INTEGRATED HYDROLOGIC MODELLING USING GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR ASSESSING IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND LAND USE CHANGE ON WATER RESOURCES IN KOYNA RIVER BASIN

LANDAGE AMARSINH BABANRAO

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY 2024

©Indian Institute of Technology Delhi (IITD), New Delhi, 2024

INTEGRATED HYDROLOGIC MODELLING USING GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR ASSESSING IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND LAND USE CHANGE ON WATER RESOURCES IN KOYNA RIVER BASIN

by

LANDAGE AMARSINH BABANRAO

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Submitted

in fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JULY 2024

Dedicated to my Parents and Wife

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled "**Integrated Hydrologic Modelling using Geospatial Technology for Assessing Impacts of Climate Change and Land Use Change on Water Resources in Koyna River Basin**" submitted by **Mr. LANDAGE AMARSINH BABANRAO** to Indian Institute of Technology Delhi for the award of **Doctor of Philosophy** is a record of bonafide research work conducted by him. He carried out the work under my supervision for the submission of this thesis, which to the best of my knowledge has reached the required standard.

This Ph.D. thesis is original and has not been presented elsewhere for the award of any degree.

Dr. Ashok K. Keshari
Professor,
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi, 110016, India

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere heartfelt thanks and deepest gratitude to my supervisor Prof. Ashok K. Keshari for his genuine help, consistent advice and invaluable guidance throughout the process of completing this dissertation. I very much appreciate his kindness, helpful guidance, encouragement and understanding. I would also like to thank Research Committee (SRC) Members Prof. Ramachandra Rao Kalaga (Chairman), Prof. B. R. Chahar (Departmental Expert) and Prof. S. Chandra Sekhara Rao (concerned area expert) for their valuable comments and suggestions to my research.

I am thankful to Government College of Engineering Karad for giving the study leave. I thankfully acknowledge the Koyna Dam Authority, Indian Meteorological Department and Central Water Commission for providing the necessary data and information for this study.

Finally, I owe heartfelt thanks to my parents and family members for their patience, understanding and tolerance for all the inconvenience during my absence.

LANDAGE AMARSINH BABANRAO

ABSTRACT

Water resources play a crucial role in fostering sustainable socioeconomic development within the region. However, the challenge of water scarcity is aggravated by factors such as rapid population growth, expanding economic activities, and human interventions. The escalating concerns regarding water security and hydrological extremes are not confined to local regions but have evolved into global issues. Hence, there is an urgent need to examine the susceptibility of catchment areas to the dual impacts of climate change and evolving land use patterns. Climate change and alterations in land use are significant global challenges, profoundly affecting the environment. The escalation in greenhouse gas emissions is driving climate change, causing shifts in the distribution of water resources and significantly altering hydrological cycles on both local and global scales. Consequently, climate change disrupts the timing, magnitude, and patterns of runoff, potentially resulting in heightened flood risks to agricultural lands, properties, and human lives. Furthermore, the combined effects of climate change and land-use modifications possess the potential to dramatically alter natural resource dynamics. The hydrological implications resulting from climate change and human interventions can be best evaluated with the help of hydrological models. The hydrological models have played a crucial role in evaluating water availability and formulating effective water management policies over an extended period.

The present study aims to develop an integrated modelling framework for an improved understanding of the hydrological response of the catchment in changing climate and landscape and to assess the impacts of spatially and temporally dynamic patterns of land use and land cover and climate change on the hydrology of the river basin. The objectives of this study encompass the development of an integrated modeling framework, which merges a hydrological model, climate model, and remote sensing techniques. Additionally, it aims to quantify Land Use and Land Cover (LULC) changes using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing methods. The research delves into analyzing the spatio-temporal and seasonal variations in climate parameters, focusing on rainfall and temperature. Furthermore, it seeks to assess the suitability of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrological model in simulating rainfall-runoff dynamics. The study also evaluates the performance of various regional climate models for precise climate prediction. Lastly, it investigates the impacts of both climate and LULC changes on the hydrological regime within the river basin.

The methodology employed in the present study integrates various techniques to comprehensively assess the cumulative impacts of climate change and land use land cover (LULC) changes on the hydrological regime of a river basin. The approach involves combination of the hydrological model ArcSWAT, remote sensing, and a regional climate model within an integrated hydrological modeling framework to evaluate the effects of land use land cover (LULC) changes and climate variability on river basins hydrology.

