卡哈巴流域水文变量预测分析：融合时间序列与机器学习以提升水资源管理精度 MDPI Earth

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41633.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

卡哈巴流域水文变量预测分析：融合时间序列与机器学习以提升水资源管理精度 MDPI Earth。论文标题：Predictive Analysis of Hydrological Variables in the Cahaba Watershed: Enhancing Forecasting Accuracy for Water Resource Management Using Time-Series and Machine Learning Models

论文链接：https://www.mdpi.com/2673-4834/6/3/89

期刊名： Earth

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/earth

文章导读：

准确预测降水、蒸散发、地表径流和地下水等水文变量，对于农业规划、防洪抗旱以及水资源的可持续管理至关重要。随着气候变化引入越来越多的不确定性，传统的水文物理模型在处理庞大且复杂的非线性数据时面临挑战。近年来，数据驱动的机器学习（ML）模型逐渐崭露头角。

为了探索物理模型与人工智能结合的潜力，本研究以美国亚拉巴马州的卡哈巴流域（Cahaba watershed）为研究区，创新性地提出了一种混合预测框架：将基于物理过程的SWAT模型、用于时间序列预测的Prophet模型（由Facebook开源），以及机器学习多输出回归算法相结合。该研究不仅评估了该模型在当前气候下（2010-2022年）的预测表现，还大胆将其应用于未来气候情景（2030-2042年），为现代水文预测和气候适应策略提供了极具价值的科学启示。

研究材料与方法

本研究并没有简单粗暴地将原始数据直接喂给机器学习，而是采用了一种递进式的混合策略。首先，研究人员使用SWAT模型模拟出流域的水文基线数据；接着，利用Prophet模型对这些数据进行时间序列分解，剔除高频噪音并提取出清晰的季节性周期和长期趋势；最后，将这些提纯后的数据输入机器学习管道中（包含多项式特征生成和线性回归），去预测复杂的地表径流、地下水流量和沉积物产量等最终结果。

为了验证该模型的稳健性，研究设置了两个时间维度的考察期：一个是基于历史实际观测数据的当前气候情景（2010-2022年），另一个是基于区域气候模型预测的未来气候情景（2030-2042年

）。

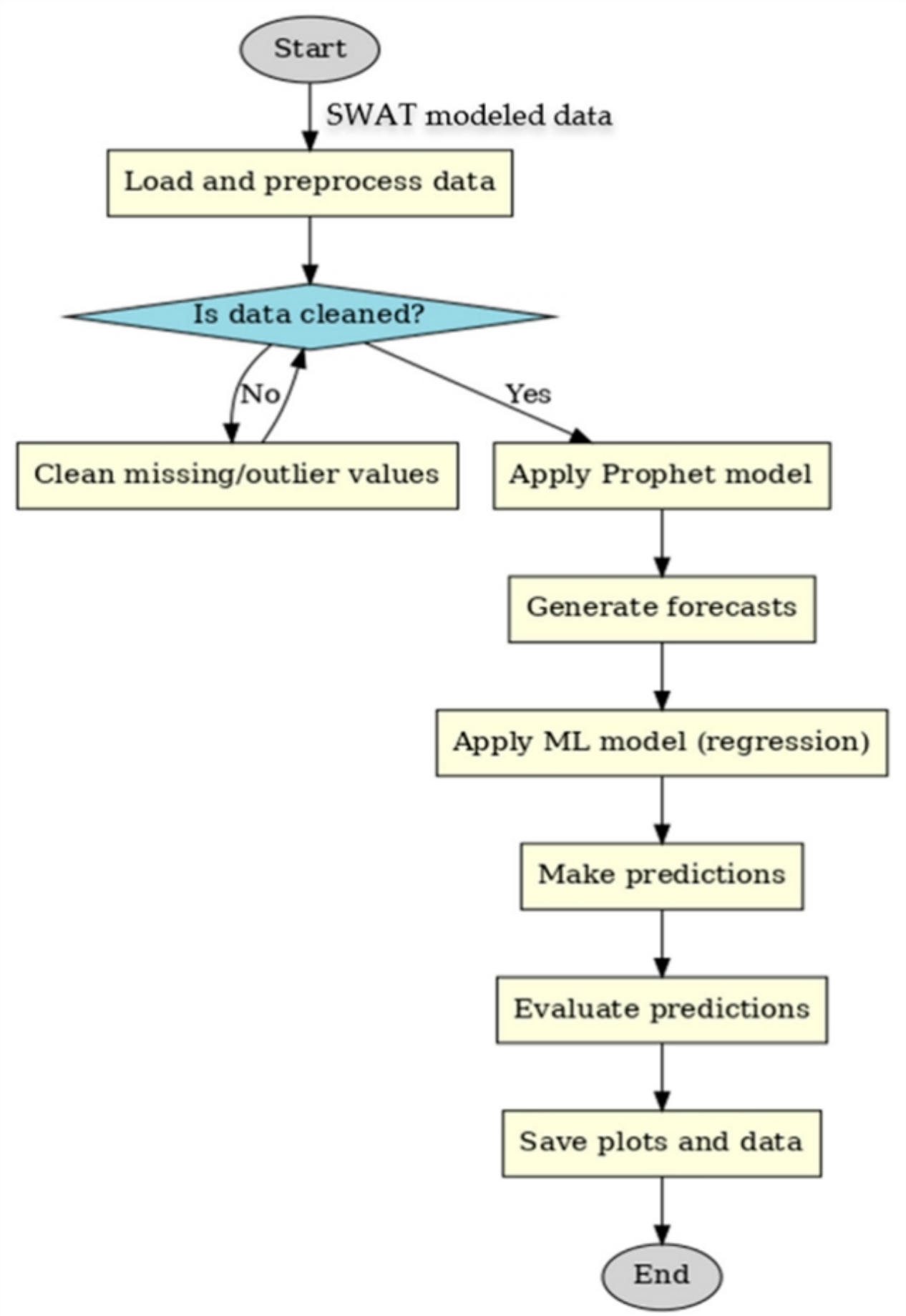
Start
SWAT modeled data
Load and preprocess data
Is data cleaned?
No
Yes
Clean missing/outlier values
Apply Prophet model
Generate forecasts
Apply ML model (regression)
Make predictions
Evaluate predictions
Save plots and data
End

