وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

راهنمای استقرار شبکه پایش متغیرهای زمینی

(کاربرد در نمونه‌برداری‌های خاک، آب، گیاه و اقلیم)

یوسف هاشمی‌نژاد و محمدحسن رحیمیان

نشریه فنی: ۵۹۸

۱۳۹۹

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

موسسه تحقیقات خاک و آب

راهنمای استقرار شبکه پایش متغیرهای زمینی

(کاربرد در نمونه‌برداری‌های خاک، آب، گیاه و اقلیم)

نگارندگان

یوسف هاشمی نژاد و محمد حسن رحیمیان

اعضاء هیات علمی مرکز ملی تحقیقات شوری

نشریه فنی: ۵۹۸

۱۳۹۹

مشخصات اثر

عنوان: راهنمای استقرار شبکه پایش متغیرهای زمینی (کاربرد در نمونه‌برداری‌های خاک، آب، گیاه و اقلیم)

نگارندگان: یوسف هاشمی نژاد و محمد حسن رحیمیان

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

ویراستار: زهرا محمدی

صفحه آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: ۱۳۹۹

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، **کد پستی:** ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ - **صندوق پستی:** ۳۱۱-۳۱۷۸۵

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰ **دورنگار:** ۰۲۶-۳۶۲۱۰۱۲۱

Website: www.swri.ir **Email:** info@swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۵۸۵۳۲ در تاریخ ۹۹/۹/۴ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

پیش گفتار

سیستم‌های طبیعی سرشتی تغییرپذیر دارند. آب، خاک، گیاه و اقلیم نیز که اجزا اصلی تشکیل دهنده زیست‌بوم‌های طبیعی و کشاورزی هستند از این تغییرپذیری پیروی می‌کنند. بی‌گمان دامنه و شدت تغییرپذیری برخی از این اجزا و ویژگی آن‌ها ممکن است نسبت به دیگر اجزا و ویژگی‌ها کمتر و یا بیشتر باشد. در پایش این منابع، پوشش دادن کل تغییرپذیری جامعه از نگاه محدودیت منابع و زمان نه‌تنها امکان‌پذیر نیست بلکه منطقی هم نمی‌نماید. با این اوصاف بایستی از جامعه بررسی شده، نمونه‌هایی تهیه شود که نشانگر جامعه هدف باشد. روشن است هرچه تعداد نمونه افزایش یابد، بخش وسیع‌تری از تغییرپذیری متغیر مورد بررسی را پوشش می‌دهد. امروزه به‌یاری روش‌های رایانه‌ای و سنجش از دور می‌توان اتکای پایش به داده‌های زمینی را کم کرد. در این شرایط نمونه‌های انتخاب شده بایستی تا حد امکان به توزیع جامعه نزدیک باشند تا نشانگر جامعه باشند. این دستورالعمل که به مرور این روش‌ها پرداخته و در هفت بخش تهیه شده است. پس از مقدمه‌ای کوتاه، در بخش دو برخی اصطلاحات رایج در این زمینه معرفی شده‌اند. در بخش سه طرح‌های مختلف نمونه‌برداری از تصادفی ساده، شبکه منظم تا نمونه قضاوتی بحث شده‌اند. در بخش چهار اصول استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری شرح داده شدند. در این قسمت به معرفی روش استفاده از دامنه تغییرنما برای استقرار شبکه پایش و تعیین ناهمسانگردی پرداخته شده است. در بخش پنج روش تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری با استفاده از فرامکعب لاتین به‌صورت گام به گام تشریح شده است. در بخش شش روش‌های آماری ارزیابی دقت و صحت نمونه‌برداری پیش از اقدام به نمونه‌برداری و سرانجام در بخش هفت به جمع‌بندی مطالب پرداخته شده است.

این راهنما برای دانشجویان و پژوهشگران حوزه‌های کشاورزی، منابع‌طبیعی، محیط‌زیست و اقلیم‌شناسی کاربرد دارد و برای استفاده از آن بایستی خواننده اطلاعات آغازین درباره منابع آب، خاک، گیاه، اقلیم و نیز روش‌های آماری و سنجش از دور داشته باشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مقدمه ۱
۲- آشنایی با اصطلاحات ۲
۲-۱- زمین‌آمار ۲
۲-۲- کریجینگ ۳
۲-۳- واریوگرام (نیم‌تغییر نما) ۳
۲-۳-۱- دامنه تغییرنما ۵
۲-۳-۲- سقف تغییرنما ۵
۲-۳-۳- اثر قطعه‌ای ۵
۲-۴- نقشه‌برداری رقومی ۵
۲-۵- باندهای طیفی ۶
۲-۶- نسبت‌های باندی (شاخص های طیفی) ۶
۳- طرح‌های نمونه‌برداری ۷
۳-۱- نمونه قضاوتی ۷
۳-۲- نمونه تصادفی ساده ۸
۳-۳- نمونه تصادفی دسته بندی شده ۱۰
۳-۴- نمونه‌برداری سیستماتیک ۱۴
۳-۵- استفاده از توزیع تجمعی در نمونه‌برداری ۱۴
۳-۶- نمونه‌برداری الگوریتم مونت کارلو ۱۶
۳-۷- نمونه‌برداری فرامکعب لاتین ۱۷
۴- استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری ۲۰
۵- آموزش گام به گام تعیین نقاط نمونه‌برداری به روش فرامکعب لاتین ۲۴
۶- ارزیابی روش نمونه‌برداری پیش از شروع عملیات نمونه‌برداری ۳۰
۷- جمع‌بندی ۳۲
منابع ۳۳

خلاصه

اجزا مختلف سیستم‌های طبیعی مانند آب، خاک، گیاه و اقلیم دارای تغییرپذیری در مکان و زمان هستند. برای پایش این منابع، ضروری است تا با درگرفتن راهبرد مناسب، کمترین تعداد نقاط نمونه‌برداری به‌شیوه‌ای انتخاب شوند که نشانگر جامعه هدف باشند. پیش‌تر در مطالعات محیطی از طرح‌های نمونه‌برداری مانند کاملاً تصادفی و شبکه منظم استفاده می‌شد. اما برای انتخاب بین طرح‌های مختلف نمونه‌برداری و یا تراکم‌های مختلف، نیاز بود تا اطلاعات نخستین درباره جامعه هدف در دسترس باشد. امروزه با گسترش فناوری‌های رایانه‌ای و در اختیار بودن منابع اطلاعاتی مانند تصاویر ماهواره‌ای این امکان فراهم شده است تا با بهم پیوند دادن این منابع اطلاعاتی بهترین طرح و تراکم نمونه‌برداری، پیش از اقدام، تعیین شود و یا شبکه پایش مانند ایستگاه‌های هواشناسی و یا آب‌سنجی در بهترین موقعیت‌های ممکن مستقر شوند. هم‌چنین با استفاده از روش‌های آماری مناسب امکان ارزیابی دقت و صحت نمونه‌برداری، پیش از اقدام به نمونه‌برداری فراهم شده است. در این راستا فناوری‌های مختلفی مانند سنجش از دور، زمین‌آمار، آمار مکانی، مدل‌سازی و نقشه‌برداری رقومی استفاده می‌شود. در این راهنما، چگونگی استفاده از این فناوری‌ها در استقرار شبکه پایش معرفی شده است.

۱- مقدمه

تغییرپذیری مکانی یکی از ویژگی‌های سرشتی پدیده‌های طبیعی وابسته به آب و خاک، گیاه و اقلیم است. برخی مشخصه‌های این پدیده‌ها دارای تغییرپذیری شدید و برخی دارای تغییرپذیری کمتری هستند. به‌عنوان نمونه کربن آلی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک از دیدگاه مقدار و تغییرپذیری بسیار کم است. همین‌گونه، دمای هوا و یا بارندگی در یک دشت کوچک و به‌نسبت مسطح و بدون پستی و بلندی، دارای تغییرات مکانی اندک است. در حالی که شوری و رطوبت خاک هم در مکان و هم در زمان دارای تغییرپذیری شدیدی است. ویژگی‌های دیگری مانند سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی با توجه به پستی و بلندی منطقه و الگوی برداشت آب زیرزمینی

می‌توانند دارای تغییرپذیری کم، متوسط و یا شدید باشند. در نتیجه برای پایش این پدیده‌ها ناچاریم از تغییرپذیری آن‌ها در سطح جامعه آماری هدف که می‌تواند به وسعت یک مزرعه، دشت، حوضه آبریز، استان و یا کشور باشد، آگاهی داشته باشیم. روشن است که نمونه‌برداری از کل یک جامعه آماری امکان‌پذیر نیست. در نتیجه بایستی تلاش کرد با روش‌های مختلف، نمونه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که بیشترین نزدیکی را به خصوصیات جامعه اصلی داشته باشند. با گسترش کاربرد علوم رایانه‌ای، آمار و سنجش از دور در علوم خاک، آب، گیاه، اقلیم و زمین‌شناسی امکان استفاده از داده‌های رقومی[1] در این علوم بیش از پیش فراهم شده است. همچنین با استفاده از روش‌های مختلف آماری، روابطی بین متغیرهایی که اندازه‌گیری آن‌ها مشکل است، با متغیرهای کمکی که اندازه‌گیری آن‌ها راحت‌تر است، تحت عنوان توابع انتقالی[2] (PTF)ها فراهم شده است. در این رابطه تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور به‌عنوان مهمترین متغیرهای کمکی استفاده می‌شوند. در این راستا، برخی روش‌های زمین‌آماری و نقشه‌برداری‌های رقومی (مانند نقشه‌برداری رقومی خاک[3]) می‌توانند حتی برای دیگر پدیده‌های طبیعی مانند پایش کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی، مطالعات زمین‌شناسی و هواشناسی نیز استفاده شوند. این نشریه به معرفی و مرور روش‌های یاد شده و نیز تجارب کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف خواهد پرداخت.

۲- آشنایی با اصطلاحات

۲-۱- زمین‌آمار[4]

زمین‌آمار شاخه‌ای از آمار سنتی است که نخست با داده‌های مکانی سروکار دارد و خودهمبستگی[5]های مکانی را با استفاده از کریجینگ به‌عنوان تفسیرگر مکانی محاسبه می‌کند. مفهوم زمین‌آمار بر مبنای تئوری متغیرهای منطقه‌ای است (اسکیول و همکاران، ۲۰۰۳). زمین‌آمار نخست تنها برای تخمین مقادیر متغیرهای دارای وابستگی

1 - Digital
2 - Pedo Transfer Functions
3 - Digital Soil Mapping
4 - Geostatistics
5 - Autocorrelation

مکانی در محل‌هایی که نمونه‌برداری نشده بودند به‌کار می‌رفت، امّا در حال حاضر کاربردهای وسیع‌تری مانند ارزیابی دقت و آنالیز عدم قطعیت پیدا کرده است.