The runoff simulation was carried using observed runoff data of 38 years, from 1979 to 2016. The model has performed very well in simulating runoff with statistical metrics consisting of NSE values of 0.75 during calibration and 0.84 during validation, R^2 values of 0.72 and 0.84 for calibration and validation, respectively. The percent bias (PBIAS) values of -24.80 for calibration and -19.10 for validation, the p-factor values 0.88 and 0.78 for calibration and validation, respectively, and the r-factor values of 1.12 for calibration and 0.96 for validation. The sensitivity analysis reveals that the ALPHA_BF, CN2 and SOL_AWC parameters were the most sensitive to streamflow and groundwater recharge.

The land use and land cover (LULC) derived from satellite imageries show significant changes for the study area from 1996 to 2016. There was a modest increase in crop land (1.74%) indicating changes in agricultural activities. The substantial growth of 2.53% is observed in built-up land indicating urbanization and infrastructure development. Forest cover decreased by 1.45%, and shrubland experienced a significant decline (4.39%), suggesting deforestation for agriculture and development activities. Water bodies increased by 1.69%, potentially due to changes in hydrological conditions and improved land management practices.

The spatio temporatl variability analysis of climate parameters reveals that highly concentrated precipitation occurring within a few months each year, rather than a uniform monthly distribution. There is highly non-uniform distribution of precipitation over time. The rainfall deviation analysis from the average rainfall indicates that 68 % of the yearly rainfall is within the normal. The annual rainfall analysis for duration from 1961 to 2016 exhibits variations around the average rainfall of 3372.45 mm. There is noticeable variability in annual rainfall, with values ranging from as low as 2310.31 mm to as high as 5009.16 mm. The entire period demonstrates a significant range of rainfall variability, with a standard deviation indicating fluctuating around a central mean value.The monsoon and non-monsoon rainfall show diverse trends across different decades. The analysis of monthly rainfall distribution

indicates that approximately 95% of the annual rainfall occurs during the monsoon season. The temperature analysis reveals significant daily and seasonal fluctuations across nearly five decades, with clear distinctions between warmer summers and cooler winters. The range for both Tmax and Tmin indicated substantial variability, emphasizing extremes from 13.60°C to 37.60°C and 6.00°C to 25.30°C, respectively. The analysis reveals a slight upward trend in both the daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperatures over the decades, aligning with global patterns of climate change that suggest a warming climate.

The different climate models namely, CCCma-CanESM2, NOAA-GFDL-ESM2M, CNRM-CM5, MPI-M-MPI-ESM-MR, IPSL-CM5A-LR, and CSIRO-Mk3.6 were evaluated based on statistical performance parameters to find the best climate model representing the Koyna river basin. A bias correction procedure are used to minimize the discrepancy between observed and simulated variables on the daily time step. Among these evaluated climate models, the CNRM-CM5 model exhibited a better performance in representing the study area's climate showing relative error, mean error, mean absolute error, mean squared error and root mean squared error of 0.066, 42.57, 159.3, 57611.7 and 240.02, respectively. Future projections indicate a notable rise in average monthly rainfall, especially by the end of century. Across the catchment area, monthly average rainfall is expected to surpass the base period for both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Climate change is evidently causing significant alterations in precipitation patterns, although the changes in rainfall remain within a 10% margin during the monsoon period. The overall projected increase in annual mean maximum temperature is 1.64°C and 2.76°C under the RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios, respectively. Furthermore, the projections indicate that the warming trend is more noticeable towards the end century. This indicates a progressive warming trend throughout the study period.

The climate impact analysis revealed increases in runoff across various time horizons of early, mid and end centuries, particularly during the monsoon season, under both RCP scenarios. The projected increases in rainfall and temperature for future scenarios have significant implications on hydrological processes. The rise in rainfall contributes to an increasing trend in runoff. Additionally, the higher temperatures lead to increased evapotranspiration rates. The combination of increased rainfall, and evapotranspiration influences the recharge rate of groundwater systems and runoff generation in the catchment. Runoff, evapotranspiration and recharge are equally affected by climate as well as land use changes. The effect of land use and climate change on evapotranspiration and recharge are observed to be more prominent in the study area. The findings underscore the pronounced

impacts of these changes on runoff, evapotranspiration, and recharge within the Koyna basin, reflecting the intricate interplay between land use patterns and climatic factors.

