M.A. THIRD SEMESTER

Paper-2nd

Geoinformatics And Geographic Information System (GIS)Application

BY

Dr. Sadanand Yadav

Assistant professor of Geography

Department of Geography

Harishchandra P.G. College Varanasi

फोटोग्राममिति (PHOTOGRAMMETRY)

फोटोग्राममिति का अर्थ: (Meaning of Photogrammetry):—

* छायाचित्रमिति (Photogrammetry) ग्रीक भाषा के तीन शब्दों से मिलकर बना है। पहला शब्द Photo है जिसका अर्थ 'प्रकाश', दूसरा शब्द Gramma इसका मतलब है 'वह जिसका अंकन, लेखन या चित्रण किया गया हो', तथा तीसरा शब्द Metros है जिसका अर्थ है 'मापन करना'। अतः छायाचित्रमिति का शाब्दिक अर्थ "प्रकाश के माध्यम से बने चित्र (छायाचित्र) से मापन करना" है। अर्थात् सामान्य भाषा में— "छायाचित्रों विशेषकर हवाई छायाचित्रों से मानचित्र निर्माण की प्रक्रिया को छायाचित्रमिति कहते हैं।"

* छायाचित्रमिति (Photogrammetry) सुदूर संवेदन प्रणाली द्वारा पृथ्वी एवं उसके पर्यावरण के भौतिक एवं मानवीय तत्वों के बारे में विश्वसनीय सूचना प्राप्ति हेतु अभिलेखन, मापन, विश्लेषण एवं प्रदर्शन का एक विज्ञान, तकनीक एवं कला है।"

* "फोटोग्राममिति एक ऐसा विज्ञान या कला है जो वायुफोटोचित्रों के माध्यम से धरातल की विश्वसनीय सूचनाओं को विभिन्न रूपों में प्राप्त कर उनकी व्याख्या करता है।"

* नवीनतम परिभाषा — "फोटोग्राममिति एक ऐसी कला, विज्ञान तथा तकनीक है जो अंकन (Recording), मापन (Measuring), निर्वचन (Interpretation) तथा विद्युत-चुम्बकीय विकिरण ऊर्जा व अन्य घटनाओं के प्रतिरूपों द्वारा भौतिक लक्ष्यों व पर्यावरण के बारे में विश्वसनीय सूचनाओं को प्रदान करती है।

फोटोग्राममिति का विकास (Development of photogrammetry)

* छायाचित्रमिति के इतिहास की शुरुआत 1851 ई० से शुरू हुई थी जब लुसिडाल्ट (Laussedat) नामक फ्रेंच विज्ञान ने सर्वप्रथम हवाई सर्वेक्षण का मानचित्र निर्माण हेतु शुभारम्भ किया तथा सन् 1871 ई० के युद्ध में फ्रांस ने सैनिक उद्देश्यों की पूर्ति एवं शत्रु के ठिकानों तथा उनके अस्त्र-शस्त्र भण्डार, आवागमन के साधनों का पता लगाने के लिए हवाई छायाचित्रों की मदद ली थी।

* लुसिडाल्ट ने सन्दर्श प्रक्षेप (Perspective Projection) के रूप में फोटोग्राफ के गणितीय विश्लेषण को विकसित किया।

* फोटोग्राममिति (छायाचित्रमिति) शब्द का सर्वप्रथम उपयोग जर्मनी के ए० मेडेनटावर (A. Meydentaver) ने वर्ष 1893 में किया। सन् 1831 में हाक (Hawks) ने अतिध्रुवीय सिद्धान्त (Epipolar Theory) का प्रतिपादन किया एवं एक संवेदना मापक यंत्र (Perspectography) बनाया जो दिए गए संदर्शों (Perspecting) के आधार पर एक तीसरा संदर्श बना सकता था।
* संदर्श (Perspecting) के सम्बंध में एस० फिन्स्टर वाल्डेर (S. Finster Walder) ने सन् 1889 में फोटोग्राममिति पर पहली पुस्तक (The Fundamental Geometry of Photogrammetry) का प्रकाशन किया।

* फोटोग्राफी का सही रूप से प्रयोग 1892 में एफ० स्टोल्ज (F. Stolze) द्वारा चल चिन्हों के सिद्धान्त की खोज एवं सी० पुलफ्रीच (C. Pulfrich) के चलचिन्हों द्वारा परिमापन की विधि की खोज के बाद ही प्रारम्भ हुआ। पुलफ्रीच द्वारा 1901 में तुलनात्मक त्रिविमदर्शी या स्टीरियो कम्पेरेटर (Stereo Comparator) यंत्र का विकास किया।

* हवाई फोटोग्राममिति का आधुनिक रूप 20वीं सदी के प्रारम्भ में वायुयान के विकास के बाद आया। 1912 में ब्रिटेन के एच० चेपमेन (H. Chapman) द्वारा हवाई फोटोग्राफ का प्रकाशन किया गया साथ ही कैप्टन तारडीवो (Tardivo) ने लीबिया के बेंगाजी (Bengazi) शहर का हवाई फोटोग्राफ द्वारा तैयार किया गया फोटोमोजाइक प्रस्तुत किया गया।
* 1910 में फोटोग्राफी की अंतर्राष्ट्रीय सोसायटी (International Society of photogrammetry-ISP) की स्थापना आस्ट्रिया में एडवर्ड डोलेझाल (Eduard Dolezal) की अध्यक्षता में की गई।

* द्वितीय विश्व युद्ध के बाद से वायुफोटोग्राफी सामरिक सूचनाओं को एकत्र करने का एक स्रोत बन गयी। द्वितीय विश्व युद्ध के अंतिम चरण में जर्मनी ने लगभग 4000 हवाई फोटोचित्र प्रतिदिन तैयार किया। अमेरिकी सेना ने अंतिम चार महिनों में लगभग 10 लाख फोटोग्राफ लिये थे।

* रेडियल लाइन (Radial line) विधि को सर्वप्रथम सिमपलंग (1906) तथा फिन्सर वाल्टर (1921) में तैयार किया गया था।
* 1923 में अमेरिका के जे० डब्लू० बगले ने एवं 1926 में ब्रिटेन के एम० होटिन द्वारा आरुण्डल (Arundal) के समीप किसी क्षेत्र का मानचित्रण अरीय विधि (Radial Method) द्वारा किया गया था। इसलिए इस विधि को आरुण्डल विधि भी कहते हैं।

* 1933 में जाइस कम्पनी ने मल्टीप्लेक्स (Multiplex) यंत्र का निर्माण किया जिसके द्वारा फोटोग्रामेट्री के कार्य को आगे बढ़ाया गया। फोटोग्रामिति के इतिहास में सबसे बड़ी उपलब्धि वॉन ग्रुबर की थी जिन्होंने 1935 में हवाई त्रिकोणीयन (Aerial Traingulation) विवरण को प्रकाशित किया।

* जाइस (Zeiss), विल्ड (wild) तथा कई अन्य प्रमुख कम्पनियाँ हैं जो अन्तर्राष्ट्रीय बाजार में फोटोग्रामिति तथा सुदूर संवेदन के उच्च कोटि के यंत्रों को उपलब्ध करा रहे हैं।

