

INTERCEPTION OF RAINFALL BY A HARDWOOD CANOPY<sup>1)</sup>

by

Peter E. BLACK<sup>2)</sup>

THE PRIMARY OBJECTIVE of the study was to obtain interception values including throughfall and stemflow for an old-field, cove hardwood forest type. A secondary objective was to utilize the data and conclusions to aid in the determination of an optimum method for sampling interception, and to proceed with obtaining interception values for the major forest types at the Coweeta Hydrologic Laboratory in western North Carolina.

Interception may be considered as a loss of rainfall from the stand-point of soil moisture. This loss is estimated by subtracting the amount of precipitation falling directly through the crowns, plus stemflow, from gross precipitation. The quantity of precipitation dripping from and falling through, the crowns is termed throughfall. For purposes of this study, a storm was considered to be a measurable quantity of rainfall separated from consecutive rains by a length of time sufficient to permit complete drying of the foliage.

Interception studies have been made under plantation, and natural-grown coniferous stands, and under plantation-grown hardwood stands. A search of the literature reveals that there have been very few published studies of interception in natural-grown hardwood stands. Wood<sup>(3)</sup> and

(1) Adapted from the thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Forestry, School of Natural Resources, University of Michigan, February, 1958.

(2) Research Forester, U. S. Forest Service, Coweeta Hydrologic laboratory, Franklin, N. C., U. S. A.

Beall<sup>(1)</sup> carried out exploratory studies in hardwood stands and both of these deal with some interesting problems. First, Wood reported that 18 gages were necessary for measuring throughfall «to obtain significant results.» The results of the present study indicate that a ratio of nine gages measuring throughfall to one measuring gross precipitation is more than adequate in order to keep the associated errors of each parameter roughly equal.

Second is the problem of how the gages should be located in the field. Horton<sup>(2)</sup> had described the variation in interception in relation to distance from the tree stem. Utilizing Horton's findings in a coniferous, or even a hardwood plantation would undoubtedly strengthen the data. In a natural stand of hardwoods, however, the random location of the trees and the extensive overlapping of the crowns makes Horton's findings inapplicable, as in the present study, which used random gage location.

Another problem is whether interception loss is greater in winter than in summer. Beall reports virtually no difference whereas Wicht<sup>(3)</sup> reports a 3 per cent loss during the dormant season and a 14 per cent loss during the growing season in a hardwood plantation. Kittredge<sup>(4)</sup> points out that the various influencing factors may compensate for each other's effect and resulting net precipitation (throughfall plus stemflow) may be the same for both winter and summer. Other factors, such as storm size, duration, and intensity, as well as vegetal factors do influence net precipitation, and these variations, which are generally related to season of the year, may further the compensating effects. In the present study, where gross precipitation is well distributed throughout the year, throughfall per unit gross precipitation and stemflow are found to be greater in the winter.

The forest type studied occurs on land which was cleared and farmed in the early part of this century. It is presently a pole stand, some forty years old, of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) and hickory (*Carya*, spp.) with a liberal scattering of about twenty other hardwood species (Fig. 1). There is no understory of laurel and rhododendron as is typical of the hardwood forest of the Southern Appalachian mountains. The study area is at an elevation of 3000 feet and receives an average of 77 inches of precipitation per year. During the course of the study, one of the 67 storms was ice and one snow. Orographic and convectional type storms, which yield high intensities but small amounts of precipitation, predominate in the summer months, while the winter storms, which are generally frontal or cyclonic, yield more precipitation per storm, but at

lower intensities. The growing season at the above elevation averages 140 days in length.

Gross precipitation was measured by four standard rain gages. Three were located under vertical openings in the crown and one under a 45-degree opening. There were no consistent differences between these gages, indicating that in this case, type of opening did not seriously influence the catch. The four gages were averaged to obtain gross precipitation, but were used separately, each in conjunction with a throughfall plot, for purposes of analysis. A recording rain gage was used to study time-lag relationships and to determine duration and intensity of the storms. It was located under the 45-degree opening.



Figure 1. — The cove hardwood forest type found on the study area. Note the general lack of heavy understory vegetation.