By employing an integrated hydrological modeling approach, this study provides valuable insights into the future impacts of climate change and LULC changes on the hydrology of the Koyna river basin. The study reveals that the Koyna river basin would face more runoff in the future, and average flows are supposed to increase in monsoon. The maximum temperature, minimum temperature, and precipitation peak will also tend to increase in the future.

The findings contribute to the broader knowledge of sustainable water resource management, providing a basis for informed decision-making in the face of climate variability and landscape changes. These findings are particularly beneficial for water resource managers and decision-makers, equipping them with essential information to devise strategies aimed at minimizing the adverse effects of climate and land-use transformations within the catchment area.

Keywords: Climate change, Hydrological modelling, Koyna river basin, Land use land cover change, Remote Sensing

सारांश

जल संसाधन क्षेत्र के भीतर सतत सामाजिक-आर्थिक विकास को बढ़ावा देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। हालाँकि, पानी की कमी की चुनौती तेजी से बढ़ती जनसंख्या, आर्थिक गतिविधियों का विस्तार और मानवीय हस्तक्षेप जैसे कारकों से और भी बढ़ जाती है। जल सुरक्षा और हाइड्रोलॉजिकल चरम सीमाओं के बारे में बढ़ती चिंताएँ स्थानीय क्षेत्रों तक ही सीमित नहीं हैं, बल्कि वैश्विक मुद्दों में बदल गई हैं। इसलिए, जलवायु परिवर्तन और विकसित हो रहे भूमि उपयोग पैटर्न के दोहरे प्रभावों के लिए जलग्रहण क्षेत्रों की संवेदनशीलता की जाँच करने की तत्काल आवश्यकता है। जलवायु परिवर्तन और भूमि उपयोग में परिवर्तन महत्वपूर्ण वैश्विक चुनौतियाँ हैं, जो पर्यावरण को गहराई से प्रभावित कर रही हैं। ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन में वृद्धि जलवायु परिवर्तन को बढ़ावा दे रही है, जिससे जल संसाधनों के वितरण में बदलाव हो रहा है और स्थानीय और वैश्विक दोनों स्तरों पर हाइड्रोलॉजिकल चक्रों में महत्वपूर्ण बदलाव हो रहा है। नतीजतन, जलवायु परिवर्तन अपवाह के समय, परिमाण और पैटर्न को बाधित करता है, जिसके परिणामस्वरूप संभावित रूप से कृषि भूमि, संपत्तियों और मानव जीवन के लिए बाढ़ का खतरा बढ़ जाता है। इसके अलावा, जलवायु परिवर्तन और भूमि-उपयोग संशोधनों के संयुक्त प्रभावों में प्राकृतिक संसाधन गतिशीलता को नाटकीय रूप से बदलने की क्षमता है। जलवायु परिवर्तन और मानवीय हस्तक्षेपों के परिणामस्वरूप होने वाले जल विज्ञान संबंधी प्रभावों का सबसे अच्छा मूल्यांकन जल विज्ञान संबंधी मॉडलों की मदद से किया जा सकता है। जल विज्ञान संबंधी मॉडलों ने लंबे समय तक जल उपलब्धता का मूल्यांकन करने और प्रभावी जल प्रबंधन नीतियों को तैयार करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है।