* 20वीं सदी के उत्तरार्द्ध में उपग्रह प्रतिबिम्बों, वृहद मापक युक्त हायाचित्रों, स्वचालित दृश्य स्कैनिंग, उच्च कोटि के रंगीन हायाचित्र, दृश्य वर्णक्रम, वर्णक्रमों का हायांकन, कम्प्यूटर का प्रयोग आदि ने हायाचित्र मिति की गुणवत्ता बढ़ा दी है।

* भारत में यह फोटोग्रामिति का कार्य रक्षा मन्त्रालय की देख-रेख में होता है। वर्तमान में स्थलाकृतिक सर्वेक्षण, मृदा-अपरदन, वन उद्योग, भूविज्ञान, जल विज्ञान, पुरातत्व विज्ञान, यातायात नियंत्रण तथा खोज कार्यों में हवाई हायाचित्रों में माँग निरंतर बढ़ रही है।

* फोटोचित्रों की ज्यामिति (Geometry of the Photographs):—

प्रक्षेप (Projection):— गोलाकार पृथ्वी (Spherical Earth) के किसी भूभाग को समतल सतह पर ज्यामितीय विधियों के द्वारा प्रदर्शित करने की विधि को प्रक्षेप कहते हैं।

* वृहत मापनी पर बने मानचित्र, यथाकृतिक (orthographic Projection) प्रक्षेप पर निर्मित होते हैं जबकि प्रायः वायु फोटोचित्र केन्द्रीय प्रक्षेप (Central Projection) पर निर्मित होते हैं।

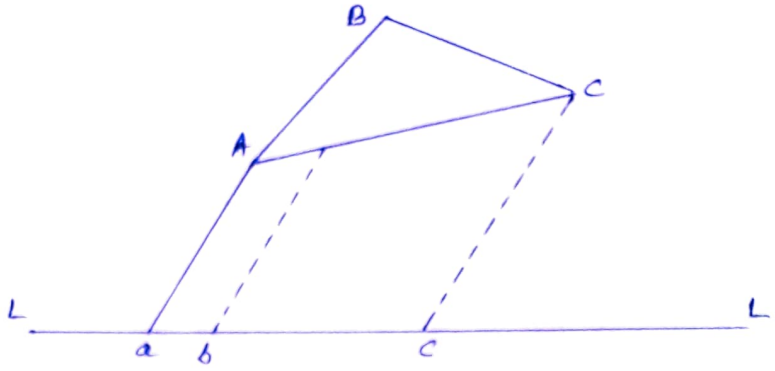
* यथाकृतिक प्रक्षेप (orthographic Projection) में किसी भी भाग की वही आकृति आती है जो उस क्षेत्र की ग्लोब पर है परन्तु केन्द्रीय प्रक्षेप में ऐसा प्रत्येक भाग में सम्भव नहीं है।

* वायु फोटोबिम्ब निर्वचन में प्रयोग की जाने वाली ज्यामितीय विधियों के आधार पर वायु फोटोबिम्ब के प्रक्षेपों के निम्न तीन प्रकार हैं:—
  1) समान्तरण प्रक्षेप (Parallel Projection)
  2) लाक्षणिक प्रक्षेप (orthographic Projection)
  3) केन्द्रिम प्रक्षेप (Central Projection)

प्रक्षेपों के प्रकार (Types of Projection) :—

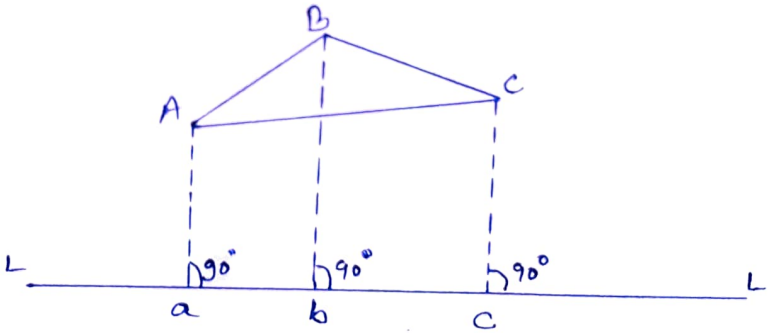
(1) समानान्तर प्रक्षेप (Parallel Projection) :—

इस प्रक्षेप में प्रक्षेपित किरणें समानान्तर होती हैं। चित्र में ABC त्रिभुज को LL रेखा पर प्रक्षेपित किया गया है जिसका प्रक्षेपण त्रिभुज abc है। चित्र से स्पष्ट है कि प्रक्षेपित किरणा Aa, Bb, Cc एक दूसरे के समानान्तर हैं।



(2) लम्बकोणीय प्रक्षेप (Orthographic Projection) :—

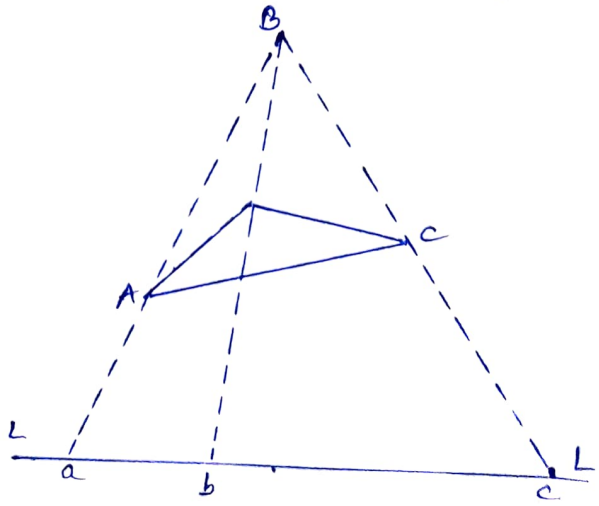
त्रिभुज ABC की किरणों को LL रेखा पर प्रक्षेपित किया गया है। त्रिभुज की सभी प्रक्षेपित किरणें LL रेखा पर समकोण बनाती हैं। यह समानान्तर प्रक्षेप की एक दशा है। एक निश्चित मापक पर बने मानचित्र लम्बकोणीय प्रक्षेप पर होते हैं। इस प्रक्षेप का सबसे बड़ा लाभ यह है कि इसमें दूरियाँ, कोण तथा क्षेत्र सभी किसी लक्ष्य के उच्चावचन अंतरों से स्वतंत्र होते हैं।



(3) केन्द्रीय प्रक्षेप (Central Projection) :—

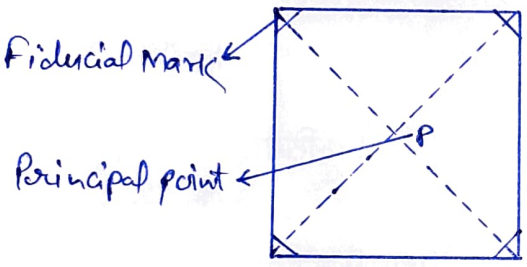
इस प्रक्षेप में त्रिभुज ABC की सभी प्रक्षेपित किरणें Aa, Bb, Cc एक बिन्दु O से गुजरती हैं जिसको प्रक्षेप केन्द्र या संदर्श केन्द्र (Perspective Centre) कहते हैं। लेन्स प्रणाली (O बिन्दु) द्वारा प्रक्षेपित बिम्ब को केन्द्रीय प्रक्षेप के रूप में पेश किया गया है संदर्श केन्द्र एवं लक्ष्य (Object) के मध्य का तल (Plane) पोजिटिव तल है। लेंस को संदर्श केन्द्र के रूप में लिया गया है। दो संदर्श केन्द्र होते हैं—

