5.3 نمونه‌برداری

5.3.1 معرفی

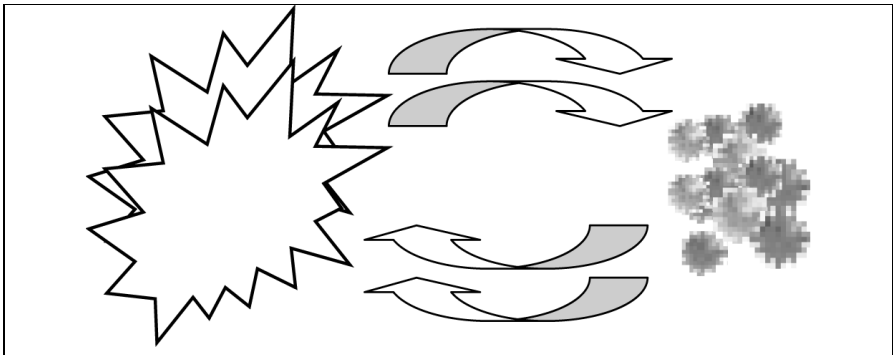
داده‌ها برای LULUCF غالباً از طریق پیمایش‌های نمونه‌ای به دست می‌آیند و نوعاً جهت برآوردِ تغییرات در کاربری یا در محتوای کربن به کار می‌روند. «فهرست جنگل‌های ملی» را می‌توان نمونه‌های مهمی از این پیمایش‌های مورد استفاده دانست. این بخش، «راهنمای روش مناسب» برای استفاده از داده‌ها از پیمایش‌های نمونه‌ای را گزارش می‌دهد که جهت گزارش‌دهیِ انتشار یا حذف گازهای گلخانه‌ای، و جهت برنامه‌ریزیِ این نوع پیمایش‌ها برای جمع‌آوری داده‌های بدین منظور، به کار می‌روند. همچنین نمونه‌برداری جهت نظارت بر پروژه‌های پروتکل کیوتو اهمیت دارد و فصل 4 نیز توصیه‌هایی هماهنگ با این بخش ارائه می‌دهد. این بخش، «راهنمای روش مناسب» را ارائه می‌دهد که به موارد زیر مربوط می‌شود:

- مُروری بر اصول نمونه‌برداری (بخش 5.3.2)
- طرح نمونه‌برداری (بخش 5.3.3)
- روش‌های نمونه‌برداری جهت برآورد محدوده (بخش 5.3.4)
- روش‌های نمونه‌برداری جهت تخمین انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای (بخش 5.3.5)
- عدم‌حتمیت‌ها در پیمایش‌های نمونه‌محور (بخش 5.3.6)

منابع عمومی و مفید پیرامون نمونه‌برداری عبارتند از: Raj (1968)، Cochran (1977)، De Vries (1986)، Thompson (1992)، Särndal et al. (1992)، Schreuder et al. (1993)، Reed and Mroz (1997) و Lund (1998).

5.3.2 مُروری بر اصول نمونه‌برداری

نمونه‌برداری با نگاه به بخشی از یک جامعه، اطلاعاتی در موردِ کل آن جامعه به دست می‌آورد: آن بخش عبارت است از «نمونه» (شکل 5.3.1 را نگاه کنید). به عنوان مثال، تغییرات در میزان کربن در «زیست‌تودهٔ درختی» (Tree Biomass) در سطح منطقه‌ای یا ملی را می‌توان از میزان رشد، مرگ‌ومیر و قطع درختان در تعداد محدودی از کرت‌های نمونه، تخمین زد. آنگاه نظریهٔ نمونه‌برداری، ابزار لازم جهت تعمیم اطلاعات از کرت‌های نمونه به سطح جغرافیایی منتخب را در اختیار ما قرار می‌دهد. نمونه‌برداری‌هایی که به طور مناسب طراحی شده باشند، می‌توانند راندمان در استفاده از بررسی‌های منابع موجود را تا حد زیادی افزایش دهند. بعلاوه، معمولاً برای طراحی بررسی‌های موجودی LULUCF به نمونه‌برداریِ میدانی نیاز است، زیرا حتی اگر داده‌های حسگرهای از راه دور بتوانند یک منطقه را به طور کامل پوشش دهند، باز هم به داده‌های زمینی و مستقیم از مناطق نمونه جهت تفسیر و تأیید داده‌های حسگرها نیاز داریم.



شکل 5.3.1: اصل نمونه‌برداری

نظریهٔ استانداردِ نمونه‌برداری بر انتخاب تصادفیِ نمونه از جامعه تکیه می‌کند؛ و بدین ترتیب، هر واحد از جامعه، احتمال مشخصی دارد که در نمونه انتخاب شود. همین اتفاق زمانی می‌افتد که کرت‌های نمونه به طور کاملاً تصادفی در یک محدوده توزیع می‌شوند، یا وقتی کرت‌ها در یک سیستم شبکه‌ای توزیع می‌شوند البته در جایی که شبکه به صورت تصادفی تعریف شده است. نمونه‌برداری تصادفی موجب می‌شود که احتمال اُریب بودنِ نمونه‌ها کاهش پیدا کند، همچنین امکان ارزیابیِ عینیِ میزان عدم‌حتمیت در برآوردها را فراهم می‌سازد. بنابراین، داده‌هایی که با نمونه‌برداری تصادفی انتخاب شده‌اند بایستی در صورت وجود، یا وقتی که پیمایش‌های جدید آغاز می‌شوند، مورد استفاده قرار گیرند.

همچنین نمونه‌ها را می‌توان در مکان‌هایی که به طور ذهنی انتخاب شده‌اند برداشت کرد، که فرض می‌شود این مکان‌ها نمایندهٔ کل جامعه می‌باشند. به این روش، نمونه‌برداری ذهنی (یا قصدی) می‌گویند و داده‌های چنین همایش‌هایی غالباً در بررسی‌های میزان گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (یعنی زمانی که مشاهده‌ها از محل‌هایی که به طور تصادفی انتخاب نشده‌اند، به عنوان نمایندهٔ کل آن دسته یا زیربخش از زمین به کار می‌روند). تحت این شرایط، مشاهده‌هایی که مثلاً دربارهٔ نوع جنگل صورت می‌گیرند را می‌توان برون‌یابی کرد و بدین صورت این مشاهده‌ها را به مناطقِ دیگر نیز تعمیم داد. با این حال، به علت محدودیت منابع، بررسی‌هایی که برای تعیین میزان گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شوند ممکن است به استفاده از داده‌های مربوط به مناطق یا کرت‌های تحقیقاتی که به طور ذهنی انتخاب شده‌اند نیز نیاز پیدا کنند. در این حالت، شناسایی زمین‌هایی که نمونه‌های ذهنی آنها را می‌توان نمایندهٔ کل جامعه دانست (در هماهنگی و با استفاد از نهادهای مسؤول این مناطق یا کرت‌ها)، را می‌توان یک «روش مناسب» دانست.