वर्तमान अध्ययन का उद्देश्य जलवायु और परिदृश्य में परिवर्तन के कारण जलग्रहण क्षेत्र की जल विज्ञान संबंधी प्रतिक्रिया की बेहतर समझ के लिए एक एकीकृत मॉडलिंग ढांचा विकसित करना और नदी बेसिन के जल विज्ञान पर भूमि उपयोग और भूमि आवरण और जलवायु परिवर्तन के स्थानिक और लौकिक रूप से गतिशील पैटर्न के प्रभावों का आकलन करना है। इस अध्ययन के उद्देश्यों में एक एकीकृत मॉडलिंग ढांचे का विकास शामिल है, जो एक जल विज्ञान मॉडल, जलवायु मॉडल और रिमोट सेंसिंग तकनीकों को मिलाता है। इसके अतिरिक्त, इसका उद्देश्य भौगोलिक सूचना प्रणाली (GIS) और रिमोट सेंसिंग विधियों का उपयोग करके भूमि उपयोग और भूमि आवरण (LULC) परिवर्तनों को मापना है। शोध में वर्षा और तापमान पर ध्यान केंद्रित करते हुए जलवायु मापदंडों में स्थानिक-लौकिक और मौसमी विविधताओं का विश्लेषण किया गया है। इसके अलावा, यह वर्षा-अपवाह गतिशीलता का अनुकरण करने में मृदा और जल मूल्यांकन उपकरण (SWAT) जल विज्ञान मॉडल की उपयुक्तता का आकलन करना

चाहता है। अध्ययन में सटीक जलवायु पूर्वानुमान के लिए विभिन्न क्षेत्रीय जलवायु मॉडलों के प्रदर्शन का भी मूल्यांकन किया गया है। अंत में, यह नदी बेसिन के भीतर हाइड्रोलॉजिकल व्यवस्था पर जलवायु और LULC परिवर्तनों के प्रभावों की जांच करता है।

वर्तमान अध्ययन में नियोजित कार्यप्रणाली एक नदी बेसिन के हाइड्रोलॉजिकल शासन पर जलवायु परिवर्तन और भूमि उपयोग भूमि कवर (LULC) परिवर्तनों के संचयी प्रभावों का व्यापक रूप से आकलन करने के लिए विभिन्न तकनीकों को एकीकृत करती है। दृष्टिकोण में नदी बेसिन जल विज्ञान पर भूमि उपयोग भूमि कवर (LULC) परिवर्तनों और जलवायु परिवर्तनशीलता के प्रभावों का मूल्यांकन करने के लिए एक एकीकृत हाइड्रोलॉजिकल मॉडलिंग ढांचे के भीतर हाइड्रोलॉजिकल मॉडल ArcSWAT, रिमोट सेंसिंग और एक क्षेत्रीय जलवायु मॉडल का संयोजन शामिल है।

अपवाह सिमुलेशन 1979 से 2016 तक 38 वर्षों के देखे गए अपवाह डेटा का उपयोग करके किया गया था। मॉडल ने अंशांकन के दौरान 0.75 के एनएसई मूल्यों और सत्यापन के दौरान 0.84, अंशांकन और सत्यापन के लिए क्रमशः 0.72 और 0.84 के आर 2 मूल्यों वाले सांख्यिकीय मेट्रिक्स के साथ अपवाह का अनुकरण करने में बहुत अच्छा प्रदर्शन किया है। प्रतिशत पूर्वाग्रह (PBIAS) मान अंशांकन के लिए -24.80 और सत्यापन के लिए -19.10, पी-फैक्टर मान अंशांकन और सत्यापन के लिए क्रमशः 0.88 और 0.78, और आर-फैक्टर मान अंशांकन के लिए 1.12 और सत्यापन के लिए 0.96 हैं। संवेदनशीलता विश्लेषण से पता चलता है कि ALPHA_BF, CN2 and SOL_AWC पैरामीटर स्ट्रीमफ्लो और भूजल पुनर्भरण के लिए सबसे अधिक संवेदनशील थे।

उपग्रह चित्रों से प्राप्त भूमि उपयोग और भूमि आवरण (LULC) 1996 से 2016 तक अध्ययन क्षेत्र के लिए महत्वपूर्ण परिवर्तन दर्शाते हैं। फसल भूमि में मामूली वृद्धि (1.74%) हुई, जो कृषि गतिविधियों में परिवर्तन को दर्शाता है। निर्मित भूमि में 2.53% की पर्याप्त वृद्धि देखी गई, जो शहरीकरण और बुनियादी ढांचे के विकास को दर्शाता है। वन आवरण में 1.45% की कमी आई, और झाड़ीदार भूमि में महत्वपूर्ण गिरावट (4.39%) देखी गई, जो कृषि और विकास गतिविधियों के लिए वनों की कटाई का संकेत देती है। जल निकायों में 1.69% की वृद्धि हुई, जो संभवतः जल विज्ञान स्थितियों में परिवर्तन और बेहतर भूमि प्रबंधन प्रथाओं के कारण हुई।

