.



Διάγραμμα 8. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από μύδια στην Ασία.



Διάγραμμα 9. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηριών που απομονώθηκαν από λοιπά θαλασινά στην Ασία.

3.2.2 Αμερική

Όσον αφορά την ανίχνευση παθογόνων με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα αλιευτικά προϊόντα στην Αμερική (Πίνακας 3), το *V. parahaemolyticus* το οποίο απομονώθηκε από στρείδια βρέθηκε να παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην Ampicillin (57%) και στην Ampicillin-intermediate (24%), ενώ σε άλλη έρευνα εμφάνισε ανθεκτικότητα σε Amikacin (1%), Amoxicillin-clavulanic acid (1%), Ampicillin (3%), Cefepime (1%), Cefotaxime (3%), Cefoxitin (13%), Ceftazidime (7%), Ceftriaxone (5%), Cephalothin (11%), Doxycycline (1%), Piperacillin (1%) και Tetracycline (1%). Επίσης απομονώθηκε κι από γαρίδες στο Λος Άντζελες (34.2% των δειγμάτων) κι εμφάνισε ανθεκτικότητα στην Amphotericin B (63.3%). Στη Βραζιλία βρέθηκε σε υψηλό ποσοστό σε στρείδια (83% των δειγμάτων) κι εμφάνισε υψηλή ανθεκτικότητα σε Ampicillin (88%), Cephalothin (63%), Ceftazidime (25%), Chloramphenicol (25%), Sulfamethoxazol +trimethoprim (12%), αλλά απομονώθηκε κι από μύδια (65% των δειγμάτων), κι εμφάνισε ανθεκτικότητα σε Ampicillin (88%), Cephalothin (63%), Ceftazidime (25%), Chloramphenicol (25%), Sulfamethoxazol +trimethoprim (12%). Επιπλέον, ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά Ampicillin (90%), Amikacin (60%) έδειξαν τα στελέχη που απομονώθηκαν από γαρίδες αλλά και από φρέσκα και κατεψυγμένα στρείδια με ανθεκτικότητα σε Vancomycin (97.4%), Penicillin (92.3%), Ampicillin (48.6%), Erythromycin (15.4%) όσον αφορά τα φρέσκα στρείδια και σε Vancomycin (100%), Penicillin (100%), Ampicillin (95.8%), Erythromycin (33.3%) όσον αφορά τα κατεψυγμένα.

Σχετικά με το *V. cholerae*, απομονώθηκε από στρείδια στην Αμερική (σε ποσοστό 48%), με εμφανή ανθεκτικότητα σε Amoxicillin-clavulanic Acid (14%), Cephalothin (9%), Tetracycline (11%), Kanamycin (3%), Streptomycin (11%) και Amikacin (11%). Το *V. vulnificus* βρέθηκε σε στρείδια (στο 38% των δειγμάτων) στην Αμερική, με ανθεκτικότητα σε Amoxicillin-clavulanic acid (26%), Ampicillin (26%), Ampicillin-sulbactam (3%), Cefepime (2%), Cefotaximeb (7%), Cefoxitin (17%), Ceftazidime (12%), Ceftriaxone (12%), Cephalothin (67%), Chloramphenicol (2%), Doxycycline (21%), Imipenem (16%), Tetracycline (29%) και Trimethoprim-sulfamethoxazoleb (2%).

Το *V. alginolyticus* απομονώθηκε από στρείδια στο Μεξικό και έδειξε ανθεκτικότητα στην Ampicillin (96%), Cefalotin (60%), Amikacin (45%), Cefotaxim (16%), Trimethoprim-Sulfamethoxazole (10%), Chloramphenicol (3%), Gentamicin (38%), Tetracycline (84%). Τέλος, *Vibrio* spp. παρατηρήθηκε πως ήταν ανθεκτικά σε Ampicillin (45.2%) και Tetracycline (38.7%) σε γαρίδες στη Βραζιλία.

Όσον αφορά το *E. coli*, βρέθηκε σε στρείδια και έδειξε ανθεκτικότητα στην Cephalothin (90.2%), Nitrofurantoin (43.9%), Ampicillin (22%), Cefoxitin (31.7%), Nalidic Acid (4.9%), Amoxicillin (19.5%), Ceftriaxone (2.4%), Gentamicin (2,4%), αλλά και σε γαρίδες στο Λος Άντζελες (34.2% των δειγμάτων) με ποσοστά ανθεκτικότητας σε Co-Trimoxazole 32.5%, Ampicillin 7.5% και Tetracycline 7.5%. Ανθεκτικότητα παρουσίασαν στελέχη του παραπάνω βακτηρίου στην Amoxicillin (39.1%), Ampicillin

(8.7%), Cephalotin (52.2%), Gentamicin (10.9%), Tobramycin (8.7%), Amikacin (15.2%) σε στρεΐδια στην Βραζιλία, ενώ στο Μεξικό στελέχη του *E. coli* που απομονώθηκαν από γαρίδες, μύδια, καλαμάρια, τσούχτρες, στρεΐδια, παρουσίασαν ανθεκτικότητα στην Gentamicin (9%), Ciprofloxacin (5%), Nalidixic acid (7%), Sulfamethoxazole-trimethoprim (14%), Tetracycline (34%), Ampicillin (29%), Ceftazidime (4%), Cefotaxime (30%) και Chloranphenicol (5%).

Επιπλέον, το *C. jejuni* και το *L. monocytogenes* τα οποία απομονώθηκαν από γαρίδες στο Λος Άντζελες παρουσίασαν 100% και 75% ανθεκτικότητα στην Gentamicin και στην Nitroxoline, αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Αμερική.

Παθογόνο	Ποσοστό (%) παθογόνου στο προϊόν	Αντιβιοτικό	Ποσοστό (%) ανθεκτικών βακτηρίων στο προϊόν	Προϊόν	Προέλευση	Πιθανή πηγή επιμόλυνσης	Αναφορά
<i>V. parahaemolyticus</i>	83	Ampicillin Cephalothin Ceftazidime Chloramphenicol Sulfamethoxazol +trimethoprim	88 63 25 25 12	Στρείδια (<i>Crassostrea rhizophorae</i>)	Βραζιλία (περιοχή συγκομιδής)	Επεξεργασία και διασταυρούμενη μόλυνση στις τοποθεσίες εμπορευματοποίησης	Silva et al. (2018)
<i>V. parahaemolyticus</i>	65	Ampicillin Cephalothin	88 63	Μύδια (<i>Mytella guyanensis</i>)	Βραζιλία (περιοχή συγκομιδής)	Επεξεργασία και διασταυρούμενη	Silva et al. (2018)

		Ceftazidime	25			μόλυνση στις τοποθεσίες εμπορευματοποίησης	
		Chloramphenicol	25				
		Sulfamethoxazol +trimethoprim	12				
V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin	57	Στρείδια	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (περιοχή συγκομιδής και αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
		Ampicillin-intermediate	24				
V. <i>parahaemolyticus</i>		Ampicillin	90	Γαρίδες	Βραζιλία (αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
		Amikacin	60				
V. <i>parahaemolyticus</i>	38	Amikacin,	1	Στρείδια (<i>Crassostrea virginica</i>)	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (υδατοκαλλιέργεια)	Απόρριψη λυμάτων	Elmahdi et al. (2016)
		Amoxicillin-clavulanic acid	1				
		Ampicillin	3				
		Cefepime	1				
		Cefotaxime	3				

		Cefoxitin	13				
		Ceftazidime	7				
		Ceftriaxone	5				
		Cephalothin,	11				
		Doxycycline	1				
		Piperacillin	1				
		Tetracycline	1				
<i>V. parahaemolyticus</i>	34.2	Amphotericin B	63.3	Γαρίδες	Λος Άντζελες, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής		Wang et al. (2011)
<i>V. parahaemolyticus</i>		Φρέσκα: Vancomycin	97.4	Στρείδια (φρέσκα/κατεψυγμένα)	Βραζιλία (εστίαση)	Μολυσμένες υδάτινες οδοί	Costa et al. (2015)
		Penicillin	92.3	(<i>Crassostrea</i>			
		Ampicillin	48.6	<i>rhyzophorae</i>)			
		Erythromycin	15.4				
		Κατεψυγμένα:	100				

		Vancomycin	100				
		Penicillin	95.8				
		Ampicillin	33.3				
		Erythromycin					
<i>V. cholerae</i>	48	Amoxicillin-clavulanic Acid	14	Στρείδια	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής		Fang et al. (2019)
		Cephalothin	9				
		Tetracycline	11				
		Kanamycin	3				
		Streptomycin	11				
		Amikacin	11				
<i>V. vulnificus</i>	38	Amoxicillin-clavulanic acid	26	Στρείδια (<i>Crassostrea virginica</i>)	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (υδατοκαλλιέργεια)	Απόρριψη λυμάτων	Elmahdi et al. (2017)
		Ampicillin	26				
		Ampicillin-sulbactam	3				
			2				

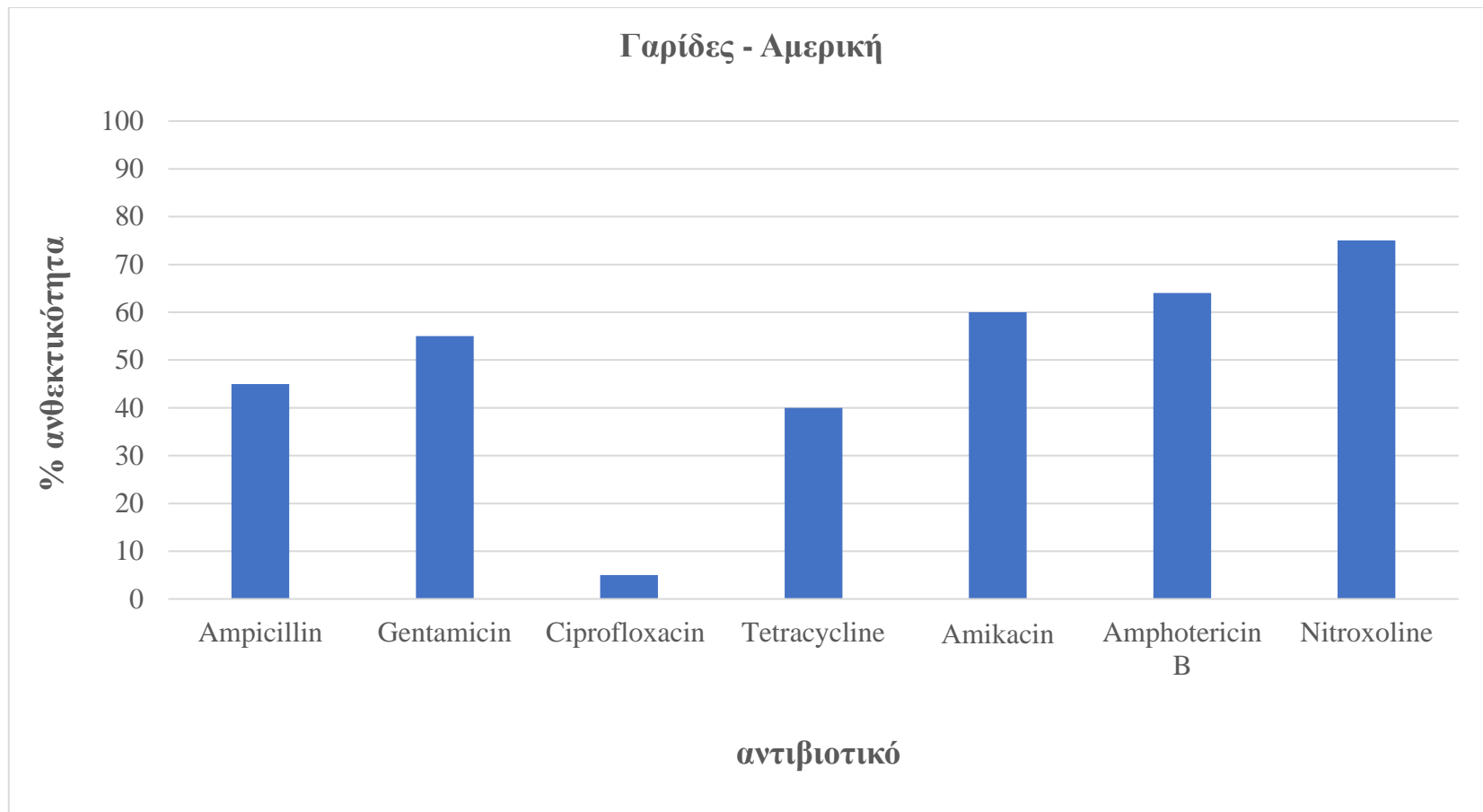
		Cefepime	7				
		Cefotaximeb	17				
		Cefoxitin	12				
		Ceftazidime	12				
		Ceftriaxone	67				
		Cephalothin	2				
		Chloramphenicol					
			21				
		Doxycycline	16				
		Imipenem	29				
		Tetracycline	2				
		Trimethoprim- sulfamethoxazoleb					
<i>Vibrio alginolyticus</i>		Ampicillin,	96	Στρεΐδα	Μεξικό (αγορά)		Hernández- Robles et al. (2016)
		Cefalotin,	60				
		Amikacin,	45				
		Cefotaxim,	16				
		Trimethoprim-	10				

		Sulfamethoxazole, Chloramphenicol, Gentamicin, Tetracycline	3 38 84				
<i>Vibrio spp.</i>		Ampicillin Tetracycline	45.2 38.7	Γαρίδες	Βραζιλία	Λοιμώξεις στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>Escherichia coli</i>	61	Cephalothin Nitrofurantoin Ampicillin Cefoxitin Nalidic Acid Amoxicillin Ceftriaxone Gentamicin	90.2 43.9 22 31.7 4.9 19.5 2.4 2.4	Στρείδια (<i>Crassostrea virginica</i>)	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Μόλυνση του νερού,(εκροή λυμάτων, υπερχειλίση υπονόμων και εκροές όμβριων υδάτων).	Miotto et al. (2018)

