مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ۳۹-۲۵
Volume 3, Issue 4, Winter 2024, 25-39
http://emj.ardakan.ac.ir/article_722927.html

راهنمای انتخاب نوع آزمون آماری مناسب برای تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت علوفه در پژوهش‌های علوم مرتع

مسلم رستم‌پور*[۱]

مقاله ترویجی

۱. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
rostampour@birjand.ac.ir
* نویسنده مسئول

شناسه مقاله: ۲۵۰۱-۱۰۸۵
شماره صفحه پیاپی: ۶۰۴-۶۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸
زمان پذیرش: ۹۳روز

استناددهی:
رستم‌پور، م. (۱۴۰۲). راهنمای انتخاب نوع آزمون آماری مناسب برای تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت علوفه در پژوهش‌های علوم مرتع. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۳(۴)، ۲۵-۳۹.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.722927

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، راهنمای انتخاب نوع آزمون آماری مناسب، تعیین تعداد نمونه لازم و بررسی سودمندی نسبی ANOVA وابسته نسبت به ANOVA مستقل در مطالعات کیفیت علوفه است. بدین منظور در پژوهش حاضر، اثر مرحله به‌عنوان یک عامل در حداقل ۳ سطح بر روی شاخص‌های کیفیت علوفه ارزیابی شد، تعداد نمونه برای ANOVA مستقل (به‌عنوان آزمون اشتباه) و ANOVA وابسته (به‌عنوان آزمون صحیح) برای بررسی اثر تیمار اصلی (مرحله فنولوژیک) و یا متقابل (گونه ×مرحله فنولوژیک) تعیین شد. حداقل تعداد نمونه لازم برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در ANOVA مستقل یک‌طرفه و دوطرفه، براساس اندازه اثر کوهن و اندازه اثر بوسل و لی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تعیین شد. نتایج نشان داد اگر هدف، فقط بررسی اثر مراحل فنولوژیک بر یک گونه گیاهی باشد، برای ANOVA مستقل یک‌طرفه برای اندازه اثر متوسط در ۳ مرحله فنولوژیک، حدود ۱۵۰ نمونه در کل طرح و ۵۰ نمونه در هر تیمار لازم است. برای همین میزان توان، در ANOVA وابسته یک‌طرفه حدود ۳۶ نمونه در کل طرح و ۱۲ نمونه در هر تیمار نیاز خواهد بود. اگر هدف، بررسی اثر متقابل باشد، برای ANOVA مستقل دوطرفه برای اندازه اثر متوسط در ۲ گونه گیاهی و ۳ مرحله فنولوژیک، حدود ۱۵۸ نمونه در کل طرح و ۲۶ نمونه در هر تیمار لازم است. برای همین میزان توان، در ANOVA وابسته دوطرفه حدود ۳۶ نمونه در کل طرح و ۶ نمونه در هر تیمار نیاز خواهد بود. نتایج نشان داد در پژوهش حاضر، سودمندی نسبی ANOVA وابسته بین ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از ANOVA مستقل است. همچنین تعداد ۵ نمونه اصلاً کفایت لازم برای بررسی اثر مرحله بر شاخص‌های کیفیت علوفه را ندارد.

واژگان کلیدی:

ارزش غذایی، تحلیل واریانس، سودمندی نسبی، مرحله فنولوژیک.

۱- مقدمه

مدیریت کارآمد و دقیق مراتع و برنامه‌ریزی تغذیه دام یکی از عوامل کلیدی برای افزایش سودآوری اقتصادی تولیدات دامی مراتع است (Geipel et al., 2021؛ بستان، ۱۴۰۱). یکی از پیش‌شرط‌های مدیریت، آگاهی از کمیت و کیفیت علوفه است. عملکرد و تولیدات دامی مراتع محصول رابطه بین مدیریت چرا، بهره‌وری علوفه و کیفیت علوفه است (قهساره اردستانی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Randall et al., 2023). کیفیت علوفه بیانگر عملکرد دام است (Tufarelli, 2019) و در تعیین نیاز روزانه دام برای محاسبه ظرفیت چرا (ارزانی، ۱۳۸۸)، شایستگی مرتع برای چرای دام و بهره‌برداری چندمنظوره (سرداری و همکاران، ۱۳۹۸)، تهیه جیره غذایی (کاظمی و ولی‌زاده، ۱۳۹۹)، تعیین خوشخوراکی گیاهان (اشرف‌زاده و عرفانزاده، ۱۳۹۲)، انتخاب زمان مناسب برای چرا (خراسانی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و تعیین زمان انتقال دام از یک مرتع به مرتع دیگر (Cherney and Parsons, 2020) در مرتعداری حائز اهمیت است.

کیفیت علوفه، ظرفیت علوفه برای تأمین مواد مغذی برای پشتیبانی از نیازهای تغذیه‌ای دام تعریف می‌شود و توسط خصوصیات شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی تعیین می‌گردد (Moore et al., 2020). در برخی منابع، اصطلاحات کیفیت علوفه و ارزش غذایی علوفه به جای یکدگیر به‌کار می‌روند، حال آنکه تفاوت واضحی بین آن دو وجود دارد: ارزش غذایی علوفه، مقدار انرژی قابل دسترس (TDN) و پروتئین خام (CP) را در بر می‌گیرد، در حالی که کیفیت علوفه اصطلاح گسترده‌تری است و علاوه بر ارزش غذایی، هضم‌پذیری و مصرف اختیاری را نیز شامل می‌شود (Katoch, 2023). ترکیبات شیمیایی گیاهان و کیفیت علوفه می‌توانند به دلیل تفاوت در انواع گیاهان، شرایط محیطی و آب و هوایی متنوع باشند (Keim et al., 2018). عوامل متعددی بر کیفیت علوفه تاثیرگذار هستند، از جمله می‌توان به عوامل ضدتغذیه‌ای، تغییرات فصلی، میزان و در دسترس بودن مواد مغذی مختلف خاک، بیماری، بروز آفات، مرحله بلوغ در زمان برداشت و شرایط نگهداری در سیلو اشاره نمود (Katoch, 2023؛ Moore et al., 2020). بنابراین، ارزیابی کیفیت علوفه برای برآورد اینکه آیا نوع مواد غذایی ارائه شده به دام برای حفظ سلامتی و بهره‌وری آنها کافی است، ضروری است. پژوهش‌های متعددی در علوم مرتع، علوم زراعی و علوم دامی در خصوص عوامل موثر بر کیفیت علوفه و ارزش غذایی گیاهان مرتعی و علوفه‌ای زراعی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. از شاخص‌ترین آنها، می‌توان به گزارش طرح ملی کیفیت علوفه گیاهان مرتعی کشور (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۷) و گزارش طرح ملی کیفیت علوفه، تعیین اندازه های اقتصادی و واحدهای اجتماعی پایه مرتعداری (ارزانی و همکاران، ۱۳۷۷) اشاره کرد.

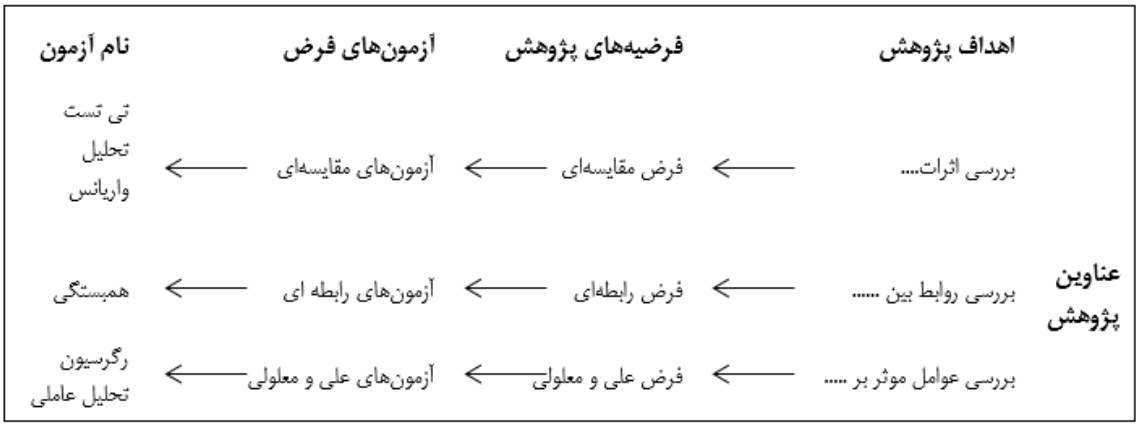
در سایر پژوهش‌ها، عواملی همچون مرحله فنولوژیک (ارزانی و همکاران، ۱۳۹۹-۱۳۸۰)، گروه‌های عملکردی (Schaub et al., 2019)، خصوصیات خاک (Tamou et al., 2018)، فصل (Melo et al., 2014؛ Xu et al., 2024)، بارندگی (Naah, 2018)، دما (Lorenzo et al., 2015؛ قربانپور و همکاران، ۱۳۹۸) الگوی کشت (Lv et al., 2023؛ Mak et al., 2022)، زمان کشت (Mashreghi et al., 2014)، زمان برداشت (جباری و همکاران، ۱۴۰۲؛ Monirifar et al., 2020)، فواصل برداشت (Geren et al., 2020؛ Sayar et al., 2022)، ارتفاع برش (Wang et al., 2021)، ترکیب جیره غذایی (Aubé et al., 2019)، شدت چرای دام (Sharifian et al., 2023؛ Tahmasebi et al., 2020)، کودپاشی (Walie et al., 2023؛ Chen et al., 2022)، تنوع گونه‌ای (Schaub et al., 2020)، مکان (Başbağ and Sayar, 2023) و اندام گیاه (Mak et al., 2022) بر کیفیت علوفه بررسی شده است.

