



# UNIWERSYTET GDAŃSKI KATEDRA LIMNOLOGII



80-952 Gdańsk, ul. Bażyńskiego 4, tel. 58 523 6549, e-mail: bajka37@wp.pl, www.kl.ug.edu.pl

Dr hab. Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska, prof. UG  
Katedra Limnologii  
Wydział Oceanografii i Geografii  
Uniwersytetu Gdańskiego

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **Abd Alsalam Mohammed Mail**

pt. „*Ocena występowania susz oraz ich wpływu na środowisko dorzecza rzeki Udhaim w Iraku*”

(„**Assessment of Drought Conditions and their Impacts on the Environment of the Udham River Basin**”)

zrealizowanej w Katedrze Geografii Fizycznej Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego  
pod kierunkiem dr hab. Urszuli Somorowskiej, prof. UW

Recenzję przygotowano na prośbę Rady Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.

### Uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji dysertacja Pana **Abd Alsalam Mohammeda Maila**, wpisuje się w tematykę hydrologii regionalnej i gospodarki wodnej. Dotyczy bowiem ona analizy zmian deficytu wody na obszarze pozostającym w zasięgu oddziaływania klimatu zwrotnikowego suchego i gospodarowania zasobami wodnymi tego obszaru w warunkach ciągłego i pogłębiającego się ich deficytu.

Ten deficyt dostępności zasobów wodnych wynika nie tylko z przyczyn naturalnych (meteorologicznych i hydrologicznych), ale też antropogenicznych, polegających na rosnącej eksploatacji i tak skromnych zasobów wodnych.

Ujemny bilans klimatyczny, będący naturalną przyczyną deficytu wody na badanym przez Doktoranta obszarze, odpowiada za zjawisko suszy, która oznacza

dostępność do wody poniżej średniej, w określonych warunkach naturalnych. Długotrwały brak opadów lub niedostateczna ich ilość (susza meteorologiczna) wywołuje deficyt wody w glebie (susza glebowa), a następnie zmniejszenie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych (susza hydrologiczna). Skutkiem rozwoju suszy są nie tylko problemy rolnicze, ale i negatywne skutki gospodarcze i społeczne, zwłaszcza w krajach ubogich w wodę. Przedłużająca i pogłębiająca się susza prowadzi do wysuszenia gleby, niszczy uprawy, ogranicza dostęp do wody pitnej, zabija zwierzęta hodowlane, przynosi głód, choroby i śmierć.

Susze sezonowe są zjawiskiem naturalnym w strefie klimatycznej, w zasięgu której leży badany przez Doktoranta obszar. Wynikają one z suchości klimatu, który determinuje cechy środowiska geograficznego obszaru badań. Jednak coraz częstsze anomalie pogodowe (wzrost temperatury powietrza, silne wiatry, nieregularne, ulewne opady), których przyczyną jest globalne ocieplenie sprawiają, że susze sezonowe stają się coraz bardziej nieprzewidywalne. Wydłuża się ich czas, zasięg terytorialny i surowość. Aby minimalizować skutki tych susz i łagodzić niedobory wody konieczne jest opracowanie skutecznej strategii zarządzania odnawialnymi zasobami wodnymi.

Dysertacja Pana **Abd Alsalam Mohammeda Maila** wpisuje się w tę tematykę. Jego badania dotyczą występowania susz i ich wpływu na środowisko (geograficzne) obszaru alimentującego jeden z dopływów rzeki Tygrys, a w szczególności wpływu tych susz i działalności człowieka na zmienność (ilościową i jakościową) zasobów wodnych badanego obszaru.

### **Sposób przedstawienia materiału**

Rozprawa doktorska Pana **Abd Alsalam Mohammeda Maila**, pt. „*Ocena występowania susz oraz ich wpływu na środowisko dorzecza rzeki Udham w Iraku*”, napisana w języku angielskim, liczy 101 stron, w tym 77 stron tekstu, spis literatury i 18 załączników (są to miesięczne dane z lat 1980-2015 średniej temperatury powietrza, sumy opadów, sumy ewapotranspiracji potencjalnej, wskaźniki oceny suszy SPEI-3, SPEI-6, SPEI-9, SPEI-12, SPEI-24 i tablice korelacyjne). W tekście dysertacji jest 14 tabel, 30 wykresów i 9 fotografii, które trafnie dokumentują omawiany problem.

Spis cytowanej literatury (str. 79-87) obejmuje 82 pozycje, głównie anglojęzyczne (10 pozycji w języku arabskim), w tym jedną autora dysertacji. Około 76% cytowanych przez Doktoranta prac ukazało się po 2000 r., a 33% po roku 2010. Cytowana jest zatem najnowsza literatura dotycząca problematyki jego pracy.