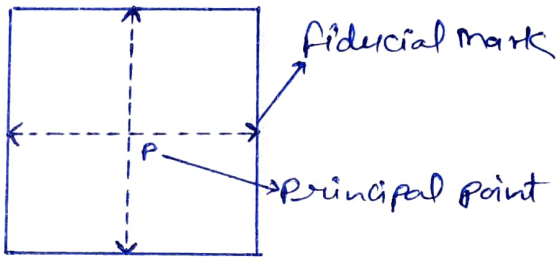
① बाह्य संदर्श केन्द्र
② आन्तरिक संदर्श केन्द्र



प्रधान दूरी Principal Distance):— आंतरिक संदर्श केन्द्र (Internal Perspective Centre) से फोटो तल की लम्बवत दूरी को प्रधान दूरी कहते हैं। फोटोतल पर लम्बवत दूरी का आधार प्रधान बिन्दु (Principal Point) कहलाता है।

फिडूसियल निशान (Fiducial Mark):- उच्च श्रेणी के समायोजित कैमरे द्वारा खींचे गए फोटोचित्रों के चारों किनारों के मध्य/विकर्ण रूप में चारों किनारों पर 'V' आकार के निशान लगे होते हैं जिन्हें फिडूसियल निशान (Fiducial Marks) कहते हैं। इनको सूचक चिन्ह भी कहते हैं। इनकी संख्या 4 होती है, ये कैमरे लेन्स के साथ स्थाई रूप से कसे रहते हैं जो निगेटिव पर बिम्ब बनाते हैं। ये बिम्ब फोटोग्राफ पर अंकित हो जाते हैं। इनके द्वारा प्रधान बिन्दु का निर्धारण किया जाता है।

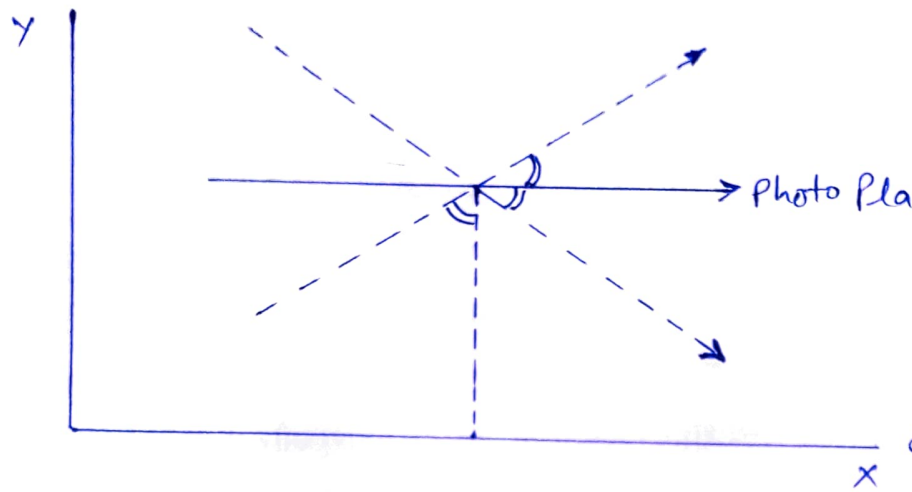




प्रधान बिन्दु (Principal Point):— फोटोचित्र पर चारों फिडूसियल निशानों के प्रतिच्छेदन (Intersection) बिन्दु को प्रधान बिन्दु कहते हैं। इनके द्वारा फोटोचित्र के अतिरिक्त दिगविन्यास (Orientation) आवश्यकता की पूर्ति की जाती है।

साहुल बिन्दु (Plumb Point):- संदर्श केन्द्र से सीधे नीचे की ओर खड़ी ऊर्ध्वाधर रेखा जब फोटो तल पर मिलती है तो इस बिन्दु को साहुल बिन्दु कहते हैं।

टिल्ट झुकाव (Tilt):— टिल्ट का अर्थ होता है झुकाव। कैमरे के ऑप्टिकल अक्ष (optical Axis) तथा साहुल रेखा (Plumb line) के मध्य जो कोण बनता है उसे झुकाव अथवा झुकाव कोण कहते हैं। अर्थात् धरातल तल (Ground Plane) तथा फोटो तल (Photo Plane) के मध्य का कोण झुकाव कोण है। खड़े रूप में कैमरा अक्ष के विचलन कोण को झुकाव कोण कहते हैं।

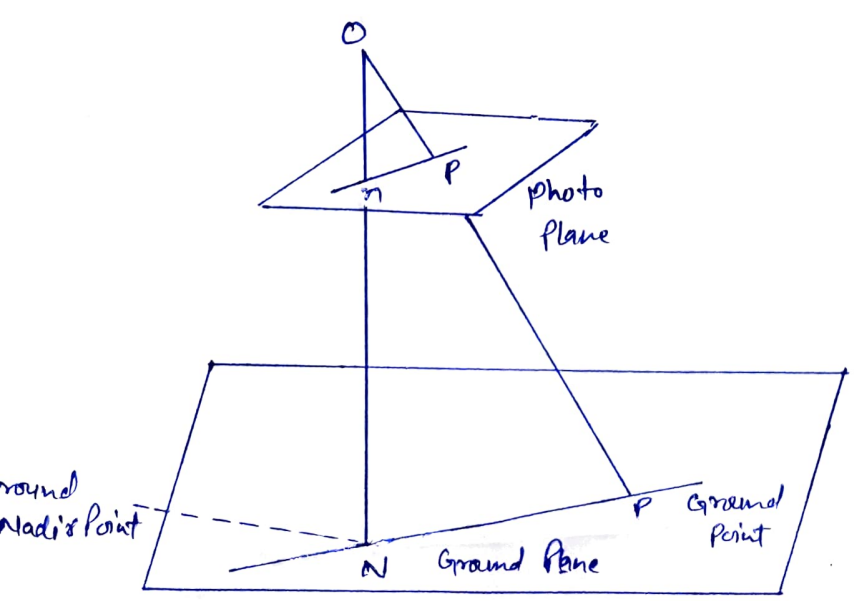


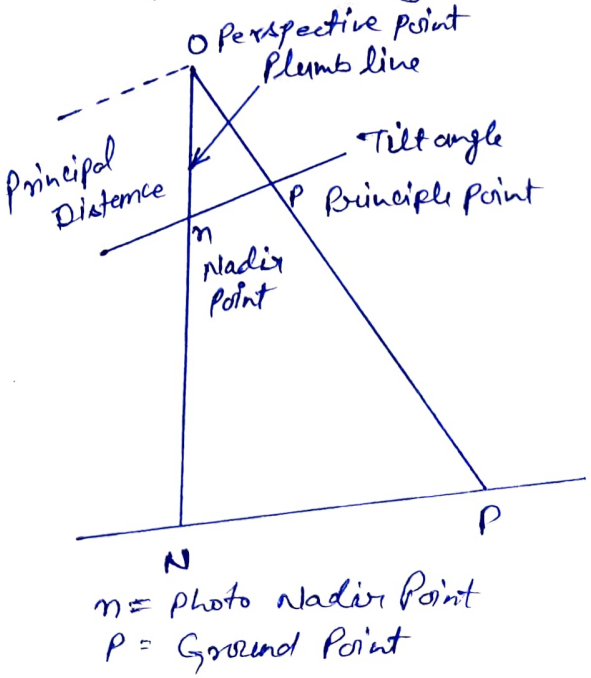
झुकाव के दो प्रमुख घटक (Components) हैं। पहला उड़ान दिशा x अक्ष की ओर तथा दूसरा उड़ान दिशा के खड़े रूप में y अक्ष की ओर। दूसरे शब्दों में कह सकते हैं कि झुकाव को दो दिशाओं की ओर निर्धारित किया जाता है।