Şekil 1. — Çalışma sahasında bulunan taban yapraklı orman tipi. Umumiyetle keşif ikinci tabaka vejetasyonunun eksikliğine dikkat et

Throughfall was measured on four one-quarter acre plots, one near each gross precipitation gage. There were nine gages on each plot, and these were moved at random every three months. The move-dates coincided generally with foliage development changes, and thus differences in throughfall were confounded to a certain degree with place-effects. The

plots were located on the slopes of a small bowl-shaped drainage area and were situated so as to help eliminate any effects of aspect. Locations of the plots were selected, and orientation was in cardinal compass directions.

Standard rain gages measuring throughfall were wired to short stakes and were seated directly on the ground. Gages were re-located at random if obstacles prevented placement. One of the nine gages on plot I was a recording gage and was not moved for the entire year of study.

Two formal analyses were worked on the throughfall data. The first was an analysis of variance (<sup>5</sup>) between plots and between seasons. Since gross precipitation was different for each season, the difference between throughfall and gross precipitation for each plot and adjacent gage for each season was tested. These figures were expressed as a per cent of the seasonal gross precipitation. The distribution of the degrees of freedom was three each for between-plot- and between-season-variance, and nine for within-plot-variance or error. A standard F-test yielded a greater value of F for between-season-variance than for between-plots, but neither were significant. A test for least significant differences showed that there was no significant difference between any two plots or any two seasons. An additional analysis of variance, using an arcsin angular transformation of the data (<sup>6</sup>), did show a significant difference between seasons at the 5 per cent level, but not between plots. Thus, seasonal variations are not too important, but they probably should be taken into account in future work at the Laboratory. It should be noted that a large amount of variation was attributed to error: part of this is due to the fact that the areal variation of precipitation is increased by the non-uniform crown canopy, and part due to the technique of measurement.

The second major analysis concerned the calculation of regression equations. With the exception of the summer season, the regression equations of throughfall (T) on gross precipitation (P) follow the expected pattern (Table 1).<sup>7</sup> The correlation coefficients are high undoubtedly due to the fact that the only data used for the computations were taken from storms that were isolated by measurement. The regression equations agree slowly with those calculated by Trimble and Weitzman (<sup>6</sup>), Loughhead and MacKicken (unpublished), and Pereira (<sup>4</sup>), the two former investigators worked in similar forest types in the Appalachian mountains, while Pereira reported on interception in a plantation of bamboo in Kenya, Africa. Figure 2 shows the relationship of the average regression of this study to those mentioned above.

(<sup>7</sup>) A heavy wind storm at the beginning of the summer season removed about 15 to 20 per cent of the crown canopy.

Table I

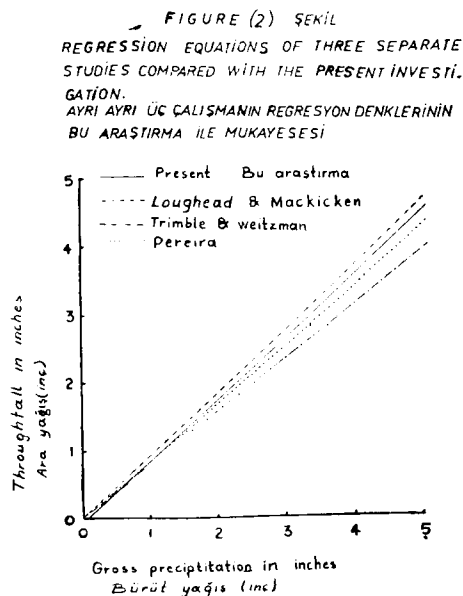
Cedvel I

Summary of regression equations, standard errors of regression, and correlation coefficients for throughfall on gross precipitation, by seasons

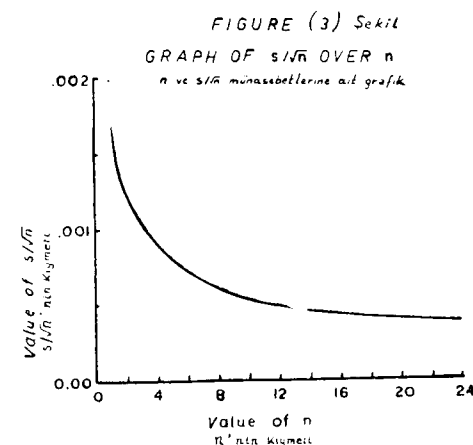
Mevsimlere göre ara yağış ve brüt yağışın regrasyon denklemlerinin hü-lâsası, regrasyon, standart hataları ve korrelasyon konfesyonları