Treść dysertacji została przedstawiona w 6 rozdziałach: **Wstęp** (str.1-12), **Dane i metody badawcze** (str.13-31), **Fizyczna i gospodarcza charakterystyka dorzecza rzeki Udham** (str. 32-47), **Ocena warunków pojawiania się susz na podstawie wskaźnika SPEI** (str. 48-58), **Wpływ susz na środowisko** (str. 59-73), **Wnioski i rekomendacje** (str.74-77). Wszystkie rozdziały, oprócz rozdziału szóstego, mają strukturę złożoną i dzielą się na podrozdziały.

Treść tych rozdziałów składa się na trzy części rozprawy doktorskiej: pierwsza **metodyczna** wprowadza w tematykę badawczą i przedstawia metody badawcze

wykorzystane przez Doktoranta do realizacji głównego celu badawczego (rozdziały 1 i 2); druga **opisowa** zawiera charakterystykę wybranych komponentów środowiska geograficznego obszaru badań (rozdział 3); trzecia **analityczno-syntetyczna** prezentuje wyniki analiz przeprowadzonych przez Doktoranta oraz sformułowane przez niego wnioski i zalecane rekomendacje.

W **części metodycznej**, po krótkim wstępie wyjaśniającym jak złożonym zjawiskiem jest susza, jakie są jej skutki i jakie mogą być one w świetle zmian klimatycznych wynikających z globalnego ocieplenia, Doktorant wskazuje, że susze są już problemem ogólnoświatowym, wykraczającym poza granice regionów i granice państwowe, zwłaszcza tych krajów, które leżą w strefie klimatu zwrotnikowego i podzwrotnikowego. Wskazuje też, że nie tylko suchość klimatu stymuluje pustynnienie obszarów. Duży wpływ na ten proces ma też działalność człowieka (wzrost liczby mieszkańców, eksploatacja surowców naturalnych, intensyfikacja produkcji przemysłowej i rolniczej). Z procesem pustynnienia związana jest bezpośrednio dostępność zasobów wodnych, zwłaszcza wody pitnej. Brak dostępu do odpowiedniej ilości tej wody ma wpływ na stan zdrowia ludności i możliwości rozwoju gospodarczego danego regionu.

Doktorant uważa, że ponieważ geografia zajmuje się człowiekiem i jego działalnością, badanie susz jest bardzo ważne. Należy bowiem znaleźć takie rozwiązania, aby zminimalizować niedobór wody ograniczający rozwój gospodarczy regionu.

Aby osiągnąć ten cel należy poznać mechanizm powstawania susz, czas ich trwania i ich intensywność (surowość). Największym ograniczeniem badawczym jest brak obserwacji naziemnych. Źródłem informacji przestrzennych mogą być za to dostępne meteorologiczne dane satelitarne.

Po tym ogólnym wprowadzeniu Doktorant podaje definicję suszy, charakteryzuje etapy jej rozwoju, tj.: suszę meteorologiczną, suszę rolniczą (glebową), suszę hydrologiczną i suszę społeczno-gospodarczą. Ta ostatnia zgodnie z definicją Falkenmark (2013) występuje wówczas, gdy popyt na dobra gospodarcze przewyższa podaż w wyniku niedoborów w zaopatrzeniu w wodę.

Następnie charakteryzuje najczęściej wykorzystywane w monitoringu środowiska różnych stref klimatycznych dwa wskaźniki oceny suszy. Są to:

1. **wskaźnik standaryzowanego opadu SPI** daje ocenę ilościowego deficytu opadu w różnej skali czasowej, która odzwierciedla wpływ suszy na dostępność różnych zasobów wodnych (wilgotność gleby, odpływ rzeczny, wody podziemne). Warunki wilgotnościowe gleb odpowiadają anomalii opadowym w relatywnie krótkim czasie (do 3 miesięcy), natomiast przepływy rzek, wody podziemne oraz retencja zbiorników reagują na anomalie opadowe trwające dłuższy czas (12 lub 24 miesiące);

2. **wskaźnik standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego SPEI**, który jest standaryzowaną różnicą opadu atmosferycznego i parowania potencjalnego, obliczonego z formuły Penmana-Monteitha. Informuje on o niedoborach wody w strumieniu atmosferycznej fazy jej obiegu (opad – parowanie) w różnej skali czasowej, wskazując jak wpływ opadów atmosferycznych i parowania wpływa na zasoby wodne. Sumy opadu i parowania potencjalnego można uzyskać z baz danych opracowanych

przez Climate Research Unit (CRU), University of East Anglia, natomiast wartości wskaźnika SPEI – z Global SPEI database z rozdzielczością przestrzenną 0,5 stopnia i rozdzielczością miesięczną. SPEI jest wskaźnikiem oceny suszy powszechnie stosowanym w badaniach ekologicznych, rolniczych i hydrologicznych. Jego stosowanie jest zalecane także do długoterminowych prognoz klimatycznych. SPEI-1, SPEI- 3 i SPEI-6 nadają się do analizy susz atmosferycznych i rozwoju susz glebowych, natomiast SPEI-12 do analizy susz hydrologicznych a SPEI-24 do analizy susz społeczno-gospodarczych.