۲-۲- کریجینگ[1]

کریجینگ نوعی میانگین‌گیری وزنی محلی است که سنجه‌ای از وابستگی مکانی، تحت عنوان تغییرنما، را برای وزن‌دهی به داده‌ها در هنگام محاسبه میانگین‌ها استفاده می‌کند (اسکیول و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۳- تغییر نما[2]

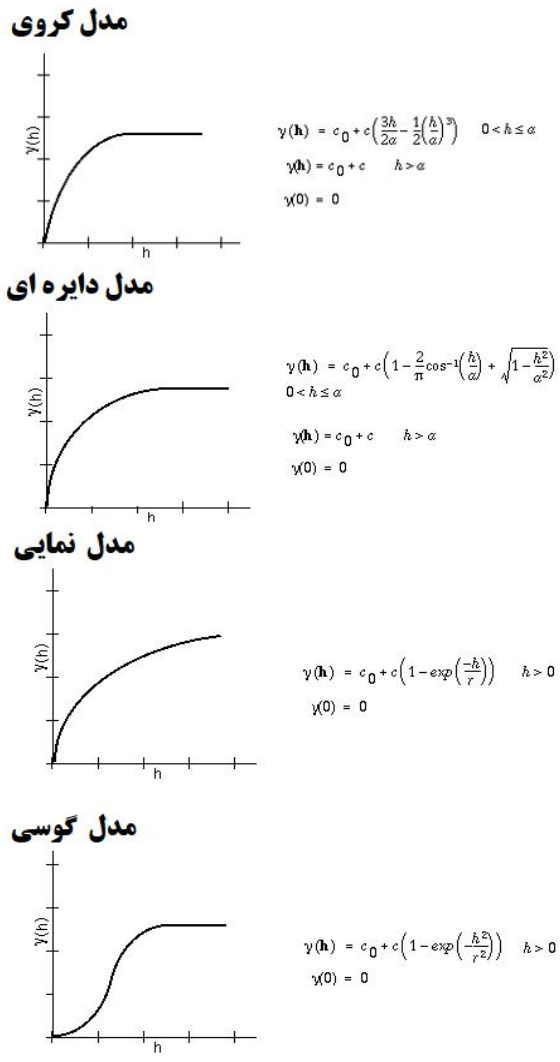
تغییرنماها اندازه و شدت تغییرات مکانی در متغیرهای منطقه‌ای را نشان می‌دهند. هر متغیر تصادفی که موقعیتش در مکان یا زمان شناخته شده باشد یک متغیر منطقه‌ای است. به این ترتیب متغیرها بر اساس موقعیتشان شناخته می‌شوند. بنابراین فرض کنید که $Y(x)$ یک متغیر منطقه‌ای مربوط به موقعیت x است. برای متغیر Y در مکان‌های مختلف ضروری است که مکان را به‌صورت اندیس x_i نشان دهیم.

اگر $Y(x_i)$ها همبستگی نداشته باشند، آنگاه مشتمل بر تعدادی تغییرات تصادفی[3] است. اما اگر $Y(x_i)$ها به‌نحوی به‌هم وابسته باشند، آنگاه داده‌ها ساختار مکانی نشان می‌دهند. چه بسا ضعیف‌ترین فرضی که می‌توان راجع به این ساختار در نظر گرفت چیزی است که (ماترون، ۱۹۷۱) از آن به‌عنوان فرض "ذاتی" یاد می‌کند و در آن فاصله $Y(x_i + h) - Y(x_i)$ مشتمل بر فاصله h تغییرپذیری ضعیفی دارد. با این فرضیات، در نخستین تکانه[4] فاصله، مقدار قابل انتظار آن ثابت است و یا این‌که با تغییر مکان به آهستگی تغییر می‌کند؛ و تکانه دوم نیز مستقل از موقعیت مکانی است. واریانس تکانه دوم تغییرنما نامیده می‌شود (وودکوک و همکاران، ۱۹۸۸):

$$2\gamma(h) = E[Y(x_i + h) - Y(x_i)]^2 \qquad (۱)$$

1 - Kriging
2 - Variogram
3 - Noise
4 - Moment

همان‌گونه که واریانس نشان‌دهنده توزیع متغیر تصادفی غیرمکانی است، تغییرنما نشان‌دهنده توزیع متغیر منطقه‌ای است. بر تغییرنما مدل‌های مختلفی را می‌توان برازش داد که در شکل یک برخی از انواع آن نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل‌های مختلف برازش داده شده بر تغییرنما. تغییر یافته از (اولیور و وبستر، ۲۰۱۴)

۲-۳-۱- دامنه تغییرنما

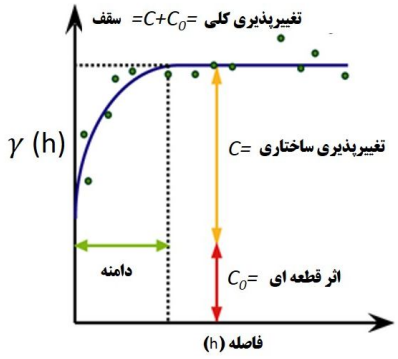
فاصله‌ای که در آن نمونه‌ها از همدیگر مستقل می‌شوند (یعنی مقدار یک پارامتر در یک نمونه تاثیری بر نمونه دیگر ندارد) به‌نام دامنه تاثیر[1] شناخته می‌شود (شکل دو).

۲-۳-۲- سقف تغییرنما

مقداری که در آن تغییرنما به حداکثر خود می‌رسد، سقف[2] یا حد آستانه نامیده می‌شود (شکل دو).

۲-۳-۳- اثر قطعه‌ای

معمولاً تنها بخش کوچکی از تغییرپذیری با رفتار تصادفی توضیح داده می‌شود. این‌گونه رفتار تغییرنما، اثر قطعه‌ای[3] نامیده می‌شود (شکل دو). درآغاز علم زمین‌آمار، حضور قطعه‌های کوچک طلا در چاله‌های گمانه‌زنی حفر شده منجر به تغییرپذیری ظاهراً تصادفی می‌شد که اثر قطعه‌ای نامیده شد (گرینگارتن و داچ، ۲۰۰۱).



شکل ۲- متغیرهای تشکیل دهنده تغییرنما

۲-۴- نقشه‌برداری رقومی

نقشه‌برداری رقومی متغیرهای مختلف زمینی ازجمله نقشه‌برداری رقومی خاک، مبتنی بر روابط گسترده خاک به زمین نما است که تلاش می‌کند متغیرهای خاک را

1 - Effective Range
2 - Sill
3 - Nugget Effect

با استفاده از داده‌های دقیق و آسان زمین نما (به عنوان متغیرهای کمکی) برآورد کند (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۲۰۱۴). نقشه‌برداری رقومی خاک شامل کارهای تحقیقاتی و کاربردی است که به خاک در الگوهای تغییرات زمانی و مکانی مختلف نگاه می‌کند (گرانوالد، ۲۰۱۰).

۲-۵- باندهای طیفی

ماهواره لندست هشت که در این نشریه از آن یاد شده دارای دو سنجنده است. سنسور عملیاتی تصویرساز سرزمین[1] (OLI) شامل باندهای ارتقا یافته قدیمی به همراه سه باند جدید آبی تیره برای مطالعات ساحلی/ مواد معلق در هوا، یک مادون قرمز کوتاه برای ابر سیروس و یک باند ارزیابی کیفیت است. سنجنده دیگر سنسور حرارتی مادون قرمز[2](TIRS) که دو باند حرارتی را ارایه می‌کند (روی و همکاران، ۲۰۱۴). این سنجنده‌ها هر دو مجهز به رادیومتر ارتقای سیگنال نسبت به نویز[3] (SNR) هستند. داده‌های لندست هشت در فضای ۱۶ بیتی ذخیره می‌شوند و در نتیجه، هر پیکسل می‌تواند ۵۵۰۰۰ مقدار مختلف را دارا باشد (در مقایسه با ۲۵۶ مقدار در سنجنده‌های قبلی که در فضای هشت بیتی ارایه می‌شد).

۲-۶- نسبت‌های باندی (شاخص های طیفی)

علاوه بر باندهای طیفی، از نسبت بین مقادیر این باندها نیز در مطالعات مدل‌سازی مکانی استفاده می‌شود. دو شاخص طیفی مهم در این ارتباط NDVI و NDSI هستند. شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)[4] از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red})/(\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \qquad (۲)$$

1 - Operational Land Imager

2 - Thermal Infrared Sensor

3 - Improved signal to noise radiometer (SNR)

4 - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

که در آن ρ_{NIR} و ρ_{Red} به ترتیب در مورد تصاویر ماهواره لندست هشت مقدار عدد دیجیتال[1] بازتابش سطحی[2] باند ۴ و باند ۳ هستند.

شاخص نرمال شده تفاوت شوری (NDSI)[3] (الباطی و همکاران، ۲۰۱۷) توسط رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$NDSI = (\rho_{Red} - \rho_{NIR})/(\rho_{Red} + \rho_{NIR}) \quad (۳)$$

۳- طرح‌های نمونه‌برداری

اصول نمونه‌برداری متغیرها و پدیده‌های زمینی توسط کلاین (۱۹۴۴) تشریح شده که تا به امروز نیز تغییرات چندانی نداشته‌است. تنها تغییر عمده، مربوط‌به استفاده از ابزارهای کمکی، مانند تصاویر ماهواره‌ای برای نمونه‌برداری است. همچنین چگونگی ارزیابی خطای نمونه‌برداری، پیش و پس از نمونه‌برداری حاصل پیشرفت‌های جدید در این زمینه است. طرح‌های مختلفی برای نمونه‌برداری وجود دارند، که برخی از آن‌ها ممکن است هزینه کمتر و یا دقت بالاتری داشته باشند، که در این قسمت به تشریح آن‌ها می‌پردازیم.