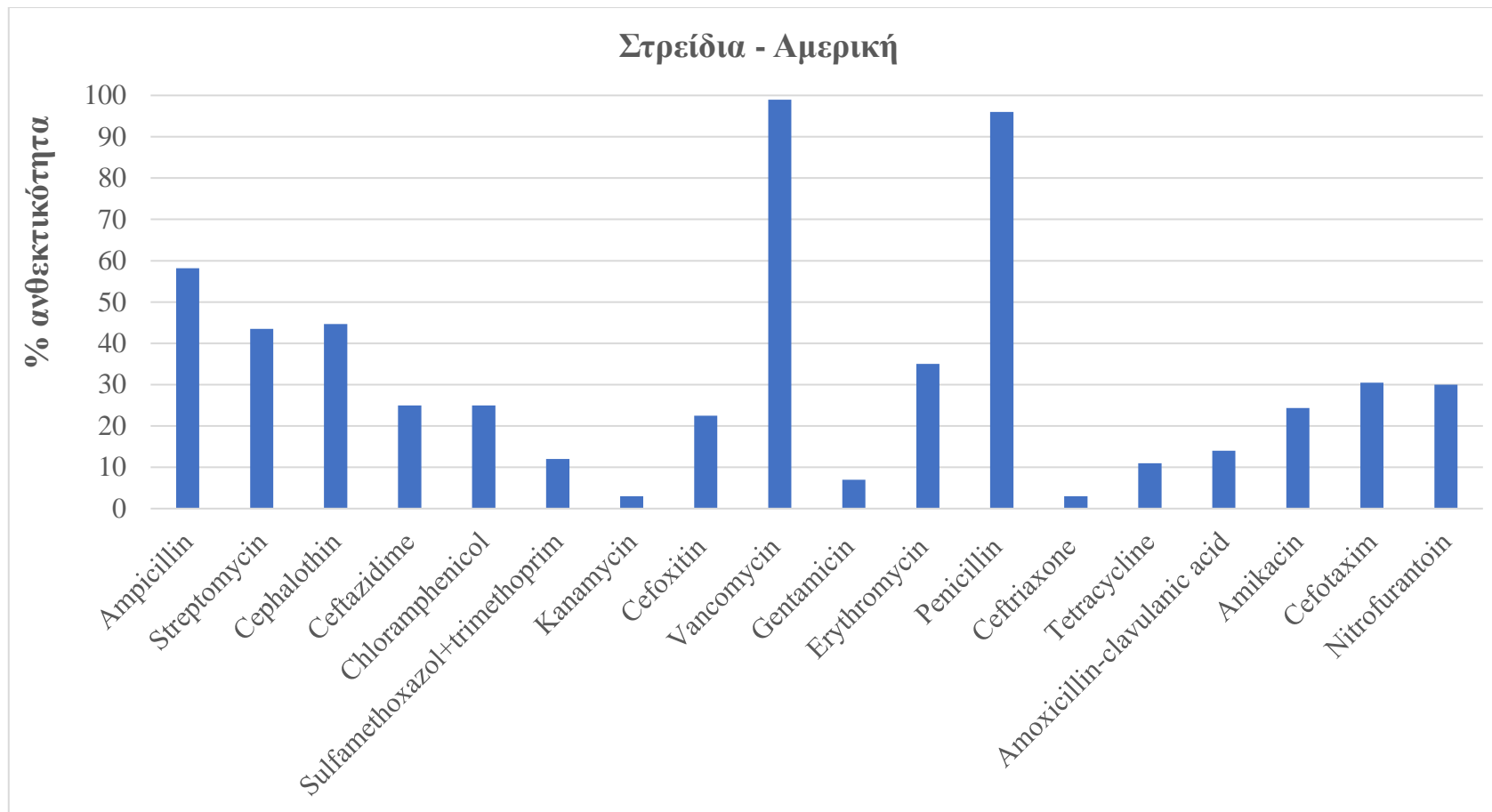
<i>Escherichia coli</i>	34.2	Co-Trimoxazole, Ampicillin Tetracycline	32.5 7.5 7.5	Γαρίδες	Λος Άντζελες, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής		Wang et al. (2011)
<i>Escherichia coli</i>		Amoxicillin Ampicillin Cephalotin Gentamicin Tobramycin Amikacin	39.1 8.7 52.2 10.9 8.7 15.2	Στρείδια (<i>Crassostrea gasar</i>)	Βραζιλία		Oliveira et al. (2020)
<i>Escherichia coli</i>	10.8	Gentamicin Ciprofloxacin Nalidixic acid Sulfamethoxazole-trimethoprim	9 5 7 14	Γαρίδες, μύδια, καλαμάρια, τσούχτρες, στρείδια	Μεξικό		Canizalez-Roman et al. (2013)

		Tetracycline	34				
		Ampicillin	29				
		Ceftazidime	4				
		Cefotaxime	30				
		Chloranphenicol	5				
<i>Campylobacter jejuni</i>	34.2	Gentamicin	100	Γαρίδες	Λος Άντζελες, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής		Wang et al. (2011)
<i>Listeria monocytogenes</i>	34.2	Nitroxoline	75	Γαρίδες	Λος Άντζελες, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής		Wang et al. (2011)

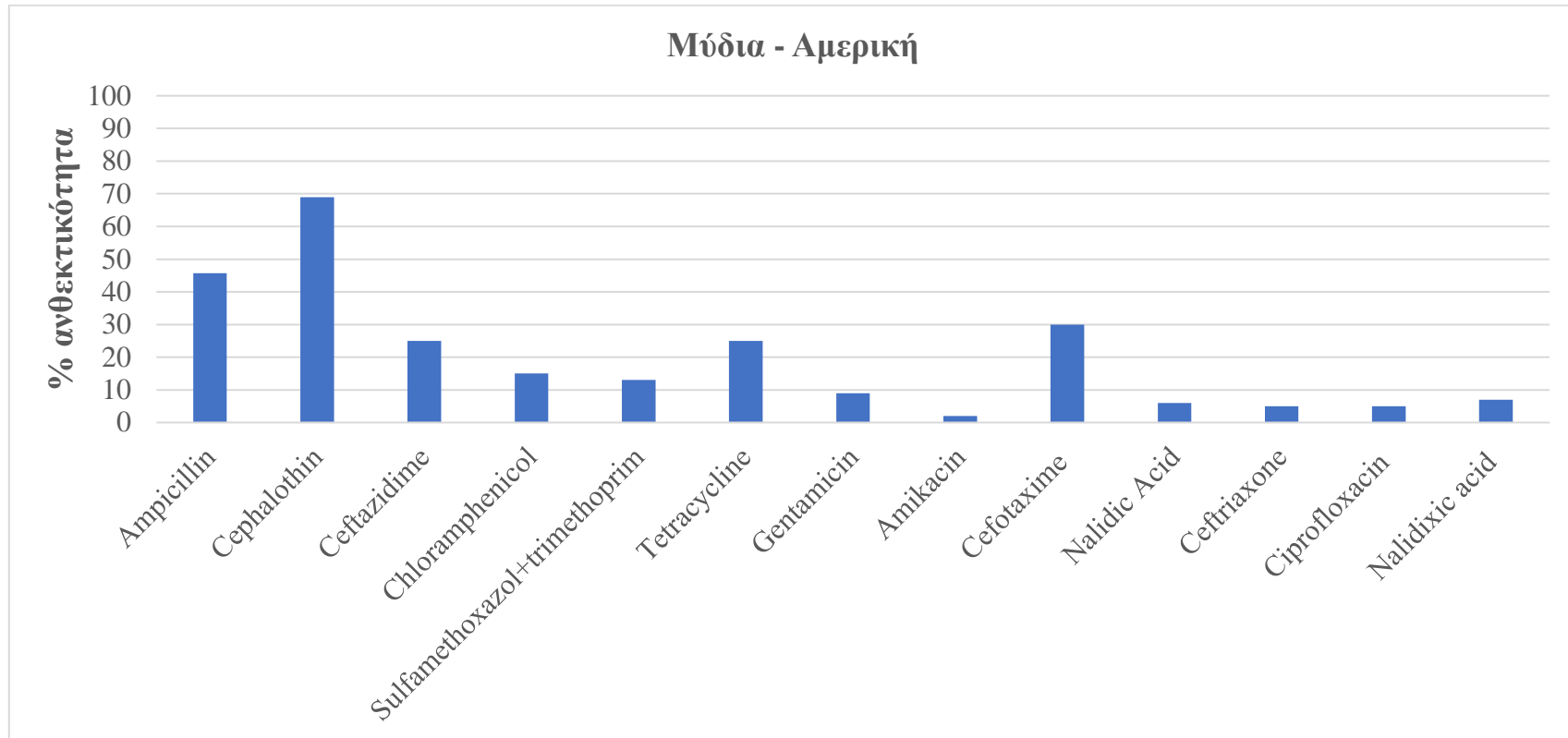
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα, βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα, συνολικά για την Αμερική.



Διάγραμμα 10. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από γαρίδες στην Αμερική.



Διάγραμμα 11. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από στρείδια στην Αμερική.



Διάγραμμα 12. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από μύδια στην Αμερική.

3.2.3 Ευρώπη

Σχετικά με την αντίχνευση παθογόνων με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα αλιευτικά προϊόντα στην Ευρώπη (Πίνακας 4), υπήρξε εμφάνιση *V. parahaemolyticus* σε οστρακόδερμα της Ιταλίας με ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά Ampicillin και Amoxicillin κατά 100%, καθώς και σε άλλα θαλασσινά με ανθεκτικότητα σε Lincomycin κατά 100%. Στην Πολωνία, στελέχη του τα οποία απομονώθηκαν από μύδια, στρείδια και χτένια έδειξαν ανθεκτικότητα στην Ampicillin (87.5%), Ciprofloxacin (1.6%), Gentamicin (10.9%) και Streptomycin (70.3%).

E. coli απομονώθηκαν από αχιβάδα στην Ιταλία και βρέθηκαν ανθεκτικά στην Ampicillin (17%), Gentamicin (0.7%), Ciprofloxacin (2.8%), Tetracycline (25.5%), Chloramphenicol (2%), Nalidixic acid (5.6%), Trimethoprim/ sulfamethoxazole (8.5%) και Streptomycin (14%), ενώ αυτά που απομονώθηκαν από μύδια εμφάνισαν ανθεκτικότητα στην Ampicillin (56%), Streptomycin (52%), Gentamycin (35.4%), Sulphonamides (30%) και Ceftiofur (23%). Επιπλέον, *Salmonella* απομονώθηκε από διάφορα είδη μυδιών στην Ιταλία κι εμφάνισε ανθεκτικότητα στην Streptomycin (58.8%), Ampicillin (52%) κι στις Tetracyclines (45.1%). Το *P. aeruginosa* το οποίο βρέθηκε σε ποσοστό 17% σε μύδια στην Κροατία ήταν ανθεκτικό στην Piperacillin (13%), Piperacillin/tazobactam (12%), Ceftazidime (13%), Cefotaxime (13%), Imipenem (5%), Meropenem (23%), Aztreonam (12%), Gentamicin (11%), Tobramycin (8%), Ciprofloxacin (12%) και Trimethoprim/Sulfamethoxazole (14%).

Το *C. difficile* απομονώθηκε από μύδια στην Ιταλία (16.9% των δειγμάτων) κι έδειξε ανθεκτικότητα στην Clindamycin (17%), Erythromycin (23%), Rifampicin (8.8%) και Moxifloxacin (10.6%).

Το *E. faecium* το οποίο απομονώθηκε από μαλάκια στην Ισπανία βρέθηκε να έχει ανθεκτικότητα στην Nitrofurantoin (50%), Rifampicin (33.3%), Quinupristin/dalfopristin (12.5%), Ciprofloxacin (4.16%), Levofloxacin (4.16%), ενώ αυτό που απομονώθηκε από αχιβάδες στην Ιταλία βρέθηκε να παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην Ampicillin (30%), Cefalexin (9%), Streptomycin (25%), Levofloxacin (31%), Erythromycin (31%), Quinupristin/dalfopristin (3%), Tetracycline (68%) και Daptomycin (13%).

Πίνακας 4. Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Ευρώπη.

Παθογόνο	Ποσοστό (%) παθογόνου στο προϊόν	Αντιβιοτικό	Ποσοστό (%) ανθεκτικών βακτηρίων στο προϊόν	Προϊόν	Προέλευση	Πιθανή πηγή επιμόλυνσης	Αναφορά
<i>V. parahaemolyticus</i>		Ampicillin Amoxicillin	100 100	Οστρακόδερμα	Ιταλία (περιοχή συγκομιδής)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>		Lincomycin	100	Θαλασσινά	Ιταλία (αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>V. parahaemolyticus</i>	(17.5%:ISO METHOD) (91,4%:PCR)	Ampicillin	87.5	Μύδια, Στρείδια, Χτένια	Πολωνία (αγορά)	Κλιματική αλλαγή	Lopatek et al. (2015)

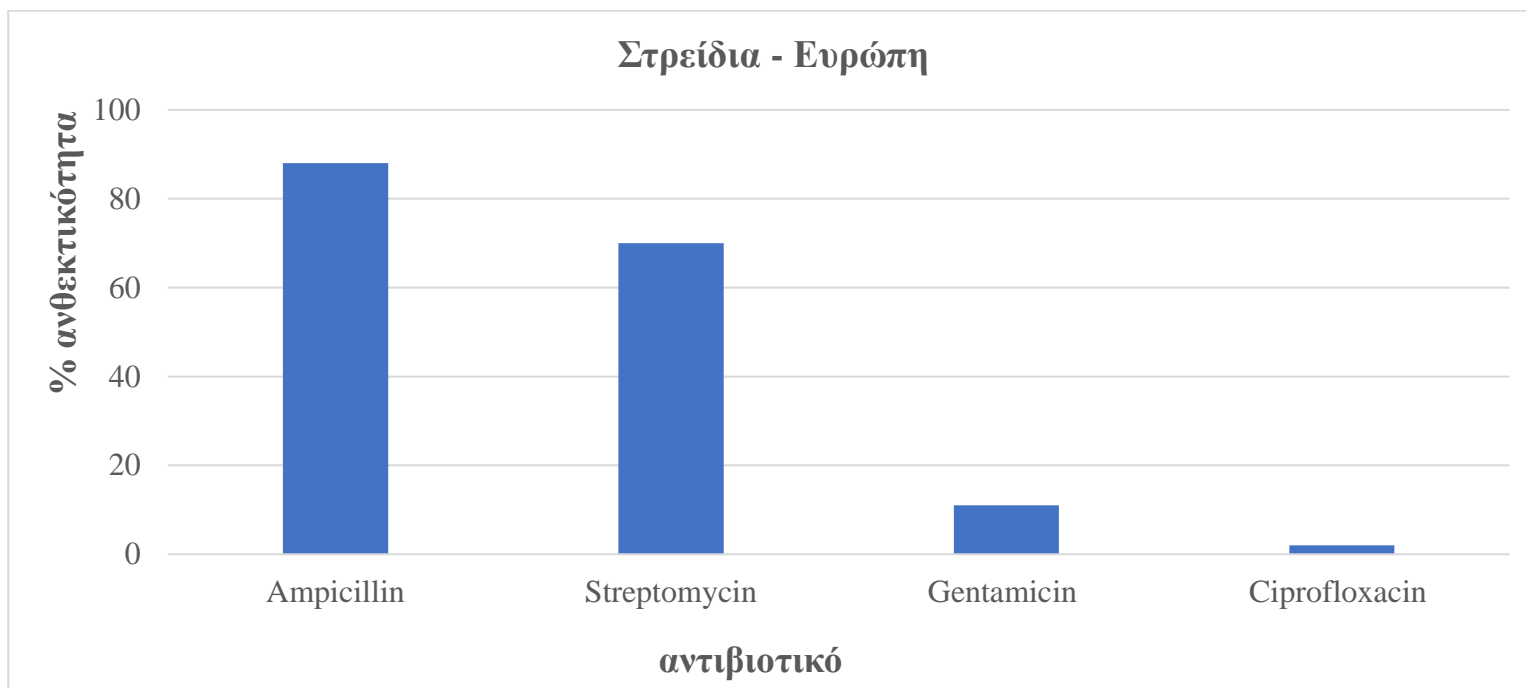
		Ciprofloxacin	1.6				
		Gentamicin	10.9				
		Streptomycin	70.3				
<i>V. vulnificus</i>		Lincomycin	100	Θαλασσινά	Ιταλία (αγορά)	Μόλυνση στην παραγωγή υδατοκαλλιέργειας	Elmahdi et al. (2016)
<i>Escherichia coli</i>		Ampicillin	17	Αχιβάδα (<i>Chamelea gallina</i>)	Ιταλία	Απορροή από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, και αστικά λύματα	Vignaroli et al. (2016)
		Gentamicin	0.7				
		Ciprofloxacin	2.8				
		Tetracycline	25.5				
		Chloramphenicol	2				
		Nalidixic acid	5.6				
		Trimethoprim/ sulfamethoxazole	8.5				
		Streptomycin	14				
<i>Escherichia coli</i>		Ampicillin	56	Μανίλα	Ιταλία	Απορροή από γεωργικές και	Giacometti et al. (2021)
		Streptomycin	52				