(i) पहला घटक 'y' अक्ष के बारे में है। जब झुकाव उड़ान दिशा (x अक्ष) की ओर होता है तो इसे अनुदैर्ध्य (Longitudind) या 'x' झुकाव या अग्र (Fore) या प्रवण (Apt) या टिप (Tip) झुकाव कहा जाता है। इसे φ (फाई Phi) के द्वारा दर्शाते हैं।

(ii) दूसरा घटक 'x' अक्ष के बारे में है। जब झुकाव 'y' दिशा की ओर खड़े रूप में होता है तो उसे पार्श्विक झुकाव (Lateral Tilt) या 'y' झुकाव या साधारण झुकाव कहा जाता है। इसे ω (ओमेगा Omega) के द्वारा दर्शाया जाता है।

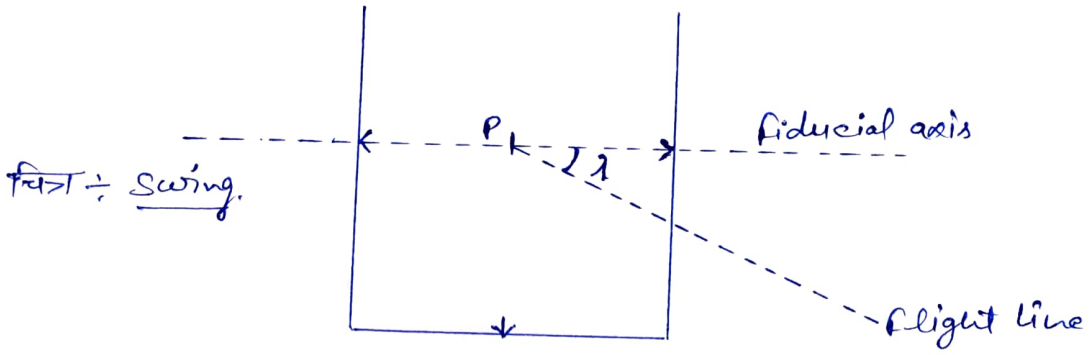
नादिर बिन्दु (Nadir Point):— चित्र में संदर्श बिन्दु (O) से एक खड़ी रेखा ON फोटो तल पर बिन्दु 'n' पर मिलती है जिसे फोटो अधोबिन्दु (Nadir Point) कहते हैं तथा भूमि तल पर बिन्दु 'N' भूमि अधोबिन्दु (Nadir Point) कहलाता है।





दोलन (Swing):- दोलन फोटोतल पर मापा जाने वाला एक कोण है जो कि उड़ान दिशा की ओर फिडुशियल अक्ष तथा वास्तविक उड़ान रेखा के मध्य में बनता है। इस कोण को κ (कापा Kappa) द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है।

चित्र ÷ Swing.



समकेन्द्र (Iso center):- झुकाव के कोण का अर्द्ध विभाजन फोटोतल के समकेन्द्र पर प्रतिच्छेदित करता है जिसे फोटो समकेन्द्र (Photo Isocenter) कहते हैं। जब यह अर्द्ध विभाजक भूमि तल पर मिलता है तो इसे भूमि समकेन्द्र (Ground Isocenter) कहते हैं। इन बिन्दुओं की सबसे बड़ी विशेषता यह है कि यदि धरातल समतल होता है तो इन बिन्दुओं पर कोण शुद्ध होते हैं।

फोटोग्राममिति की संकल्पना (Concept of Photogrammetry):-

* वायु फोटोग्राफ केन्द्रीय अनुदृश्य या सन्दर्श Central Perspective) होते हैं। पूर्ण रूप से किसी समतल भूभाग की निरपेक्ष ऊर्ध्वाधर फोटोग्राफी की उपयुक्त दशा में उस भाग के वायुफोटोग्राफ, ज्यामितीय रूप से उस क्षेत्र के मानचित्रों के समान होते हैं परन्तु इस तरह की उपयुक्त दशाओं का मिलना संभव नहीं होता है। इसलिए फोटोग्राफ के झुकाव (Tilt) तथा धरातलीय उच्चावचन के कारण वायु फोटोग्राफ उस क्षेत्र के मानचित्रों की तुलना में ज्यामितीय रूप से भिन्न होते हैं।

चित्र में - ABCD भूमि पर एक दृश्य (लक्ष्य) है जिसका वायुफोटोचित्र खींचा गया। AA', BB', CC', तथा DD' सभी सीधी रेखाएं एक बिन्दु पर मिलकर गुजर रही हैं। A इसकी धरातलीय स्थिति है जबकि A' बिम्ब तल (Image Plane) पर इसका बिम्ब है। जिसे Negative तल भी कहते हैं। इस प्रकार भूतल (A) से बिम्ब तल (A') को मिलाने वाली रेखाओं को सन्दर्श किरण (Perspective Rays) कहते हैं तथा जो सन्दर्श केन्द्र (Perspective Center) 'S' से होकर गुजरती है।

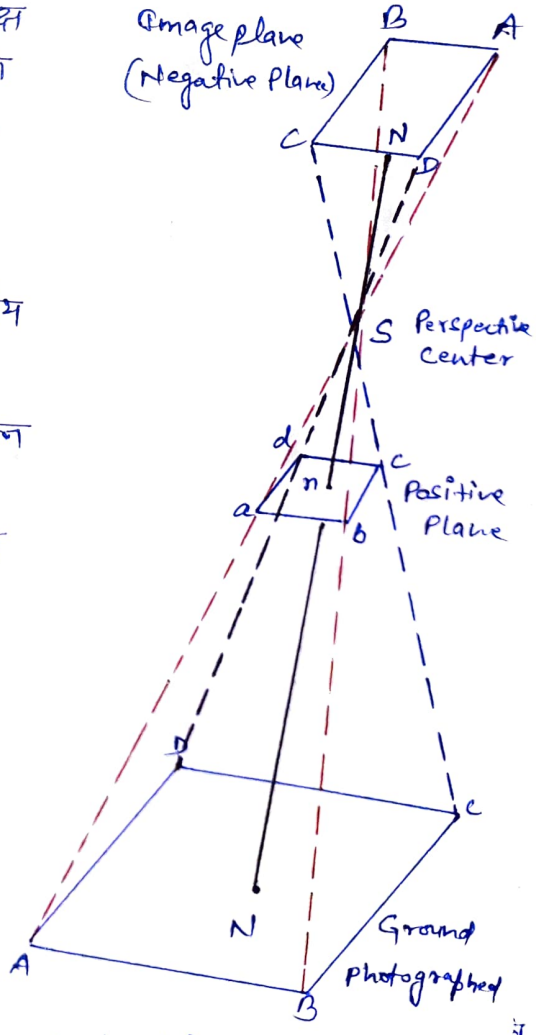


fig. = Central Perspective photograph

सन्दर्श केन्द्र तथा लक्ष्य (object) के मध्य जो तल है उसे पोजिटिव (Positive Plane) कहते हैं। यह तल किसी ज्यामितीय परिवर्तनों के लिए उत्तरदायी नहीं होता है। इसमें ABCD बिन्दु उसी रूप (a, b, c, d) में पोजिटिव तल पर बनते हैं।