Mevsim Season	Kullanılabilen yağmurlar adedi Number of usable storms	Regrasyon denklemleri P ve T inç olarak Regression equations (P and T in inches)	Regrasyon Stan- dard hâtası Standard error of regression	Korrelasyon koefesyon Correlation coefficient
Fall	12	$T = -.0331 + .9118 P$	0.044	0.996
Winter	12	$T = +.0061 + .9021 Pa$	.054	.999
Spring	12	$T = -.0169 + .8333 P$	.043	.998
Summer	12	$T = -.0554 + .9338 P$	.051	.998

- a) The positive value of «a» in this equation is within the limits of error.  
a) Bu denklemde olan «a» nin pozitif kıymeti hata hududu içindedir.



Total gross precipitation for the year was  $81.79 = 0,17$  inches and throughfall for the year was  $73,24 = 0,15$  inches (89,55 per cent of the gross precipitation). The attached error statements are the standard error of the mean of the observations and they indicate that throughfall was measured slightly more accurately than gross precipitation (the errors are 0,21 per cent of the total gross precipitation and 0,20 per cent of the total throughfall). Thus, nine gages are sufficient in conjunction with one gross precipitation gage to maintain approximately equal error in both parameters. Using a high value of variance of throughfall, a test was applied to determine if fewer gages would be satisfactory. The test was to plot the value of the standard error of the throughfall value divided by the square root of the number of samples  $\frac{s}{\sqrt{n}}$  over the number of samples (n), and determine the breaking point in the resulting J-curve. The curve (Fig. 3) illustrates that 6 gages would maintain approximately the same degree of error as 9 gages, and the future studies could be simplified by using fewer gages.



Stemflow measurement was accomplished during the winter season. The amount was small and highly variable, but is estimated to be about 8 per cent of the difference between precipitation and throughfall, on an annual basis. Tests for relationships with tree characteristics were inconclusive.

### Summary

The techniques used in measuring the difference between gross precipitation and throughfall shew that variation between plots was less than

the variation between seasons. Neither between-plot nor betweenseason differences were statistically significant at the 5 per cent level. in an analysis of variance on the originaldata. On transformed data there was a significant difference at the 5 per cent level between seasons. Within-plot-variance was high, indicating the improvement in teshniques is necessary to more fully assess the differences between seasons.

From 0,01 inches in winter to 0,06 inches in summer of gross precipitation are necessary before throughfall starts in the forest type studied. Throughfall for the year, which was about 73 inches, was measured slightly more accurately than gross precipitation, which was about 82 inches. The regression equations of throughfall on gross precipitation are in close agreement with other workers in both similar and dissimilar forest types.

#### LITERATURE CITED

1. BEALL, H. W. 1934. The penetration of rainfall through the hardwood and softwood panoply. *Ecology* 15: 412-415.
2. HORTON, R. E. 1919. Rainfall interception. No. *Weather Review* 47: 603-623.
3. KITTREDGE, J. 1948. Forest Influences. Chapter XI. pp. 99-115. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 394 pp., Illus.
4. PEREIRA, H. C. 1953. Interception of rainfall by cypress plantations. *E. Africa Agric. Journ.* 18: 73-76.
5. SNEDECOR, G. W. 1956. Statistical Methods. Iowa State College Press, Ames, Ia. 5th Ed. 485 pp., Illus.
6. TRIMBLE, G. R., and S. WEITZMAN. 1954. Effect of a hardwood forest canopy on rainfall intensities. *Trans. AGU* 33 (2): 226-234.
7. WICHT, C. L. 1941. An approach to the study of rainfall interception by forest canopies. *Jour. So. African For. Assoc.* 6: 54-70.
8. WILM, H. G., and E. G. DUNFORD. 1948. Effect of timber cutting on water available for streamflow from a lodgepole pine forest. U. S. Dept. of Agric., Wash., D. C. Tech. Bull. No. 968. 43 pp., Illus.
9. WOOD, O. M. 1937. Interception of precipitation in an oak-pine forest *Ecology* 18 (2): 251-254.