در پژوهش‌های علوم مرتع، هرجا هدف، بررسی اثر یا تاثیر تیماری بر شاخص‌های کیفیت علوفه است و در عنوان پژوهش، واژه‌های «تاثیر»،« اثر»، «مقایسه» آمد، قطعا از آزمون‌های خانواده تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شده است (شکل ۱). رشته‌های علوم مرتع که جزو رشته‌های بوم‌شناسی کاربردی محسوب می‌شوند، همواره هدف پژوهشگران بررسی تاثیر محیط بر روی موجود زنده و بالعکس، تاثیر موجود زنده (دام) بر محیط (مرتع) است (جعفری و رستم‌پور، ۱۳۹۸).

با مروری بر پژوهش‌های انجام شده در مطالعات کیفیت علوفه، می‌توان مشاهده کرد که رایج‌ترین طرح‌ها و آزمون‌های آماری در تحلیل داده‌ها، مخصوصاً در بررسی اثر مراحل فنولوژیک بر شاخص‌های کیفیت علوفه، طرح کاملاً تصادفی (آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه)، آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح‌های پایه و طرح کرت‌های خرد شده (آزمون تحلیل واریانس چندطرفه) است.

در طرح آزمایشات منابع طبیعی، تحلیل واریانس یک‌طرفه[1]، که گاهی تحلیل واریانس مستقل[2] نامیده می‌شود، به‌عنوان یکی از پرکاربردترین آزمون‌های فرض مقایسه‌ای، شکل تعمیم‌یافته آزمون تی استیودنت با نمونه‌های مستقل[3] است و میانگین‌های بیش از دو گروه مستقل را با یکدگیر مقایسه می‌کند. اساس کار در تحلیل واریانس، تجزیه تغییرات یا واریانس کل برحسب متغیر تیمار یا عامل گروه‌بندی[4] و خطا[5] است (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از پیش‌فرض‌های مهم تحلیل واریانس یک طرفه، استقلال گروه‌هاست، بدین معنی که هیچ آزمودنی در هیچ گروهی نمی‌تواند بر آزمودنی‌های گروه‌های دیگر اثر داشته باشد (Bower, 2013).

1. One-way ANOVA
2. Independent ANOVA
3. Independent-samples t-test
4. Between group
5. Error



شکل (۱): انواع اهداف پژوهشی و آزمون‌های رایج در تحلیل داده‌های پژوهش‌های علوم مرتع. منبع: پژوهش حاضر

در پژوهش‌هایی که متغیر یا صفتی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود (اندازه‌گیری مکرر)، اساساً این پیش‌فرض نقض می‌شود. اندازه‌گیری مکرر به طرحی گفته می‌شود که در آن هر یک از آزمودنی‌ها در معرض بیش از یک متغیر مستقل قرار می‌گیرند. مورد استفاده مناسب این طرح زمانی است که پژوهشگر علاقمند باشد تغییراتی را که در روند زمان در آزمودنی به وجود می‌آید مشاهده یا اندازه‌گیری نماید (Janczyk and Pfister, 2023). هدف اساسی این طرح، به حداقل رساندن خطاهای ناشی از تفاوت‌های فردی است. تحلیل واریانس مکرر یک‌طرفه[1]را که گاهی تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری یا تحلیل واریانس درون گروهی[2]یا تحلیل واریانس وابسته[3]نیز می‌نامند، شکل تعمیم‌یافته آزمون تی استیودنت با نمونه‌های وابسته[4] است و میانگین‌های بیش از دو گروه وابسته را با یکدیگرمقایسه می‌کند. در تحلیل واریانس مکرر یک‌طرفه، واریانس خطا، خود به دو جزء دیگر به نام‌های واریانس درون گروهی[5]و خطاتفکیک می‌شود. این امر باعث می‌شود که سطح خطای مدل، کاهشی باشد (Verma, 2015).

سوالی اولی که در اینجا مطرح می‌شود این است که آیا تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه نسبت به تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه از سودمندی لازم برای بررسی اثر مرحله فنولوژیک بر شاخص‌های کیفیت علوفه برخودار است یا خیر؟

با مروری بر پژوهش‌های انجام شده، می‌توان دریافت که تعداد نمونه یا پایه گیاهی که بدین منظور قطع شده است، جهت آنالیز شاخص‌های کیفیت علوفه و ارزش غذایی گیاهان بین ۳ تا ۲۰ نمونه متغیر است (به‌طور متوسط ۵ تا ۱۰ نمونه). سوال دوم این است که آیا این تعداد نمونه جهت انجام آزمون‌های آماری مقایسه‌ای کافی است و توان لازم برای تعیین حداقل اختلاف آماری معنی‌دار بین تیمارهای مورد مطالعه را دارد یا خیر؟ انتخاب اندازه نمونه مناسب یک گام مهم در طراحی یک مطالعه موفق است. یک مطالعه با اندازه نمونه کافی ممکن است از توان آماری کافی برای تشخیص اثرات معنی‌دار برخوردار نباشد و ممکن است پاسخ‌های غیرقابل اعتماد برای سؤالات مهم پژوهش ایجاد کند. از طرف دیگر، یک مطالعه با اندازه بیش از حد نمونه، منابع را هدر می‌دهد. انتخاب اندازه نمونه مناسب احتمال تشخیص اثر را افزایش می‌دهد و تضمین می‌کند که این مطالعه مقرون به صرفه است (Guo et al., 2013). روابط و جداول متعددی برای تعیین اندازه نمونه در علوم مختلف وجود دارد، مثل رابطه کوکران (براساس مقادیر Z، انحراف معیار و ضریب تغییرات) (رستم‌پور و ساغری، ۱۴۰۲) و جدول مورگان. یکی از روش‌های تعیین اندازه نمونه، بدون اطلاع از آمار توصیفی، استفاده از نتایج آنالیز توان و اندازه اثر است.

هدف از پژوهش حاضر، مشخصاً تعیین تعداد نمونه لازم برای آزمون‌های آماری مقایسه‌ای براساس توان مدنظر و اندازه اثر متوسط و همچنین بررسی سودمندی نسبی آزمون تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه نسبت به تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه است. در نهایت راهنمایی برای انتخاب آزمون‌های آماری مناسب برای تجزیه و تحلیل اهداف مختلف رایج در مطالعات کیفیت علوفه معرفی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در بخشی از مراتع استپی شهرستان قاین، خراسان جنوبی انجام شد. پس از شناسایی رویشگاه‌های منطقه مورد مطالعه، تیپ گیاهی *Stipa barbata* به‌عنوان تیپ غالب منطقه انتخاب شد و از اندام‌های هوایی گونه *Stipa barbata* با ۵ تکرار در سه مرحله فنولوزیک رویشی، گلدهی و بذردهی نمونه‌برداری انجام شد. برخی از مهمترین شاخص‌های کیفیت علوفه شامل پروتئین خام (CP)،پس از اندازه‌گیری درصد نیتروژن (N) به روش کجلدال با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) با استفاده از دستگاه فایبرتک، در آزمایشگاه تغذیه دام

1. One-way repeated measures ANOVA
2. Within-subjects ANOVA
3. Paired ANOVA
4. Paired sample t-test
5. Within group

دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اندازه‌گیری شد. هضم‌پذیری ماده خشک(DMD) و انرژی متابولیسمی (ME) گونه‌های گیاهی نیز توسط روابط (۲) و (۳) برآورد شد (ارزانی و همکاران، ۱۳۹۲).

رابطه (۱) $\%N \times ۶/۲۵ =$ پروتئین خام (CP)

رابطه (۲) $\%DMD = ۸۳.۵۸ - ۰.۸۲۴(\%ADF) + ۲.۲۶۲(\%N)$

رابطه (۳) $ME\left(\frac{Mj}{Kg}\right) = ۰.۱۷\%DMD - ۲$

که در آن؛N، درصد نیتروژن، DMD درصد هضم پذیری ماده خشک نمونه ها و ME انرژی متابولیسمی بر حسب مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک می باشد.

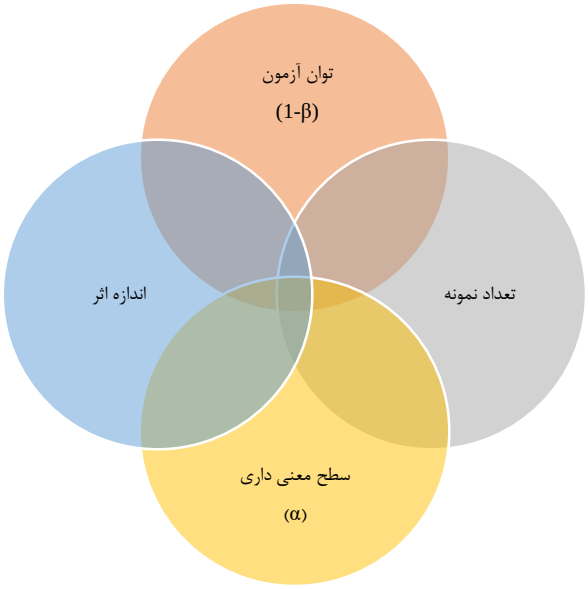
۱-۲- تعیین تعداد نمونه مورد نیاز

در پژوهش حاضر، تعداد نمونه مورد نیاز برای ارزیابی کیفیت علوفه گونه *Stipa barbata* در دو تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه و تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه برای سه مرحله فنولوژیک به ترتیب مراحل ذیل تعیین شد. علاوه براین، برای تمامی حالات ممکن (تعداد گونه و تعداد مرحله) نیز براساس اندازه اثر و توان‌های مدنظر، تعداد نمونه مورد نیاز به عنوان راهنمایی برای مطالعات کیفیت علوفه تعیین شد.

برای تعیین تعداد نمونه لازم می‌بایست پنج مورد را در نظر گرفت (Dattalo, 2008).

