

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# کاربرد آمار در علوم محیطی

نویسندگان:

دکتر مهدی دوستکامیان

(کارشناس ارشد سیستم اطلاعات  
یکپارچه کشاورزی - وزارت جهاد کشاورزی)

دکتر محمدرضا پودینه

(عضو هیأت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان)

سرشناسه	دوستکامیان، مهدی، ۱۳۶۷-
عنوان و نام پدیدآور	کاربرد آمار در علوم محیطی / نویسندگان مهدی دوستکامیان، محمدرضا پودینه.
مشخصات نشر	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد تهران، انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	۴۴۷ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۵۰۳-۷
وضعیت فهرست نویسی	فیبیا
موضوع	جغرافیا — روش‌های آماری
موضوع	Geography -- Statistical methods:
موضوع	علوم زیست‌محیطی — روش‌های آماری
موضوع	Environmental sciences -- Statistical methods:
موضوع	آمار ریاضی
موضوع	Mathematical statistics:
شناسه افزوده	پودینه، محمدرضا، ۱۳۴۴-
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات. واحد تهران
رده بندی کنگره	GY۰/۳۰ :
رده بندی دیویی	۷۲۷/۹۱۰ :
شماره کتابشناسی ملی	۷۳۷۹۴۸۴ :
وضعیت رکورد	فیبیا



نام کتاب: کاربرد آمار در علوم محیطی
نویسندگان: مهدی دوستکامیان- محمدرضا پودینه
ناشر: انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران
ناظر چاپ: احمد آرش
طراح جلد: سعید صحابی
چاپ و صحافی: رامین
شمارگان: ۱۰۰ نسخه
قیمت: ۱۰۵۰۰۰ تومان
نوبت چاپ: اول - پاییز ۱۳۹۹
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۵۰۳-۷
ISBN 978-600-133-503-7
نشانی: تهران - صندوق پستی ۱۸۶ - ۱۳۱۴۵
تلفن: ۶۶۹۵۴۳۶۸ تلفکس: ۶۶۴۶۴۹۴۱
تلفن مراکز پخش: ۶۶۹۵۵۷۵۳-۶۶۹۵۴۳۶۸
تلفن: ۶۶۹۷۳۴۲۳
خانه کتاب دانشگاه: ۶۶۹۷۳۴۲۳

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مولف یا ناشر تکثیر و کپی برداری کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

## مقدمه ناشر

ایران امروز در اشتیاق توسعه و استقلال، گام‌های محکم و استواری برمی‌دارد. همه روزه در گوشه و کنار میهن ما جوانه‌های خودکفایی علمی و فنی نمایان می‌شوند و با عنایت و یاری خداوند متعال و در سایه تلاش و کوشش جامعه علمی و دانشگاهی حرکت به سوی مرزهای دانش شتاب بیشتری به خود می‌گیرد. خدا را شکر می‌گوییم که این فرصت را به ما ارزانی کرد تا گام‌هایی هرچند کوچک در راه رشد و نشر دستاوردهای علمی و فرهنگی کشور برداریم، باشد تا با یاری خداوند منان و در پرتو همت اندیشمندان، نویسندگان، مترجمان و متخصصان مؤمن و متعهد بتوانیم در اعتلای علمی کشور عزیزمان ایران سهمی داشته باشیم.

انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران در راستای وظایف خویش و به منظور رسیدن به اهداف علمی-فرهنگی نظام جمهوری اسلامی ایران اقدام به انتشار آثار ارزشمند و مورد نیاز علمی و دانشگاهی می‌کند. در این راه از کلیه اساتید، پژوهشگران، صاحبان قلم و اندیشه دعوت به مشارکت و همکاری می‌شود.