W tej części pracy są też informacje o środowisku przyrodniczym Iraku i gospodarce wodnej tego kraju, której podstawowymi problemami są niedostatek wody i pustynnienie kraju, spowodowane zmianami klimatycznymi. Przyczyną obu tych problemów są warunki naturalne, które są wzmacniane działalnością gospodarczą powodującą kurczenie i tak małych zasobów wodnych. Problemy wodne Iraku wykraczają poza jego granice. Doktorant wskazuje, że realizacja tureckiego projektu GAP spowoduje, iż ilość wody, którą może z rzeki Eufrat pobierać Irak zmniejszy się o 80%. Zagraża to już bezpieczeństwu żywnościowemu państwa.

Przedstawiona jest też charakterystyka obszaru wybranego do badań. Jest to dorzecze rzeki Udhaim, jednego z większych lewobrzeżnych dopływów rzeki Tygrys, do którego uchodzi ok. 80 km na północ od Bagdadu. Jest to rzeka średniej długości (około 230 km) i średniej wielkości dorzecza (powierzchnia około 12,5 tys. km<sup>2</sup>), użytkowanego w znacznej mierze rolniczo. W 2000 r., zbudowano na rzece około 50 km powyżej jej ujścia zbiornik zaporowy wielozadaniowy (nawadnianie, energetyka i ochrona przed powodzią) o powierzchni około 120 km<sup>2</sup> i pojemności około 2 km<sup>3</sup>. Zapora wodna ma długość 3,8 km, szerokość 12 m, długość przelewu 562 m. Inwestycja ta nie jest jeszcze ukończona.

Informacji literaturowych na temat środowiska przyrodniczego dorzecza rzeki Udhaim, zasobów wodnych tego dorzecza i planów gospodarowania tymi zasobami jest niewiele. Te dostępne, zostały przytoczone przez Doktoranta.

Po tym wprowadzeniu w tematykę badawczą Doktorant definiuje główny cel pracy i hipotezy badawcze, które należy zweryfikować.

Głównym celem badań jest analiza rozwoju susz o zmiennym czasie trwania w dorzeczu rzeki Udhaim oraz ich wpływu na degradację gleby, dostępność do zasobów wodnych i jakość tych zasobów.

Drogą do realizacji tego celu badawczego było wykonanie pięciu zadań szczegółowych:

1. ocena przestrzennej i czasowej zmienności opadów atmosferycznych, temperatury powietrza, potencjalnej ewapotranspiracji oraz wskaźnika oceny suszy SPEI w różnych skalach czasowych;
2. Zbadanie tendencji zmian wskaźnika oceny suszy SPEI w różnych skalach czasowych za pomocą testów statystycznych;
3. ocena stopnia degradacji powierzchni dorzecza spowodowanej suszą na podstawie zdjęć satelitarnych;
4. zbadanie wpływu suszy na przepływy rzeki Udhaim;

5. ocena wieloletnich zmian jakości wody zbiornika zaporowego przy różnych stanach jego retencji.

Zadania te miały zweryfikować następujące hipotezy badawcze:

1. w dorzeczu rzeki Udhaim występuje przestrzenna i czasowa zmienność opadów, temperatury powietrza i ewapotranspiracji potencjalnej;
2. na podstawie danych z wielolecia można, za pomocą wskaźnika standaryzowanego bilansu klimatycznego SPEI wyznaczonego dla różnych skal czasowych, ocenić rozwój susz;
3. pustynnienie dorzecza badanej rzeki zwiększa się;
4. susze ocenione wskaźnikiem SPEI wpływają na średni miesięczny przepływ rzeki Udhaim;
5. susza wpływa na jakość wody zbiornika zaporowego na rzece Udhaim.

W 2 rozdziale części metodycznej Doktorant scharakteryzował wykorzystane dane, przedstawił postępowanie badawcze i krótko opisał metody wykorzystane w tych badaniach. Ze względu na ograniczoną dostępność do danych naziemnych Doktorant musiał korzystać z ogólnodostępnych mezoskalowych (o odpowiedniej rozdzielczości) baz danych o stanie środowiska badanego obszaru.

Model rzeźby terenu (NMT) badanego dorzecza został przez Doktoranta pozyskany z bazy danych CGIAR-CSI. Pobrane z tej bazy dane w postaci plików rastrowych scalono w oprogramowaniu ArcGIS z danymi reprezentującymi obszar 30-40°N i 40-50°E i następnie z uzyskanego obrazu Doktorant zwizualizował numeryczny model terenu dorzecza rzeki Udhaim (ryc. 3.1).