जलवायु मापदंडों के स्थानिक-समय परिवर्तनशीलता विश्लेषण से पता चलता है कि एक समान मासिक वितरण के बजाय, प्रत्येक वर्ष कुछ महीनों के भीतर अत्यधिक केंद्रित वर्षा होती है। समय के साथ वर्षा का अत्यधिक असमान वितरण होता है। औसत वर्षा से वर्षा विचलन विश्लेषण इंगित करता है कि वार्षिक वर्षा का 68% सामान्य के भीतर है। 1961 से 2016 की अवधि के लिए वार्षिक वर्षा विश्लेषण

3372.45 मिमी की औसत वर्षा के आसपास भिन्नता प्रदर्शित करता है। वार्षिक वर्षा में उल्लेखनीय परिवर्तनशीलता है, जिसका मान 2310.31 मिमी से लेकर 5009.16 मिमी तक है। संपूर्ण अवधि वर्षा में महत्वपूर्ण परिवर्तनशीलता को प्रदर्शित करती है, जिसमें मानक विचलन एक केंद्रीय औसत मूल्य के आसपास उतार-चढ़ाव को दर्शाता है। मानसून और गैर-मानसूनी वर्षा विभिन्न दशकों में विविध प्रवृत्तियाँ दर्शाती है। संकेत देता है कि लगभग 95% वार्षिक वर्षा मानसून के मौसम में होती है। तापमान विश्लेषण से लगभग पांच दशकों में महत्वपूर्ण दैनिक और मौसमी उतार-चढ़ाव का पता चलता है, जिसमें गर्म गर्मियों और ठंडी सर्दियों के बीच स्पष्ट अंतर होता है। Tmax और Tmin दोनों के लिए सीमा ने पर्याप्त परिवर्तनशीलता का संकेत दिया, जो क्रमशः 13.60 डिग्री सेल्सियस से 37.60 डिग्री सेल्सियस और 6.00 डिग्री सेल्सियस से 25.30 डिग्री सेल्सियस तक चरम पर जोर देती है। विश्लेषण से दशकों में दैनिक अधिकतम (Tmax) और न्यूनतम (Tmin) दोनों तापमानों में मामूली ऊपर की ओर प्रवृत्ति का पता चलता है, जो जलवायु परिवर्तन के वैश्विक पैटर्न के साथ संरेखित होता है जो एक गर्म जलवायु का सुझाव देता है।

कोयना नदी बेसिन का प्रतिनिधित्व करने वाले सर्वोत्तम जलवायु मॉडल को खोजने के लिए विभिन्न जलवायु मॉडल, CCCma-CanESM2, NOAA-GFDL-ESM2M, CNRM-CM5, MPI-M दैनिक समय कदम पर देखे गए और नकली चर के बीच विसंगति को कम करने के लिए एक पूर्वाग्रह सुधार प्रक्रिया का उपयोग किया जाता है। इन मूल्यांकित जलवायु मॉडलों में, CNRM-CM5 मॉडल ने अध्ययन क्षेत्र की जलवायु का प्रतिनिधित्व करने में बेहतर प्रदर्शन किया, जिसमें सापेक्ष त्रुटि, माध्य त्रुटि, माध्य निरपेक्ष त्रुटि, माध्य वर्ग त्रुटि और मूल माध्य वर्ग त्रुटि क्रमशः 0.066, 42.57, 159.3, 57611.7 और 240.02 दिखाई गई। भविष्य के अनुमान औसत मासिक वर्षा में उल्लेखनीय वृद्धि का संकेत देते हैं, विशेष रूप से सदी के अंत तक। पूरे जलग्रहण क्षेत्र में, मासिक औसत वर्षा RCP4.5 और RCP8.5 दोनों परिदृश्यों के लिए आधार अवधि को पार करने की उम्मीद है। जलवायु परिवर्तन स्पष्ट रूप से वर्षा के पैटर्न में महत्वपूर्ण परिवर्तन कर रहा है, हालांकि मानसून अवधि के दौरान वर्षा में परिवर्तन 10% मार्जिन के भीतर रहता है। RCP4.5 और RCP8.5 उत्सर्जन परिदृश्यों के तहत वार्षिक औसत अधिकतम तापमान में कुल अनुमानित वृद्धि क्रमशः 1.64 डिग्री सेल्सियस और 2.76 डिग्री सेल्सियस है। इसके अलावा, अनुमानों से संकेत मिलता है कि सदी के अंत में वार्मिंग की प्रवृत्ति अधिक ध्यान देने योग्य है। यह अध्ययन अवधि के दौरान एक प्रगतिशील वार्मिंग प्रवृत्ति को इंगित करता है।