۳-۱- نمونه‌برداری قضاوتی

محققین در آغاز درخصوص جمعیت هدف، اطلاعاتی داشته و برآنند که از این اطلاعات، برای گرفتن نمونه‌های شاخص استفاده کنند. ازاین‌رو همواره تلاششان بر اینست که برای استخراج نمونه، از قضاوت کارشناسانه در انتخاب شاخص‌ترین مناطق، استفاده کنند. از آن‌جایی که واحدهای نمونه‌برداری از نقاطی با احتمال متفاوت و ناشناخته برگزیده می‌شوند، نمونه‌های گرفته شده با این روش، چولگی خواهندداشت. به‌عنوان نمونه، برخی از محققین بسیار دقت دارند که شرایط کرانه‌ای را درنظر بگیرند (در نتیجه از شرایط کرانه‌ای نمونه‌های زیادی تهیه می‌کنند)، در حالی که برخی تلاش

1 - Digital Number

2 - Surface Reflectance

3 - Normalized Difference Salinity Index (NDSI)

می‌کنند که شرایط کرانه‌ای را با این توجیه که نماینده کل توده جمعیت نیستند، حذف کنند.

اگر بنا باشد نمونه کوچک درنظر گرفته شود، به‌احتمال زیاد، نمونه قضاوتی، خطای کمتری در مقایسه با نمونه تصادفی خواهد داشت؛ و با افزایش تعداد نمونه، خطای نمونه‌ها به‌تدریج کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش تعداد نمونه‌ها انتخاب نقاط شاخص به روش قضاوتی نیز دشوارتر می‌شود.

۳-۲- نمونه‌برداری تصادفی ساده

اگر n نمونه از یک جامعه استخراج شود، نمونه‌برداری تصادفی‌ساده به‌حالتی اطلاق می‌شود، که ترکیب همه حالت‌های ممکن برای n واحد، شانس مساوی برای انتخاب شدن داشته باشند. درعمل بایستی نمونه‌ها جداگانه، تصادفی و مستقل از واحدهایی که نخست نمونه‌برداری شده‌اند، انتخاب شوند. نمونه‌برداری معمولاً بدون جایگزینی است، یعنی هیچ واحدی بیش از یک‌بار در نمونه ظاهر نمی‌شود. اگر بیش از یک واحد نمونه‌برداری در نمونه ظاهر شود، نمونه تصادفی می‌تواند تخمینی از خطای نمونه‌برداری ارائه نماید. تخمین میانگین $\bar{y}$ و واریانس میانگین $V(\bar{y})$ از طریق روابط زیر بدست می‌آیند:

$$\bar{y} = \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)/n \qquad (۴)$$

$$V(\bar{y}) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2/n\,(n-1) = s^2/n \qquad (۵)$$

که در آن y_i مقدار مشاهده شده برای i امین واحد نمونه‌برداری، s مجموع انحراف‌ها و n تعداد واحدهای نمونه‌برداری در نمونه است. اگر بیش از ۱۰ درصد از جامعه در نمونه ظاهر شده باشد، بایستی اصلاحاتی در تخمین واریانس میانگین به عمل آید.

هنگامی‌که واریانس میانگین حاصل شد، حدود اطمینان معمول را می‌توان حول نقطه میانگین با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$L = \bar{y} \mp t_{\infty}(s^2/n)^{1/2} \qquad (۶)$$

که در آن L فاصله اطمینان، $t_\propto$ مقدار t استیودنت با درجه آزادی (n-1) در سطح احتمال ∝ است و s^2/n هم قبلاً تعریف شده‌است.

اگر با توجه به نمونه‌های قبلی از جامعه تخمینی از واریانس دراختیار باشد و یا با توجه به اطلاعات حاصل از جامعه بتوان آن را تخمین زد، آن‌گاه می‌توان تعداد نمونه موردنیاز در نمونه‌برداری‌های بعدی برای حصول دقت موردنظر در سطحی از احتمال مشخص را به روش زیر با استفاده از روابط (۶) و (۷) به‌دست آورد:

$$n = t_\propto^2 s^2/D^2 \qquad (۷)$$

که در آن D دامنه تغییرات موردنظر است.

مثال ۱: به‌عنوان نمونه‌ای از کاربرد این معادلات، فرض کنید که ۱۰ نمونه به‌صورت تصادفی از لایه ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک مزرعه‌ای مشخص جمع‌آوری شده و اندازه‌گیری‌های زیر از مقدار پتاسیم تبادلی (K) نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم ارائه شده‌است:

۵۹، ۴۷، ۵۸، ۸۰، ۵۷، ۵۸، ۶۲، ۵۲، ۵۰، ۴۷

میانگین پتاسیم تبادلی با استفاده از رابطه (۸) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{y} = {}^{(59+47+\cdots+47)}/_{10} = 570/10 = 57.0\ ppm \qquad (۸)$$

واریانس میانگین از روی رابطه (۹) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V(\bar{y}) = (834.00)/(10)(9) = 9.267 \qquad (۹)$$

سپس حدود اطمینان ۹۵٪ با استفاده از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$L = 57.0 \mp 2.26(9.267)^{1/2} = 57.0 \mp 6.87 \qquad (۱۰)$$

مثال بالا نشان می‌دهد که اگر جامعه مورد نمونه‌برداری دارای میانگین و واریانس محاسبه شده در روابط هشت و نُه باشد، به احتمال ۹۵ درصد میانگین نمونه‌های اخذ شده از جامعه در محدوده ۵۰/۱۳ و ۶۳/۸۷ قرار خواهد گرفت. یعنی از هر ۱۰۰ نمونه اخذ شده تنها ۵ نمونه (از هر ۱۰ نمونه ۰/۵ نمونه) در خارج از این دامنه قرار خواهند گرفت، به‌عبارت دیگر به احتمال ۹۵٪ تنها یک نمونه از ۲۰ نمونه شانس واقع شدن در

خارج از دامنه ۵۰/۱۳ و ۶۳/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم را دارا هستند. حال اگر قصد این باشد که تعداد مشاهده نیازمند در نمونه‌برداری‌های بعدی برای تخمین میانگین پتاسیم تبادلی خاک در دامنه ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را با سطح احتمال ۹۵٪ محاسبه شود، تعداد نمونه نیازمند با استفاده از رابطه (۱۱) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$n = (2.26)^2(92.67)/(5.00)^2 = (5.11)(92.67)/25.00 \qquad (۱۱)$$
$$n = 18.94$$

درنتیجه برای حصول دقت موردنظر، تخمین زده می‌شود که تراکم نقاط نمونه-برداری در مطالعات بعدی باید از ۱۰ به ۱۹ افزایش یابد. لازم به ذکر است که در اینجا، مساحت مزرعه مورد نظر نقشی در تراکم نمونه‌برداری نداشته و تنها به کمک واریانس میانگین متغیر هدف، اقدام به تعیین تعداد نقاط نمونه‌برداری خواهد شد. درعین حال، در بسیاری از نمونه‌برداری‌های خاک، تخمینی از واریانس متغیر در جامعه وجود ندارد و بایستی با کمک متغیرهای کمکی با واریانس و میانگین مشخص، تعداد نمونه نیازمند را تخمین زد.

۳-۳- نمونه‌برداری تصادفی دسته‌بندی شده

در نمونه‌برداری تصادفی دسته‌بندی‌شده، جامعه به تعدادی زیرجامعه شکسته می‌شود و نمونه تصادفی ساده از زیرجامعه گرفته می‌شود؛ به عنوان نمونه در یک مزرعه ممکن است برمبنای سری‌های خاک (زیرجامعه‌ها) نقشه‌برداری انجام گیرد و از سری‌های خاک نمونه تصادفی گرفته شود. اگر قرار باشد نمونه تصادفی دسته‌بندی شده دقت بیشتری نسبت به نمونه تصادفی ساده داشته باشد، دسته‌بندی باید بخشی از خطای نمونه‌برداری را حذف کند. از آن‌جا که هر زیر جامعه و یا دسته‌ای به‌صورت جداگانه نمونه‌برداری می‌شود، تفاوت بین میانگین دسته‌ها از خطا کم می‌شود و تنها تغییرات داخل دسته‌ها، در خطای نمونه‌برداری نقش دارد. اگر دسته‌ها به‌شیوه‌ای ایجاد شده باشند، که واحدها در داخل هر دسته همگن‌تر از تغییرات بین دسته‌ها باشند، آنگاه نمونه تصادفی دسته‌بندی شده دقت بیشتری نسبت به نمونه تصادفی ساده خواهد داشت. اساس دسته‌بندی موثر متغیر دیگری است که ممکن است با ویژگی بررسی شده، اطلاعات پیشین پیرامون آن و یا حتی نزدیکی جغرافیایی، رابطه و یا

همبستگی داشته باشد. هرگونه اطلاعات پیشین که بتواند در ایجاد گروه‌های همگن از واحدها مورد استفاده قرار گیرد، مفید خواهد بود.

امروزه با پیشرفت علوم خاک و به‌خصوص در مقیاس وسیع، تلاش‌های فراوانی شده، تا روابطی بین اطلاعات سنجش‌ازدور (تصاویرهوایی و ماهواره‌ای) و ویژگی‌های خاک برقرار شود. برخی ویژگی‌های خاک باعث تفاوت‌های بصری (مانند تفاوت در رنگ خاک ایجاد شده در اثر وجود ماده آلی و یا وجود گچ) و برخی ویژگی‌های خاک باعث ایجاد تغییراتی در رنگ یا مقدار محصول (مانند تغییرات نیتروژن خاک) و یا ممکن است باعث تغییر در دمای برگ شوند که از راه اطلاعات باندهای حرارتی قابل سنجش هستند (مانند تنش شوری در خاک‌های شور). درنتیجه بسیاری از ویژگی‌های خاک دارای رابطه با اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای هستند و یا این‌که بر بازتاب‌های طیفی ثبت شده از سطح خاک و پوشش گیاهی تاثیرگذار هستند. درنتیجه، اطلاعات طیفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای منابع خوبی برای دسته‌بندی خاک‌ها در مقیاس وسیع محسوب می‌شوند.