वायु फोटोचित्रों का मापक (Scale of Air Photographs)

* फोटोग्राफ की दूरी तथा भूमि की दूरी के पारस्परिक सम्बन्ध को मापक कहते हैं।

* "वायु फोटोचित्रों में किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य की दूरी तथा उन्हीं दो बिन्दुओं की भूमि पर वास्तविक दूरी के अनुपातिक सम्बन्ध को फोटो मापक कहते हैं।" फोटो मानचित्रों के मापक की गणना निम्न तरह से की जा सकती है-

(1) साधारण कथन विधि (Simple Statement Method) -

साधारण कथन विधि में शाब्दिक विवेचन के द्वारा किसी फोटोग्राफ की मापनी बतलाई जाती है जैसे कि 1 सेमी = 1 किमी० अथवा 1 इंच = 1 मील इत्यादि।

(2) निरूपक भिन्न विधि (Representative Fraction Method) -

फोटोग्राफ तथा धरातल पर मापी गई दूरियों के अनुपात को प्रदर्शित करने वाले भिन्न को निरूपक या प्रदर्शक भिन्न (R.F.) कहते हैं। इस भिन्न का अंश (Numerator) व हर (Denominator) किसी माप प्रणाली की समान इकाइयों में क्रमशः मानचित्र व धरातल पर मापी गई दूरी प्रकट करता है। इस भिन्न में अंश का मान सदैव 1 होता है।
यदि किसी फोटोग्राफ का निरूपक भिन्न 1/50,000 है तो इसका अर्थ है कि फोटोग्राफ व धरातल की दूरियों में 1 तथा 50,000 का अनुपात है। इसे अर्थात् फोटोग्राफ में जो दूरी 1 इकाई से दिखाई गयी है वही दूरी धरातल पर 50,000 इकाई के बराबर है अतः.

$$\text{निरूपक भिन्न (R.F.)} = \frac{\text{फोटोग्राफ पर मापी गई दूरी}}{\text{धरातल की वास्तविक दूरी}} \text{ या } \frac{1}{50,000}$$

मापक निर्धारित करने की विधियाँ (Methods of Scale Determination).

(1) फोटो तथा धरातल के सम्बंध स्थापन द्वारा - (By Establishing the Relation of Photo to Ground.)

फोटोचित्र के किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य की दूरी यदि भूमि पर ज्ञात हो तो किसी भी अर्ध्वाधर वायु फोटो चित्र का मापक ज्ञात किया जा सकता है। अर्थात् अगर धरातल पर किन्हीं दो स्थानों के मध्य की दूरी Dg है तथा उन्हीं दो स्थानों के मध्य की दूरी फोटोचित्र पर Dp है तो उस फोटोचित्र का मापक Dg/Dp के आनुपातिक सम्बंध ज्ञात कर सकते हैं।

जैसे- वायु फोटोचित्र किन्हीं दो स्थानों के मध्य मापी गई दूरी (D_p)= 2 cm है तथा उन्हीं दो स्थानों की धरातल पर वास्तविक दूरी (D_g) है 1 Km है तो फोटो मापक (S_p) ज्ञात करें?

$$Sp = Dp : Dg$$
$$SP = 2cm : 1 Km.$$
$$SP = 2 Cm : 1 Km \times 10,0000$$
$$SP = 1 : 100000/2$$
$$SP = 1 : 50000$$

One unit on photograph represent 50,000 Units on the ground.

② फोटो तथा धरातल के सम्बन्ध मानचित्र की सहायता से स्थापित करना (By Establishing the Relation of photo to Ground with the help of Map)

* फोटोग्राफ में किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य की दूरी तथा मानचित्र पर उन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य की दूरी को मापा जाता है। इस क्षितिज दूरी को आनुपातिक आकार में रखा जाता है। मानचित्र के प्रदर्शक भिन्न (R.F.) तथा फोटो के प्रदर्शक भिन्न के प्रतिफल के द्वारा फोटो प्रदर्शक भिन्न निकाली जाती है।

जैसे- यदि किन्हीं दो बिन्दुओं की भूमि पर दूरी 'g' मानचित्र पर 'm' तथा फोटो पर 'p' है तो मानचित्र की प्रदर्शक भिन्न m/g तथा फोटो की प्रदर्शक भिन्न p/g होगी यदि फोटो प्रदर्शक भिन्न को मानचित्र के प्रदर्शक भिन्न से भाग दे दिया जाये तो इनके प्रतिफल (p/m) को मानचित्र के प्रदर्शक भिन्न से गुणा कर फोटो की प्रदर्शक भिन्न ज्ञात की जाती है।

$$\frac{\text{फोटो की प्रदर्शक भिन्न}}{\text{मानचित्र का प्रदर्शक भिन्न}} \quad \frac{p/g}{m/g} = \frac{p}{m}$$

इसलिए फोटो का प्रदर्शक भिन्न $= \frac{p}{m} \times$ मानचित्र का प्रदर्शक भिन्न $\frac{m}{g}$

Ex. मानचित्र पर किन्हीं दो बिन्दुओं के मध्य की दूरी 2 cm है तथा उन्हीं दो बिन्दुओं की फोटोचित्र पर दूरी 10cm है तो वायु फोटोचित्र का मापक ज्ञात करें जबकि मानचित्र का मापक 1:50,000 है।

Sol:
$$Sp = 10 cm : 2cm \times 50000$$
$$= 10 Cm : 100000 Cm$$
$$= 1 Cm : 100000/10$$
$$= 1 : 10000$$

One Unit represents 10,000 units.

(3) कैमरे की फोकल दूरी तथा उड़ान ऊँचाई के मध्य सम्बंध निर्धारण द्वारा (Establishing the Relation between focal Length of the camera and the Flying Altitude) :-

* यदि सम्बन्धित क्षेत्र का मानचित्र उपलब्ध न हो अथवा मानचित्र एवं हवाई छायाचित्र में उपयुक्त बिन्दु ज्ञात नहीं किया जा सके तो कैमरा लेंस की फोकस दूरी तथा वायुयान की उड़ान की धरातल से ऊँचाई के आधार पर हवाई छायाचित्र की अनुमानित मापनी की गणना निम्न सूत्र से ज्ञात की जा सकती है -

$$\text{छायाचित्र की मापनी या } \frac{F}{H} = \frac{\text{लेंस की फोकस दूरी}}{\text{धरातल से वायुयान की ऊँचाई}}$$