## YAPRAKLI ORMAN ÖRTÜSÜ TARAFINDAN TUTULAN YAĞIŞ (İntersepsiyon)

M. Said KETENE

P. E. BLACK

Bu etüdün ana gayesi vâdi tabanlarında metruk ziraat sahalarında yetişen bir yapraklı ormanın intersepsiyonu ara yağış (taçlardan geçen yağış) ve gövdeden akan yağış miktarlarına ait kıymetleri elde etmektedir. İkinci gayesi de elde edilen bilgi ve sonuçları kullanarak tutulan yağış (intersepsiyon) ölçmeleri için bir orta metod bulmak ve bu suretle tecrübe sahalarının kullanılmasile batı-kuzey Karolina'da bulunan Coweeta Hidroloji lâboratuvarı ormanlarının intersepsiyon değerlerini hesaplamak idi.

İntersepsiyon toprak rutubeti bakımından bir yağış kaybı sayılabilir. Bu kayıp, brüt yağıştan, ara yağışı ve gövde akışı toplamını çıkarmak suretile hesap edilir. Taçlardan doğrudan doğruya geçen veya damlıyarak akan yağışa ara yağışı denilir. Bu etüdün gayesi bakımından bir yağış, ölçülebilir miktarda olan yağıştır ve diğer yağışlardan arada yaprakların tam olarak koruyacağı kadar bir zaman geçmesile ayırt edilir.

İntersepsiyon etüdüleri sun'i ormanlar ve tabii ibreli orman meşçereleri altında ve bir de yetişmiş yapraklı sun'i orman altında yapılmıştır. Literatüre baktığımız zaman görürüz ki tabii yapraklı ormanlarda intersepsiyon araştırmalarına ait pek mahdut neşriyat vardır. Wood (°) ve Beal (°) yapraklı orman meşçerelerinde istikşafi mahiyette etüdüler yapmışlardır ve bunların her ikisi de bazı enteresan meselelerle meşgul olmuşlardır. Wood'a göre ara yağışın ölçülmesinde inanılır neticeler elde edebilmek için 18 yağmur ölçere lüzum vardır. Halbuki arz edilen bu etüdüler göstermiştir ki herbir brüt yağış ölçere karşılık ara yağışı ölçmek için kabaca müsavi bir parometrede yapılabilecek hatâlar dahilinde 9 yağmur ölçer kâfidir.

İkinci bir mesele de yağmur ölçerlerin arazide nasıl yerleştirileceğidir. Horton<sup>(2)</sup> intersepsiyon değişmelerini ağaç gövdesinden uzaklığa göre tavsif etmiştir. Horton'un buluşları ibrelî ve hattâ yapraklı sun'î orman meşcerelerinde şüphesiz ki bilgimizi kuvvetlendirecektir. Mammafih tabii yapraklı ormanlarda ağaçların dağılışı ve ağaç taçlarının birbirlerini gölgelemesi Horton'un buluşlarını, bu çalışmada da olduğu gibi, yağış ölçerlerin tesadüfi olarak yerleştirilmeleri hallerinde tatbiki kabil olmayan bir hale getirmektedir.

Diğer bir mesele de intersepsiyon kaybının kışın, yazdan daha mı büyük olduğudur. Beal'in dediğine göre, çok büyük bir fark yoktur. Ona mukabil, Wicht'e göre<sup>(3)</sup>, bir yapraklı plantasyonda uyku devresinde % 3 ve tenebbüt devresinde % 14 bir kayıp vuku bulmaktadır. Kittredge<sup>(4)</sup> ise, muhtelif müessir faktörlerin birbirlerini yok ettiğini ve bunun neticesi olarak, net yağışın (ara yağış + gövde akışı) kış ve yaz aynı olabileceğini göstermektedir. Diğer faktörler, meselâ yağışın miktarı, devami, kesafeti ve keza bitkisel faktörler, net yağışa tesir icra ederler. Umumiyetle yılın mevsimlerle alakalandırılan bu varyasyonlar ayrıca birbirlerini karşılayan tesirlere sahip olabilirler. Brüt yağışın bütün sene boyunca iyi bir şekilde dağılmış olduğu bu etüdde elde edilen neticelere göre, herbir brüt yağış birimi için ara yağış ve gövde akışı, kışın daha yüksek olarak bulunmuştur.