۱. تفاوت زیستی مدنظر بین گروه‌ها
۲. تغییرات در بین داده‌ها (انحراف معیار)
۳. سطح معنی‌داری (۰/۰۵ یا ۰/۰۱)
۴. توان مد نظر برای آزمایش (۶۰ درصد یا ۸۰ درصد)
۵. فرض مقابل (یک دامنه یا دو دامنه)

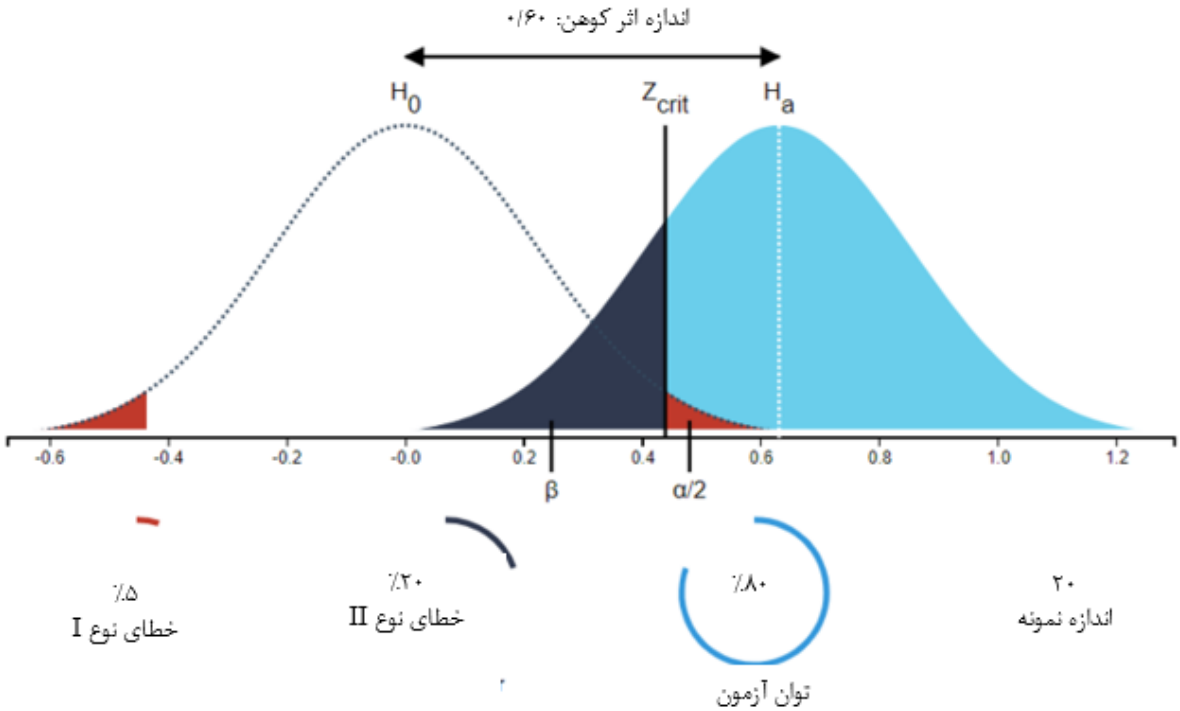
دو مورد اول، در مجموع، اندازه اثر[1]نامیده می‌شود. اندازه اثر، کمترین میزان اختلاف بین گروه‌های مورد آزمون است که از نظر یک اکولوژیست حایز اهمیت بوده و پژوهشگر علاقمند به کشف آن است. توان آزمون[2] در واقع $1-\beta$ و β احتمال ارتکاب خطای نوع II است، خطای نوع II، احتمال شکست در رد فرض صفر است در صورتی که غلط باشد. میزان حد قابل قبول خطای نوع II معمولا ۰/۲۰ و کمتر است، بنابراین توان آزمون قابل قبول در حدود ۰/۸۰ و بالاتر خواهد بود. به‌طور کلی برای برآورد تعداد نمونه براساس آنالیز توان، نیاز به سه آماره اندازه اثر (کوچک، متوسط و بزرگ)، توان مد نظر (۶۰ درصد و ۸۰ درصد) و سطح معنی‌داری (۰/۰۱ و ۰/۰۵) است (Cohen, 1988) (شکل ۲).



شکل (۲): چهار جزء اصلی آنالیز توان: توان آماری، تعداد نمونه، سطح معنی‌داری و اندازه اثر. با داشتن سه مورد، چهارمی محاسبه می‌شود. منبع: پژوهش حاضر

1. Effect size
2. Test power

به‌عنوان مثال، در پژوهشی با تعداد نمونه ۲۰ تایی، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و اندازه اثر محاسبه شده ۰/۶۰ (اندازه اثر متوسط) ، با اطمینان ۸۰ درصد می‌توان از ارتکاب خطای نوع II جلوگیری کرد. بنابراین توان آزمون حدود ۸۰ درصد (منطقه سایه آبی روشن) و خطای نوع II حدود ۲۰ درصد است (شکل ۳).



شکل (۳): نمایش مفاهیم توان، اندازه نمونه، اندازه اثر کوهن و خطای نوع I وII . منبع: پژوهش حاضر

رایج‌ترین آزمون برای بررسی اثر مراحل فنولوژیک بر شاخص‌های کیفیت علوفه، تحلیل واریانس مستقل است. یکی از پیش فرض‌های آن مستقل بودن تیمارهاست (جدول ۱). از آنجایی که در پژوهش حاضر، اثر مرحله به عنوان یک عامل در حداقل ۳ سطح (وابسته) بر روی شاخص‌های کیفیت علوفه ارزیابی می‌شود، تعداد نمونه برای آزمون تحلیل واریانس مستقل طرح کاملاً تصادفی (به عنوان آزمون اشتباه) و تحلیل واریانس وابسته (به عنوان آزمون صحیح) برای بررسی اثر تیمار اصلی (مرحله فنولوژیک) و یا متقابل (گونه ×مرحله فنولوژیک) تعیین شد.

جدول (۱): پیش فرض‌های تحلیل واریانس مستقل

عبارت خطا (باقیمانده، ε)	ماهیت
کلی	توزیع نرمال، ماهیت تصادفی، غیروابسته، واریانس‌ها همگن
اثر تیمار	استقلال سطوح
اثر فاکتور	جمع‌پذیر
مقادیر تکرارشونده	غیروابسته (مستقل)

منبع: Bower, 2013

علاوه براین، در صورت نقض کلیه پیش‌فرض‌ها (بجز تصادفی بودن داده‌ها) تعداد نمونه مورد نیاز برای انجام آزمون‌های ناپارمتریک معادل تحلیل واریانس مستقل و تحلیل واریانس وابسته (به ترتیب آزمون کروسکال–والیس و فریدمن) تعیین شد.

۲-۲- تعیین تعداد نمونه لازم در تحلیل واریانس مستقل

قبل از نمونه‌برداری، در صورت عدم اطلاع از واریانس داده‌های شاخص‌های کیفیت علوفه، حداقل تعداد نمونه لازم برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه (اثر مرحله فنولوژیک) و تحلیل واریانس مستقل دوطرفه (گونه ×مرحله فنولوژیک) ، براساس اندازه اثر قراردادی کوهن (۱۹۸۸) (کوچک: ۰/۱۰، متوسط ۰/۲۵ و بزرگ: ۰/۴۰) (Cohen, 1988) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ توسط توابع pwr.anova.test، pwrss.f.rmanova و wp.rmanova به ترتیب در بسته‌های pwr، pwrss و WebPower در محیط R تعیین شد.

بسته به تعداد گونه و تعداد مراحل فنولوژیک، درجات آزادی و تعداد گروه‌های مورد مقایسه برای بررسی اثرات متقابل در جدول(۲) تعیین شد.

جدول (۲): درجات آزادی و تعداد گروه‌های مورد مقایسه برای تعیین تعداد نمونه جهت بررسی اثرات متقابل (گونه ×مرحله فنولوژیک)

تعداد گونه	تعداد مراحل فنولوژیک					
	۳		٤		٥	
	درجه آزادی	تعداد گروه	درجه آزادی	تعداد گروه	درجه آزادی	تعداد گروه
۲	۲	۶	۳	۸	۴	۱۰
۳	۴	۹	۶	۱۲	۸	۱۵
۴	۶	۱۲	۹	۱۶	۱۲	۲۰
۵	۸	۱۵	۱۲	۲۰	۱۶	۲۵

۳-۲- تعیین تعداد نمونه لازم در تحلیل واریانس وابسته

از آنجایی که کوهن، برای تحلیل واریانس وابسته، میزان اندازه اثر را گزارش نکرده است، از اندازه اثر بوسل و لی (۲۰۰۲) (کوچک:۰/۲۰، متوسط ۰/۶۰ و بزرگ: ۱/۰۰) برای تحلیل واریانس وابسته استفاده شد (Bausell and Li, 2002).

٤-۲- ارزیابی سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته

به‌منظور ارزیابی سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته، از نتایج تعداد نمونه لازم براساس اندازه اثر و توان آزمون استفاده شد (رابطه ۴).

$$RE = \left(\frac{n_{rmANOVA}}{n_{ANOVA}}\right) \times 100$$

رابطه (۴)

که در آن، RE: Relative Efficiency یا سودمندی نسبی، n_{ANOVA} و $n_{rmANOVA}$: به ترتیب تعداد نمونه در تحلیل واریانس مستقل و تحلیل واریانس وابسته است که برای رسیدن به توان یکسان (۸۰ درصد) لازم است.

در پژوهش حاضر، تعداد نمونه توسط بسته‌های رایگان محیط R تعیین شد. نرم افزار G*Power نیز رایگان بوده و به سهولت در دسترس قرار دارد و توسط آن، امکان محاسبه توان، اندازه اثر و تعداد نمونه مورد نیاز برای اکثر آزمون‌های آماری مقایسه‌ای، رابطه‌ای و علی و معلولی وجود دارد. در جدول(۳)، برخی از نرم افزارها و بسته‌های آماری که برای تعیین تعداد نمونه و آنالیز توان آزمون‌های آماری استفاده می‌شود، معرفی شده است.