* लेंस की फोकस दूरी एवं वायुयान की धरातल से ऊँचाई दोनों एक इकाई में लिखा जाता है। हवाई छायाचित्रों में समुद्रतल से ऊँचाई एवं फोकस दूरी दोनों ही छायाचित्रों पर उनके बगल अंकित होते हैं। इसलिए धरातल से वायुयान की ऊँचाई ज्ञात करने के लिए धरातल की समुद्र तल से औसत ऊँचाई को घटाकर हवाई जहाज की धरातल से ऊँचाई ज्ञात की जाती है। इस विधि द्वारा समतल भूभाग एवं विषम भू-भाग का मापनी निर्धारण अलग-अलग विधि द्वारा होता है।

(a) समतल भूभाग (Flat Terrain) का छायाचित्र की मापनी :-

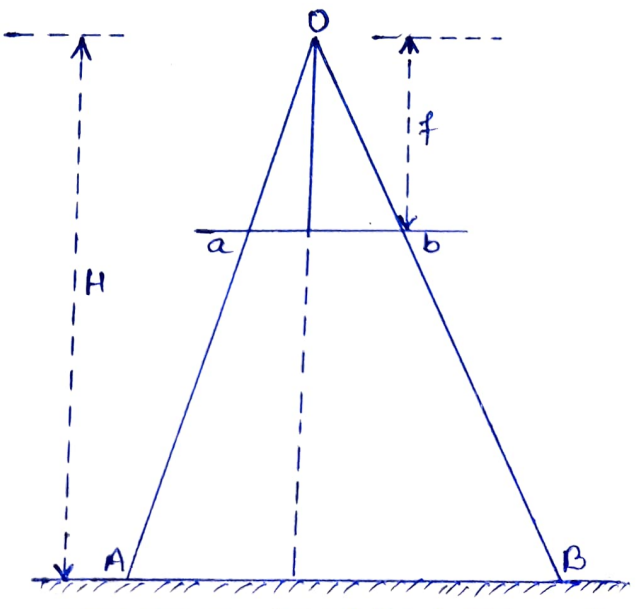
* धरातल की दूरी को छायाचित्र पर ab से निरूपित किया गया है इस प्रकार मापनी की गणना निरूपक भिन्न से की जाती है। जैसे - मान लिया जाए कि लेन्स की फोकस दूरी 150 मिमी० है तथा वायुयान की समुद्र धरातल से ऊँचाई 9000 मीटर है जो छायाचित्र पर अंकित होता है। क्षेत्र की औसत ऊँचाई समुद्र सतह से 3000 मी० है तो वायुयान का सतह से ऊँचाई (9000 - 3000 = 6000 मी० होगा)

$$\text{छाया चित्र का मापक} = \frac{150 \text{ मिमी. } (F)}{6000 \text{ मी. } (H)}$$

समान इकाइयों में लाने के लिए ऊँचाई को मी० से सेमी० में लाने हेतु 1000 से गुणा करने पर -

$$\frac{150}{6000 \times 1000} = \frac{1}{40,000}$$

$\Rightarrow$ 1 : 40,000



समतल भूभाग (Flat Terrain)

(b) विषम भूभाग के छाया चित्र (Scale of Aerial Photograph of Uneven Terrain)

* यदि सम्बंधित भूभाग में उच्चावचन विषमतायें हैं तो ऐसे क्षेत्र के ऊर्ध्वाधर फोटोचित्रों की मापनी नहीं होती है। ऐसी दशा में मापनी का निर्धारण निम्न रूप में किया जाता है-

यदि फोटो चित्र पर ऊँचाई का मान 6000 मी० अंकित है तथा धरातल की समुद्र तल से औसत ऊँचाई 1000 मीटर है तो वायुयान की धरातल से ऊँचाई 6000 − 1000 = 5000 मीटर होगी। अतः वायु फोटोचित्र की औसत मापनी इस प्रकार होगी -

$$\frac{F\text{ (Focal Length)}}{H_m\text{ (Average Height)}} = \frac{20}{5000 \times 100} = \frac{1}{25000}$$

या 1 cm = 250 मीटर

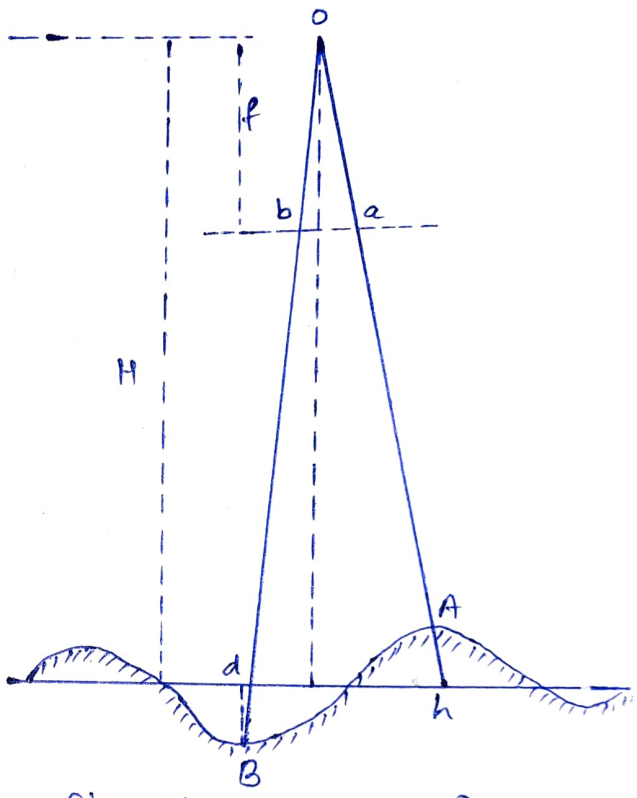


Fig - Uneven Terrain

* यदि भूभाग उच्चावच लिए हुए है तो फोटोचित्र का मापक समान नहीं रहता है। ऐसी दशा में पूरे फोटोग्राफ का एक औसत मापनी निर्धारित की जाती है अथवा प्रत्येक उच्चावचन भाग की अलग-अलग मापनी निर्धारित की जाती है।

* चित्र में 'A' बिन्दु औसत धरातल से ऊपर है इसकी मापनी निम्न होगी -

$$\text{Scale of 'A' point} = \frac{F}{H_m - h}$$

इसी प्रकार औसत धरातल से नीचे स्थित 'B' बिन्दु पर फोटोचित्र का मापक निम्न होगा -

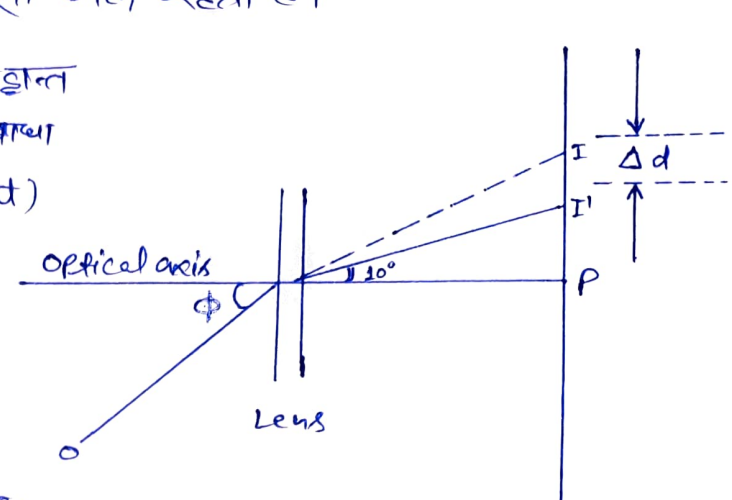
$$\text{Scale of 'B' point} = \frac{F}{H_m + h}$$

