

ABSTRACT

Water resource systems play a major role in human wellbeing. The hydrologic changes resulting from climate change will affect the planning, design, and operation of water resource systems. Developing water schemes based on present conditions without considering possible future changes could increase water resource pressure in the future period. Therefore, it is of utmost importance to consider these changes in the future design and management of water supply systems. To comprehend the impact of climate change on water resource management, a comprehensive modelling framework that considered both hydrological responses and reservoir operation was indispensable. In this regard, Malampuzha reservoir system in Palakkad district of Kerala was selected to evaluate the impact of climate change on reservoir and its performance.

To select the suitable climate model for the study, the performance of 15 CMIP6 GCMs in precipitation, maximum and minimum temperature was compared to the observed data of Malampuzha for the period 1990-2014 with the help of Compromise Programming (CP) that involves metrics such as R^2 , PBIAS, NSE and NRMSE. The results of the CP analyses of the statistical metrics suggests that CNRM-CN6-1 model for precipitation and MRI-ESM2-0 model for maximum and minimum temperature are the suitable models for Malampuzha region. Different bias correction techniques were applied to improve the raw predictions of GCMs. Power Transformation (PT) for precipitation and Variance Scaling (VS) technique for temperature has shown superiority over other techniques. Three future scenarios were considered in this study from CMIP6 Shared Socioeconomic Pathways (SSP126, SSP245 and SSP585). Selected bias correction techniques were applied to the future period to get bias corrected future climate variables.

Rainfall-runoff modelling was chosen to predict reservoir inflow. Three hydrological models (IHACRES, SWAT and HECHMS) and Machine Learning (ML) models such as ANN, SVM, RF, and Wavelet coupled models were compared and Wavelet coupled RF (WRF) model was selected because of its greater accuracy and was used to simulate future reservoir inflow under different SSPs. CROPWAT model was used to estimate the irrigation water requirement for baseline and future periods. Land use change analysis of Malampuzha reservoir command area was done with the

help of MOLUSE plugin of QGIS. Optimization program was developed by considering all the necessary constraints with the objective of minimizing squared relative deficiency in water allocation. Optimal water allocation was derived from the developed optimization technique using genetic algorithm for baseline and future periods. Reservoir performance indices such as Reliability, Vulnerability, resiliency and sustainability were calculated and compared for both timelines. Climate change impact on reservoir performance is evaluated.

Selected GCM models predicted an increase in average annual maximum temperature (from 0.23°C in near future to 3.26°C in far future), an increase in average annual minimum temperature (from 0.62°C in near future to 3.12°C in far future) and decrease in average annual precipitation (2.73% in near future to 10.89% in far future) in the future compared with the base period. The LULC changes indicate a shift towards urbanization and plantation expansion, with a concurrent decline in agricultural lands (2425 ha (14%) reduction by the end of the century) and water bodies. Because of an increase in crop water demand of 11.7% and decrease in reservoir inflow of 27.3%, the amount of water allocation under optimal reservoir management conditions was less than the demand. The command area water demand will not be met by the reservoir for far futures of SSP245 and SSP585 scenarios because of more increase in temperature (3.26°C) and erratic behavior of precipitation which indicates the impact of climate change. A suitable optimization technique using genetic algorithm was developed which can be used for deriving the best operation policy for the Malampuzha reservoir in future. The observed decline in reliability and resiliency along with a notable increase in vulnerability from 0.028% to 9.47%, emphasizes the substantial challenges that climate change imposes on reservoir operation. These findings highlight the urgent requirement of climate-resilient management strategies to ensure the long-term sustainability of reservoir in the far future.

കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനത്തിന്റെ ആഘാതം, ഒരു
റിസർവോയർ മെഷീൻ ലേണിംഗ് ടെക്നിക്കുകൾ
ഉപയോഗിക്കുന്നതിന്റെ പ്രവർത്തന നയത്തിലും പ്രകടന
സൂചകങ്ങളിലും.

എഴുതിയത്
എർ. വിനയകോട്ട യേശുബാബു
(2020-28-002)
അസ്ട്രോക്റ്റ്

ബിരുദത്തിനുള്ള ആവശ്യകത ഭാഗികമായി
നിറവേറ്റുന്നതിനായി സമർപ്പിച്ചു.

