



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – С О Ф И Я
ФАКУЛТЕТ „ЕКОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТНА АРХИТЕКТУРА“

Катедра „Екология, опазване и възстановяване на околната среда”

МАГ. ИНЖ. НИКОЛАЙ КРАСИМИРОВ НИКОЛОВ

МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТКА И КОНТРОЛ НА ДАННИ ЗА
СЪДЪРЖАНИЕТО НА РАЗТВОРЕН КИСЛОРОД
ВЪВ ВОДИТЕ НА ЧЕРНО МОРЕ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна
и научна степен „ДОКТОР”

Професионално направление: 4.4. Науки за земята
Научна специалност: ЕКОЛОГИЯ И ОПАЗВАНЕ НА ЕКОСИСТЕМИТЕ

Научен консултант: доц. д-р Бернардо Лизама Ривас

София
2018

Дисертационният труд е представен и обсъден на разширен катедрен съвет (съгласно Заповед № 502/27.08.2018 г. на ректора на Лесотехническия университет) в катедра „Екология, опазване и възстановяване на околната среда“ на 14.09.2018 г. и е открита процедура за представяне на дисертационни труд за защита пред научно жури.

Автор: маг. инж. Николай Красимиров Николов

Тема: Методи за обработка и контрол на данни за съдържанието на разтворения кислород във водите на Черно море



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – С О Ф И Я
ФАКУЛТЕТ „ЕКОЛОГИЯ И ЛАНДШАФТНА АРХИТЕКТУРА“

МАГ. ИНЖ. НИКОЛАЙ КРАСИМИРОВ НИКОЛОВ

МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТКА И КОНТРОЛ НА ДАННИ ЗА
СЪДЪРЖАНИЕТО НА РАЗТВОРЕН КИСЛОРОД
ВЪВ ВОДИТЕ НА ЧЕРНО МОРЕ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна
и научна степен „ДОКТОР“

Професионално направление: 4.4. Науки за земята
Научна специалност: ЕКОЛОГИЯ И ОПАЗВАНЕ НА ЕКОСИСТЕМИТЕ

Научен консултант: доц. д-р Бернардо Лизама Ривас

Рецензенти: проф. д-р Николай Дончев Козарев
доц. д-р Елисавета Лазарова Пенева

София
2018

Дисертационният труд е представен в 105 страници, от които 100 страници текст и 5 страници списък с използвана литература. В текста се включват 23 таблици и 49 фигури. Списъкът на литературните източници включва 91 заглавия, от които 15 на кирилица, 66 на латиница и 10 уебсайта.

Номерацията на главите, формулите и фигурите в автореферата отговаря на тази в дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 23.01.2019 г. от 13:00 часа в зала №4 на Централната сграда на Лесотехническия университет на открито заседание на Научно жури, утвърдено със Заповед № 596/15.10.2018 г. на ректора на Лесотехническия университет в състав:

Председател:

доц. д-р Екатерина Иванова Тодорова - вътрешен

Членове:

доц. д-р Екатерина Иванова Тодорова – вътрешен
доц. д-р Бернардо Лизама Ривас – вътрешен
проф. д-р Николай Дончев Козарев – външен
доц. д-р Елисавета Лазарова Пенева – външен
Доц. д-р Анатолий Цанков Ангелов – външен

Резервни членове:

доц. д-р Соня Борисова Дамянова – вътрешен
доц. д-р Петър Кирилов Димитров – външен

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Деканата на факултет „Екология и ландшафтна архитектура“ (София, бул. „Климент Охридски“ №10, стая 107), както и на сайта на Лесотехническия университет, София (www.ltu.bg)

Изказвам огромна благодарност към членовете на катедра „Екология, опазване и възстановяване на околната среда“ към ЛТУ – София, на Института по Океанология към БАН Варна, както и на доц. д-р Иванка Колева-Лизама и моя научен консултат доц. д-р Бернардо Ривас за оказаната помощ. Не на последно място искам да благодаря на моето семейство за подкрепата, която ми оказаха през цялото време!

УВОД

Концентрациите на кислород в откритите океански и крайбрежни води намаляват поне от средата на 20-ти век. Тази загуба на кислород е една от най-важните промени, които настъпват в океаните и моретата. Кислородът е основен елемент за биологичните и биогеохимичните процеси, които протичат в големите водни басейни. Неговият спад може да доведе до промени в биологичното разнообразие, натрупването на биомаса, както и в биогеохимичните цикли.

Черно море е един от най-слабо проучваните морски басейни по отношение на разпределението на разтворен кислород в цялата му пространственост и в дълбочина. През последните години при мониторинга на морската среда се прилага нов подход - автоматизиране на процеса. При осъществяване на мониторинг на водите на Черно море широко приложение намират така наречените Арго-сонди, с чиято помощ се набира информация за райони, в които не се провеждат оперативни хидрофизични и хидрохимични наблюдения.

Създаването на оперативни системи за мониторинг на разтворен кислород (DO) в Черно море спомага за набирането на актуална информация, която е необходима не само за оценка на качеството на морската вода, но и е изключително важна при изучаване реакцията на морската екосистема, особено в Черно море, което е един от най-големите безкислородни басейни на планетата.

Целта на настоящата дисертация е разработване на методи за обработка, качествен контрол и анализ на концентрацията на разтворен кислород в Черно море на базата на измерена хидрофизична информация от сензорите на сондата APEX Арго.

Във връзка с това е необходимо е да се решат следните основни **задачи**:

1. Да се разработят алгоритми и компютърни програми за първична обработка на данните за концентрацията на разтворен кислород от сензорите на сонда APEX Арго.
2. Да се разработи алгоритъм за качествен контрол на събраната информация за концентрацията на разтворен кислород в морската вода на базата на статистически методи и критерии.
3. Да се разработи модел на невронна мрежа за изследване на разтворен кислород в Черно море и приложението му за възстановяване на липсващи данни и инерционни прогнози.

1. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Направен е обзор на някои от изследванията и използваните методи за мониторинг на хидрофизични елементи в морски басейни и са изложени основните резултати, имащи отношение по темата на дисертацията. Анализират се дистанционните и контактни методи за изследване на морски басейни. Предимствата на дистанционните наблюдения - дават възможност за събиране на данни за опасни и недостъпни райони, недостатъци - ниската им точност на измерване. Контактните методи имат висока точност. Недостатъците на

тези методи са - висока себестойност на измерване (скъпо струващи експедиции и поддръжка на апаратура); ниска пространствена и времева разделителна резолюция на измерване.

Особено внимание е обърнато на методите и средства за изследване на разтворения кислород в морски води, както и на Арго профилираща сонда. Посочени са невронните мрежи като средство при изследване на кислорода в морски води.

В заключение от направения преглед на литературата може да се подчертае, че:

- автоматичните профилиращи сонди Арго са перспективен метод за изследване на кислорода в морски басейни, с чиято помощ може да се получат голям набор от данни във времето и пространството. Тези сонди дават информация в реално време, което от своя страна допринася за бързата обработка на получените данни;
- Използването на изкуствените невронни мрежи (ANN) са средство за моделиране и изчисляване на липсващи хидрохимични данни от изследванията на морската вода. За Черно море все още няма модел на разтворения кислород, който да се базира на ANN;
- В България за изследване на водите на Черно море през 2009 са пуснати в експлоатация автоматизирани АРЕХ сонди, оборудвани със сензори за соленост, температура, налягане и разтворен кислород тип Aanderaa Optode 3830. Компилирането, обработката и анализът на получените от оптичния сензор на Арго сондите данни за разтворен кислород в района на Черно море не е изучено добре и остава като актуален проблем.

2. ОБЕКТ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2.1. Описание на обекта на изследване

Черно море е най-големият полузатворен аноксичен басейн в света с водосборна площ около 2 млн.km². Този басейн е с площ от 423 000 km² и съдържа 547 000 km³ вода. Шест страни граничат с морето - България, Грузия, Румъния, Руската федерация, Украйна и Турция. На фиг. 2.1 са представени териториалните води на различните държави, с които граничи Черно море.



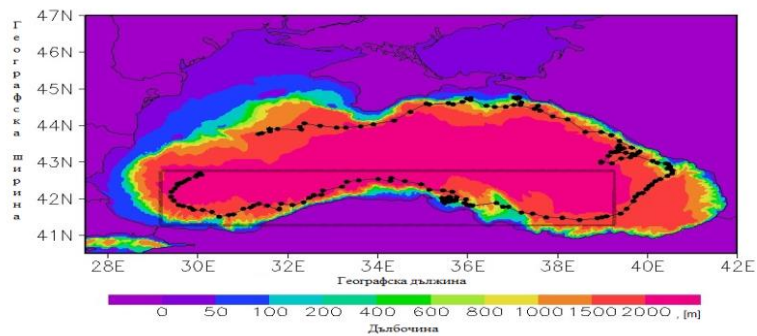
Фиг. 2.1. Разположение на териториалните води в Черно море

Изследваният район се разполага в западната и южната част на Черно море (българските и турските териториални води) и обхваща дълбочини до 1500 m.

2.2. Описание на използвания материал за изследване

Настоящият дисертационен труд е изготвен на базата на събрани данни, получени в рамките на научноизследователски експедиции на АРГО Сонди (2011-2015), литературни източници и публикувани резултати от изследователски проекти. Използвани са също така определени по метода на Winkler данни за разтворения кислород в Черно море за периода от 1970-2000 година, и метаданни (името на станцията, дата и час, координати, и дълбочината, на която са били взети пробите), предоставени от Института по Океанология към БАН Варна. Литературните данни се използват при определяне на диапазони на колебания на кислорода в морската вода при качествения контрол.

Като пример за набиране на данни за разтворения кислород, на фиг. 2.3 е представена схема на траекторията на профилиращата сонда APEx 6900804 в акваторията на Черно море. Изследваният район е ограден с правоъгълник. С черни точки са означени местата, от които сондата събира данни.



Фиг. 2.3. Траектория на движение на APEx 6900804 в Черно море

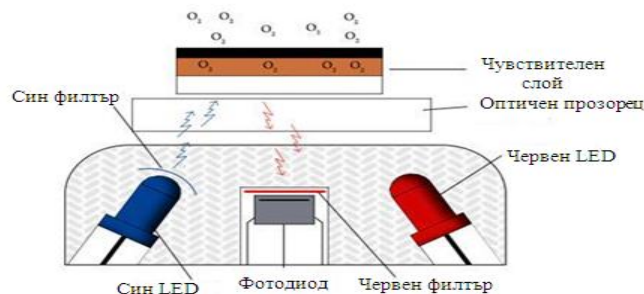
2.3. Методи за определяне концентрацията на разтворен кислород в морска вода

Програма Арго

Системата Арго представлява световна мрежа от автономни профилиращи сонди, които измерват параметрите на морската вода в слоя 0-2000 m. Тя е незаменим компонент от Глобалната система за наблюдение на океана. Арго данните в Черно море са нужни, защото набирането на данни досега е свързано с организация на скъпоструващи експедиции в различни териториални води. Изследването на разтворения кислород чрез Арго сонда става с оптичния сензор Aandera Optode 3830, базиращ се на динамично луминисцентно гасене. На фигура 2.6 са посочени елементите на сензора Aandera Optode 3830.

Особеното при този оптичен сензор е, че концентрацията на разтворения кислород не се измерва директно, а се изчислява. За тази цел се използва представения алгоритъм от производителя на сензора Aanderaa Optode 3830. Концентрацията на кислорода се изчислява в μM от 4-та степен на многочлена:

$$[O_2] = C_0 + C_1P + C_2P^2 + C_3P^3 + C_4P^4 \quad (2.1)$$



Фиг. 2.6. Елементи на оптичната част на сензора Aandera Optode 3830

където P е калиброваната фаза на измерване ($DPhase$), а C_0, C_1, C_2, C_3 и C_4 са зависими температурни коефициенти, които се изчисляват по формулата:

$$C_x = C_{x0} + C_{x1}t + C_{x2}t^2 + C_{x3}t^3 \quad (2.2)$$

където C_{x0}, C_{x1}, C_{x2} и C_{x3} са константи, които се предоставят от производителя на сензора, а t е температурата на околната среда.

Некалиброваната фаза ($UPhase$) е разликата между фазата, получена със синя светлина ($BPhase$) и фазата, получена с червена светлина ($RPhase$):

$$UPhase = BPhase - RPhase \quad (2.3)$$

Обикновено $RPhase$ не се използва и за това тя се взема равна на нула ($RPhase=0$). От тук може да се изчисли и $DPhase$ като полином от трета степен във вида:

$$DPhase = A_0 + A_1UPhase + A_2UPhase^2 + A_3UPhase^3 \quad (2.4)$$

където $UPhase$ е некалиброваната фаза, а A_0, A_1, A_2 и A_3 са константи, които се предоставят от производителя на сензора.