Numeryczny model terenu, który pozyskał doktorant Doktorant z bazy CGIAR-CSI jest modelem opracowanym na podstawie badań prowadzonych przez agencje kosmiczne Stanów Zjednoczonych (NASA), Niemiec (DLR) oraz Włoch (ASI) w projekcie pod nazwą Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Z uwagi na jednorodność danych oraz fakt, że dostęp do nich jest nieodpłatny, są one wystarczającym materiałem do opisu przestrzennego zróżnicowania wysokości bezwzględnej badanego dorzecza. Należało jednak wspomnieć o tym, że użyta w opracowaniu wersja 4 tegoż modelu ma dokładność poziomą do  $\pm 20$  m i dokładność pionową do  $\pm 16$  m co wpływa na sposób interpretacji otrzymanych wyników. Dokładność użytego modelu terenu pozwala jedynie na poznanie ogólnych warunków wysokościowych badanej zlewni.

Zastanawia jednak fakt dlaczego Doktorant na ryc. 3.1 zaprezentował mapę hipsometryczną badanego dorzecza stosując przedziały wysokości bezwzględnej a nie skalę ciągłą, która z uwagi na użyte dane jest możliwa do wygenerowania. W moim odczuciu skala ciągła dokładniej oddawałaby specyfikę badanej zlewni, co dla geografa stanowi podstawę do interpretacji zachodzących w niej procesów.

Dane meteorologiczne niezbędne do oceny występowania susz w okresie badawczym w latach hydrologicznych (od października do września) wielolecia 1980-2015, Doktorant pozyskał z Climate Research Unit (CRU), University of East Anglia, w wersji CRU TS 3.24.01. Te o wysokiej rozdzielczości (0,5 x 0,5 stopnia) dane gridowe

dotyczyły miesięcznych wartości: opadu, temperatury powietrza i ewapotranspiracji potencjalnej.

Do oceny surowości susz w badanym okresie pozyskał z bazy SPEIbase v2.5 dane gridowe wskaźnika SPEI obliczone na podstawie danych CRU w skalach czasowych: 3 miesiące, 6 miesięcy, 12 miesięcy i 24 miesiące reprezentujących warunki suchości/wilgotności istotne dla rolnictwa (susza atmosferyczna i glebowa) i hydrologii (susza glebowa i hydrologiczna).

Na podstawie pobranych danych gridowych Doktorant obliczył miesięczną wartość każdej z charakterystyk w granicach badanego dorzecza metodą Thiessena (ryc. 3.1). W obliczeniach tych uwzględnił równoleżnikowe zróżnicowanie klimatu na badanym obszarze.

Szkoda, że mając taki materiał nie wykonał map przestrzennego rozkładu średniego w wieloleciu 1980-2010 opadu, temperatury powietrza i ewapotranspiracji potencjalnej. Mapy te byłyby doskonałym tłem do treści pozostałych rozdziałów dysertacji.

W analizie trendów w seriach wskaźnika SPEI w latach 1980-2010 Doktorant użył nieparametrycznego testu statystycznego Manna-Kendalla, wykorzystując do obliczeń oprogramowanie HYDROSPECT. Statystycznie istotne zmiany SPEI zdefiniowano na poziomie istotności równym lub większym niż 95%. Zastosowany test statystyczny do wykrywania trendów w meteorologicznych i hydrologicznych szeregach czasowych jest często stosowany w literaturze przedmiotu.

Wskaźniki pokrycia oraz użytkowania terenu (NDVI, NDWI, NDBI, CI, NDBal), które zgodnie z przytoczoną literaturą umożliwiają analizę zmian zachodzących w środowisku w tym także na analizy z zakresu monitorowania susz, Doktorant opracował na podstawie dostępnych zobrazowań satelitarnych Landsat. Jako materiał wyjściowy do oceny wpływu susz na środowisko w dorzeczu rzeki Udham, posłużyły zdjęcia z dwóch okresów: 1 lipca 2007 r. oraz 5 czerwca 2015 r.

W mojej ocenie zestawienie jedynie dwóch okresów do analizy wpływu susz na środowisko pozwala tylko na określenie zmian, które w tym okresie wystąpiły w środowisku. W badaniach geograficznych niezwykle istotne oprócz poznania efektów danego procesu w danym okresie, jest również możliwość poznania specyfiki i dynamiki zachodzących zmian. W niniejszej dysertacji Doktorant nie skorzystał z tej możliwości, mimo iż analizowany obszar zlewni posiada bogaty zasób zdjęć satelitarnych. W efekcie mamy jedynie możliwość stwierdzenia zmian, które zaszły w środowisku w 8-letnim okresie, ale nie możemy określić tendencji tych zmian co znacznie ogranicza możliwość ich prognozowania.

Należy podkreślić, że wykorzystanie do tego typu badań multispektralnych zdjęć satelitarnych pochodzących z programu Landsat, a także dalsze ich przetwarzanie pozwala stwierdzić, że doktorant opanował techniki GIS oraz techniki fotogrametrii w stopniu ponad przeciętnym.

Podstawą oceny ustroju rzeki Udham były niepublikowane dane hydrometryczne (średni miesięczny przepływ) z profilu Udham (poniżej obecnie funkcjonującej zapory) z lat 1980-2010. Do ustalenia zależności korelacyjnych pomiędzy średnim miesięcznym

przepływem rzeki i wskaźnikami suszy SPEI, Doktorant wykorzystał program STATISTICA wersja 13.1.