जलवायु प्रभाव विश्लेषण से पता चला है कि दोनों RCP परिदृश्यों के तहत, विशेष रूप से मानसून के मौसम के दौरान, शुरुआती, मध्य और अंत शताब्दियों के विभिन्न समय क्षितिजों में अपवाह में वृद्धि

हुई है। भविष्य के परिदृश्यों के लिए वर्षा और तापमान में अनुमानित वृद्धि का जल विज्ञान प्रक्रियाओं पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। वर्षा में वृद्धि अपवाह में वृद्धि की प्रवृत्ति में योगदान करती है। इसके अतिरिक्त, उच्च तापमान से वाष्पोत्सर्जन दर में वृद्धि होती है। बढ़ी हुई वर्षा और वाष्पोत्सर्जन का संयोजन भूजल प्रणालियों की पुनर्भरण दर और जलग्रहण क्षेत्र में अपवाह उत्पादन को प्रभावित करता है। अपवाह, वाष्पोत्सर्जन और पुनर्भरण जलवायु के साथ-साथ भूमि उपयोग परिवर्तनों से समान रूप से प्रभावित होते हैं । कोयना बेसिन के भीतर अपवाह, वाष्पोत्सर्जन और पुनर्भरण पर इन परिवर्तनों के प्रभाव, भूमि उपयोग पैटर्न और जलवायु कारकों के बीच जटिल परस्पर क्रिया को दर्शाते हैं।

एकीकृत हाइड्रोलॉजिकल मॉडलिंग दृष्टिकोण को नियोजित करके, यह अध्ययन कोयना नदी बेसिन के जल विज्ञान पर जलवायु परिवर्तन और LULC परिवर्तनों के भविष्य के प्रभावों के बारे में मूल्यवान अंतर्दृष्टि प्रदान करता है। अध्ययन से पता चलता है कि कोयना नदी बेसिन को भविष्य में अधिक अपवाह का सामना करना पड़ेगा, और मानसून में औसत प्रवाह में वृद्धि होने की उम्मीद है। अधिकतम तापमान, न्यूनतम तापमान और वर्षा का शिखर भी भविष्य में बढ़ने की प्रवृत्ति रखेगा।

निष्कर्ष स्थायी जल संसाधन प्रबंधन के व्यापक ज्ञान में योगदान करते हैं, जो जलवायु परिवर्तनशीलता और परिदृश्य परिवर्तनों का सामना करने के लिए सूचित निर्णय लेने का आधार प्रदान करते हैं। ये निष्कर्ष जल संसाधन प्रबंधकों और निर्णयकर्ताओं के लिए विशेष रूप से फायदेमंद हैं, जो उन्हें जलग्रहण क्षेत्र के भीतर जलवायु और भूमि-उपयोग परिवर्तनों के प्रतिकूल प्रभावों को कम करने के उद्देश्य से रणनीति तैयार करने के लिए आवश्यक जानकारी से लैस करते हैं।

कीवर्ड: जलवायु परिवर्तन, जल विज्ञान मॉडलिंग, कोयना नदी बेसिन, भूमि उपयोग भूमि आवरण परिवर्तन, रिमोट सेंसिंग