		Gentamycin Sulphonamides Ceftiofur	35.4 30 23	μύδια (<i>Ruditapes philippinarum</i>), ριγέ μύδια (<i>Chamelea gallina</i>), μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)		βιομηχανικές δραστηριότητες, και αστικά λύματα	
<i>Salmonella</i>		Streptomycin Ampicillin Tetracyclines	58.8 52 45.1	Μύδια (<i>Ruditapes philippinarum</i> , <i>Chamelea Gallina</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>)	Ιταλία	Αστικά λύματα	Giacometti et al. (2021)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	17	Piperacillin, Piperacillin /tazobactam Ceftazidime Cefotaxime	13 12 13 13	Μύδια (<i>M. galloprovincialis</i>)	Κροατία, Ευρώπη	Απόρριψη αστικών λυμάτων	Maravić et al. (2018)

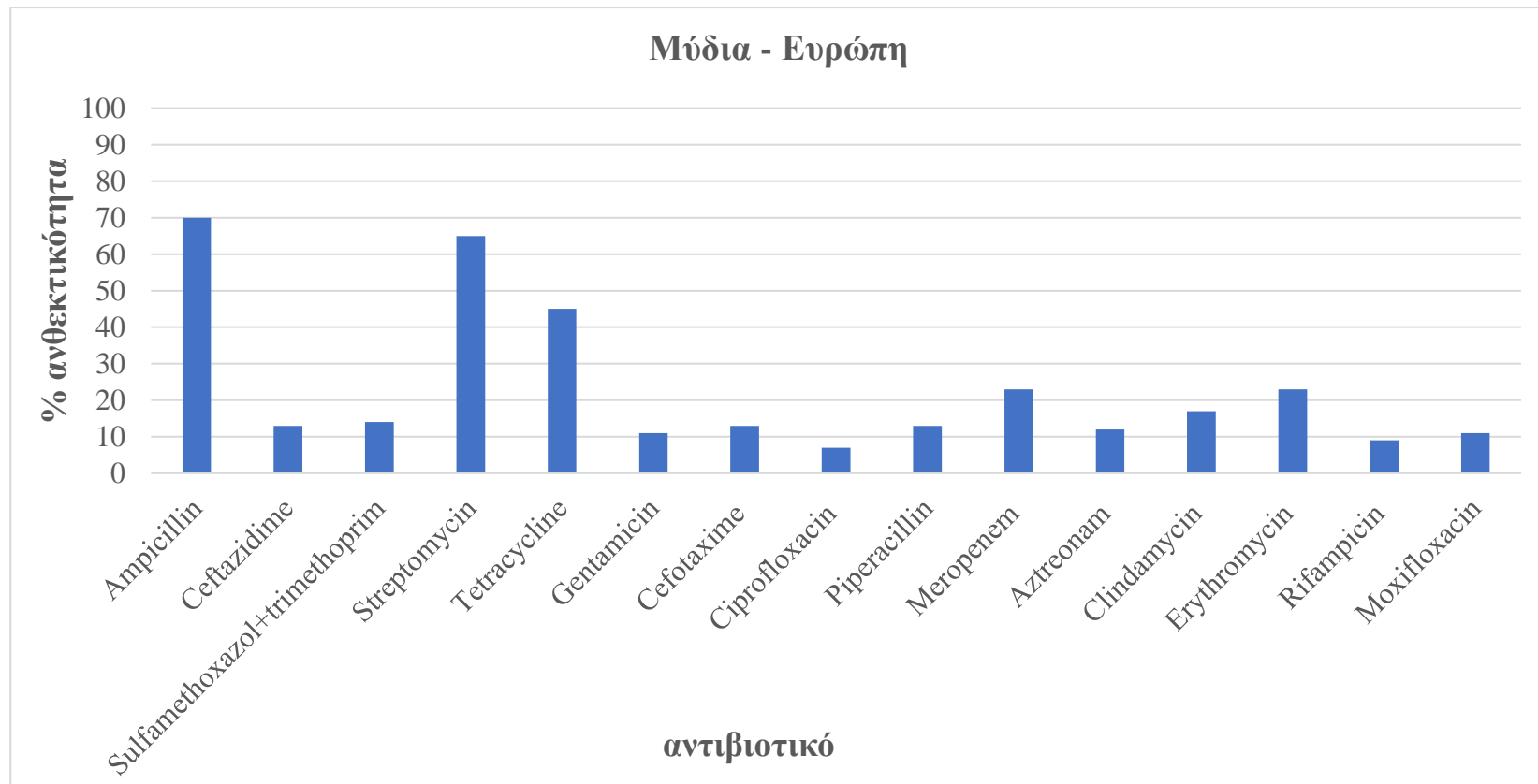
		Imipenem	5				
		Meropenem	23				
		Aztreonam	12				
		Gentamicin	11				
		Tobramycin	8				
		Ciprofloxacin	12				
		Trimethoprim /Sulfamethoxazole	14				
<i>Clostridium difficile</i>	16.9	Clindamycin	17	Μύδια (<i>M. galloprovincialis</i> , <i>R. philippinarum</i> , <i>C. gallina</i>)	Ιταλία (περιοχή συγκομιδής)		Agnoletti et al. (2019)
		Erythromycin	23				
		Rifampicin	8.8				
		Moxifloxacin	10.6				
<i>Enterococcus faecium</i>		Nitrofurantoin	50	Μαλάκια	Ισπανία (αγορά)		Valenzuela et al. (2010)
		Nitrofurantoin	33.33				
		Rifampicin, Quinupristin/ dalfopristin	33.33 12.5				
		Ciprofloxacin	4.16				

		Levofloxacin	4.16				
<i>Enterococcus</i>		Ampicillin	30	Αχιβάδες	Ιταλία	Ανεπαρκής επεξεργασία λυμάτων, απορροή μολυσμένων υδάτων	Citterio et al. (2017)
		Cefalexin	9				
		Streptomycin	25				
		Levofloxacin	31				
		Erythromycin	31				
		Quinupristin/ dalfopristin	3				
		Tetracycline	68				
		Daptomycin	13				

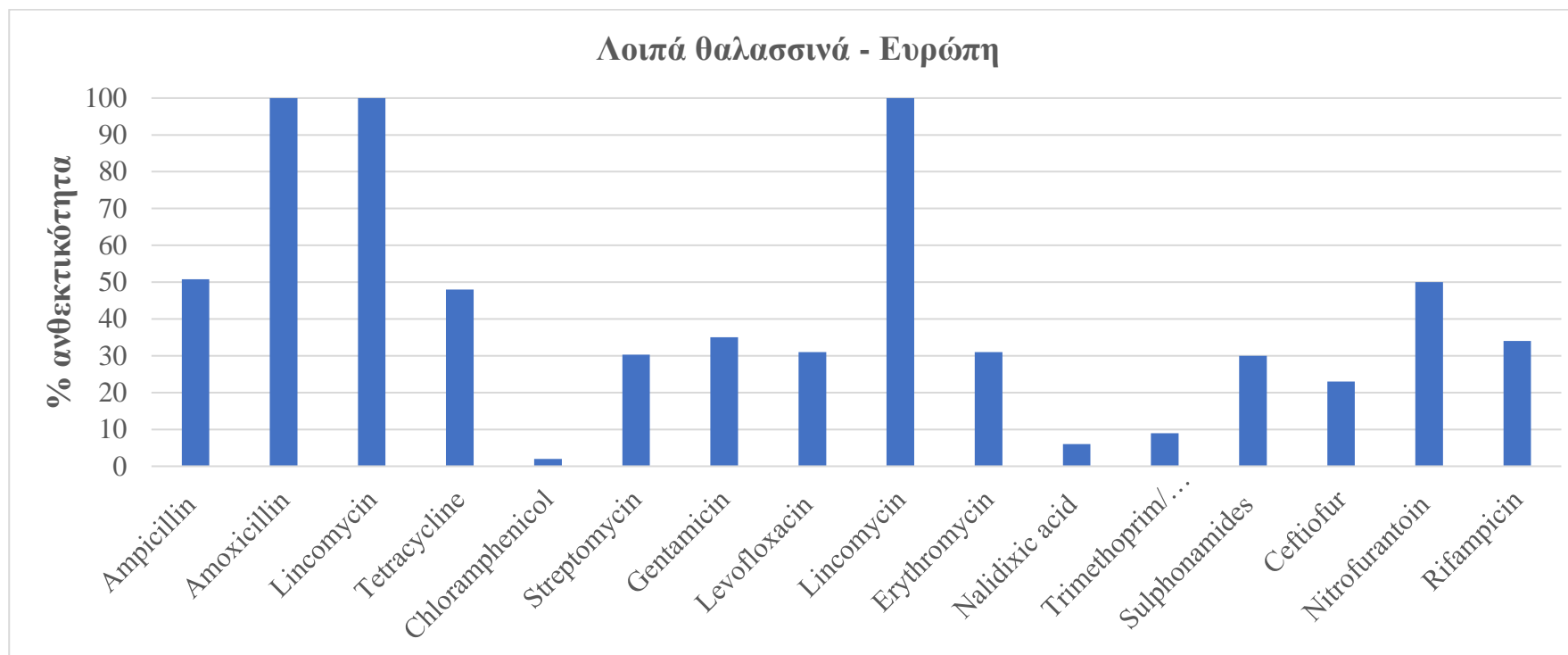
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα, βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα, συνολικά για την Ευρώπη.



Διάγραμμα 13. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από στρείδια στην Ευρώπη.



Διάγραμμα 14. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από μύδια στην Ευρώπη.



Διάγραμμα 15. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από λοιπά θαλασσινά στην Ευρώπη.

3.2.4 Αφρική

Όσον αφορά την ανίχνευση παθογόνων με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα αλιευτικά προϊόντα στην Αφρική (Πίνακας 5), στο Μαρόκο παρατηρήθηκε παρουσία *S. enterica* (12.67%) σε μύδια και στρείδια, με ανθεκτικότητα σε Trimethoprim και trimethoprim + sulfamethoxazol (21%), Norfloxacin (7.6%) και Mecillinam (5.26%).

3.2.5 Αυστραλία

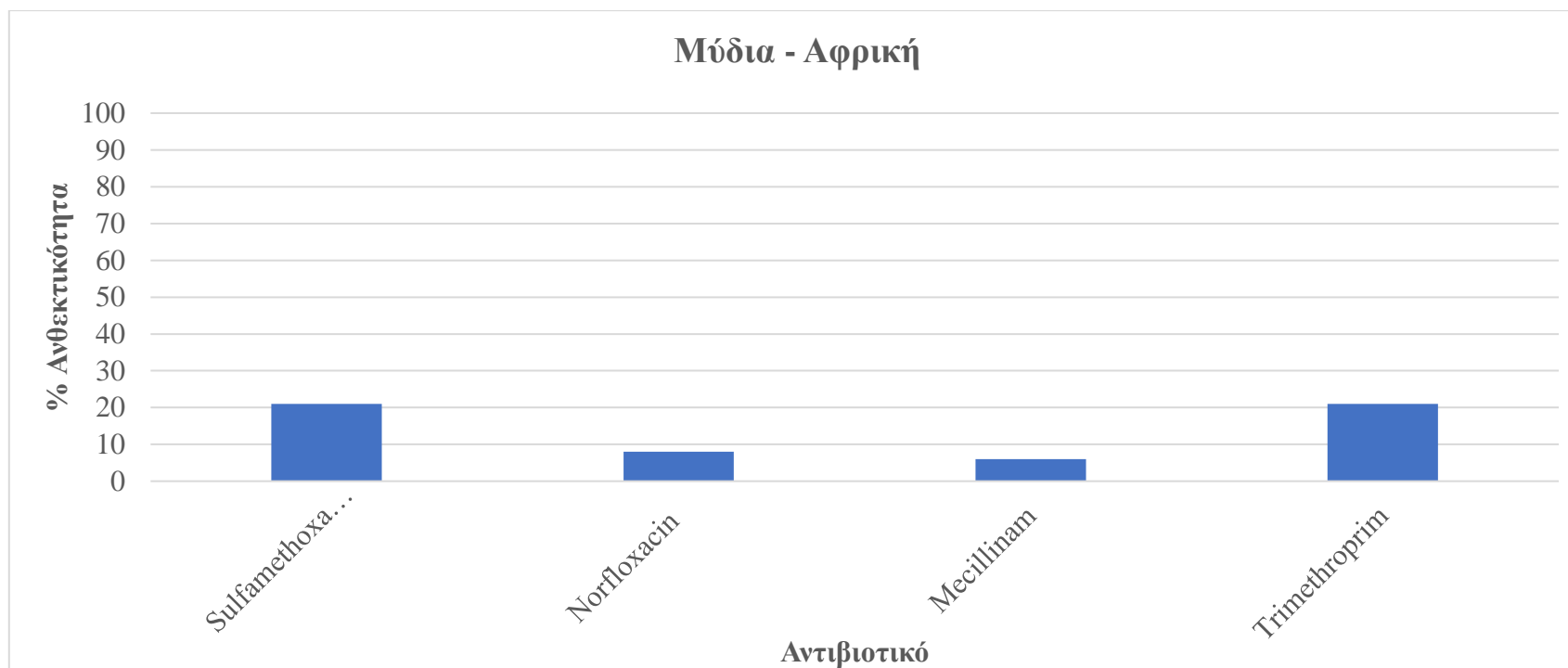
Τέλος, στην Αυστραλία, το *Vibrio* spp. παρουσίασε ανθεκτικότητα σε Ampicillin (40%), Moxicillin (45%), Cephalexin και erythromycin (34%), Cephalothin (14%) και Atetracycline (5%) σε ψάρια (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Συχνότητα εμφάνισης ανθεκτικών σε αντιβιοτικά παθογόνων βακτηρίων στα οστρακοειδή στην Αφρική και Αυστραλία.