* वायु फोटोचित्रों का मापक किसी भूभाग के उच्चावचन अंतर के कारण असमान रूप से परिवर्तित होता है परन्तु निरंतर परिवर्तन, कैमरा अक्ष (Axis) के झुकाव के कारण होता है।

बिम्ब विस्थापन (Image Displacement) :-

* किसी मापक पर बने क्षेत्रीय मानचित्र धरातल के लक्षणों एवं विकरणों की निश्चित क्षितिज अवस्थिति को दर्शाते हैं परन्तु यह स्थिति वायु फोटोचित्रों में बिम्ब विस्थापन के कारण वैसी नहीं रहती है।

* वायु फोटोचित्रों में ज्यामितीय सिद्धान्त (Principle of Geometry) की यह बाधा (Disturbance) विस्थापन (Displacement) कहलाती है, यहाँ विस्थापन के तीन प्रमुख स्रोत हैं जो ऑप्टिकल (optical) या लेन्स विस्थापन (Lens Distortion) उच्चावच विभिन्नता (Relief Variation) तथा कैमरे अक्ष के झुकाव (Tilt of the Camera Axis) के कारण होती है।



(a) लेंस विस्थापन (Lens Distortion) – ऊपर चित्र में लेंस विस्थापन को समझाया गया है। यहाँ पर कैमरे के लेंस के कारण विस्थापन की स्थिति उत्पन्न होती है लक्ष्य बिन्दु O बिम्ब तल के I' पर अंकित होता है जबकि इसकी सही स्थिति I' न होकर I होनी चाहिए। इस दिशा में I' तथा I के मध्य Δd बिम्ब विस्थापन है। आधुनिक वायु कैमरों के लेंस में इस प्रकार का विस्थापन नगण्य के बराबर होता है, यदि लेंस विस्थापित होता है तो उसे दूर किया जा सकता है।

(b) उच्चावचन विस्थापन (Relief Distortion) –

धरातलीय विशेषताएँ जिसे उच्चावचन कहते हैं वायुफोटो चित्र में सबसे अधिक विस्थापन को दर्शाते हैं। उच्चावचन के कारण विस्थापन को चित्र के माध्यम से स्पष्ट किया गया है।

बिन्दु O कैमरा स्टेशन है। ND एक समतल भूभाग है जिसमें बिन्दु B पर AB एक चिमनी या टावर है अर्थात् फोटो चित्र के पोजिटिव तल पर B बिन्दु की स्थिति है जो कि AB टावर की सही टोपोग्राफिक स्थिति है। टावर का सिरा A फोटोतल पर 'a' पर विस्थापित होता है।

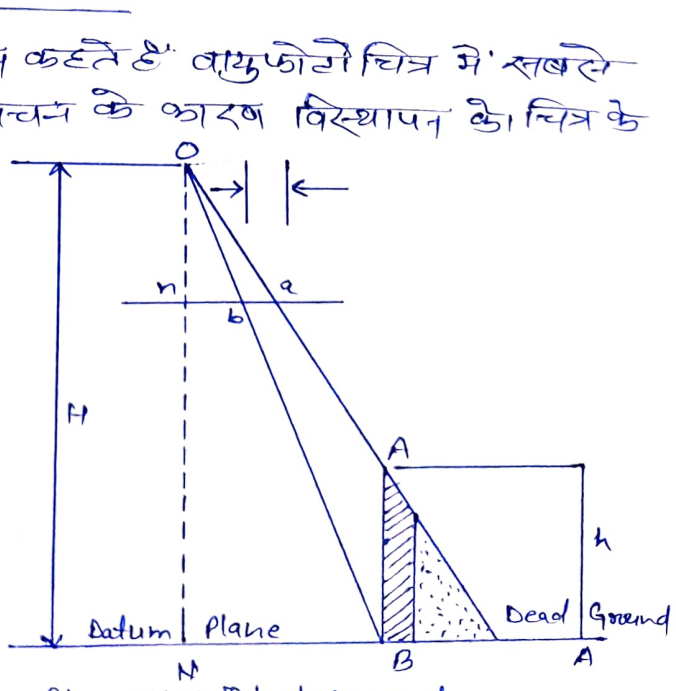


Fig = Tilt Displacement.

इस प्रकार A बिम्ब अपने सही ऐलीमेट्रिक स्थिति 'b' से विस्थापित हो गया है। बिन्दु b से बिन्दु a पर यह खिसकाव (Shift) जिसे 'ba' दूरी से प्रदर्शित किया गया है उच्चावच विस्थापन (Relief Displacement) कहलाता है

* जैसे - जैसे किसी लक्ष्य बिन्दु की सामान्य तल से ऊँचाई बढ़ती जायेगी वैसे - वैसे फोटोतल पर ab के बीच की दूरी बढ़ती जाती है जो कि विस्थापन की मात्रा को बढ़ाता है।

(c) कैमरा का झुकाव विस्थापन (Camera Tilt Displacement):—

(i) समतल भू-भाग (Flat Terrain):—

* चित्र में बिन्दु O सदृश केन्द्र (Perspective Centre) है तथा क्रमशः ऊर्ध्वाधर व झुकाव Tilted) तल (Positive Plane) हैं; दोनों प्रधान तल एक दूसरे को i बिन्दु पर काटते हैं। धरातल पर स्थित बिन्दु A जो कि I तल पर a' तथा II तल पर a में अंकित है। इस प्रकार I तथा II तल पर विस्थापन 'a'a' तथा 'a a के अंतर के बराबर है।

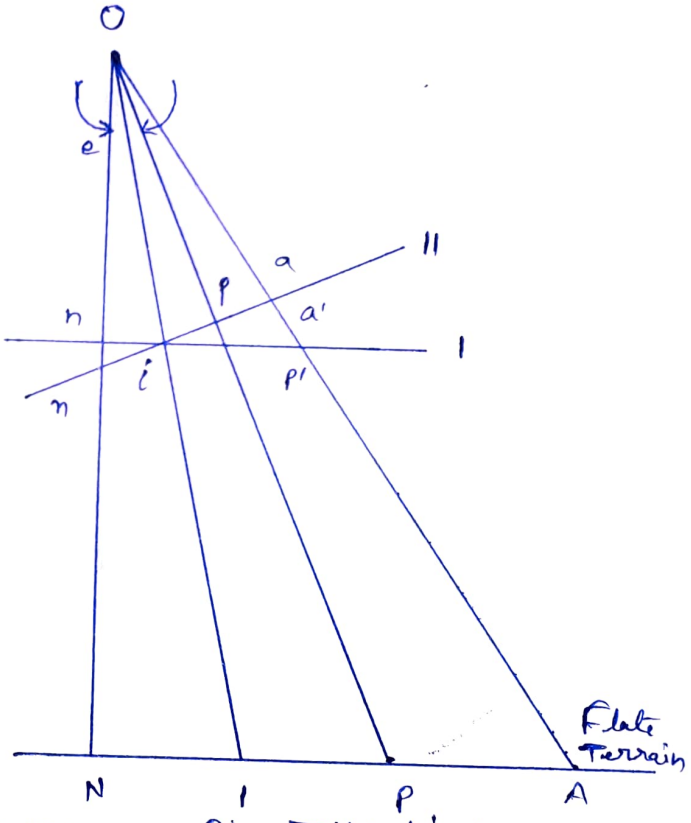


Fig. Tilt displacement

* झुकाव के कारण, विस्थापन, समकेन्द्र (Isocenter) से बाहर (Outwards) की ओर होता है। यदि झुकाव दोहरा होता है तो n तथा i एक दूसरे के नजदीक होते हैं। यही कारण है कि ऊर्ध्वाधर फोटोचित्रों में उच्चावचन विस्थापन प्रधान बिन्दु से त्रिज्यीय (Radial) होता है तथा झुकाव के कारण विस्थापन नहीं के बराबर होता है।

(ii) विषम भू-भाग (Accidental Terrain):—

* उच्चावचन विस्थापन (Relief Displacement) सादृश बिन्दु से त्रिज्यीय (Radial) होता है। यह विस्थापन कैमरा झुकाव के कारण होता है। यदि धरातल समतल हो तो विस्थापन समकेन्द्र से त्रिज्यीय होता है। विषम धरातलीय दशा में फोटोचित्र में कोई भी बिन्दु ऐसा नहीं होता जहाँ पर कि कोण भू-धरातल के कोण के अनुरूप रहे।

वायु फोटोचित्रों एवं मानचित्र में अंतर
(Difference between Aerial Photographs and Map)

वायु फोटोचित्र	मानचित्र
(1) निर्माण (Production) के आधार पर :-	
(i) किसी क्षेत्र के धरातलीय सूचनाओं को प्राप्त करने का सबसे तीव्र तथा सबसे अधिक आर्थिक साधन है। सूचनाओं को एकत्र करने के लिए क्षेत्र भ्रमण नहीं किया जाता है। इसलिए वायुफोटोचित्र किसी कठिन एवं अगम्य (Inaccesible) क्षेत्रों की सूचनाओं को एकत्र करने के लिए वरदान है।	(i) किसी समय विशेष में किसी भूभाग की अवस्थिति को विश्वसनीय रूप से मानचित्र पर अंकित किया जाता है। मानचित्र निर्माण प्रक्रिया में अधिक परिश्रम, समय की खपत तथा क्षेत्र परिभ्रमण की आवश्यकता होती है।
(ii) फोटो मानचित्रों का लघुकरण तथा वृहत्तीकरण तुरंत किया जा सकता है जिससे इनका उपयोग अति आसान होता है।	(ii) रंगीन मानचित्रों के लघुकरण तथा वृहत्तीकरण के लिए इनके पुनर्निर्माण की आवश्यकता होती है जिससे इन्हें आसानी से प्रयोग में लाया जा सकता है।
(2) विवरण (Content) के आधार पर :-	
(i) वायुफोटोचित्र पृथ्वी के धरातल के समग्र लक्षणों के बिम्बों को दिखाता है।	(i) मानचित्र किसी धरातलीय विषयों का प्रयोग सारांश प्रस्तुत करता है जिसमें धरातल के लक्षणों की चुनी हुई विशेषताओं को अंकित किया जाता है।
(ii) वायु फोटोग्राफ में लिखित विवरण (भौगोलिक नाम) फोटो विश्लेषण में कई महत्वपूर्ण सूचनाओं को छुपा देते हैं।	(ii) मानचित्र में लिखित विवरण मानचित्र विश्लेषण के लिए अति अनिवार्य होते हैं।
(iii) वायुफोटोचित्रों में प्रदर्शित लक्षण सत्य रूप से दृश्य योग्य होते हैं जिससे इनकी पहचान आसान होती है।	(iii) प्रायः मानचित्र में प्रदर्शित लक्षण अदृश्य होते हैं चाहे वे मात्रात्मक हो या विश्लेषणात्मक। इनकी केवल सापेक्षिक स्थिति ही मानचित्र पर अंकित होती है।
(iv) रंगीन तथा अवरक्त जैसी फिल्मों का उपयोग भूधरातल के विशेष लक्षणों को उभारने के लिए किया जाता है।	(iv) इस प्रकार की तकनीक मानचित्र प्रक्रिया में उपयोग नहीं की जाती है।

वायु फोटोचित्र	मानचित्र
③ मापनी / मापीय शुद्धता (Metric Accuracy) के आधार पर	
(i) वायु फोटोग्राफ ज्यामितीय रूप से शुद्ध नहीं होते	(i) मानचित्र पर धरातलीय लक्षणों को ज्यामितीय रूप से प्रदर्शित किया जाता है।
(ii) वायु फोटोचित्र केन्द्रीय प्रक्षेप पर निर्मित होते हैं।	(ii) मानचित्र में भूधरातल के त्रिविम स्वरूप को यथाआकृतिक प्रक्षेप पर प्रदर्शित किया जाता है।
(iii) फोटोचित्रों पर मापक समान रूप से शुद्ध नहीं रहता है।	(iii) मानचित्र पर मापक समान रूप से एक तथा शुद्ध रहता है।
(iv) फोटोचित्रों के उच्चावचन एवं झुकाव विस्थापन की समस्या बनी रहती है जिन्हें संशोधित कर शुद्ध किया जाता है।	(iv) मानचित्रों में विस्थापन जैसी कोई समस्या नहीं रहती है तथा इन्हें निर्विकार रूप से प्रयोग किया जाता है।
(v) वायु फोटो चित्रों में दिक्मान शुद्ध नहीं होता है।	(v) मानचित्र में दिक्मान शुद्ध होता है।
④ परिशिक्षण आवश्यकता (Training Requirement) के आधार पर	
(i) वायु फोटोचित्र धरातलीय विवरण का विश्वसनीय असम्पादित (Unedited) अंकन है जो कि प्रकाश दशाओं, कैमरा लेंस की ग्रहणशीलता, विस्तार सीमा तथा मुद्रित कागज की क्षमता का सामूहिक प्रतिफल है।	(i) मानचित्रों को आँखों से देखकर तैयार किया जाता है जिससे इनका उपयोग सरल एवं सुविधाजनक हो सके। इन्हें आसानी से समझा जा सकता है क्योंकि ये सहज विवरणयुक्त नहीं होते हैं। मानचित्रों के प्रतीकवादी चिन्ह (Symbolization), सामान्यीकरण (Generalization), उपयुक्त यथार्थवादी रंगीन स्कीम तथा यथास्थिति व्याख्या (Annotation) सुनिश्चित करते हैं कि मानचित्र की विषयवस्तु को जितनी जल्दी सम्भव हो समझा जा सके।
(ii) यद्यपि फोटोचित्रों में पृथ्वी के धरातल का वास्तविक चित्रण (Portrayal) होता है जो देखने में अति आसान लगता है परन्तु वास्तव में ऐसा होता नहीं है, अतः उपयोगकर्ता को फोटोचित्रों के अध्ययन से प्राप्त करने के लिए विशेष परिशिक्षण की आवश्यकता होती है।	(ii) मानचित्रों को समझने के लिए बहुत कम परिशिक्षण की आवश्यकता होती है।
(iii) वास्तव में यह रुचिपूर्ण विज्ञान है।	(iii) मानचित्र निर्माण एक कला है।