C O N T E N T S

		Page
CERTIFICATE		i
ACKNOWLEDGEMENT		ii
ABSTRACT		iii
LIST OF FIGURES		xiv
LIST OF TABLES		xvii
ABBREVIATIONS		xviii
1. INTRODUCTION		**1-8**
1.1	Background	1
1.2	Investigating Land Use Land Cover	2
1.3	Assessing Climate Change Impacts	3
1.4	Research Motivation and Hypothesis	5
1.5	Objectives of the Present Study	7
1.6	Organization of the Thesis	7
2. LITERATURE REVIEW		**9-57**
2.1	Application of Remote Sensing and GIS in Water Resources	9
2.2	Assessing Variability of Climate Parameters	19
2.3	Hydrological Modeling for Assessing Climate Change Impacts	27
2.4	Concluding Remarks	55
3. STUDY AREA AND DATA USED		**58-77**
3.1	Geographical Location and Communication Link	58
3.2	Drainage and Hydrology	60
3.3	Physiography, Sahyadris and River Valley	62
3.4	Climate	65
3.5	Geology and Soil	66
3.6	Demographic and Industrial Development Activities	69
3.7	Agriculture and Animal Husbandry	70
3.8	Data Used in Present Study	71
3.9	Rationale for Choosing Study Area	76

4. METHODOLOGY **78-102**

4.1 Introduction 78

4.2 Integrated Hydrological Modelling Framework 79

4.2.1 Land Use Land Cover Change Analysis 81

4.2.2 Spatiotemporal Variability of Climate Parameters 86

4.2.3 Rainfall-Runoff Modelling using SWAT 87

4.2.4 Assessing Impacts of Climate and LULC Change on Hydrology 97

5. RESULTS AND DISCUSSION **103-196**

5.1 Spatiotemporal Dynamics of LULC Using Remote Sensing & GIS 104

5.1.1 Accuracy Assessment 108

5.2 Spatiotemporal and Seasonal Variability of Climate Parameters 110

5.2.1 Frequency of Rainfall Departure from Normal 112

5.2.2 Annual and Decadal Rainfall Variability 114

5.2.3 Variability of Monsoon Rainfall 123

5.2.4 Variability of Non-Monsoon Rainfall 131

5.2.5 Monthly Rainfall Variability 138

5.2.6 Temperature Variability 139

5.3 Rainfall-Ruoff Simulation for Koyna River Basin 149

5.3.1 DEM and Delineated Watershed 150

5.3.2 Spatial Variation of Soil 152

5.3.3 Spatial Variation of Slope 153

5.3.4 Ruoff Simulation 154

5.3.5 Model Performance 161

5.3.6 Hydrological Components 167

5.4 Obtaining Best Climate Model for the Study Area 169

5.5 Predicted Monthly Rainfall Under Climate Change Scenarios 171

5.6 Predicted Monthly Temperature Under Climate Change Scenarios 173

5.6.1 Temperature Projections under RCP4.5 173

5.6.2 Temperature Projections under RCP8.5 177

5.7 Impact of Climate Change and Land Use Land Cover on Hydrological Regime 180

5.7.1 Impact of Climate Change and LULC on Streamflow 181

5.7.2 Impact of Climate Change and LULC on Evapotranspiration 186
5.7.3 Impact of Climate Change and LULC on Recharge 191
5.7.4 Comparative Analysis of LULC and Climate Change Implications in Nearby or Adjoining Basins 195

6. SUMMARY AND CONCLUSIONS 197-206
6.1 Summary 197
6.2 Conclusions 201
6.3 Limitations and Scope for Future Study 205

References 207-227
List of Publications 228
About the Author 229

List of Figures

Figure No.	Description	Page
Figure 3.1	Study Area Showing Koyna River Basin and its Location in Maharashtra State, India	59
Figure 3.2	Digital Elevation Model for Koyna River Basin	63
Figure 3.3	Slope Map for Koyna River Basin	64
Figure 3.4	Soil Map for Koyna River Basin	69
Figure 3.5	Location of Hydro-Meteorological Stations	74
Figure 4.1	Flow Chart of the Integrated Hydrological Modelling Framework	80
Figure 4.2	Flow Chart for Land Use Land Cover Change Analysis	81
Figure 4.3	SWAT Modelling Framework	88
Figure 4.4	Flow Chart for Assessing Impacts of LULC and Climate Change	97
Figure 5.1	Land Use Land Cover Map for (a) 1996 and (b) 2016	104
Figure 5.2	Change in Land Use and Land Cover from 1996 to 2016	106
Figure 5.3	Annual Variation of Precipitation Concentration Index in Koyna Basin	111
Figure 5.4	Frequency of Rainfall Departure from Normal	113
Figure 5.5	Annual and Decadal Variation of Rainfall in the Study Area (a)1961-2016, (b) 1961-1970, (c) 1971-1980, (d) 1981-1990, (e) 1991-2000, (f) 2001-2016	116
Figure 5.6	Annual and Decadal Variation of Monsoon Rainfall in the Study Area (a)1961-2016, (b) 1961-1970, (c) 1971-1980, (d) 1981-1990, (e) 1991-2000, (f) 2001-2016	125