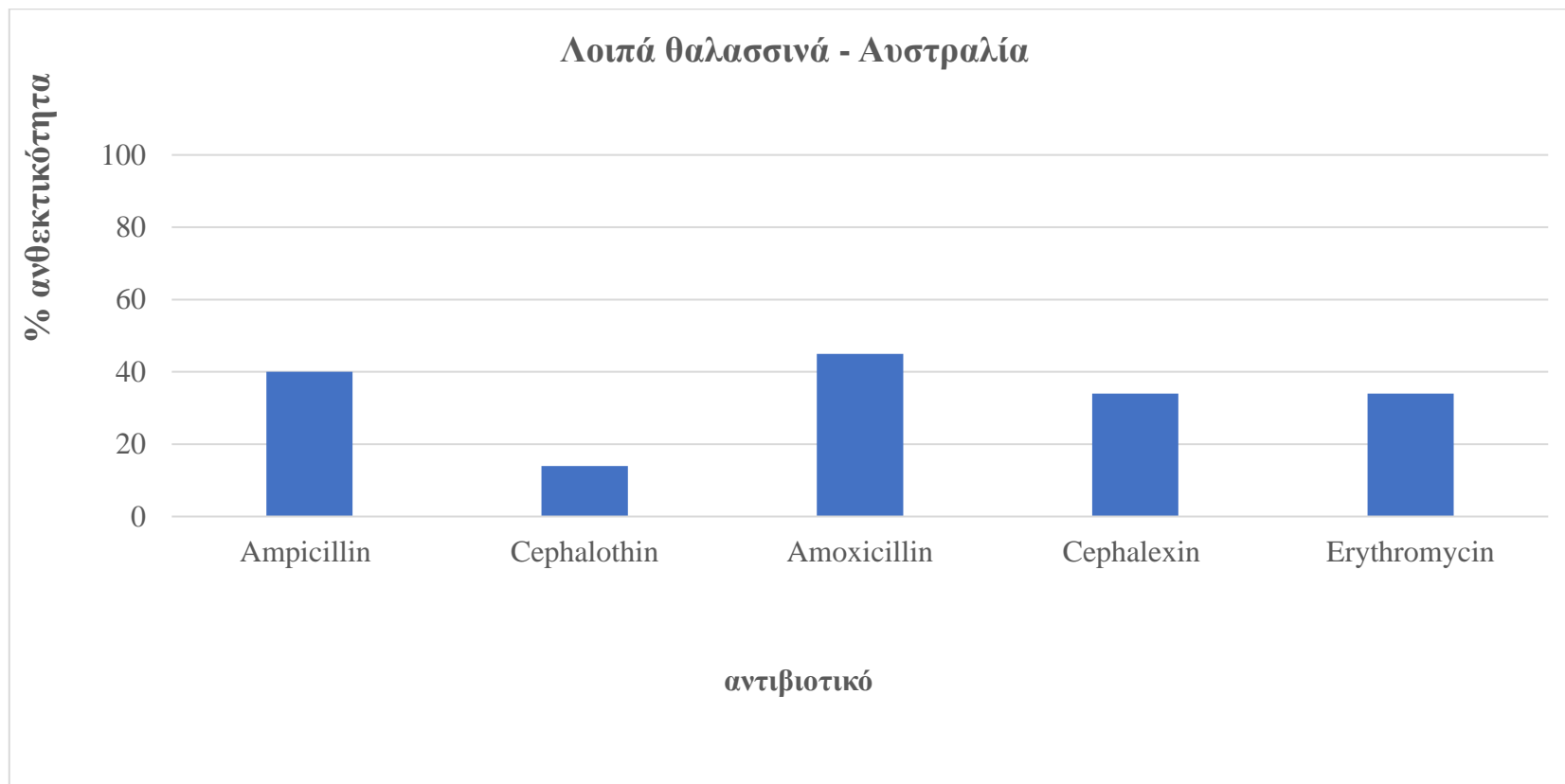
Παθογόνο	Ποσοστό (%) παθογόνου στο προϊόν	Αντιβιοτικό	Ποσοστό (%) ανθεκτικών βακτηρίων στο προϊόν	Προϊόν	Προέλευση	Πιθανή πηγή επιμόλυνσης	Αναφορά
<i>Vibrio spp.</i>		Ampicillin	40	Ψάρια, οστρακόδερμα	Αυστραλία		Elmahdi et al. (2016)
		Moxicillin	45				
		Cephalexin and erythromycin	34				
		Cephalothin	14				

		Atetracycline	5				
<i>Salmonella enterica</i>	12.67	Trimethroprim and trimethroprim + sulfamethoxazol Norfloxacin Mecillinam	21 7.6 5.26	Μύδια (<i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Callista chione</i> , <i>Ruditapes descussatus</i>), Στρείδια (<i>Magallana gigas</i>)	Μαρόκο, Αφρική (αγορά)	Απόρριψη ανθρώπινων ή ζωικών αποβλήτων.	Rajae et al. (2021)

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) σε αντιβιοτικά, παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα, βάσει των στοιχείων του παραπάνω πίνακα, συνολικά για την Αφρική και Αυστραλία.



Διάγραμμα 16. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από μύδια στην Αφρική.

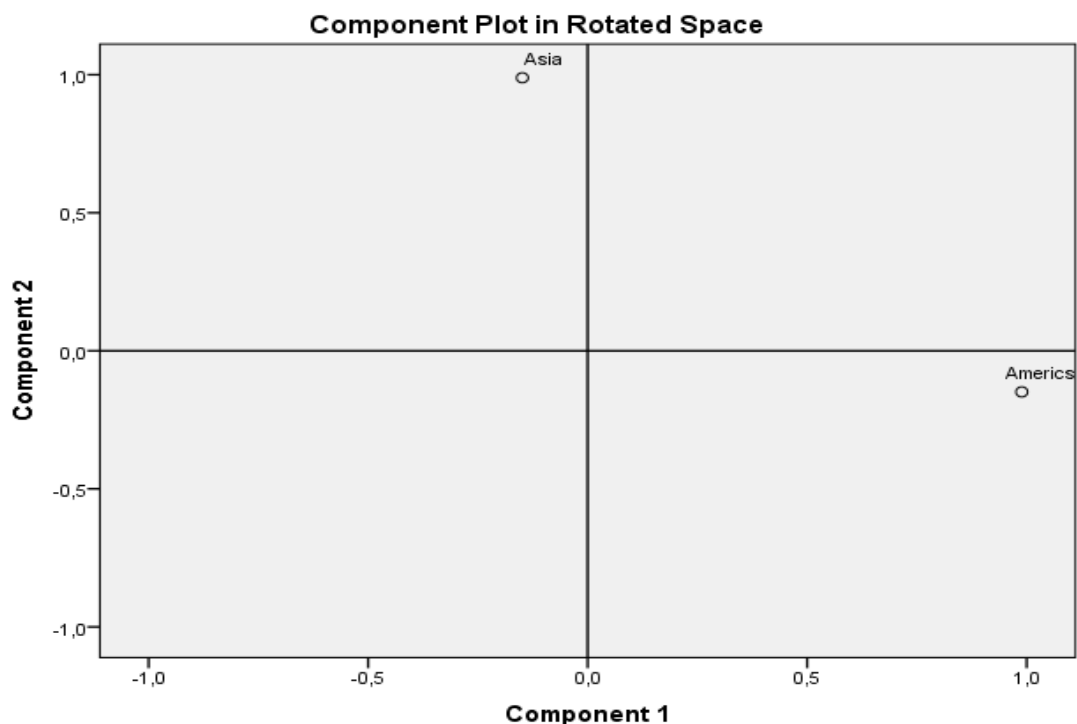


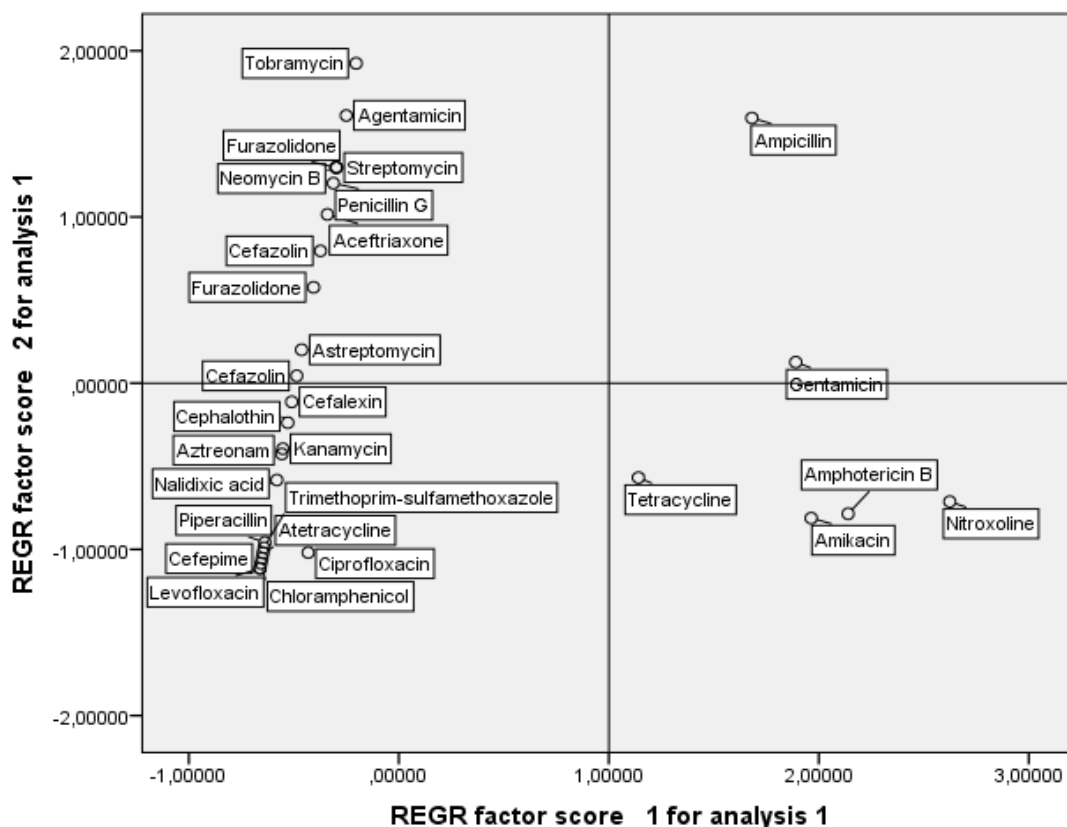
Διάγραμμα 17. Μέσοι όροι ανθεκτικότητας (%) παθογόνων βακτηρίων που απομονώθηκαν από λοιπά θαλασσινά στην Αυστραλία.

Στα παρακάτω Σχήματα (3.2-3.5), φαίνονται οι αποστάσεις τόσο μεταξύ των μεταβλητών (αντιβιοτικά) όσο και μεταξύ των παραμέτρων (Ηπειροι), για κάθε ένα από τα πιο σημαντικά αλιευτικά προϊόντα (γαρίδες, στρείδια, μύδια) καθώς και για τα υπόλοιπα αλιεύματα (βλέπε παραπάνω Πίνακες 2-5), βάσει της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) χρησιμοποιώντας την περιστροφή varimax (varimax rotation).

Γαρίδες

Σύμφωνα με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) οι 2 πρώτοι παράγοντες εξηγούν συνολικά το 89.99% της ολικής διασποράς (64.71% και 35.28%, αντίστοιχα). Στα διαγράμματα φαίνεται μία ξεκάθαρη απόσταση μεταξύ της Ασίας και της Αμερικής. Έτσι φαίνεται ότι οι δύο αυτές ήπειροι χαρακτηρίζονται από μικρόβια με υψηλή αντοχή σε διαφορετικά αντιβιοτικά όπως για παράδειγμα στην Ampicillin για τα παθογόνα βακτήρια που απομονώθηκαν από τις γαρίδες της Ασίας και στην Amikacin για αυτά που απομονώθηκαν από τις γαρίδες στην Αμερική (βλέπε επίσης Πίνακες 2-5).