به‌طورکلی افزایش تعداد دسته‌ها با افزایش دقت نمونه‌برداری و شناخت بهتر جامعه آماری همراه است. بدین‌سان چند نکته بایستی را در نظر داشت، تا از دسته‌بندی بیش از اندازه اجتناب شود. با تقسیم کردن یک دسته به دسته‌های بیشتر، دقت با نرخی کاهنده افزایش می‌یابد؛ تا جایی که در نقطه‌ای با افزایش تعداد دسته‌ها دیگر دقتی افزوده نمی‌شود. هم‌چنین تعداد دسته‌های بیشتر تفسیر نتایج را پیچیده می‌کند؛ به‌گونه‌ای که بایستی افزایش دقت را با زحمت حصول آن درنظر گرفت. از آن‌جایی که دست‌کم در هر دسته باید از دو واحد نمونه‌برداری کرد، تا تخمینی از خطای نمونه‌برداری در آن دسته داشت، پیشنهاد می‌شود، که تعداد دسته‌ها به‌اندازه کافی کوچک انتخاب شود، تا امکان تخمین خطا به‌صورت رضایت‌بخشی وجود داشته‌باشد. تعداد کل واحدهای نمونه‌برداری در هردسته بیشتر متناسب تخصیص داده می‌شود؛ به‌عنوان نمونه اگر یک دسته ۲۰٪ یک جامعه را تشکیل دهد، به این معناست که ۲۰٪ واحدهای نمونه‌برداری از آن دسته گرفته می‌شوند. تخمین میانگین کلی دسته‌ها $\bar{\bar{y}}$ و واریانس این میانگین $V(\bar{\bar{y}})$ با استفاده از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{\bar{y}} = \left(\sum_{h=1}^{L} N_h \bar{y}_h\right) \Big/ N \quad (۱۲)$$

$$V(\bar{\bar{y}}) = (1/N^2) \sum_{h=1}^{L} N_h^2 (S_h^2/n_h) \quad (۱۳)$$

که در آن N_h تعداد کل واحدها در h امین دسته، L تعداد کل دسته‌ها، N تعداد کل واحدها در همه دسته‌ها، و زمانی که تعداد نمونه در هر دسته متناسب با سهم آن دسته از مساحت کل باشد، که در نمونه‌برداری از خاک مرسوم است، تخمین میانگین و واریانس آن ساده می‌شود:

$$S_h^2 \big/ n_h = V(\bar{y}_h) \quad (۱۴)$$

$$\bar{\bar{y}} = \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right) \Big/ n \quad (۱۵)$$

$$V(\bar{\bar{y}}) = s_p^2/n \quad (۱۶)$$

که در آن n تعداد واحدها در نمونه است و s_p^2 واریانس مخلوط در داخل دسته است (s_p^2 واریانس نمونه‌های داخل دسته‌ها را محاسبه می‌کند).

مثال ۲: فرض‌کنید قصد داریم ظرفیت تبادل کاتیونی خاک سطحی مزرعه‌ای که دارای سه نوع خاک A, B,C است را تعیین کنیم. هم‌چنین فرض براینست که خاک A یک ششم، خاک B یک سوم و خاک C یک دوم کل مساحت مزرعه را اشغال می‌کنند. می‌توانیم مزرعه را با توجه به نوع خاک دسته‌بندی کنیم و در هر دسته نمونه‌های تصادفی‌ساده را استخراج کنیم. تعداد نمونه در هر دسته با نسبت مساحتی که به‌وسیله آن دسته اشغال شده متناسب خواهد بود. بر این اساس می‌توانیم دو نمونه از خاک A، چهار نمونه از خاک B و شش نمونه از خاک C بگیریم. نتایج این طرح نمونه‌برداری در جدول یک نشان داده شده است.

جدول ۱- ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک مربوط به یک مزرعه که براساس نوع خاک دسته‌بندی شده است.

ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100 g) نمونه‌ها از انواع خاک مورد اشاره			
C	B	A	
۱۴/۲	۱۹	۱۱/۶	
۱۶/۵	۲۱/۴	۱۳/۴	
۱۵/۷	۱۸/۱		
۱۵/۲	۱۷/۸		
۱۷/۱			
۱۹/۵			
۹۸/۲	۷۶/۳	۲۵	**کل**
۱۶/۳۷	۱۹/۰۸	۱۲/۵۰	**میانگین**

میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی براساس رابطه ۱۷ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{\bar{y}} = (11.6 + 13.4 + \cdots + 17.1 + 19.5)/12 = 16.62\, meq/100g \qquad (۱۷)$$

با فرض واریانس مشترک داخل دسته، واریانس میانگین را می‌توان با استفاده از آنالیز واریانس داده‌های نمونه که در جدول دو نشان داده شده‌است محاسبه کرد.

جدول ۲- آنالیز واریانس ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100 g) نمونه‌های خاک اشاره شده درجدول یک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
بین دسته‌ها	۲	۲۹/۲۲
بین نمونه‌های داخل دسته‌ها	۹	۲/۹۴

به‌این ترتیب واریانس میانگین $V(\bar{\bar{y}})$ را می‌توان با استفاده از میانگین مربعات داخل دسته و رابطه ۱۸ بدست آورد:

$$V(\bar{\bar{y}}) = 2.94/12 = 0.24 \qquad (۱۸)$$

سپس همانند نمونه تصادفی ساده می‌توانیم حدود اطمینان ۹۵٪ حول میانگین را با استفاده از رابطه ۱۹ به‌دست آوریم:

$$L = 16.62 \pm 2.26(0.24)^{1/2} = 16.62 \pm 1.11 \quad (۱۹)$$

در نتیجه می‌توانیم بگوییم میانگین جامعه اصلی با احتمال ۹۵٪ بین دامنه ۱۵/۵۱ تا ۱۷/۷۳ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم متغیر است.

۳-۴- نمونه‌برداری سیستماتیک

نمونه‌برداری سیستماتیک تلاشی برای آگاهی کامل از جامعه هدف است. نمونه‌برداری سیستماتیک به این معنی است که فاصله بین نمونه‌ها در یک بعد و یا دو بعد با یکدیگر، منظم باشد. انواع مختلف نمونه‌برداری سیستماتیک به‌خاطر آسانی در پیدا کردن نقاط نمونه‌برداری، به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. از فراوان‌ترین روش‌های این نمونه‌برداری می‌توان به ترانسکت طولی، ترانسکت قطری و شبکه‌منظم اشاره کرد.

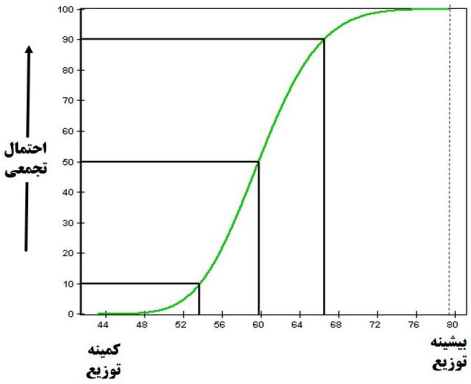
هرجامعه‌ای از خاک، آب یا گیاه دارای توزیع احتمال مشخصی است. درصورتی که نمونه‌برداری به تعداد زیادی تکرار شود، توزیع احتمال نمونه‌ها به توزیع احتمال جامعه، نزدیک‌تر می‌شود. از معایب نمونه سیستماتیک، (مانند نمونه تصادفی ساده) این است که با کاهش تراکم نمونه‌برداری، احتمال گرفتن نمونه از دو دنباله طرفین توزیع احتمال کاهش می‌یابد. به‌این‌ترتیب بیشتر نمونه‌ها از موقعیت‌هایی جمع‌آوری می‌شوند که مقدار پارامتر در آن‌ها، پیرامون نقطه میانگین است. درحالی که در برخی مطالعات، مقادیر کرانه‌ای (بسیار کم یا بسیار زیاد) ویژگی ممکن است دارای اهمیت باشد.

۳-۵- استفاده از توزیع تجمعی در نمونه‌برداری

در بررسی روش‌های مختلف نمونه‌برداری، آگاهی نخستین از مفهوم توزیع تجمعی سودمند است. هر توزیع احتمال را می‌توان به شکل تجمعی بیان کرد. یک منحنی توزیع تجمعی معمولا در محور Y ها بین مقیاس صفر تا یک قرار گرفته، که نشان‌دهنده احتمال تجمعی بین X=0 تا X مربوطه است.

در نمودار تجمعی ارائه شده در شکل سه مقدار تجمعی ۰/۵ نقطه احتمال تجمعی ۵۰ درصد است (۰/۵=۵۰). یعنی ۵۰ درصد از مقادیر در توزیع زیر نقطه X1 و ۵۰ درصد بالای آن قرار گرفته‌اند. عدد صفر در نمودار تجمعی مقدار کمینه و یک بیشینه است، یعنی ۱۰۰ درصد نقاط زیر این مقدار هستند.

پرسش: چرا نمودار تجمعی در درک نمونه‌برداری مهم است؟

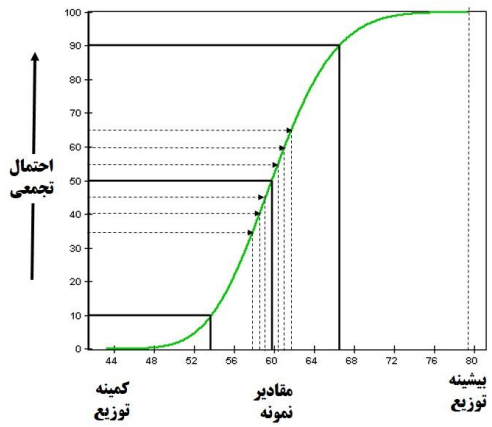


شکل ۳- نمودار توزیع تجمعی احتمال

مقیاس صفر تا صد در نمودار تجمعی، دامنه محتمل تغییرات اعداد تولید شده در طی نمونه‌برداری است. در توالی نمونه‌برداری مونت‌کارلو به‌طور معمول اعدادی تصادفی بین صفر تا یک تولید می‌شود و احتمال وقوع هر کدام از اعداد داخل دامنه مساوی است. این اعداد تصادفی سپس برای انتخاب یک مقدار از روی منحنی تجمعی استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه اگر در شکل سه، عدد تصادفی ۵۰ درصد تولید شود، از روی توزیع تجمعی نشان داده شده مقداری که بایستی نمونه‌برداری شود ۶۰ خواهدبود. از آنجایی که شکل منحنی تجمعی برمبنای شکل توزیع احتمال ورودی است، هرچه نقاط به هم شبیه‌تر باشند احتمال نمونه‌برداری از آن‌ها بیشتر است. شبیه‌ترین نقاط به یکدیگر در دامنه نقاطی است که در آن‌ها منحنی تجمعی بیشترین شیب را دارد.