Figure 5.7	Annual and Decadal Variation of Non-Monsoon Rainfall in the Study Area (a)1961-2016, (b) 1961-1970, (c) 1971-1980, (d) 1981-1990, (e) 1991-2000, (f) 2001-2016	133
Figure 5.8	Variation of Monthly Rainfall in the Study Area	138
Figure 5.9	Variation of Daily Maximum Temperature in the Study Area	139
Figure 5.10	Variation of Daily Minimum Temperature in the Study Area	141
Figure 5.11	Variation of Daily Average Temperature in the Study Area	141
Figure 5.12	Variation of Monthly Average Daily Temperature during Various Time Periods in the Study Area (a)1969-2016, (b) 1969-1970, (c) 1971-1980, (d) 1981-1990, (e) 1991-2000, (f) 2001-2016	147
Figure 5.13	Delineated Watershed for Koyna River Basin	152
Figure 5.14	Hydrologic Response Unit	155
Figure 5.15	Model Performance during the Calibration Period (1984–2000) for the Study Area	159
Figure 5.16	Model Performance during the Validation Period (2001-2016) for the Study Area	160
Figure 5.17	Correlation between Observed and Simulated Runoff for Calibration Period	164
Figure 5.18	Correlation between Observed and Simulated Runoff for Validation Period	165
Figure 5.19	Monthly Variations of Hydrological Components	167
Figure 5.20	Monthly Variations in Rainfall under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios	171
Figure 5.21	Percentage Change in Monthly Rainfall under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios	172
Figure 5.22	Monthly Variations of Projected Temperature under RCP 4.5	174
Figure 5.23	Monthly Variations of Projected Temperature under RCP 8.5	177

Figure 5.24	Streamflow Variation under Climate Change with 1996 LULC	181
Figure 5.25	Streamflow Variations under Climate Change with 2016 LULC	182
Figure 5.26	Change in Streamflow under Climate and LULC Changes	184
Figure 5.27	Evapotranspiration Variation under Climate Change with 1996 LULC	187
Figure 5.28	Evapotranspiration Variations under Climate Change for 2016 LULC	188
Figure 5.29	Change in Evapotranspiration under Climate and LULC Changes	189
Figure 5.30	Recharge Variation under Climate Change with 1996 LULC	191
Figure 5.31	Recharge Variation under Climate Change with 2016 LULC	192
Figure 5.32	Change in Recharge Variations under Climate and LULC Change	194

List of Tables

Table No.	Description	Page
Table 3.1	Demographic Description of the Study Area	70
Table 3.2	Data Sets Used for the Study Area	72
Table 4.1	Frequency of Rainfall Departures from the Normal	87
Table 4.2	Model Performance Evaluation Criteria	96
Table 4.3	CORDEX South Asia RCM Models Used in the Present Study	98
Table 5.1	Area Statistics for Land Use Land Cover Classes	105
Table 5.2	Accuracy Assessment of the LULC Classification	108
Table 5.3	Statistical Parameters of Annual Rainfall	120
Table 5.4	Statistical Parameters of Monsoon Rainfall	128
Table 5.5	Statistical Parameters of Annual Non Monsoon Rainfall	136
Table 5.6	Statistical Parameters of Temperature	143
Table 5.7	Sensitivity Analysis	157
Table 5.8	Values of Model Performance Indicators	162
Table 5.9	Performance Indices of Climate Models for the Study Area	169
Table 5.9	LULC and Climate Change Impact on Surface Runoff under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios	196

List of Abbreviations

CMhyd	Climate Model data for hydrologic modeling
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
DEM	Digital Elevation Model
HRU	Hydrological Response Unit
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
RCP	Representative Concentration Pathway
SWAT	Soil and Water Assessment Tool