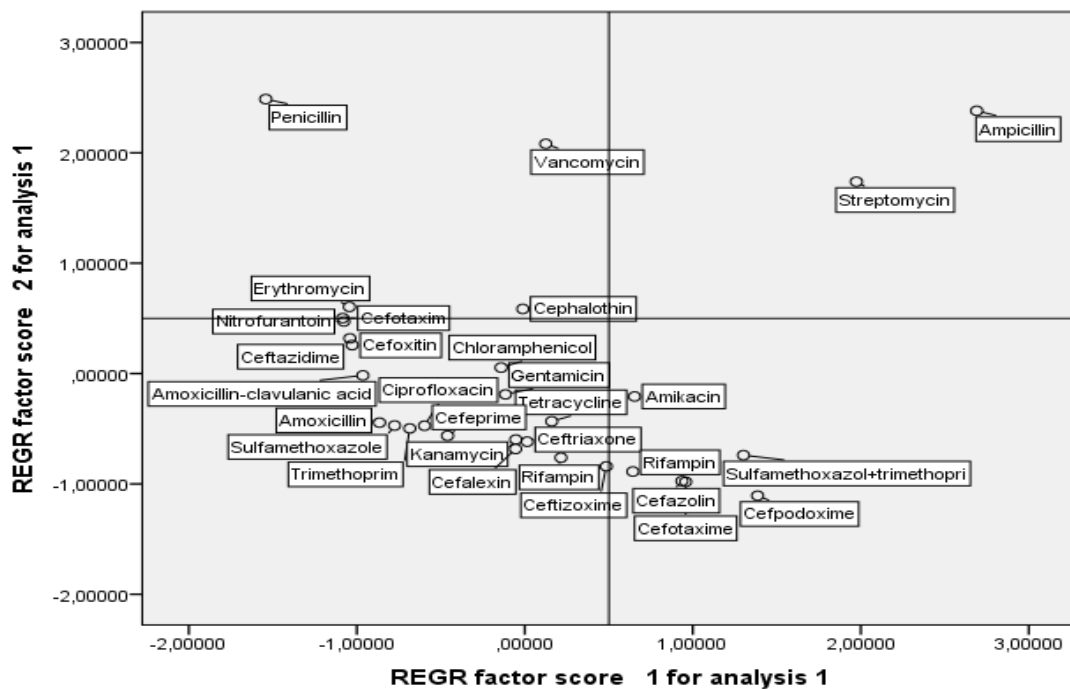
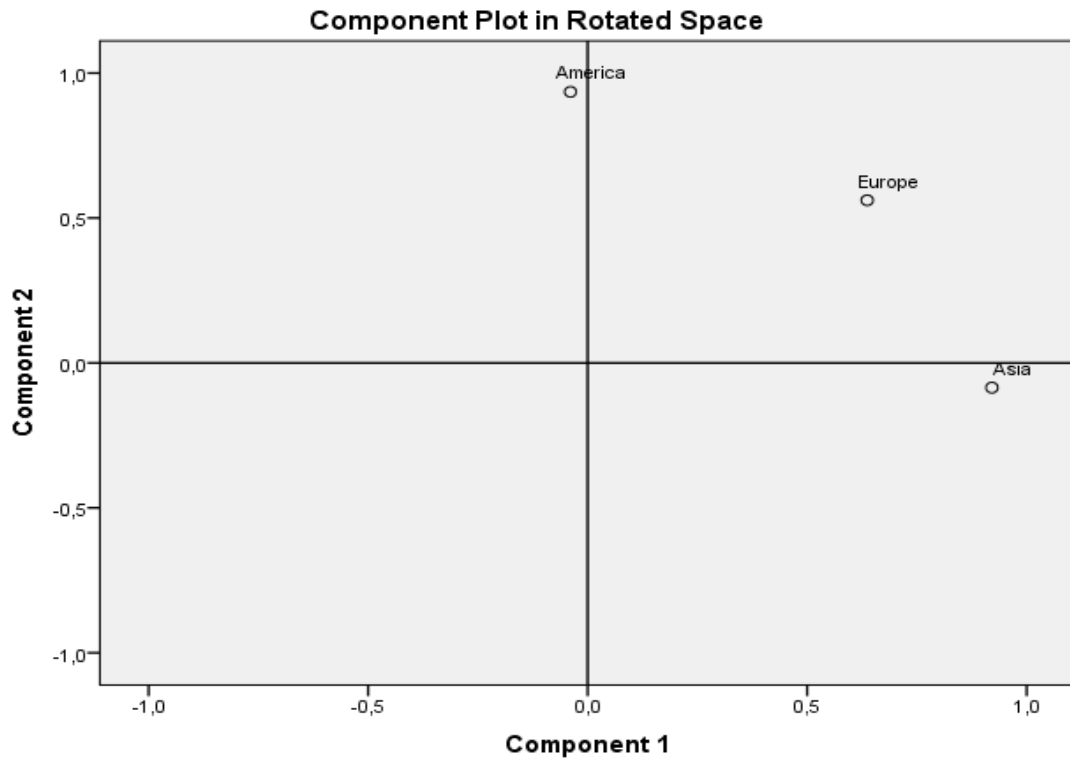




Σχήμα 3.2. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από γαρίδες ανά τον κόσμο.

Στρεΐδια

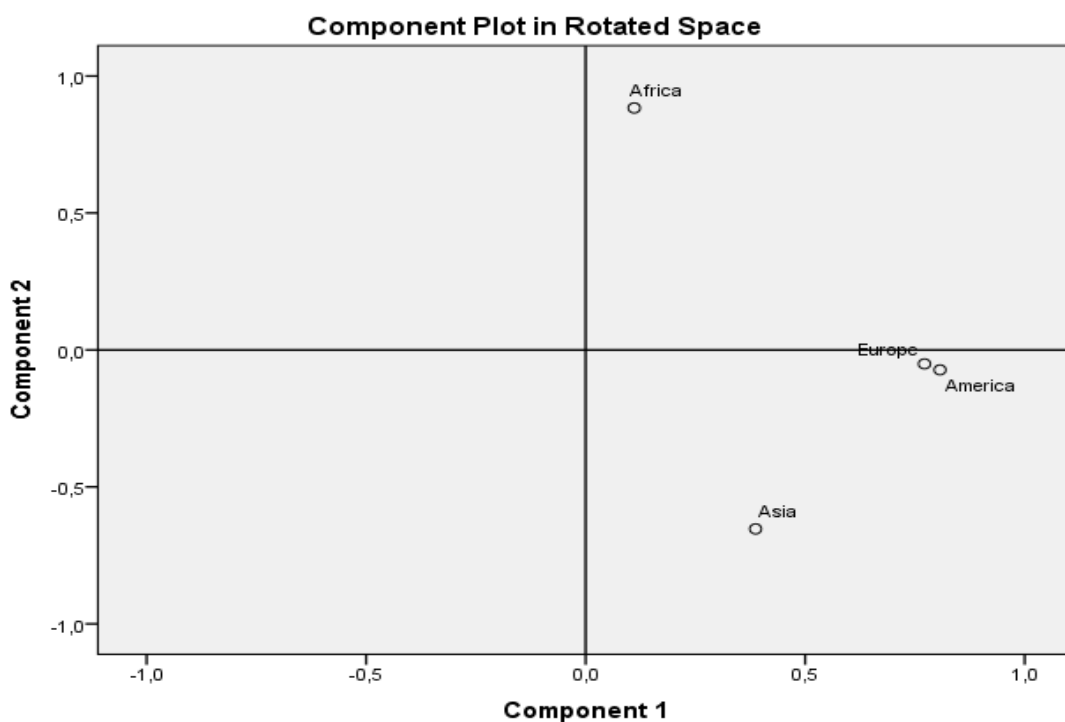
Σύμφωνα με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) οι 2 πρώτοι παράγοντες εξηγούν συνολικά το 81.71% της ολικής διασποράς (48.99% και 32.72%, αντίστοιχα). Στα διαγράμματα φαίνεται μία ξεκάθαρη απόσταση μεταξύ της Ασίας και της Αμερικής, ενώ η Ευρώπη φαίνεται να παρουσιάζει αντιδιαμετρικά σχεδόν ίσες αποστάσεις και με τις δύο ηπείρους. Έτσι φαίνεται ότι η Ασία και η Αμερική χαρακτηρίζονται από βακτήρια με υψηλή αντοχή σε διαφορετικά αντιβιοτικά, ενώ η Ευρώπη σε αντιβιοτικά που κάποια είναι κοινά με αυτά της Ασίας και κάποια άλλα με αυτά της Αμερικής (βλέπε επίσης Πίνακες 2-5).

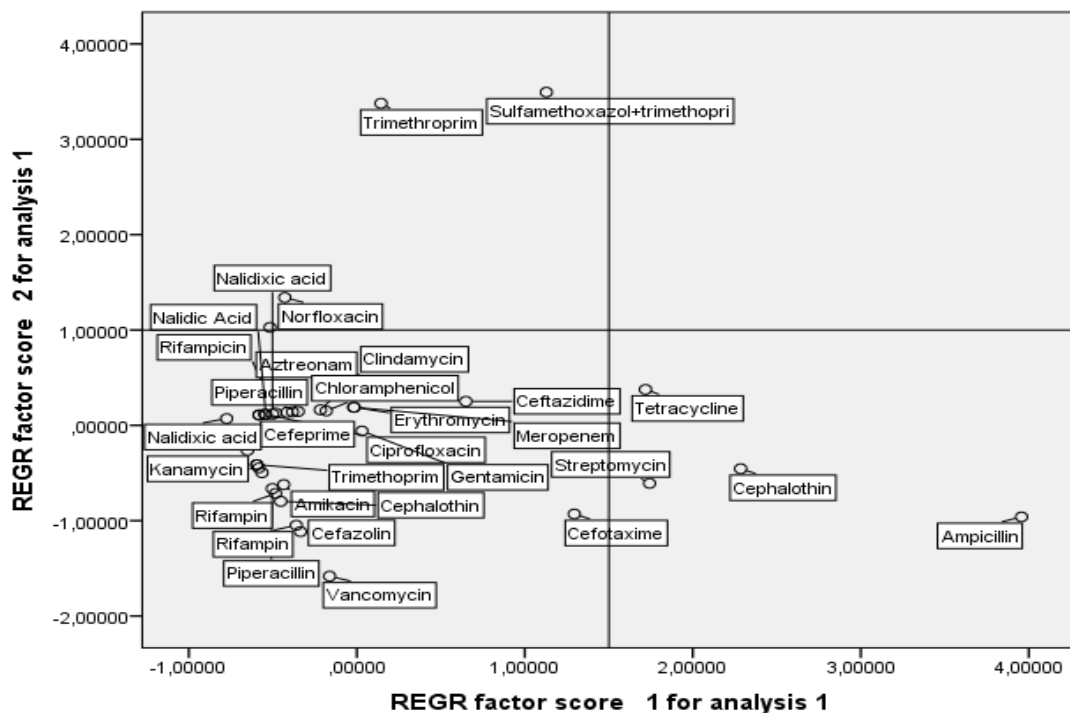


Σχήμα 3.3. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από στρέϊδια ανά τον κόσμο.

Μύδια

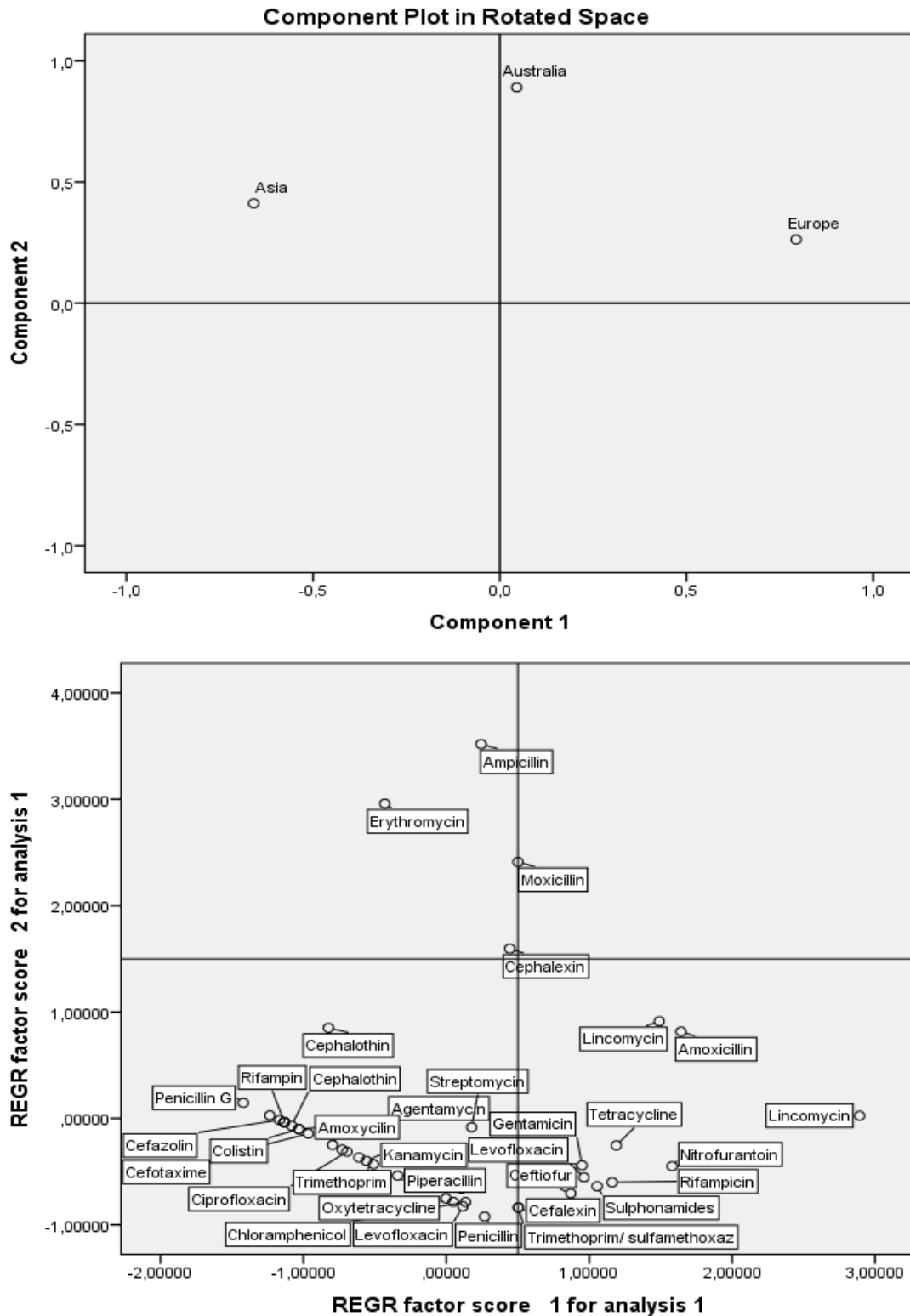
Σύμφωνα με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) οι 2 πρώτοι παράγοντες εξηγούν συνολικά το 65.61% της ολικής διασποράς (39.58% και 26.03%, αντίστοιχα). Στα διαγράμματα φαίνεται μία ξεκάθαρη ομαδοποίηση μεταξύ της Ευρώπης και της Αμερικής, ενώ η απόσταση μεταξύ της Ασίας και της Αφρικής είναι αξιοσημείωτη. Η διασπορά των 2 πρώτων Ηπείρων εξηγείται αποκλειστικά από τον παράγοντα 1, καθώς σύμφωνα με το διάγραμμα τοποθετούνται στο ουδέτερο τμήμα του παράγοντα 2 (κοντά στο 0) και στο θετικό τεταρτημόριο του παράγοντα 1. Αντίθετα, η διασπορά τόσο της Ασίας όσο και της Αφρικής εξηγείται κυρίως από τον παράγοντα 2 (αρνητικό και θετικό τεταρτημόριο του παράγοντα 2, αντίστοιχα). Η Ευρώπη και η Αμερική χαρακτηρίζονται από μικρόβια με υψηλή αντοχή σε συγκεκριμένα αντιβιοτικά και μικρόβια με ευαισθησία σε πολλά αντιβιοτικά κάτι που σε αρκετές περιπτώσεις δεν συμβαίνει με μικρόβια από την Ασία και την Αφρική (βλέπε επίσης Πίνακες 2-5).





Σχήμα 3.4. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από μύδια ανά τον κόσμο.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα θαλασσινά που αναφέρονται στους Πίνακες 2-5, σύμφωνα με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) οι 2 πρώτοι παράγοντες εξηγούν συνολικά το 69.93% της ολικής διασποράς (35.91% και 34.02%, αντίστοιχα). Στα διαγράμματα φαίνεται μία ξεκάθαρη απόσταση μεταξύ της Ασίας και της Ευρώπης, ενώ η Αυστραλία παρουσιάζει αντιδιαμετρικά σχεδόν ίση απόσταση με τις δύο αυτές ηπείρους. Έτσι φαίνεται ότι η Ασία και η Ευρώπη χαρακτηρίζονται από μικρόβια με υψηλή αντοχή σε διαφορετικά αντιβιοτικά, ενώ η Αυστραλία σε αντιβιοτικά που κάποια είναι κοινά με αυτά της Ασίας και κάποια άλλα με αυτά της Ευρώπης (βλέπε επίσης Πίνακες 2-5).