Jakość wody zbiornika zaporowego utworzonego na rzece Udham Doktorant oceniał pod kątem przydatności jej wykorzystania do nawadniania na podstawie wskaźnika adsorpcji sodu (SAR – z ang. sodium adsorption ratio), przewodności elektrolitycznej właściwej zależnej od zasolenia i ogólnej mineralizacji wody.

**W części opisowej pracy** (rozdział trzeci) Doktorant przedstawił zwięźle podstawowe charakterystyki środowiska geograficznego dorzecza rzeki Udham. Są nimi: rzeźba terenu, sieć hydrograficzna, formy użytkowania i pokrycia terenu, ogólna charakterystyka klimatu (a w zasadzie charakterystyka sezonowej zmienności opadu, temperatury powietrza i ewapotranspiracji potencjalnej, na podstawie wartości średnich miesięcznych wielolecia 1980-2010, w układzie lat hydrologicznych (październik-wrzesień), uwydatniająca ich zróżnicowanie równoleżnikowe w dorzeczu oraz wartości średnich rocznych z tego wielolecia wyznaczonych metodą Thiessena), zasoby wód powierzchniowych (ich zmienność oceniono na podstawie miesięcznych przepływów rzeki Udham w wieloleciu 1980-2010, przed i po wybudowaniu tamy, wskazując jej wyraźny wpływ na wyrównanie przepływu rzeki, ryc. 3.7). Charakterystykę tę kończy zwięzła informacja o sieci osadniczej zilustrowana 3 fotografiami.

Treść tego rozdziału uzupełniają mapy tematyczne badanego dorzecza:

- mapa hipsometryczna wykonana na podstawie NMT opracowanego w ramach projektu SRTM (ryc. 3.1). Na mapie jest przedstawiony też system rzeki Udham wraz ze zbiornikiem retencyjnym i lokalizacją zapory wodnej, jest też sieć głównych dróg, i większe miasta. Są też na niej granice wcześniej zdefiniowanych poligonów Thiessena. Do każdego z poligonów przypisany jest numer komórki gridowej, której miesięczne charakterystyki hydrometeorologiczne (opady, temperatura powietrza i ewapotranspiracja potencjalna) odpowiadają danym punktowym pobranym z CRU TS 3.24.01;

- mapa form użytkowania i pokrycia terenu w podziale na 11 klas (ryc. 3.2). Klasy te zostały wydzielone na podstawie zobrazowań pochodzących z satelity Landsat 8. Satelita ten został wyposażony w dodatkowe sensory (Operational Land Imager (OLI) oraz Thermal InfraRed Sensor (TIRS)), umożliwiające uzyskiwanie obrazów Ziemi w zakresie światła widzialnego bliskiej i średniej podczerwieni. Stąd też użycie obrazów satelitarnych z tegoż satelity do wydzielenia poszczególnych form użytkowania i pokrycia terenu jest w pełni zasadne;

- mapa sieci osadniczej (ryc. 3.3).

#### Uwagi dotyczące mapy użytkowania i pokrycia terenu

Doktorant w dysertacji wspomina, że wydzielenie tych dokonano przy wykorzystaniu technik klasyfikacji nadzorowanej. Brakuje jednak opisu na czym ta klasyfikacja polega oraz czy doktorant sam tę klasyfikację wykonywał. Powyższy fakt nie powinien być pominięty zwłaszcza w pracy doktorskiej, gdyż stanowi on istotny element umożliwiający ocenę prawidłowości zastosowanych algorytmów. Jeśli Doktorant

sam interpretował te zdjęcia to moim zdaniem powinien przedstawić proces będący podstawą do wydzielenia wcześniej wspomnianych klas użytkowania i pokrycia terenu.

#### Uwaga dotycząca charakterystyki klimatu:

Analizę zróżnicowania przestrzennego w badanym dorzeczu rozkładu temperatury powietrza, opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji potencjalnej przeprowadzono na podstawie wcześniej zdefiniowanych poligonów Thiessena, będących powierzchniami referencyjnymi dla danych punktowych pozyskanych z bazy CRU TS 3.24.01. Zastosowana metoda przenoszenia informacji punktowych na jednostkę powierzchni pozwala na prześledzenie zmian wielkości danego zjawiska, dla którego w sposób arbitralny określa się granice. W efekcie analiza zmienności przestrzennej tego zjawiska jest sprowadzana jedynie do określenia położenia danej jednostki referencyjnej. W literaturze przedmiotu coraz częściej i chętniej stosowanymi metodami przenoszenia informacji punktowych na daną powierzchnię jest interpolacja przestrzenna metodą odwrotnych odległości (IDW) czy metodą prostego krigingu. Dzięki temu mamy możliwość prześledzenia zróżnicowania przestrzennego danego elementu z uwzględnieniem specyfiki poszczególnych obszarów. Ma to szczególnie duże znaczenie przy ocenie ilościowej występowania obszarów z deficytem czy nadwyżką wody. Ponadto wykorzystując analizy geo-przestrzenne oraz założenia surowego bilansu klimatycznego opisującego wielkość i kierunek atmosferycznej wymiany wody, Doktorant miałby doskonały materiał do analizy przestrzennego zróżnicowania występowania zarówno obszarów z nadwyżkami wody jak i z jej deficytem. To z kolei stanowiłoby doskonały materiał do dalszych analizach związanych z kierunkiem rozwoju susz, co znacznie podniosłoby wartość merytoryczną przeprowadzonych analiz związanych z charakterystyką klimatu obszaru badań.