۳-۶- نمونه‌برداری الگوریتم مونت کارلو

نمونه‌برداری مونت‌کارلو اشاره به روش گسترش یافته‌ای دارد، که در آن با استفاده از اعداد تصادفی و یا شبه تصادفی از روی توزیع احتمال تجمعی، نقاط نمونه‌برداری تعیین می‌شود. اصطلاح مونت‌کارلو درطی جنگ‌جهانی دوم به‌عنوان یک اصطلاح رمزی، برای شبیه‌سازی مشکلات وابسته به توسعه بمب اتمی معرفی شد. درحال حاضر روش‌های مونت‌کارلو در دامنه وسیعی از مشکلات پیچیده مشتمل‌بر رفتار تصادفی کاربرد دارد. دامنه وسیعی از الگوریتم‌ها برای تولید نمونه‌های تصادفی از انواع مختلف توزیع احتمال وجود دارد. روش‌های نمونه‌برداری مونت‌کارلو کاملاً تصادفی هستند- به‌این معنی که هر نمونه مشخص ممکن است، در هر قسمتی از دامنه توزیع ورودی واقع شود. بی‌گمان شانس بیرون کشیدن نمونه‌ها از قسمت‌هایی از توزیع که احتمال وقوع بیشتری دارند، بیشتر است. در توزیع تجمعی که در پیش نشان داده شد، هر نمونه مونت‌کارلو از یک عدد تصادفی جدید بین صفر و یک استفاده می‌کند. روش نمونه‌برداری مونت‌کارلو با سعی و خطا به‌اندازه کافی توزیع ورودی را دوباره شبیه‌سازی می‌کند. درعین‌حال هنگامی که تعداد سعی و خطا کم باشد، مسئله خوشه‌بندی ایجاد می‌شود.

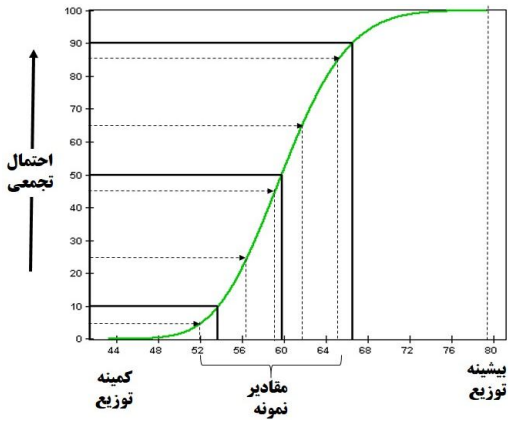


شکل ۴- پنج سعی و خطای روش مونت‌کارلو با خوشه‌بندی

در شکل چهار هریک از پنج نمونه بیرون‌کشیده شده، در میانه توزیع قرار دارند و مقادیر دامنه‌های بیرونی‌تر توزیع در نمونه‌برداری واقع نشده‌اند، درنتیجه تاثیر آن‌ها بر نتایج نشان داده نمی‌شود. مسئله خوشه‌بندی به‌ویژه هنگامی تشدید می‌شود، که یک توزیع احتمال دارای دنباله‌هایی با احتمال وقوع پایین باشد، که تاثیر اصلی برروی نتایج می‌گذارند. وارد کردن این دنباله‌ها، با احتمال وقوع پایین بسیار مهم است. به‌این منظور دنباله‌ها نیز بایستی نمونه‌برداری شوند. لیکن اگر احتمال وقوع خیلی پایین باشد، در نمونه‌برداری مونت‌کارلو با تعداد کمی سعی و خطا، توان نمونه‌برداری تعدادی کافی از این دنباله‌ها را نخواهد داشت، که توزیع احتمال را شبیه‌سازی کند. این مشکل منجربه روش‌های نمونه‌برداری طبقه‌بندی شده، هم‌چون نمونه‌برداری به روش فرامکعب لاتین شده است.

۳-۷- نمونه‌برداری فرامکعب لاتین

روش نمونه‌برداری مربع‌لاتین توسعه‌ای جدید در فناوری نمونه‌برداری است، که برای شبیه‌سازی دقیق توزیع احتمال ورودی از طریق نمونه‌برداری از راه تعداد کمتری سعی و خطا در مقایسه با روش مونت‌کارلو طراحی شده‌است. یا به عبارتی روش فرامکعب‌لاتین نوعی نمونه‌برداری مونت‌کارلو است، که برای بازآفرینی توزیع احتمال متغیر ورودی با استفاده از سعی و خطای کمتر و کارآیی بیشتر، در مقایسه با روش مونت‌کارلو توسعه یافته‌است. همان‌گونه که در شکل پنج نشان داده شده، نکته کلیدی در نمونه‌برداری به روش مربع لاتین، دسته‌بندی توزیع احتمال ورودی است. بدین منظور، دسته‌بندی توزیع احتمال تجمعی ورودی برروی مقیاس صفر تا صد، به فواصل مساوی تقسیم‌بندی می‌شود. سپس، از هر فاصله یا دسته توزیع احتمال تجمعی یک نمونه برداشت می‌شود. به نمونه‌برداری اجبار وارد می‌شود، تا از مقادیری در هر فاصله یک نمونه گرفته شود و سرانجام اجبار وارد می‌شود تا توزیع احتمال ورودی را شبیه‌سازی کند.



شکل ۵- سعی و خطاهای روش نمونه‌برداری مربع لاتین

در شکل پنج، منحنی تجمعی توزیع احتمال به ۵ فاصله تقسیم‌بندی شده‌است. در طی نمونه‌برداری یک نمونه از هر فاصله گرفته می‌شود. با استفاده از روش مربع‌لاتین، نمونه‌ها انعکاس دقیق‌تری از توزیع مقادیر در توزیع احتمال ورودی را نشان می‌دهند.

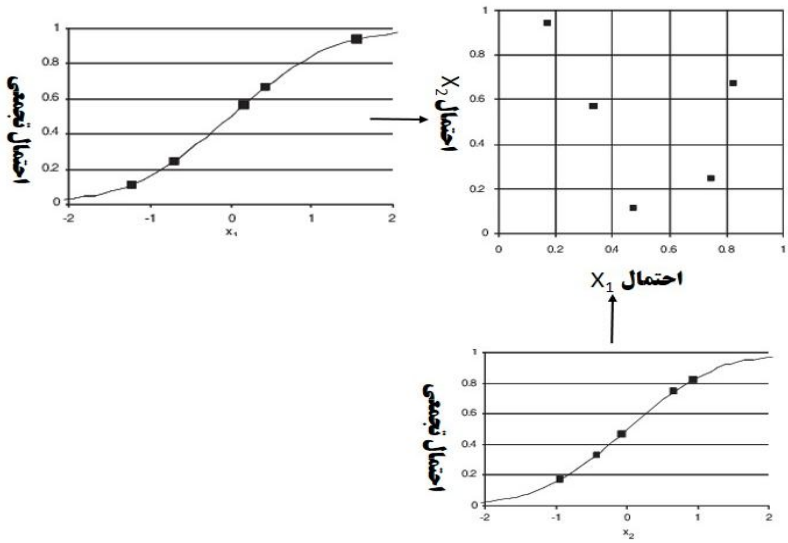
در زمینه نمونه‌برداری آماری، یک شبکه مربعی که دربرگیرنده نقاط نمونه‌برداری است، یک مربع لاتین نامیده می‌شود؛ اگر و تنها اگر فقط یک نمونه در هر ردیف و هر ستون شبکه وجود داشته باشد. مکعب لاتین، عمومی کردن این مفهوم به ابعادی بیش از دو بعد است، که در آن نمونه گرفته شده از هر بعد صفحه چندبعدی[1] دربرگیرنده متغیرها، فقط یک بار تکرار می‌شود.

در نمونه‌برداری از یک توزیع چند متغیره به روش فرامکعب‌لاتین، اندازه n نمونه از توزیع چندمتغیره به‌نحوی بیرون کشیده می‌شود، که برای هر متغیر بیشترین حاشیه طبقه‌بندی ایجاد شود. یک نمونه هنگامی بیشترین حاشیه طبقه‌بندی را داراست، که تعداد طبقه‌ها معادل اندازه نمونه n باشد و احتمال قرار گرفتن در هر طبقه برابر با n^{-1} باشد.

شکل شش نحوه اجرای مربع لاتین را در زمانی که دو متغیر کمکی برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری استفاده شوند، نشان می‌دهد. درصورتی که از سه متغیر

1 - Hyperplane

کمکی استفاده شود، الگوی سه‌بعدی مشابه مکعب ایجاد خواهدشد و در صورتی که فراتر از سه متغیر کمکی استفاده شود می‌توان آن‌را فرامکعب نامید.



شکل ۶- شیوه اجرای نمونه‌برداری به روش مکعب لاتین در شرایطی که دو متغیر وجود دارد

روش فرامکعب لاتین یک روش نمونه‌برداری تصادفی دسته‌بندی شده است، که روشی موثر برای نمونه‌برداری از متغیرها از فضای توزیع چند متغیره آن‌ها را فراهم می‌آورد. این روش در دانش خاکشناسی و محیط‌زیست برای ارزیابی عدم قطعیت در مدل‌های پیش‌یابی و در زمین آمار برای شبیه‌سازی زمینه‌های تصادفی گوسی به‌کار رفته است. میناسنی و مک‌براتنی (۲۰۰۶) الگوریتم فرامکعب لاتین مشروط را برای نمونه‌برداری خاک توصیف کرده و کاربرد آن را در نرم افزار متلب[1] برای مطالعات خاکشناسی تشریح کرده‌اند.

برآورد ویژگی‌ها و یا کلاس‌های خاک، برمبنای ایجاد روابطی بین مقادیر مشاهده شده و متغیرهای کمکی محیطی است. ازآنجا که ویژگی‌های خاک می‌توانند در داده‌های

1 - Matlab

طیفی منعکس گردند و یا ممکن است به‌صورت یک شاخص چند پاره‌ای با ویژگی‌های طیفی رابطه داشته باشند، تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند برای تعیین نقاط نمونه‌برداری داده‌ها، کمکی موثر باشند. استفاده از داده‌های کمکی، برای تولید نقشه ویژگی‌های خاک در سال‌های اخیر، روبه گسترش است. این داده‌های کمکی می‌توانند از تحلیل رقومی عوارض زمینی[1] و یا دورسنجی حاصل شوند. برای تعیین شوری خاک نیز شاخص‌های مختلفی معرفی شده‌است. این شاخص‌ها یا مستقیماً از طریق باندهای تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آیند و یا به‌طور غیرمستقیم و با توجه به پستی و بلندی زمینی از مدل رقومی‌ارتفاع مشتق می‌شوند.

تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) برای تشخیص موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک با استفاده از متغیرهای کمکی، از تکنیک‌های فرامکعب لاتین و فازی‌کی‌مینز[2] استفاده کردند. در این مطالعه برای تعیین تعداد و نوع متغیرهای کمکی، از تکنیک آنتروپی شانون[3] استفاده شد و به‌این ترتیب ۱۰ متغیر ورودی کمکی انتخاب شدند. براین اساس برای مطالعه ۷۲۰۰۰ هکتار از اراضی دشت یزد- اردکان، ۱۸۷ محل نمونه‌برداری انتخاب شد. همچنین تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) با مقایسه روش‌های مختلف انتخاب موقعیت نقاط نمونه‌برداری، گزارش کردند که روش فرامکعب لاتین از بالاترین درجه تفکیک عوارض زمینی برخوردار است.