5.3.3 طرح نمونه‌برداری

«طرحِ نمونه‌برداری» مشخص می‌کند که واحدهای نمونه (منطقه‌ها یا کرت‌ها) چگونه از جامعه انتخاب می‌شوند و بنابراین بایستی چه رویه‌های برآوردِ آماری بر این نمونه‌ها اعمال شود تا بتوان از آنها استنتاج کرد. طرح‌های نمونه‌برداری تصادفی را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد، بسته به اینکه آیا جامعه با استفاده از اطلاعات کمکی، «طبقه‌بندی» (یعنی: تقسیم‌بندی پیش از نمونه‌برداری) شده باشد یا خیر. معمولاً از این لحاظ که با چه هزینه‌ای می‌توان به چه میزان از دقت دست پیدا کرد، «پیمایش‌های طبقه‌بندی‌شده» مؤثرتر و کارآمدتر می‌باشند. از

سوی دیگر، این پیمایش‌ها اندکی پیچیده‌تر هستند، که در نتیجه احتمال بروز خطاهایِ غیرنمونه‌برداری (بواسطهٔ استفادهٔ ناصحیح از داده‌های جمع‌آوری‌شده) را افزایش می‌دهد. طرح‌های نمونه‌برداری بایستی به دنبال ایجاد توازن میان سادگی و راندمان باشند، و این کار را می‌توان با پیروی از سه جنبهٔ «روش مناسب» که در زیر آمده‌اند دنبال کرد:

- استفاده از داده‌های کمکی و طبقه‌بندی
- نمونه‌برداری سیستماتیک
- کرت‌های نمونهٔ دائمی و داده‌های سری‌های زمانی

5.3.3.1 استفاده از داده‌های کمکی و طبقه‌بندی

یکی از مهم‌ترین طرح‌های نمونه‌برداری که از اطلاعات کمکی استفاده می‌کند، «طبقه‌بندی» است، که در آن جامعه را با استفاده از «داده‌های کمکی» به زیرجامعه‌ها تقسیم می‌کنیم. این داده‌ها می‌توانند شامل این موارد باشند: مرزهای حقوقی و مدیریتی، یا مرزهای مدیریت جنگل که به طور مجزا بر نمونه تأثیر می‌گذارند، یا نقشه‌ها یا داده‌های حسگرهای از راه دور که بین زمین‌های مرتفع و پست یا بین انواع مختلف از اکوسیستم‌ها تمایز می‌گذارند. از آنجا که «طبقه‌بندی» به دنبال افزایش راندمان است، استفاده از داده‌های کمکی (هنگامی که این داده‌ها موجود باشند یا بتوان آنها را با هزینهٔ جانبی نسبتاً اندک تولید کرد) را می‌توان یک «روش مناسب» دانست.

طبقه‌بندی به دو دلیل موجب افزایش راندمان می‌شود: (1) با افزایش دقتِ برآوردها برای کل جامعه؛ و (2) با تضمین اینکه نتایج مناسبی از هر زیر مجموعهٔ خاص به دست آمده است، مثلاً برای منطقه‌های مدیریتی.

دربارهٔ مسئلهٔ اول، اگر زیرمجموعهٔ جامعه به نوعی تشکیل شده باشد که تفاوت بین واحدها در یک طبقه (در مقایسه با تفاوت‌ها در کل جامعه) کاهش پیدا کرده باشد، آنگاه طبقه‌بندی می‌تواند به افزایش راندمان منجر شود. به عنوان مثال، یک بخش را می‌توان به منطقهٔ پست (با ویژگی‌های خاص در دستهٔ مورد نظر از کاربری زمین) و منطقهٔ مرتفع (با ویژگی‌هایی متفاوت در همان دسته از استفاده‌هایی که از زمین می‌شود) تقسیم کرد. اگر هر طبقه کاملاً همگن باشد، می‌وان با استفاده از تعداد محدودی نمونه از هر طبقه، برآوردی نسبتاً دقیق برای آن طبقه به دست آورد. مسئلهٔ دوم به منظور ارائهٔ نتایج با سطحِ خاصی از دقت برای همهٔ منطقه‌های مدیریتیِ مدِ نظر اهمیت دارد، اما همچنین در حالی که داده‌های نمونه‌برداری‌شده بایستی همراه با دیگر داده‌های موجود مورد استفاده قرار بگیرند (مثلاً داده‌هایی که با پروتکل‌هایی متفاوت اما با همان محدودیت‌های مدیریتی یا قانونی جمع‌آوری شده‌اند) نیز اهمیت دارد.

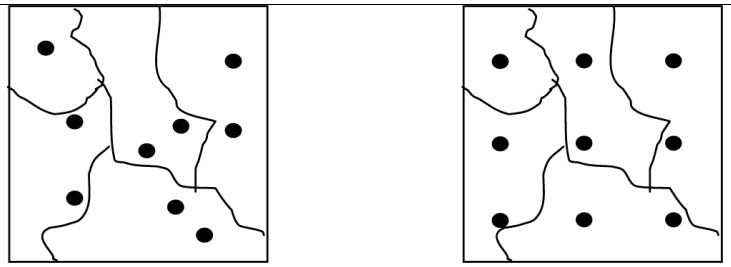
استفاده از داده‌های حسگرهای از راه دور یا نقشه‌ها برای شناساییِ محدوده‌هایِ یک طبقه (زیربخش‌های دستهٔ کاربری زمین که قرار است در یک پیمایش نمونه‌ای مورد استفاده قرار گیرند) ممکن است موجب بروز خطاهایی شود، و برخی از محدوده‌ها را به غلط در یک طبقهٔ خاص طبقه‌بندی نماید در حالی که محدوده‌های دیگری که به واقع به آن طبقه تعلق دارند را فرو بگذارد. خطاهایی از این دست می‌توانند اُریبیِ زیادی را در برآوردهای نهایی ایجاد کنند، زیرا محدوده‌ای که بدین روش برای نمونه‌برداری انتخاب شده است به جامعهٔ هدف تعلق ندارد. هرگاه

به وضوح احتمالِ بروز چنین خطاهایی وجود داشته باشد، «روش مناسب» آن است که با استفاده از داده‌های واقعی به ارزیابیِ تأثیر احتمالی این خطاها بپردازید.