Zastosowana przez Doktoranta analiza czasowej zmienności poszczególnych elementów klimatu wydaje się zasadna, gdyż uwypukla ilościowe dysproporcje zasobów wodnych w poszczególnych miesiącach. Dodatkowe zestawienie informacji o zmienności czasowo-przestrzennej surowego bilansu klimatycznego (P-PET), pozwoliłoby na wskazanie obszarów szczególnie narażonych na występowanie susz i wyjaśniałoby ich surowość.

A jak ogromny jest deficyt wody na badanym obszarze wskazują wyniki bilansu klimatycznego. W roku średnim z wielolecia 1980-2010 przy opadzie 318 mm i ewapotranspiracji potencjalnej 1602 mm (tab. 3.2) deficyt wody w strumieniu atmosferycznym wynosi 1284 mm. W roku wilgotnym, 1988 (roczna suma opadów była o 52% wyższa od sumy średnich rocznych opadów badanego wielolecia, a suma ewapotranspiracji potencjalnej o 5% niższa od średniej w tym wieloleciu) roczny deficyt wody w dorzeczu wyniósł 1044 mm. W najsuchszym roku badanego wielolecia, 2008 (roczna suma opadów stanowiła 44% średniego opadu z wielolecia, a suma rocznej ewapotranspiracji potencjalnej była o 1% wyższa niż w roku przeciętnym) roczny deficyt wody w dorzeczu wyniósł 1481 mm.



**W pełni wynikową część** badań zawierają czwarty i piąty rozdział dysertacji.

W rozdziale czwartym Doktorant dokonał analizy rozwoju susz w okresie wieloletnim 1980-2010. Susze te analizował na podstawie wartości wskaźników suszy SPEI w 4 skalach czasowych. Wskaźniki te przedstawiają zestandaryzowane skumulowane wartości klimatycznego bilansu wodnego (P-PET) w okresach 3 miesięcznych (SPEI-3), 6 miesięcznych (SPEI-6), 9 miesięcznych (SPEI-9), 12 miesięcznych (SPEI-12) i 24 miesięcznych (SPEI-24), czyli tych które są istotne dla rolnictwa (SPEI-3 i SPEI-6) i dla warunków hydrologicznych w badanym dorzeczu (SPEI-9, SPEI-12 i SPEI-24). Ujemne wartości tego wskaźnika (wskazujące, że klimatyczny bilans wodny jest niższy od typowego w rozpatrywanej skali czasu) świadczą o wystąpieniu suszy tym silniejszej (surowszej) im mniejszą ma on wartość. Doktorant przyjął skalę, w której susza występuje, gdy wartość wskaźnika suszy  $SPEI \leq -1$ . Surowość suszy według przyjętej przez niego skali jest trzystopniowa: susza lekka ( $-1,5 < SPEI \leq -1$ ), susza surowa ( $-1,9 < SPEI \leq -1,5$ ) i susza ekstremalna ( $SPEI \geq -2,0$ ).

W wieloleciu 1980-2010, w badanym dorzeczu susza występowała we wszystkich jej skalach czasowych od 82 do 109 miesięcy (tab. 4.1). I tak susze 3 miesięczne odnotowano w 89 miesiącach badanego okresu; najczęściej w czerwcu (10% zdarzeń) i sierpniu (12% zdarzeń), najrzadziej w marcu (4% zdarzeń) (zał. 4). Susze 6 miesięczne odnotowano w 82 miesiącach badanego okresu (zał. 5), najczęściej we wrześniu (12% zdarzeń), najrzadziej w marcu (5% zdarzeń). Susze 9 miesięczne odnotowano w 87 miesiącach badanego okresu (zał. 6), najczęściej w czerwcu (10% zdarzeń), najrzadziej w lutym (6% zdarzeń). Susze 12 miesięczne odnotowano w 93 miesiącach badanego okresu (zał. 7), najczęściej w marcu (11% zdarzeń), najrzadziej w kwietniu (6% zdarzeń). Susze 24 miesięczne odnotowano w 109 miesiącach badanego okresu (zał. 8), z częstością 10% zdarzeń w grudniu, marcu, lipcu, sierpniu i wrześniu, a z częstością 7% zdarzeń w lutym, marcu, kwietniu i maju.