При използване на дълбочина в метри или налягане в dbar се използва следното уравнение за компенсация на дълбочината:

$$O_{2c} = O_2 \left(1 + \frac{0.04d}{1000} \right) \quad (2.5)$$

където:

O_{2c} - компенсирания концентрация на кислород в μM или %, в зависимост от подадения кислород;

O_2 – изчислената концентрация на кислород чрез формула 2.1;

d - дълбочина в m или налягане в dbar.

АРЕХ 6900804, която е пусната в Черно море, е оборудвана и с оптичен сензор Aandera Optode 3830 за измерване на разтворен кислород. Чрез сателитна комуникация се определя позицията на сондата, докато се предават данните след изплуването ѝ на повърхността.

Методи за обработка и анализ на АРГО информация

Флаговете за качество за разтворения кислород се означават с цифри или символи и се присвояват на дадено изследване. Употребяват се при предполагаемо сортиране качеството на получените данни за разтворен кислород и посочват целите и надеждността

им, при които се прилагат. Базирайки се на получените резултати от процедурата за качествен контрол се слагат и съответни флаговете. В България Националният Център за Океанографски Данни към Института по океанология – БАН Варна прилага системата от флагове, създадена в рамките на проекта SeaDataNet, която от своя страна се базира на флаговете за качество на Арго и IGOSS/UOT/GTSP. Определянето на числото N става в дадения профил като процента на нивата с добри данни. Присвояват се флагове като се вземе предвид числовата стойност на N. Това е показано на таблица 2.3.

Таблица 2.3
Флаг за качество на профила

N	Значение
„“	Не е приложен качествен контрол
A	N=100%, всички нива съдържат добри данни
B	$75 \leq N \leq 100\%$
C	$50 \leq N \leq 75\%$
D	$25 \leq N \leq 50\%$
E	$0 \leq N \leq 25\%$
F	N=0%, нито едно ниво не съдържа добри данни

За изследванията на разтворения кислород на морски басейни се използва статистически метод за качествен контрол на получените данни чрез прилагане на различни процедури. Понастоящем не навсякъде се прилага статистическа обработка на получените данни за разтворен кислород, което значителна утежнява качеството на отделните измервания. Това се дължи основно на сложността на океанската и морската вода или региона, в който има ограничения за вземане на проби и прави трудно изследването. В основата на всяка форма за анализ на данни е разбирането, че обикновено се работи с ограничен набор (извадка) от случайни събития. Тази извадка се използва, за да се правят приблизителни оценки на истинските статистически характеристики. При наличие на непрекъснати случайни величини разпределението се описва с функцията $f(x)$, която представлява закон за разпределение. Неговата същина е функция и разбирането на тази функция изцяло характеризира случайната величина от вероятностна гледна точка.

Средната стойност на извадката ($\bar{X}$) е средноаритметичната стойност на всички индивидуални стойности в извадката:

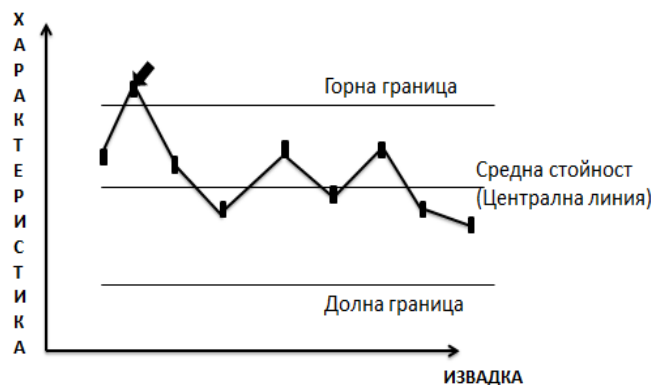
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.6)$$

където N е брой на изследванията; x_i – експериментално определени стойности.

Средноквадратичното отклонение (s) представлява разсейването на единичните стойности около средноаритметичната стойност:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2.7)$$

Статистическо управление на качеството на данни може да се осъществи посредством контролни карти. За да се представи една контролна карта трябва да се събират данни за разтворения кислород, след това тези данни да се обработят и да се представи графично получената информация. Изследваният показател на качество при контролните карти често се свързва с някоя от характеристиките на разпределението (средноаритметична стойност, средноквадратично отклонение), която се отбелязва на ординатната ос на картата, а по абсисната ос – поредните номера на извадките. Фигура 2.8 илюстрира това.



Фиг. 2.8. Контролна карта

При получаване на стойности, които са извън допустимите (горна и долна) граници, е наличие на подозрителни данни. Тогава се слага флаг за качество, че дадената стойност/профил не отговаря на изискванията.

Важен етап в обработката на експериментални данни е възможността за пресмятане на стойностите на данните в междинните точки между съседни измервания. Един от методите, които се използват за решаване на подобни задачи е линейната интерполация на данните. Ако са дадени две точки с координати (x_0, y_0) и (x_1, y_1) , то линейната интерполация е една права линия между тези точки. За стойността на x в интервала (x_0, x_1) стойността y по дължината на права линия се дава с формулата:

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (2.8)$$

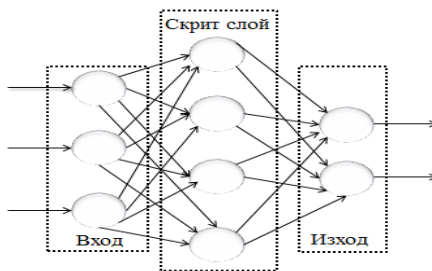
Решаването на това уравнение 2.8 спрямо y се дава с:

$$y = y_0 + (x - x_0) \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (2.9)$$

Изразът 2.9 представлява линейната интерполация в интервала (x_0, x_1) .

Метод на невронните мрежи

Изкуственията невронна мрежа (ANN) представлява математически модел на биологична невронна мрежа. Този модел се формира от самостоятелни елементи. Една ANN се състои от няколко свързани помежду възли (неврони), разположени в слой, както е показано на фиг.2.10.



Фиг. 2.10. Невронна мрежа

Видими слоеве - това са входните и изходните слоеве, защото те общуват с потребителя. Скрити слоеве са слоевете между видимите слоеве.

Дефинирането на броя на скритите слоеве и включващите се в тях неврони е от голямо значение при проектирането на една невронна мрежа. Не съществуват точни и ясни правила и идеална технология за определяне на оптималния им брой.

Най-често може да се приложи подход, който е на база експерименти. За да се предотврати вероятността от “пренастройване” (overfitting) на системата се определя невронна мрежа с поне 2 скрити слоя, като първият слой се състои от най-малко 5 неврона, а вторият – от 3 неврона.

Алгоритъмът за създаване на модел на невронна мрежа включва следните основни стъпки:

- Определяне на целта на невронната мрежа – ако се правят дългосрочни изчисления е нужно да се вземат по-голям брой променливи, а при краткосрочни – технически данни;
- Определяне на входни данни – входните данни се избират в зависимост от типа на изчисляването. Този избор може да се основава на публикувани вече изследвания, на опит или на експериментиране;
- Нормиране на данните – прилага се, за да бъдат данните равномерно разпределени и мащабиран до допустими за невронната мрежа стойности. За да се нормират данните в интервал [0 1] се използват следните формули:

$$\blacksquare \Omega_{\text{нор}} = a \cdot \Omega_{\text{тек}} + b \quad (2.12)$$

$$\left| \begin{array}{l} \circ 1 = a \cdot \max(\Omega) + b \\ \circ 0 = a \cdot \min(\Omega) + b, \end{array} \right. \quad (2.13)$$

- Където $\Omega_{\text{нор}}$ е търсената нормирана стойност; а и b са коефициенти, които се намират чрез системата от уравнения (2.13); $\Omega_{\text{тек}}$ е текущата стойност, на която се търси нормализираната; $\max(\Omega)$ –

максималната стойност от набора данни за всяка променлива; $\min(\Omega)$ – минималната стойност от набора данни за всяка променлива.

- Определяне на архитектура и скрити слоеве на мрежата – няма определени стандартни правила за дефиниране на архитектурата на невронна мрежа, както и на броя скрити слоеве и броя неврони в тях. Смята се, че колкото по-малък е броят на скритите слоеве и броят неврони в тях, толкова по-добри са способностите на невронната мрежа. Някои учени и изследователи предлагат използването на пирамидални структури, чрез които приблизително може да се определи броят на невроните във всеки слой;
- Изходен слой – невронни мрежи, които се използват за прогнозиране с една или няколко стъпки напред ползват един единствен изход (неврон). Така се избягва ефектът на противоречащи си различни изходи и невронната мрежа се фокусира върху единствена цел.
- Активационна функция – математическа функция, показваща изхода на който и да е неврон от мрежата. Активационната функция се определя опитно или според проблема, който е представен на невронната мрежа. Целта на тази функция е да предотврати изходите на невроните да реализират много големи стойности, тъй като те могат да попречат на обучаването ѝ.
- Разделяне данните за обучение и тестване – данните, които се подават при процеса на оптимизиране на невронната мрежа трябва да се разделят на два типа: 1) данни за обучение и 2) данни за тестване. По-добре е данните за обучение да са повече на брой, докато данните за тестване трябва да са по-малко, за да може да се провери дали невронната мрежа се справя с непозната ситуация. Често това съотношение се избира случайно. Срещат се някои главни принципи как данните да бъдат разделени, но повечето автори спазват правилото 80% от данните да се заделят за обучение и 20% за тестване;
- Алгоритъм за обучение – когато вече е уточнен броят на всички слоеве в мрежата, както и броят на невроните в тях, теглата на връзките между отделните неврони трябва да бъдат настроени по такъв начин, че да минимизират грешката на прогнозите, направени от невронната мрежа. Това се постига с алгоритъм за обучение.

3. ОБРАБОТКА, АНАЛИЗ И МОДЕЛИРАНЕ НА АРГО-ИНФОРМАЦИЯ ЗА РАЗТВОРЕНИЯ КИСЛОРОД В ЧЕРНО МОРЕ

3.1. Процедура за качествен контрол на данни за разтворен кислород в Черно море

На фиг. 3.1 в схематичен вид са представени отделните стъпки на модифицираната процедура за качествен контрол на данни за разтворен кислород в Черно море.

В началото се стартира процедурата. Следващата стъпка е проверка на на платформата. Прави да проверка по идентификационния номер на платформата дали

изследването на профилите с данни е извършено от една и съща плавателна сонда. Това се извършва с цел да се предотврати обща обработка на данни. Ако не е изпълнено това условие се слага флаг и процедурата приключва.



Фиг. 3.1. Последователност от стъпки на процедура за качествен контрол на данни за разтворен кислород в Черно море

Следва проверка за невъзможно време/дата – преглежда се времето и датата в началото и края на профила дали са в рамките на изследвания период и дали отговарят на критериите годината да е по-голяма от 2002; месецът да е в интервал от 1 до 12; часовия интервал да е от 0 до 23, а минутите от 0 до 59. При изпълнение на всичко това се преминава към следващата стъпка, ако не флаг и край на процедурата.

Проверката на позицията на профила дали са възможни следните географски координати: географска дължина между -180° и 180° ; географска ширина на местоположението е между -90° и 90° е следващата стъпка.

Изпълнява ли се това условие се продължава в следващия етап проверка за невъзможни стойности на характеристиката в световен мащаб. Проверява се дали данните за разтворен кислород са възможни. Това се основава на допустими стойности в световен мащаб (т. нар широки и тесни гранични стойности). Този тест трябва да се приложи към всеки един от профилите, за да се види дали някоя от стойностите излиза от зададения предварително диапазон, в зависимост от океанския (под)регион - разтворен кислород в диапазона – от 0.5 до 600 μM .

Проверка за невъзможни стойности на характеристиката в регионален мащаб е следващия етап от процедурата. Проверява се дали данните за разтворен кислород са възможни в световен мащаб, но до сега няма направена такава за Черно море.