هنگامی که داده‌ها جهت گزارش‌دهیِ میزان انتشار یا حذف گازهای گلخانه‌ای از فهرست‌های کلانِ موجود (مانند «فهرست جنگل‌های ملی») انتخاب شده باشند، بهتر است رویه‌های استانداردِ برآوردِ فهرست را بر این موارد اعمال کنیم، البته تا زمانی که بر مبنای اصولِ معقولِ آماری باشند. بعلاوه، «طبقه‌بندیِ پسینی» (یعنی تعریفِ طبقه‌ها بر مبنای داده‌های کمکی حسگرهای از راه دور یا نقشه‌ها، پس از آنکه پیمایش میدانی انجام شد) بدین معناست که می‌توان بدون تغییر دادن طرح میدانی اصلی، از داده‌های کمکی جدید جهت افزایش راندمان استفاده کرد. با استفاده از این اصلِ برآورد، می‌توان از احتمال بروزِ اُریبی (که در پاراگراف قبل به آن اشاره شد) نیز پیشگیری نمود.

5.3.3.2 نمونه‌برداری سیستماتیک

پیمایش‌های جنگل یا کاربری زمین که بر مبنای نمونه‌برداری باشند، از نقطه‌ها یا کرت‌هایی استفاده می‌کنند که ویژگی‌های مدنظر روی آنها ضبط شده‌اند. یک مسئلهٔ مهم در اینجا به طرح‌بندیِ این نقاط یا کرت‌ها مربوط می‌شود. غالباً بهتر است که کرت‌ها را در خوشه‌های کوچک اختصاص دهیم تا هزینه‌های جابجایی و مسافرت (هنگامی که در یک پیمایشِ نمونه‌محور، با یک محدودهٔ وسیع سروکار داریم) به حداقل برسد. در نمونه‌برداری خوشه‌ای، فاصلهٔ بین کرت‌ها بایستی به اندازهٔ کافی زیاد باشد که از همبستگی بین این کرت‌ها پیشگیری شود، و (برای نمونه‌برداری جنگلی) حجم مورد نیز در نظر گرفته شود. یک مسئلهٔ مهم این است که آیا کرت‌ها (یا خوشه‌های کرت‌ها) بایستی به صورت کاملاً تصادفی طرح‌بندی شوند، یا با استفاده از یک شبکهٔ معمولی و مرسوم (که در محدودهٔ مورد نظر قرار گرفته است) به صورت سیستماتیک طرح‌بندی شوند (شکل **5.3.2** را ملاحظه کنید). به طور کلی، استفاده از نمونه‌برداری سیستماتیک نیز راندمان کافی را دارد، زیرا این کار در اکثر موارد به افزایش دقتِ برآوردها منجر می‌شود. همچنین نمونه‌برداری سیستماتیک، کار میدانی را نیز ساده می‌کند.



شکل 5.3.2: طرح‌بندی تصادفی نمونهٔ کرت‌ها (چپ) و طرح‌بندی سیستماتیک (راست)

اگر بخواهیم به بیان ساده بگوییم، دلیلِ اینکه نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک معمولاً بر نمونه‌برداری تصادفیِ ساده ارجحیت دارد آن است که در روش سیستماتیک، کرت‌های نمونه به طور منظم در کل محدودهٔ هدف توزیع می‌شوند. اما در نمونه‌برداری تصادفیِ ساده، برخی محدوده‌ها ممکن است کرت‌های بیشتری داشته باشند در حالی که در برخی دیگر هیچ کرتی نباشد.

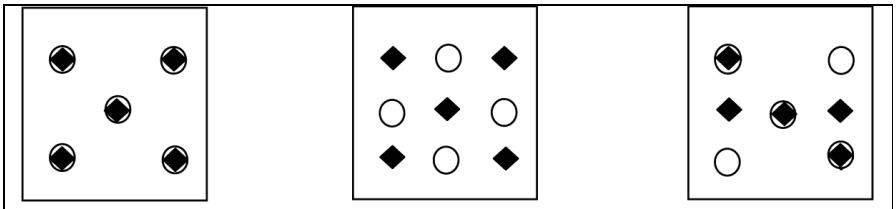
5.3.3.3 کرت‌های نمونهٔ دائمی و داده‌های سری‌های زمانی

فهرست‌های مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای باید هم وضعیت فعلی و هم تغییرات در طول زمان (مثلاً در حوزه‌های کاربری زمین و میزان کربن) را ارزیابی نمایند. ارزیابیِ تغییرها بیشترین اهمیت را داشته و شامل نمونه‌برداریِ مکرر در طول زمان می‌شود. بازهٔ زمانیِ بین اندازه‌گیری‌ها بایستی بر مبنای تناوبِ اتفاق‌هایی که موجب بروز تغییر در وضعیت می‌شوند، و همچنین بر مبنای قوانین مربوط به گزارش‌دهی، تعیین شود. معمولاً بازه‌های زمانی نمونه‌برداری در حدود **5** تا **10** سال برای بخش **LULUCF** کافی می‌باشند، و در بسیاری از کشورها نیز داده‌های مربوط به پیمایش‌هایی با طراحی مناسب از دهه‌ها پیش تا کنون موجود می‌باشند (خصوصاً در بخش جنگل). با این حال، از آنجا که برآوردهای لازم جهت گزارش‌دهی به طور سالیانه مورد نیاز می‌باشند، روش‌های درونی‌یابی و برون‌یابی (از آن نوعی که در بخش **5.6** توضیح داده شده است) بایستی مورد استفاده قرار گیرند. هنگامی که سری‌های زمانی با اندازهٔ طولانی و مناسب در اختیار نباشند، شاید لازم باشد با برون‌یابی به بررسی میزان کربن در زمان‌های گذشته پرداخت، که در این فرآیند از «راهنمای روش مناسب» در بخش **5.6** همراه با «راهنمای روش مناسب» در فصل‌های **3** و **4** (در مورد دوره‌های زمانیِ لازم و فرض‌هایی که باید پذیرفته شوند) استفاده خواهد شد.

در هنگام نمونه‌برداری‌های مکرر، داده‌های لازم پیرامون وضعیت فعلیِ محدوده‌ها یا میزان کربن، در هر مورد بررسی می‌شوند. آنگاه میزان تغییرات توسط محاسبهٔ تفاوت میان وضعیت در زمانِ **t+1** با زمان **t** به دست می‌آیند. برای برآورد تغییر می‌توان از سه طرح مرسوم نمونه‌برداری استفاده کرد:

- واحدهای نمونهٔ یکسان در هر دو اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند (واحدهای نمونهٔ دائمی)
- مجموعه‌هایی متفاوت و مستقل از واحدهای نمونه برای دو مورد استفاده می‌شوند (واحدهای نمونهٔ موقت)
- برخی از واحدهای نمونه در دو بار اندازه‌گیری متفاوت هستند، در حالی که بقیه ثابت می‌مانند (نمونه‌برداری با جایگزینی جزئی)

شکل **5.3.3**، این سه رویکرد را نشان می‌دهد.