图1. 本研究融合SWAT、Prophet和机器学习模型的混合框架研究流程图。

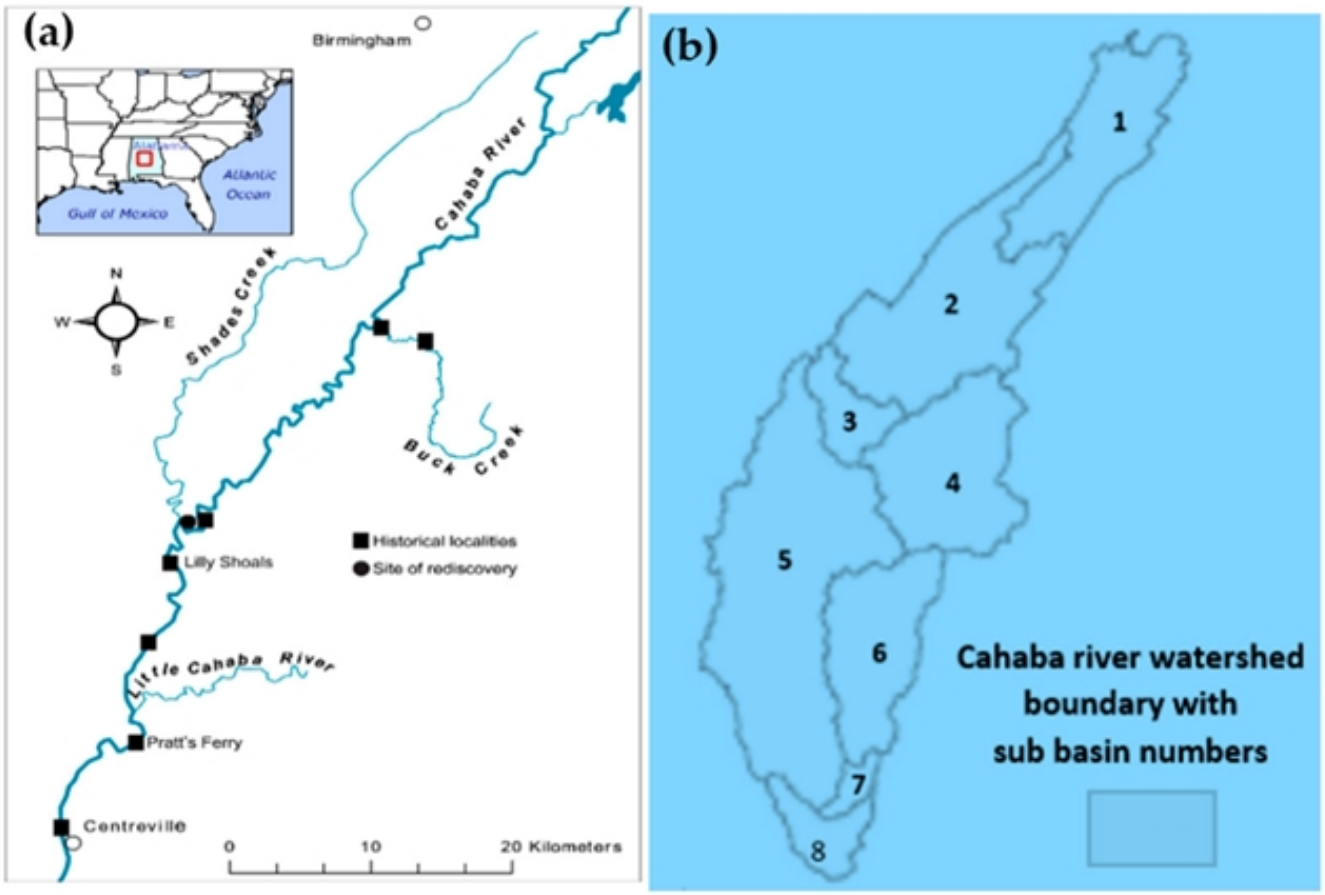

图2. (a) 位于美国东南部亚拉巴马州中部的卡哈巴河及其主要支流地图；(b) 使用SWAT模型划分的卡哈巴河流域边界及子流域编号。

研究结果与讨论:

1.精准捕捉当前气候下的水文节律

在针对当前气候（2010-2022年）的预测中，混合模型（SWAT-Prophet-ML）表现出了极高的准确度。数据表明，该模型在预测水资源产量和地表径流方面，与传统物理模型的拟合度（R^2）分别达到了0.75和0.70。模型能够非常平滑、精准地追踪温度驱动的过程，如实际蒸散发（ET）和潜在蒸散发（PET）的年度循环规律，为基线水文特征描绘出了清晰的心电图。

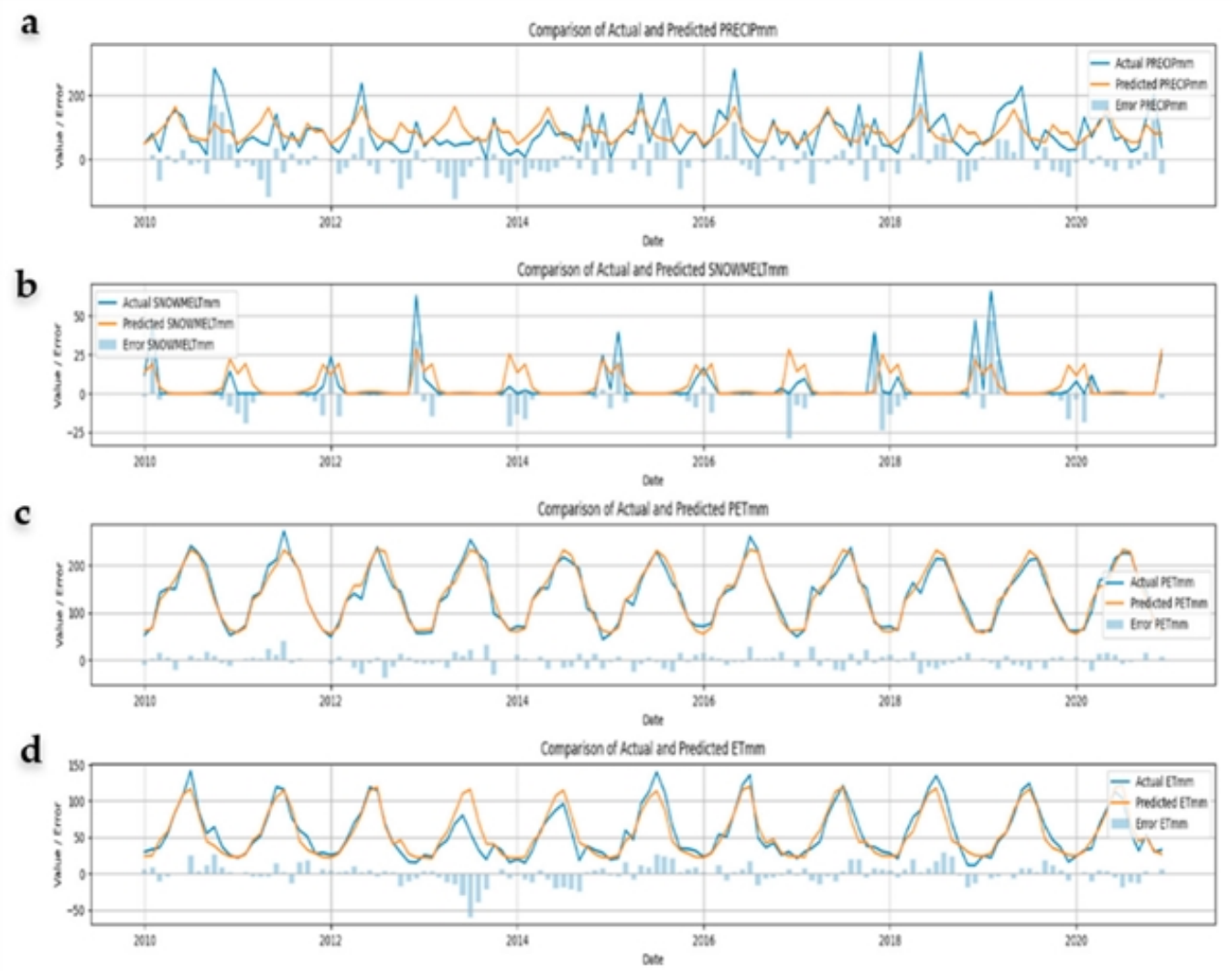

图3. 2010-2022年当前气候条件下，实际值与预测值的对比及误差条形图。图(c)和(d)显示了模型在追踪潜在蒸散发(PET)和实际蒸散发(ET)平滑季节性周期方面的卓越表现。

2. 面对极端天气的短板与挑战

尽管模型在预测平稳的季节性趋势方面表现优异，但研究也诚实地指出了AI模型在捕捉高频、短时极端事件（如暴雨引发的洪峰或泥沙激增）时的局限性。由于Prophet时间序列模型本质上偏好平滑的周期性规律，它倾向于将突发的极端峰值视为噪音而进行平滑处理。这导致模型在预测剧烈降水和快速融雪时，往往会低估其峰值。

3. 预测未来气候环境下的瓶颈与启示

当研究人员将该混合模型应用于未来气候情景（2030-2042年）时，模型遭遇了真正的挑战。由于未来的气候环境（非平稳性）与历史数据分布存在显著偏差，纯粹依赖历史经验训练的机器学习模型出现了水土不服，未能可靠地重现SWAT模型在未来气候下预测出的地下水和沉积物剧烈变化。这一发现具有重大的警示意义：它证明了在气候变化加剧的背景下，脱离了物理法则约束、单纯依靠历史数据驱动的AI模型，难以在未知的气候领域中进行盲目外推。

研究总结

本研究成功构建了一座连接传统水文物理学与现代数据驱动预测的桥梁。混合模型在当前气候条件下展现出了强大的建模效率和基线预测精度，证明了时间序列分解在处理水文数据中的巨大潜力。同时，该研究极具洞察力地指出了纯数据模型在面对气候异变时的脆弱性。这为未来的水文AI研究指明了方向——未来的模型需要融入物理法则约束（Physics-informed ML），并使用多元化的未来气候情景进行综合训练，从而在变幻莫测的气候时代，为水资源的安全管理提供真正可靠的决策支持。

Dasari, S.K.; Preetha, P.; Ghantasala, H.M. Predictive Analysis of Hydrological Variables in the Cahaba Watershed: Enhancing Forecasting Accuracy for Water Resource Management Using Time-Series and Machine Learning Models. Earth 2025, 6, 89. https://doi.org/10.3390/earth6030089

期刊介绍

主编：Prof. Dr. Charles Jones, University of California, Santa Barbara, USA

Earth (ISSN 2673-4834) 期刊发表综述、常规研究论文和简报。期刊旨在鼓励科研人员尽可能详尽地发表其实验与理论研究成果。因此，期刊对论文的最大篇幅不作限制，要求完整呈现实验细节以确保研究结果的可复现性。特别欢迎涉及新颖且具创新性的研究提案和思路的稿件；支持将完整计算流程、实验步骤的电子文件或软件以及源代码作为补充材料提交。

期刊主题领域包括但不限于：气候变化与环境效应；大气/水体/土壤质量与污染防治；自然资源管理与生态保护；生物多样性保护与生态系统服务；环境健康与灾害风险评估；可持续发展与城乡系统韧性；环境研究的技术创新与数据科学应用；人类健康与环境系统交互；粮食安全的环境驱动机制；土地利用转型的生态响应；极端事件与复合风险研究等。

2025 Impact Factor：4.0

2025 CiteScore：5.3

Time to First Decision：19 Days

Acceptance to Publication：3.9 Days

来源：Earth

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发