Σχήμα 3.5. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA) σχετικά με τα αντιβιοτικά στα οποία εμφανίζουν ανθεκτικότητα οι κυριότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί απομονωμένοι από διάφορα ψάρια και οστρακοειδή ανά τον κόσμο.

4. Συζήτηση

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ολοένα αυξημένη τάση των παθογόνων μικροοργανισμών να γίνονται ανθεκτικοί σε αντιβιοτικά τα οποία χρησιμοποιούνταν προηγουμένως επιτυχώς στη θεραπεία του ανθρώπου (αντιμετώπιση βακτηριακών τροφιογενών νοσημάτων και άλλων ασθενειών πχ. σαλμονέλλωση, λοίμωξη από κλωστηρίδιο, καμπυλοβακτηριδίωση, σταφυλοκοκκική λοίμωξη, βιμπρίωση) και των ζώων (πχ. σαλμονέλλωση, λιστερίωση, βρουκέλλωση) (Elmahdi et al., 2016). Συνεχώς διαπιστώνεται μέσα από νέες μελέτες ότι η ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά απειλεί όλο και περισσότερο την παγκόσμια υγεία. Τα ανθεκτικά σε αντιβιοτικά βακτήρια τείνουν να γίνουν η πιο σημαντική αιτία πρόκλησης θανάτων λόγω ανεξέλεγκτης χρήσης φαρμάκων στον ιατρικό τομέα αλλά και στη βιομηχανία τροφίμων, με αποτέλεσμα την ανεπάρκεια θεραπευτικών μεθόδων σε ασθένειες και ειδικότερα σε περιπτώσεις ανθρώπων που θα έχουν καταναλώσει επιμολυσμένα τρόφιμα, συμπεριλαμβάνοντας αλιευτικά προϊόντα, κυρίως οστρακοειδή (EFSA, 2019; NASA, 2018; Ogawa et al., 2019; World Bank, 2018). Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολήθηκε με τη συλλογή και στατιστική ανάλυση δεδομένων που αφορούν την ανίχνευση παθογόνων βακτηρίων στο περιβάλλον και στα αλιευτικά προϊόντα τα οποία παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά που χρησιμοποιούνται ευρέως για τη θεραπεία του ανθρώπου και των ζώων.

Τα *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *E. coli*, *Enterococcus* spp και *S. aureus*, σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στην παρούσα διατριβή, βρέθηκαν να αποτελούν τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια στο περιβάλλον με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά. Από αυτά, μικροοργανισμοί όπως τα *Enterococcus* spp. και *E. coli* ζουν στον εντερικό σωλήνα ζώων όπως σκύλοι και γάτες, εντόμων ή και ανθρώπων και καταλήγουν στα υδάτινα οικοσυστήματα κυρίως μέσω λυμάτων. Οι κυριότερες πηγές από τις οποίες προέρχονται οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι οι ανθρώπινοι οικισμοί, τα νοσοκομεία, οι φάρμες ζώων, οι μονάδες επεξεργασίας κρέατος, τα βοσκοτόπια, κ.α. (Jung et al., 2014). Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη μελέτη, τα *Enterococcus* spp. βρέθηκαν σε θαλάσσια νερά σε χώρες της Ευρώπης (όπως είναι η Ιταλία και η Πολωνία), της Αμερικής (Βενεζουέλα, Μαλαισία) και της Ασίας, όπου κατέληξαν μέσω λανθασμένης επεξεργασίας και διαρροής οικιακών λυμάτων, καθώς και απεκκρίσεων ζώων στο περιβάλλον (Korajkic et al., 2020). Οι μικροοργανισμοί αυτοί παρουσίασαν χαρακτηριστική ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά Sulfamethoxazole, Quinupristin-dalfopristin, Ciprofloxacin και Ampicillin. Όσον αφορά το *E. coli* με ανθεκτικότητα σε Furazolidone, Kanamycin, Penicillin κ.α., βρέθηκε σε υδάτινα θαλάσσια νερά σε περιοχές της Ασίας (Κίνα), οι οποίες βρίσκονται κοντά σε εκβολές ποταμών που έχουν άμεση επαφή με μολυσμένους οικισμούς. Η μεταφορά τέτοιων παθογόνων βακτηρίων στα υδάτινα οικοσυστήματα έχει ως αποτέλεσμα την επιμόλυνση των υδάτων και των οργανισμών που διαβιούν σε αυτό με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και κυρίως της ασφάλειας των αλιευτικών προϊόντων. Έχουν αναφερθεί πολλές φορές στη διεθνή βιβλιογραφία περιπτώσεις εκδήλωσης τροφικής δηλητηρίασης από τέτοια βακτήρια εξαιτίας της επαφής των ανθρώπων με επιμολυσμένο νερό του

περιβάλλοντος, όπως σε λουόμενους στις Η.Π.Α., σε ανθρώπους που επιτελούν τις βασικές οικιακές λειτουργίες τους σε υδάτινα οικοσυστήματα όπως πλύσιμο ρούχων και εξοπλισμού μαγειρέματος στην Αφρική και στην Ασία, κ.α. (Parlapani et al., 2022). Τέτοιοι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε πολύ υψηλότερες αφθονίες κατά τους θερινούς μήνες όπου η θερμοκρασία του νερού φτάνει στα επίπεδα των 30-35 °C στις περιοχές αυτές, πράγμα το οποίο αυξάνει ακόμα περισσότερο την πιθανότητα νόσησης από τέτοια βακτήρια (Parlapani et al., 2022; Wang et al. 2014). Η ανθεκτικότητα των βακτηρίων στα αντιβιοτικά που αναφέρθηκαν παραπάνω δυσκολεύει την ίαση των ανθρώπων σε τέτοιες περιοχές.

Από την άλλη μεριά, τα *V. parahaemolyticus* και *V. vulnificus* βρέθηκαν να απαντώνται πιο συχνά στα υδάτινα οικοσυστήματα και κυρίως σε θαλασσινά νερά της Αμερικής (κόλπος Λουιζιάνα, Νότια Καρολίνα, Γεωργία, κόλπος Μέριλαντ, Βραζιλία), της Ευρώπης (Ιταλία), της Ασίας (Ινδία, Κίνα, Φιλιππίνες), Αφρικής και Αυστραλίας. Τα *Vibrio* είναι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται φυσιολογικά στους ωκεανούς δεδομένου ότι αποτελούν αυτόχθονη μικροχλωρίδα του νερού. Σύμφωνα όμως με μελέτες της NASA, έχει παρατηρηθεί πως σε βάθος χρόνου, η κλιματική αλλαγή και η αύξηση της θερμοκρασίας του θαλάσσιου νερού, έχει οδηγήσει σε δραστική εξάπλωση των *Vibrio* στα υδάτινα περιβάλλοντα και κατά συνέπεια σε αύξηση των ασθενειών που προκαλούν σε ανθρώπους και ζώα, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες (NASA, 2018). Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα, τη συγκέντρωση του παθογόνου σε πλαγκτόν και σε διηθηματοφάγα οστρακοειδή και θαλασσινά με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο και τη μετάδοση ασθένειας που μπορεί να οδηγήσει έως και σε θάνατο. Επιπλέον, έχουν σημειωθεί μολύνσεις σε ανθρώπους εξαιτίας της επαφής τραύματος με μολυσμένο θαλασσινό νερό (Vezzulli et al., 2016). Μεταξύ των δύο σημαντικότερων ειδών *Vibrio* που αναφέρονται παραπάνω, το *V. parahaemolyticus* προκαλεί κυρίως γαστρεντερίτιδα ενώ το *V. vulnificus* μπορεί να προκαλέσει και σηψαιμία (Haftel and Sharman, 2021), τα οποία αντιμετωπίζονταν για πολλά χρόνια με αντιβιοτικά. Ωστόσο, φαίνεται πλέον ξεκάθαρα ότι οι μικροοργανισμοί αυτοί παρουσιάζουν σημαντική ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά όπως είναι η Ampicillin, Apramycin, Chloramphenicol και η Cephalothin (Elmahdi et al., 2016), πράγμα το οποίο μειώνει πλέον τις πιθανότητες ίασης των νοσούντων τέτοιων περιστατικών.

Όσον αφορά τα οστρακοειδή και θαλασσινά προϊόντα, τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*, *C. difficile*, *E. faecium* βρέθηκαν να είναι τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά. Σύμφωνα με την παρούσα διατριβή, τα *Vibrio* τα οποία απαντώνται φυσικά στο υδάτινο περιβάλλον, μπορούν να βρεθούν στο εσωτερικό των διηθηματοφάγων οστρακοειδών, κυρίως σε θαλάσσια νερά τους θερμότερους μήνες του χρόνου, σε διάφορες περιοχές συγκομιδής και καλλιέργειας θαλασσινών στην Ασία (Κίνα, Κορέα, Ινδία, Μαλαισία, Ταϊλάνδη, Φιλιππίνες, Βιετνάμ, Ιράν, Ταϊβάν), Αμερική (Μεξικό, Βραζιλία), Ευρώπη (Ιταλία, Ισπανία, Κροατία, Πολωνία) και λιγότερο σε Αφρική και Αυστραλία. Έχει διαπιστωθεί πως οι συγκεκριμένοι παθογόνοι μεταφέρονται εντατικότερα μέσω μολύνσεων σε περιοχές υδατοκαλλιέργειας, γεωργικών απορροών, αστικών λυμάτων, αυξανόμενης εκβιομηχάνισης και επιμολύνουν τα αλιευτικά προϊόντα (Elmahdi et al., 2016; Jeamsripong et al., 2020; Kang et al., 2017; Kang et al., 2018). Όπως φαίνεται από τα

δεδομένα των άρθρων στην παρούσα διατριβή, τα *Vibrio* που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα σε Ampicillin, Vancomycin, Tobramycin, Cefazolin, Cefprozime, Streptomycin σε Ασιατικές χώρες, αλλά και σε χώρες της Αμερικής και Ευρώπης, όπου βρέθηκαν παρόμοια ποσοστά. Κάτι τέτοιο κρούει τον κώδωνα του κινδύνου για την εκδήλωση ασθενειών λόγω της κατανάλωσης κυρίως ωμών ή μη επαρκώς μαγειρεμένων στρειδιών, γαρίδων αλλά και άλλων αλιευτικών προϊόντων, οι οποίες ασθένειες θα αντιμετωπίζονται με μεγάλη δυσκολία όσο η ανθεκτικότητα αυτών των βακτηρίων φτάνει το 100%. Τα τελευταία χρόνια, αισθητή είναι η εμφάνιση αντοχής σε αντιβιοτικά, ακόμα και σε ολόκληρα γένη *Vibrio*, μετά από εκτεταμένη χρήση στην ιατρική, στη γεωργία και στην υδατοκαλλιέργεια (Elmahdi et al., 2016). Τα *V. parahaemolyticus* και *V. vulnificus*, τα οποία βρίσκονται σε εκβολές ποταμών αποτελούν την βασική αιτία ασθένειας και θανάτου στον άνθρωπο, μετά από κατανάλωση θαλασσινών στην Αμερική. Το *V. parahaemolyticus*, συγκεκριμένα, ευθύνεται ως επί το πλείστον για τη βακτηριακή γαστρεντερίτιδα, προερχόμενη από κατανάλωση θαλασσινών στην Αμερική και Ασία. Όσον αφορά το *V. vulnificus*, είναι υπεύθυνο για >95% των θανάτων που προέρχονται από κατανάλωση θαλασσινών στην Αμερική, ειδικότερα σε ευαίσθητες ομάδες καταναλωτών, όπως είναι οι ανοσοκατεσταλμένοι ή οι ασθενείς με ηπατική νόσο (Elmahdi et al., 2017).

Παθογόνα στελέχη του *E. coli*, βρέθηκαν σε οστρακοειδή και καρκινοειδή, κυρίως στρείδια και γαρίδες αλιευμένα από υδάτινα οικοσυστήματα σε περιοχές της Ασίας (Κίνα, Κορέα, Βιετνάμ, Ταϊλάνδη) και της Αμερικής (Λος Άντζελες Βραζιλία, Μεξικό), αλλά και ορισμένα απομονώθηκαν από αχιβάδα και μανίλα στην Ιταλία, κυρίως εξαιτίας της επιμόλυνσης των υδάτων με μολυσμένες κατοικημένες περιοχές, μολυσμένους ποταμούς, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα και αστικά λύματα. Στα στελέχη αυτά σημειώθηκε ανθεκτικότητα σε Penicillin, Tetracycline για αυτά που απομονώθηκαν από τα προϊόντα της Ασίας, σε Cephalothin, Nitrofurantoin, Amoxicillin από τα προϊόντα της Αμερικής και Ampicillin, Streptomycin, Gentamycin από τα προϊόντα της Ευρώπης (Ιταλία) (Giacometti et al., 2021; Miotto et al., 2018; Oliveira et al., 2020; Thi et al., 2008; Wang et al., 2014). Η νόσος που έχει αναφερθεί στον άνθρωπο περιγράφεται ως μια συνήθως διαρροϊκή ασθένεια, αλλά ακόμα και ουροποιητική νόσος, με σπανιότερη κατάληξη τη σήψη και τη μινιγγίτιδα, συνήθως σε νεογνά (Percival et al., 2014). Η παρουσία *Salmonella* σε περιοχές της Ασίας (Κίνα, Ινδία), της Ευρώπης (Ιταλία) και Αφρικής (Μαρόκο), εξαιτίας μόλυνσης του νερού μετά από πρακτικές επεξεργασίας και γενικότερα από απόρριψη ανθρώπινων και ζωικών αποβλήτων αποτελεί πολύ υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης ασθενειών στους κατοίκους αυτών των περιοχών. Το *Salmonella* είναι ένας μικροοργανισμός που μπορεί να προκαλέσει ένα εύρος ασθενειών, από απλές διαταραχές στο έντερο και στο στομάχι μέχρι και θάνατο από τυφοειδή πυρετό. Στην περίπτωση της τυφικής σαλμονέλλωσης, η φαρμακευτική αγωγή και η ιατρική παρακολούθηση είναι απαραίτητες. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση που τα βακτήρια αυτά αποκτήσουν ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση αυτής της ασθένειας, η τύχη του ασθενούς θα είναι αβέβαια. Έτσι, η ανθεκτικότητα που καταγράφηκε σε Erythromycin, Sulfonamides, Streptomycin προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία κυρίως για τις περιοχές όπου το παθογόνο απαντάται σε υψηλή συχνότητα στα αλιευτικά προϊόντα (Deekshit et al., 2016; Giacometti et al., 2021).