شکل 5.3.3: استفاده از ترکیب‌های مختلف از واحدهای نمونهٔ دائمی و موقتی برای برآوردِ تغییرات

راست: مجموعهٔ مشابه (کرت‌های دائمی)

وسط: مجموعه‌های مستقل (کرت‌های موقتی)

چپ: نمونه‌برداری با جایگزینی جزئی (کرت‌های دائمی و موقتی)

◆ واحد نمونه که در بار اول اندازه‌گیری شده است.

○ واحد نمونه که در بار دوم اندازه‌گیری شده است.

معمولاً در برآورد تغییرات، کرت‌های نمونهٔ دائمی بهتر از کرت‌های نمونهٔ موقتی می‌باشند، زیرا شناساییِ روندهای واقعی تغییرات در این کرت‌ها ساده‌تر از کرت‌های موقتی می‌باشد (که در کرت‌های موقتی بایستی تغییرات ناشی از عوض شدن کرت را نیز در نظر گرفته و تشخیص داد). اما استفاده از کرت‌های نمونهٔ دائمی، مشکلاتی احتمالی را نیز به دنبال می‌آورد. اگر محل کرت‌های نمونهٔ دائمی برای مدیران زمین‌ها مشخص شود (مثلاً به خاطر نشانه‌گذاری بر روی کرت‌ها)، ممکن است آنها در نحوهٔ مدیریت خود بر این کرت‌ها تغییراتی بدهند. در این صورت، این کرت‌ها را دیگر نمی‌توان نمایندهٔ همهٔ منطقه دانست، و احتمالِ اُریب بودن نتایج کاملاً مشهود می‌باشد. اگر به نظر می‌رسد که احتمال بروز مشکلی از این دست وجود دارد، «روش مناسب» آن است که برخی کرت‌های موقتی نیز به عنوان نمونه‌های کنترل مورد ارزیابی قرار گیرند تا مشخص شود که آیا شرایط این کرت‌ها با شرایط کرت‌های دائمی تفاوت پیدا می‌کند یا نه.

استفاده از «نمونه‌برداری با جایگزینی جزئی» می‌تواند بخشی از مشکلات مربوط به اتکاء به کرت‌های دائمی را حل کند، زیرا در این روش می‌توانیم اگر مطمئن شدیم که با برخی از کرت‌ها به شیوهٔ متفاوتی برخورد شده است، آنها را جایگزین کنیم. بنابراین می‌توان از «نمونه‌برداری با جایگزینی جزئی» استفاده کرد، هرچند رویه‌های برآورد در این روش پیچیده می‌باشند.

هنگامی که فقط از کرت‌های موقتی استفاده می‌شود باز هم می‌توان تغییرات کلی را برآورد کرد، اما دیگر نمی‌توان تغییرهای بین دسته‌های مختلف کتربری را برآورد نمود مگر آنکه یک بُعد زمانی نیز به این نمونه افزوده شود. این کار را می‌توان با استفاده از داده‌های کمکی (مثلاً داده‌هایی که توسط نقشه‌ها، حسگرهای از راه دور یا اطلاعات ثبت‌شده توسط مسؤولان پیرامون وضعیت زمین در گذشته به دست می‌آیند) انجام داد. البته این کار می‌تواند موجب افزایش عدم‌حتمیت در ارزیابی شود، که مقدار آن را فقط می‌توان توسط قضاوت کارشناسی و حرفه‌ای تعیین نمود.

5.3.4 روش‌های نمونه‌برداری جهت برآورد محدوده

فصل 2، رویکردهای مختلفی را جهت ارزیابی محدوده یا تغییرات در محدوده‌هایی با کاربری‌های متفاوت، ارائه می‌دهد. بسیاری از این رویکردها، بر نمونه‌برداری تکیه می‌کنند. محدوده‌ها و تغییرات در محدوده‌ها را می‌توان به دو روش مختلف با استفاده از نمونه‌برداری، برآورد کرد:

- برآورد از طریق نسبت‌ها
- برآورد مستقیمِ محدوده

در رویکرد اول لازم است که کل محدودهٔ منطقهٔ پیمایش، شناخته‌شده باشد، و پیمایش نمونه‌ای نیز صرفاً نسبت‌های دسته‌های مختلف کاربری زمین را ارائه دهد. در رویکرد دوم، لازم نیست که کل محدوده شناخته‌شده باشد.

هر دو رویکرد به ارزیابی تعداد مشخصی از واحدهای نمونه که در محدودهٔ مورد نظر واقع شده‌اند، نیاز دارند. انتخاب واحدهای نمونه را می‌توان از طریق نمونه‌برداری تصادفی ساده یا نمونه‌برداری سیستماتیک انجام داد (شکل 5.3.2 را ملاحظه کنید). نمونه‌برداری سیستماتیک معمولاً دقت برآورد محدوده‌ها را افزایش می‌دهد، خصوصاً هنگامی که انواع مختلفی از زمین‌های زراعی- کشاورزی در قطعه‌های بزرگ موجود باشند. همچنین طبقه‌بندی، که

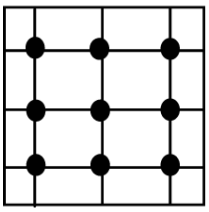
در بخش **5.3.3.1** دربارهٔ آن بحث شد، نیز می‌تواند برای افزایش راندمانِ برآوردهای محدوده‌ها مورد استفاده قرار گیرد؛ در این حالت، «روش مناسب» آن است که رویه‌هایی که در زیر تشریح شده‌اند را به طور مستقل در هر یک از طبقه‌ها اجرا کنیم.

در تعیین نسبت‌های برآوردها، فرض می‌شود که واحدهای نمونه در واقع نقاطی بی‌بُعد هستند، هرچند هنگامی که دستهٔ کاربری زمین مشخص شد، محدودهٔ کوچکی در حاشیهٔ هر نقطه را بایستی در نظر گرفت. همچنین می‌توان از کرت‌های نمونه برای برآورد محدوده‌ها استفاده کرد، هرچند این اصل را بیش از این در اینجا توضیح نمی‌دهیم.