Следва теста за сравнение с други данни за разтворен кислород в Черно море – прави се сравняване на Арго данни, които са получени, с данни, които вече са известни. Спайк (Spike) тест или тест за клин, и показва внезапен (измерен само на дадена дълбочина) скок в стойностите на разтворения кислород. Съществуването му се дефинира като се прави сравнение между тестваната данна V2 с предходната V1 и следващата V3. При получаване на стойност, която е по-висока от праговата VT, то V2 не преминава теста и се счита за клин. Стойността на V2 ще има флаг ако е някое от условията е изпълнено:

- по-голяма от 50 μM за налягане по-малко от 500 dbar;
- над 25 μM за наляганя по-големи или равни на 500 dbar.

$$\text{Test value} = |V2 - (V3 + V1)/2| - |(V3 - V1) / 2|$$

Последната стъпка от процедурата е проверката на градиента на разтворения кислород като се изчисляват вертикалните градиенти на разтворения кислород, за да може да се установи дали те превишават предварително зададени гранични стойности, които са:

- по-голяма от 50 μM за налягане по-малко от 500 dbar;
- над 25 μM за наляганя, по-големи или равни на 500 dbar.

$$\text{Test value} = |V2 - (V3 + V1)/2|,$$

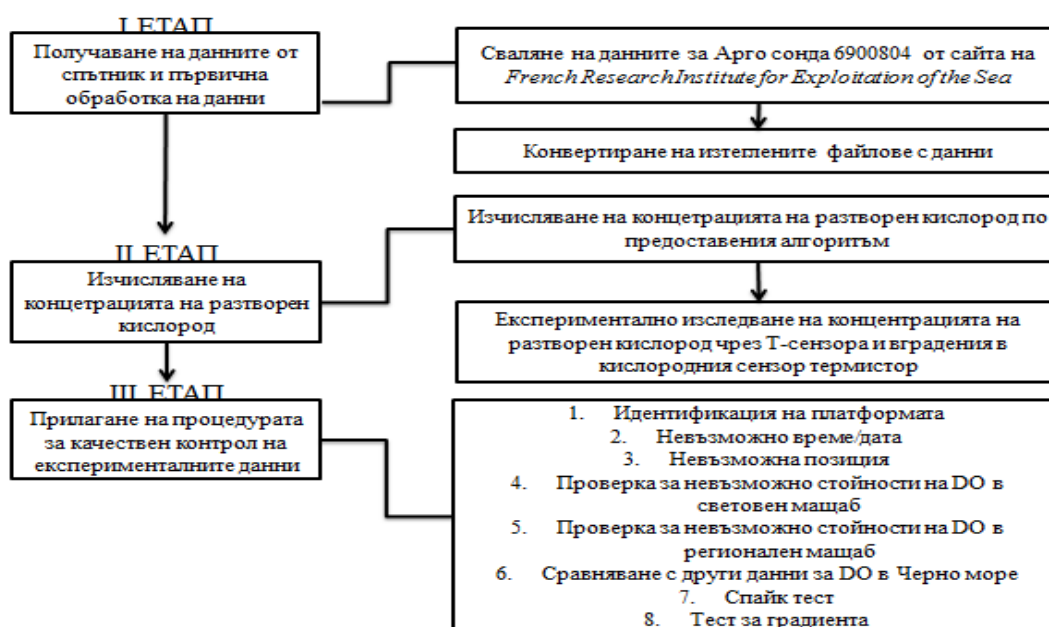
където V2 е тестваната данна, а V1 и V3 са стойностите над и под тестваната V2.

Стойността на V2 ще има флаг ако е изпълнено някое от горните условия

Ако някоя от всички описани стъпки не се изпълни, ще се сложи флаг и процедурата приключва.

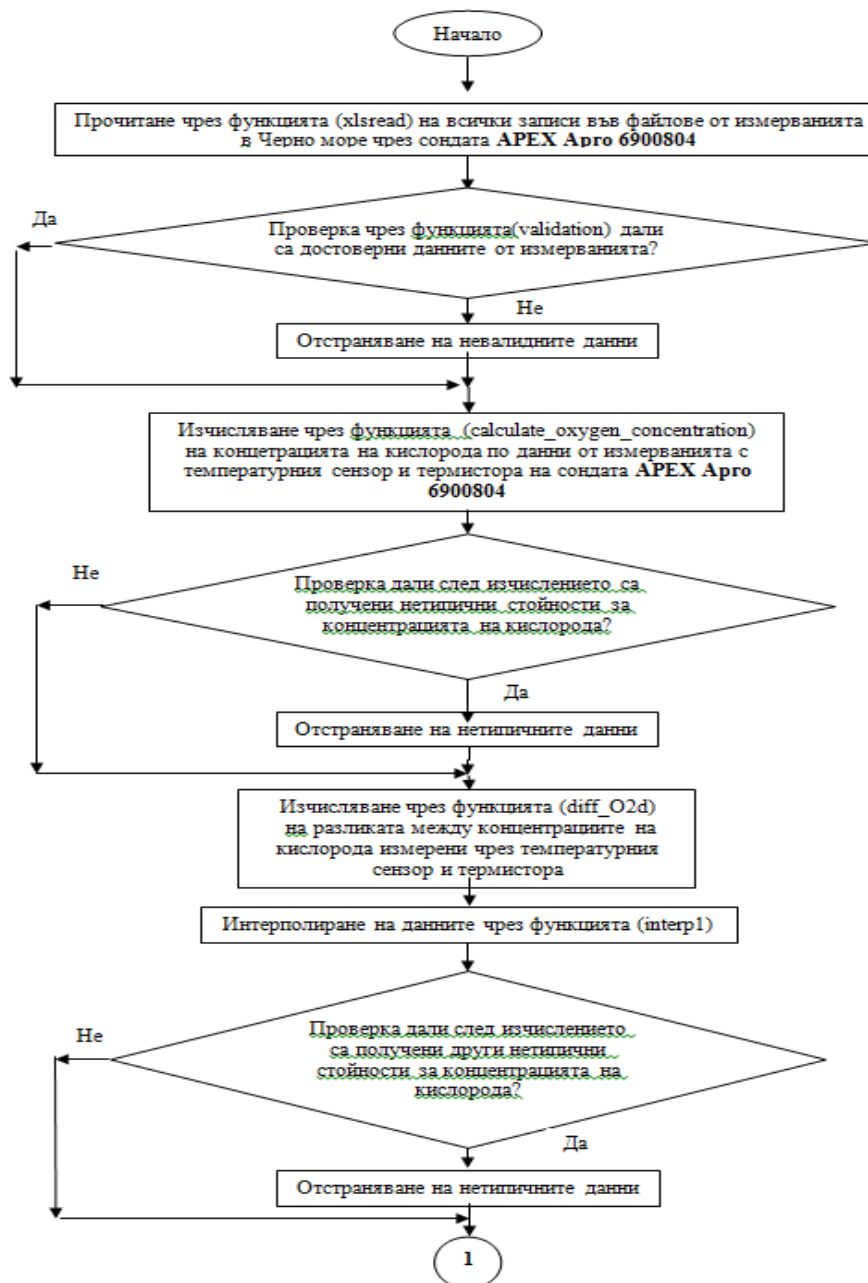
3.2. Експериментално определяне на концентрацията на разтворен кислород в Черно море

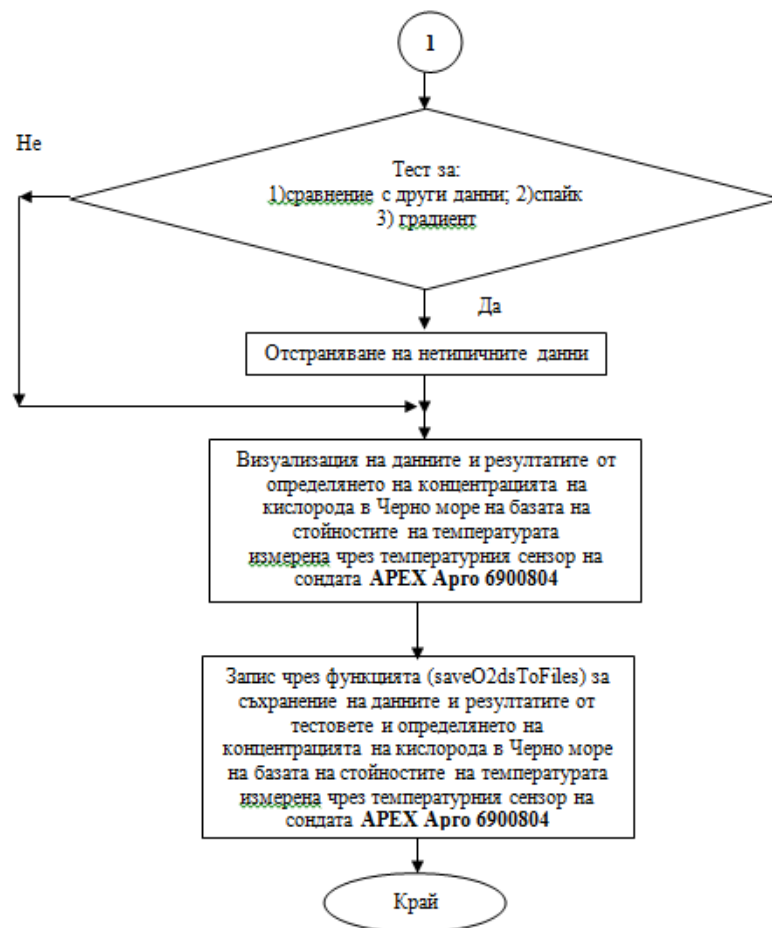
Етапите при експерименталното определяне на разтворения кислород са представени на фиг.3.2.



Фиг. 3.2. Блок-схема на етапите при определяне на разтворения кислород

В блоков вид са показани (фиг.3.3) основните действия в алгоритъма за определяне на концентрацията на кислорода в Черно море на базата на стойностите на измерената температурата чрез температурния сензор на сондата APEX Argo 6900804. Този алгоритъм се основава на трите етапа от определянето на разтворения кислород. Алгоритъмът е разработен като изпълнима програма в програмната среда Matlab, затова в блок алгоритъма от фиг. 3.3. са показани и разработените функции (подпрограми) в Matlab, които реализират съответните действия в алгоритъма.





Фиг.3.3. Алгоритъм за определяне на концентрацията на кислорода в Черно море на базата на стойностите на температурата измерена чрез температурния сензор на сондата APEX Argo 6900804

Системата за управлението на данни от АРГО наблюдения върху разтворения кислород включва следните етапи:

I Етап - получаване на данните от спътник и първична обработка на данни

За поставената цел първоначално се отваря интернет страницата на French Research Institute for Exploitation of the Sea, която съдържа реални данни от всички пуснати в експлоатация профилиращи сонди по целия свят. В разглеждания случай, след зареждане на търсената страница, в горната част вдясно се появява номера на APEX Argo сондата 6900804, за да се появят съхранените само от нея данни.

Като пример, за целите на настоящето изследването са изтеглени данните за 81 профила за периода от 2011 и 2012 година за температура, дълбочина и BPhasedoxy (Blue Phase Dissolved Oxygen) в първоначалния им вид. Тук трябва да отбележим, че сондата не дава директно стойността на разтворения кислород, а дава фазата на затихване на синята светлина, тъй като принципът на действие на оптичния сензор за кислорода се основава на явлениято луминесценция. Необработените данни са във формат “.Netcdf”, което налага прехвърлянето им в удобен за работа формат, какъвто е например “.xlsx” (Excel). Трябва

да се направи обработка на свалените файлове, тъй като данните са разположени в една колона и в този си вид не са удобни за последващи операции.

На таблица 3.5 е представен един примерен файл от данни в първоначален вид, след прехвърлянето му във формат “.xlsx”. Означенията по колони са:

- колона 1 - платформата или името на сондата - 6900804;
- колона 2 - Арго идентификационен номер - 103243;
- колона 3 – дата, месец, година и час на изследвания район;
- колона 4 – географска ширина в [°];
- колона 5 – географска дължина в [°];
- колона 6 – дълбочината в [m] или [dbar];
- колона 7 – температура в [°C];
- колона 8 – соленост в [psu];
- колона 9 – синя фаза на кислорода в [°].

Таблица 3.5.