۴- استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری

برای استفاده از روش‌های زمین آماری در تعیین تراکم و موقعیت نقاط نمونه‌برداری، در مرحله نخست باید تغییرنمای تغییرات ویژگی هدف را با استفاده از اطلاعات موجود بدست آورد. پس از برازش مدل مناسب بر نیم‌تغییر نمای تجربی، دامنه‌ی تغییرات تغییرنما تعیین می‌شود. روشن است که برای نقاط واقع شده در دامنه‌ی تغییرنما، می‌توان درون‌یابی را با استفاده از روش‌های زمین‌آماری انجام داد. در نتیجه، امکان افزایش فاصله‌ی بین نقاط نمونه‌برداری تا مقدار دامنه وجود دارد. به این ترتیب با

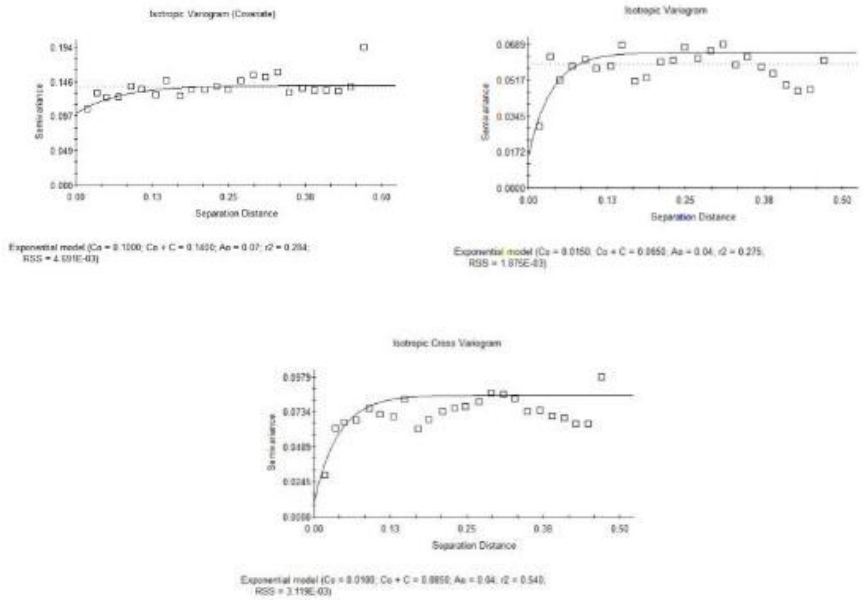
1 - Digital Terrain Analysis
2 - Fuzzy K means
3 - Shannon Enthropy

استقرار یک شبکه منظم که ابعاد هر سلول آن به‌اندازه‌ی دامنه‌ی تغییرنما است، می‌توان موقعیت نقاط نمونه‌برداری را به خوبی تعیین کرد. ممکن است تغییرنما یک متغیر دارای ناهمسان‌گردی باشد. یعنی دامنه تغییرنما در یک راستای جغرافیایی با راستای دیگر متفاوت باشد. در این صورت، شبکه نمونه‌برداری به‌جای سلول‌های مربعی از سلول‌های مستطیلی تشکیل خواهد شد. برای درک بهتر موضوع مثالی از داده‌های کیفیت آب زیرزمینی در دشت آزادگان استان خوزستان در این قسمت ارایه می‌شود.

مثال ۳: داده‌های استفاده شده در این قسمت، اندازه‌گیری‌های شوری آب زیرزمینی و خاک از یک شبکه نمونه‌برداری کمابیش منظم در دشت آزادگان، واقع در استان خوزستان است. برای تهیه نقشه شوری خاک منطقه مطالعه شده، ابتدا از مقادیر شوری پروفیل خاک اندازه‌گیری شده از سطح زمین تا عمق آب زیرزمینی هر نقطه، میانگین‌گیری شد. متغیر اصلی در این مثال شوری خاک و متغیر کمکی عمق آب زیرزمینی هستند. در این قسمت برای نرمال کردن داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده شده و سپس به کمک نرم‌افزار +GS، تحلیل‌های مکانی انجام گرفت. در این رابطه، بهترین مدل‌ها بر نیم‌تغییرنمای تجربی متغیر اصلی، متغیر کمکی و اثر متقابل آن‌ها برازش یافت. سپس، برای تعیین تاثیر تعداد نقاط واقع شده در همسایگی نقطه مجهول بر دقت نقشه تولید شده، تعداد نقاط مختلفی به طور متوالی اختیار و سپس ارزیابی متقاطع انجام شد. با انتخاب بهترین تعداد نقاط به طریق مشابه، تاثیر ناهمسانگردی بر صحت نقشه تولید شده ارزیابی شد. سرانجام با محاسبه پارامترهای MAE، MBE و RMSE صحت و انحراف نقشه‌های تولید شده برآورد شد. برای تعیین بهترین مدل قابل برازش بر نیم‌تغییرنمای همسانگرد، انواع مختلف معادلات با مولفه‌های گوناگون به کمک نرم‌افزار برازش یافت که در جدول سه بهترین مدل برازش یافته بر متغیر اصلی، کمکی و اثر متقابل آن‌ها به همراه مولفه‌های آن آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار مکانی متغیر اصلی متوسط، متغیر کمکی ضعیف و اثر متقابل آن‌ها قوی است. این موضوع با استفاده از شکل نیم‌تغییر نما (شکل هفت) نیز دست یافتنی است.

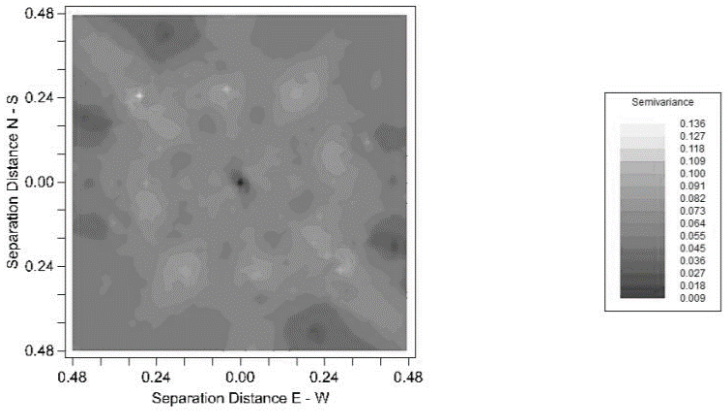
جدول ۳- مولفه‌های بهترین مدل‌های برازش یافته بر نیم‌نغییرنمای همسانگرد متغیر اصلی، کمکی و اثر مقابل آن‌ها

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	دامنه (کیلومتر)
اصلی	نمایی	۰/۰۱۵	۰/۰۶۵	۰/۰۴
کمکی	نمایی	۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۷
اثر متقابل	نمایی	۰/۰۱	۰/۰۸۵	۰/۰۴



شکل ۷ - مدل‌های برازش یافته بر متغیرهای اصلی، کمکی و اثر متقابل آن‌ها

شکل هشت روند ناهمسان‌گردی را برای داده‌های هواشناسی نشان می‌دهد. که در آن راستای ناهمسان‌گردی در جهت شمال غربی- جنوب شرقی و با زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای شمال جنوب وجود دارد. در نتیجه شبکه نمونه‌برداری باید به شکل مستطیلی انتخاب شود که طول بزرگ آن در این راستا قرار گرفته باشد.



شکل ۸- خطوط تراز دامنه نیم تغییرنمای داده‌های هواشناسی در جهات مختلف که نشان دهنده ناهمسان‌گردی آن است.

با توجه به مدل‌های برازش یافته بر نیم‌تغییرنمای تجربی در حالت همسانگرد و با انتخاب تعداد نقاط مختلف در همسایگی نقطه مجهول، روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای درون یابی اجرا شد که نتایج ارزیابی متقاطع آن در جدول چهار نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر دو روش درون‌یابی بیشترین دقت و کمترین انحراف در چهار نقطه همسایگی بدست است که به دلیل منظم بودن شبکه نمونه‌برداری دور از انتظار هم نیست.

برای بررسی تاثیر ناهمسان‌گردی بر صحت این روش‌های درون‌یابی، هر دو روش در شرایط همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی اجرا و صحت روش با استفاده از ارزیابی متقاطع، تعیین شد. برای روش کوکریجینگ ناهمسان‌گردی در هر سه نیم تغییرنمای متغیر اصلی، کمکی و اثر متقابل ارزیابی شد که بیشترین افزایش دقت در متغیر کمکی اتفاق افتاد (جدول ۵). در جدول پنج برآورد صحت و انحراف این نیم تغییرنما ها در حالت همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی ارایه شده است. منظور از ناهمسان‌گردی در روش کوکریجینگ وجود ناهمسان‌گردی در متغیر کمکی است. همان‌طور که مشاهده

می‌شود تفاوت زیادی بین این روش‌ها از نظر صحت برآورد وجود ندارد، ولی روش کریجینگ ناهمسان‌گرد کمترین میزان خطا را دارد که می‌توان از این روش برای تولید نقشه استفاده کرد.

جدول ۴- تاثیر تعداد نقاط همسایگی نقطه مجهول در دقت نقشه تولید شده در روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ

تعداد نقاط همسایگی	ضریب رگرسیون کریجینگ	ضریب رگرسیون کوکریجینگ
۳	۰/۴۲۳	۰/۴۱۰
۴	۰/۴۳۷	۰/۴۲۶
۶	۰/۴۲۲	۰/۴۱۴
۹	۰/۴۲۲	۰/۴۱۴
۱۲	۰/۴۲۲	۰/۴۱۴

جدول ۵- تاثیر ناهمسان‌گردی بر دقت و انحراف نقشه‌های تولید شده به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ

روش	MAE	MBE	RMSE
کریجینگ همسان‌گرد	0/218	0/003	0/269
کریجینگ ناهمسان‌گرد	0/216	–0/002	0/267
کوکریجینگ همسان‌گرد	0/221	–0/006	0/272
کوکریجینگ ناهمسان‌گرد	0/215	1/158	0/266

۵- آموزش گام به گام تعیین نقاط نمونه‌برداری به روش فرامکعب لاتین

برای تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری به این روش لازم است از اطلاعات کمکی در این راستا استفاده شود. این اطلاعات کمکی می‌تواند باندهای تصاویر ماهواره‌ای و یا شاخص‌های ساخته شده از روی آن‌ها، مدل رقومی ارتفاع، اقلیم، فیزیوگرافی و یا هرگونه اطلاعات اولیه‌ای باشد که در دسترس هستند. برای استخراج مقادیر اطلاعات

پایه‌ای برای استفاده در نرم‌افزار بایستی ابتدا با توجه به اندازه پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای یک شبکه روی تصویر ایجاد شود و سپس مقادیر اطلاعات در مرکز هر پیکسل بیرون کشیده شود.