Araştırma yapılan orman tipi, bu asrın başında traşlama kesilmiş ve ziraat yapılmış bir arazide bulunmaktadır. Halen Liriodendron tulipifera, Carya spp. ve daha dağınık bir halde olan 20 kadar yapraklı ağaç türünden mürekkep 40 yaşlarında ve sırkılık devresinde bir meşceredir (Resim: 1). Güney Appalachian dağlarının yapraklı ormanlarında bulunan tipik defne ve Rhododendron alt tabakası yoktur. Etüd sahası 900 m. rakımında olup, ortalama yıllık yağış miktarı 1925 mm. dir ve çalışma süresinde düşen 67 yağıştan biri dolu ve diğeri kar olmuştur. Yaz aylarında en fazla orografik ve konveksiyonel tip yağışlar vuku bulur. Bunlar miktar itibarile az, şiddet itibarile yüksektir. Buna mukabil kış yağışları umumiyetle sikloniktir ve herbir yağış daha düşük şiddette fakat daha uzun sürebilir. Tenebbüt devresi ortalama olarak 140 gündür. Brüt yağış dört standart yağış ölççeği ile ölçülmüştür. Üçü taç'ta olan şakulî açıklıkların altında ve biri 45 dereceli bir açıklıkta yerleştirilmiştir. Bunlar arasında devamlı farklar kayıt edilmemiştir. Bu demektir ki bu tecrübeye açıklık tipi yağışın tutumu üzerinde ciddi bir tesire malik değildir. Dört ölççeğin rasatları brüt yağışı elde etmek için vasatleştirilmiş fakat analiz maksatları için ara yağış ölçme parsellerinin (tecrübe sahaları) her biri ile ayrı ayrı kullanılmıştır. Yağış süre ve kesafetini tayin için, bir mukay-

yit yağmur ölçeri kullanılmıştır. Bu da 45 derecelik açıklık içine konmuştur.

Ara yağış dört adet 1011 m<sup>2</sup>. lik parsellerde ölçülmüştür. Herbir ölççeğin yanında bir brüt yağış ölççeği bulunuyordu. Böylece her parselde 9 adet ölçer vardı ve bunların yerleri üç ayda bir tesadüfi bir şekilde değiştirilmekte idi. Değiştirilme zamanı umumiyetle yaprak inkişafı devrelerine tetabuk etmekte olup bu suretle ara yağışlara ait farklar mevki tesirleriyle bir dereceye kadar bertaraf edilmiştir. Parseller kâse şekilli küçük bir havzanın yamaçlarında ve maaraz tesirlerini yok edecek şekilde konulmuşlardır. Parsellerin mevkii seçilmiş ve yönleri pusula ile tevcih edilmiştir.

Ara yağışı ölçen standart yağış ölçerleri kısa kazıklara telle bağlanıp, toprağa oturtulmuşlardır. Bu arada mânilere marûz kalan ölçerler tekrar tesadüfi olarak başka bir yere konmuşlardır. 9 ölçerden biri olan mukayit yağış ölçerinin etüdün sonuna kadar yeri değiştirilmemiştir.

Ara yağış kayıtları üzerinde iki analiz yapılmıştır. Birincisi<sup>(5)</sup>, parseller ve mevsimler arasında varyans analizi idi. Brüt yağışın mevsimlere göre değişik olması dolayısıyla her mevsim için her parsel ve civarındaki ölçer de ara yağış ve brüt yağış arasındaki fark kontrol edilmiştir. Bu rakamlar mevsimlik brüt yağışın % si olarak ifade edilmiştir. Serbestlik derecelerinin dağılışı ise parsel arası ve mevsim arası varyansı için 3 ve parsel arası yahut hata için 9 idi. Standart F testi mevsim arası varyansları için parsel arasındakinden daha büyük bir F kıymeti vermiş ise de bunların hiçbirisi ehemmiyetli değildir. En az ehemmiyet faktörleri testi de göstermiştir ki herhangi iki parsel yahut iki mevsim arasında mühim bir fark yoktur. Varyansın Arcsin angular usulü kullanmak suretile analizi<sup>(5)</sup>, mevsimler arasında % 5 lik seviyesinde de bir fark göstermiş, fakat parseller arasında göstermemiştir. Böylece görülüyor ki mevsimlere ait varyasyonlar pek mühim değildir. Fakat ileri çalışmalarda lâboratuarda bunların nazarı itibare alınması muhtemelen icap edecektir. Yalnız unutulmamalıdır ki varyasyonların büyük bir kısmı hataya atfedilmektedir. Bu da kısmen taç örtüsünün muntazam olmaması dolayısıyla yağışın sahavî varyasyonun artması ve kısmen de ölçme tekniği sebebidir.