## فهرست

۱۵	.....	مقدمه
۱۷	.....	مقدمه
۲۱	.....	پیشگفتار
۲۳	.....	فصل اول / آمار توصیفی
۲۳	.....	مفاهیم آماری
۲۳	.....	جامعه
۲۳	.....	جامعه آماری
۲۳	.....	نمونه
۲۳	.....	پارامتر
۲۳	.....	تعریف پارامتر و آماره
۲۳	.....	آمار توصیفی
۲۳	.....	آمار استنباطی
۲۴	.....	متغیر و انواع آن
۲۴	.....	متغیر
۲۴	.....	انواع متغیر
۲۴	.....	الف) کیفی
۲۴	.....	ب) کمی
۲۴	.....	متغیر اسمی کیفی
۲۴	.....	متغیر ترتیبی کیفی
۲۴	.....	متغیر کمی گسسته

۲۴	متغیر کمی پیوسته
۲۵	طبقه‌بندی داده‌های خام
۲۸	۱- شاخص‌های گرایش مرکزی
۲۹	میانگین
۲۹	میانگین حسابی
۲۹	میانگین وزنی
۳۲	میان
۳۳	مد یا نما
۳۴	محاسبه شاخص‌های گرایش مرکزی در داده‌های طبقه‌بندی شده
۳۸	۲- شاخص‌های پراکندگی
۳۹	دامنه تغییرات
۴۰	انحراف متوسط (انحراف میانگین)
۴۱	واریانس
۴۳	انحراف از معیار (انحراف استاندارد)
۴۶	محاسبه انحراف متوسط (انحراف میانگین در داده‌های طبقه‌بندی شده)
۴۷	نحوه محاسبه واریانس در داده‌های طبقه‌بندی شده
۴۷	روش انحراف نمرات
۴۸	روش میانگین اعشاری
۴۹	۳- آستانه‌ها (شاخص‌های تعیین موقعیت یا وضعیت)
۵۱	محاسبه چندک‌ها در داده‌های طبقه‌بندی شده
۵۲	۴- شاخص‌های نسبی پراکندگی (شاخص‌های توزیع شکل)
۵۲	۱- چولگی
۵۵	۲- کشیدگی
۵۹	فصل دوم / تحلیل روابط (ضریب همبستگی)
۵۹	تحلیل روابط

همبستگی مستقیم کامل	۵۹
همبستگی مستقیم ناقص	۵۹
همبستگی معکوس کامل	۵۹
همبستگی معکوس ناقص	۶۰
ناهمبستگی	۶۰
همبستگی پارامتری	۶۱
ضریب تعیین	۶۳
آزمون معناداری ضریب همبستگی	۶۳
ضریب همبستگی جزئی (تفکیکی)	۶۴
همبستگی نیمه جزئی (نیمه تفکیکی)	۶۶
ضریب تعیین جزئی	۶۷
همبستگی ناپارامتری	۶۷
همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن	۶۷
<b>فصل سوم / رگرسیون</b>	<b>۷۱</b>
رگرسیون	۷۱
تفاوت رگرسیون و همبستگی براساس هدف	۷۵
تفاوت رگرسیون و همبستگی براساس روش	۷۵
رگرسیون یک و دو یا بیش از دو متغیره	۷۵
رگرسیون دو متغیره	۷۶
۱- روش جبری (روش ماتریسی)	۷۶
۲- روش دوم محاسبه ضرایب رگرسیون	۸۱
ضریب رگرسیون استاندارد	۸۵
تشکیل جدول تحلیل واریانس	۸۷
الف) محاسبات مربوط به $SS$ (مجموع مجذورات) در جدول تحلیل واریانس	۸۸
ب) محاسبات مربوط به $MS$ (میانگین مجذورات) در جدول تحلیل واریانس	۸۸