യുടെ
ഡോക്ടർ ഓഫ് ഫിലോസഫി
എ.ടി
കാർഷിക എഞ്ചിനീയറിംഗ്
(മണ്ണ്, ജല സംരക്ഷണ എഞ്ചിനീയറിംഗ്)
കാർഷിക എഞ്ചിനീയറിംഗ് ആൻഡ് ടെക്നോളജി
ഫാക്കൽറ്റി
കേരള കാർഷിക സർവകലാശാല



മണ്ണ്, ജല സംരക്ഷണ എഞ്ചിനീയറിംഗ് വകുപ്പ്
കേളപ്പജി കോളേജ് ഓഫ് അഗ്രികൾച്ചറൽ
എഞ്ചിനീയറിംഗ് ആൻഡ് ഫുഡ് ടെക്നോളജി
തവനൂർ, മലപ്പുറം -679573
കേരളം, ഇന്ത്യ

2025

അബ്സ്ട്രാക്റ്റ്

മനുഷ്യന്റെ ക്ഷേമത്തിൽ ജലവിഭവ സംവിധാനങ്ങൾ ഒരു പ്രധാന പങ്ക് വഹിക്കുന്നു. കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനത്തിന്റെ ഫലമായുണ്ടാകുന്ന ജലവൈദ്യുത മാറ്റങ്ങൾ ജലവിഭവ സംവിധാനങ്ങളുടെ ആസൂത്രണം, രൂപകൽപ്പന, പ്രവർത്തനം എന്നിവയെ ബാധിക്കും. ഭാവിയിലെ സാധ്യമായ മാറ്റങ്ങൾ പരിഗണിക്കാതെ നിലവിലെ സാഹചര്യങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാക്കി ജലപദ്ധതികൾ വികസിപ്പിക്കുന്നത് ഭാവിയിൽ ജലവിഭവ സമ്മർദ്ദം വർദ്ധിപ്പിക്കും. അതിനാൽ, ജലവിതരണ സംവിധാനങ്ങളുടെ ഭാവി രൂപകൽപ്പനയിലും മാനേജ്മെന്റിലും ഈ മാറ്റങ്ങൾ പരിഗണിക്കേണ്ടത് അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്. ജലവിഭവ മാനേജ്മെന്റിൽ കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനത്തിന്റെ സ്വാധീനം മനസ്സിലാക്കുന്നതിന്, ജലവൈദ്യുത പ്രതികരണങ്ങളും റിസർവോയർ പ്രവർത്തനവും പരിഗണിക്കുന്ന ഒരു സമഗ്ര മോഡലിംഗ് ചട്ടക്കൂട് അനിവാര്യമായിരുന്നു. ഇക്കാര്യത്തിൽ, കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനം റിസർവോയറിലും അതിന്റെ പ്രകടനത്തിലും ചെലുത്തുന്ന സ്വാധീനം വിലയിരുത്തുന്നതിന് കേരളത്തിലെ പാലക്കാട് ജില്ലയിലെ മലമ്പുഴ റിസർവോയർ സംവിധാനത്തെ തിരഞ്ഞെടുത്തു.

പഠനത്തിന് അനുയോജ്യമായ കാലാവസ്ഥാ മാതൃക തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നതിന്, 1990-2014 കാലയളവിലെ മലമ്പുഴയുടെ നിരീക്ഷിച്ച ഡാറ്റയുമായി, മഴ, പരമാവധി, കുറഞ്ഞ താപനിലയിലെ 15 CMIP6 GCM-കളുടെ പ്രകടനം R^2 , PBIAS, NSE, NRMSE തുടങ്ങിയ മെട്രിക്സുകൾ ഉൾപ്പെടുന്ന കോംപ്രൈമെസ് പ്രോഗ്രാമിംഗ് (CP) സഹായത്തോടെ താരതമ്യം ചെയ്തു. സ്റ്റാറ്റിസ്റ്റിക്കൽ മെട്രിക്സുകളുടെ CP വിശകലനങ്ങളുടെ ഫലങ്ങൾ

സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, മഴയ്ക്കുള്ള CNRM-CN6-1 മോഡലും പരമാവധി, കുറഞ്ഞ താപനിലയ്ക്കുള്ള MRI-ESM2-0 മോഡലുമാണ് മലമ്പുഴ മേഖലയ്ക്ക് അനുയോജ്യമായ മോഡലുകൾ എന്നാണ്. GCM-കളുടെ അസംസ്കൃത പ്രവചനങ്ങൾ മെച്ചപ്പെടുത്തുന്നതിന് വ്യത്യസ്ത ബയസ് കറക്ഷൻ ടെക്നിക്കുകൾ പ്രയോഗിച്ചു. മഴയ്ക്കുള്ള പവർ ട്രാൻസ്ഫോർമേഷൻ (PT) താപനിലയ്ക്കുള്ള വേരിയൻസ് സ്കെയിലിംഗ് (VS) ടെക്നിക്കുകൾ മറ്റ് ടെക്നിക്കുകളെ അപേക്ഷിച്ച് മികവ് കാണിച്ചിട്ടുണ്ട്. CMIP6 പങ്കിട്ട സാമൂഹിക സാമ്പത്തിക പാതകളിൽ (SSP126, SSP245, SSP585) നിന്നുള്ള മൂന്ന് ഭാവി സാഹചര്യങ്ങൾ ഈ പഠനത്തിൽ പരിഗണിച്ചു. ഭാവിയിലെ കാലാവസ്ഥാ വേരിയബിളുകൾ ബയസ് ശരിയാക്കുന്നതിനായി തിരഞ്ഞെടുത്ത ബയസ് കറക്ഷൻ ടെക്നിക്കുകൾ ഭാവി കാലയളവിൽ പ്രയോഗിച്ചു.

റിസർവോയർ ഇൻഷോ പ്രവചിക്കാൻ മഴവെള്ള-റൺഓഫ് മോഡലിംഗ് തിരഞ്ഞെടുത്തു. മൂന്ന് ജലശാസ്ത്ര മോഡലുകൾ (IHACRES, SWAT, HECHMS), മെഷീൻ ലേണിംഗ് (ML) മോഡലുകളായ ANN, SVM, RF, Wavelet കമ്പിൾഡ് മോഡലുകൾ എന്നിവ താരതമ്യം ചെയ്തു, കൂടുതൽ കൃത്യത കാരണം Wavelet കമ്പിൾഡ് RF (WRF) മോഡൽ തിരഞ്ഞെടുത്തു. വ്യത്യസ്ത SSP-കൾക്ക് കീഴിൽ ഭാവിയിലെ റിസർവോയർ ഇൻഷോ അനുകരിക്കാൻ ഇത് ഉപയോഗിച്ചു. അടിസ്ഥാന, ഭാവി കാലഘട്ടങ്ങളിലെ ജലസേചന ജല ആവശ്യകത കണക്കാക്കാൻ CROPWAT മോഡൽ ഉപയോഗിച്ചു. QGIS-ന്റെ MOLUSE പ്ലഗിൻ ഉപയോഗിച്ച് മലമ്പുഴ റിസർവോയർ കമാൻഡ് ഏരിയയുടെ ഭൂവിനിയോഗ മാറ്റ വിശകലനം നടത്തി. ജല വിഹിതത്തിലെ വർഗ്ഗീകൃത ആപേക്ഷിക കുറവ് കുറയ്ക്കുക എന്ന ലക്ഷ്യത്തോടെ ആവശ്യമായ എല്ലാ നിയന്ത്രണങ്ങളും പരിഗണിച്ചാണ് ഒപ്റ്റിമൈസേഷൻ പ്രോഗ്രാം

വികസിപ്പിച്ചെടുത്തത്. അടിസ്ഥാന, ഭാവി കാലഘട്ടങ്ങൾക്കായി ജനിതക അൽഗോരിതം ഉപയോഗിച്ച് വികസിപ്പിച്ച ഒപ്റ്റിമൈസേഷൻ സാങ്കേതികതയിൽ നിന്നാണ് ഒപ്റ്റിമൽ ജല വിഹിതം ഉരുത്തിരിഞ്ഞത്. വിശ്വാസ്യത, ദുർബലത, പ്രതിരോധശേഷി, സുസ്ഥിരത തുടങ്ങിയ റിസർവോയർ പ്രകടന സൂചികകളായ രണ്ട് സമയപരിധികൾക്കും കണക്കാക്കി താരതമ്യം ചെയ്തു. റിസർവോയർ പ്രകടനത്തിൽ കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനത്തിന്റെ സ്വാധീനം വിലയിരുത്തപ്പെടുന്നു.