Όσον αφορά τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς που απομονώθηκαν από αλιευτικά προϊόντα, το *B. cereus* απομονώθηκε από δείγματα οστρακοειδών σε νερά περιοχών καλλιέργειας και συγκομιδής οστράκων στην Ασία (Ταϊβάν) κατά τους χειμερινούς μήνες, μετά από απόρριψη λυμάτων. Τα *B. cereus* αποτελούν μια από τις κυριότερες αιτίες τροφιμογενούς λοίμωξης ανά τον κόσμο (Hsu et al., 2020). Για το λόγο αυτό, η πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα που εμφάνισε σε Ampicillin και Sulfamethoxazole-trimethoprim αυξάνει την ανησυχία σχετικά με τη μη αντιμετώπιση ασθενειών. Επιπλέον, το *P. aeruginosa* το οποίο βρέθηκε σε μύδια στην Ευρώπη (Κροατία), μετά από απόρριψη αστικών λυμάτων, εμφάνισε ανθεκτικότητα αλλά σχετικά χαμηλού ποσοστού (Maravić et al., 2018). Το είδος *Enterococcus* βρέθηκε σε δείγματα οστρακοειδών σε Ιταλία και Ισπανία με ανθεκτικότητα σε Nitrofurantoin και Tetracycline. Η ανεπαρκής επεξεργασία λυμάτων καθώς και η απορροή μολυσμένων υδάτων πιθανόν να είναι η αιτία της διασποράς του παθογόνου στα δείγματα αυτά (Valenzuela et al., 2010; Citterio et al., 2017). Τέλος, το παθογόνο *Campylobacter jejuni* απομονώθηκε από γαρίδες στο Λος Άντζελες και παρουσίασε υψηλή ανθεκτικότητα σε Gentamicin (Wang et al., 2011), ενώ το *C. difficile* απομονώθηκε από μύδια σε περιοχή συγκομιδής στην Ιταλία με το μεγαλύτερο ποσοστό ανθεκτικότητας σε Erythromycin. (Agnoletti et al., 2019).

Η παρατηρούμενη αύξηση ανθεκτικότητας των παθογόνων βακτηρίων στα κοινά φάρμακα αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για την ιατρική πρακτική. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχή αύξηση του φαινομένου, υπάρχει κίνδυνος για σοβαρά προβλήματα στο μέλλον, όπως ανικανότητα αντιμετώπισης «αθώων» λοιμώξεων, επικινδυνότητα χειρουργικών επεμβάσεων και χρηματική επιβάρυνση στη νοσηλεία (Teshome et al., 2020). Εν κατακλείδι, έπειτα από τη συλλογή δεδομένων της παρούσας μελέτης φαίνεται να κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για να μειωθούν ακραία φαινόμενα έτσι ώστε να μην καταλήγουν τέτοια παθογόνα στο υδάτινο περιβάλλον και στα αλιευτικά προϊόντα με σκοπό να μειωθεί ο κίνδυνος εμφάνισης ασθενειών από βακτήρια που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά. Είναι μέγιστη ανάγκη να ελέγχεται εκτενέστερα η υγιεινή των υδάτινων οικοσυστημάτων και των αλιευτικών προϊόντων και να τεθούν σε ισχύ εναλλακτικές προσεγγίσεις εκτός της χρήσης των γνωστών αντιβιοτικών, όπως είναι η χρήση προβιοτικών και η θεραπεία με φάγους, προκειμένου να μειωθεί η απειλή (Elmahdi et al., 2016).

5. Συμπεράσματα

- ✓ Τα *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *E. coli*, *Enterococcus* spp και *S. aureus*, αποτελούν τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στο περιβάλλον.
- ✓ Τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*, *C. difficile*, *E. faecium* είναι τα πιο κοινά παθογόνα βακτήρια με ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά στα οστρακοειδή (κυρίως στρείδια και μύδια), καρκινοειδή (κυρίως γαρίδες) και άλλα θαλασσινά προϊόντα γενικότερα.
- ✓ Τα *V. parahaemolyticus* και *V. vulnificus* εμφάνισαν συνολικά ανθεκτικότητα σε Ampicillin, Apramycin, Chloramphenicol και Cephalothin στα δείγματα νερού από τα υδάτινα οικοσυστήματα.
- ✓ Τα *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*, *V. alginolyticus*, εμφάνισαν συνολικά ανθεκτικότητα σε Ampicillin, Vancomycin, Tobramycin, Cefazolin, Cefpodoxime, Streptomycin στα δείγματα αλιευτικών προϊόντων.
- ✓ Τα *E. faecium* ήταν ανθεκτικά σε Sulfamethoxazole, Quinupristin-dalfopristin, Ciprofloxacin και Ampicillin στο υδάτινο οικοσύστημα ενώ στα οστρακοειδή σε Nitrofurantoin και Tetracycline.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agnoletti, Fabrizio; Arcangeli, Giuseppe; Barbanti, Fabrizio; Barco, Lisa; Brunetta, Romina; Cocchi, Monia; Conedera, Gabriella; D'Este, Laura; Drigo, Ilenia; Spigaglia, Patrizia; Mazzolini, Elena** (2019). Survey, characterization and antimicrobial susceptibility of *Clostridium difficile* from marine bivalve shellfish of North Adriatic Sea. *International Journal of Food Microbiology*, 298(), 74–80.
- Akhtar, N., Muhammad I. Syakir I., Showkat A. B. & Khalid U.** (2021). “Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review”. *Water*, 13(19), 2660. <https://doi.org/10.3390/w13192660>
- Antonio Sánchez Valenzuela; Nabil Benomar; Hikmate Abriouel; Magdalena Martínez Cañamero; Antonio Gálvez** (2010). Isolation and identification of *Enterococcus faecium* from seafoods: Antimicrobial resistance and production of bacteriocin-like substances. , 27(7), 955–961.
- Aslam, B., Wang, W., Arshad, M. I., Khurshid, M., Muzammil, S., Rasool, M. H., Baloch, Z.** (2018). “Antibiotic resistance: a rundown of a global crisis”. *Infection and Drug Resistance*, 11, 1645–1658. doi:10.2147/idr.s173867
- Bakkeren, E., Huisman, J.S., Fattinger, S.A., Hausmann, A., Furter, M., Egli, A., Slack, E., Sellin, M.E., Bonhoeffer, S., Regoes, R.R., Diard, M., Hardt, W.D.** (2019). “Salmonella persists promote the spread of antibiotic resistance plasmids in the gut”. *Nature*, 573(7773), 276-280. doi: 10.1038/s41586-019-1521-8.
- Balaban, N.Q., Gerdes, K., Lewis, K. & McKinney, J.D.** (2013). “A problem of persistence: still more questions than answers?” *Nat. Rev. Microbiol.*, 11, 587-591. doi:10.1038/nrmicro3076
- Balloux, F., & van Dorp, L.** (2017). “Q&A: What are pathogens, and what have they done to and for us?” *BMC Biology*, 15(1). doi:10.1186/s12915-017-0433-z
- Berglund, B.** (2015). “Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics”. *Infection Ecology & Epidemiology*, 5(1), 28564. <http://dx.doi.org/10.3402/iee.v5.28564>.
- Cabello, F, Godfrey HP, Tomova, A, Ivanova, L, Dölz, H, Millanao. A, Buschmann, A.H.** (2013). “Antimicrobial use in aquaculture re-examined: its relevance to antimicrobial resistance and to animal and human health”. *Environmental Microbiology* 15, 1917–1942.
- Canizalez-Roman, Adrian; Gonzalez-Nuñez, Edgar; Vidal, Jorge E.; Flores-Villaseñor, Héctor; León-Sicairos, Nidia** (2013). Prevalence and antibiotic resistance profiles of diarrheagenic *Escherichia coli* strains isolated from food items in northwestern Mexico. *International Journal of Food Microbiology*, 164(1), 36–45.

- Changkaew, Kanjana; Utrarachkij, Fuangfa; Siripanichgon, Kanokrat; Nakajima, Chie; Suthienkul, Orasa; Suzuki, Yasuhiko** (2014). Characterization of Antibiotic Resistance in *Escherichia coli* Isolated from Shrimps and Their Environment. *Journal of Food Protection*, 77(8), 1394–1401.
- Chia Wanq Tan; Yaya Rukayadi; Hanan Hasan; Tze Young Thung; Epeng Lee b; Wendy Dayang Rollon; Hirofumi Hara; Ahmad Yaman Kayali; Mitsuaki Nishibuchi; Son Radu** (2020). Prevalence and antibiotic resistance patterns of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from different types of seafood in Selangor, Malaysia. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.002>
- Citterio, Barbara; Pasquaroli, Sonia; Mangiaterra, Gianmarco; Vignaroli, Carla; Di Sante, Laura; Leoni, Francesca; Chierichetti, Serena; Ottaviani, Donatella; Rocchi, Marco; Biavasco, Francesca** (2017). Venus clam (*Chamelea gallina*) : A reservoir of multidrug-resistant enterococci. *Food Control*, 82(), 184–189.
- Colombo, S., Arioli, S., Neri, E., Della Scala, G., Gargari, G. & Mora, D.** (2017). “Viromes as genetic reservoir for the microbial communities in aquatic environments: a focus on antimicrobial resistance genes”. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1095. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2017.01095>.
- COSTA, Renata Albuquerque; ARAÚJO, Rayza Lima; VIEIRA, Regine Helena Silva dos Fernandes** (2015). RAW TROPICAL OYSTERS AS VEHICLES FOR MULTIDRUG-RESISTANT *Vibrio parahaemolyticus*. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 57(3), 193–196.
- Deekshit, V.K.; Kumar, B.K.; Rai, P.; Karunasagar, I.** (2016). Antibiotic Resistance and Molecular Characterization of Seafood Isolates of Nontyphoidal *Salmonella* by PFGE. *Procedia Food Science*, 6(), 334–338.
- EFSA**, 2019
- Elmahdi S., DaSilva L.V. & Parveen S.** (2016). “Antibiotic resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in various countries: A review”. *Food Microbiology* 57, 128e134
- Elmahdi, Sara; Parveen, Salina; Ossai, Sylvia; DaSilva, Ligia V.; Jahncke, Michael; Bowers, John; Jacobs, John** (2017). Characterization of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* Recovered from Oysters during an Oyster Relay Study. *Applied and Environmental Microbiology*, (), AEM.01790-17–.
- Fang, L.; Ginn, A.M.; Harper, J.; Kane, A.S.; Wright, A.C.** (2019). Survey and genetic characterization of *Vibrio cholerae* in Apalachicola Bay, Florida (2012–2014). *Journal of Applied Microbiology*, 126(4), 1265–1277.
- Giacometti, Federica; Pezzi, Annalisa; Galletti, Giorgio; Tamba, Marco; Merialdi, Giuseppe; Piva, Silvia; Serraino, Andrea; Rubini, Silva** (2021). Antimicrobial resistance patterns in *Salmonella enterica* subsp. *enterica* and *Escherichia coli* isolated from bivalve molluscs and marine environment. *Food Control*, 121(), 107590–.

- Gonzalez Ronquillo, M. & Angeles Hernandez, J.C.** (2015). “Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets: Review of impact and analytical methods”. **Food Control**, 72, 255-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.001>
- Haftel A, & Sharman T.** (2021). *Vibrio Vulnificus*. [Updated 2021 Jul 26]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554404/>
- Hariharan, H. & Amadi, V.** (2016). “Shellfish as reservoirs of bacterial pathogens”. **Journal of Coastal Life Medicine**, 4, 253-258. 10.12980/jclm.4.2016J6-13.
- Hsu, T.-K., Tsai, H.-C., Hsu, B.-M., Yang, Y.-Y., & Chen, J.-S.** (2020). Prevalence, enterotoxin-gene profiles, antimicrobial resistance, and genetic diversity of *Bacillus cereus* group in aquatic environments and shellfish. *Science of The Total Environment*, 143665.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.004>
- Hu, Q. & Chen, L.** (2016). “Virulence and Antibiotic and Heavy Metal Resistance of *Vibrio parahaemolyticus* Isolated from Crustaceans and Shellfish in Shanghai, China”. **Journal of Food Protection**, 79(8), 1371-7. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-16-031.
- Jeamsripong, Saharuetai; Khant, Winn; Chuanchuen, Rungtip** (2020). Distribution of phenotypic and genotypic antimicrobial resistance and virulence genes in *Vibrio parahaemolyticus* isolated from cultivated oysters and estuarine water. *FEMS Microbiology Ecology*, (), fiae081–.
- Jennings, S., Stentiford, G. D., Leocadio, A. M., Jeffery, K. R., Metcalfe, J. D., Katsiadaki, I., & Verner-Jeffreys, D. W.** (2016). “Aquatic food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment”. **Fish and Fisheries**, 17(4), 893–938. doi:10.1111/faf.12152
- Jeong, S. H., Kwon, J. Y., Shin, S. B., Choi, W. S., Lee, J. H., Kim, S.-J., & Ha, K. S.** (2021). Antibiotic resistance in shellfish and major inland pollution sources in the drainage basin of Kamak Bay, Republic of Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8).
- Jo, SeongBeen; Shin, ChangHyeon; Shin, YuJin; Kim, Poong Ho; Park, Jin il; Kim, Minju; Park, Bomi; So, Jae-Seong** (2020). Heavy metal and antibiotic co-resistance in *Vibrio parahaemolyticus* isolated from shellfish. *Marine Pollution Bulletin*, 156(), 111246–.
- Jung, A.-V., Le Cann, P., Roig, B., Thomas, O., Baurès, E. & Thomas, M.-F.** (2014). “Microbial Contamination Detection in Water Resources: Interest of Current Optical Methods, Trends and Needs in the Context of Climate Change”. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 11(4), pp. 4292–4310. doi:10.3390/ijerph110404292

- Kadariya, Jhalka; Smith, Tara C.; Thapaliya, Dipendra** (2014). Staphylococcus aureus and Staphylococcal Food-Borne Disease: An Ongoing Challenge in Public Health. *BioMed Research International*, 2014(), 1–9.
- Kang, Chang-Ho; Shin, YuJin; Jang, SeokCheol; Jung, Yeojung; So, Jae-Seong** (2016). Antimicrobial susceptibility of *Vibrio alginolyticus* isolated from oyster in Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, (), –.
- Kang, Chang-Ho; Shin, YuJin; Jang, SeokCheol; Yu, HongSik; Kim, SuKyung; An, Sera; Park, Kunbawui; So, Jae-Seong** (2017). Characterization of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from oysters in Korea: Resistance to various antibiotics and prevalence of virulence genes. *Marine Pollution Bulletin*, (), S0025326X17301844–.
- Kang, Chang-Ho; Shin, YuJin; Jeon, HanEul; Choi, Jae-Ho; Jeong, SuYeon; So, Jae-Seong** (2013). Antibiotic resistance of *Shewanella putrefaciens* isolated from shellfish collected from the West Sea in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 76(1-2), 85–88.
- Kang, Chang-Ho; Shin, YuJin; Yu, HongSik; Kim, SuKyung; So, Jae-Seong** (2018). Antibiotic and heavy-metal resistance of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from oysters in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 135(), 69–74.
- Kang, Chang-Ho; So, Jae-Seong** (2016). Antibiotic and heavy metal resistance in *Shewanella putrefaciens* strains isolated from shellfishes collected from West Sea, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, (), S0025326X16306610–.
- Khora S.** (2014). *Health risks associated with seafood*. In: Kim SK, editor. *Seafood science: advances in chemistry, technology and applications*. BocaRaton, Fla.: CRC Press. p 483–570
- Korajkic, A., McMinn, B. R., Staley, Z. R., Ahmed, W., & Harwood, V. J.** (2020). Antibiotic-resistant *Enterococcus* species in marine habitats: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 16, 92–100.
- Krauss, S. & Griebler, C.** (2011). *Pathogenic microorganisms and viruses in groundwater*. Acatech Materialien, 6
- Lei, Tao; Jiang, Fufeng; He, Min; Zhang, Jumei; Zeng, Haiyan; Chen, Moutong; Pang, Rui; Wu, Shi; Wei, Lei; Wang, Juan; Ding, Yu; Wu, Qingping** (2020). Prevalence, virulence, antimicrobial resistance, and molecular characterization of fluoroquinolone resistance of *Vibrio parahaemolyticus* from different types of food samples in China. *International Journal of Food Microbiology*, 317(), 108461–.
- Letchumanan, Vengadesh; Pusparajah, Priyia; Tan, Loh Teng-Hern; Yin, Wai-Fong; Lee, Learn-Han; Chan, Kok-Gan** (2015). Occurrence and Antibiotic Resistance of *Vibrio parahaemolyticus* from Shellfish in Selangor, Malaysia. *Frontiers in Microbiology*, 6(), –.