Представяне на данните, получени от APEX сонда 6900804, след конвертирането им в Excel

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	PLATFORM	ARGOS_ID	DATE (YYYY/MM/DD HH:MI:SS)	LATITUDE (degree_north)	LONGITUDE (degree_east)	PRES (decibar)	TEMP (degree_Celsius)	PSAL (psu)	BPHASE_DOXY (degree)
2	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	5.5	9.198	18.162	31.85
3	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	10.6	9.116	18.164	32.02
4	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	15.5	9.044	18.184	32.24
5	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	19.9	8.923	18.196	32.53
6	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	24.8	8.884	18.197	32.81
7	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	30.4	8.751	18.196	33.47
8	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	35.4	8.224	18.225	35.21
9	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	41	7.294	18.336	41.05
10	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	45.5	8.007	19.032	57.12
11	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	49.3	8.268	19.351	61.52
12	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	55.4	8.307	19.641	63.93
13	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	60.6	8.315	19.817	63.93
14	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	65.3	8.324	19.98	63.93
15	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	70.6	8.342	20.155	63.93
16	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	75.3	8.357	20.291	63.93
17	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	80.3	8.402	20.437	63.93
18	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	85.4	8.418	20.516	63.93
19	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	90.2	8.444	20.604	63.93
20	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	95.3	8.458	20.674	63.93
21	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	99.8	8.474	20.759	63.93
22	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	103.3	8.491	20.804	63.93
23	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	110.3	8.506	20.891	63.93
24	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	115.2	8.519	20.939	63.93
25	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	120.6	8.542	20.992	63.93
26	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	125.4	8.563	21.053	63.93
27	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	130.4	8.568	21.101	63.93
28	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	135.7	8.583	21.167	63.93
29	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	140.7	8.603	21.224	63.93
30	6900804	103243	2011/04/23 08:02:02	42.539	29.792	145.5	8.616	21.269	63.93

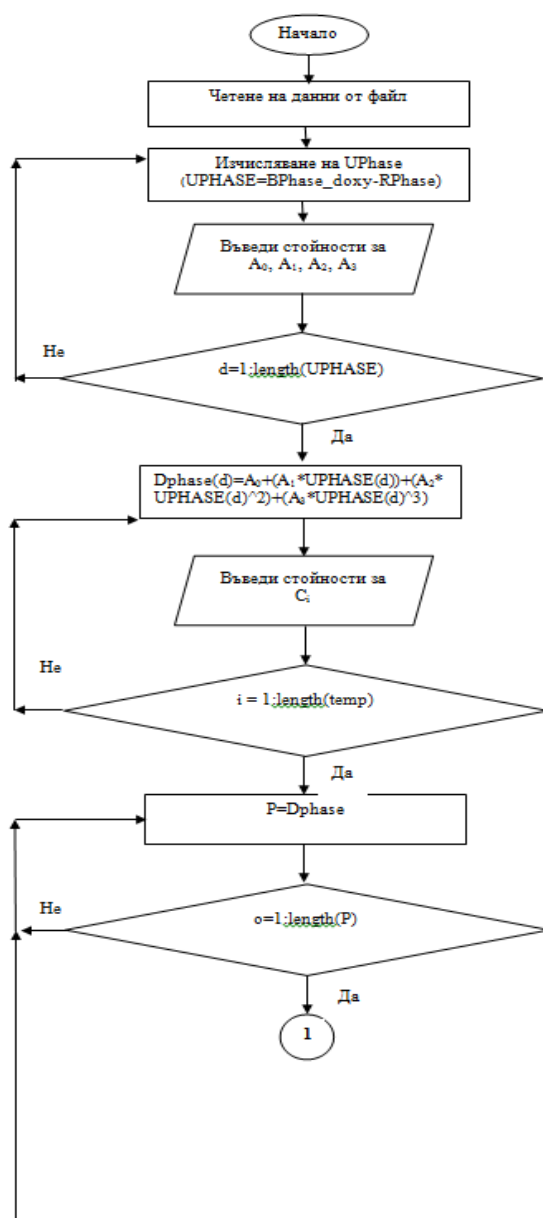
Описаната последователност от операции се прави, за да може така получените файлове с данни да се използват в програмната среда MATLAB, която се използва за повнататъшна обработка и представяне на резултатите. Използването на различни функции в MATLAB е един практичен начин за визуализиране на данните. Част от скриптовите служат за отваряне на “.xlsx” файлове, за четене и за интерполиране на данните от въпросния файл. Предимството на този софтуерен продукт е, че има достатъчен запас от функции за четене и визуализация на специфични формати данни, както и гъвкавостта му при създаване на нови методи в дадената област.

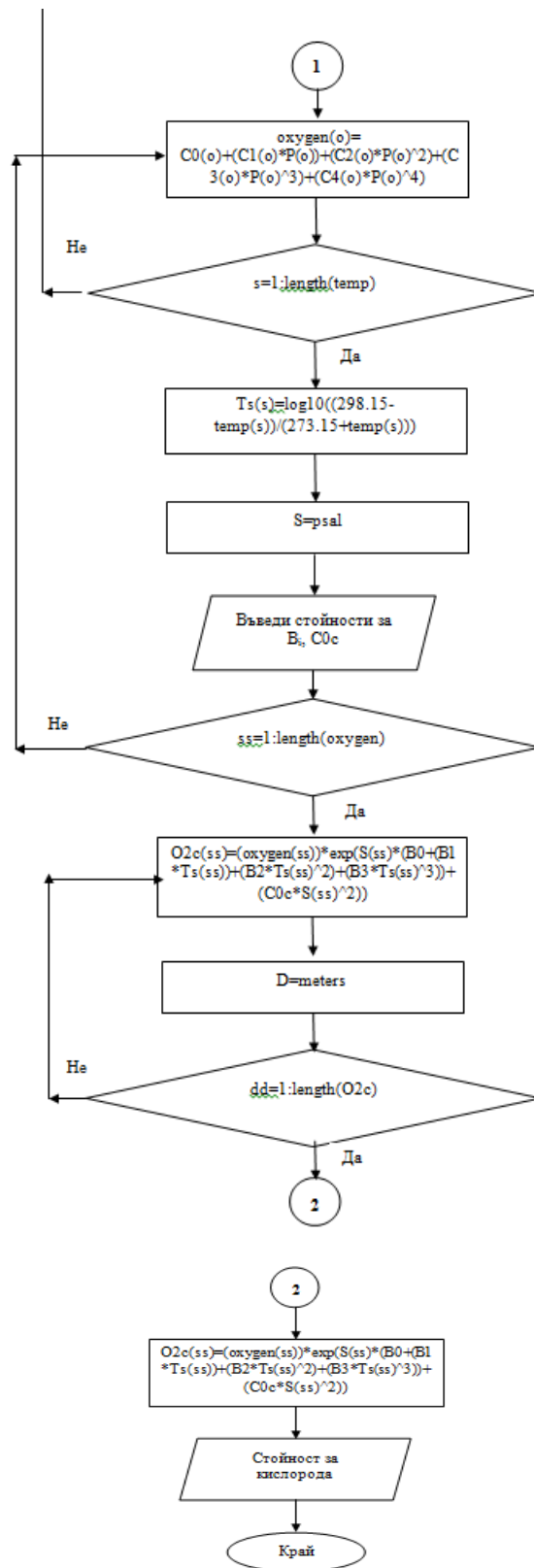
След като бъдат изтеглени и обработени, данните се интерполират по стандартни хоризонти, по хоризонти с дълбочина от 5 m до дълбочина 750 m (като се изключва повърхностния слой, защото Арго данните дават информация за слоевете от дълбочина 5 m и по-дълбоки от 5 m). Всички последващи процедури се извършват в програмната среда MATLAB. За интерполацията на данни се използва функцията „interp1”.

II. Изчисляване на концентрацията на разтворен кислород по данни от APEX Арго сонда 6900804

За тази стъпка се използва представения алгоритъм от производителя на оптичния сензор Aanderaa Optode 3830 описан в т. 2.3., „Методи за определяне концентрацията на разтворен кислород в морска вода“. Сондата има вграден температурен сензор, който измерва температурата на морската вода по метри. От своя страна оптичният сензор за кислород има вграден термистор, който също мери температура. Това наложи изчисляването на разтворения кислород да се извърши два пъти, използвайки данните за температура от двата температурни сензора.

На Фиг.3.4 са представени в блоков вид основните действия в алгоритъма за изчисляване на концентрацията на кислорода в Черно море по данни от сондата APEX Арго 6900804.



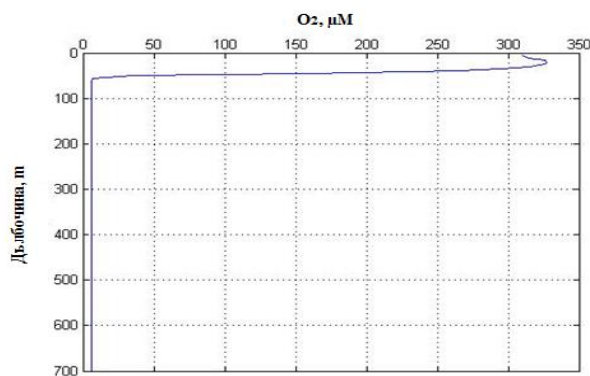


Фиг.3.4. Алгоритъм за изчисляване на концентрацията на кислорода в Черно море по данни от сондата APX 6900804

В началото алгоритъма се извършва прочитане на файла с данните от измерванията на температурата, солеността, дълбочината, фазата, получена със синята светлина. Следва изчисляване на UPhase (Некалибрована фаза) и DPhase (калибрационната фазова разлика), което става съответно по формула 2.3 и 2.4. Изчисляването на кислорода по дълбочина е последната стъпка от алгоритъма. Тази стъпка се реализира по формула 2.5. Този алгоритъм се реализира в програмната среда MATLAB.

Получените резултати за разтворен кислород се изобразяват в графичен вид. Зависимостта на концентрацията на разтворения кислород от дълбочината е показана на фиг. 3.5 в характерен вид. Тази зависимост се получава чрез използването на функцията „calculate_oxygen_concentration“ в MATLAB.

От фигурата се вижда, че концентрацията на кислорода в повърхностния слой варира, след което започва плавно да намалява и след стотния метър остава постоянна и близка до нулата. Всяко драстично отклонение от тази зависимост подсказва, че най-вероятно има липсващи или некоректни данни в конкретния профил. Например, след отваряне на файла с данните за 19.03.2011 се вижда, че има липсващи стойности за температурата, измерена чрез температурния сензор и солеността (табл. 3.6). Така този файл се изключва от последващите изчисления.



Фиг. 3.5. Типична зависимост на концентрацията на разтворен кислород от дълбочината по данни от Арго сондата

Таблица 3.6.

Липсващи данни от измерванията на 19.03.2011 година

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
LATFOR, ARGOS_ID DATE (YYYY/MM/DD HH:MM:SS)	LATITUDE (degree)	LONGITUDE (deg)	PRES (decibar)	TEMP (degree Celsius)	PSAL (psu)	PRES_ADJUSTED (dec)	BPHASE_DOXY (deg)	TEMP_DOXY (deg)		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	5.3	8.086	18.027	5.3		8.05		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	9.9	7.96	18.038	9.9		32.47		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	15.4	7.378	18.075	15.4		7.35		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	19.8	7.366	18.102	19.8		33.2		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	25	7.219	18.11	25		7.18		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	30.6	7.275	18.134	30.6		7.24		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	35.3	7.133	18.169	35.3		34.69		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	40.3	7.104	18.199	40.3		7.09		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	45.7	7.27	18.274	45.7		47.35		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	50.4	8.308	18.227	50.4		8.3		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	55.4	8.282	18.408	55.4		8.29		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	60.7	8.315	18.687	60.7		8.3		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	65.6	8.327	18.91	65.6		8.31		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	70.6	8.324	20.06	70.6		8.32		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	75.9	8.33	20.159	75.9		8.32		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	80.6	8.357	20.317	80.6		8.36		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	85.4	8.39	20.487	85.4		8.39		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	90.6	8.42	20.606	90.6		8.42		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	95.2	8.447	20.72	95.2		8.44		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	100.3	8.47	20.808	100.3		8.46		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	104	8.488	20.898	104		8.48		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	110.6	8.52	20.974	110.6		8.51		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	115.1	8.531	21.015	115.1		8.52		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	120.5	8.547	21.065	120.5		8.54		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	125.4	8.563	21.122	125.4		8.55		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	130.5	8.577	21.184	130.5		8.57		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	135.2	8.59	21.206	135.2		8.59		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	139.9	8.604	21.242	139.9		8.6		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	144.9	8.622	21.27	144.9		8.61		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	150.1	8.631	21.317	150.1		8.62		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	155.4	8.642	21.37	155.4		8.63		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	159.9	8.659	21.43	159.9		8.64		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	180.5	8.692	21.469	180.5		8.68		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	185.4	8.705	21.501	185.4		8.69		
6900804 103243 2011/03/19 07:35	42.704	30.036	190.3	8.716	21.525	190.3		8.7		

APEX 6900804 има два температурни сензора – Т-сензорът за профилиране на температурата и вградения в кислородния сензор термистор. Кислородната концентрация е изчислена два пъти. Използват се:

Вариант 1. Данните за температура от Т-сензора на APEX сондата и данните за BPhasedoxy от кислородния сензор (O2dtemp);

Вариант 2. Данните, получени от термистора на кислородния сензор (O2dtempdoxy).

В таблица 3.8 са дадени разликите в концентрацията на DO по дълбочина за 18.04.2011 и 3.05.2011г.

Таблица 3.8.