Najsurowszą suszę 3 miesięczną ( $SPEI-3 \geq -2,5$ ) odnotowano w badanym dorzeczu w marcu roku hydrologicznego 2008 r. (ryc. 4.6 a, zał. 4), najsurowszą suszę 6 miesięczną ( $SPEI-6 \geq -2,5$ ) w październiku, listopadzie i marcu roku hydrologicznego 2008 (ryc. 4.6b, zał. 5), najsurowszą suszę 9 miesięczną ( $SPEI-9 \geq -2,5$ ) od lipca roku hydrologicznego 2007 r. do listopada roku hydrologicznego 2008 r. (ryc. 4.6c, zał. 6), najsurowszą suszę 12 miesięczną ( $SPEI-12 \geq -2,5$ ) od maja roku hydrologicznego 2007 do października roku hydrologicznego 2008 (ryc. 4.7a, zał. 7) i najsurowszą suszę 24 miesięczną ( $SPEI-24 \geq -2,5$ ) od lutego roku hydrologicznego 2007 do listopada roku hydrologicznego 2008 (ryc. 4.7b, zał. 8).

W całym dorzeczu rzeki Udham i we wszystkich skalach czasowych surowe ( $-1,9 < SPEI \leq -1,5$ ) i ekstremalne ( $SPEI \geq -2,0$ ) susze wystąpiły w latach 1998-1999 i 2007-2010 (ryc. 4,1 do 4,5). Przyczyną wystąpienia tych surowych susz są zdaniem Doktoranta ekstremalnie niskie roczne opady w latach 1999, 2008 i 2009.

Susze o różnej intensywności mogą występować zarówno w sezonie zimowym jak i letnim. W badanym wieloleciu, w dorzeczu rzeki Udham minimalna wartość

średniego rocznego wskaźnika suszy zawiera się w granicach od -1,5 (SPEI-3) do -2,5 (SPEI-24).

Wykonana przez Doktoranta statystyczna analiza trendów w seriach wskaźnika  $SPEI \leq -1,0$  o różnym czasie trwania (3 miesięcznym, 6 miesięcznym, 9 miesięcznym, 12 miesięcznym i 24 miesięcznym) w latach 1980-2010 wykazała ich tendencję malejącą, wskazującą na pogłębianie się tych susz, czyli wzrost ich surowości.

W rozdziale piątym Doktorant prezentuje wyniki przeprowadzonych analiz dotyczących wpływu susz na stan zasobów wodnych badanego dorzecza. Analizuje czy i jakie zaszły w okresie badań zmiany w użytkowaniu gruntów i pokryciu terenu i czy pogłębiające się susze wpływają na stan zasobów wodnych badanego dorzecza.

Zmiany, które zaszły w środowisku dorzecza rzeki Udham, spowodowane i suszą i działaniami wojennymi, Doktorant przeanalizował na podstawie dwóch zobrazowań satelitarnych wykonanych z Landsata 8. Jedno pochodzi z 1 lipca 2007 roku, drugie z 5 czerwca 2015 r. Technikami teledetekcyjnymi oceniał w jakim stopniu różni się stan pokrycia i użytkowania terenu według wydzielonych pięciu klas: skorupa glebowa, nieużytki, szata roślinna, powierzchnie wodne, zabudowa.

Otrzymane wyniki wskazują, że w porównaniu do 2007 r. (ryc. 5.1) w 2015 r. (ryc. 2) w dorzeczu rzeki Udham powierzchnia zajęta przez roślinność zmniejszyła się o prawie 318 km<sup>2</sup> (25%), powierzchnia zbiorników wodnych (stawów, ale przede wszystkim zbiornika zaporowego Udham) zmniejszyła się o blisko 24 km<sup>2</sup> (ok. 24%), powierzchnia zabudowana wzrosła o ok. 67 km<sup>2</sup> (ok. 28%), powierzchnia skorupy glebowej powiększyła się o 335 km<sup>2</sup> (4,5%), powierzchnia nieużytków zmalała o około 60 km<sup>2</sup> (o ok. 3%) (ryc. 5.3, 5.4 i tab. 5.1). Tempo rocznych zmian powierzchni zajętej przez roślinność wynosi ok. 4% na rok, zbliżone jest tempo kurczenia się zbiorników wodnych i tempo wzrostu obszarów zabudowanych.

Doktorant wyraźnie podkreśla, że stan dorzecza zarejestrowany na obrazie z lipca 2017 r. i na obrazie z czerwca 2015 r. odpowiada innej sytuacji hydrometeorologicznej. Korzystniejsza była ona w lipcu 2017 r. Niemniej jednak uzyskane wyniki dowodzą, że pustynnienie dorzecza rzeki Udham zwiększyło się.