جدول (۳): معرفی برخی از نرم افزارها و بسته‌های آماری برای تعیین تعداد نمونه و آنالیز توان

نام نرم افزار یا بسته آماری	نوع دسترسی	تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه	تحلیل واریانس مستقل دوطرفه	تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه	تحلیل واریانس وابسته دوطرفه
G*Power	رایگان	✓	✓	✓	✓
Minitab	تجاری	✓	✓	-	-
PASS	تجاری	✓	✓	✓	-
SAS	تجاری	✓	✓	✓	✓
SPSS	تجاری	✓	-	-	-
STATA	تجاری	✓	✓	✓	-
XLSTAT	تجاری	✓	✓	✓	✓
pwrدر محیط R	رایگان	✓	-	-	-
pwrssدر محیط R	رایگان	✓	-	✓	-
WebPower در محیط R	رایگان	✓	✓	✓	✓
Superpower در محیط R	رایگان	✓	✓	✓	-

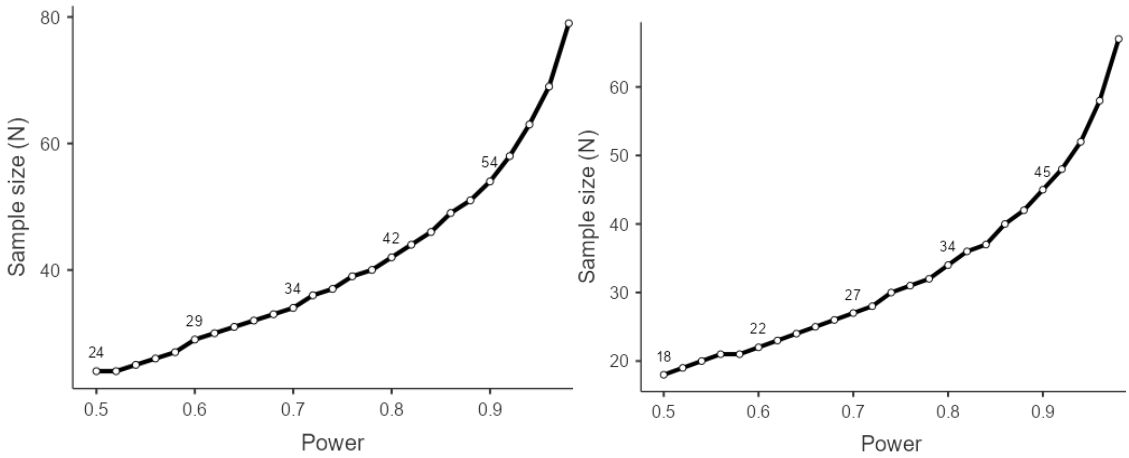
منبع: پژوهش حاضر

۳- نتایج

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه و تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه ، برای رسیدن به توان ۸۰ درصد برای ارزیابی کیفیت علوفه گونه *Stipa barbata* برای هر مرحله فنولوژیک به ترتیب ۴۲ و ۳۴ نمونه لازم است (جدول ۴). برای سایر توان‌های مد نظر (۶۰ درصد یا ۹۰ درصد) نیز تعداد نمونه مورد نیاز قابل محاسبه است (شکل ۴).

جدول (٤): تعداد نمونه مورد نیاز برای رسیدن به توان ۸۰ درصد برای ارزیابی کیفیت علوفه گونه *Stipa barbata* در سه مرحله فنولوژیک

نوع تحلیل	اندازه اثر	توان	درجه آزادی	سطح معنی داری	تعداد نمونه مورد نیاز
تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه	۰/۲۳	۰/۸۰	۲	۰/۰۵	۴۲
تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه	۰/۲۰	۰/۸۰	۲	۰/۰۵	۳۴



شکل (٤): رابطه تعداد نمونه مورد نیاز (N) و توان مدنظر (Power) در تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه (سمت چپ) و تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه (سمت راست)

در پژوهش حاضر، تعداد نمونه مورد نیاز برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در سه اندازه اثر کوچک، متوسط و بزرگ، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ برای تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه و تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه محاسبه شد. اگر هدف فقط بررسی اثر مراحل فنولوژیک بر یک گونه گیاهی باشد، نتایج نشان می‌دهد که برای تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه برای اندازه اثر متوسط در ۳ مرحله فنولوژیک، حدود ۱۵۰ نمونه در کل طرح و ۵۰ نمونه در هر تیمار (مرحله فنولوژیک) لازم است (جدول ۵). برای همین میزان توان، در تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه حدود ۳۶ نمونه در کل طرح و ۱۲ نمونه در هر تیمار (مرحله فنولوژیک) نیاز خواهد بود (جدول ۶). در صورت عدم تامین شرایط پارامتریک، نتایج نشان می‌دهد که تعداد نمونه لازم برای آزمون‌های ناپارامتریک کروسکال–والیس و فریدمن حدود ۱۵ درصد افزایش خواهد داشت (جداول ۷ و ۸). نتایج نشان می‌دهد برای رسیدن به توان ۸۰ درصد، برای آزمون کروسکال–والیس حدود ۱۷۲ نمونه در کل طرح و ۵۷ نمونه در هر تیمار (مرحله فنولوژیک) و برای آزمون فریدمن حدود ۴۱ نمونه در کل طرح و ۱۴ نمونه در هر تیمار (مرحله فنولوژیک) نیاز خواهد بود.

جدول (٥): اندازه نمونه تقریبی مورد نیاز برای تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

اندازه اثر	تعداد مراحل فنولوژیک					
	اندازه اثر کوهن	۳		٤	٥	
		تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
کوچک	۰/۱۰	۱۰۰۰	۳۳۳	۱۱۰۰	۲۷۵	۱۲۰۰	۲۴۰
متوسط	۰/۲۵	۱۵۰	۵۰	۱۸۰	۴۵	۲۰۰	۴۰
بزرگ	۰/۴۰	۶۰	۲۰	۷۰	۱۷	۸۰	۱۶

جدول (٦): اندازه نمونه تقریبی مورد نیاز برای تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

اندازه اثر	تعداد مراحل فنولوژیک					
	اندازه اثر بوسل و لی	۳		٤	٥	
		تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
کوچک	۰/۲۰	۳۰۰	۱۰۰	۳۲۵	۸۱	۳۶۰	۷۲
متوسط	۰/۶۰	۳۶	۱۲	۴۰	۱۰	۴۰	۸
بزرگ	۱/۰	۱۵	۵	۱۶	۴	۱۶	۳

جدول (۷): اندازه نمونه تقریبی مورد نیاز برای آزمون کروسکال-والیس، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

اندازه اثر	تعداد مراحل فنولوژیک					
	اندازه اثر کوهن	۳		٤		٥	
		تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
کوچک	۰/۱۰	۱۱۵۰	۳۸۳	۱۲۶۵	۳۱۶	۱۳۸۰	۲۷۶
متوسط	۰/۲۵	۱۷۲	۵۷	۲۰۷	۵۲	۲۳۰	۴۶
بزرگ	۰/۴۰	۶۹	۲۳	۸۰	۲۰	۹۲	۱۸

جدول (۸): اندازه نمونه تقریبی مورد نیاز برای آزمون فریدمن، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

اندازه اثر	تعداد مراحل فنولوژیک					
	اندازه اثر بوسل و لی	۳		٤		٥	
		تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
کوچک	۰/۲۰	۳۴۵	۱۱۵	۳۷۴	۹۳	۴۱۴	۸۳
متوسط	۰/۶۰	۴۱	۱۴	۴۶	۱۲	۴۶	۹
بزرگ	۱/۰	۱۷	۶	۱۸	۵	۱۸	۴

اگر هدف فقط بررسی اثر متقابل (گونه گیاهی× مراحل فنولوژیک) باشد، نتایج نشان می‌دهد که برای تحلیل واریانس مستقل دوطرفه برای اندازه اثر متوسط در ۲ گونه گیاهی و ۳ مرحله فنولوژیک، حدود ۱۵۸ نمونه در کل طرح و ۲۶ نمونه در هر تیمار (گونه گیاهی × مرحله فنولوژیک) لازم است (جدول ۹). برای همین میزان توان، در تحلیل واریانس وابسته دوطرفه حدود ۳۶ نمونه در کل طرح و ۶ نمونه در هر تیمار نیاز خواهد بود (جدول ۱۰). همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد گونه و تعداد مرحله، تعداد کل نمونه‌های مورد نیاز افزایش پیدا می‌کند، اما تعداد نمونه لازم برای تحلیل واریانس مستقل دوطرفه و تحلیل واریانس وابسته دوطرفه برای هر گروه به ترتیب تا ۱۳ و ۳ نمونه تقلیل پیدا می‌کند.

جدول (۹): تعداد نمونه تقریبی مورد نیاز برای تحلیل واریانس مستقل دوطرفه (گونه گیاهی× مرحله فنولوژیک)، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

تعداد گونه	تعداد مراحل فنولوژیک					
	۳		٤		٥	
	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
۲	۱۵۸	۲۶	۱۷۹	۲۲	۱۹۶	۲۰
۳	۱۹۶	۲۲	۲۲۵	۱۹	۲۴۹	۱۷
۴	۲۲۵	۱۹	۲۶۰	۱۶	۲۸۹	۱۴
۵	۲۴۹	۱۷	۲۸۹	۱۴	۳۲۲	۱۳

جدول (۱۰): تعداد نمونه تقریبی مورد نیاز برای تحلیل واریانس وابسته دوطرفه (گونه گیاهی× مرحله فنولوژیک)، با توان ۸۰ درصد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵

تعداد گونه	تعداد مراحل فنولوژیک					
	۳		٤		٥	
	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه	تعداد کل	برای هر گروه
۲	۳۶	۶	۴۰	۵	۴۴	۴
۳	۴۵	۵	۵۰	۴	۵۵	۴
۴	۵۲	۴	۵۸	۴	۶۴	۳
۵	۵۷	۴	۶۵	۳	۷۱	۳

همچنین براساس تعداد نمونه مورد نیاز برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در اندازه اثر متوسط، سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه برای بررسی اثر ۳ مرحله فنولوژیک حدود ۲۴ درصد بدست آمد (جدول ۱۱). همچنین سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته دوطرفه برای بررسی اثر ۲ گونه گیاهی در ۳ مرحله فنولوژیک حدود ۲۳ درصد است (جدول ۱۲).