തിരഞ്ഞെടുത്ത GCM മോഡലുകൾ ശരാശരി വാർഷിക പരമാവധി താപനിലയിൽ വർദ്ധനവ് പ്രവചിച്ചു (മുതൽ (സമീപ ഭാവിയിൽ 0.23°C മുതൽ വിദൂര ഭാവിയിൽ 3.26°C വരെ), ഒരു ശരാശരി വാർഷിക കുറഞ്ഞ താപനിലയിലെ വർദ്ധനവ് (മുതൽ അടിസ്ഥാന കാലയളവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ സമീപഭാവിയിൽ 0.62°C മുതൽ വിദൂര ഭാവിയിൽ 3.12°C വരെ) ശരാശരി വാർഷിക മഴയിൽ (സമീപഭാവിയിൽ 2.73% മുതൽ വിദൂര ഭാവിയിൽ 10.89% വരെ) കുറവ് ഉണ്ടാകുമെന്ന് LULC മാറ്റങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു, അതേസമയം കാർഷിക ഭൂമിയിൽ (2425 ഹെക്ടർ (14%) കുറവുണ്ടായി. നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാനത്തോടെ കുറവ് ജലാശയങ്ങൾ. വിള ജലത്തിന്റെ ആവശ്യകത 11.7% വർദ്ധിച്ചതും റിസർവോയറിന്റെ വരവിൽ 27.3% കുറവും കാരണം, ഒപ്റ്റിമൽ റിസർവോയർ മാനേജ്മെന്റ് സാഹചര്യങ്ങളിൽ ജല വിഹിതത്തിന്റെ അളവ് ആവശ്യത്തേക്കാൾ കുറവായിരുന്നു. താപനിലയിലെ വർദ്ധനവ് (3.26°C), കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനത്തിന്റെ ആഘാതം സൂചിപ്പിക്കുന്ന മഴയുടെ ക്രമരഹിതമായ സ്വഭാവം എന്നിവ കാരണം SSP245, SSP585 എന്നിവയുടെ വിദൂര ഭാവികളിൽ റിസർവോയർ കമാൻഡ് ഏരിയ ജല ആവശ്യം നിറവേറ്റില്ല.

ജനിതക അൽഗോരിതം ഉപയോഗിച്ച് അനുയോജ്യമായ ഒരു ഒപ്റ്റിമൈസേഷൻ സാങ്കേതികത വികസിപ്പിച്ചെടുത്തു, ഇത് ഭാവിയിൽ മലമ്പുഴ റിസർവോയറിനായി ഏറ്റവും മികച്ച പ്രവർത്തന നയം രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കാം. വിശ്വാസ്യതയിലും പ്രതിരോധശേഷിയിലും രേഖപ്പെടുത്തിയ കുറവും 0.028% ൽ നിന്ന് 9.47% ആയി ദുർബലതയിൽ ഗണ്യമായ വർദ്ധനവും, കാലാവസ്ഥാ വ്യതിയാനം റിസർവോയർ പ്രവർത്തനത്തിൽ അടിച്ചേൽപ്പിക്കുന്ന ഗണ്യമായ വെല്ലുവിളികളെ ഊന്നിപ്പറയുന്നു. വിദൂര ഭാവിയിൽ റിസർവോയറിന്റെ ദീർഘകാല സുസ്ഥിരത ഉറപ്പാക്കുന്നതിന് കാലാവസ്ഥാ-പ്രതിരോധശേഷിയുള്ള മാനേജ്മെന്റ് തന്ത്രങ്ങളുടെ അടിയന്തിര ആവശ്യകതയെ ഈ കണ്ടെത്തലുകൾ എടുത്തുകാണിക്കുന്നു.