5.3.4.1 برآورد محدوده‌ها از طریق نسبت‌ها

معمولاً کل محدودهٔ یک منطقه از فهرست، شناخته‌شده است. در این حالت، برآوردِ محدوده‌ها مختلف از کاربری زمین مختلف زمین می‌تواند بر مبنای ارزیابی‌های نسبت‌های محدوده‌ها باشد. در هنگام استفاده از این رویکرد، محدودهٔ مورد نظر توسط تعداد مشخصی از نقاط نمونه پوشش داده می‌شود، و کاربری زمین برای هر نقطه معین می‌شود. سپس با تقسیم کردنِ تعداد نقاط در هر دستهٔ خاص بر تعداد کل نقاط، نسبتِ آن دسته از کاربری زمین معین می‌گردد. برآورد میزان محدوده‌ها در هر دسته از کاربری، با ضرب کردنِ نسبت آن دسته در کل محدوده به دست می‌آید.

جدول **5.3.1**، یک مثال از این رویه را ارائه می‌دهد. خطای استاندارد در برآورد یک محدوده به صورت $A\sqrt{(p_i \bullet (1-p_i))/(n-1)}$ به دست می‌آید، که p_i برابر است با نسبت نقاط در یک دستهٔ کاربری خاص، A برابر است با کل محدودهٔ مورد نظر، و n برابر است با تعداد کلِ نقاط نمونه. بازهٔ اطمینانِ **95**٪ برای A_i (محدودهٔ برآوردشده جهت کاربری i) تقریباً با ± 2 برابرِ خطای استاندارد به دست می‌آید.

رویهٔ نمونه‌برداری	برآوردِ نسبت‌ها	برآورد محدوده برای هر کاربری	خطای استاندارد
	$p_i = n_i / n$	$A_i = p_i \cdot A$	$s(A_i)$
	$p_1 = 3/9 \cong 0.333$	$A_1 = 300$ ha	$s(A_1) = 150.0$ ha
	$p_2 = 2/9 \cong 0.222$	$A_2 = 200$ ha	$s(A_2) = 132.2$ ha
	$p_3 = 4/9 \cong 0.444$	$A_3 = 400$ ha	$s(A_3) = 158.1$ ha
	Sum = 1.0	Total = 900 ha	

جدول 5.3.1: مثالی از برآورد محدوده‌ها با استفاده از نسبت‌ها

که داریم:

A = کل محدوده (برابر با **900** هکتار در این مثال)

A_i = برآورد میزان ناحیه برای دستهٔ کاربریِ i

n_i = تعداد نقاطی که در دستهٔ کاربری i واقع شده‌اند

n = تعداد کل نقاط

برآوردهایِ محدوده‌هایی که شامل تغییر کاربری می‌شده‌اند را می‌توان با استفاده از یک دستهٔ دیگر مانند A_{ij} مشخص نمود، که نشان می‌دهد در فاصلهٔ دو پیمایش متوالی، کاربری زمین از i به j تغییر پیدا کرده است.

5.3.4.2 برآورد مستقیمِ محدوده

هرگاه کل منطقهٔ مورد نظر مشخص باشد، برآورد محدوده‌ها (و تغییرات محدوده‌ها) از طریقِ ارزیابیِ نسبت‌ها می‌تواند به اندازهٔ کافی مفید و دقیق باشد، زیرا این رویه می‌تواند حداکثرِ دقت را ایجاد کند. اما در حالتی که کل منطقه شناخته‌شده نباشد یا میزان عدم‌حتمیت در آن زیاد باشد، می‌توان از یک رویهٔ جایگزین که شامل ارزیابیِ مستقیم دسته‌های کاربری است استفاده نمود. از این رویکرد تنها زمانی می‌توان استفاده نمود که نمونه‌برداری سیستماتیک مورد استفاده قرار گیرد: هر نقطهٔ نمونه، نمایندهٔ یک محدوده است که به اندازهٔ یک واحد از شبکه (در طرح‌بندی نمونه) مربوط می‌شود.

به عنوان مثال، هنگامی که نقاط نمونه از یک شبکهٔ سیستماتیک مربعی با **1000** متر فاصله بین هر دو نقطه انتخاب می‌شوند، هر نقطهٔ نمونه در واقع نمایندهٔ یک محدوده به مساحت **1000** متر در **1000** متر (یا **100** هکتار) خواهد بود. بنابراین، اگر **15** کرت در یک دسته از کاربری قرار بگیرند، برآورد محدوده برابر خواهد بود با: **15** ضرب‌در **100** هکتار، یا **1500** هکتار.

5.3.5 روش‌های نمونه‌برداری جهت تخمین انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای

نمونه‌برداری نه تنها برای برآورد اندازهٔ نواجی، که برای برآورد وضعیت گاز کربین و انتشار و حذف گازهای گلخانه‌ای نیز مورد نیاز است. به عنوان مبنایی برای این امر، متغیرهایی همچون حجم زیست‌تودهٔ درختی یا محتوای کربن در خاک در همهٔ کرت‌ها ارزیابی می‌شوند. اندازه‌گیری این کمیت‌ها را می‌توان به صورت مستقیم در محل، یا با تجزیهٔ آزمایشگاهیِ نمونه‌ها، یا با استنتاج از مدل‌های مبتنی بر متغیرهای همبسته (همانند اندازه‌گیری‌های استانداردِ ارتفاع و قطر درخت برای تعیین میزان زیست‌تودهٔ درختی) انجام داد، تا میزان کل یا انتشار یا حذفِ گازهای گلخانه‌ای در سطح کرت مشخص گردد.

دربارهٔ استفاده از نمونه‌برداری جهت برآورد مستقیمِ انتشار یا حذف گازهای گلخانه‌ای، تنها می‌توان راهنمایی‌هایی کلی ارائه داد. در مقایسه با فهرست‌های سنتی جنگل‌ها یا کاربری زمین، ارزیابی از طریق کرت‌ها (خصوصاً برای اندازه‌گیریِ محتوای کربنِ خاک) اندکی پیچیده‌تر می‌باشد. یک مسئلهٔ مهم در پیمایش‌های نمونه‌برداری تصادفی به طرح‌بندی کرت‌ها (برای مثلاً اندازه‌گیری درخت‌ها یا نمونه‌برداری از خاک) بازمی‌گردد. مهم است که این طرح‌بندی بر طبق رویه‌های دقیق انجام شود، نه اینکه بر عهدهٔ مسؤولان جمع‌آوری داده‌ها در پیمایش گذاشته شود که نقاط مورد نظرشان را جهت اندازه‌گیری‌ها یا نمونه‌برداری‌ها انتخاب کنند.