مثال ۴- قرار است از محدوده مطالعاتی به وسعت ۵۰۰۰۰ هکتار واقع در استان خراسان رضوی، به‌روش فرامکعب لاتین، از ۱۰ نقطه نمونه خاک برای بررسی شوری گرفته شود.

به‌این منظور از تصاویر ماهواره لندست استفاده می‌شود. تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا به آدرس https://earthexplorer.usgs.gov/ قابل دریافت هستند. پس از دریافت تصاویر، با استفاده از منوی Add Data در محیط نرم‌افزار ArcGIS می‌توان آن را به محیط نرم‌افزار اضافه کرد. این نرم‌افزار برای تعیین موقعیت نقاط از داده‌های رستری استفاده می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و شاخص‌های استخراج شده از تصاویر از نوع رستری هستند ولی در صورتی که از داده‌های نقطه‌ای مانند داده‌های نقاط نمونه‌برداری به‌عنوان متغیر کمکی استفاده می‌شوند، لازم است ابتدا با استفاده از روش‌های درون‌یابی مناسب برای کل سطح تعمیم داده شوند و سپس با استفاده از دستور Point to Raster به رستر تبدیل شوند. همچنین همه دستورهایی که در محیط نرم افزار ArcGIS نیاز است در این نمونه آورده شده و از روش گزینه Search قابل جستجو هستند.

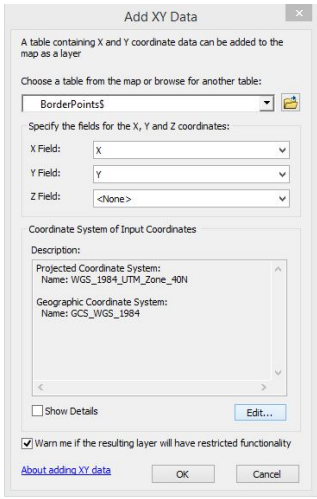
در فایل‌های رستری مانند تصاویر ماهواره‌ای، نقاط نمونه‌برداری نماینده‌ی کوچکترین سلول تشکیل‌دهنده‌ی تصویر (پیکسل) هستند. در نتیجه اگر مقادیر اعداد دیجیتال[1] (DN) کل پیکسل‌های یک تصویر بیرون کشیده شود، با استفاده از آن می‌توان توزیع احتمال جامعه را به‌دست آورد. این توزیع احتمال برای مقایسه توزیع احتمال نقاط نمونه‌برداری با جامعه استفاده می‌شود. همچنین اطلاعات کل پیکسل‌ها نشان دهنده‌ی کل موقعیت‌هایی است که شانس انتخاب شدن به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری را دارند. برای بیرون کشیدن اطلاعات کل پیکسل‌ها لازم است نخست یک شبکه منظم به ابعاد

1 - Digital Number (DN)

اندازه پیکسل[1] روی منطقه انتخاب شده مستقر شود. با توجه به اینکه اندازه پیکسل‌ها در تصاویر مورد استفاده ۳۰ متری بود از این‌رو شبکه ۳۰ متر در ۳۰ متر روی محدوده مطالعه شده مستقر شد. شرح مراحل کار به ترتیب زیر است:

۱- نقاط چهارگوشه منطقه وارد محیط نرم‌افزار می‌شود. به‌این منظور نخست مختصات چهار گوشه در یک فایل اکسل وارد می‌شود. سپس با استفاده از دستور Add Data/Add XY Data نقاط فراخوانی می‌شوند. قبل از فراخوانی نقاط، بایستی سیستم مختصات نقاط را وارد کرد (شکل ۹). به عنوان نمونه سیستم مختصات UTM برای زون ۴۰ از مسیر زیر قابل دریافت است:

Edit/Projected Coordinate System/ UTM/WGS 1984/ Northern Hemisphere/ Zone_40N

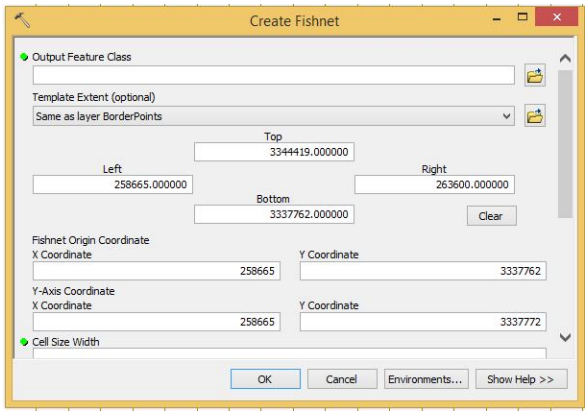


شکل ۹- تعیین سیستم مختصات نقاط چهار گوشه

۲- در این مرحله باید بر اساس نوع تصویر ماهواره‌ای استفاده می شود، محدوده را شبکه‌بندی کرد تا کل موقعیت‌های محتمل برای نمونه‌برداری مشخص شود. به‌عنوان نمونه در این راهنما از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. اندازه هر پیکسل در این تصاویر ۳۰ متر در ۳۰ متر است. به این ترتیب اگر یک شبکه با پیکسل‌های ۳۰

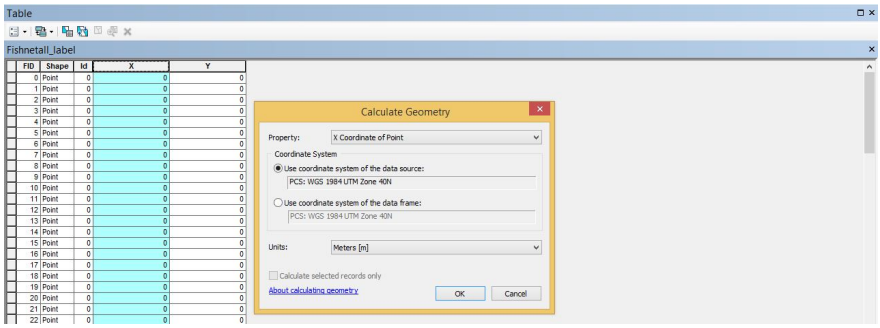
1 - Pixel Size

متر در ۳۰ متری روی چهار گوشه محدوده مطالعه شده طراحی شود، کل موقعیت هایی که امکان نمونه‌برداری از آن ها وجود دارد (جامعه) مشخص شده است. به این منظور از دستور Create Fishnet استفاده می‌شود (شکل ۱۰). در قسمت Output Feature Class نامی برای شبکه به انتخاب وارد می‌شود. در قسمت Template Extent با کلیک روی فلش رو به پایین می‌توان نقاط مرز را برای چهار گوشه محدوده تعریف کرد (... Same as). در قسمت‌های Cell Size Width و Cell Size Height هر کدام عدد ۳۰ وارد می‌شود. به این ترتیب تعداد سلول‌ها در طول و عرض توسط نرم افزار محاسبه می‌شود و نیازی به وارد کردن آن نیست.



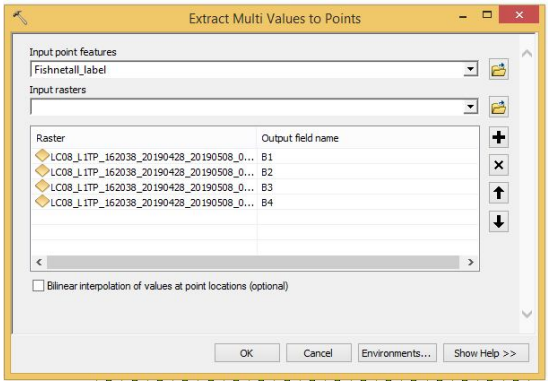
شکل ۱۰- ایجاد شبکه بر روی کل محدوده مورد مطالعه

۳- مختصات نقطه وسط شبکه ایجاد شده در این مرحله تعریف می شود. به این منظور نخست جدول اسنادی لایه با کلیک راست کردن روی لایه و انتخاب گزینه Open Attribute Table باز و سپس با استفاده از گزینه Add Field دو ستون برای مختصات طول (X) و عرض جغرافیایی (Y) نقاط به جدول اسنادی اضافه می‌شود. با انتخاب هر کدام از این ستون‌ها و کلیک راست کردن روی آن‌ها می‌توان گزینه Calculate Geometry را انتخاب کرد (شکل ۱۱). با کلیک روی نخستین فلش رو به پایین، می‌توان مختصات طول یا عرض جغرافیایی را به جدول اسنادی اضافه کرد.



شکل ۱۱- محاسبه طول و عرض جغرافیایی نقاط مرکز شبکه

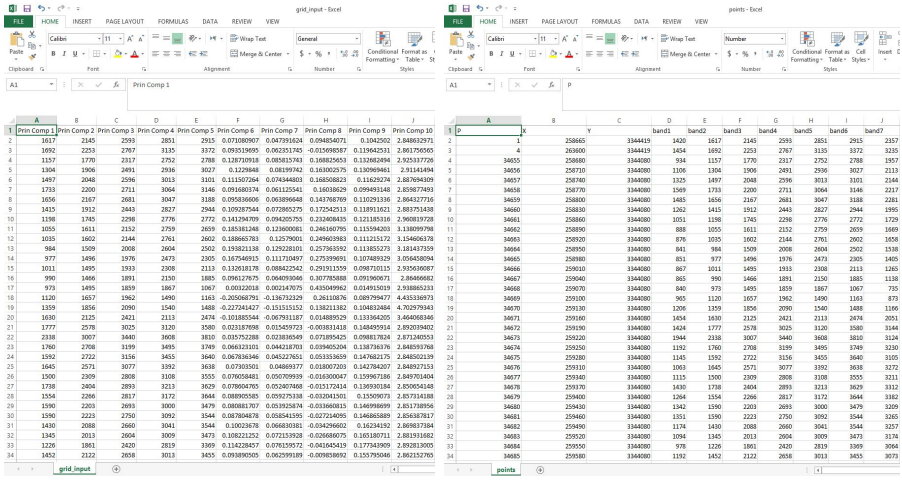
۴- باندهای تصویر ماهواره‌ای به محیط نرم‌افزار اضافه می‌شوند و مقدار عدد دیجیتال[1] (DN) هر سلول ۳۰ متری با استفاده از دستور Extract Multi Values to Points برای هر سلول ۳۰ متری محاسبه می‌شود (شکل ۱۲). در پنجره باز شده برای گزینه Input point features نام شبکه ایجاد شده انتخاب می‌شود و برای گزینه Input raster باندهای مختلف تصویر اضافه می‌شود. در قسمت Output field name برای هر کدام از باندهای انتخاب شده نام کوتاهی درج می‌شود تا در جدول اسنادی با همان نام ذخیره شود.