۸۹	ج) محاسبات مربوط به $F$ در جدول تحلیل واریانس
۹۳	مربع ضریب همبستگی
۹۶	ضریب تعیین تعدیل شده
۹۷	خطای استاندارد برآورد اندازه‌گیری
۱۰۰	حدود اطمینان برای مقادیر برآوردی حاصل از معادله رگرسیون
۱۰۱	پیش‌بینی معکوس در رگرسیون
۱۰۱	آزمون معناداری ضرایب رگرسیون
۱۰۱	الف) آزمون معنادار بودن شیب رگرسیون ( $\beta_1$ )
۱۱۱	خطای استاندارد برآورد اندازه‌گیری
۱۱۱	ضریب تعیین تعدیل شده
۱۱۱	آزمون ضرایب شیب و عرض از مبدا رگرسیون
۱۱۲	رگرسیون سری زمانی
۱۱۴	رابطه بین رگرسیون و همبستگی
۱۱۵	<b>فصل چهارم / رگرسیون خطی چندگانه</b>
۱۱۵	رگرسیون خطی چندگانه
۱۲۱	تشکیل جدول تحلیل واریانس برای رگرسیون دومتغیره خطی ساده
۱۲۵	حدود اطمینان شیب رگرسیون
۱۲۶	آزمون ضرایب رگرسیون چند متغیره
۱۲۷	ضریب همبستگی چندگانه
۱۳۲	کنترل مدل‌های کامل و کاهش یافته در رگرسیون
۱۳۹	<b>فصل پنجم / بررسی و تحلیل باقیمانده‌ها</b>
۱۳۹	تحلیل باقیمانده‌ها
۱۴۱	انواع باقیمانده‌ها
۱۴۱	۱- باقیمانده‌های استاندارد نشده
۱۴۱	۲- باقیمانده‌های استاندارد شده
۱۴۱	۳- باقیمانده‌های استیودنت شده



۱۴۳.....	۴- باقیمانده حذف شده
۱۴۴.....	۵- باقیمانده استیودنت شده محذوف
۱۴۶.....	شناسایی داده‌های مؤثر به کمک باقیمانده‌ها
۱۴۶.....	الف) شاخص‌های فاصله
۱۴۸.....	۱- کاربرد ماتریس <b>H</b> یا نقاط اهرمی در شناسایی داده‌های پرت
۱۵۰.....	۲- فاصله ماهالانویس
۱۵۳.....	۳- معیار فاصله کوک
۱۵۶.....	ب) شاخص‌های اثرگذار
۱۵۶.....	۱- معیارهای DF بتا و DF استاندارد شده
۱۵۸.....	۲- معیارهای DFFITS برازش شده و DFBETAS برازش استاندارد شده
۱۶۱.....	روش‌های تحلیل باقیمانده‌ها
۱۶۱.....	الف) روش‌های نسبی (روش‌های ترسیمی)
۱۶۳.....	ب) روش‌های عددی
۱۶۵.....	<b>فصل ششم / برازش چند جمله‌ای ها</b>
۱۶۵.....	برازش منحنی درجه دوم و سوم... غیره بر اساس کم‌ترین مربعات خطاها
۱۸۳.....	<b>فصل هفتم / تورم واریانس</b>
۱۸۳.....	بحث هم خطی بودن و تورم واریانس
۱۸۴.....	علت وقوع هم خطی
۱۸۵.....	الف) تشخیص هم خطی به روش نسبی
۱۸۵.....	۱- اثر هم خطی بر روی ضرایب رگرسیون
۱۸۷.....	۲- اثرات هم خطی در معناداری مدل
۱۸۹.....	۳- اثرات هم خطی در ضریب تعیین
۱۹۰.....	ب) تشخیص هم خطی به روش کمی
۱۹۹.....	علاج هم خطی بودن
۱۹۹.....	استفاده از روش‌های ترکیبی چند متغیره از جمله تحلیل عاملی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی

تشخیص ناپستیابی در میانگین (جهش در داده‌های مستقل و وابسته)	۲۰۲
آزمون الکساندرسون	۲۰۳
آزمون همگنی واریانس، روش وان نیومن	۲۰۵
ایستاسازی واریانس	۲۰۷
ایستاسازی میانگین	۲۰۸
روش‌های رگرسیونی	۲۱۳
روش گام به گام	۲۱۳
روش حذف	۲۱۳
روش پس رونده	۲۱۴
روش پیش رونده	۲۱۴
روش همزمان	۲۱۴
<b>فصل هشتم / مقایسه شیب و ضرایب همبستگی</b>	۲۱۵
تحلیل شیب مشترک	۲۱۵
الف) روش اول	۲۱۶
آزمون تفاوت ضریب همبستگی	۲۲۲
<b>فصل نهم / آزمون‌های آماری (پارامتری و ناپارامتری)</b>	۲۲۷
انواع آزمون‌های آماری	۲۲۷
آزمون‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک	۲۲۷
پیش فرض‌های آزمون‌های پارامتری	۲۲۷
پیش فرض‌های آزمون‌های ناپارامتری	۲۲۸
آزمون‌های یک دامنه و دو دامنه	۲۲۸
بخش اول: آزمون‌های پارامتری	۲۲۹
- آزمون‌های پارامتری خانواده $t$ و $Z$	۲۲۹
- تفاوت آزمون $t$ و $Z$	۲۲۹
الف- آزمون‌های پارامتری خانواده $Z$	۲۳۰
۱- آزمون $Z$ یا $Z$ نرمال	۲۳۰