جدول (۱۱): سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه نسبت به تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه در بررسی اثر مراحل فنولوژیک

اندازه اثر	سودمندی نسبی (درصد)		
	تعداد مراحل فنولوژیک		
	۳	٤	٥
کوچک	۳۰	۲۹	۳۰
متوسط	۲۴	۲۲	**۲۰**
بزرگ	۲۵	۲۳	۲۰

جدول (۱۲): سودمندی نسبی تحلیل واریانس وابسته دوطرفه نسبت به تحلیل واریانس مستقل دوطرفه در بررسی اثر متقابل گونه گیاهی × مراحل فنولوژیک

تعداد گونه	سودمندی نسبی (درصد)		
	تعداد مراحل فنولوژیک		
	۳	٤	٥
۲	۲۳	۲۲	۲۲
۳	۲۳	۲۲	۲۲
۴	۲۳	۲۲	۲۲
۵	۲۳	۲۲	۲۲

هدف دیگر پژوهش حاضر، ارائه راهنمای جامع بر حسب تعداد و میزان اهمیت عوامل مورد مطالعه جهت انتخاب طرح آزمایش و تحلیل آماری مناسب برای مطالعات کیفیت علوفه است. بدین منظور جدول (۱۳) تمامی حالات ممکن را در نظر گرفته است و می‌تواند به عنوان الگوی کلی برای این گونه پژوهش‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

جدول (۱۳): راهنمای انتخاب طرح آزمایش و نام آزمون مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت علوفه

عامل مورد مطالعه	شرایط	طرح آزمایشی	تجزیه و تحلیل پارامتریک
گونه یا واریته	مقایسه ۲ گونه	ساده	تی استیودنت با نمونه‌های مستقل
	مقایسه ۳ گونه و بیشتر، محیط: یکنواخت، عامل تغییر: فقط گونه	طرح کاملا تصادفی (CRD)	تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه
	وجود یک عامل خارجی کیفی قابل کنترل	طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD)	تحلیل واریانس مستقل دوطرفه بدون اثرات متقابل
	وجود دو عامل خارجی کیفی قابل کنترل	طرح مربع لاتین (LS)	تحلیل واریانس مستقل سه طرفه بدون اثرات متقابل
	وجود یک عامل خارجی کمی قابل کنترل	طرح پایه CRD، RCBD و LS	تحلیل کواریانس یک‌طرفه
	وجود دو عامل خارجی کمی قابل کنترل	طرح پایه CRD، RCBD و LS	تحلیل کواریانس دوطرفه
مرحله رشد	مقایسه ۲ مرحله	ساده	تی استیودنت با نمونه‌های وابسته
	مقایسه ۳ مرحله و بیشتر، مرحله رشد: کیفی (مثل مراحل فنولوژیک)	طرح چندمشاهده‌ای در زمان	تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه
گونه و زمان (مراحل رشد)	اهمیت و دقت اندازه‌گیری دو عامل: یکسان زمان اندازه‌گیری: کیفی /کمی با فواصل یکسان	طرح چندمشاهده‌ای در زمان	تحلیل واریانس وابسته دوطرفه/تجزیه روند
	اهمیت و دقت اندازه‌گیری دو عامل: متفاوت، گونه(اصلی)، زمان (فرعی)	طرح کرت خرد شده	تحلیل واریانس مرکب
گونه و زمان (فصل)	فصل به عنوان متغیر ثابت	طرح چندمشاهده‌ای در فصل	تحلیل واریانس مرکب در طول فصل
گونه و زمان (سال)	سال به عنوان متغیر تصادفی زمان اندازه‌گیری: کمی با فواصل متفاوت/یکسان	طرح چندمشاهده‌ای در سال	تحلیل واریانس مرکب در طول سال/تجزیه روند
گونه و میزان کود	اهمیت و دقت اندازه‌گیری دو عامل: یکسان سطوح کود: کمی با فواصل متفاوت/ یکسان	آزمایش فاکتوریل در قالب طرح‌های پایه	تحلیل واریانس مستقل دوطرفه با اثرات متقابل/تجزیه روند
گونه و میزان کود در مراحل رشد	اهمیت و دقت اندازه‌گیری دو عامل: متفاوت، کود (اصلی)، گونه (فرعی)	طرح کرت خرد شده در زمان	تحلیل واریانس مرکب

گونه، میزان کود و زمان کودپاشی	اهمیت و دقت اندازه‌گیری سه عامل: متفاوت، زمان کودپاشی (اصلی)، میزان کود (فرعی) و گونه (فرعی فرعی)	طرح کرت دوبار خردشده	تحلیل واریانس مرکب
	اهمیت و دقت اندازه‌گیری سه عامل: یکسان سطوح کود: کمی با فواصل متفاوت/ یکسان	آزمایش فاکتوریل در قالب طرح‌های پایه	تحلیل واریانس سه طرفه با اثرات متقابل/ تجزیه روند
گونه، میزان کود و زمان کودپاشی در مراحل رشد	اهمیت و دقت اندازه‌گیری سه عامل: یکسان زمان اندازه‌گیری: کیفی /کمی با فواصل یکسان	طرح چندمشاهده‌ای فاکتوریل در زمان	تحلیل واریانس وابسته سه طرفه/تجزیه روند

منبع: پژوهش حاضر. چارچوب تحلیل واریانس مرکب طرح کرت خردشده در زمان با طرح کرت دوبار خردشده مشابه یکدیگر است.

آزمون‌های فوق صرفاً معنی‌داری F را نشان می‌دهند، جهت مقایسه میانگین‌های بین تیمارها (مقایسات دو به دو و مقایسه با تیمار شاهد) بسته به نوع داده‌ها و وضعیت همگنی واریانس‌ها، آزمون‌های تعقیبی (post hoc) در جدول (۱۴) معرفی شده است.

جدول (١٤): راهنمای انتخاب آزمون‌های تعقیبی مناسب برای تحلیل‌های واریانس مستقل و وابسته

نوع داده‌ها	نوع آزمون	نوع مقایسه	وضعیت واریانس ها	آزمون مناسب post hoc
مستقل	تحلیل واریانس مستقل	همه تیمارها	همگن	Fisher's Least Significant Difference (LSD), Tukey's Honestly Significant Difference (HSD), Student–Neuman–Keuls (SNK), Bonferroni (all means), Duncan, Scheffe, Sidak, Hochberg's GT2, Gabriel, Waller-Duncan
			ناهمگن	Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell, Dunnett's C
		با شاهد	–	Dunnett, Bonferroni (control)
وابسته	تحلیل واریانس وابسته	همه تیمارها	-	مقایسه حدود اطمینان با استفاده از آزمونTukey و اصلاحیه Bonferroni یا Sidak
		با شاهد	-	t-test زوجی چندگانه با اصلاحیه Bonferroni

منبع: پژوهش حاضر

٤- بحث و نتیجه‌گیری

٤-١- اثر زمان

پژوهش حاضر دو سوال اساسی را مطرح کرد:

سوال اول: آیا کاربرد تحلیل واریانس مستقل در طرح‌هایی با اندازه‌گیری‌های تکراری در زمان، نسبت به تحلیل واریانس وابسته سودمندی لازم را دارد یا خیر؟

حقیقت امر این است که اگرچه تحلیل واریانس مستقل نسبت به انحراف پیش فرض‌های نرمالیتی و همگنی واریانس‌ها مقاوم است (Blanca et al., 2017)، اما استقلال گروه‌ها یا باقیمانده مدل کماکان پابرجاست. در صورت تصادفی‌سازی تیمارها، به خودی خود، شرط استقلال گروه‌ها تامین می‌شود (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۹۲)، اما در پژوهش‌های مربوط به اثر زمان بر شاخص‌های کیفیت علوفه، عملاً تصادفی‌سازی انجام نمی‌شود. فارسی (۱۳۷۸) هم این موضوع را تایید می‌کند. به گفته وی در طرح آزمایشات، فرض این است که میزان مشابهت مشاهده اول و مشاهده آخر مثل میزان مشابهت دو مشاهده متوالی می‌باشد. قطعاً چنین چیزی در خصوص زمان صحت ندارد، چون دو مشاهده متوالی، مشابهت بیشتری با هم دارند. از طرفی توزیع تصادفی زمان در عمل امکان‌پذیر نیست، یعنی نمی‌توان پروتئین خام گیاه را در مرحله گلدهی قبل از مرحله رویشی اندازه‌گیری نمود، زمان‌ها یا مراحل فنولوژیک، اجباراً به صورت متوالی پشت سر هم قرار می‌گیرند (فارسی، ۱۳۷۸). در طرح کاملاً تصادفی، فاکتوریل یا کرت‌های خرد شده، زمان به عنوان تیمار اصلی مدنظر قرار می‌گیرد نه به عنوان اندازه‌گیری‌های تکراری، بنابراین تحلیل واریانس طرح‌های آزمایشی دارای اندازه‌گیری‌های تکراری در طول زمان به صورت طرح کاملاً تصادفی یا کرت‌های خرد شده صحیح نیست.