شکل ۱۲- بیرون کشیدن مقادیر اعداد دیجیتال باندها برای نقاط شبکه

1 - Digital Number

۵- جدول اسنادی شبکه به همراه مقادیر اعداد دیجیتال باندها به شکل یک فایل متنی با پسوند dbf.* در نرم‌افزارهای صفحه گسترده مانند اکسل باز می‌شود (شکل ۱۳). این داده‌ها باید به فرمت داده‌های فایل grid_input درآید تا برای نرم‌افزار قابل خواندن باشد. به این منظور فایل grid_input هم باید در نرم‌افزار اکسل باز شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- بازکردن جدول اسنادی و فایل ورودی برای جایگذاری مقادیر

سپس داده‌های جدول اسنادی بدون عنوان ستون‌ها وارد این فایل شده و دوباره به فرمت متنی می‌شوند. فایل متنی ذخیره شده در نرم‌افزارهای ویرایش متن باز شده و فواصل بین داده‌ها با کاما (,) جایگزین می‌شوند و فایل با همان نام ذخیره می‌شود. در این فایل دو ستون اول به مختصات جغرافیایی نقاط و هشت ستون بعدی به متغیرهایی که برای تعیین نقاط نمونه‌برداری استفاده می‌شوند، اختصاص داده می‌شود.

۶- در فایل clhs_input.txt تغییرات زیر را انجام داده و ذخیره می‌کنیم.

تعداد متغیرهای کمکی nvar را تعیین می‌کنیم: در این مورد ۱۰

تعداد نقاط نمونه‌برداری nsam را تعیین می‌کنیم: در این مورد ۵۰

گزینه icord را معادل ۱ انتخاب می‌کنیم. این گزینه نشان می‌دهد که دو ستون اول مختصات جغرافیایی نقاط هستند.

```
infile='data.txt'          ! input data file (see above)
outfile='out_data.txt'     ! output file
nvar=10                    ! number of variables
nsam=50                    ! number of samples
icord=0                    ! icord =1 datafile contains coordinates, otherwise icord=0
w1=1.0                     ! optimisation weight to data
w2=0.5                     ! optimisation weight to correlations among data variables
niter=20000                ! number of iterations (usually greater than 20 000 to get a good hypercube)
tfactr=0.99                ! anneal cooling schedule (no need to modify)
```

۷- نرم افزار را اجرا کرده و فایل out_grid.txt را باز می کنیم. در این فایل ستون اول شماره ردیف نقطه نمونه برداری شده، ستون دوم طول جغرافیایی، ستون سوم عرض جغرافیایی نقطه و دیگر ستون‌ها مقادیر متغیرهای کمکی در نقطه مورد نمونه‌برداری هستند.

۶- ارزیابی روش نمونه‌برداری پیش از شروع عملیات نمونه‌برداری

ارزیابی روش نمونه‌برداری پیش از انجام نمونه‌برداری موضوعی است که در مطالعات زمینی کمتر به آن توجه شده‌است. به هنگام ارزیابی روش نمونه‌برداری، عامل مهم، آزمون تعداد سعی و خطای نیازمند برای خلق دوباره و دقیق توزیع احتمال جامعه از راه نمونه‌برداری است. چنان‌چه یک روش نمونه‌برداری نیازمند سعی و خطای بیشتر و زمان اجرای بیشتر برای تخمین توزیع احتمال ورودی باشد، آن روش کارایی کمتری دارد.

دو روش مونت‌کارلو[1] و فرامکعب‌لاتین[2] ازنظر تعداد سعی و خطای نیازمند برای تخمین توزیع احتمال ورودی با یکدیگر تفاوت دارند. نمونه‌برداری به روش مونت‌کارلو برای تخمین توزیع احتمال ورودی نیاز به تعداد زیادی نمونه‌برداری دارد، به‌ویژه

1 - Monte Carlo

2 - Latin Hypercube

هنگامی که توزیع احتمال ورودی به شدت چولگی داشته باشد و یا اینکه دنباله‌هایی با احتمال کم داشته‌باشد. روش نمونه‌برداری فرامکعب‌لاتین، در مقابل، تعداد نمونه نیازمند را تحمیل می‌کند و در نتیجه سریع‌تر روی مقادیر آماره‌های واقعی توزیع ورودی همگرا می‌شود.

برای مقایسه میانگین نمونه‌های گرفته شده به روش‌های مختلف با میانگین جامعه اصلی می‌توان از آزمون نمرات استاندارد Z استفاده کرد. به‌این ترتیب که بایستی با استفاده از رابطه (۲۰) نمرات استاندارد محاسبه و در سطوح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد و با استفاده از جداول مرجع با مقادیر جامعه مقایسه شوند.

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \qquad (۲۰)$$

که در آن: $\bar{X}$ میانگین پارامتر در جامعه اصلی (کل تعداد پیکسل‌ها که در این مورد حدود ۵۷۶۰۰۰ پیکسل ۹۰۰ متر مربعی بود)، μ میانگین حاصل از نمونه‌ها، s انحراف معیار نمونه و n تعداد نمونه است.

همچنین، برای آزمون برابری انحراف معیار جامعه و نمونه، می‌توان از آزمون χ^2 در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد استفاده کرد.

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \qquad (۲۱)$$

که در آن: χ^2 آماره کای اسکور، s انحراف معیار نمونه، n تعداد نمونه و σ انحراف معیار جامعه است.

برای مقایسه کمّی دقت روش‌ها و تراکم‌های نمونه‌برداری، میزان انحراف مقادیر توزیع احتمال تجمعی برآورد شده به کمک این روش‌ها با مقادیر جامعه اصلی مقایسه و آماره ریشه میانگین مربعات خطا RMSE[1] قابل تعیین است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۲۲)$$

1- Root Mean Square Error

که در آن: Pi و Oi به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده درصد احتمال تجمعی پارامترها در نمونه و جامعه و n تعداد نقاط نمونه‌برداری است.

۷- جمع‌بندی

با پیشرفت علوم و فنون جدید، کاربردهای بیشتری از اطلاعات در بخش کشاورزی قابل تصور است. علاوه بر اطلاعات جدیدی که در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در مورد وضعیت منابع آب، خاک، اقلیم و گیاه در حال تولید و به‌روزرسانی است، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت‌های تفکیک مکانی و زمانی متفاوت نیز بر حجم و گستردگی این اطلاعات افزوده است. اطلاعاتی که برخی یکدیگر را تکمیل و یا تدقیق می‌نمایند. روشن است برای ارزیابی و پایش یک سامانه پیچیده مانند کشاورزی که از تمامی این اجزا (آب، خاک، گیاه و اقلیم) تشکیل شده، ضروری است تمامی این اجزا نیز ارزیابی شوند. بر همین مبنا پیدا کردن نقاطی که دارای مشخصه‌های معرّف از محدوده مورد مطالعه باشند و هم‌چنین امکان استفاده از این حجم گسترده از اطلاعات را فراهم آورند دارای پیچیدگی‌ها و ظرافت‌های خاصی است. در این نشریه سه روش سنجش از دور، زمین‌آمار و کاربرد آمار کلاسیک در مورد داده‌های مکانی برای انتخاب صحیح و استقرار شبکه پایش در سامانه‌های کشاورزی بحث شدند. به تناسب موضوع با ارایه نمونه‌های مرتبط سعی شد تا موارد بصورت ملموس‌تری ارایه شوند. به‌نظر می‌رسد روش‌هایی که امکان استفاده و تلفیق منابع مختلف اطلاعاتی را برای انتخاب و استقرار شبکه‌های پایش منابع فراهم آورند در آینده با استقبال بیشتری روبرو خواهند بود.

منابع

تقی زاده، روح الله، فریدون سرمدیان، محمد جواد روستا، محمد حسن رحیمیان، محمود امید و نورایر تومانیان. ۱۳۹۳. 'پهنه بندی رقومی قابلیت هدایت الکتریکی ظاهری با استفاده از رگرسیون کریجینگ و واریوگرام محلی در منطقه اردکان', مجله مدیریت خاک و تولید پایدار, ۴: ۱-۲۹.

Cline, M. G. (1944). "Principles of soil sampling." Soil Science 58(4): 275-288.

El-Battay, A., A. Bannari, N. Hameid and A. Abahussain (2017). "Comparative study among different semi-empirical models for soil salinity prediction in an arid environment using OLI Landsat-8 data." Adv. Remote Sens 6: 23-39.

Gringarten, E. and C. V. Deutsch (2001). "Teacher's aide variogram interpretation and modeling." Mathematical Geology 33(4): 507-534.

Grunwald, S. (2010). Current state of digital soil mapping and what is next. Digital Soil Mapping, Springer: 3-12.

Matheron, G. (1971). The theory of regionalized variables and its applications.

Minasny, B. and A. B. McBratney (2006). "A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information." Computers and geosciences 32(9): 1378-1388.

Oliver, M. and R. Webster (2014). "A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging." Catena 113: 56-69.

Roy, D. P., M. A. Wulder, T. R. Loveland, C. Woodcock, R. G. Allen, M. C. Anderson, D. Helder, J. R. Irons, D. M. Johnson and R. Kennedy (2014). "Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research." Remote sensing of Environment 145: 154-172.

Scull, P., J. Franklin, O. Chadwick and D. McArthur (2003). "Predictive soil mapping: a review." Progress in Physical Geography 27(2): 171-197.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., B. Minasny, F. Sarmadian and B. Malone (2014). "Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran." Geoderma 213: 15-28.

Woodcock, C. E., A. H. Strahler and D. L. Jupp (1988). "The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images." Remote Sensing of Environment 25(3): 323-348.

Islamic Republic of Iran

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Guideline for Establishment of Ground- Based Monitoring Network

(Implementation for Soil, Water, Plant and Climatic Sampling)

Youssef Hasheminejad and
Mohammad Hassan Rahimian

2020