Разлика в концентрацията на DO по дълбочина за 18.04.2011г. и 3.05.2011

Разлика в концентрацията на DO при използване на двата температурни сензора за 18.04.2011г				Разлика в концентрацията на DO при използване на двата температурни сензора за 3.05.2011			
Дълбочина, m	DO с темп.сензор, µM	DO с термистора, µM	Относителна Разлика, %	Дълбочина, m	DO с темп.сензор, µM	DO с термистора, µM	Относителна разлика, %
5	307,502	307,505	-0,003	5	297,661	297,671	-0,01
10	306,560	306,567	-0,007	10	293,984	294,022	-0,038
15	304,634	304,642	-0,008	15	293,602	293,629	-0,027
20	301,492	301,495	-0,003	20	289,631	289,663	-0,032
25	294,807	294,817	-0,01	25	285,244	285,269	-0,025
30	280,822	280,847	-0,025	30	272,658	272,679	-0,021
35	256,743	256,773	-0,03	35	245,251	245,300	-0,049
40	178,120	178,119	0,001	40	176,687	176,686	0,001
45	103,755	103,751	0,004	45	73,364	73,356	0,008
50	46,376	46,374	0,002	50	31,463	31,462	0,001
55	14,072	14,071	0,001	55	7,207	7,207	0
60	5,921	5,921	0	60	5,433	5,433	0
65	5,426	5,426	0	65	5,421	5,421	0
70	5,419	5,419	0	70	5,407	5,407	0
75	5,403	5,403	0	75	5,390	5,390	0
80	5,394	5,394	0	80	5,377	5,377	0

85	5,382	5,382	0	85	5,363	5,363	0
90	5,366	5,366	0	90	5,354	5,354	0
95	5,348	5,348	0	95	5,344	5,344	0
100	5,332	5,332	0	100	5,336	5,336	0
105	5,319	5,319	0	105	5,329	5,329	0
110	5,308	5,308	0	110	5,321	5,321	0

Получените стойности за кислорода при използване на данните от двата температурни сензора са почти идентични, като само в няколко профила се наблюдават леки отклонения. Разлика в концентрацията на разтворения кислород по метри се наблюдава до 60-ия метър, което вероятно се дължи изцяло на термистора на кислородния сензор, който не постига такава висока точност, колкото температурния сензор. След 60-ия метър разликата става равна на нула. Като цяло, е препоръчително да се използва температурния сензор на сондата, тъй като той се води специализирано оборудване за измерване само на температура. Ако поради някаква причина, този температурен сензор се повреди, то не е проблем да се използват данните за температурата, получени от вградените в оптичния сензор термистор за изчисляване на концентрацията на разтворения кислород.

III. Резултати от прилагане на процедурата за качествен контрол на експерименталните данни за разтворен кислород

Чрез програмния продукт MATLAB е реализирана модифицираната процедура за качествен контрол на данни за разтворен кислород. Ако някой от профилите не отговаря на дадения тест от процедурата, данните от него не преминават качествения контрол и не се взимат в предвид за бъдеща работа. Прилагането на процедурата за качествен контрол на нашите данни за разтворен кислород е проведено в следната последователност:

- I. Идентификация на платформата – Всички профили отговарят на дадения номер на платформата.
- II. Невъзможно време/дата – Всички профили са в съответствие с нормите.
- III. Невъзможна позиция – И двете координати са в границите на възможните.

Чрез специално създадена функция "valid" в MATLAB се изпълняват първите три стъпки от модифицираната процедура за качествен контрол на данни за разтворен кислород в Черно море. След приключване на тази проверка се установи, че 100 % от профилите са годни за използване.

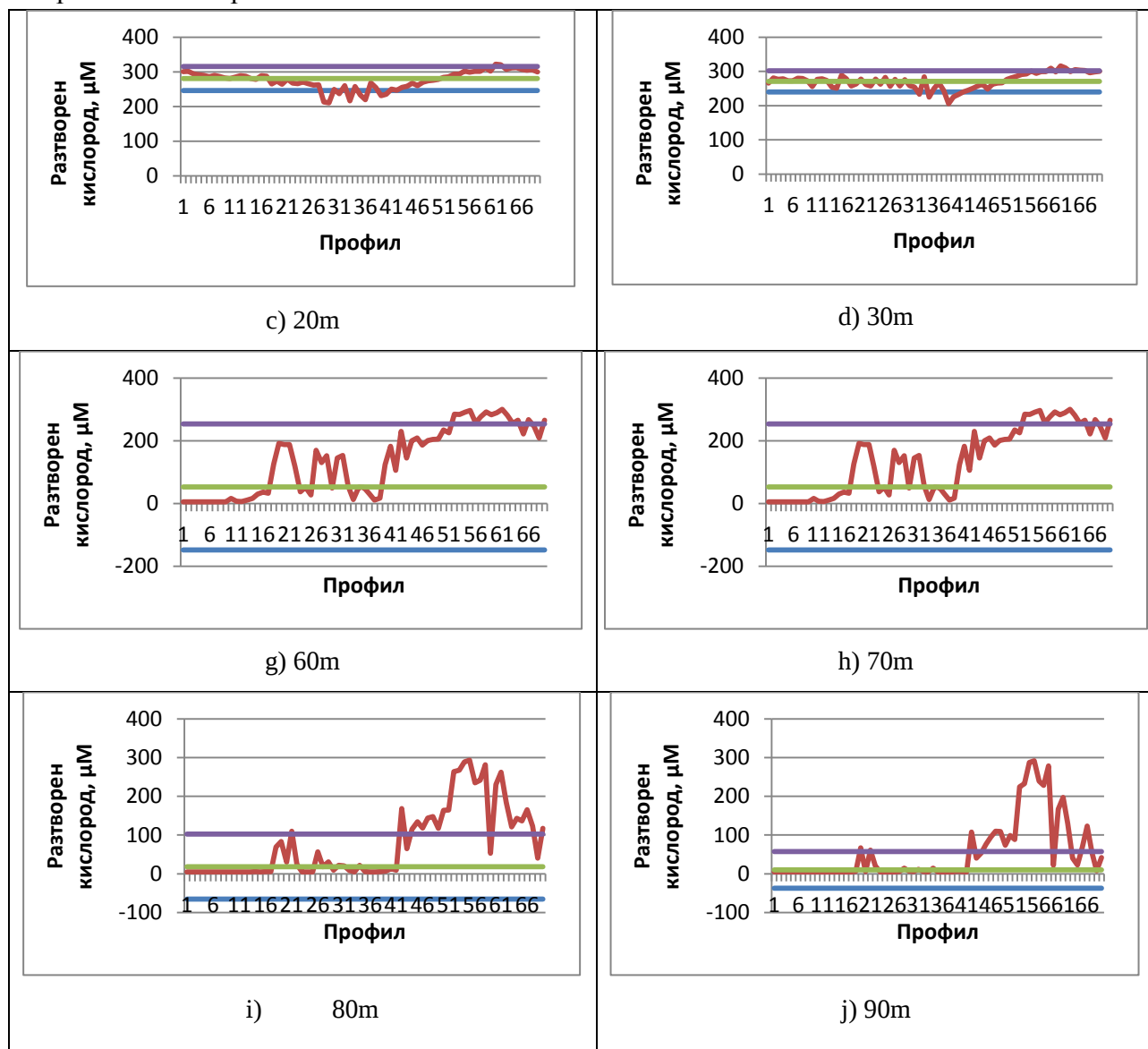
- IV. Проверка за невъзможни стойности на характеристиката в световен мащаб

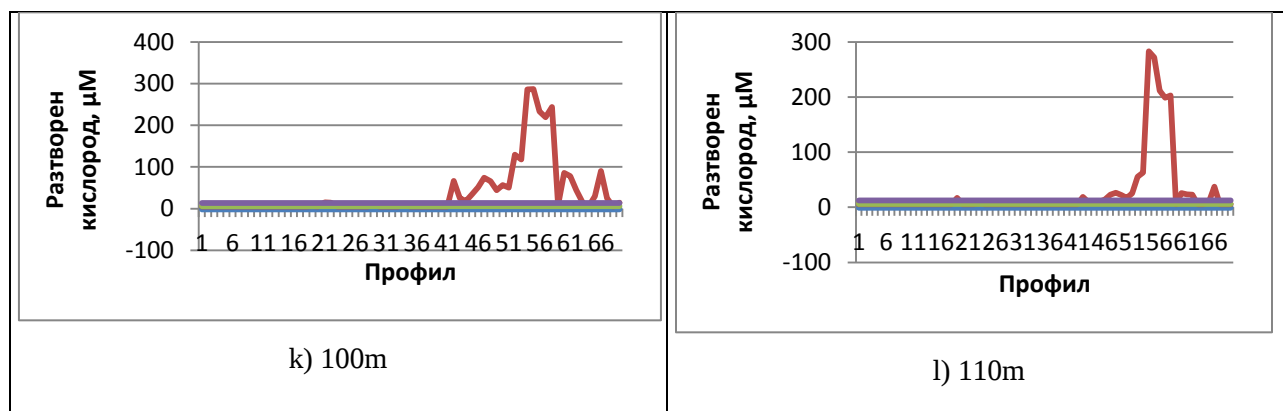
В MATLAB е създадена функция "valid", която автоматично проверява дали всички концентрации на разтворения кислород са в посочения диапазон. Ако някой от тях не е, се слага флаг за некачествени данни. След направената проверка се установи, че няма данни, които да не са в обхвата от 0.5 μM до 600 μM .

V. Проверка за невъзможни стойности на характеристиката в регионален мащаб

При този тест се използват контролни карти за съответните метри от 5-ия до 110-ия, за да се направи проверка на получените данни за разтворен кислород дали те се намират в зададен интервал.

Контролните граници са определени при прието $\pm 3\sigma$. Чрез обработка в Excel се изчертават в графичен вид контролните карти. Ако някоя от стойностите за разтворен кислород е извън зададените граници то на тази стойност се присвоява флаг и тази данна не е уместно да се използва в следващи проучвания. Чрез този тест се дават и типични стойности по метри на разтворения кислород в черноморския басейн, които са представени в следващата точка. На фигура 3.6. са представени част от контролните карти на различните хоризонти.





Фиг. 3.6. Контролна карта за разтворен кислород на различни хоризонти

При проверката се установи, че отскачащите от границите данни за 20-ия, 30-ия метър се намират в района около Босфора, където структурата на теченията е двуслойна. Повърхностното течение около Босфора доставя води със соленост 17–18 ‰ от Черно в Мраморно море. В зависимост от сезона размера на водния слой варира от 20 до 40m. Под тази граница прониква придънното босфорско течение, което доставя в Черно море мраморноморска вода със соленост 38‰.

По отношение на регистрираните отклонения в района около Синоп (от 60-ия до 110-ия метър), рязкото различаване на данните за концентрацията кислорода от останалите стойности се дължи на циклоналните особености на този район. Във връзка с това се приема, че данните от тези профили са подозрителни и на тях се присвоява флаг N, което от своя страна показва, че е необходимо да се проведат допълнителни проучвания, доколкото данните са достоверни и могат ли да бъдат приобщени към базата данни. Тези проучвания могат да бъдат насочени към проверка на атмосферните фактори по стойности на метеорологични данни от този период, бури, силни ветрове или други влияещи фактори и характерни особености за конкретния район и период. Едва след това може да се вземе решение дали тези данни могат да бъдат използвани или не. Както е известно, кислородната зона в Черно море обхваща слой от повърхността до дълбочини 120–150 m. За различните райони на морето дебелината на тази зона се изменя в зависимост от метеорологичните условия, морските течения и други. Възниква въпроса защо концентрацията на кислород в района около Синоп е значително по-висока? Няколко са фактите, на които трябва да се обърне внимание. Ако се погледне фиг. 2.3. с траекторията на самата сонда, се забелязва, че в района на Синоп сондата е попаднала в нещо като водовъртеж, т.е. няколко профила са снети само от този район. В района на Синоп се влива Анадолското течение и така се затваря кръгът на Източното черноморско циклонално течение, едновременно с това в същия район минава и основното Черноморско течение, което зависи от различни хидрометеорологични фактори и хидрографски местни условия.

Основно значение имат създаваните дрейфув и ветрови течения, съпроводжани и от градиентни течения. Влияние върху теченията оказва и откритата подводна река в

Черно море, представляваща придънно течение, носещо силно солена вода от Мраморно море през Босфора. Характерна особеност на тази река са водовъртежите, които се образуват при движението на водата около препятствия и се завихрят в посока по часовниковата стрелка. След Босфора водата на крайбрежното течение продължава движението си в източна посока и носи повече разтворен кислород.

Когато се измени температурата това определя посоката на промяната на разтворения във водата кислород, който подпомага събирането на фитопланктон и зоопланктон на различни хоризонти, както и на мекотели, и риби.

VI. Тест за сравнение с други данни за разтворен кислород в Черно море

За теста, който е насочен към сравнение на Арго информацията с други данни за разтворен кислород в Черно море, са използвани получени по химичен път данни за периода от 1970-2000 година, които са предоставени от Института по Океанология към БАН Варна. Данните съдържат името на станцията, дата и час, географски координати, и дълбочината, на която са взети пробите. Получения разтворен кислород в морската вода е изчислен по модифицирания метод на Winkler.