در چنین شرایطی دو حالت وجود دارد:

حالت اول: اگر زمان از نوع کیفی است (مثل مراحل فنولوژیک)، تحلیل واریانس وابسته از سودمندی نسبی بالاتری نسبت به تحلیل واریانس مستقل برخوردار است. سوالی که در این پژوهش مطرح شد این است که آیا کاربرد تحلیل واریانس وابسته در افزایش دقت اندازه‌گیری میانگین شاخص‌های کیفیت علوفه در آزمایشات مقایسه مراحل فنولوژیک موثر هستند ؟برای پاسخ به این سوال، راه‌حل‌های مختلف وجود دارد، مانند مقایسه خطای معیار میانگین (SEM) و ضریب تغییرات (CV) آزمایشات یا تحلیل‌های اجرا شده (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۹۲) ، در پژوهش حاضر نسبت تعداد نمونه لازم برای رسیدن به توان ۸۰ درصد به عنوان ملاکی برای اندازه‌گیری سودمندی نسبی استفاده شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سودمندی یا

راندمان نسبی تحلیل واریانس وابسته بین ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از تحلیل واریانس مستقل است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که برای رسیدن به توان ۸۰ درصد در تحلیل ورایانس مستقل با ۳ مرحله فنولوژیک ۵۰ نمونه لازم است، در حالی که می‌توان با انجام تحلیل واریانس وابسته با ۱۲ تکرار، به همان دقت دست یافت؛ این یعنی کاهش زمان نمونه‌برداری و کاهش هزینه آنالیزهای شیمیایی. Guo et al., (۲۰۱۳) به این مسئله اذعان نمودند. آنها اشاره کردند که اندازه‌گیری‌های مکرر می‌تواند همزمان توان آزمون آماری را برای تشخیص تغییرات افزایش دهد و در عین حال هزینه‌های انجام یک مطالعه را کاهش دهد. واضح است که تجزیه شیمیایی برخی از شاخص‌های کیفیت علوفه مثل پروتئین خام، انرژی و عناصر معدنی هزینه‌بر، وقت‌گیر و در بعضی از مواقع از نظر شیمیایی مضر است (ارزانی و همکاران، ۱۳۹۹). قابل ذکر است که تنها پژوهش انجام شده در داخل کشور که در مطالعات کیفیت علوفه از تحلیل واریانس وابسته استفاده شده است، پژوهش خراسانی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) است، آنها اثر گونه را با تحلیل واریانس مستقل و اثر مرحله و اثرات متقابل گونه در مرحله فنولوژیک را با آزمون اندازه‌گیری مکرر بررسی کرده‌اند.

حالت دوم: اگر زمان از نوع کمی است و فواصل زمان نیز یکسان است (مثل ۳، ۶ و ۹ ماه پس از کشت)، که در پژوهش‌های علوم مرتع این حالت کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجزیه روند یا منحنی سطح-پاسخ توصیه می‌شود (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

سوال دوم: آیا تعداد ۳ تا ۲۰ نمونه گیاهی برای انجام آزمون‌های آماری مقایسه‌ای کافیست؟

در پژوهش حاضر برای تعیین تعداد نمونه لازم از دو مفهوم اندازه اثر و توان آزمون استفاده شد. اگر پژوهشگر از میزان اختلاف واقعی یا معنی‌دار بین دو تیمار (اندازه اثر) بی‌اطلاع است، می‌تواند از اندازه اثر متوسط استفاده کند. به لحاظ تفسیر، اندازه اثر در تحلیل‌های واریانس مشابه ضریب تشخیص در تحلیل‌های رگرسیون است. اندازه اثر متوسط قراردادی تحلیل واریانس مستقل ۰/۲۵ و در تحلیل واریانس وابسته ۰/۶۰ است. یعنی متغیر مستقل (زمان) به ترتیب ۲۵ درصد و ۶۰ درصد تغییرات متغیر وابسته (خصوصیات کیفی علوفه) را توجیه می‌کند. در چنین شرایطی اگر اصرار به استفاده از تحلیل واریانس مستقل بود حداقل ۵۰ نمونه و اگر از تحلیل واریانس مکرر استفاده شود حداقل ۱۲ نمونه لازم برای هر مرحله فنولوژیک لازم است تا به توان ۸۰ درصد آزمون دست یافت. همانطور که اشاره شد، در پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور، تعداد ۳، ۵ یا ۱۰ پایه از گیاهان به صورت تصادفی قطع می‌شود. اگر از آزمون صحیح نیز استفاده شود، درصورتی می‌توان ۵ نمونه را برای تحلیل واریانس وابسته کافی دانست که انتظار داشته باشیم تفاوت بین خصوصیات در مراحل مورد مطالعه بسیار زیاد باشد (اندازه اثر بزرگ: ۱/۰) به طوری که بتوان گفت ۱۰۰ درصد تغییرات شاخص‌های کیفیت علوفه ناشی از تیمار مورد مطالعه (مرحله فنولوژیک) است. این مستلزم ثابت نگه داشتن تمام عوامل احتمالی است که بر روی نتیجه آزمون تاثیرگذار است (تفاوت‌های فردی و بین گونه‌ای، خصوصیات خاک و توپوگرافی) و این امر، عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین تعداد ۵ نمونه اصلاً کفایت لازم برای بررسی اثر مرحله بر شاخص‌های کیفیت علوفه را ندارد. اگر هدف صرفاً محاسبه آماره‌های توصیفی مثل میانگین و انحراف معیار خصوصیات یک گیاه است، با ۳ نمونه نیز می‌توان به این هدف دست یافت. مارالیان و یلچی (۱۴۰۱) با ۱۰ نمونه، صرفاً به محاسبه میانگین و مقایسه توصیفی شاخص‌های کیفیت علوفه *Lathyrus rotundifolius* بین مراحل فنولوژیک پرداختند. اما اگر قرار باشد از تحلیل آماری استنباطی استفاده نمود، توان آزمون را هم می‌بایست در نظر گرفت. افزایش تعداد نمونه، منجر به افزایش توان آزمون شده و در نتیجه، قابلیت اطمینان به نتیجه پژوهش را بهبود می‌بخشد (Bonapersona et al., 2021). در پژوهش‌های انجام شده، عموماً مقدار F و p.value یا .sig گزارش شده است. حال آنکه اهمیت گزارش تعداد نمونه، میزان تاثیر (اندازه اثر) و توان آزمون به مراتب مهمتر از p.value است. In et al., 2020 توصیه می‌کنند داوران و ویراستاران ضمن ارزیابی مقاله برای انتشار در نشریه، مناسب بودن فرآیند محاسبه اندازه نمونه را نیز به دقت ارزیابی کنند.

۲-٤- اثر گونه

با مرور کلی بر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به این نتیجه پی برد که بیش از ۹۸ درصد پژوهش‌های انجام شده به معنی‌داری اثر گونه بر شاخص‌های کیفیت علوفه اشاره کرده‌اند (Arzani et al., 2004؛ ارزانی و همکاران، ۱۳۹۹-۱۳۸۰). مشخص است که با افزایش مراحل رشد گیاه، به دلیل تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در طول زمان، زیست توده گیاه افزایش و کیفیت علوفه کاهش پیدا خواهد کرد (Tahmasebi et al., 2020).

طبیعتاً بین گونه‌ها، جنس‌ها، تیره‌ها و راسته‌های گیاهی مختلف از لحاظ خصوصیات گیاهی اختلاف وجود دارد و همین اختلافات مبنایی برای رده‌بندی گیاهی است. بنابراین از جنبه عملی چه ضرورتی دارد که گیاهان را از لحاظ خصوصیات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی مقایسه کنیم؟ به لحاظ آماری نیز تفاوت بین گیاهان مختلف از تیره‌ها و فرم‌های رویشی مختلف چه اهمیتی می‌تواند داشته باشد. خصوصیات کیفیت علوفه نیز از این قاعده مستثنا نیستند. بدون هر گونه تحلیل آماری نیز اختلاف کیفیت علوفه بین رده‌های مختلف گیاهی معنی‌دار است، حتی اگر معنی‌دار نباشد، مقایسه جو با تاغ و گون با گز که هر کدام ارجحیت غذایی مختلفی برای دام‌های متفاوت دارد، چه اهمیتی برای مرتعدار دارد؟ به نظر می‌رسد از جنبه مرتعداری، تعیین خوشخوراکی و ارزش رجحانی گیاهان مورد چرای دام که نیاز به پژوهش‌های میدانی، دامی و آزمایشگاهی دارد بر تعیین کیفیت علوفه رجحان داشته باشد. مقایسه مقادیر شاخص‌های کیفیت علوفه گونه‌های مختلف با یک مقدار شاخص یا استاندارد، مثل مقایسه انرژی متابولیسمی یک گونه با مقدار استاندارد ۸ مگاژول بر ماده خشک (ارزانی و همکاران، ۱۳۹۲) یا با گونه علوفه‌ای شاخص مثل یونجه (Shah et al., 2020) منطقی به نظر می‌رسد.

در پژوهش‌های انجام شده اگرچه واژه اثر گونه به‌عنوان تیمار اطلاق شده است اما در واقع جنس‌های گیاهی بررسی شده است.
مقایسه گونه‌های مختلف یک جنس یا واریته‌ها و زیرگونه‌های یک گونه هم به لحاظ عملی و هم به لحاظ آماری توجیه منطقی دارد؛ مثل مقایسه شاخص‌های کیفیت علوفه اکوتیپ‌های مختلف گون (زارع‌کیا و همکاران، ۱۴۰۰) ژنوتیپ‌های یولاف (Birmaduma et al., 2023) و ارقام یونجه (Harmanlıoglu and Kaplan, 2020 ؛Farshadfar et al., 2023) و نتیجه آن برای اصلاح کنندگان، تولید کنندگان و مصرف کنندگان گیاهان علوفه‌ای (انسان یا دام) اهمیت دارد.

۳-٤- اثر متقابل گونه در مرحله فنولوژیک

استفاده از آزمایشات فاکتوریل و طرح‌های کرت خرد شده در مطالعات کیفیت علوفه که اثر همزمان گونه (مستقل) و مراحل فنولوژیک (وابسته) را به عنوان متغیرهای مستقل بر شاخص‌های کیفیت علوفه (به عنوان متغیر وابسته) به صورت متغیر تصادفی در نظر می‌گیرند، تصادفی‌سازی تیمارها را نقض می‌کنند. در چنین شرایطی، تجزیه مرکب یا تحلیل واریانس وابسته دوطرفه پیشنهاد می‌شود و البته محاسبات پیچیده‌تری نیز دارد.