غالباً فهرست‌های مربوط به گازهای گلخانه‌ای در برنامه‌های جاریِ نظارت بر جنگل‌های ملی یا کاربری زمین، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت، معمولاً «روش مناسب» این است که از رویه‌های جاافتاده برای این فهرست‌ها (به منظورِ برآورد میزان توجه و همچنین عدمِ‌حتمیتِ مرتبط با آن) استفاده شود. با این حال، تأثیرات خطاهای تبدیل

مدل در گام‌های نهایی تبدیل (مثلاً هنگام استفاده از ضرایب بسطِ نماییِ زیست‌تورده) در این حالت بایستی مورد توجه قرار گیرند. در این باره در بخش بعدی بیشتر بحث شده است.

5.3.6 عدم‌حتمیت‌ها در پیمایش‌های نمونه‌محور

روش‌هایی که در فصل‌های 3 و 4 تشریح شدند، دامنه‌هایی پیش‌فرض از خطا را برای مقادیر پیش‌فرض که ارائه شده‌اند، دارند؛ و بخش 5.2 از این فصل نیز نحوهٔ ترکیبِ عدم‌حتمیت‌ها به منظور برآورد کل عدم‌حتمیت در یک فهرست را توضیح می‌دهد. اگر یک نهاد فهرست‌بردار از مقادیر پیش‌فرض استفاده کند، آنگاه می‌تواند به دامنه‌های عدم‌حتمیت که در فصل‌های 3 و 4 ارائه شده‌اند ارجاع دهد. اما هنگامی که از روش‌های دیگر استفاده می‌کند، غالباً از مقادیر و داده‌های خاص هر بخش (که از طریق تحقیق، مُرور بر مقالات، نمونه‌برداری میدانی یا حسگرهای از راه دور به دست آمده است) بهره خواهد برد. هنگامی که از داده‌های خاصِ هر بخش استفاده می‌شود، نهادهای فهرست‌بردار بایستی خودشان به برآوردِ عدم‌حتمیت‌ها اقدام کنند که این کار می‌تواند بر مبنای قضاوت حرفه‌ای یا (در صورتی که از نمونه‌برداری استفاده شده است) ارزیابیِ مستقیم دقتِ داده‌ها یا برآوردهای حاصل انجام شود.

امکانِ استخراج برآوردهای عدم‌حتمیت‌ها بر مبنای رویه‌های مرسوم آماری، یکی از مزیت‌های مهمِ استفاده از نمونه‌برداری (در مقایسه با سایر روش‌ها) می‌باشد: در این روش، قابلیت اطمینانِ اطلاعات بر مبنای داده‌های کسب‌شده ارزیابی می‌شود.

پس هنگامی که داده‌های نمونه‌برداری تصادفی به منظور گزارش‌دهی میزان گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، «روش مناسب» آن است که ارزیابیِ عدم‌حتمیت‌ها بر مبنای اصول نمونه‌برداری (نه بر مبنای مقادیر پیش‌فرض یا قضاوت تخصصی) باشد. سپس می‌توان طبق راهنمای بخش 5.2 از این فصل، این عدم‌حتمیت را با سایر عدم‌حتمیت‌ها در دیگر داده‌ها و مدل‌های مورد استفاده، ترکیب نمود.

این بخش به تشریح منابع مختلف خطاها در پیمایش‌های نمونه‌ای و تأثیرات آنها بر عدم‌حتمیتِ کلی در برآوردها می‌پردازد. «راهنمای روش مناسب» دربارهٔ نحوهٔ ارزیابی عدم‌حتمیت‌ها در پیمایش‌های نمونه‌محور، ارائه شده است. بحث در مورد علت‌های خطاها کلی می‌باشد، و دربارهٔ مواردی که داده‌ها با استفاده از طرح‌های نمونه‌برداری غیرتصادفی (مثلاً: داده‌هایی از کرت‌های تحقیقاتی) جمع‌آوری شده و سپس بر مبنای برآورد محدوده‌ها تعمیم داده شده‌اند تا نتایجی در سطح ملی را به دست دهند نیز معتبر می‌باشد. بحث در مورد منابع خطاها ابتدا به تشریح خطاها در ارزیابی‌ها در سطح واحد نمونه می‌پردازد، و سپس پیرامون مسائل مربوط به تعمیم این نتایج به محدوده‌های بزرگ‌تر بحث می‌نماید.

5.3.6.1 انواع خطاها

نوعاً برای فهرست‌های LULUCF، داده‌های نمونه‌برداری از کرت‌های نمونه در میدان مورد نظر به دست می‌آیند. برای به دست آوردنِ برآوردهایی برای محدوده‌های بزرگتر (مثلاً: یک بخش)، اندازه‌گیری‌هایی که در سطح کرت انجام شده‌اند بایستی تعمیم داده شوند. در این مراحل، انواع مختلفی از خطاها ممکن است رُخ دهند:

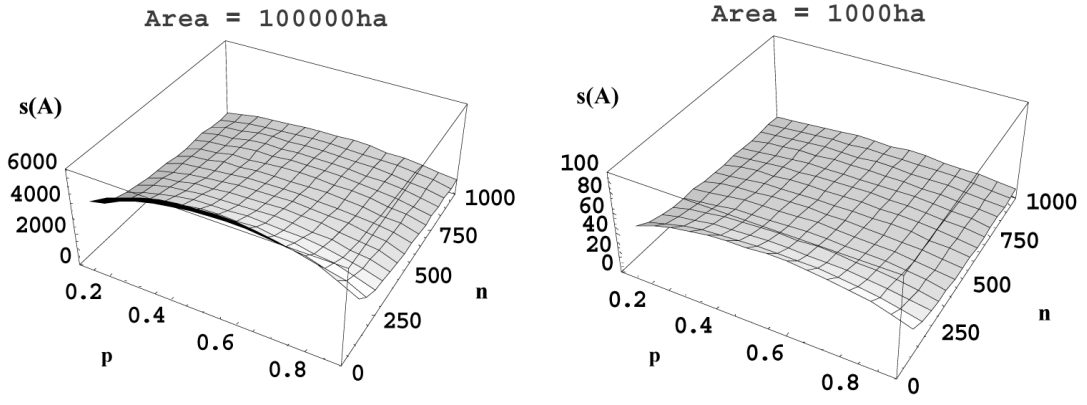
- اول اینکه، هرگاه اندازه‌گیری انجام شود، خطاهای اندازه‌گیری بواسطهٔ نقص‌های مختلف در روش یا ابزارِ اندازه‌گیری، رُخ می‌دهند. خطاهای اندازه‌گیری غالباً سیستماتیک می‌باشند، و معمولاً در جهتِ یکسانی از مقادیر واقعی انحراف دارند. سپس این خطاها در مرحلهٔ تعمیم، بزرگتر می‌شوند. همچنین خطاهای اندازه‌گیری ممکن است تصادفی باشند. در این حالت، خطایِ متوسط برابر با صفر بوده و انحراف‌های مقادیر اندازه‌گیری‌شده از مقادیر واقعی نیز می‌توانند مثبت یا منفی باشند. این نوع از خطاها به اندازهٔ خطاهای سیستماتیک خطرناک نیستند، هرچند هنگامی که اندازه‌گیری‌های اصلی در مدل‌ها برای استخراج مقادیر مورد نظر (مثلاً: حجم یک درخت) به کار می‌روند، این نوع خطاهای تصادفی نیز می‌توانند به بروز خطاهای سیستماتیک منجر شوند.
- دوم اینکه، مقادیر مورد نظر معمولاً به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند، بلکه مدل‌هایی جهت استخراج این مقادیر به کار می‌روند. به عنوان مثال، مقدار کربن در یک درخت معمولاً بدین صورت محاسبه می‌شود: ابتدا حجم درخت بر اساس مدل‌هایی که از پارامترهای درخت (مانند نوع، قطر و ارتفاع درخت) به عنوان متغیرهای ورودی استفاده می‌کنند محاسبه می‌شود، سپس مدل‌های دیگر یا فاکتورهای بسط ایستا برای تبدیل «حجم به زیست‌توده» و «زیست‌توده به کربن» مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگام به‌کارگیریِ این مدل‌ها، خطاهای مدل نیز ظاهر می‌شوند زیرا اینگونه مدل‌ها به ندرت می‌توانند مقادیر هدف را به دقت مشخص کنند. خطاهای مدل نیز می‌توانند تصادفی یا سیستماتیک باشند. اندازه‌ها بسته به مقادیر متغیرهای ورودی، تغییر می‌کنند. همانگونه که توسط **Gertner** و **Kohl** نشان داده شده است، خطاهای سیستماتیک مدل گاهی اوقات سهم زیادی در عدم‌حتمیتِ کلی دارند.
- هنگامی که اندازه‌گیری‌های در سطح یک کرت به محدوده‌های بزرگتر تعمیم داده می‌شود، بواسطهٔ اینکه شرایط در محدودهٔ بزرگتر متفاوت بوده و اندازه‌گیری‌ها فقط در نقاط نمونه انجام شده‌اند، «خطاهای نمونه‌برداری» رُخ می‌دهند. به ندرت پیش می‌آید که شرایط در کرت‌های نمونهٔ انتخابی، به طور کامل با شرایط متوسط در کل محدودهٔ مورد نظر تطابق داشته باشند. خطاهای نمونه‌برداری (با استفاده از طرح‌های نمونه‌برداری تصادفی و برآوردگرهای غیراُریب) صرفاً تصادفی می‌باشند، و تأثیر آنها را می‌توان با افزایش حجم نمونه (همانطور که در زیر دربارهٔ آن بحث شده و در شکل **5.3.4** نشان داده شده است) کاهش داد.
- اگر تعمیم بر مبنای اطلاعاتی با پوشش کامل (مثلاً: اطلاعات حاصل از حسگرهای از راه دور) باشد، و نه بر مبنای پیمایشِ نمونه‌محور، بواسطهٔ محدوده‌هایی از زمین که به طور ناصحیح دسته‌بندی شده‌اند، عدم‌حتمیتِ دیگری به نتایج افزوده می‌شود. در صورتی که یک پیمایش نمونه‌ای برای مطالعهٔ میزان خطاهای دسته‌بندی انجام شود، می‌توان این خطاها را شناسایی و تصحیح کرد. در این حالت، پیمایش‌ها بایستی بر مبنای نمونه‌برداری تصادفی باشند تا از بروز خطاهای سیستماتیک (در اثر انتخاب نمونه به صورت ذهنی) پرهیز شود.

- خطاهای ثبت و محاسبهٔ داده‌ها نیز آخرین نوع از خطاهایی هستند که ممکن است رُخ دهند. در پیمایش‌های نمونه‌محور، این خطاها منشأ فنیِ کمتری دارند اما بالقوه می‌توانند منبع مهمی برای ایجاد عدم‌حتمیت باشند. ثبت داده‌ها بایستی مستقیماً در کامپیوترهایی در محل انجام شوند یا اینکه افراد مختلف به طور مستقل به ثبت داده‌ها (از فرم‌های مربوط به محل جمع‌آوری داده) در کامپیوتر بپردازند تا از خطاهای مرحلهٔ ثبت داده‌ها جلوگیری شود. همچنین بر طبق اصول اصلیِ «تضمین کیفیت» در بخش **5.5**، محاسبات نیز باید چک شوند. ارزیابیِ تأثیرات خطاهای ثبت و محاسبه، دشوار می‌باشد. غالباً این خطاها تنها زمانی شناسایی شده و می‌توان آنها را تصحیح کرد که موجب شوند انحرافی جدی در مقادیرِ حاصل نسبت به مقادیر مورد انتظار و معقول پیش بیاید. هنگامی که این خطاها صرفاً موجب بروز انحراف‌هایی جزئی شوند، به احتمال زیاد شناسایی نیز نخواهند شد.

5.3.6.2 حجم نمونه و خطای نمونه‌برداری

رابطهٔ بین خطاهای نمونه‌برداری، واریانس جامعه و حجم نمونه، معمولاً شناخته شده است: افزایش حجم نمونه به افزایش دقت منجر می‌شود و جامعه‌های ناهمگن (یعنی جامعه‌هایی که واریانس جامعه در بین اعضای خودش زیاد است) به حجم نمونهٔ بزرگتری نیاز دارند تا بتوانند به سطح خاصی از دقت دست پیدا کنند. هنگامی که قرار است نسبت‌های محدوده‌ها برآورد شود، خطاهای نمونه‌برداری نه تنها بر حجم نمونه که به خود نسبت‌بندی نیز بستگی دارند. برای یک حجمِ نمونهٔ مفروض، هنگامی که نسبت‌های دستهٔ کاربری زمین برابر با $p = 0.5$ می‌باشد خطای نمونه‌برداری نیز بزرگتر از همیشه خواهد بود؛ و هنگامی که مقدار p به **0** یا **1** نزدیک می‌شود، این خطا کاهش پیدا می‌کند.

تأثیر نسبت‌های مختلف دستهٔ کاربری زمین (از $p = 0.1$ تا $p = 0.9$) و حجم‌های نمونه (از $n = 100$ تا $n = 1000$) بر خطای نمونه‌برداری در برآورد محدوده، برای دو اندازهٔ محدوده (**1000** هکتار و **100000** هکتار) در شکل **5.3.4** نشان داده شده است.