Получените диапазони са дадени в таблица 3.9 за периода 1970-2000.

Таблица 3.9.

Диапазони на концентрацията на разтворен кислород по метри на получените по химичен път данни

Дълбочина, m	Диапазони на DO, μM
5	198-453
10	188-423
20	181-423
30	163-427
40	145-429
50	86-424
60	0-397
70	0-355
80	0-309
90	0-288
100	0-238
110	0-190

След прилагането на този тест се установи, че всички концентрации на разтворения кислород попадат в посочените по-горе диапазони за съответните хоризонти. Този тест се прави за първи път с данни от APEX Арго сонда за разтворен кислород от Черно море.

VII. Спайк (Spike) тест

Чрез разработена функция „spikeTest“ в MATLAB се прилага Спайк (Spike) теста. Тук флагове на данните не се налага.

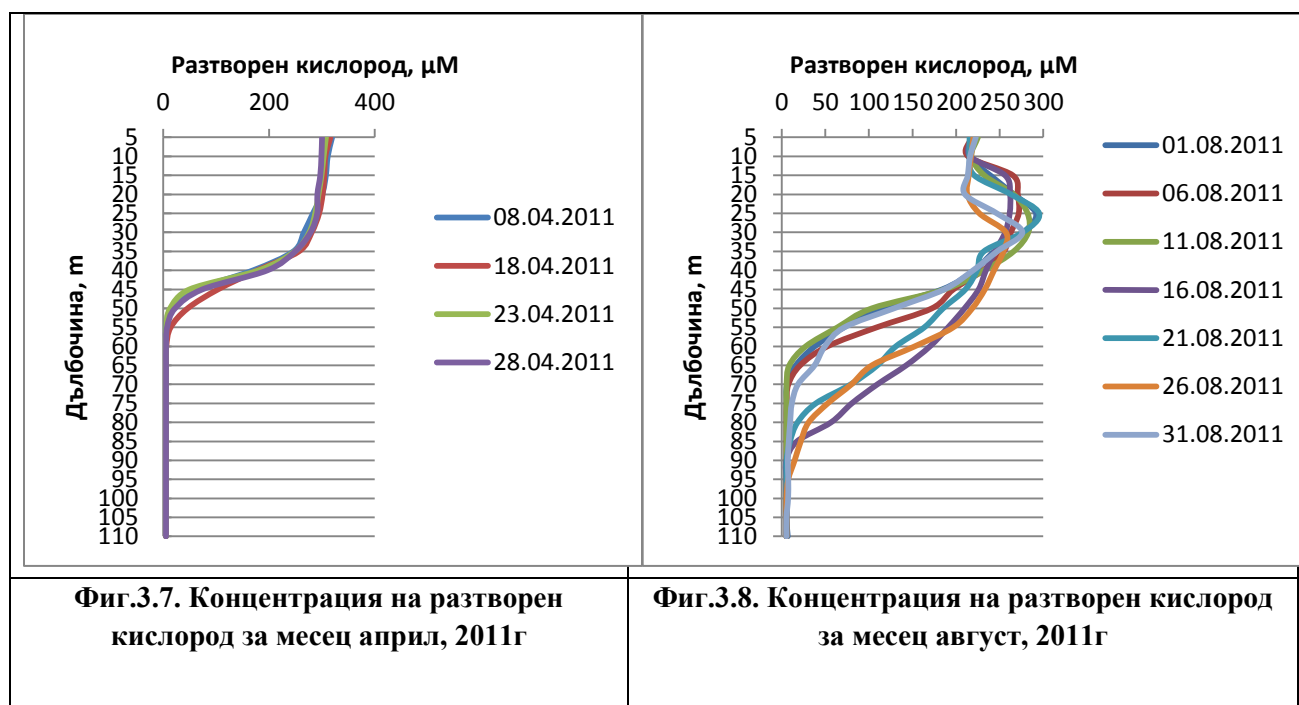
VIII. Градиент на разтворения кислород

За прилагането на този тест също е разработена функция „gradientTest“ в програмната среда MATLAB, която проверява градиента на концентрацията на разтворения кислород. При тази проверка няма данни, които да превишават предварително зададените гранични стойности.

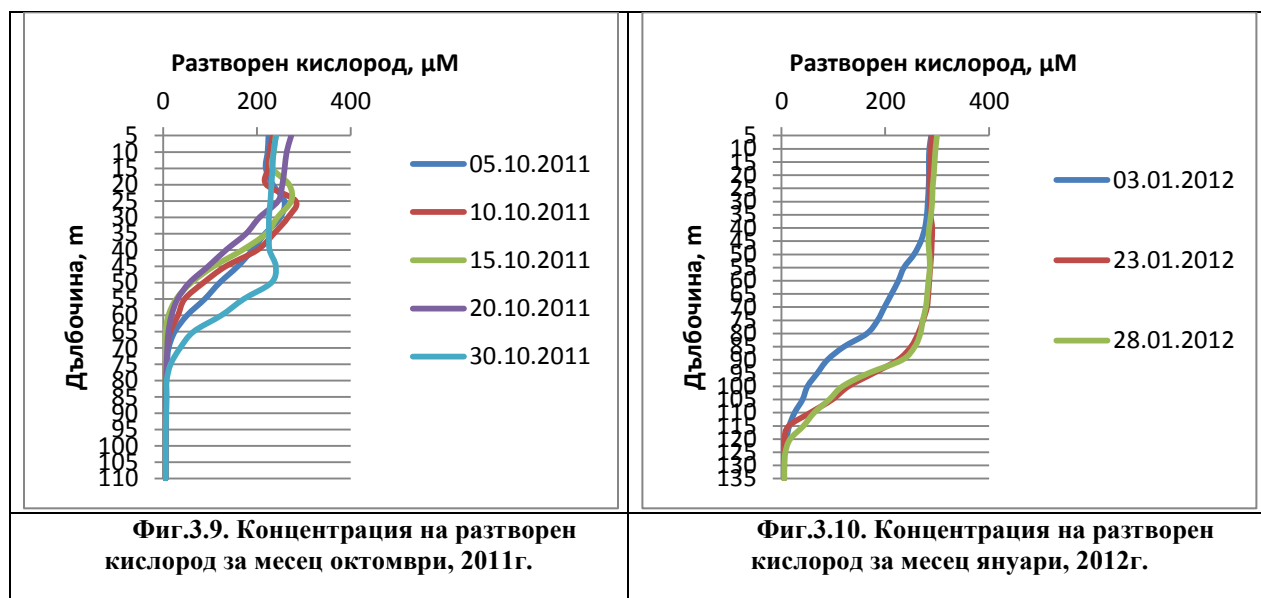
След прилагането на всички тестове за качествен контрол на данните за концентрацията на разтворения кислород в Черно море се установи, че от общо 81 профила 13 от тях не са годни за използване, а в останалите съществуват на места подозрителни данни.

3.3. Резултати получени след прилагане на процедурата за качествен контрол

На фигура 3.7 са показани получените концентрации на разтворен кислород, за месец април 2011 година, който е първият месец от изследвания период, след преминаване на информацията през модифицираната процедура за качествен контрол. От нея се вижда, че на повърхностния слой концентрацията на разтворен кислород е най-голяма (319 μM) на 08.04.2011г, като с нарастване на дълбочината тя намалява. Минимумът се наблюдава след 55-тия метър, като стойността остава почти постоянна – около 5 μM . Този бърз спад на концентрацията на разтворен кислород се дължи на по-ниските температурни стойности и по-бавното нагряване на морската вода в дълбочина.



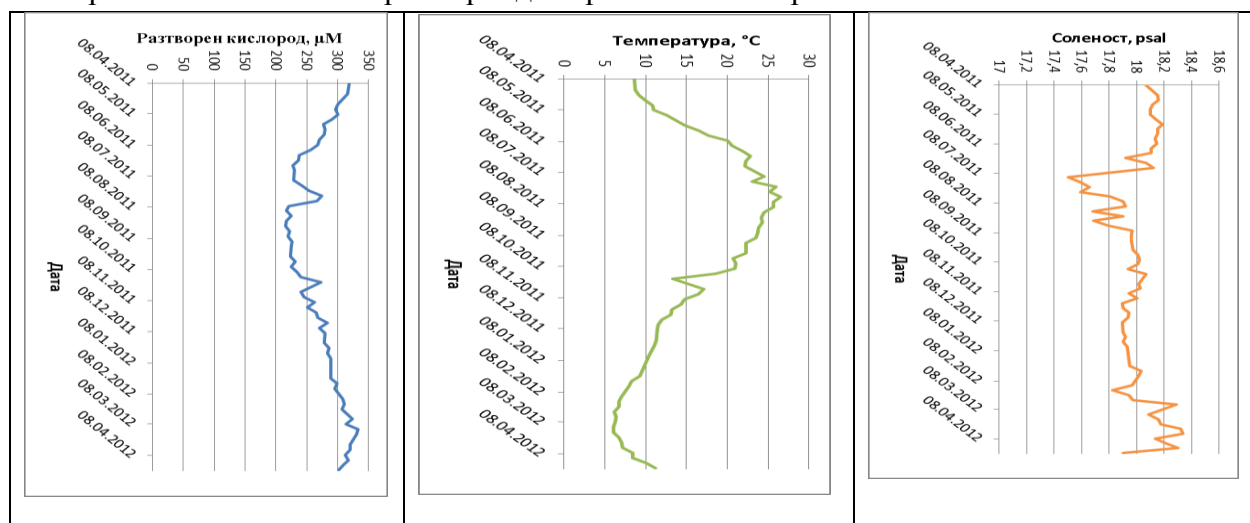
Стойностите на концентрациите на разтворен кислород за месец август 2011 година са показани на фигура 3.8. Както се вижда, тук в повърхностния слой вече не се наблюдава максимум на кислородното съдържание. Максимумът (295 μM) за август се измества към дълбочини между 25-30m. Причината за това е по-високата температура, която се наблюдава през летния период. Повърхностният слой до 5 - 10m силно се влияе от атмосферните условия – температура, валежи, освен това вливания на реки, подводни течения, човешка дейност. Също като причина може да се изтъкне и фотосинтезата. Минимумът (около 5 μM) на концентрацията на разтворения кислород започва да се проявява след дълбочина от 70 m в началото на август и след 95 m към края на месеца.



Максимална концентрация на разтворения кислород (около 282 μM) за месец октомври 2011 година се наблюдава на дълбочина около 25-30m. Тук се забелязва добре изразен оксиклин, който обхваща един слой от 30 до 60-75 m.

На фиг.3.10 са дадени получени концентрации на разтворен кислород за месец януари, 2012 година. През този месец във водната маса се формира еднороден слой с дълбочина до 40 m, в който се наблюдават стойности с максимални концентрации на кислород (около 300 μM) Слойт на скок на стойностите на концентрациите на разтворения кислород е разположен между дълбочините 40-80 и 115 m. Под 115 m дълбочина се намира субоксичната зона.

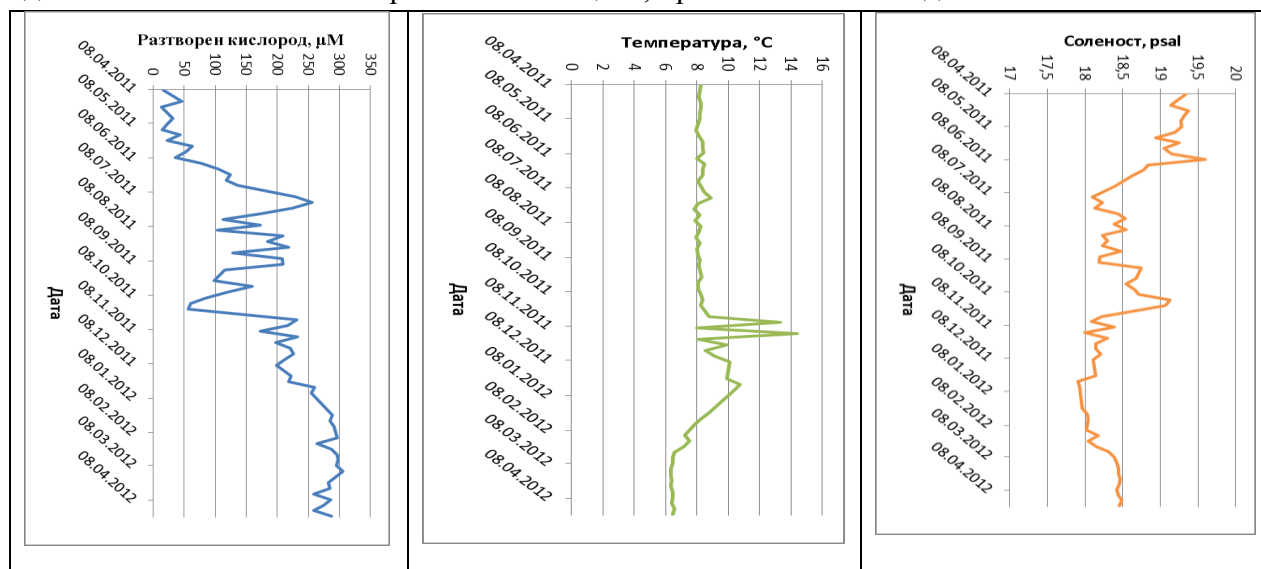
В качество на пример, на фигура 3.11 е представена динамиката на стойностите на получените концентрации на разтворен кислород, температурата и солеността в повърхностния 5 m слой през периода април 2011 г – април 2012 г.