٤-٤- نتیجه‌گیری کلی

در نهایت پژوهش حاضر نشان داد که در صورتی که تعداد گروه‌ها بیشتر از ۳ و مستقل باشند (مثل گونه‌های یک جنس)، همچنین از شرایط پارامتریک برخوردار باشند (نرمال بودن و همگن بودن واریانس‌ها)، امکان استفاده از تحلیل واریانس مستقل یک‌طرفه وجود دارد و در صورتی که گروه‌ها وابسته باشند (مثل مراحل فنولوژیک)، تحلیل واریانس وابسته یک‌طرفه انجام شود. اکیداً توصیه می‌گردد از مقایسه جنس‌های مختلف از تیره‌های مختلف گیاهی اجتناب شود و برای هر جنس، فقط به مقایسه مراحل فنولوژیک پرداخته شود. همچنین توصیه می‌شود اگر هدف از تعیین کیفیت علوفه، انتخاب زمان مناسب چرای دام است، در کنار کمیت علوفه (تولید) و کیفیت علوفه شامل شاخص‌هایی مثل CP، ME و DMD در مرحله خاص فنولوژیک، جنبه‌های ضد کیفیت علوفه (مثل تانن‌ها، مواد تلخ و کومارین‌ها) نیز باید در نظر گرفته شود، این مسئله بیشتر در مورد گیاهان دارویی و اسانس‌دار مصداق پیدا می‌کند که در مرحله گلدهی که احتمالاً بالاترین میزان شاخص‌های کیفیت علوفه را دارند، پس از بارش‌های پاییزی و کاهش مواد ضد کیفیت، چرا می‌شوند.

منابع

ارزانی، ح. (۱۳۸۸). کیفیت علوفه و نیاز روزانه دام چراکننده از مرتع. تهران: مؤسسهٔ انتشارات دانشگاه تهران.

ارزانی، ح.، معتمدی (ترکان)، ج.، و زارع چاهوکی، م. ع. (۱۳۸۷). گزارش طرح ملی کیفیت علوفه گیاهان مرتعی کشور. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور.

ارزانی، ح.، نیکخواه، ع.، و ارزانی، ز. (۱۳۷۷). گزارش طرح ملی کیفیت علوفه، تعیین اندازه های اقتصادی و واحدهای اجتماعی پایه مرتعداری. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

ارزانی ح.، احمدی، ع.، آذرنیوند، ح.، و جعفری ع. ا. (۱۳۸۵). تعیین و مقایسه کیفیت علوفه پنج گونه مرتعی در مراحل مختلف رشد فنولوژیکی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۷(۲)، ۳۱۱-۳۰۳.

ارزانی، ح.، ترکان، ج.، جعفری، م.، جلیلی، ع.، و نیکخواه، ع. (۱۳۸۰). تأثیر مراحل مختلف فنولوژیک و عوامل اکولوژیک بر روی کیفیت علوفه‌ای چند گونه مرتعی. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۲(۲)، ۳۹۹-۳۸۵.

ارزانی، ح.، ترنیان ف.، معتمدی، ج.، شیرمردی، ح. ع.، آقاجانلو، ف.، ساعدی، ک.، و نجیب‌زاده، م. (۱۳۹۹). ارزیابی عناصر پرمصرف در گیاهان فورب با بکارگیری طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک. مرتع. ۱۴ (۱)،۱۲-۲۴

ارزانی، ح.، معتمدی، ج.، قره محمودلو، م.، و ابرسجی، ق. (۱۳۹۳). اندازه گیری شاخص‌های کیفیت علوفه گونه‌های مرتعی در مراتع نیمه استپی تیل آباد استان گلستان. فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری، ۱۰۴: ۳-۱۲.

ارزانی، ح.، معتمدی، ج.، یاری، ر.، قاسمی آریان، ی.، و خطیر نامنی، ج. (۱۳۹۲). تعیین کیفیت علوفه گونه‌های مرتعی در زیست بوم‌های مرتعی پاشایلق مراوه تپه استان گلستان. نشریه حفاظت زیست بومی گیاهی، ۱(۱)، ۱۰۴-۸۷.

اشرف‌زاده، م.، و عرفانزاده، ر. (۱۳۹۲). رابطه کیفیت علوفه و خوشخوراکی گونه های مهم مرتعی در مراتع زرین دشت استان فارس. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۰(۴)، ۷۶۸-۷۵۶.

بستان، ی. (۱۴۰۱). ارزش اقتصادی کارکردهای تولیدی و تنظیمی اکوسیستم‌های مرتعی (مطالعه موردی: خدمات تولید علوفه، دفع مواد زائد و تشکیل خاک). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۲(۲)، ۱۲-۱.

جباری، ح.، گل زردی، ف.، شریعتی، ف.، و اسدی، ه. (۱۴۰۲). اثر زمان برداشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه ارقام گلرنگ در کشت پاییزه. به زراعی کشاورزی، ۲۵(۱)، ۶۵-۸۱.

جعفری، م.، و رستم‌پور، م. (۱۳۹۸). روابط خاک و گیاه: اکولوژی، آمار و آنالیز (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران.

خراسانی‌نژاد، ز.، آجورلو، م.، پهلوانروی، ا.، و یوسف الهی، م. (۱۳۹۷). ارزیابی و مقایسه کیفیت علوفه سه گونه از گندمیان در مراحل مختلف فنولوژی در مراتع ییلاقی آسلمه کلاته چنار، شهرستان درگز. مرتع، ۱۲ (۱)،۲۴-۳۴.

رستم پور، م.، و ساغری، م. (۱۴۰۲). مقایسه روش‌های ترسیمی و آماری تعیین تعداد واحد نمونه‌برداری در مطالعات پوشش گیاهی اکوسیستم‌های بیابانی زیرکوه خراسان جنوبی. مرتع، ۱۷(۱)،۹۷-۱۱۳.

زارع کیا ص.، زارع، ن.، بختیاری، م.، و جعفری، ع. ا. (۱۴۰۰). تعیین و مقایسه کیفیت علوفه اکوتیپ‌های کشت شده دو گونه پرتولید گون علوفه‌ای (Astragalus brevidens و Astragalus vegetus). مرتع، ۱۵ (۴)، ۷۳۶-۷۴۵.

سرداری، ف. ارزانی، ح.، و جوادی، س. ا. (۱۳۹۸). طبقه‌بندی شایستگی مراتع سرایان خراسان جنوبی برای چرای گوسفند بلوچی. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۶(۴)، ۱۰۵۴-۱۰۴۲.

فارسی، م. (۱۳۷۸). طرح های آزمایشی در علوم کشاورزی. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

قربانپور، س.، دیانتی تیلکی، ق.ع.، و علیزاده، م. ع. (۱۳۹۸). اثر تیمار سرما بر شاخص‌های کیفیت علوفه برگ گونه‌های Festuca arundinaceae Scherab و Dactylis glomerata Lدر مرحله رشد رویشی. مرتع، ۱۳(۳)، ۳۶۸-۳۷۵.

قهساره اردستانی، ا.، خدری غریب‌وند، ح. ا.، و علیخانی، ف. (۱۴۰۲). سنجش نگرش بهره برداران فاقد و دارای طرح مرتعداری در زمینه کارکردها، کالا و خدمات اکوسیستمی مراتع بلداجی. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۳(۱)،۱۴-۱.

کاظمی، م.، و ولی‌زاده، ر. (۱۳۹۹). ارزش غذایی دو گونه گیاهی Salvia hydrangea و Sophora alopecuroides در دو مرحله فنولوژیکی. اکوفیزیولوژی گیاهی، ۱۲(۴۱)، ۱۸۷-۱۷۵.

مارالیان، ح.، و یلچی، ط. (۱۴۰۱). ارزیابی خصوصیات گیاهی و ترکیب شیمیایی خلر وحشی .(Lathyrus rotundifolius) مرتع،۱۶ (۱) ،۸۱-۹۲.

یزدی صمدی، ب.، ولی زاده ، م.، و رضایی، ع. م. (۱۳۹۲). طرحهای آماری در پژوهشهای کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

Arzani, H., Zohdi, M., Fisher, E., Zahedi Amiri, G.H., Nikkhah, A. and Wester, D., (2004). Phenological effects on forage quality of five grass species. Journal of Rangeland Ecology and Management, 57: 624-629.

Aubé, L., Guay, F., Bergeron, R., Bélanger, G., Tremblay, G. F., and Devillers, N. (2019). Sows' preferences for different forage mixtures offered as fresh or dry forage in relation to botanical and chemical composition. Animal, an international journal of animal bioscience, 13(12), 2885–2895.

Başbağ, M., and Sayar, M. S. (2023). Determination of Some Forage Quality Traits in Aegilops Species Found in the Southeastern Anatolia Region. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 7(4): 870-880.

Bausell, R. B., and Li, Y.-F. (2002). Power Analysis for Experimental Research, A Practical Guide for the Biological, Medical and Social Sciences (1st ed.). Cambridge University Press.

Birmaduma G., Muleta D., Tamrat Di. and Abuye T. (2023) Forage yield and quality parameters of eight oat (Avena sativa L.) genotypes at multilocation trials in Eastern Oromia, Ethiopia, Cogent Food and Agriculture, 9, 1.

Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., and Bendayan, R. (2017). Non-normal data, Is ANOVA still a valid option?. Psicothema, 29(4), 552-557.

Bonapersona, V., Hoijtink, H., RELACS Consortium, Sarabdjitsingh, R. A., and Joëls, M. (2021). Increasing the statistical power of animal experiments with historical control data. Nature neuroscience, 24(4), 470–477.

Bower, J, A., (2013). Statistical Methods for Food Science, Introductory Procedures for the Food Practitioner. Wiley-Blackwell .320 Pages

Chen, X., Jiao, T., Nie, Z., Zhang, D., Wang, J., and Qi, J. (2022). Effects of different fertilizers on nutrient quality and mineral elements in different economic forage groups in Qilian Mountain alpine meadows. PeerJ, 10, e14223.

Cherney, D. J., and Parsons, D. (2020). Predicting forage quality. Forages: The Science of Grassland Agriculture, 2, 687-699.

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). L. Erlbaum Associates.

Dattalo, P. (2008). Determining Sample Size: Balancing Power, Precision, and Practicality. New York, NY: Oxfrod University Press.

Farshadfar, M., Kakaei, M., Salehabadi, Y., Baghaeifar, Z., and Jafari A.A. (2023). Study of Diversity for Yield and Quality Traits in Alfalfa (Medicago sativa L.) and Determination of the Best Population for Cultivation in Dryland Farming in Iran. Journal of Rangeland Science, 12(1), 87-101.