Wpływ susz, które występowały w wieloleciu 1980-2010, na stabilność zasobów wodnych dorzecza rzeki Udham Doktorant przeanalizował na podstawie zmian odpływu tej rzeki. Deszczowo-śnieżny ustrój wodny rzeki Udham jest zmieniony przez pobór z niej wody na cele gospodarcze. Doktorant podkreśla, że w związku z tym ustalenie ścisłej zależności pomiędzy wskaźnikami suszy a odpływem rzeki nie jest możliwe. Niemniej podjął się tego zadania i szukał związku wskaźników suszy różnych skal czasowych (SPEI-3, SPEI-6, SPEI-9, SPEI-12 i SPEI-24) z wielkością miesięcznego przepływu rzeczno (zał. 14 -18). Wykazał, że są tylko istotne związki statystyczne wskaźników suszy 3-miesięcznej (SPEI-3) i 6-miesięcznej (SPEI-6) z wielkością przepływu rzeczno w kwietniu.

Doktorant zbadał też jak susza, powodująca obniżenia stanów wody w zbiorniku zaporowym na rzece Udham, wpływa na jakość wody tego zbiornika. Jest to problem istotny, bo woda ze zbiornika jest pobierana do nawadniania pól. Z danych zestawionych w tab. 5.3. wynika, że w wieloleciu 1980-2009 jakość wody w zbiorniku

odpowiadała klasie C3 (jakość dopuszczalna) lub C4 (woda złej jakości). Doktorant stwierdza na podstawie ryc. 5.7, że gdy większy jest dopływ wody rzecznej do zbiornika to jakość wody w zbiorniku poprawia się. Jest wówczas i większy odpływ ze zbiornika i krótszy czas retencji wody w tym zbiorniku.

Trafniej byłoby to uzasadnić ustalając choćby zależność pomiędzy średnim rocznym przepływem rzeki ( $Q \text{ m}^3/\text{s}$ ) a przewodnością elektrolityczną wody ( $EC \text{ } \mu\text{s}/\text{cm}$ ) lub przepływem rzeki a wskaźnikiem SAR ( $\text{meq}/\text{dm}^{-3}$ ).

W rozdziale szóstym, podsumowującym wyniki analiz przeprowadzonych przez Doktoranta znajdują się też sformułowane przez niego rekomendacje.

### Główne osiągnięcia pracy

Za główne osiągnięcia Doktoranta uważam:

1. analizę rozwoju susz o zmiennym czasie trwania w dorzeczu średniej wielkości w wieloleciu 1980-2010;
2. wykazanie trendów pogłębiania się susz w badanym dorzeczu wyjaśnione przy użyciu testów statystycznych;
3. określenie skali pustynnienia badanego dorzecza poprzez zastosowanie danych teledetekcyjnych i wykorzystanie zaawansowanych technik GIS;
4. wykazanie wpływu susz na ustrój wodny rzeki Udham;
5. wskazanie na zależność jakości wody zbiornika zaporowego leżącego na trasie biegu rzeki Udham od wielkości odpływu tej rzeki i wskazujących na odnawianie zasobów wodnych jej dorzecza.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań mogą stanowić już podstawę do sformułowania strategii ochrony środowiska wodnego w dorzeczu rzeki Udham.

### Uwagi formalne

Struktura pracy jest prawidłowa, kolejność rozdziałów logiczna, pracę cechuje zwięzłość wypowiedzi, co jednak utrudnia jej odbiór. Dokumentacja kartograficzna pracy jest staranna. Zamieszczone fotografie przybliżają zagadnienia, które Doktorant wyjaśnia.

### Podsumowanie

Mimo zbyt zwięzłej treści uważam, że rozprawa doktorska Pana **Abd Alsalam Mohammeda Maila spełnia kryteria stawiane pracom doktorskim**. Podjęta przez Niego problematyka badawcza wnosi nowe treści do wiedzy o obiegu wody i występowaniu susz w dorzeczu średniej rzeki strefy podzwrotnikowej.

Doktorant osiągnął założony cel badawczy i zweryfikował pozytywnie hipotezy. Wykazał dostateczną wiedzę teoretyczną w zakresie zagadnień przedstawionych w rozprawie i umiejętność analizy oraz interpretacji wyników.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań mogą stanowić podstawę do sformułowania strategii ochrony zasobów wodnych w dorzeczu rzeki Udham.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana **Abd Alsalam Mohammeda Maila** pt. „*Ocena występowania susz oraz ich wpływu na środowisko dorzecza rzeki Udhaim w Iraku (Assessment od Drought Conditions and their Impacts on the Environment of thw Udhaim River Basin, Iraq)*” przygotowana pod opieką Pani dr hab. Urszuli Somorowskiej, prof. UW **spełnia zarówno merytoryczne jak i formalne warunki** określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zmianami w Dz.U z 2005 r., nr 165, poz. 1365). Upoważnia mnie to do wystąpienia do Wysokiej Rady Naukowej Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z wnioskiem o dopuszczenie **Abd Alsalam Mohammeda Maila** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

6 grudnia 2017 r.



Dr hab. Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska, prof. UG