۲۳۲	۲- آزمون Z در مقایسه دو میانگین .....
۲۳۳	فاصله اطمینان میانگین با استفاده از توزیع Z .....
۲۳۴	ب- آزمون های پارامتری خانواده t .....
۲۳۴	آزمون های t .....
۲۳۵	آزمون t تک نمونه ای .....
۲۳۷	آزمون t دو نمونه ای .....
۲۳۷	آزمون t مستقل .....
۲۴۲	آزمون t وابسته .....
۲۴۶	فاصله اطمینان t استیودنت .....
۲۴۷	۶- آزمون عضویت .....
۲۵۱	۷- آزمون مشاهدات داده های پرت .....
۲۵۵	۸- آزمون F برای تساوی دو واریانس .....
۲۵۷	۹- آزمون بارتلت برای (مقایسه دو میانگین) .....
۲۶۱	آزمون های بررسی واریانس .....
۲۶۱	۱۰- آزمون بارتلت .....
۲۶۵	۱۱- آزمون کوکران برای همگنی و تساوی واریانس ها .....
۲۶۷	۱۲- آزمون هارتلی .....
۲۶۹	۱۳- آزمون خودهمبستگی (استقلال داده ها) .....
۲۷۱	۱۴- آزمون پرت -مانتو .....
۲۷۳	بخش دوم: آزمون های ناپارامتری .....
۲۷۳	۱- آزمون من - ویتنی .....
۲۷۷	۲- آزمون یومن - ویتنی (وایتنی) .....
۲۸۳	۳- آزمون کاکس .....
۲۸۶	۴- آزمون کاکس و اسوارات (آزمون روند روبه بالا و روبه پایین) .....
۲۸۸	۵- آزمون لاپلاس .....
۲۹۰	۶- آزمون مک نمار .....
۲۹۱	۷- آزمون ویلکاکسون .....

۲۹۷	۸- آزمون کروسکال - والیس .....
۳۰۰	۹- آزمون فریدمن .....
۳۰۴	۱۰- آزمون واندرواردن .....
۳۱۰	۱۱- آزمون میانه .....
۳۱۶	۱۲- آزمون علامت .....
۳۲۱	۱۳- آزمون هولندر .....
۳۲۴	۱۴- آزمون همگنی واریانس ها (آزمون بارتلت) .....
۳۲۸	۱۵- آزمون برای استقلال داده ها (آزمون خی دو) .....
۳۳۱	پیش فرض انتخاب نوع آزمون آماری .....
۳۳۳	<b>فصل دهم / تحلیل واریانس .....</b>
۳۳۳	آزمون تحلیل واریانس .....
۳۳۳	آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای موقعی که حجم نمونه ها برابر باشند .....
۳۳۹	آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای موقعی که حجم نمونه ها برابر نباشند .....
۳۴۱	آزمون خطی بودن .....
۳۴۵	آزمون عدم وجود رابطه خطی بین دو متغیر (فاصله ای یا نسبی) .....
۳۵۱	آزمون برای شدت رابطه بین عناصر اقلیمی .....
۳۵۵	<b>فصل یازده / توزیع آماری داده ها .....</b>
۳۵۵	نرمال بودن توزیع داده ها .....
۳۵۵	الف) روش های توصیفی .....
۳۵۶	محاسبه ضرایب چولگی .....
۳۵۷	محاسبه کشیدگی .....
۳۵۹	در نهایت آماره چولگی و کشیدگی .....
۳۵۹	ب) - روش های مبتنی بر نظریه .....
۳۵۹	۱- روش های گرافیکی .....
۳۶۰	آزمون گرافیکی چارک - چارک (Q-Q) .....
۳۶۵	آزمون احتمال - احتمال (P-P) .....