Geipel, J., Bakken, A.K., Jørgensen, M. and et al. (2021). Forage yield and quality estimation by means of UAV and hyperspectral imaging. Precision Agric 22, 1437–1463.

Geren, H., Kavut, Y., and Unlu, H. (2020). Effect of Different Cutting Intervals on the Forage Yield and Some Silage Quality Characteristics of Giant King Grass (Pennisetum Hybridum) Under Mediterranean Climatic Conditions. Turkish Journal of Field Crops, 25(1), 1-8.

Guo, Y., Logan, H. L., Glueck, D. H., and Muller, K. E. (2013). Selecting a sample size for studies with repeated measures. BMC medical research methodology, 13, 1-8.

Harmanlıoglu, O. and Kaplan, M. (2020). Herbage Yield and Quality Traits of Different Alfalfa (Medicago Sativa) Cultivars. Current Trends in Natural Sciences, 9(17): 74-82.

In, J., Kang, H., Kim, J. H., Kim, T. K., Ahn, E. J., Lee, D. K., Lee, S., and Park, J. H. (2020). Tips for troublesome sample-size calculation. Korean journal of anesthesiology, 73(2), 114–120.

Janczyk, M., and Pfister, R., (2023). Understanding Inferential Statistics, From A for Significance Test to Z for Confidence Interval. Springer. 218 p.

Katoch, R. (2023). Introduction. In, Techniques in Forage Quality Analysis. Springer, Singapore.

Keim, J. P., Cabanilla, J., Balocchi, O. A., Pulido, R. G., and Bertrand, A. (2018). In vitro fermentation and in situ rumen degradation kinetics of summer forage brassica plants. Animal Production Science, 59(7), 1271-1280.

Li, B., Ishii, Y., Idota, S., Tobisa, M., Niimi, M., Yang, Y., and Nishimura, K. (2019). Yield and quality of forages in a triple cropping system in Southern Kyushu, Japan. Agronomy, 9(6), 277.

Lorenzo, M., Assuero, S.G., and Tognetti, J.A. (2015). Temperature Impact on the Forage Quality of Two Wheat Cultivars with Contrasting Capacity to Accumulate Sugars. Agriculture, 5(3), 649-667.

Lv, Y., Wang, J., Yin, M., Kang, Y., Ma, Y., Jia, Q., Qi, G., Jiang, Y., Lu, Q., and Chen, X. (2023). Effects of Planting and Nitrogen Application Patterns on Alfalfa Yield, Quality, Water–Nitrogen Use Efficiency, and Economic Benefits in the Yellow River Irrigation Region of Gansu Province, China. Water, 15(2), 251.

Mak, M.E., Zhang, D., Zhou, X., Zhao, X., Wang, X., Zhao, W., Wang, Q., and Ahiakpa, J.K. (2022). Effect of co-application of ridge-furrow rainwater harvesting and mulching on fodder yield, quality, and soil desiccation in alfalfa (Medicago sativa) production. J. Soil Sci. Plant Nutr. 22, 2587-2602.

Mashreghi, M., Khorasani, S. K., and Darban, A. R. S. (2014). Effect of Planting Methods and Plant Density on Yield and Yield Component of Fodder Maize. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 6(1), 44-48.

Melo, C.D., Maduro Dias, CSAM, Wallon, S., Borba, A.E.S., Madruga, J., Borges, P.A.V., Ferreira, M.T., and Elias R.B. (2022). Influence of Climate Variability and Soil Fertility on the Forage Quality and Productivity in Azorean Pastures. Agriculture, 12(3), 358.

Monirifar, H., Mirmozaffari Roudsari, A., Ghassemi, S., and Tavasolee, A. (2020). Harvest time and cultivar effects on growth, physiological traits, yield and quality of alfalfa in saline condition. International Journal of Plant Production, 14(3), 453-462.

Moore, K. J., Lenssen, A. W., and Fales, S. L. (2020). Factors affecting forage quality. Forages, The Science of Grassland Agriculture, 2, 701–717.

Naah, J. B. S. (2018). Investigating criteria for valuation of forage resources by local agro-pastoralists in West Africa: using quantitative ethnoecological approach. Journal of ethnobiology and ethnomedicine, 14, 1-16.

Randall, K.J., Ellison, M.J., Yelich, J.V., Price, W.J., and Johnson, T.N. (2023). Changes in Forage Quality and Cattle Performance with Short-Duration Grazing of Mesic Meadows in the Intermountain West. Rangeland Ecology and Management, 87(1), 13-21.

Sayar, M.S., Basbag, M., Cacan, E. and Karan, H. (2022). The effect of different cutting times on forage quality traits of alfalfa (Medicago sativa L.) genotypes and evaluations with biplot analysis. – Fresenius Environmental Bulletin, 31(08B), 9178–9190.

Schaub, S., Finger, R., Leiber, F., Probst, S., Kreuzer, M., Weigelt, A., Buchmann, N., and Scherer-Lorenzen, M. (2019). Data: forage quality and biomass yield of the Management Experiment set up within the Jena Experiment.

Schaub, S., Finger, R., Leiber, F., Probst, S., Kreuzer, M., Weigelt, A., Buchmann, N., and Scherer-Lorenzen, M. (2020). Plant diversity effects on forage quality, yield and revenues of semi-natural grasslands. Nature Communications, 11(1), 768.

Shah, S. S, Shi, L, Li, Z, Ren, G, Zhou, B, and Qin, P. (2020). Yield, Agronomic and Forage Quality Traits of Different Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Genotypes in Northeast China. Agronomy. 2020, 10(12), 1908.

Sharifian, A., Gantuya, B., Wario, H. T., Kotowski, M. A., Barani, H., Manzano, P., Krätli, S., Babai, D., Biró, M., Sáfián, L., Erdenetsogt, J., Qabel, Q. M., and Molnár, Z. (2023). Global principles in local traditional knowledge, a review of forage plant-livestock-herder interactions. Journal of environmental management, 328, 116966.

Tahmasebi, P., Manafian, N., Ebrahimi, A., Omidipour, R., and Faal, M. (2020). Managing Grazing Intensity Linked to Forage Quantity and Quality Trade-Off in Semiarid Rangelands. Rangeland Ecology and Management 73(1), 53-60.

Tamou, C., de Boer, I. J. M., Ripoll-Bosch, R., and Oosting, S. J. (2018). Traditional ecological knowledge underlying herding decisions of pastoralists. Animal, an international journal of animal bioscience, 12(4), 831–843.

Tufarelli, V .(2019). Quality and Production of Forage .Mdpi AG .

Verma, J. P. (2015). Repeated measures design for empirical researchers. Hoboken, New Jersey, Wiley.

Walie, M., Tegegne, F., Mekuriaw, Y., Tsunekawa, A., Kobayashi, N., Ichinohe, T., Haregeweyn, N., Tassew A., Mekuriaw, S., Masunaga, T., Okuro, T., Tsubo, M., Meshesha, D. M., Adgo, E., and Mulualem, T. (2023) Biomass yield, quality, and soil nutrients of pasture influenced by farmyard manure and enrichment planting. Rangeland Ecology and Management, 88, 174-181.

Wang, X.-Y., Cao, W.-X. Wang, X.-J., and Liu, Y. Z., Gao, R., Wang, H. An., Deng, X. X., and Wang, W. H. (2021). Herbage production and forage quality responses to cutting height and fertilization of legume-grass mixtures in the Hexi region [J]. Acta Prataculturae Sinica, 30(4), 99-110.

Xu, L., Tang, G., Wu, D. and Zhang, J. (2024). Yield and nutrient composition of forage crops and their effects on soil characteristics of winter fallow paddy in South China. Front. Plant Sci. 14, 1292114.

Management of Natural Ecosystems
Volume 3, Issue 4, Winter 2024, 25-39
http://emj.ardakan.ac.ir/article_722927.html

Guide for selecting the appropriate statistical tests for the analysis of forage quality data in rangeland science research

Moslem Rostampour[*1]

CC BY

Review Article

1. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Birjand University, Birjand, Iran.

rostampour@birjand.ac.ir

* Corresponding author

Article Code: 2501-1085
Countinus Pagination: 604-618

Received: 5 January 2025
Accepted: 7 April 2025
Online: 08 May 2025
Review speed: 93 days

Citation:
Rostampour, M. (2024). Guide to selecting the appropriate statistical tests for the analysis of forage quality data in rangeland science research. Management of Natural Ecosystems, 3(4), 25-39.

Abstract

The purpose of this study is to guide for selecting the appropriate statistical tests, Determining the required number of samples and Investigating the relative usefulness of dependent ANOVA compared to independent ANOVA in forage quality studies. For this purpose, In the present study, the effect of stage as a factor was evaluated at least 3 levels on forage quality indicators., and the Number of samples for the independent ANOVA (as the wrong test) and the dependent ANOVA (as the correct test) was determined for the effect of the main treatment (phenological stage) and interaction (species × phenological stage. The Minimum number of required samples to reach the power of 80% in one-way and two-way independent ANOVA, based on Cohen's effect size and Bossel's and Lee's effect size, was determined at the significance level of 0.05. The results showed that, if the goal is only to study the effect of phenological stages on a plant species, for an independent ANOVA for the medium effect size in three stages, approximately 150 samples are required in the total and 50 samples in each treatment, For the same power, for a dependent ANOVA, about 36 samples in the total and 12 samples in each treatment are required. If the goal is to investigate the interaction, for an independent ANOVA for the medium effect size in two plant species and three stages, there were approximately 158 samples in the total design and 26 samples per treatment. For the same amount of power, the two-way ANOVA will require approximately 36 samples in the total design and six samples in each treatment. The results showed that in the present study the relative efficiency of the dependent ANOVA is between 20% and 30% higher than the independent ANOVA. Also, the number of 5 samples is not enough to investigate the effect of stage on fodder quality indicators.

Key Words:

Analysis of variance, nutritive value, phenological stage, relative efficiency

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.722927