Фиг.3.11. Динамика на стойностите на концентрациите на разтворен кислород, температура и соленост в повърхностния 5m хоризонт за периода април 2011- април 2012 г.

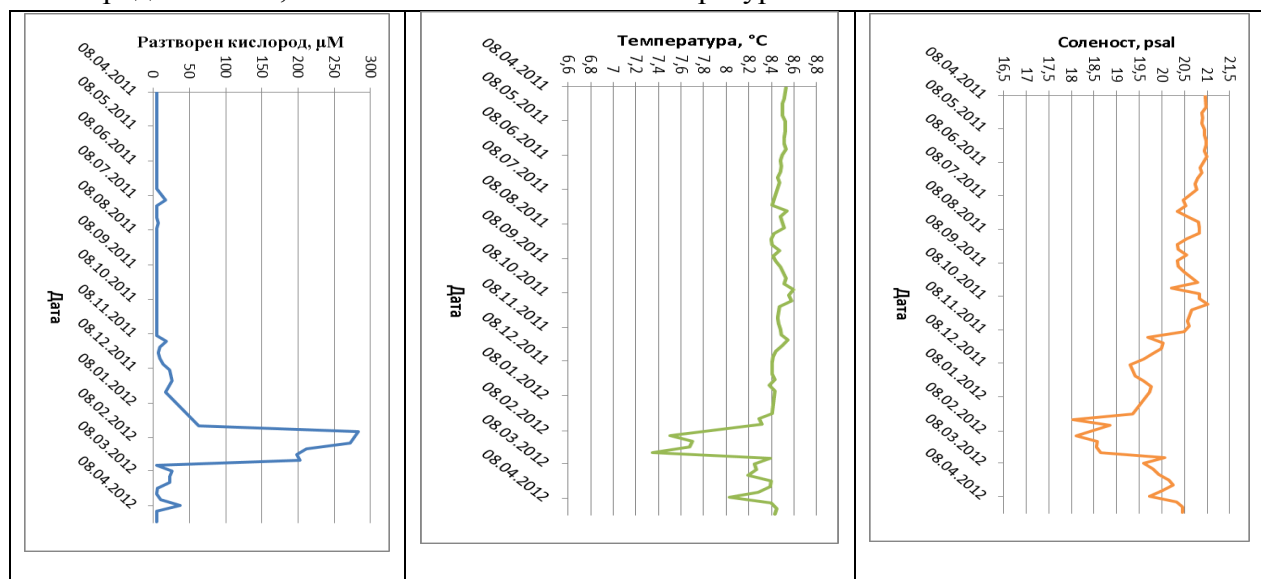
От фигурата може да се види, че максимумът на концентрацията на разтворения кислород е 332 μ M през месец март 2012, като стойностите на температурата на водата е 6,13 $^{\circ}$ C, на солеността 18,08psu. Минимум от 215 μ M се наблюдава през август 2011, при температура 24,27 $^{\circ}$ C и соленост 17,68 psu. Максимумът на кислорода в повърхностния слой се наблюдава през месеците април 2011 и март 2012, а минимума – август 2011.

На фигура 3.12 са дадени получените стойностите за концентрации на разтворен кислород, температурата и солеността на водата, измерени на дълбочина 50 m за периода април 20011-април 2012 г. Както може да се забележи, концентрацията на разтворен кислород за дълбочина 50m варира в доста широки граници – от 13 до 306 μ M, което се дължи на особеностите на района и месеците, през които се изследва.



Фиг.3.12. Данни за разтворен кислород, температура и соленост за 50m

На фигура 3.13 са дадени стойностите на получените концентрации на разтворен кислород на 110 m, както и стойностите на температурата и солеността.



Фиг.3.13. Данни за разтворен кислород, температура и соленост за 110m

Максимумът 283 μM на разтворения кислород се наблюдава през месец февруари 2012г. при стойности на температура 8,32°C и соленост 18,85 psu, а минимум 5 μM през през април 2011-декември 2011, както и през април 2012г.

В таблица 3.10 са дадени стойности на разтворения кислород по хоризонти в изследвания район на Черно море, получени от APEX Арго сонда 6900804 за периода април 2011- април 2012 година след като са преминали през модифицираната процедура за качествен контрол и обработка на данните. При сравняване на данните от таблица 3.9 и 3.10 се вижда, че концентрацията на разтворен кислород намалява през годините. До 2000 година в повърхностния слой (5m) максималната стойност на кислорода е около 450 μM , а през април 2011-април 2012 тя е 333 μM .

Таблица 3.10

Стойности на разтворения кислород в изследвания район на Черно море, получени от данни на APEX Арго сонда 6900804 за април 2011-април 2012 год.

Дълбочина, m	Концентрация на разтворен кислород, μM	
	Min	Max
5	215	333
10	214	329
20	210	322
30	206	316
40	134	307
50	13	306
60	5	300
70	5	295
80	5	293
90	5	292
100	5	287
110	5	283

От направеното изследване се установи, че концентрацията на кислорода зависи от дълбочината. На места се наблюдават максимуми на DO в повърхностния слой, на други след 60m и 90m, след което започва плавно да намалява и остава постоянна и близка до нулата. Всичко това се дължи на особеностите на района и месеците, през който се изследва.

3.4. Модел на невронна мрежа за концентрацията на разтворения кислород в Черно море

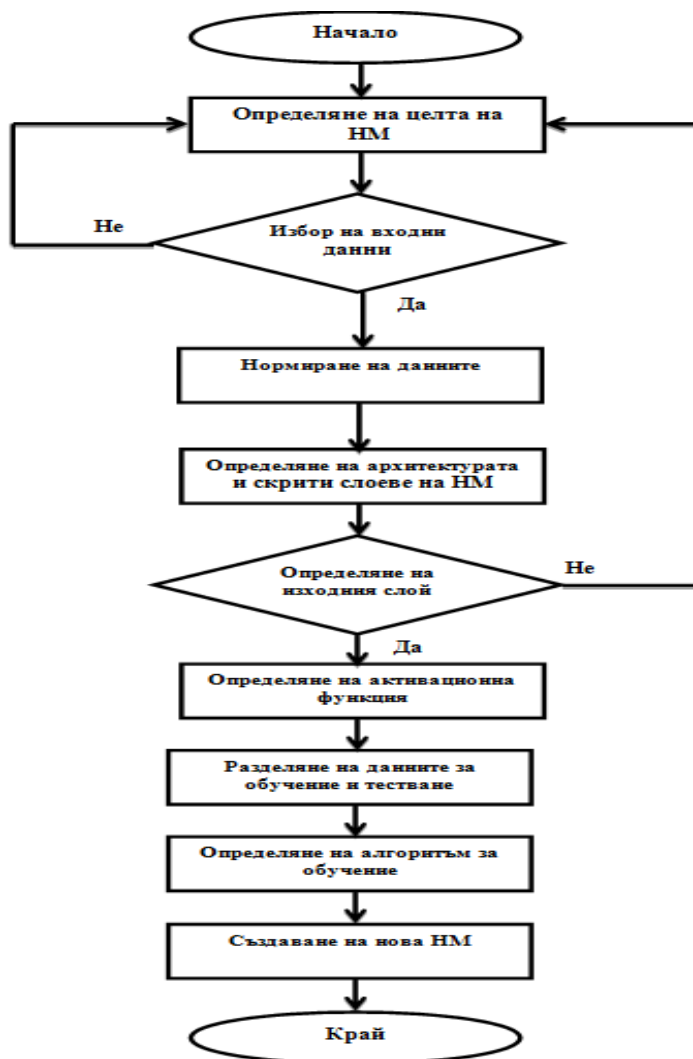
На фиг.3.14 е представена блок схема на алгоритъма за работа при моделиране на невронни мрежи за концентрацията на разтворен кислород в черноморските води.

Входните данни за модела са определени и мащабиранни, като са представени в интервала [0-1]. Като пример, в таблица 3.13 са дадени минималните и максималните стойности на трите входни параметъра в изследвания район на Черно море през април 2011-април 2012 година за дълбочина 5m.

Таблица 3.13.

Основни статистически данни на измерените характеристики на водата на изследвания район в Черно море през април 2011-април 2012 година за дълбочина 5m

Параметър	Мерна единица	Min	Max
Температура (T)	°C	6,046	26,576
Соленост (S)	psu	17,380	18,341
Разтворен кислород (DO)	μM	215,497	332,570



Фиг. 3.14. Блок схема на алгоритъма за моделиране на невронна мрежа за изследване на разтворен кислород

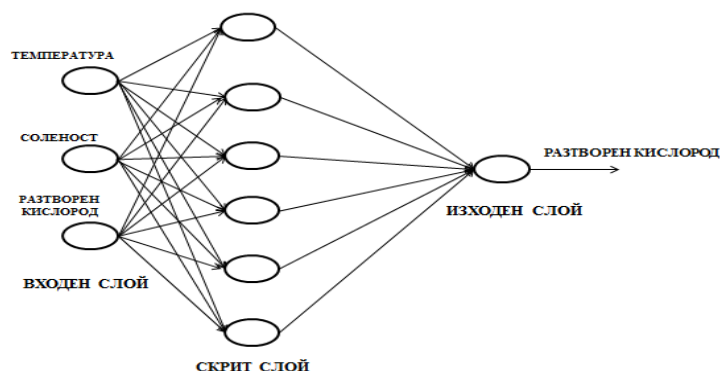
В таблица 3.14 са посочени получените коефициенти при нормиране на данните в диапазона [0 1] по формула 2.12

Таблица 3.14.

Коефициенти при нормиране на данните в диапазон [0 1]

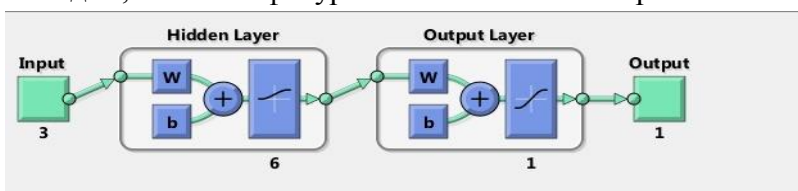
Параметър	a	b
Температура (T)	0,0487	-0,0294
Соленост (S)	0,081	-0,486
Разтворен кислород (DO)	0,008	-1,840

На фиг. 3.15 е показана архитектурата на изкуствената невронна мрежа за концентрацията на разтворен кислород във водите на Черно море.



Фиг. 3.15. Архитектура на изкуствена невронна мрежа за разтворен кислород

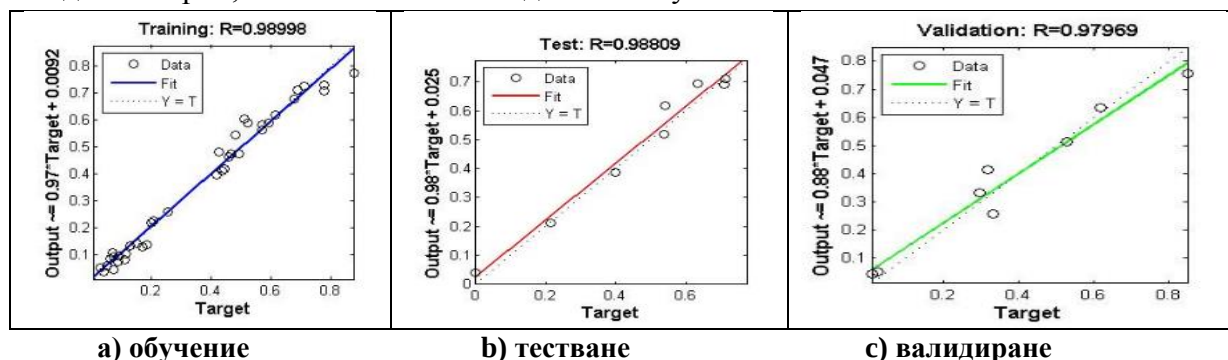
Невронната мрежа е реализирана в програмната среда MATLAB. Използва се функцията „nntool“, която отваря прозореца Network/Data в който се импортират, създават и използват невронни мрежи и данни. На фиг. 3.16 са показани с Input входните данни, които са температура, соленост и разтворен кислород. Невронната мрежа има един скрит слой с шест неврона (Hidden Layer). Изходният слой е означен с “Output Layer” с един неврон, а изходът е един, който на фигурата е обозначен с Output.



Фиг. 3.16. Архитектура на изкуствена невронна мрежа за разтворен кислород в MATLAB

На фиг. 3.18 са представени типични резултати от изчислението на разсейване на изчислена и измерена концентрация на разтворен кислород. Използването на температурата и солеността като входни данни точно симулира модела на невронна мрежа за разтворен кислород. Създадени са линейни зависимости за процесите на обучение, валидиране и тестване на невронната мрежа, които са показани на фиг. 3.18. Прекъснатата

и плътна линии съответстват на тези на съвпадение и най-добра линейна регресия между изходните и целеви мрежови резултати. Показани са корелационните коефициенти R за изходния неврон, чиито стойности в идеалния случай биха били 1.



Фиг. 3.18. Линейни зависимости за изходните процеси

на обучение, валидиране и тестване на невронната мрежа

Получените корелационни коефициенти за обучение, валидиране и тестване са показани в таблица 3.15. Стойностите на корелационните коефициенти потвърждават добро приближение на линейната връзка между изхода и целевите параметри на невронната мрежа.

Таблица 3.15.

Корелационни коефициенти при обучение, валидиране и тестване

№	Корелационен коефициент R	
1	Обучение	0.989
2	Тестване	0.988
3	Валидиране	0.979

На фиг. 3.19 са представени времеви вариации между измерените и изчислените данни за разтворения кислород. Измерените данни за 5-тия метър са за периода април 2011– април 2012 година.



Фиг. 3.19. Времеви вариации между измерени и изчислено данни за разтворения кислород за 5-тия метър

Както може да се види от таблицата и графика, измерените и изчислени стойности и при двата типа данни са близки. Това доказва, че концентрацията на

разтворен кислород във водите на Черно море може да се изчислява с приемлива точност. Наблюдава се относително добра корелация между измерените и изчислените стойности на DO. Следователно, предложеният модел има огромен потенциал като средство за изчисляване на липсващи данни, тъй като при изпитване способността за изчисляване на невронната мрежа се установено, че тя работи на базата на минимални входни данни.

Усъвършенстването на модела за DO може да включва и други физични, химични и метеорологични параметри на морски басейни като входни данни. Във връзка с това моделът е тестван с данни от друга Argo PROVOR сонда 6901895, разположена в турски териториални води. Данните за температура, соленост и разтворен кислород за 2015 година са взети от (<http://www.ifremer.fr/co-argoFloats/float?ptfCode=6901895>). Използва се показана на фиг. 3.17 архитектура на изкуствена невронна мрежа за разтворен кислород,.

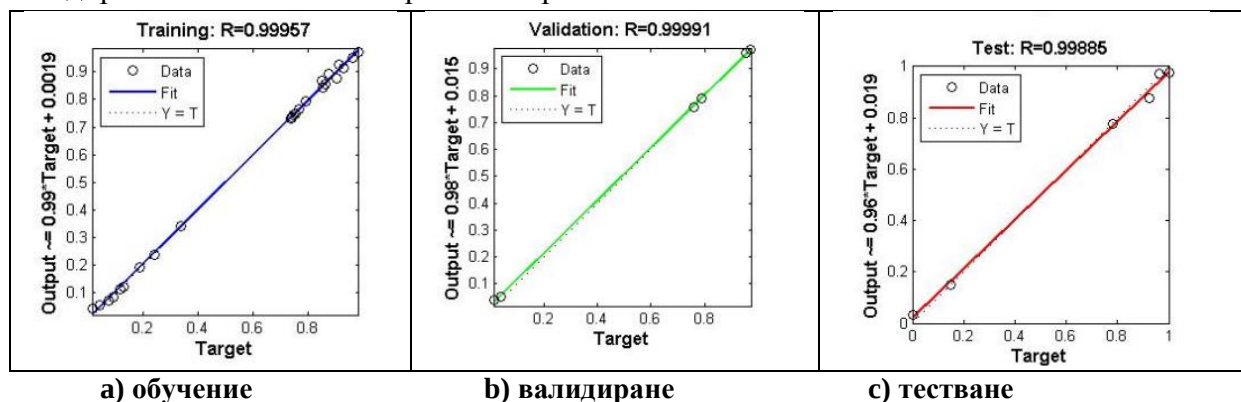
В таблица 3.17 са дадени основните статистически данни на измерените характеристики на водата на изследвания район в периода април – юни 2015г. в Черно море за дълбочина 5m.

Таблица 3.17.

Основни статистически данни на измерените характеристики на водата на изследвания район в Черно море през 2015 година за дълбочина 5m

Параметър	Мерна единица	Min	Max
Температура (T)	°C	7,82	26,1
Соленост (S)	psu	17,4	19,6
Разтворен кислород (DO)	μM	13,05	288,25

На фиг. 3.20 са дадени линейните зависимости за процесите на обучение, валидиране и тестване на невронната мрежа.



Фиг. 3.20. Линейни зависимости за изходните процеси на обучение, валидиране и тестване на невронната мрежа

Както се вижда от таблица 3.18 корелационните коефициент и при трите процеса са високи. Това доказва, че предложеният модел може да работи и с други данни.

Таблица 3.18.

Корелационни коефициенти при обучение, валидиране и тестване

№	Корелационен коефициент R	
1	Обучение	0.999
2	Валидиране	0.999
3	Тестване	0.998

Разработеният модел на невронна мрежа доказва възможността за моделиране и изчисляване на стойности на разтворен кислород, при това с висока точност, при наличие на малък набор от входни данни и малко на брой входни параметри.

4. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на получените резултати от проведеното изследване могат да се направят следните изводи:

- Автоматичните профилиращи сонди Арго са перспективен метод за изследване на разтворения кислород в морски басейни, осигуряващи голям набор от данни във времето и пространството. Получената информация е в реално време, което позволява своєвременна обработка, анализ и оценка на данните.
- Разработеният алгоритъм и компютърни програми дават възможност за изчисляване на концентрацията на разтворения кислород в Черно море по данни от сондата APXH Арго.
- Разработената модифицирана процедура и софтуер в среда MATLAB могат да се използват за качествен контрол на арго-данни за разтворен кислород в Черно море и за автоматично откриване и коригиране на грешки от първи род..
- Адаптираните статистически методи и критерии за качествен контрол на арго-данни за концентрацията на разтворения кислород в Черно море, базирани на софтуерния продукт MATLAB, позволяват откриване на отскачащи стойности.
- На базата на статистически методи и сравняване с месечни климатични данни от Атласа на Световния океан и с данни от региона, са разработени контролни карти, които позволяват провеждане на качествен контрол на арго-данните за концентрацията на разтворения кислород.
- За изчисляване на концентрацията на разтворен кислород на базата на арго-данни за температурата и солеността на водата по отделни хоризонти е разработен модел на невронна мрежа. Той дава много добра съгласуваност между фактически и симулирани стойности и може да се прилага за възстановяване на липсващи данни и инерционни прогнози.

В заключение може да се подчертае, че с помощта на представената модифицирана процедура и разработването на съответния софтуер в среда на Матлаб, в настоящия дисертационен труд се решава един важен за екологията проблем, а именно осигуряване

на качествени арго-данни за концентрацията на разтворен кислород в черноморските води, важен за съхраняването и поддържането на видовото разнообразие на морската екосистема. В допълнение, с помощта на разработената моделна структура на невронна мрежа, на базата на данни за температурата и солеността на морската вода, може да се възстановяват липсващите данни в информационните масиви за концентрацията на разтворения кислород във водите на Черно море. Изследването на разтвореният кислород в Черно море е от изключителна важност. Липсата на разтворения кислород може да доведе до намаляване на видовото разнообразие на екосистемата, поради което е важно постоянно и в реално време на територията на морския басейн да се следят промените в стойностите на концентрациите му. Наличието на висококачествена база данни за концентрацията на разтворен кислород в морската вода ще послужи за описването на времевите и пространствени промени във физичните, химични и биологични характеристики на водоема. Създаваната база данни за разтворен кислород може да послужи за оптимизиране и валидиране на числените модели на биогеохимичните процеси в Черно море.

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научните и научноприложни приноси в дисертационния труд могат да се обобщят както следва:

1. Разработен е алгоритъм и компютърни програми в среда MATLAB за първична обработка и изчисляване на концентрацията на разтворения кислород в Черно море по данни от сондата APXH Арго.
2. Разработена е модифицирана процедура и софтуер в среда MATLAB за качествен контрол на арго-данни за разтворен кислород в Черно море. За всеки етап на качествен контрол са създадени контролни карти.
3. Доказано е, че модифицираната процедура за качествен контрол на арго-данните е приложима за автоматично откриване и коригиране на грешки от първи род.
4. Разработен е за първи път у нас модел на невронна мрежа за изчисляване на концентрацията на разтворен кислород на базата на арго-данни за температурата и солеността на водата по отделни хоризонти за българския участък на Черно море.
5. Доказано е, че предложеният модел на невронна мрежа дава много добра съгласуваност между фактически и симулирани стойности и е приложима за възстановяване на липсващи данни и инерционни прогнози за концентрацията на разтворен кислород.

ПУБЛИКУВАНИ МАТЕРИАЛИ ПО ТЕМАТА:

1. Николов Н., “Програма Арго за мониторинг на океански и морски води“, Сб. Доклади от XXIII Национален Научен Симпозиум с международно участие

“Метрология и Метрологично осигуряване 2013”, (Созопол, 09-13 септември 2013г.), ISSN:1313-9126, с. 286-292.

2. Nikolov N., Pandelova A., Calculation of oxygen concentration in the Black Sea using data from Argo automatic profiling floats, Bulgarian Chemical Communications, Volume 47 Special Issue B, 2015, ISSN: 0324-1130, pp. 349–354, (IF – 0.32)
3. Nikolov N., Pandelova A., Ann model for prediction of dissolved oxygen concentration in the Black sea, Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2016, Севастополь, ISBN: 978-5-9907602-6-4, pp. 294-297.

METHODS FOR DATA PROCESSING AND CONTROL OF DISSOLVED OXYGEN CONTENT IN BLACK SEA

The oxygen is a main element for the biological and biogeochemical processes which are running in the large water basins. Its decrease could lead to changes in the biodiversity, the accumulation of biomass, as well as in the biogeochemical cycles. The Black Sea is one of the least studied sea basins in terms of the distribution of dissolved oxygen in all its spatiality and depth. In the past years a new approach has been applied for monitoring of the sea water – process automation. When monitoring the waters of the Black Sea, a wide range of application find the so-called Argo-probes, which help to obtain information about areas where operational hydro physical and hydro chemical observations are not available. The existence of a high-quality database with information about the concentration of dissolved oxygen in seawater will help to describe the temporal and spatial changes in the physical, chemical and biological characteristics of the basin.

The first chapter outlines some of the studies and methods used for monitoring hydro physical elements in sea basins and presents the main results relevant to the dissertation topic. The remote and contact methods for exploring sea basins are analyzed.

The second chapter describes the subject of the study. Methods for determining the concentration of dissolved oxygen in sea water are specified.

In the third one is presented the procedure for quality control of oxygen data, an algorithm for calculating the dissolved oxygen concentration in the Black Sea is developed according to data from APEX Argo probe as well as a model of a neural networks.

The thesis “**METHODS FOR DATA PROCESSING AND CONTROL OF DISSOLVED OXYGEN CONTENT IN BLACK SEA**” consists of 105 pages and 3 chapters.

CONTRIBUTIONS:

1. We have created an algorithm and computer programs in the MATLAB environment, used for the primary processing and calculation of the dissolved oxygen levels in the Black Sea, based on the Apex probe data

2. We have developed a modified procedure and software in MATLAB to use for quality control of agro-data for dissolved oxygen levels in the Black Sea. For each level of the quality control we have developed control cards.
3. It is proven that the modified procedure of quality control of agro-data is applicable to automated discovery and corrections of first type errors.
4. For the first time here, it has been developed, a model of a neural networks used for the calculation of the oxygen level concentration based on agro-data for temperature and saltiness of the sea water in the different horizons of the Bulgarian coast of the Black Sea.
5. It has been proven that the suggested neural networks gives very good correlation between simulation data and factual data and it's applicable for the recreation of the missing data and inertional prognosis about concentration of dissolved oxygen.