İkinci mühim analiz ise, regrasyon denklemlerinin hesaplarla aiâkalıdır. Yaz mevsim müstesna ara yağışın (T) brüt yağış (P) üzerine regrasyon denklemi beklenen modeli vermiştir (Tablo: 1)\*. Korelasyon koefisyonları yüksektir ve hiç şüphesiz ki bu da hesaplarda kullanılan

(\*) Yaz mevsimi başında vuku bulan şiddetli bir rüzgâr taç örtüsünün % 15-20 sini yok etmiştir.

malûmatın yalnız ölçmelerde tefrik edilen yağışlardan olması sebebiyledir. Regrasyon denklemleri Trimble ve Weitzman (°) Loughhead ve MacKicken (yayınlanmamış) ve Pereira (°) tarafından yapılan hesaplara uymaktadır. İlk iki araştırmacı Appalachian dağlarındakine benzer orman tipinde çalışmışlardır. Pereira ise Kenya (Afrika) nın Bamboo plantasyonlarında olan intersepsiyon hakkında bilgi vermiştir. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar ile bu çalışmanın vasatı regrasyonu arasındaki münasebet Resim: 2 de gösterilmektedir. Total brüt yağış, yıl için  $2044.75 \pm 4.25$  mm idi ve ara yağış yıl için  $1431,00 \pm 3,75$  mm. idi. (Brüt yağışın % 89,55) İlişikteki hatâ beyanları rasat vasatilerine ait standart hatâlardır, ve bunları da gösteriyor ki ara yağış brüt yağıştan biraz daha sıhhatli ölçülmüştür. (Hatalar total brüt yağışın % 0,21 i ve total ara yağışın % 0,20 dir). Buna göre her iki parometrede takriben müsavi hatâyı muhafaza etmek için bir brüt yağış ölçeri ve buna ilâveten 9 ölçer kâfidir. Ara yağışın yüksek varyans kıymetini almak suretile daha az miktarda ölçer kullanabilmenin tatmin edici olup olmadığının tâynini bususunda da bir tecrübe yapılmıştır. Bu araştırma ara yağış standart hatâ kıymetinin nümune adedinin kare kökü ile bölünüşünden elde edilen kıymetlerin nümune sayısı üzerine olan grafiğini çizmek  $\frac{s}{\sqrt{n}}$  ve hasil olan J eğrisinde kırılma noktasını tâyin etmek suretile yapılmıştır. Eğri (Resim: 3) gösteriyor ki 6 ölçer takriben 9 ölçerdeki hatâ derecesini muhafaza edecektir. Böylece müstakbel çalışmalarda daha az sayıda yağmur ölçer kullanmak suretile iş basitleştirilebilir.

Gövde akışı ölçmesi kış mevsiminde iera edilmiştir. Gövdeden akış miktarı az, ve fazla miktarda değişmektedir. Tahmin edilmektedir ki yıl esası üzerinden yağış ile ara yağış arasındaki farkın takriben % 8 idir. Ağaç vasıfları ile alâkalı tecrübeler ikna edici değildir.

**Hülâsa :** Brüt yağış ve ara yağış arasında olan farkları ölçmede kullanılan teknik göstermiştir ki, parseller arasında olan varyasyon mevsimler arasında olan varyasyondan daha azdır. Rasat rakamlarına ait varyansların % 5 seviyedeki analizde ne parseller arası ve ne de mevsim arası farklar istatistik olarak mühimdir. Parsel içi varyansı yüksektir. Bu da gösteriyor ki, mevsimler arasındaki farkların tam olarak tâynini için, teknik bir islâhat yapmak zarureti vardır.

Etüd edilen orman tipinde ara yağışın başlaması için kışın 0,25 mm. ve yazın 2,10 mm. bir brüt yağışa lüzum vardır. Takriben 1685 mm. olan yıla ait ara yağışı takriben 1500 mm. olan brüt yağışa nazaran biraz daha sıhhatli ölçülmüştür. Ara yağışın brüt yağış üzerindeki regrasyon denklemleri müşabih ve müşabih olmayan orman tiplerinde başka araştırmacıların bulduklarına pek fazla uymaktadır.