- Lopatek, Magdalena; Wieczorek, Kinga; Osek, Jacek** (2015). Prevalence and Antimicrobial Resistance of *Vibrio parahaemolyticus* Isolated from Raw Shellfish in Poland. *Journal of Food Protection*, 78(5), 1029–1033.
- Mahmood, D.** (2018). *Principal Component Analysis (PCA)*. Project: Dataset Pre-processing
- Manaia, C.M., Macedo, G., Fatta-kassinos, D. & Nunes, O.C.** (2016). “Antibiotic resistance in urban aquatic environments: can it be controlled?” **Applied Microbiology and Biotechnology**, 100(4), 1543–1557. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-015-7202-0>.
- Manyi-Loh, C., Mamphweli, S., Meyer, E. & Okoh, A.** (2018). “Antibiotic use in agriculture and its consequential resistance in environmental sources: potential public health implications”. **Molecules**, 23(4), 795. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23040795>. PMID:29601469.
- Maravić, Ana; Šamanić, Ivica; Šprung, Matilda; Fredotović, Željana; Ilić, Nada; Dragičević, Josipa; Puizina, Jasna** (2018). Broad-spectrum resistance of *Pseudomonas aeruginosa* from shellfish: infrequent acquisition of novel resistance mechanisms. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2), 81–.
- Marcos F. Hernández-Robles; Ana K. Álvarez-Contreras; Patricia Juárez-García; Iván Natividad-Bonifacio; Everardo Curiel-Quesada; Carlos Vázquez-Salinas; Elsa Irma Quiñones-Ramírez** (2016). Virulence factors and antimicrobial resistance in environmental strains of *Vibrio alginolyticus*. *International Microbiology* 19(4):191-198
- Menon, V. & Gopakumar, K.** (2017). “Shellfish: Nutritive Value, Health Benefits, and Consumer Safety”. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 16. [10.1111/1541-4337.12312](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12312).
- Meola, M., Lazzaro, A. & Zeyer J.** (2014). “Diversity, resistance and resilience of the bacterial communities at two alpine glacier forefields after a reciprocal soil transplantation”. **Environ. Microbiol.**, 16, 1918-1934. [doi:10.1111/1462-2920.12435](https://doi.org/10.1111/1462-2920.12435)
- Miotto, Marília; Ossai, Sylvia A.; Meredith, Joan E.; Barretta, Clarissa; Kist, Airton; Prudencio, Elane S.; R. W. Vieira, Cleide; Parveen, Salina** (2018). Genotypic and phenotypic characterization of *Escherichia coli* isolated from mollusks in Brazil and the United States. *MicrobiologyOpen*, (), e738–.
- Mok, Jong Soo; Ryu, Ara; Kwon, Ji Young; Kim, Byeori; Park, Kunbawui** (2019). Distribution of *Vibrio* species isolated from bivalves and bivalve culture environments along the Gyeongnam coast in Korea: Virulence and antimicrobial resistance of *Vibrio parahaemolyticus* isolates. *Food Control*, 106(), 106697–.
- Mok, Jong Soo; Ryu, Ara; Kwon, Ji Young; Park, Kunbawui; Shim, Kil Bo** (2019). Abundance, antimicrobial resistance, and virulence of pathogenic *Vibrio* strains from molluscan shellfish farms along the Korean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 149(), 110559–.

- Na, G., Lu, Z., Gao, H., Zhang, L., Li, Q., Li, R., Yang, F., Huo, C. & Yao, Z. (2018).** “The effect of environmental factors and migration dynamics on the prevalence of antibiotic-resistant *Escherichia coli* in estuary environments”. *Scientific Reports*, 8(1), 1663. PMID:29374235
- Nadella, R. K., Panda, S. K., Madhusudana Rao, B., Pani Prasad, K., Raman, R. P., & Mothadaka, M. P. (2021).** Antibiotic resistance of culturable heterotrophic bacteria isolated from shrimp (*Penaeus vannamei*) aquaculture ponds. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112887.
- NASA, 2018
- Ogawa, V.A., Shah, C.M., Hughes, J.M. & King, L.J. (2019).** “Prioritizing a one health approach in the immediate fight against antimicrobial resistance”. *EcoHealth*, 16(3), 410-413. PMID:29524056.
- Oliveira, Amanda M.S.; Baraúna, Rafael A.; Marcon, Davi J.; Lago, Leticia A.B.; Silva, Artur; Lusio, Joana; Tavares, Rafael D.S.; Tacão, Marta; Henriques, Isabel; Schneider, Maria P.C. (2020).** Occurrence, antibiotic-resistance and virulence of *E. coli* strains isolated from mangrove oysters (*Crassostrea gasar*) farmed in estuaries of Amazonia. *Marine Pollution Bulletin*, 157(), 111302–.
- Onohuean, H., Agwu, E. & Nwodo, U.U. (2022).** "Systematic review and meta-analysis of environmental *Vibrio* species – antibiotic resistance". *Heliyon* 8, 2, e08845. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08845>
- Parlapani F.F., Boziaris, IS, DeWitt, C.M. (2022).** Pathogens and their sources in fresh water fish, sea fish, shellfish, and algae. In: *Present Knowledge in Food Safety – A Risk-Based Approach Throughout the Food Chain*, edited by Lucia Anelich, Alan Boobis, Michael E. Knowles, and Bert Popping. Elsevier, In press.
- Paseka, R., White, L., Van de Waal, D., Strauss, A., González, A., Everett, R., Peace, A., Seabloom, E., Frenken, T. & Borer, E. (2020).** Disease-mediated ecosystem services: Pathogens, plants, and people. *Trends in Ecology & Evolution*, 35. 10.1016/j.tree.2020.04.003.
- Pepi, M. & Focardi, S. (2021).** "Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area". *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 5723. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115723>
- Percival, Steven L. (2014).** *Microbiology of Waterborne Diseases || Escherichia coli.* , (), 89–117. doi:10.1016/b978-0-12-415846-7.00006-8
- Preston, D.L., Mischler, J.A., Townsend, A.R. et al. (2016).** “Disease Ecology Meets Ecosystem Science”. *Ecosystems*, 19, 737–748. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9965-2>
- Rajae Zahli1; Juan Soliveri2; Jamal Abrini1; José L. Copa-Patiño2; Amajoud Nadia3; Ann-Karolin Scheu; Skali Senhaji Nadia (2021).** Prevalence, typing and antimicrobial resistance of *Salmonella* isolates from commercial shellfish in the North coast of Morocco. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03136-w>

- Resende, J.A., Silva, V.L. and Diniz, C.G.** (2020). “Aquatic environments in the One Health context: modulating the antimicrobial resistance phenomenon”. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e102.
- S. Parthasarathy^{1,6}; Suresh Chandra Das; Ashok Kumar; Goutam Chowdhury; Shin-Ichi Miyoshi; Shanta Dutta; Asish Kumar Mukhopadhyay** (2021). Molecular characterization and antibiotic resistance of *Vibrio parahaemolyticus* from Indian oyster and their probable implication in food chain. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03113-3>
- Sánchez-Baena, A. M., Caicedo-Bejarano, L. D., & Chávez-Vivas, M.** (2021). "Structure of Bacterial Community with Resistance to Antibiotics in Aquatic Environments. A Systematic Review". *International journal of environmental research and public health* 18(5), 2348. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052348>
- Seabloom, E. W., Kinkel, L., Borer, E. T., Hautier, Y., Montgomery, R. A., & Tilman, D.** (2017). “Food webs obscure the strength of plant diversity effects on primary productivity”. *Ecology Letters*, 20(4), 505–512. doi:10.1111/ele.12754
- Sender, R., Fuchs, S. & Milo, R.** (2016). “Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body”. *PLoS Biol* 14(8), e1002533. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002533>
- Silva, Irana Paim; Carneiro, Camila de Souza; Saraiva, Margarete Alice Fontes; Oliveira, Thiago Alves Santos de; Sousa, Oscarina Viana de; Evangelista-Barreto, Norma Suely** (2018). Antimicrobial resistance and potential virulence of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from water and bivalve mollusks from Bahia, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 131(), 757–762.
- Singh, H.** (2014). “Management of Plant Pathogens with Microorganisms”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 80, 443-454. 10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55120
- Su, Chenli; Chen, Lanming** (2020). Virulence, resistance, and genetic diversity of *Vibrio parahaemolyticus* recovered from commonly consumed aquatic products in Shanghai, China. *Marine Pollution Bulletin*, 160(), 111554.
- Suzuki, Satoru; Ogo, Mitsuko; Miller, Todd W.; Shimizu, Akiko; Takada, Hideshige; Siringan, Maria Auxilia T.** (2013). Who possesses drug resistance genes in the aquatic environment?: sulfamethoxazole (SMX) resistance genes among the bacterial community in water environment of Metro-Manila, Philippines. *Frontiers in Microbiology*, 4(), –.
- Teshome, Awugchew; Alemayehu, Tadesse; Deriba, Wegene; Ayele, Yohanes** (2020). Antibiotic Resistance Profile of Bacteria Isolated from Wastewater Systems in Eastern Ethiopia. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020(), 1–10.
- Thi Thu Hao Van; James Chin; Toni Chapman; Linh Thuoc Tran; Peter J. Coloe** (2008). Safety of raw meat and shellfish in Vietnam: An analysis of *Escherichia coli* isolations for antibiotic resistance and virulence genes. , 124(3), 217–223.

- van Belkum, A. Almeida, C. Bardiaux, B. Barrass, S.V. Butcher, S.J. Çaykara, T. Chowdhury, S. Datar, R. Eastwood, I. Goldman, A. et al.** (2021). “Host-Pathogen Adhesion as the Basis of Innovative Diagnostics for Emerging Pathogens”. *Diagnostics*, 11, 1259. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11071259>
- Vezzulli, Luigi; Grande, Chiara; Reid, Philip C.; Hélaouët, Pierre; Edwards, Martin; Höfle, Manfred G.; Brettar, Ingrid; Colwell, Rita R.; Pruzzo, Carla** (2016). Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(34), E5062–E5071.
- Vignaroli, C.; Di Sante, L.; Leoni, F.; Chierichetti, S.; Ottaviani, D.; Citterio, B.; Biavasco, F.** (2016). Multidrug-resistant and epidemic clones of *Escherichia coli* from natural beds of Venus clam. *Food Microbiology*, 59(), 1–6.
- Wang, Fei; Jiang, Lin; Yang, Qianru; Han, Feifei; Chen, Siyi; Pu, Shuaihua; Vance, Amanda; Ge, Beilei** (2011). Prevalence and Antimicrobial Susceptibility of Major Foodborne Pathogens in Imported Seafood. *Journal of Food Protection*, 74(9), 1451–1461.
- Wang, Rui Xuan; Wang, AnLi; Wang, Jiang Yong** (2014). Antibiotic resistance monitoring in heterotrophic bacteria from anthropogenic-polluted seawater and the intestines of oyster *Crassostrea hongkongensis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 109(), 27–31.
- Wang, W., Li, M. & Li, Y.** (2015). “Intervention strategies for reducing *Vibrio parahaemolyticus* in seafood: a review”. *Journal of Food Science*, 280(1), R10–9. doi: 10.1111/1750-3841.12727.
- World Bank**, 2018
- Xie, Tengfei; Wu, Qingping; Zhang, Jumei; Xu, Xiaoke; Cheng, Jianheng** (2017). Comparison of *Vibrio parahaemolyticus* isolates from aquatic products and clinical by antibiotic susceptibility, virulence, and molecular characterisation. *Food Control*, 71(), 315–321.
- Yang, Ying; Xie, Jiafang; Li, Hua; Tan, Shuwen; Chen, Yanfeng; Yu, Hui** (2017). Prevalence, Antibiotic Susceptibility and Diversity of *Vibrio parahaemolyticus* Isolates in Seafood from South China. *Frontiers in Microbiology*, 8(), 2566–.
- Yu, Wei-Ting; Jong, Koa-Jen; Lin, Yu-Ren; Tsai, Shing-en; Tey, Yao Hsien; Wong, Hin-chung** (2013). Prevalence of *Vibrio parahaemolyticus* in oyster and clam culturing environments in Taiwan. *International Journal of Food Microbiology*, 160(3), 185–192.
- Zhang, Jianmin; Yang, Xiaowei; Kuang, Dai; Shi, Xianming; Xiao, Wenjia; Zhang, Jing; Gu, Zhen; Xu, Xuebin; Meng, Jianghong** (2015). Prevalence of antimicrobial resistance of non-typhoidal *Salmonella* serovars in retail aquaculture products. *International Journal of Food Microbiology*, 210(), 47–52.

Zhao, S., Guo, Y., Sheng, Q. & Shyr, Y. (2014). “Advanced Heat Map and Clustering Analysis Using Heatmap3”. **BioMed research international**, 986048. 10.1155/2014/986048