۲- روش های عددی .....	۳۶۷
۱- آزمون برد- انحراف معیار (W/S) .....	۳۶۸
۲- آزمون جاکویو- برا .....	۳۷۱
۳- آزمون دی آگوستینو نرمال .....	۳۷۴
۴- آزمون کلموگروف اسمینروف .....	۳۷۸
۵- آزمون شاپیرولیکس .....	۳۸۰
۶- آزمون لی لی فورس .....	۳۸۳
۸- آزمون کای اسکور .....	۳۹۱
<b>فصل دوازده / همگن بودن داده ها .....</b>	<b>۳۹۵</b>
آزمون های آماری به منظور سنجش همگنی یا ناهمگنی داده ها .....	۳۹۵
آزمون گرافیکی من کندال .....	۳۹۶
آزمون الکساندرسون .....	۴۰۱
آزمون همگنی واریانس، روش وان نیومن .....	۴۰۸
آزمون پتیت .....	۴۱۲
آزمون بیشاند .....	۴۱۵
آزمون انحرافات تجمعی .....	۴۱۷
<b>منابع .....</b>	<b>۴۲۱</b>
<b>جداول پیوست .....</b>	<b>۴۲۷</b>
۱- جدول هارتلی .....	۴۲۷
۲- دی آگستینو .....	۴۲۸
۳- جدول آزمون T .....	۴۲۹
۴- جدول آزمون W/S .....	۴۳۰
۵- جدول آزمون فیشر .....	۴۳۱
۶- جدول آزمون شاپیرولیکس .....	۴۳۲
۷- جدول آزمون عدم وجود رابطه خطی بین دو متغیر .....	۴۳۵
۸- جدول آزمون خی دو .....	۴۳۶

۴۳۷	۹- جدول کوکران برای تساوی واریانس ها
۴۳۸	۱۰- جدول جدول ویلکاکسون
۴۳۹	۱۱- جدول کوکران
۴۴۰	۱۲- جدول یومن- وایتنی
۴۴۲	۱۳- جدول مقادیر بحرانی برای آزمون الکساندرسون
۴۴۳	۱۴- جدول نسبت منحنی نرمال Z (یک دامنه)
۴۴۵	کلید واژه ها

## مقدمه

روش‌های کمی در چند دهه اخیر انقلابی را در علوم محیطی برپا کرده است. با پانهادن رایانه و هم‌زمان با توانایی پردازش داده‌های گوناگون مکانی، جوی، اقیانوسی و محیطی جغرافیدان‌ها و سایر متخصصان محیط زیست کرانه‌های نوینی را در رابطه با آشکار کردن پیوند میان محیط طبیعی و انسانی گشودند. بی‌گمان در شاخه‌های گوناگون علوم محیطی، اقلیم‌شناسی در به‌کارگیری روش‌های کمی و مدل‌های آماری پیشرو بوده است. با آگاهی به پیچیدگی‌های سامانه اقلیمی و پیوندهای درهم‌تنیده میان بخش‌های گوناگون آن ضرورت تحلیل‌های آماری پیشرفته و دانش ریاضیات بیش از پیش احساس می‌شود. تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست‌محیطی در سال‌های اخیر نیاز به مدل‌های و روش‌های پیچیده آماری را دوچندان کرده است. در این میان محققان پرتعداد رشته‌های مختلف علوم محیطی در پژوهش‌ها و مقالات منتشرشده از رویکردهای کمی و آماری بیشتر از قبل استفاده می‌کنند. استفاده صحیح از روش‌ها و مدل‌های آماری می‌تواند به برنامه‌ریزان و مسئولان کمک شایان توجهی در برنامه‌ریزی‌های محیطی بنماید.