شکل **5.3.4**: رباطهٔ بین خطای استاندارد در برآورد محدوده یا $s(A)$، نسبت دستهٔ کاربری یا p، و حجم نمونه یا n

5.3.6.3 کمّی‌سازی خطاها در پیمایش‌های نمونه‌محور

در تئوری اصلی نمونه‌برداری، فرض می‌شود کمیت‌های مربوط به واحدهای جامعه، بدونِ خطا مشاهده و اندازه‌گیری می‌شوند. بعلاوه، متغیرهای مورد نظر (مثلاً: حذف گازهای گلخانه‌ای) نیز فرض می‌شوند که به طور مستقیم در واحدهای نمونه‌برداری ضبط شده‌اند، و بنابراین نیازی به در نظر گرفتنِ خطاهای مربوط به تبدیل مدل‌ها وجود ندارد. در این حالت، با این فرض که از برآوردگرهای آماری مناسب استفاده شده باشد، برآوردهای نمونه‌محور از مقادیر کلی (مثلاً: میزان حذف گازهای گلخانه‌ای در سطح ملی) بدون اُریب بوده و بر مبنای این داده‌ها می‌توان دقتِ مربوطه را ارزیابی نمود.

در برخی از موارد (مثلاً: نمونه‌برداری برای برآوردِ محدوده) می‌توان فرض‌های فوق را معتبر در نظر گرفت، و بنابراین «شیوهٔ مناسب» آن است که عدم‌حتمیتِ برآوردها به طور دقیق بر مبنای اصول نظریهٔ نمونه‌برداری محاسبه شوند که طرح نمونه‌برداری و برآوردگرهایِ مورد استفاده را در نظر می‌گیرند. جزئیات این محاسبات در کتاب‌های علمی پیرامون نمونه‌برداری (همانند مراجعی که در بخش **5.3.1** معرفی شدند) ارائه شده‌اند. از سوی دیگر، خطاهای مدل ممکن اسد به شیوه‌های مختلفی به برآورد کلیِ عدم‌حتمیت وارد شوند. یک حالتِ مهم زمانی است که مدل‌ها صرفاً موجب بروز خطاهای تصادفی در سطح واحدهای نمونه‌برداری منفرد می‌شوند (مثلاً اگر مدل‌های برآورد مقدار زیست‌توده بر داده‌های مربوط به درختان در سطح کرت‌ها اعمال شده باشد). در این موارد، خطاهای تصادفی مدل موجب می‌شوند که تفاوت‌های محاسبه‌شدهٔ بینِ کرت‌ها افزایش پیدا کنند، که موجب به افزایش عدم‌حتمیت در برآوردهای کلی می‌شود. در این موارد هم می‌توان از روش‌های استاندارد برای برآوردِ عدم‌حتمیت‌ها بر طبق نظریهٔ نمونه‌برداری (با دقتِ خوب و بدون نیاز به اصلاح) استفاده کرد. بنابراین، در این شرایط، «روش مناسب» آن است که از نظریهٔ استانداردِ نمونه‌برداری (و نه روش‌هایِ بخش **5.2**) برای استخراجِ برآوردِ عدم‌حتمیت‌ها استفاده شود.

هنگامی که احتمال آن وجود داشته باشد که مدل‌ها منجر به بروز خطاهای سیستماتیک (ناشناخته) شوند یا زمانی که این مدل‌ها تنها در برخی مراحل تبدیلیِ نهایی به کار گرفته شده باشند (مثلاً فاکتورهای بسطِ زیست‌توده که بر برآوردِ حجمِ کل درخت اعمال می‌شوند تا حجم زیست‌توده را محاسبه کنند)، بایستی عدم‌حتمیت‌های ناشی از آنها را در نظر گرفت. در این حالت، روش مناسب آن است که از رویکرد – **Tier 1** یا – **Tier 2** که در بخش **5.2** معرفی شدند، برای استخراج عدم‌حتمیتِ کلی استفاده شود.

در کل، «روش مناسب» آن است که از طریق مطالعه‌های پایلوت، امکانِ استفاده از مدل‌های محوری بر روی جامعهٔ هدف، مورد ارزیابی قرار گیرد. هنگامی که مدل‌ها بر روی داده‌هایی اِعمال شوند که شرایط و رویه‌های اندازه‌گیری این داده‌ها بسیار متفاوت از شرایط و رویه‌های مورد استفاده برای استخراج مدل‌ها باشد، به وضوح احتمالِ آن وجود دارد که استفاده از این مدل‌ها به بروز خطای سیستماتیک منجر شود.

خطاهای اندازه‌گیری می‌توانند به بروز خطاهای سیستماتیکِ جدی منجر شوند، خصوصاً وقتی که تغییرات بر مبنای اندازه‌گیری‌های مکرر برآورد می‌شوند و سطح خطای سیستماتیک در طول زمان تغییر می‌کند. اندازهٔ خطاهای اندازه‌گیری را تنها می‌توان از طریق اندازه‌گیری‌های دقیقِ کنترل (بر روی یک زیرنمونه از کرت‌ها) برآورد کرد،

هرچند اجرای این ارزیابی‌های کنترل در برخی موارد (مثلاً: در پیمایش‌های خاک) دشوار می‌باشد. در حالتی که گزارش‌دهی میزان گازهای گلخانه‌ای بر مبنای نمونه‌برداری باشد، «روش مناسب» آن است که ارزیابی‌های دقیقِ کنترلی بر بخشِ کوچکی از کرت‌ها انجام شود، تا اندازهٔ خطاهای اندازه‌گیری ارزیابی شود. این بخش، بسته به حجمِ نمونهٔ واقعی و هزینهٔ پیمایش کنترل، و همچنین سطح آموزش و تجربهٔ انجام‌دهندگانِ پیمایش، می‌تواند بینِ 1 تا 10 درصد از کل نمونه باشد.

برای برخی از متغیرهای می‌توان مقادیر اندازه‌گیری‌های واقعی را از طریق رویه‌های کنترلیِ بسیار دقیق به دست آورد، و در این موارد هدف بایستی آن باشد که اندازهٔ خطاهای سیستماتیک اندازه‌گیری برآورد شود. در سایر موارد، ممکن است اندازه‌گیری/ ارزیابیِ مقدار واقعی امکان‌پذیر نباشد، و در این موارد صرفاً بایستی به گزارش دادنِ تفاوت‌های بینِ انجام‌دهندگانِ پیمایش اکتفا نمود.

اگر در یک پیمایش کنترل که به دقت انجام شده است مشخص گردید که خطاهای عمده‌ای در اندازه‌گیری وجود داشته است، «روش مناسب» این است که پیش از محاسبهٔ برآورد نهایی از میزان انتشار/ حذفِ گازهای گلخانه‌ای، این خطاها تصحیح شوند.