کتاب «کاربرد آمار در علوم محیطی» که توسط دوتن از همکاران اقلیم‌شناس ما آقایان دکتر مهدی دوستکامیان و دکتر محمدرضا پودینه به زیور طبع آراسته شده است، می‌تواند منبع ارزشمندی برای پژوهشگران و دانشجویان رشته‌های گوناگون علوم محیطی و جغرافیایی به خصوص اقلیم‌شناسان باشد. این کتاب که در یازده فصل تدوین شده است می‌تواند نیاز دانشجویان و محققان به مباحث بنیادین آمار توصیفی، استنباطی و تا اندازه‌ای آمار فضایی را رفع کند. وجود مثال‌های فراوان، بیان به زبان ساده مسائل آماری و رویکرد نرم‌افزاری با تأکید بر نرم‌افزار متلب از مزایای این کتاب است.

امیدوارم آقایان دکتر دوستکامیان و دکتر پودینه در ادامه راه با بررسی نظرات ارزشمند استادان و خوانندگان انشا... در گام‌های بعدی تجدید چاپ در تکمیل هر چه بهتر کتاب کامروا باشند.

ششم دیماه ۱۳۹۸

دکتر محمود خسروی استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان



## مقدمه

گسترش استفاده از روش‌های آماری در مطالعات جغرافیایی و محیطی از رشد شتابنده‌ای بهره‌مند شده است. این رشد زاینده نیازهای روزافزون تحقیقات علمی به روش‌ها و آزمون‌های آماری برای استنتاج منطقی و تولید گزاره‌های مربوطه است. بدون شک بدون توسل به آن روش‌ها امکان تبیین علمی و حل مسائل وجود نخواهد داشت. برای انجام تحلیل‌های آماری امروزه نرم‌افزارهای متعددی عرضه شده است که در این اثر نیز به نحوه انجام فرامین آن اشاره شده است. هسته اصلی نرم‌افزارهای مذکور تقریباً ثابت است، ولی اختلاف‌هایی را در نحوه انجام تحلیل‌ها را در خود دارند. هرچند که استفاده از این نرم‌افزارهای آماری در بین جامعه محققان توسعه زیادی یافته است، ولی باید به این نکته توجه داشته که خروجی‌های نرم‌افزار در ظرف چند ثانیه تولید شده درحالی‌که تفسیر این خروجی‌ها کاری بسیار مشکل و در مواردی به علت ناآشنایی محققان با بنیان آماری این تحلیل‌ها، ممکن است محقق را به بیراهه هدایت کند؛ از اینرو لازم است در کنار آشنایی و استفاده از نرم‌افزارهای آماری، خود را اسیر خروجی‌های آن‌ها نکرده و اهمیت بیشتری به تحلیل‌های خروجی آن‌ها داد تا با منطق علمی بتوان تفسیرهای مناسب را انجام داد.

آشنایی با روش‌های علمی نیازمند منابع علمی مربوطه است که بتواند مفاهیم و روش‌های مربوطه را آموزش دهد. با این رویکرد کتاب حاضر می‌تواند به عنوان یک کتاب مفید تلقی شود که ضمن بیان انواع مفاهیم آماری با انجام مثال‌های متعدد توانسته نحوه استفاده و تفسیر آن‌ها را به خواننده انتقال دهد. به رغم وجود کتاب‌های متعدد در زمینه موضوع کتاب این اثر توانسته رویکرد جدیدی را به برخی از مباحث آماری داشته باشد که در کتاب‌های دیگر به آن پرداخته نشده یا با زبان پیچیده‌ای مطرح شده است؛ از اینرو

نکته بسیار مثبت کتاب طرح مباحث آماری با زبان ساده همراه با مثال است که خواننده می‌تواند با مطالعه کتاب بدون نیاز به معلم از عهده انجام آن‌ها به خوبی برآید. تلاش نویسندگان را برای تألیف این اثر با رویکرد خاص آن را باید با ارزش تلقی کرد و امید است جامعه علمی کشور در رشته‌های مختلف از فواید آن بهره‌مند شود.

منوچهر فرج‌زاده

(استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران)